علم أشكال سطح الأرض التطبيقي

(الجيومورفولوجيا التطبيقية)

قسم الجغرافية

السنة الرابعة- شعبة الجغرافية الطبيعية

منشورات جامعة دمشق

كلية الآداب والعلوم الإنسانية

علم أشكال سطح الأرض التطبيقي

(الجيومورفولوجيا التطبيقية)

Applied Geomorphology

الدكتور
غزوان محمد أمين سلوم
أستاذ مساعد في كلية الآداب بدمشق

الدكتور
نعمان محمد صياح
أستاذ مساعد في كلية الآداب في السويداء

1439-1438
2017-2018
جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المحتويات

المقدمة ٩

الفصل الأول: مدخل إلى علم أشكال سطح الأرض التطبيقي

١-١ تعريف الجيومورفولوجيا ومجالها ومهامها ١٥

١-٢ تطور الجيومورفولوجيا التطبيقية ٣٥

١-٣ مناهج البحث في الجيومورفولوجيا وتقنياته وطرائقه ٤٠

الفصل الثاني: الجيومورفولوجيا التطبيقية والعمليات الباطنية

٢-١ الزلازل ٤٢

١-٢-١ تعريفها –أسبابها ٤٥

٢-٢-١ مخاطرها – توزعها الجغرافي ٥٢

٢-٢ البراكين ٦٦

١-٢-٢ عناصرها - مظاهرها ٧٠

٢-٢-٢ مخاطرها- توزعها الجغرافي ٩١

الفصل الثالث: الجيومورفولوجيا التطبيقية والتجوية

٣-١ شروط عمليات التجوية ١١٧

٣-٢ أنواع عمليات التجوية ١٢٢

٣ -٣ آثار التجوية في مواد البناء ١٣٩

٣-٤ الحلول المقترحة لمواجهة خطر التجوية ١٤٢

الفصل الرابع الجيومورفولوجيا التطبيقية والكارست

٤-١ شروط تشكل التضاريس الكارستية ١٥١

٤-٢ المظاهر الكارستية ١٥٥

٤-٣ العمليات الجيومورفولوجية ١٦٦

٤-٤ الفوائد التي تقدمها المناطق الكارستية ١٧٠

٤-٥ مخاطر المظاهر الكارستية ومواجهتها ١٨٠

الفصل الخامس الجيومورفولوجيا التطبيقية للمياه الجارية (بيئة الأنهار والأودية السيلية)

٥-١ مفهوم الأحواض النهرية كنظم جيومورفولوجيّة ١٩٧

٥-٢ العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة في عمل المياه الجارية ٢٠٠

٣-٥ العمليات الجيومورفولوجية للمياه الجارية ٢٠٢
٤-٥ مخاطر عمل المياه الجارية ومواجعتها ٢١٥
٥-٥ الفوائد الجيومورفولوجية للأنهار ٢٢٧
الفصل السادس: الجيومورفولوجيا التطبيقية في المناطق الساحلية
السواحل وعناصرها الشكلية ٢٥٤
العمليات الجيومورفولوجية الساحلية ٢٧٠
أشكال التضاريس الساحلية ٢٧٥
المخاطر الجيومورفولوجية للسواحل ومواجهتها ٢٨٣
فوائد جيومورفولوجيّة السواحل ٢٩٠
الفصل السابع: الجيومورفولوجيا التطبيقية في البيئات الصحراوية وشبه الجافة
٧-١ مفهوم الصحاري والمناطق الجافة وشبه الجافة ٣٠٧
٧-٢ العمليات الريحية، ومظاهرها ٣٠٨
٧-٢-١ مخاطر الرياح وسبل مواجهتها ٣٢٢
٧-٣ أعمال المياه السطحية، ومظاهرها ٣٣٠
٧-٣-١ مخاطر العمل السيلي ومواجهته ٣٤٠
الفصل الثامن: الجيومورفولوجيا التطبيقية لحركة المواد فوق المنحدرات
٨-١ المنحدرات تعريفها وتصنيفاتها الجيومورفولوجية. ٣٥٥
٨-٢ العوامل المؤثرة في حركات المواد فوق المنحدرات ٣٦٠
٨-٣ مخاطر المنحدرات ٣٦٢
٨-٤ الحلول المقترحة لمواجهة مخاطر المنحدرات ٣٨٢
الفصل التاسع: الجيومورفولوجيا التطبيقية والتحضر
مفهوم التحضر ٤٠١
تأثير التضاريس في التحضر وتطور المدن ٤١٠
تأثير العمليات الجيومورفولوجية في التحضر ٤١٦
المخاطر الجيومورفولوجيّة على التحضر ٤١٩
سبل مواجهة المشكلات الجيومورفولوجية ٤٢٨

الفصل العاشر الجيومورفولوجيا التطبيقية والمشاريع الهندسية (السدود- الطرق – الجسور).

الجيومورفولوجيا والسدود ٤٤١

الجيومورفولوجيا والطرق ٤٧٤

الجيومورفولوجيا والجسور ٤٨٨

الفصل الحادي عاشر الخرائط الجيومورفولوجية

مفهوم الخريطة الجيومورفولوجية وتعريفها ٤٩٥

أنواع الخرائط الجيومورفولوجية وتصنيفها ٥٠١

تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية ٥٠٣

إعداد الخريطة الجيومورفولوجية ٥١٥

فهرس الأشكال ٥٣٥

فهرس الصور ٥٣٩

فهرس الجداول ٥٤٠

المصطلحات الأجنبية ٥٥٣

المراجع ٥٥٩

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

اختص **علم الجيومورفولوجيا** منذ تأسيسه بوصف تضاريس سطح الأرض، وتفسير نشأتها وتصنيفها حسب أشكالها، وفهم العمليات المسؤولة عنها. مما وفرّ قاعدة علميّة واسعة ومتينة لانتقالها من مرحلة النظريّة إلى مرحلة التطبيق، التي تتطلبت إدراكاً تاماً لما ينجم عن التضاريس والعمليات الجيومورفولوجيّة من مخاطر، أو ما يمكن أن تقدمه من منافع، تحت مظلة واسعة تجمع العديد من التخصصات في ما باتّ يعرف بالإدارة المتكاملة للوحدات الطبيعية Integrated management of natural units.

وقد نضج الجانب النظري من الفكر الجيومورفولوجي حتى بلغ مرحلة من التعقيد والتنظير المرهق، فشاعت مفاهيم مثل: التنظيم الذاتي self- organization الذي تمتلكه معظم النظم الجيومورفولوجية لاستعادة توازنها، كرد فعل على التغيرات التي تطرأ عليها. إلاّ أن بعضها لا يمتلك هذه القدرة إما لضعف فيها، أو لقوة التغير الذي تخضع له، كحركات النهوض البنائية العنيفة، والتغيرات المناخية، والتدخلات البشرية الحادة، الأمر الذي يؤدي إلى تغيير سلوك العمليات الجيومورفولوجية كماً ونوعاً، وبالتالي تعديل المظاهر السطحية، ولعل أبسط الأمثلة على ذلك، هو ما ينجم عن بناء سد على نهر، الأمر الذي يسبب تغيراً في العمليات السطحية من نقل وحت نهري سابق، إلى ترسيب بحيري.

وقد تبقى هذه التأثيرات محدودة في المشهد التضريسي العام، إلا أنه مع استمرار الضغط على النظام التضريسي يصبح أقل استقراراً وجنوحاً نحو التغير الكامل، مما دفع بمفهوم آخر إلى الساحة الفكرية الجيومورفولوجيّة للتعبير عن هذه الحالة، وهو: الأنظمة الحرجة ذاتيّة التنظيم self-organized criticality systems. إلا أن الفهم الأعمق لطريقة عمل الأنظمة الجيومورفولوجية، أجبر العلماء على التخلي عن هذا التصور، الذي لم يعد كافياً لتفسير ردود فعل كثير من النظم على التدخلات البشرية، التي تخطت حدود العتبات الحرجة أو ما زالت عالقة بها، كعدم قدرة الدلتاوات على التنظيم الذاتي بعد حجز الحمولة النهرية في بحيرات السدود، واستعادتها لذلك مع تحرير هذه الرواسب من خزانات السدود، فحلّ بديلاً منه مصطلح التكيّف المعقد complex adaptive، للدلالة على أمرين: الأول، أن تطور المشهد التضريسي لا يكون منتظماً بالمعنى الهندسي أو الكمي، بل هو جملة من ردود الأفعال، والثاني أن هذه الردود متداخلة ومتداعية، بحيث يصعب تحديد مسارها في ظل

العلاقات المكانيّة المتبادلة والمتغيرة مكانياً وزمنياً داخل النظام الجيومورفولوجي، مما قاد بالضرورة إلى الاعتماد على بعض المصطلحات الرياضيّة لوصف الإطار العام لتطور المشهد التضريسي، كمفهوم الحركية اللا-خطية nonlinear dynamics، أو التطور اللا-نمطي non- typical evolution، مما أكسب معنى التطور اتساعاً ومرونة ليحتوي كافة التغيرات المحتملة. إن هذا التعقيد الفكري دفع المشاركين في ندوة بكنغماتون (Binghamton 2007). إلى تسميتها بندوة التعقيد في الجيومورفولوجيا **Complexity in Geomorphology**.

وقد استغرق هذا الإثراء المفرط في الدراسات النظرية نحو مئة عام من التنظير والبحث الأكاديمي، مرت خلالها الدراسات الجيومورفولوجيّة بعدة مراحل، بدأت بما أُطلق عليه الجيومورفولوجيا الإقليمية Regional geomorphology، التي اعتمدت على الوصف والتفسير الشخصي لتطور سطح الأرض أو أقاليم منه، ثم انتقلت إلى مرحلة الدراسة التحليلية للوحدات التضريسية الأصغر، كالسواحل والبراكين وأحواض التصريف النهري، لتتأثر بعد ذلك فيما عرف منذ ثلاثينيات القرن الماضي بالثورة الكمية Quantitative Revolution. حيث طُبقت العديد من الأساليب الرياضيّة – الإحصائيّة لتوخي مزيد من الدقة في وصف تضاريس سطح الأرض وتطورها، حتى أصبح مذهباً فكرياً رديفاً للدراسات المخبرية والميدانية الأصيلة، سعى مؤسسوه إلى تحليل العلاقات المكانيّة بين عناصر المُرّكب الجيومورفولوجي، من خلال وضع معادلات رياضية تجمع بين متغيرين أو أكثر، كمعادلات كثافة التصريف النهري Drainage density وتكرارية المجاري المائية Frequency streams. وقدم هذا الاتجاه فوائد عدة على صعيد قياس الشكل morphometry، وحساب معدلات العملية الجيومورفولوجيّة، كتحديد مدى استطالة أشكال أحواض التصريف النهري أو استدارتها أو تناظرها، وتقدير معدلات الحت النهري الرأسي والإزاحة الرأسية للصدوع، وتراجع السواحل. إلا أن خفوتاً أصاب وهج الجيومورفولوجيا الكميّة لاحقاً، عزاه البعض إلى إحلال نظم المعلومات الجغرافية GIS، وتقنيات الاستشعار عن بعد خلال ثمانينات القرن العشرين مكانها. لكننا نرى إضافة إلى ذلك، أن الابتعاد عن استخدام الأساليب الرياضية – الإحصائية في الأبحاث الجيومورفولوجيا الحديثة، كان نتيجة حتمية لعجزها عن تمثيل كافة المتغيرات الجيومورفولوجية، فمن البدهي القول: إن تضاريس الأرض التي نشأت وفق آليات

فيزيائية معقدة، وتطورت بتأثير العديد من العوامل المكانية والزمنية، لا يمكن حصرها ضمن إطار رياضي محدد، أي إن لغة الرياضيات غير قادرة على تمثيل لغة الفيزياء التي كُتبت بها الطبيعة.

كل ما سبق كان له أكبر الأثر في تطور الفكر الجيومورفولوجي،لإعادة النظر في العلاقة المتبادلة بين الإنسان وتضاريس سطح الأرض والعمليات الجيومورفولوجيّة، فمع زيادة حجم التدخلات البشرية في النظم الجيومورفولوجيّة من جهة، وظهور نتائج التدخلات السابقة من جهة أخرى، أصبحت مسألة حفاظ النظام التضريسي على توازنه أمراً يستدعي المراقبة والتحري.

وفي ظل هذا التطور والتضخم في الجانب النظري، نشأت الدراسات التطبيقية عبر أبحاث قليلة ونادرة، أخرجت الجيومورفولوجيا من حدودها التقليدية مع بداية القرن العشرين. حيث صدر أول مُؤلف لشيرلوك (Sherlock 1922). بعنوان دور الإنسان كعامل جيولوجي Man as geological agent، ومع تزايد تأثير الإنسان في تضاريس سطح الأرض والعمليات الجيومورفولوجية، توالت الأبحاث والكتب بعد عقدين أو أكثر، فاشتد عود التطبيق في الجيومورفولوجيا -لكن على استحياء- إلى أن فرض الأمر نفسه دولياً في أول ندوة عالمية عقدت في مدينة نيوجرسي الأمريكية عام (١٩٥٥)م، حول دور الإنسان في تغيير وجه الأرض Man's role in changing the face of the earth. ثم تقدمت الجيومورفولوجيا التطبيقية بخطوات أكثر ثباتاً وسرعة خلال العقدين السابع والثامن من القرن الماضي، لتصبح أكثر نضجاً وتكاملاً مع بداية الألفية الثالثة. وكان تطورها ضرورة حتمية، فحين وقفت بقية علوم الأرض وعلوم الهندسة عاجزة عن حلّ مشكلات تتعلق بالتضاريس والوحدات الجيومورفولوجيّة، نتيجة الاستخدام السيئ لسطح الأرض من جهة، ولعدم فهم آليات تطور التضاريس وردود أفعالها تجاه التدخلات البشرية من جهة أخرى. قدّم علماء الجيومورفولوجيا طرقاً وأساليب ناجحة لمواجهة المشكلات الجيومروفولوجية.

أما على المستوى العربي فلا ندّعي سبقاً في هذا المجال، حيث أورد العديد من العلماء العرب فقرات وفصول ذات طابع تطبيقي في كتبهم، إلا أنها كانت متناثرة حسب ما دعت الحاجة إلى ذلك، فقد ذكر حسن أبو العينين في كتابه أصول الجيومورفولوجيا بعض التطبيقات العسكرية والخدمية لسطح الأرض، كما عرفت المكتبة العربية كتباً جعلت من

الجغرافيا التطبيقية عنواناً رئيساً لها، كان أقدمها كتاب (الديناصوري: ١٩٧١). وأحدثها كتاب (التركماني: ٢٠٠٥). والتي تدرجت في تعمقها وطرحها لمفهوم التطبيق في الجغرافيا عموماً. في حين تأخرت أبحاث الجيومورفولوجيا التطبيقية وكتبها، حتى ثمانينيات القرن الماضي، حين ظهرت مقالة (كليو: ١٩٨٥) عن دور الإنسان في الجيومورفولوجيا، وتبعتها العديد من الأبحاث وأطروحات الدكتوراه ورسائل الماجستير في هذا الشأن، كما صدر مع بداية الألفية الثالثة كتابا (الدليمي:٢٠٠١-٢٠٠٥)م، وهما بعنوان (الجيومورفولوجيا التطبيقية)، و(التضاريس الأرضية، دراسة جيومورفولوجية عملية تطبيقية) على التوالي.

وقد أخضع المؤلفان قلميهما لقاعدة علميّة صارمة، وهي:**إن كنت ناقلاً فالدقة أو مدعياً فالدليل.** على أمل أن يسهم هذا الكتاب في نمو فرع متين من فروع الجيومورفولوجيا التي بنى صرحها أساتذة لا ينكر فضلهم في سورية والوطن العربي. ونرجو من الله أن نكون قد وفقنا في إخراج الجيومورفولوجيا من قاعات الجامعات وقيود النظريّة إلى حيث تنتمي ميدانياً، عذرنا إن بدا تقصير في المعالجة أنه **ما لا يدرك كله لا يترك جله.**

أما **منهجية الكتاب**، فقد اعتمدت على سياق منهجي متكرر في تأليف الكتاب، فاستهل كل فصل بتمهيد نظري عن تضاريس سطح الأرض، شمل أهم المظاهر المتعلقة بكل بيئة جيومورفولوجية وأهم العمليات السائدة فيها. ثم تحليل وتفسير أهم المشكلات الناتجة عنها. وأهم مجالات استغلالها اقتصادياً وخدمياً. الأمر الذي تطلب توسعاً جغرافيّاً لدى عرض الحلول والمشكلات. فلا ريب في أن الاعتماد على الجيومورفولوجيا النظرية في المعالجة، يجعل الرؤية قاصرة ومعزولة عن الأسباب والعوامل التي يجب التحكم بها، والتي تمتد لتطال كافة المجال الجغرافي. لذلك جاءت المضامين جيومورفولوجيّة الطابع، بينما اتسعت المعالجة جغرافياً. حيث وأخيراً الفوائد التي يمكن أن تقدمها للإنسان، مع تزويد الكتاب بالأمثلة والأشكال والصور.

قام الدكتور **غزوان سلوم بتأليف الفصول العشرة** الأولى من الكتاب، في حين ألفّ الدكتور **نعمان صيام الفصل الحادي عشر** والخاص بالخرائط الجيومورفولوجيّة.

الفصل الأول

مدخل إلى علم أشكال سطح الأرض

التطبيقي

- تعريف الجيومورفولوجيا.
- مجال الجيومورفولوجيا.
- مهام علم الجيومورفولوجيا.
- علاقة علم الجيومورفولوجيا بالعلوم الأخرى.
- تاريخ وتطور الجيومورفولوجيا التطبيقية.
- مناهج البحث في الجيومورفولوجيا وتقنياته وطرائقه.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تعريف علم الجيومورفولوجيا – التطبيقي:

يتألف مصطلح الجيومورفولوجيا Geomorphology من ثلاث مقاطع ويتابة الأصل هي (γῆ) وتعني الأرض Geo، و(μορφή) وتعني شكل morph، و(λόγος) تعني علم أو دراسة Logos، فيصبح التعريب الحرفي للمصطلح: علم شكل الأرض، ويُعتقد أن العالم Lehmann هو أول من أدخل الكلمة إلى اللغة الألمانية عام (١٨٠٨)م، في حين يعود الفضل لكل من ماك جي وبويل (Mc Gee & Powell) باستخدام المصطلح باللغة الإنكليزية عام (١٨٨٨)م، وقد شاع المصطلح بصيغته الحالية Geomorphology بعد الاعتراف الدولي الذي حظي به في المؤتمر الجيولوجي عام (١٨٩١)م، إلا أن تيساً قد يضرب فيهم مجال الجيومورفولوجيا، وقل تعريفها الحرفي، بأنها تهتم بدراسة شكل الأرض أو كوكب الأرض، وهو مجال علم آخر يعرف بالجيوفيزياء geophysics، لذلك كانت بعض الترجمات العربية موفقة في تعريبه بناءً على مضمونه العلمي الحالي، فشاعت ترجمات مثل: علم أشكال سطح الأرض، وعلم أشكال تضاريس سطح الأرض، ويقابله مصطلح مظاهر الأرض (Landscape) في كثير من اللغات، ويُعرف بأنه العلم الذي يدرس أشكال تضاريس سطح الأرض، تصنيفاً وتفسيراً وتعليلاً للعلاقات المكانية والزمنية للعوامل والعمليات المسؤولة عن تكوينها وتطورها وتوزعها. أما عن جانبه التطبيقي فقد أصبح أكثر تحديداً وضوحاً منذ سبعينيات القرن الماضي، وبعد تطوره نقطة تحول مهمة في علم الجيومورفولوجيا، إذ يهتم بدراسة القضايا التي تتعلق بتنمية الموارد الطبيعية والتقليل من المخاطر التي ترتبط بمظاهر سطح الأرض، والتخطيط على جميع مستوياته المحلي والإقليمي والدولي، للحفاظ على التوازن البيئي (Goudie (ed) 2004. Pp 28-33). ويقابله أحياناً مصطلح "الجيومورفولوجيا الهندسية Enginoering Geomorphology".

وقد زاد الاهتمام بالجيومورفولوجيا التطبيقية لعدة أسباب، منها:

١. الوعي المتزايد من جانب صناع القرار بتعقيد الظروف البيئية، وتزايد خطر بعض الظاهرات الجيومورفولوجية المدمرة، كالانهيارات الأرضية والفيضانات.
٢. بناء قاعدة بيانات ومعلومات جيومورفولوجية خاصة بالتطبيقات الهندسية العمرانية والمدنية والزراعية.
٣. التقارب العلمي بين الجيومورفولوجيين وغيرهم من العلماء، مما أخرج الجيومورفولوجيا من مزالقها النظرية.
٤. تحول الفكر الجيومورفولوجي لمعالجة مشكلات معاصرة، بدل الانشغال بالجوانب النظرية والعامة.

٥. التطور التقني في وسائل البحث الميداني والمخبري والمكتبي، وشيوع استخدام نظم المعلومات الجغرافية GIS في معالجة البيانات ورسم الخرائط.

ويمكن إيجاز مهمة الجانب التطبيقي للجيومورفولوجيا بالاستفادة الكاملة من الجانب النظري – بمفاهيمه ونظرياته وطرقه ومنهجيته وخرائطه- لهدف درء المخاطر الناتجة عن تضاريس سطح الأرض وعملياته، وجلب المنفعة من خلال الاستخدام الأمثل لمظاهر سطح الأرض والعمليات الجيومورفولوجيّة.

وقبل الخوض في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية لا بد من تحديد بعض المفاهيم التي تساعد في فهم المُركّب الجيومورفولوجي Geomorphologic combination لسطح الأرض في منطقة ما، فما من بقعة على سطح الأرض إلا وتجتمع فيها مكونات رئيسة، كالمناخ بعناصره، والصخور بأنواعها، والمياه بكافة أشكالها...، إلا أن بعض عناصر هذه المكونات يكون فاعلاً ونشطاً أكثر من غيره، وهي ما يمكن أن نطلق عليها العوامل Factors، كالمياه الجارية في أحواض التصريف، والحرارة المتباينة مع الرياح في الصحاري، والقوى الباطنية في مناطق انتشار البراكين والزلازل. وهي في مجملها متغيرة مكانياً وزمنياً. ترتبط عناصر المكان فيما بينها بعلاقات متبادلة من تأثير وتأثر من خلال العمليات Processes، وهي الآليات التي يتم وفقها تشكل تضاريس سطح الأرض وتطورها، منها ما هو باطني أو داخلي – وتعرف بالعمليات البانيّة لطبوغرافية السطح- كالحركات المولدة للجبال والثورات البركانية وعمليات الرفع والطي والتصدع، ومنها ما يكون خارجياً، يرتبط بعناصر المناخ والإنسان – وتعرف بالعمليات الهادمة – التي تعمل على تسوية سطح الأرض، فتزيل المرتفع منه بالحت وترفع سوية المنخفض بالترسيب، وتكون البصمة الجيومورفية لسطح الأرض انعكاساً لسيطرة إحدى المجموعتين السابقتين من العمليات، فتكون الغلبة لمن **اشتد فعله وطال أمده**، فسطح أرض جزر إندونيسيا واليابان مثلاً بنيوي – بنائي، تسيطر على مجريات أحداثه وتضبط إيقاعات مظاهره البراكين والزلازل، في حين تنتشر مظاهر مناخيّة الطابع في الصحاري وأحواض التصريف المائي والمناطق الجليدية.

- **مجال علم الجيومورفولوجيا – التطبيقي.**

أما في المجال التطبيقي من الجيومورفولوجيا- الذي يهتم **بعلاقة مظاهر سطح الأرض وظاهراته بالإنسان**- فلا بد من العمل فيه على محورين متوازيين، الأول: هو تحديد أشكال مظاهر سطح الأرض، وتصنيفها، ومدى الانتفاع بها، أما الاتجاه الثاني فهو الأهم: ويستدعي فهم آليات نشوء الظاهرات السطحية (كالانزلاقات والانهيالات والتملح والخسوف الأرضية، والفيضانات و الحت النهري...). وتأتي أهمية العمليات الجيومورفية، من كونها

تسبب تغيرات قصيرة الأمد عبر ظاهرات تمس النشاط البشري، فتؤدي إلى أضرار في بعض الأحيان إلى حدود كارثيّة، وبالتالي فإن إدراك أساليبها وسلوكها، يسهم في الحد من مخاطرها مع التأكيد أن العمليات الباطنية، كالزلازل والثورات البركانية، ما زالت حتميّة التأثير في الإنسان، فليس بمقدوره حتى الآن إلا أن يتنبأ بحدوثها وفق مهمش زمني قليل نسبياً، في حين أن العمليات الخارجية، كالفيضانات وانجراف التربة والانهيارات.. أقل خطراً لسهولة التنبؤ بها ورصدها ومراقبتها، مع ضرورة الأخذ بعين الحسبان المستوى الحضاري والتقني والعلمي والوعي الاجتماعي للدولة.

إن فهم النظام الجيومورفي Geomorphic system ومدى توازنه، يعد شرطاً لازماً للخوض في الجانب التطبيقي، بل يستدعي معرفة علوم أخرى كالجيولوجيا والهندسة والهيدرولوجيا- وليس الإحاطة بها فقط، لذلك وجب العمل ضمن فريق من المتخصصين- فإن أي خلل في توازن النظام يتبع تداعيات من بقية مكوناته. إما لاستعادة التوازن السابق، أو للوصول إلى نظام آخر متوازن، وفق ما استجد من متغيرات. ويمكن القول إن أي خلل طبيعي في النظام الجيومورفي، كثورة بركان أو حدوث زلزال، ما هو إلا حلقة في سلسلة تطوره، إلا أن تدخلاً بشرياً قد يغير مسار تطور المشهد التضريسي، كما يحدث حالياً من قطع لغابات إندونيسيا التي تغطي مئات آلاف الهكتارات. فيعرض تربتها للانجراف، مما يسبب تراجع سواحلها.

ومن الضروري تأكيد أن المجال الجيومورفولوجي حيوي، متسع، ومتغير مكانياً وزمنياً، وقد اكتسب هذه الحيوية من ارتباطه العضوي بالنشاط البشري المستمر والمتعاظم على سطح الأرض، لذلك يمكن القول إن مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية سيغدو أكثر تنوعاً من مجال الجيومورفولوجيا النظرية - وإن كان الفصل بينهما افتراضياً- وقد وصلت الجيومورفولوجيا التطبيقية إلى أوج طموحها مع اقتراح (Gilvear: 1999. P 245) لتطبيق **سياسة التخطيط الاستباقي** Proactive planning policy، من أجل التعامل هندسياً وبشكل سليم مع تضاريس سطح الأرض والطبيعة عموماً. بدلاً من انتظار رد فعلها على المشاريع الهندسية، لتقييم نجاحها جيومورفولوجياً وفق معايير الحفاظ على توازنها البيئي.

وليس أدل على أهمية الجيومورفولوجيا التطبيقية من صدور دليل جيومورفولوجي عام (1997)م أعده الجيومورفولوجيون المختصون بأحواض التصريف النهرية، لتوجيه فريق

مهندسي الجيش الأمريكي في مشاريعهم الهندسية وخططهم العسكرية. كما أقرت العديد من الدراسات الهنغارية بأهمية الدراسات الجيومورفولوجيّة في المشاريع الكبرى منذ صدور بحث (M. PÉCSI) عن مشكلات الجيومورفولوجيا الهندسية Problems of engineering geomorphology عام (١٩٧٠)م، وبعد أن أوصت العديد من المؤسسات البحثية والعلمية الأوربية بعد فيضانات نهر تيسا Tisza بين عامي (١٩٩٨-٢٠٠١)م، بدعم التحقيقات الجغرافية من خلال إنتاج خرائط تضريسية ذات مقاييس مختلفة. أصبحت الدراسات الجيومورفولوجيّة جزء مهم من عملية التخطيط الإقليمي، لتوفير بيئة آمنة للمشاريع الكبيرة (Schweitzer: n d. p 385).

مهام علم الجيومورفولوجيا – التطبيقي:

إن تنامي تدخل الإنسان في مظاهر سطح الأرض، وبدء ظهور نتائج ذلك على النظم البيئيّة والهيدرولوجيّة والجيومورفولوجيّة، وسعّ من مهام الجانب التطبيقي في الجيومورفولوجيا وزاد من تنوعها، وقد حدد المؤتمر الرابع للجيومورفولوجيا في إيطاليا (FICG. 1999. Pp137-139) **محاور الجيومورفولوجيا التطبيقية**، على النحو الآتي:

١- الدراسات البيئية Environmental studies: تتعلق تحديدا بمجالات البيئة وعلوم الأرض، بما في ذلك ذات الصلة برسم الخرائط الموضوعية وتقييم الموارد، وقد تتشارك العديد من الدراسات مع علوم البيئة، مما يرفع من قيم الفائدة، ويقلل تكاليف وزمن وجهد البحث العلمي. وقد استخدم مؤخراً نهج النماذج المتعددة لإدارة متنزه إيفيرجليددس Everglades Park الوطني جنوبي ولاية فلوريدا الأمريكية، من خلال دمج النماذج الفيزيائية (الطبيعية) والهيدرولوجية في نماذج بيئيّة، لرصد مشكلات المتنزه على مختلف المقاييس المكانية، وتقديم الحلول الأنجح لها، كما طبق مشروع مماثل في بانتنال Pantanal في البرازيل، و بوليفيا والباراغوي.

٢- دراسات تأثير الإنسان في البيئة Human impact on the environment: تتعلق بدراسة الآثار الطفيفة أو المركزة أحياناً، ومن الأمثلة على ذلك الدراسات الجيومورفولوجيّة الخاصة بالتنمية الريفية والتخطيط الإقليمي، أو في البحوث ذات الصلة للتحضير وتنفيذ الأعمال الهندسية، وتقييم تسارع حت وتعرية وتدهور الأراضي والتصحر، وتأثير العمليات في حت وتراجع السواحل، وتدخل الإنسان بالأنظمة النهرية

ومعظم الأنظمة البيئية، أو ما يمكن أن يطلق عليه البعد الإنساني العالمي للتغير البيئي Human Dimension of Global Environmental Change (HDGC).

٣- دراسات الأخطار والكوارث البيئية Studies on environmental hazards and disasters: تتعلق بدراسة الأخطار الطبيعية كالثورات البركانية والزلازل والمخاطر الطبيعية خارجية المنشأ مثل الفيضانات، الانهيارات الأرضية.. الانهيارات الثلجية، والتدخل البشري غير المناسب في البيئة، والهدف منها الحد من الكوارث الطبيعية.

٤- دراسة التغير البيئي العالمي والعواقب المحتملة لظاهرة الاحتباس الحراري. مثل استقرار الصفائح الجليدية في القطب الجنوبي، وحساسية الأراضي الرطبة الساحلية تجاه ارتفاع مستوى سطح البحر، وإعادة تنشيط حركة بحار الرمال.

٥- دراسة الحدود والعتبات الجيومورفولوجية الحرجة Limits and geomorphological thresholds are critical، وما لها من تأثير كبير في إحداث التغيرات ذات الأبعاد الخطيرة، من خلال ما يعرف بالدراسات الاستقصائية.

٦- رصد التغيرات الجيومورفية، في الشكل والعملية، وإعداد الخرائط الخاصة للسواحل والأنهار والألسنة والأغشية الجليدية.

٧- تقييم الموارد الطبيعية من وجهة نظر جيومورفولوجية.

٨- الإسهام في الإدارة والتخطيط البيئي Environmental planning and management

٩- تتبع تطور الأقاليم واستقرارها الجيومورفولوجيّ، وفق رؤية واسعة تكفلها الخلفية الجغرافية للباحث الجيومورفولوجي.

١٠- تحديد اتجاه العمليات الجيومورفية الخطرة، و المفيدة. مثل: تكرار الفيضانات واتساع التملح والتصحر وزحف الرمال. للتنبؤ بالمخاطر المتوقعة من خلال الدراسات الجادة والنوعية، مع الرصد والمتابعة.

أما البعد الزمني لمجال الجيومورفولوجيا التطبيقية فيشمل الحقب الرابع، الذي يضم الفترات التي ظهر فيها الإنسان، وتعاظم فيها تأثيره في البيئة، ويمكن التركيز على فترات أقصر، كتلك التي تسبق الخطر الطبيعي أو تواكبه.

إن مهمة الجيومورفولوجيا التطبيقية هي دراسة مدى تأثير الإنسان في مظاهر سطح الأرض وتأثره بها، وتحقيق هدفين غاية في الأهمية هما: **دفع الضرر و/ أو جلب المنفعة للإنسان**، ولا يتأتّى ذلك من خلال نظرة أحادية – أي جيومورفولوجيّة– أو حتى ثنائية جيومورفولوجيّة – جغرافية، بل يجب أن تشترك بهذا العمل جهود متكاملة من اختصاصات يتطلبها نوع المظاهر والعمليات المؤثرة في الإنسان ونشاطاته، مما دعا هيئة الأمم المتحدة عام (١٩٧٢)م، لإنشاء مكتب (ANDRO) الخاص بتنسيق عمليات الغوث عند الكوارث، وتشكيل لجنة (IDNDR) للتقليل من خسائر الكوارث الطبيعية عام (١٩٨٩)م.

ويمكن تحديد **المهام العامة** للجيومورفولوجية التطبيقية، بما يلي:

١. تحديد الوضع التضريسي للموقع، وتقييم حساسيته تجاه أي تغيير. ولا تنحصر الدراسة فقط على موقع المشروع، ولكن تتناول السياق المكاني والإقليمي.
٢. تحليل وتفسير الوضع التضريسي السابق للمنطقة أو الموقع، والذي يمكن أن يؤثر في حاضره – باستخدام نماذج نظرية، وقواعد البيانات التاريخية.
٣. التنبؤ بظروف الموقع في المستقبل – باستخدام تطبيقات النمذجة الحاسوبية، التي تساعد على التنبؤ بمختلف تصورات الإدارة المحتملة. أي التنبؤ بكيفية تطور المشهد التضريسي في المستقبل.
٤. تحديد كيفية عمل كامل المشهد التضريسي، من حيث تنوع الآليات والمظاهر فيه.
٥. تسليط الضوء على أنماط استخدام الأراضي في الوقت الحاضر وانعكاسها على تضاريس المنطقة، بالإضافة إلى إبراز دور العوامل والعمليات الجيومورفية في أنماط استخدام الأرض.
٦. تقييم حالة التدخلات البشرية وآثارها وأنواعها وحجمها، ومدى التغير الذي أحدثته في المشهد التضريسي – الطبيعي. وتقييم تأثير هذه التدخلات.
٧. تقدير مدى استجابة المشهد التضريسي للتحسينات والإجراءات المعتمدة لترميمه، أو إعادة توازنه الطبيعي.

المهام المباشرة أو الخاصة للجيومورفولوجيا التطبيقية:

١. دراسة أحواض التصريف المائي والمشاركة في خطط بناء الخزانات والسدود المائية وصيانتها.

٢. تحديد مواقع تعرية التربة بالمياه و/أو الرياح، وطرح حلول لها.
٣. تتبع تغير مجاري الأنهار والقنوات المائية، وتأثير هذا التغير في مناطق الدلتاوات والمراوح الفيضية..
٤. استغلال الصحاري والأراضي الجافة وشبه الجافة وتتبع العواصف الرملية وأثرها على نشاط الإنسان.(علي عنازة :٢٠٠٦).
٥. الإسهام في المخططات العسكرية والحربية، وخصوصاً تلك التي تعتمد على مظاهر سطح الأرض، كممهم المشاة والدبابات، واختيار طرق الإمداد، وتحديد المواقع الأنسب لخوض المعارك، وإنشاء التحصينات الدفاعية في المواضع الأفضل.
٦. إبداء الرأي في بعض الدراسات والمشاريع الخدمية الهندسية، كالطرق والسكك الحديدية والجسور.
٧. توجيه المشاريع العمرانية والزراعية والخدمية، للاستفادة من مظاهر السطح، وتجنب مخاطره، مما يوفر الجهد والوقت والمال.

يفرض التركيز على علاقة الإنسان بالبيئة وتصديه لما ينتج عن ذلك من مشكلات أو منافع. **على الجيومورفولوجي التعامل مع الحلول وفق الاستراتيجيات التالية:**

أ- **الابتعاد عن مواقع الخطر:** من جهة شكل التضريس أو نوع العملية الجيومورفولوجية، وهو الحل التقليدي حيث لا تدعو الحاجة لاستخدام الأراضي المعرضة للخطر الجيومورفي.

ب- **التعامل مع الخطر من خلال التدخل بشكل التضريس**، وذلك وفق مستويات أربعة:

١/ب- تغيير شكل التضريس لاستخدامه: كتسوية المنحدرات لإعمارها أو زراعتها، وبناء السدود فوق الأنهار لخزن مياهها أو تنظيم جريانها، وهو حل يتطلب مستويات عالية من التقنية والتكاليف.

٢/ب- اتخاذ إجراءات الحماية والوقاية بتغيير شكل التضريس: كما يحدث عند الأكواع النهرية، وهنا لا يتدخل الإنسان في شكل المجاري المائية، بل يعمد إلى إكسائها بالحجارة أو الإسمنت.

٣/ب- التعايش مع التضاريس الخطرة: لا يتدخل الإنسان في شكل التضريس أو وتيرة العملية الجيومورفولوجية، وذلك إما لعدم قدرة الإنسان على ذلك تقنياً أو علمياً أو مالياً، كما هو الأمر في بنغلاديش التي تعاني فيضانات نهر براهما- بوترا المتكررة.

ج- التعامل مع الخطر بالتدخل في العملية الجيومورفولوجيّة، يتم ذلك من خلال:

١/ج- تغيير العملية المسببة للخطر، كإيقاف فيضانات الأنهار ببناء السدود.

٢/ج- اتخاذ إجراءات الحماية من العملية، كتوجيه تيارات المياه في الأنهار أو صد عمل الرياح.

٣/ج- التعايش والتكيف مع العمليات الخطرة: كالسكن في مناطق الانهيارات الثلجية.

٤/ج- الاستفادة من العمليات الجارية: كتوليد الطاقة من الأمواج البحرية والشلالات النهرية.

كما يجب على **الجيومورفولوجي إتقان بعض المهارات التي تساعده في إجادة عمله**، ومنها:

١. امتلاك القدرة على تفسير المشاهد الطبيعية وتصنيف التضاريس.

٢. إعداد الخرائط، وتفسير الصور الجوية والفضائية، لما لهذه الوسيلة من أهمية في تمثيل الظاهرات الجيومورفولوجيا، بناء على المسوحات الميدانية واستخدام الخرائط الطوبوغرافية وتقنيات الاستشعار عن بعد، وأجهزة تحديد المواقع الجغرافية GPS، وبرامج نظم المعلومات الجغرافية GIS، ونماذج الارتفاع الرقمي. وإعداد خرائط ذات أهمية خاصة لتخطيط استخدام الأراضي .

٣. استخدام تقنيات قياس العمليات الجيومورفولوجيّة.

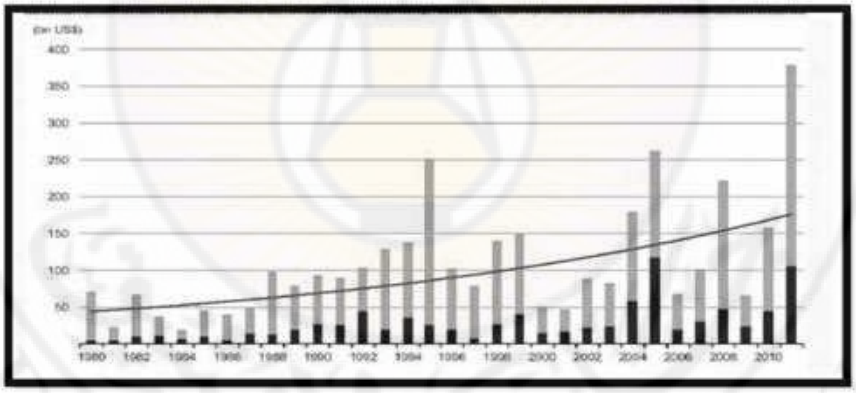
٤. مراقبة العلاقات بين العناصر البيئية، فعلى سبيل المثال، فإن بناء جدار للحد من حت التربة على الخط الساحلي، يمكن أن يكون له آثار سلبية غير مقصودة على الاستقرار في نظام إمداد الشواطئ بالرواسب.

مفهوم الكوارث والأخطار الجيومورفولوجيّة

أكدت فيضانات عقد الخمسينيات التي ضربت الولايات المتحدة الأمريكية، المخاوف التي أطلقها وايت (White 1945) في مقالته. والتي اقترح فيها ضرورة تطبيق مبادئ

هندسيّة لضبط الفيضانات على المدى البعيد في الولايات المتحدة الأمريكية، ومواجهتها بطرق وأساليب محددة.(محمد صبري محسوب، محمد أرباب: ١٩٩٨، ص ١٤).

وقد زاد الاهتمام الدولي بالكوارث الطبيعية مع ارتفاع عدد ضحاياها، الذي قدّر بين عامي (١٩٠٠- ٢٠١٤)م بنحو (٣٠) مليون شخص، كما تضرر منها نحو ربع سكان الأرض، وتجاوزت قيمة الخسائر المادية تريليون دولار (علي موسى: ٢٠١٦، ص ١٣). وهي في حالة تزايد بشكل مطرد. فقد بلغت قيمة الخسائر الاقتصادية الناتجة عن الكوارث الطبيعية بين عامي (١٩٨١-١٩٩٠) نحو (٥٢٨) بليون دولار أمريكي، وارتفعت خلال العقد التالي إلى (١,١٩٧) بليون دولار أمريكي، لتزيد على (١,٢١٣) بليون دولار أمريكي خلال (٢٠٠٠-٢٠١٠)م، ويعد عام (٢٠١١) العام الأعلى تكلفة top costly year، فقد تسبب زلزال اليابان وما نتج عنه من تسونامي بخسائر غير مسبوقة في السجل العالمي للكوارث، فقد رفعت مجمل قيمة خسائر هذه السنة وحدها إلى (٣٧٠) بليون دولار أمريكي. شكل رقم (١-١)، (Kunreuther & Michel-Kerjan: 2012. P 1).



شكل رقم (١-١) الخسائر المادية الناتجة عن الكوارث الطبيعية بين (١٩٨٠-٢٠١١)م

Sources: Munich Re, Geo, Risks Research.

وقد أنشأت هيئة الأمم المتحدة عام (١٩٩٣)م. مكتباً لتقييم الكوارث الطبيعية والتنسيق The United Nations Disaster Assessment and Coordination، واختصاره (UNDAC)، ليكون جزءاً من نظام الاستجابة الدولية لمواجهة الكوارث الطارئة والمفاجئة، خلال مدة تراوح بين (١٢-٤٨) ساعة. وحُددت مهمته بتقليل الخسائر الناتجة عن الكوارث، ومد يد العون المادية والعلمية للدول المعرضة لها، ورفع سوية استعداد الدول والمجتمعات لمواجهتها (http://www.unocha.org/toolsشبكة المعلومات الدولية،). كما أطلقت هيئة الأمم المتحدة على العقد الأخير من

القرن الماضي، العقد الدولي للتقليل من الكوارث الطبيعية Decade for Natural Disaster Reduction، في محاولة منها للسيطرة على الأسباب البشرية التي تقف وراء هذه المخاطر، كالدفيئة والاستخدامات الخاطئة لسطح الأرض، وتشجيع البحوث النظرية والعملية المتعلقة بالمخاطر الطبيعية.(Vilimek & Spilkova . 2009. P 332).

ويؤكد حدوث الكوارث من حين لآخر صحة آراء مدرسة الحتمية Determinism في الجغرافيا، إلا أن حجم الخسائر التي تخلفها الكوارث، يختلف من دولة إلى أخرى حسب استعداد هذه الدول للمخاطر الطبيعية. وقد نجحت الكثير من الدول المتقدمة في تقليل حجم خسائرها، ليصبح قبول آراء أصحاب مدرسة الإمكانية Possibilism في الجغرافية أكثر قبولاً. وتُعرّف **الكارثة الطبيعية** على أنها حدث مفاجئ أو متوقع، يسبب أضراراً فادحة في الأرواح وخسائر مادية كبيرة، لذلك تتميز بعدة خصائص منها: سرعة الحدوث والتتابع أو الفجائية كالزلازل وتوابعها، والاتساع، وعدم القدرة على احتوائها، كالفيضانات، والشدة كالثورانات البركانية والانهيارات الأرضية. (خلف الدليمي: ٢٠٠٩، ص ٢٩). في حين عرفها مكتب اليونسكو (٢٠٠٩) natural disaster هي حادثة طبيعية مدمرة تضرب منطقة ما أو أكثر، تهدد المصالح الوطنية للبلاد، مؤدية إلى خسائر بشرية واقتصادية وبيئية واجتماعية واسعة الانتشار، بحيث يحتاج التعافي من آثارها الضارة إلى جهود مضنية ووقت طويل، ويشارك في التخلص من آثارها العديد من المؤسسات والمنظمات الحكومية وغير الحكومية وإلى مساعدات خارجية في أغلب الأحيان، وتنجم الكارثة الطبيعية عن حدوث ظاهرة طبيعية ما وتفاعلها مع ظروف العيش الرديئة للإنسان وممارساته الخطأ في حق مسكنه وبيئته التي يعيش فيها.

ويجب التفريق بين مفهومي الكارثة والخطر الطبيعي، فالأخير وفق موسوعة دعم أنظمة الحياة Encyclopedia of Life Support: هو ظاهرات طبيعية مفرطة extreme phenomena في شدتها، تهدد حياة الإنسان، ونشاطه الاقتصادي، والأنظمة البيئية، وتنذر بحدوث كوارث نادرة ومدمرة، على شكل أحداث مفاجئة كالزلازل، أو بطيئة كحت التربة، (Alexander: 2009. p1). كما عرّفه مكتب (UNDRC) على أنه حدوث محتمل لظاهرة طبيعية ضارة Damaging Phenomenon في فترة زمنية محددة، ومنطقة معينة. (محمد محسوب، محمد أرباب: ١٩٩٨، ص ٣٦). أما الكارثة Catastrophe، فهي فاجعة ضربت منطقة ما بعنف، وسببت أضراراً فادحة على المستوى الإنساني والطبيعي، إلا أنه يجب النظر إلى الكارثة من خلال العلاقة بين العامل المؤثر وهو الخطر، والمتأثر أي المجتمع، فتعرّف **الكارثة على أنها مزيج من حدث طبيعي عنيف، وضعف القدرة على مواجهته، فينتج عن ذلك اضطراب وارتباك في أداء**

المجتمع ومؤسسات الدولة، وخسائر فادحة على كافة الأصعدة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية. ومن المصطلحات المستخدمة أيضاً مصطلح Hazard، ويقصد به مصدر الخطر، كأن يكون مناخياً أو جيولوجياً، وقد يستخدم بمعنى الخطر ذاته. وكذلك الخطر المحتمل Risk، ولكنها أقل شيوعاً على المستوى العالمي (محمود خضر: ١٩٩٧، ص ٥).

إن فهم العلاقة بين تضاريس سطح الأرض والعمليات الجيومورفولوجية من جهة، والمخاطر الطبيعية من جهة أخرى، يساعد في طرح حلول ناجعة للتقليل من خطرها والحد من كارثيتها، وبذلك يمكن للجيومورفولوجي أن يكون عنصراً فاعلاً في إدارة البيئات الطبيعية، وقد حدد كل من هيلز (Hails . ed: 1978. Pp 7-8)، و دونز وبوث (Downs & Booth: 2011. P81)، مهام الجيومورفولوجيا التطبيقية في إدارة البيئات، بالآتي:

١- دراسة الوحدات التضريسية، وتحليلها، وتصنيفها حسب خصائصها المتمايزة.

٢- التنبؤ بالمخاطر الطبيعية واقتراح حلول لها.

٣- الانتقال من مرحلة التحليل إلى مرحلة التخطيط.

٤- تحديد حجم تأثير الإنسان في العمليات الجيومورفولوجية.

٥- التخطيط لحماية البيئة.

٦- تقييم موارد البيئة واستثمارها بشكل متوازن.

تصنيف المخاطر

تعددت تصانيف المخاطر الطبيعية بتنوع المعايير التي أُعتمدت لذلك، ولعل أكثرها شيوعاً هي التي اعتمدت على العامل المسبب، ومنها تصنيف بيرتون وكاتس Burton & Kates لعام (١٩٧٤)، الذي حُددت فيه المخاطر الطبيعية بنوعين، هما الأخطار الجيوفيزيائية Geophysical Hazards، والأخطار البيولوجية Biological Hazards. ضمت المجموعة الأولى: الأخطار المناخية، والجيولوجية - الجيومورفولوجية، بينما شملت الثانية: المخاطر النباتية والحيوانية، أما تصنيف هارت (Hart: 1986.p 140) فيتميز **بشموليته ومرونته**، جدول رقم (١-١)، حيث بُني على أساسين:

أ- العامل المسبب: كالزلازل والبراكين والفيضانات.

ب- بيئة الخطر: كالبيئة النهرية والساحلية والجافة والجليدية وشبه الجليدية.

و مما يؤخذ على التصنيف، أنه:

جدول رقم (١-١) تصنيف هارت لأهم المخاطر الجيومورفولوجيّة

التراكمي	التعرية	الانهيار	المنحدرات غير المستقرة	السواحل	المناطق الجافة وشبه الجافة	شبه الجليدية	الجليدية
الغازات	الملحية	الفيضانات	حركة الكتل	فيضانات البحر	التذرية	الجليد الأرضي	الأخاديد
اللابة	التجلد	تعرية التربة	زحف التربة	التسونامي	الحت الريحي	تشقق الجليد	الكهوف
التيفرا	الغسل	الغسل	الانهيارات	حت الجروف	بحار الرمال	تقطع الجليد	الموريانات
الرماد	الحرارية	الحت المساحي	تدفقات الطين	عدم استقرار المنحدرات	زحف الرمال	عوم الجليد	ذوبان الجليد
القنابل	التجفف والترطيب	غسل الهطل	انهيارات أنقاض	تدمير الشواطئ	التصحر	الإذابة	الانهيارات
السحب المتوهجة	توغل الجذور	الحت بالمسيلات	تدفقات تربة	الترسيب عند مداخل المرافئ	التملح	فيضانات الأنهار	فيضانات ذوبان الجليد
الانهيارات	التميؤ	الحت بالأخاديد	انزلاقات صخرية		السيول	تحطم الجليد	الحت الريحي
اللاهار	الإذابة	حت الأسرة والضفاف	انزلاقات حطام		مراوح الأنقاض	تصلب الجليد	
الفيضانات	الكربنة	هجرة الأنهار	الانهيال		تدفقات الطين		
	التلوث	الترسيب	الخسف				
		فيضانات الخزانات	تساقط الصخر				

Hart : 1987. P 140

١. لم يتضمن كل المخاطر الطبيعية كالهزات الأرضية المصاحبة للبراكين، والزلازل والتشققات الأرضية.

٢. خلط هارت بين العامل المسبب والعملية المسببة.

٣. صنف هارت السيول والفيضانات ضمن فئة المخاطر المناخية، على الرغم من كونها نتاجاً مشتركاً بين المناخية والجيومورفولوجيّة.

٤. خلط التصنيف بين العمليات والمظاهر، فضم بحار الرمال ومراوح الأنقاض مثلاً لفئة العمليات الجيومورفولوجيّة التي تحدث في المناطق الجافة، كالتذرية والتملح.

٥. صُنفت المخاطر على أساس البيئات، إلا أنه اعتبر التجوية –بيئة– مع أنها عملية تحدث في مختلف البيئات.

إدارة الكارثة:

تتم إدارة الكوارث من خلال مؤسسات خدمية وطبية وبحثية وفق إطار من العمل المنسق والمتكامل، ضمن خطة يدعمها قرار سياسي و رؤية واضحة للمشكلات والحلول.

تهدف الإدارة البيئية إلى إيجاد توازن وتنسيق بين المؤسسات المعنية بدراسة البيئات الطبيعية، للحفاظ عليها، والعمل على استثمارها دون إجهادها، ودعم توازنها الذاتي بطرق مباشرة أو غير مباشرة. إضافة إلى تعزيز الوعي البيئي والاجتماعي بأهمية كل ذلك (Wilson & Bryant: 1997.p 7) وحددت لها خمسة أبعاد:

١- البعد المكاني ووظيفته.

٢- الآثار المترتبة على التدخل البشري أو المتوقعة من ذلك.

٣- دراسة الوضع الحالي للمنطقة.

٤- تشخيص الوضع الثقافي للمجتمع.

٥- الإطار السياسي والإداري والقانوني.

إن أفضل أساليب إدارة الكوارث ما كان منها مبنياً على خطط مسبقة، تتوقع الكارثة من حيث حجمها وتوزعها الجغرافي، وأنجع تلك الخطط ما وافق توقعاتها الواقع، مما يعكس فهماً تاماً للعمليات التي تسببها، وإدراكاً كاملاً لخصائصها من حيث زمن الحدوث، ومساحة الدمار، وحجم الخسائر، وتبعات الكارثة، وتساعد معرفة نوع الكارثة حسب توزعها الجغرافي في وضع خطة استباقية لتدارك مخاطرها، حيث يمكن تصنيف الكوارث على النحو الآتي:

أ. نمط محدد موقعياً: كالبراكين والفيضانات.

ب. نمط محدد واسع النطاق مجهول الامتداد: كالزلازل والأعاصير.

نمط لا يمكن التنبؤ بسلوكه: كالصواعق.

يعتمد مفهوم إدارة الكوارث على ثلاثة أسس:

- التأهب لمواجهة الكوارث بالفرق المتنوعة التي تؤمن عمليات التنظيم والإغاثة، وتحسين قدرات المؤسسات ودعمها بأنظمة الرصد والإنذار المبكر monitoring and early warning systems.
- تحسين وسائل الوقاية من الكوارث improving prevention tools. من خلال جمع البيانات عن الأخطار ومصادرها، ونشرها على شكل خرائط ونماذج محاكاة حاسوبية، وهي إجراءات ما قبل الكارثة.
- التخفيف من آثار الكوارث، أثناء حدوثها وبعدها: ولكي يتم ذلك يجب إنشاء مركز إدارة الكارثة the Disaster Management Center (DMC) في الدول المعرضة لخطرها، وتجهيزه بالآتي:
- كوادر علمية وفنية وخدمية لدراسة الحدث من حيث الوصف والتفسير والتحليل، ويتم اختيارهم حسب ما يتطلبه نوع الخطر وأبعاده الاجتماعية والاقتصادية.
- تقنيات متطورة تتعلق بالإدارة وتنفيذ الإجراءات.
- خطة واضحة تبين نطاقات عمل كل فرع من فروع العمل أو فرقه.
- قاعدة بيانات شاملة ودقيقة توزع على المعنيين بدراسة الحالة ومتابعتها.
- دعم من جهة القرارات السياسية وإمكانية توفير بيئة عمل مناسبة .

إلا أن الدراسات الحديثة التي اعتمدت على تقنيات الاستشعار عن بعد، والأبحاث العلمية المتخصصة بمتابعة ورصد بعض المخاطر السابقة، خفضّ من مستوى خطورتها، ورفع من إمكانية تداركه، فأصبح بالإمكان رسم مسارات الأعاصير بتتبع نشأتها، وأحوال الطقس من خلال الصور الفضائية الآنية، كما تنذر محطات الرصد الزلزالي بالنشاط المتصاعد للبراكين، فيصبح توقع انفجارها أكثر دقة.

أسباب تعقيد بعض الكوارث الطبيعية:

يقف وراء صعوبة التعامل مع بعض الكوارث أو الحد من تفاقمها، عدة عوامل منها:

أ- أن بعض الكوارث مفاجئة، وتحدث في زمن قصير بل خاطف، مما لا يتيح الفرصة أمام الإنسان لتدارك خطرها، فيصاب مجتمعه بالإرباك والاضطراب وتزداد خسائره، كالسيول والبراكين.

ب- صعوبة التنبؤ بإمكانية تحول الخطر إلى كارثة، مكانياً وزمنياً، كما حدث قبيل ضرب إعصار كاترين Hurricane Katrin لسواحل الولايات الجنوبية والشرقية من الولايات المتحدة الأمريكية، عام (٢٠٠٥)م، والذي اعتبر من أعنف خمسة أعاصير ضربت البلاد منذ (١٩٢٨)م، وأكثرها تكلفة بالأرواح حيث تسبب بمقتل (١٨٣٣) شخصاً، وخسائر بنحو (١٠٨) مليار دولار، فقد كان من المتوقع أن يتجه الإعصار نحو فلوريدا وكان من المتوقع أن درجته هي من المستوى (٣)، لكنه تابع مساره واتجه نحو ولاية لويزيانا بسرعة (٢٨٠)كم/سا، ليبلغ المستوى (٥) من الخطر العالي، وقد اكتسب قوة تدميرية إضافية بعد مروره فوق المياه الدافئة لخليج المكسيك. إذ تسبب إعصار كاترينا بتدمير شديد على طول ساحل الخليج من وسط ولاية فلوريدا إلى ولاية تكساس، ويعتقد أن استخدام دفاعات غير مناسبة قد أسهم في زيادة حجم الكارثة، بالإضافة إلى فشل التنبؤات الجوية بتشخيص حالة الإعصار.

ت- تتصف بعض المخاطر بالتتابع كالزلازل، فمن الشائع أن تعقب الهزة الأرضية الرئيسة عدة زلازل تعرف بالتوابع وغالباً ما تكون أضعف قوة.

ث- من الكوارث ما يكون مركباً متنوعاً متداعياً، فثورانات بركان ما، قد تُرافَق بهزات أرضية، وينتج عنهما انزلاقات صخرية ضخمة تنتهي إلى البحر، فتسبب أمواج تسونامي عارمة، كما حدث في انفجار بركان كراكاتوا الشهير عام (١٨٨٣)م. مما يحول دون تدارك تداعياتها وتلافي مخاطرها.

مقاييس الخطر:

أورد (محمود خضر: ١٩٩٧، ص ص٣٠-٣٥) عدة مقاييس ومعايير للأخطار الطبيعية وذلك حسب طبيعة الخطر، والعامل المسبب له، حيث شاع استخدام مقياسيّ ريختر

وميركاللي للزلازل، ومقياس بيرفورت (Beafort 1805) لقياس شدة الرياح وقوتها، ومقياس بيير للفيضانات، وبريانت للمخاطر والكوارث الطبيعية.

مقياس بيير Beyer لتحديد خطر الفيضانات:

وضع بيير عدة معايير لتقييم الخسائر الناتجة عن الفيضانات، وهي:

١- تكرارية الفيضانات Frequency of floods: فكلما تكرر حدوث الفيضانات في ذات المواقع زاد حجم الخسائر الناتجة عنها.

٢- حجم الفيضان Flood Magnitude: من البدهي أن زيادة حجم المياه أكثر من قدرة القنوات والمجاري المائية على استيعابها، يقف وراء حدوث الفيضانات، فالعلاقة بين حجم المياه والفيضانات طردية، وكذلك خطورتها.

٣- معدل الارتفاع rate of Rise: إن ارتفاع مستوى مياه الفيضان يزيد من حجم الخسائر على المستويين الأفقي (المساحي)، والرأسي (الشاقولي)، فتتأثر المباني المرتفعة وتغرق كلما ارتفع منسوب مياه الفيضان، ويزداد الخطر كلما كانت المناطق ضيقة المساحة و مغلقة، وتحدد بالفترة التي يبدأ معها الفيضان ويصل إلى ذروته.

٤- الموسميّة Seasonality: يقصد بها فترة الفيضان، فإذا حدث في خلال موسم نمو المحاصيل زاد حجم الخسائر الناتجة عنه.

٥- طبيعة استخدام أراضي السهل الفيضي Land use of flood Plain: تؤدي استخدامات الأرض دوراً مهماً في زيادة حجم الخسائر أو تقليله، وتحدد بطبيعتها كثافة السكان والمستوى التقني وبالتالي زيادة حجم الخسائر بالأرواح والماديات.

٦- كفاءة خدمات الطوارئ Efficacy of Emergency services: توفر فرق التدخل السريع من الجيش والطوارئ والإسعاف.

مقياس بريانت 1991 Bryant لقياس الأخطار الطبيعية:

يشمل المقياس تسعة معايير تم من خلالها ترتيب الأخطار والكوارث الطبيعية، وقد اعتمد على سمات الظاهرة أولاً، ثم على تأثيرها في المنطقة، وهو من أهم التصانيف المعتمدة في قياس الأخطار الطبيعية، لبنائه على أسس يمكن قياسها كمياً. جدول رقم (٢-١). ومن المعايير التي وضعها بريانت:

جدول رقم (٢-١) مستويات الأخطار الطبيعية حسب معايير بريانت ١٩٩١.

الحادثة	درجة العنف	اتساع الحادثة	مساحة الأضرار	الفاقد بالأرواح	خسائر اقتصادية	الأثر الاجتماعي	التأثيرات طويلة الأمد	المفاجأة	الارتباط بأخطار أخرى
الجفاف	١	١	١	١	١	١	١	٤	٣
الأعاصير المدارية	١	٢	٢	٢	٢	٢	١	٥	١
الفيضانات	٢	٢	٢	١	١	١	٢	٤	٣
الزلازل	١	٥	١	٢	١	١	٢	٣	٣
البراكين	١	٤	٤	٢	٢	٢	١	٣	١
العواصف المدارية	١	٣	٢	٢	٢	٢	٢	٥	٣
التسونامي	٢	٤	١	٢	٢	٢	٣	٤	٥
حرائق الغابات	٣	٣	٣	٣	٣	٣	٣	٢	٥
انتفاخ التربة	٥	١	١	٥	٤	٥	٣	١	٥
ارتفاع سطح البحر	٥	١	١	٥	٣	٥	١	٥	٤
الزكام الجليدي	٤	١	١	٤	٤	٥	٥	٢	٥
العواصف الغبارية	٣	٣	٢	٥	٤	٥	٤	١	٥
الانزلاقات	٤	٢	٢	٤	٤	٤	٥	٢	٥
تعرية الشواطئ	٥	٢	٢	٥	٤	٤	٤	٢	٥
تدفق الحطام الجليدي	٢	٥	٥	٣	٤	٣	٥	١	٥
زحف المفتتات	٥	١	٢	٥	٤	٥	٤	٢	٥

الحادثة	درجة العنف	اتساع الحادثة	مساحة الأضرار	الفاقد بالأرواح	خسائر اقتصادية	الأثر الاجتماعي	التأثيرات طويلة الأمد	المفاجأة	الارتباط بأخطار أخرى
التورنادو	٢	٥	٣	٤	٤	٤	٥	٢	٥
العواصف الثلجية	٤	٣	٣	٥	٤	٤	٥	٢	٤
جليد الشواطئ	٥	٤	١	٥	٤	٥	٤	١	٥
السيول	٣	٥	٤	٤	٤	٤	٥	١	٥
العواصف الرعدية	٤	٥	٢	٤	٤	٥	٥	٢	٤
الصواعق	٤	٥	٢	٤	٤	٥	٥	١	٥
المطر الثلجي	٤	٣	٢	٤	٤	٥	٥	١	٥
الأمواج المحيطية	٤	٤	٢	٤	٤	٥	٥	٣	٥
عواصف البَرَد	٤	٥	٤	٥	٣	٥	٥	١	٥
التساقط الجليدي	٤	٤	٥	٥	٤	٤	٥	١	٥
الرياح المحلية	٥	٤	٣	٥	٥	٥	٥	١	٥
الهبوط الأرضي	٤	٣	٥	٥	٤	٤	٥	٣	٥
تدفق الطين	٤	٤	٥	٤	٤	٥	٥	٤	٥
الرواسب الريحية	٤	٥	٥	٤	٥	٥	٥	٢	٥

- درجة العنف أو الخطورة degree of Severity.
- امتداد الحادثة Length of Event: من الأحداث الطبيعية ما يكون خطياً كالأنهار والتدفقات المهلية، فيمتد الخطر أو تحدث الكارثة على طول مجاريها.
- المساحة المتضررة Areal Extent: أغلب المخاطر الطبيعية تحدث بشكل مساحي كالزلازل والانهيارات.
- الفاقد في الأرواح Loss of Life.
- الخسائر الاقتصادية Economic Losses.
- الآثار الاجتماعية the social effects: تعد من أهم المعايير البشرية، كونها تمتد لما بعد الحدث، كحالات التشرد، وكثرة الأيتام والأرامل والجرحى، بالإضافة إلى الآثار النفسية والاجتماعيّة التي تعاني منها المجتمعات المنكوبة.
- التأثير طويل المدى Long-term impact: يمتد تأثير الخطر أو الكارثة لما بعد حدوثها لفترات زمنية متفاوتة، وكلما كانت الكارثة مُركبة طال أمد ضررها، كما حدث بعد إعصار كاترينا (٢٠٠٥)، الذي خلف العديد من المشكلات البيئية والصحية والهندسية والنفسية، فانتشرت الأمراض بسبب المستنقعات، وانهارت المنازل الخشبية أو تدهورت حالتها الفنية بسبب المياه.
- عنصر المفاجأة Suddenness.

وقد صنفت مستويات الخطر وفق خمس رتب من (١-٥)، يزداد الخطر كلما ارتفعت الرتبة.

إن عدم المعرفة الكاملة لماهية الكوارث وتعقيدها، لا يزيد فقط من خطورتها، بل من الخسائر الناجمة عنها. ويجب التنبه إلى أن التهاون بتقدير الخطر يوازي المبالغة فيه. كما يصّعب عملية التنبؤ بها زمنياً ومكانياً، وبالرغم من التطور التقني الحالي، إلا أنه لا يوجد حتى الآن قاعدة بيانات متكاملة عن كل كارثة، (Disaster Management Center : 1986). ولتحقيق ذلك لا بد من الإحاطة بما يلي:

- مكان وقوع الكارثة: ويجب تمييز ثلاثة أنماط:

١- نمط يمكن تحديد موضعه وموقعه، كالبراكين والفيضانات.

٢- نمط يمكن تحديد إطاره أو نطاق تأثيره، كالزلازل.

٣- نمط لا يمكن التنبؤ بمكان حدوثه.

- زمن وقوع الكارثة. واستمرارها، وتكراريتها، وقد يتغير الزمن حسب الظروف المحلية أو الإقليمية.
- حجم وشدة الكارثة، وهو متغير مهم حسب الضوابط المكانية، والخصائص الاجتماعية- الاقتصادية للمنطقة المنكوبة.
- **عناصر الكارثة:** تتكون كل كارثة من عنصرين أساسيين: يدعى الأول بالعامل المحرض أو المسبب لوقوع الخطر، ويمكن أن يكون طبيعياً كتدفق الحمم من البراكين، والانهيارات الصخرية، أو بشرياً كالانفجارات النووية والتلوث الإشعاعي. والثاني: بالعنصر المتضرر، المتمثل بالإنسان وممتلكاته، والبيئات الحيوية وعناصرها ذات القيمة الاقتصادية، كالتربة الزراعية والمياه العذبة، والمناظر الطبيعية – السياحية، والثروة الحيوانية، والغابات.

وبالتالي فإن الموقع الجغرافي بعناصره المكانية المستقرة أو غير المستقرة، ومستوى إدارة الأرض في أي دولة، من الضوابط الأساسية في تحديد حجم الكوارث وأنواعها.

يخلط البعض بين إدارة الكوارث Management of Hazards والإدارة البيئية Environmental Management، فالأولى مؤقتة حسب الحدث، تنتهي بانتهائه ومعالجة نتائجه، بينما الثانية دائمة ومستمرة، تحول دون وقع الكثير من الكوارث، وتهدف إلى تنسيق الأعمال الإدارية والعلمية والميدانية، وتحقيق التوازن بين مختلف المؤسسات المسؤولة عن البيئات الطبيعية بهدف الحفاظ عليها، والتدخل المناسب في حال تدهورها، دون إحداث أي خلل في توازنها. وهذا لا يعني الحيلولة دون انتقال البيئات من نوع إلى آخر، وهو بحد ذاته استجابة طبيعية لتغيرات المناخ، أو توازن من نوع مختلف لتداعيات طبيعية لا تعني بالضرورة حدوث تدهور بيئي، كأن تتحول بيئة غابية إلى حراجية، أو شبه جافة إلى جافة، وبحيرات إلى سباخ.(Downsand & Booth: 2011. P 81).

ولكي تحقق الإدارة البيئية نجاحاً، لا بد أن تأخذ بعين الاعتبار الأسس التالية:

١. أهمية المكان والآثار المترتبة على اختيار مساحة المنطقة وحدودها.

٢. تقييم الوضع خلال الحدث وبعده.

٣. الحالة الثقافية للمجتمع.

٤. الإطار السياسي على مختلف المستويات.

تطور علم الجيومورفولوجيا التطبيقي.

اهتمت بعض الدراسات الجيومورفولوجيّة التي تعود لأواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، بدراسة العمليات الجيومورفولوجية والتضاريس الناجمة عنها تحت تأثير النشاط البشري.وقد ارتبطت الجيومورفولوجيا بشكل وثيق في الولايات المتحدة الأمريكية بسياسة الدولة العامة وإدارة استخدام الأراضي، وخاصة من خلال دراسات هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (جيلبرت: ١٨٩٠ ١٩١٤، ١٩١٧). وأبحاث غلين (Glenn) وشيرلوك (Sherlock) بين عامي (١٩١١-١٩٢٢)م والتي اعتمدت على الوصف، وهي كتابه بعنوان دور الإنسان كعامل، ثم مقالته عام (١٩٢٣) م، التي فرق فيها بين مفهوم التعرية الطبيعية Natural denudation والتعرية البشرية Human denudation، كما أبدى كل من ديكسي (Dixey 1962) وديوري (Dury 1969) قلقهما من عدم اتجاه الأبحاث الجيومورفولوجيّة نحو الجانب التطبيقي. مع العلم أن بعض الدراسات حملت طابعاً تطبيقياً منذ منتصف القرن الفائت، كأبحاث هورتون (Horton (1945) وليبولد (Leopold, 1956) وسترهلر (Strahler, 1956)، التي هدفت إلى إبراز دور الإنسان في تغيير وجه الأرض Man's Role in Changing the Face of the Earth. ويؤكد جيومورفولوجيو القرن العشرين أن جذور علم الجيومورفولوجيا كعلم طبيعي تعود إلى الارتباط الوثيق بإدارة الموارد البيئية والسياسة العامة، وهو تصريح واضح بأن تطبيقات هذا العلم نشأت لمعالجة القضايا ذات الاهتمام الاجتماعي- الاقتصادي. ويجب التفريق بين الجيومورفولوجيا التطبيقية، وتطبيق التقنيات الجيومورفولوجيّة، فالأخير يعني استخدام التحليل والتفسير لغايات تخطيطية بهدف الحفاظ على الموارد والبيئة، وربما يعود هذا الالتباس الذي ساد في العديد من السياسات إلى كون الجيومورفولوجيين أدوا دوراً استشارياً في هذه العمليات، ولم تكن آراؤهم ملزمة.

تعد الفترة بين أواخر الستينات وأوائل السبعينات من القرن العشرين، الولادة الفعلية للجيومورفولوجيا التطبيقية، حيث أعدت أبحاث ومؤلفات ذات مضمون تطبيقي بحت، منها ما كتبه دوغلاس (Douglas 1969) عن تأثير الإنسان في الحمولة النهرية، وحمل عنوان

mans effect on the sediment yield of River، تلاه بحث لبراون (Brown 1970) عن الإنسان كعامل جيومورفيّ Geomorphic Agent، ثم بحث عن أسباب التأثير البشري في البيئة mans impact on Environment، لديتويلر (Detwyler 1971)، تلاه ظهور الكتاب الأول عن الجيومورفولوجيا والإدارة البيئية، لمؤلفيه كوك ودورنكامب (Cooke & Dornkamp 1974)، أما المكتبة العربية فتكاد تخلو من الكتب المتخصصة في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية، ويمكن اعتبار كتاب (حسن الدليمي ٢٠٠١)م، أشهرها وأكثرها انتشاراً، إلا أن نتاجاً بحثياً ملموساً بدأت تشهده المجلات الأكاديمية العربية حديثاً.

ولقد تطور مفهوم التطبيقية في الجيومورفولوجيا بتطور أساليب البحث والعمل، وتوافر أدوات التنبؤ، و النمذجة ومحاكاة المشهد التضريسي، باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، التي تقدم رؤى واسعة ودقيقة لعناصر الغطاء الأرضي ككل. وبالتالي وضع حلول جيومورفولوجيّة ناجحة، يمكن متابعة نتائجها ورصدها. ومن الأمثلة العالمية عن أهمية التعامل مع بعض المشكلات الطبيعية وفق أسس ومفاهيم جيومورفولوجيّة، ما أكدت عليه الدراسات النهرية والساحلية في مجالات إدارة البيئية في المملكة المتحدة، التي بينت عدم جدوى الحلول الهندسية المطبقّة بهدف السيطرة على الطبيعة، دون فهم دور مظاهر السطح وظاهراته في نجاح المشاريع أو إخفاقها، بل إنها أعطت نتائج عكسية، حين بدأت تظهر التأثيرات السلبية الجانبية لهذه المشاريع، التي سببت تعطيل العمليات الجيومورفولوجية الطبيعية، كالنقل النهري، والحت الساحلي، فأحدثت خللاً في توازنها البيئي، مما انعكس سلباً على مجتمعاتها السكانية.

وفي مرحلة تالية بدأت الجيومورفولوجيا تطرح أسئلة أجبرت المخططين على اتباع استراتيجية مختلفة خلال مراحل التخطيط لأي مشروع وفي وقت مبكر منه، بدءً من جمع المعلومات الأساسية عن سطح الأرض، من حيث أشكال تضاريسه وخصائصها والعمليات الفاعلة فيها، والاستفادة منها في فهم طبيعة سطح الأرض قبل تنفيذ المشروع. وهي اتجاهات جعلت من المشاركات الجيومورفولوجية أساسية في المشاريع، وليست ثانوية أو استشارية فقط. وفي مرحلة ثالثة، كان لا بد من متابعة آثار المشروع من وجهة نظر جيومورفولوجيّة، تتطلب فهم ورصد التغيرات على سطح الأرض، واحتمال عدم استقرارها وتوازنها، أو انتقالها

إلى بيئات تضريسيّة أخرى، كتحويل مستنقع ما إلى أراض زراعية، أو مجرى مائي إلى بحيرة بعد إنشاء السدود. وقد أسهم الاستخدام الواسع للنمذجة وبيانات الاستشعار عن بعد، في مجال التنبؤ بآثار وتبعات المشاريع جيومورفولوجيا، وتحديد أنواع المخاطر المحتملة ومناطقها الجغرافية، ومعدلاتها أيضاً، فوضعت تصورات مختلفة عن الإدارة البيئية توصف بالمرنة كونها تستعد لأكبر عدد من الاحتمالات. وأصبحت مقولات مثل الجيومورفولوجيا جزء من الحل geomorphology is part of the solution، والتصميم مع الطبيعة designing with nature، اتجاهات مذهبية في التخطيط الإقليمي أكثر منها شعارات علمية مبتذلة.

لقد تطور الفكر الجيومورفولوجي التطبيقي بشكل يتناسب مع فكرة تفعيل الأسس النظرية لإدارة البيئات الجيومورفولوجيّة، التي أصبح يُنظر إليها على أنها وحدات طبيعية قابلة للضبط والتوجيه، حتى ولو أُحدث فيها تغيرات هندسيّة- بيئيّة، فأصبحت المشاريع الهندسية التي تقام على الأنهار تدار وفق معايير تضمن قيام الأنهار بالحد الأدنى من عملياتها الجيومورفولوجيّة وفق أدائها الطبيعي، وهنا يلاحظ أن الفكر الجيومورفولوجي خرج من مرحلة الرصد والحيادية، إلى مرحلة التدخل والإشراف، أو من قيد ردود الفعل reactive إلى المبادرة والاستباقية proactive في تنفيذ المشاريع ذات العلاقة المباشرة مع تضاريس سطح الأرض. (Gilvear :1999. P 229).

ومن الإسهامات الحالية للجيومورفولوجيين في الإدارة البيئية: تحديد التغييرات المقترحة في استخدام الأراضي، وتنمية الموارد الطبيعية، وطرح أساليب ترميم النظم المتدهورة، واتخاذ تدابير الحد من المخاطر الطبيعية، أو تفادي حدوث كوارث ناتجة عنها، من خلال تنفيذ سياسات وقائية متعددة على نطاق وطني أو محلي وآخر إقليمي ودولي. فمثلاً يجري العمل في المحيط الهادئ إلى الشمال الغربي من الولايات المتحدة على مشروع توزيع المياه من حوض تصريف مائي واحد تشترك فيه العديد من الولايات الفيدرالية، الأمر الذي يجعل التدخل التطبيقي للجيومورفولوجيا مهماً لتحقيق المشروع.

يشهد تطور الجانب التطبيقي في الجيومورفولوجيا تسارعاً كبيراً بسبب الحاجة إلى ذلك بعد القصور الذي شهده منذ قرن على ولادة هذا العلم، فقد قدمت الجيومورفولوجيا التطبيقية مساهمات في العديد من القوانين التي سنتها الولايات المتحدة الأمريكية مثل قانون الأنواع

المهددة بالانقراض عام (١٩٧٣)، وقانون المياه النظيفة (١٩٧٧) في حين سن في أوروبا، عام (١٩٩٢) الاتحاد الأوروبي قوانين خاصة بالمَوَاطن البيئيّة (الموائل Habitats)، في إطار إدارة المياه (٢٠٠٠) المعروف اختصاراً بـ (WFD)، وفي إدارة الفيضانات عام(٢٠٠٧). ويعزا تأخر ولادة الجانب التطبيقي في الجيومورفولوجيا لعدة أسباب، يأتي في مقدمتها:

١. انضمام الجيومورفولوجيا إلى الجغرافيا، وهو علم نظري بموضوعاته ومناهجه.
٢. انصراف الفكر الجيومورفولوجي لفترة طويلة إلى دراسة أشكال التضاريس، ووضع النظريات العامة، وعدم إيلاء العمليات الجيومورفولوجية الاهتمام المطلوب.
٣. نجم عن السبب السابق عدم القدرة على تقديم حلول ناجحة لمواجهة المشكلات الناجمة عن العمليات الجيومورفولوجية.
٤. تأخر ظهور نتائج تأثير الإنسان في تضاريس سطح الأرض والنظم الجيومورفولوجيّة، كعمليات الخسف الأرضي في مدن مثل لندن ونيو مكسيكو نتيجة سحب المياه والثروات الباطنية، وتأثير بناء السدود في تراجع السواحل وتدهور الدلتاوات.

أما على الصعيد العربي فيمكن اقتباس ما قاله (محمد فائد حاج حسن:١٩٩٦، ص ٢٣) عن علم الجيومورفولوجيا النظري في الأقطار العربية منذ نحو عقدين، لوصف حال جانبه التطبيقي في الوقت الحاضر بأنه :((مازال غضاً يحبو ببطء شديد دون تحقيق نجاح يذكر بالمقارنة مع ما حققه هذا العلم التطبيقي المهم في اليابان والاتحاد السوفيتي – السابق– وأوربا والولايات المتحدة الأمريكية. و مرد هذا العجز هو افتقارنا المريع إلى الإمكانيات وأدوات البحث العلمي ووسائله الضرورية)).

العوامل التي ساعدت على تطور الجانب التطبيقي في الجيومورفولوجيا:

١. تطور مفهوم جيومورفولوجيّا العملية geomorphology of process: والتي تعتمد على فهم الآليات المسؤولة عن نشوء تضاريس سطح الأرض وتطورها، مما ساعد في الحد من العديد من المخاطر من خلال عرقلة عملياتها أو تحويل مسارها.
٢. تطور الجيومورفولوجيا الكمية Quantitative Geomorphology: مما ساعد في بناء قاعدة بيانات دقيقة عن خصائص أشكال الوحدات التضريسية وأبعادها (كأحواض

التصريف المائي)، وكذلك معدلات العملية، وبالتالي تحديد فعاليتها في تغيير شكل التضريس أو تطوره، كهجرة الأكواع النهرية، مما يسمح بالتنبؤ بما ستؤول إليه التضاريس أو بإمكانية حدوث العمليات – إن كان سلوكها نمطياً أو رتيباً.

٣. زيادة إدراك أهمية العامل الجيومورفولوجي، وتأثيره في المجتمعات السكانية والأنشطة البشرية.

٤. تطور مفهوم تحليل النظم system analysis، الذي يعتمد على الربط بين السبب والنتيجة، وقد زود تحليل النظم الجيومورفولوجيين بإطار علمي منهجي دقيق، ساعد في دراسة تعقيد البيئات الجيومورفولوجية. (Hart.1986. p135)، عبر تبسيطها والربط بين عواملها المختلفة.

٥. تطور مفهوم النظم البيئيّة كنتيجة لتراكم المعارف، واتساع قواعد بيانات علوم الأرض والإنسان، التي يتوجها علم البيئة، وتحليلها بطرق منهجية وحاسوبية، وفهم آليات توازنها، مما أسهم في الحد من تدهورها، بل استعادتها لهذا التوازن.

٦. اتباع نهج المشاركة والتوافق بين علوم الأرض، فلم يعد من المقبول أن يحمل كل من الهيدرولوجيّ أو الجيومورفولوجيّ أو المهندس على عاتقه مسؤولية النظر في تدمير النظم البيئية في أحواض التصريف، فالجميع مشترك بذلك مكمّل لبعضه.(Margaret & Others. 2003).

٧. تعاظم دور الإنسان كعامل جيومورفولوجي، فقد اتسعت مجالات استخدامات الأرض بعد الحرب العالمية الثانية، كما اتضحت الأضرار الجيومورفولوجيّة والبيئية لأعماله الهندسية والعمرانية والزراعية وما تطلبته من إزالة للغابات، أدى إلى تدهور للترب وبعض النظم البيئية.

٨. استثمار الموارد الطبيعية في دول العالم الثالث، مما وضع المؤسسات الدولية بتقنياتها المكلفة في مواجهة مشكلات كزحف رمال الصحاري وشدة التجوية الفيزيائية.

٩. التطور التقني في وسائل البحث العلمي، ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد وأدوات الدراسات الميدانية والمخبريّة.

١٠.الاهتمام الدولي بمسائل الكوارث الطبيعية وإنشاء مؤسسات ومكاتب وجمعيات لإدارتها كمكتب الأمم المتحدة للغوث عند الكوارث، والعديد من الإدارات الإقليمية والمحلية للتدخل السريع عند الأزمات.

- **علاقة علم الجيومورفولوجيا – التطبيقي بالعلوم الأخرى:**

تتسع دائرة العلوم التي ترتبط بعلم الجيومورفولوجيا باتساع مجاليه النظري والتطبيقي فبالإضافة إلى العلوم الأساسية التي ترتبط بعلم الجيومورفولوجيا، كالجيولوجيا والمناخ والترب والرياضيات ونظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، فإن الخوض في المجال التطبيقي الجيومورفولوجي، يتطلب دراية بل إدراكاً لجوانب من علوم تطبيقية كالهندسة والاقتصاد واستخدام الأراضي والتخطيط الإقليمي والبيئة، ومساحات أوسع من علميّ الفيزياء والكيمياء مقارنة بتلك التي يتطلبها التفسير والتحليل النظري.

- **مناهج البحث في علم الجيومورفولوجيا – التطبيقي:**

يعتمد علم الجيومورفولوجيا على عدة مناهج تحددها طبيعته، فهو يتطلب اتباع المنهج الإقليمي كونه يهتم بدراسة مناطق ووحدات ذات حدود إقليمية واضحة، كأحواض التصريف المائي، أو السلاسل الجبلية أو الصحاري، كما يستفاد من المنهجين الاستنتاجي والاستقرائي، في فهم المُرَكّب الجيومورفولوجيّ لأي منطقة، من خلال تحليله إلى عناصره الأولية لاستنتاج ما بينها من علاقات، ثم إعادة تركيب المشهد مكانياً وزمنياً لاستقراء ما ينجم عن هذا التداخل والتراكب من دلائل تفيد في عملية تفسير أشكال التضاريس وتوزعها المكاني.

وتستخدم بعض الأساليب كالإحصائي – الكمي، والكارتوغرافي في الدراسات الجيومورفولوجيّة، حيث يفيد الأول في استخدام القوانين الرياضية لتحديد طبيعة العلاقة بين المتغيرات الجيومورفولوجيّة القابلة للقياس، ورسم الأشكال البيانية لتمثيل تطور ظاهرة ما، أما الأسلوب الثاني فيستخدم – وكذلك برامج GIS– في إعداد الخرائط الخاصة التي تبين توزع الظاهرات والعناصر الشكلية الصغرى للتضاريس.

الفصل الثاني

الجيومورفولوجيا التطبيقية والعمليات الباطنية
Applied Geomorphology and Endogenic Processes

- الزلازل:

تعريفها وأسبابها.

آلية حدوثها.

قياسها.

توزعها الجغرافي.

آثارها التدميرية.

- البراكين:

أسبابها

عناصرها

تصنيفها

مخاطرها والحلول المقترحة لمواجهتها.

توزعها الجغرافي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

يختص مجال أشكال التضاريس البنائية Geomorpho – tectonology المتفرع عن علميّ الجيولوجيا والجيومورفولوجيا بدراسة القوى الباطنية التي شكلت هذه الفئة من التضاريس كالتصدع Faulting، والإمالة Tiling، والالتواء أو الطي Folding، والنهوض Uplift، والخسف Subsidence. وقد خرجت العديد من الأبحاث والدراسات التي اهتمت بما يعرف بالبناء الحديث Neo-tectonic، ويتناول أثر الحركات الأرضية التي حدثت عقب أو مع الحركات الأخيرة المولدة للجبال Orogeny، أو أي من الحركات البنائية المستمرة منذ الحقب الثالث، على اعتبار أنها الأحدث جيولوجياً والأهم جيومورفولوجيّاً في تشكيل التضاريس الأرضية الحالية.

ولهذه الحركات وما ينتج عنها من مظاهر بنيوية- بنائية أهمية اقتصادية، حيث تشكل الطيات ومواقع التصدع مصائد محتملة لثروات باطنية كالنفط والغاز، وتساعد الصدوع على رفع الطبقات الخازنة للمياه، مما يفسر ارتصاف الينابيع على طول مضاربها Strik، وعند أقدام شفاهها العليا.كما ترتبط أكثر الكوارث فداحة بالزلازل الكبيرة والثورانات البركانية.

أولاً-الزلازل Earthquakes.

يهتم علم الزلازل Seismology، بدراسة أسبابها ومصادرها وآثارها وآليات حدوثها ويحدد أهم خصائصها الفيزيائية (كالحجم والقوة والتردد)، ويبين توزعها الجغرافي وتطورها التاريخي، وعلى الرغم نت توفر الأجهزة الرصدية الحديثة، إلا التنبؤ بحدوثها قبل زمن يسمح بتدارك مخاطرها أمراً عسيراً، وبالتالي ما زالت مواجهتها بعيدة المنال. فمثلاً لم يزد الزمن الفاصل بين التنبؤ بحدوث زلزال عام (٢٠١١)م في اليابان ووقت حدوثه الفعلي على الدقيقة، مع العلم أنه تم استخدام أفضل طرق التقصي وأدق الأجهزة آنذاك.

١- تعريف الزلازل:

الزلازل:هي موجات اهتزازية تنطلق من منطقة تدعى البؤرة المركزية the central focus تحت سطح الأرض، تقع تحت المركز السطحي Epicenter للزلزال على سطح الأرض، حيث تبلغ القوة التدميرية أوجها. وتتضاءل بالابتعاد عنه، (سميرة الحصري :١٩٩٨، ص٢٨٥).

٢- أسباب الزلازل:

تمتلك الكرة الأرضية طاقة حرارية Thermal energy هائلة، تتحول إلى طاقة حركية Kinetic energy، تتعاظم حتى تصبح قادرة على التحرر من مصادرها، فتنطلق نحو سطح الأرض مسببة حركات خافضة رافعة له، فتُحرك صخور الأرض عن مواضعها، وتُحدث تغيرات في أشكال تضاريسها، والتي يطلق عليها التضاريس البنائية Tectonic landforms، كالجبال الالتوائية والجبال الصدعية والأغوار والنجود والجروف الصدعية. كما أنها تسبب كوارث عنيفة يصعب تدارك خطرها الذي يتعاظم كلما اشتدت قوتها وطالت فترتها.

ولا تسكن الأرض حتى تستقر طبقاتها الصخرية بشكل تستعيد فيه توازنها. تراوح سرعة الهزات الأرضية بين(٠,١-١٠٠) مم/سنة. وترتبط حركيّة سطح القشرة الأرضية عموماً بنشاط المهل داخل المعطف، ويختلف تأثيره في القشرة الأرضية حسب سمكها وطبيعة صخورها وتعاظم الطاقة المتراكمة دونها. فتمتد أذرع من المهل نحو مناطق الضعف في القشرة الأرضية مسببة اضطراباً في استقرارها ومسببة تشققها أو تكسرها. شكل رقم (١-٢).



شكل رقم (١-٢) مجسم لحركات المعطف وما ينتج عنها من أذرع طاقة مسؤولة عن نشوء جبال روكي وبراكينها وزلازلها في أمريكا الجنوبية.

ونميز **من أسباب الزلازل ما يلي:**

أ/٢- الحركات المولدة للقارات: ترتبط بحركة الصفائح البنائية، وتولد تصدعات تمثل مفاصل زلزالية تتحرك الصخور على جانبيها، كما هي الحال في صدع سان أندرياس San Andreasغربي الولايات المتحدة الأمريكية.

ب/٢- الحركات المولدة للجبال: أفضل أمثلتها الصدع الآسيوي - الأفريقي، الذي يتباعد جانباه لمعدلات تراوح بين (١-٢,٥) سم/ سنة/ ويتكون من سلسلة من الجبال والأغوار.

ج/٢- الثورانات البركانية: يسبق الثورانات البركانية عادة رجفات واهتزازات تنذر بحدوثها، كما تواكبها وقد تليها هزات أرضية لاحقة، قد تكون مدمرة.

د/٢- النشاط البشري: شهد القرن العشرون طفرة في بناء السدود العملاقة التي بدأت بسد هوفر في الولايات المتحدة الأمريكية، ويتولد عن امتلاء بحيراتها اهتزازات خفيفة ومتوسطه، كما تتسبب الحروب وتفجيرات المقالع ومناطق التعدين بزلازل أرضية مختلفة الشدة والسعة.

٣- آلية حدوث الزلازل:

فسر الأمريكي ريد(Reid 1906) حدوث الزلازل من خلال نظرية الارتداد المرن Elastic Rebound، وقد افترض وجود كتلتين متجاورتين، تحدث لهما حالة إزاحة على جانبي صدع، تتسبب بانطلاق طاقة مختزنة على شكل موجات اهتزازية، تضرب القشرة الأرضية مشكّلة الصدوع ومظاهرها. ثم تكاملت الرؤية لحركة الأرض بنظرية الانسياح القاري Continental drift للعالم ألفرد فيغنر Alfred Wegener (١٩١٣-١٩١٥)م، تلتها نظرية الصفائح البنائية Tectonic Plate (١٩٥٨-١٩٦٧)، التي ساقت العديد من الأدلة على وجود علاقة سببيّة بين حركة تيارات الحملان في المعطف، وحركة الصفائح البنائية.

ثم توالت الشواهد والبراهين الباليوجيولوجية والباليوجغرافية والباليوحيوية، والمغناطسية على ذلك، ومع تطور تقنيات القياس والتصوير. أصبحت حركة الصفائح البنائية حقيقة راسخة لا تقبل الشك. وتبين أن معدلاتها مختلفة مكانياً وزمنياً. فمثلاً راوحت بين (١٠-٤٠ ملم / سنة) عند تلال وسط المحيط الأطلسي Mid-Atlantic Ridges، ونحو(١٦٠ ملم / سنة) في صفيحة نازكا Nazca غربي القارة الأمريكية الشمالية.

ومن البدهي القول إن هناك تلازماً مكانياً بين حدود الصفائح البنائية والزلازل (Keller & Pinter :2002. Pp 5-9). يمكن على أساسها معرفة توزع الخطر الزلزالي وشدته. وطبيعة التضاريس المرتبطة بنشاطه، ولذلك كان من الضروري معرفة الحدود البنائية، التي تُصنّف حسب طبيعة الحركة البنائية فيها إلى:

١- **حدود التباعد Divergent boundaries:** تعرف بالحركات البانيّة Constructive وعندها تتباعد الصفيحتان تاركة غوراً بينهما، بانية قاع بحر جديد، يتسع تدريجياً مع

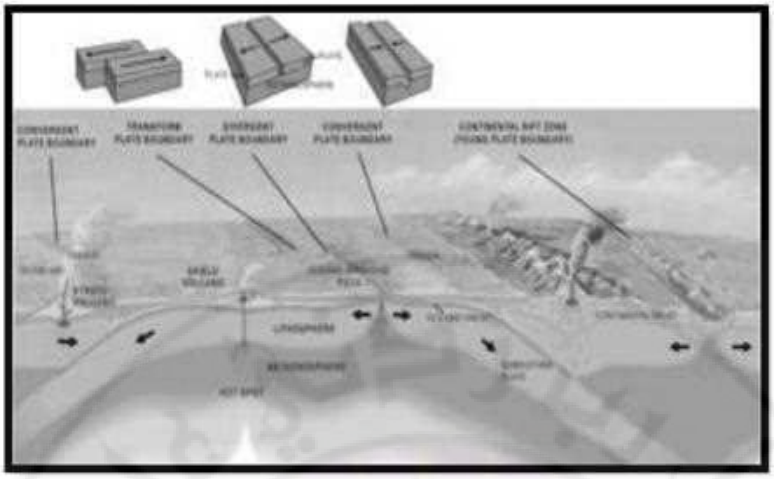
استمرار التباعد، شكل رقم (٢-٢). مثال عنها: الفالق الآسيوي – الإفريقي، الذي يتسع مشكلاً سلسلة مسطحات مائية تملأ المناطق الأخفض من الأغوار كالبحر الأحمر والبحر الميت وبحيرة طبريا.

٢- **حدود التقارب Convergent boundaries:** تتقارب الصفائح من بعضها إلى حد التصادم، لتعلو إحداهما على الأخرى، التي تندس دونها مشكلّة نطاقاً نشطاً بنائياً، لذلك تعرف بحدود مناطق التدمير Destructive، أو الهوامش النشطة Active margins، تثور عندها البراكين مكّونة جزراً قوسية، أشهرها اليابان وإندونيسيا، أو تتصادم الصفيحتان مكوّنة نطاق صراع بنائيّ، تنشأ عنده السلاسل الجبلية الناهضة، كما يحدث بين الصفيحة الهندية والأوراسية، وما تولد عن تصادمهما من سلاسل جبال الهيمالايا.

٣- **حدود التحويل Transform boundaries:** هي حركة إزاحة جانبية، تتحرك فيها الصفيحتان بمحاذاة بعضهما في اتجاهين متعاكسين، توصف بالحدود المحافظة Conservative، فلا بناء ولا تدمير يصيب الأرض. تكون الحركة لأحدهما بالنسبة إلى الأخرى إما يسارية أو يمينية، مثال عنها صدع سان أندرياس في كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية.

٤- **حدود غير واضحة:** تكون الحركات فيها معقدة متنوعة على نطاق واسع.

إن لحركة الصفائح القارية تأثيرات متنوعة على أشكال تضاريس سطح الأرض، التي تتفاوت في أحجامها وتعقيدها. ففي حين تولد حركة الصفائح التباعدية المحيطات، فإن حركة الصفائح المتقاربة تُولد الجبال، أما الحركة التحويلية فتشكل الصدوع والجروف الصدعية النشطة، التي تتفاوت بين بضعة سنتمترات وحتى آلاف الكيلومترات. كما تسبب الحركات الخاسفة لسطح الأرض مظاهر مثل الأغوار والنجود، وفيها يكسب السطح زيادة في المساحة، تتمثل بالجروف والحواف الصدعية، أما الحركات الالتوائية الضاغطة لسطح الأرض، فتقلص المسافات بين المناطق الملتوية، على الرغم من كونها تسبب نهوضاً للطبقات الصخرية الملتوية.



شكل رقم (٢-٢) أنواع الحدود بين الصفائح.

٤- أنواع الموجات الزلزالية:

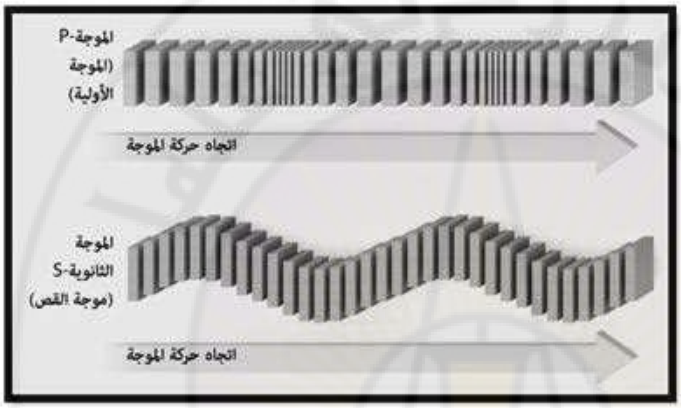
تنتقل الهزات الزلزالية على شكل موجات تختلف في سرعاتها وأطوالها وأشكالها حسب الوسط الذي تخترقه، تظهر على جهاز القياس (السيسموغراف) كخط نبضات القلب في أجهزة القياس الطبية، تتمثل في ثلاثة أنواع:

أ/٤- **الموجات الطولية** Longitudinal Waves: ويرمز لها بالرمز (P)- الحرف الأول من كلمة الأول باللاتينية prima- وهي أسرع الموجات، وأولها وصولاً إلى جهاز التسجيل، تشبه ذبذبات الصوت في الهواء، وتراوح سرعتها عموماً بين (٥,٥-١٣,٨) كم/ثا، وفي الصخور الصلبة بين (٦-٧) كم/ثا، يؤدي انتشارها إلى انضغاط وتخلخل جزئي في بنية الصخور، وبالتالي تُحدث تغيرات في كثافته وبنيته الداخلية، لذلك تعرف بالموجات التضاغطية Compressional waves. شكل رقم (٣-٢). فتتحرك جزيئات المادة تارة للأمام وتارة للخلف، مشوهة نظام بناء الصخر.

ب/٤- **الموجات المستعرضة Transversal Waves**: تصل إلى المسجل الزلزالي بعد الموجات الأولية، لذلك يرمز لها بالحرف (S) من كلمة sequent أي التالي، وتختلف عن سابقتها بأنها لا تغير من كثافة الوسط الذي تخترقه، بل تؤثر في شكله. وتتسبب في دفع المواد باتجاه معاكس أو متعامد مع حركتها أو دورانها. وهي تشبه اهتزازات حبل مشدود عند تحريكه رأسياً. وتختلف سرعاتها حسب طبيعة الوسط الذي تخترقه، فهي بين (٤-٥ كم

/ثا) في القشرة الأرضية. وتصل إلى (٧كم/ ثا) في أعماق المعطف. وتتكسر عند اختراقها للنواة بسبب اختلاف تركيبها.

وقد ساعد استخدام النوعين السابقين في كشف كثير من الحقائق العلمية عن طبقات الأرض، حيث تختفي هذه الموجات عند مرورها في الأوساط السائلة والغازية، مما يؤكد وجود هكذا أجسام تحت سطح الأرض، وبالتالي يمكن توقع وجود خزانات مائية غازية وثروات باطنية سائلة كالنفط.



شكل رقم (٣-٢) أنواع الموجات الزلزالية.

ج/٤- الموجات السطحية Surface Waves: تنتشر قريبة من سطح الأرض، ذات سعة أطول من النوعين السابقين، لذلك يرمز لها بالحرف (L) من كلمة Long، (شاهر جمال آغا: ١٩٩٥، ص ٧٥)، تشبه حركة الموجات على سطح الماء، تخرق الطبقات السطحية بخط سير متعرج، فتصل إلى المسجل الزلزالي متأخرة، قدّرت سرعتها بنحو (٤) كم/ثا. لا تفقد الكثير من طاقتها - لعدم وجود طبقات تخترقها - لذلك تحتفظ بمعظم قوتها مع الابتعاد عن مركزها الضحل، فتكون مسؤولة عن معظم ما تسببه الزلزال من دمار وتخريب.

٥- قياس الزلازل:

وضع الجيوفيزيائي الأمريكي تشارلز ريختر (Richter 1936)، مقياسه الشهير لتحديد درجة شدة الزلازل، جدول رقم (١-٢). وفيه يحتل أضعفها الدرجة (١). وأشدها الدرجة فوق (٨)، وتتباين تأثيراتها بين الضعيفة التي لا يشعر بها الإنسان والعنيفة الكارثيّة، التي لم تبلغها إلا قلة من الزلازل وفق سجل الزلازل القصير والمعروف منذ عام (١٩٠٠)م، ومنها زلزال كانجارا في الهند (١٩٠٥)م، الذي سبب وفاة (١٩) ألف نسمة. وزلزال طوكيو

ويوكوهوما باليابان عام (١٩٢٣)م، الذي تسبب بمقتل (٢٥٠) ألف نسمة، وآخرها زلزال المحيط الهادئ (سومطرة – أندمان) عام (٢٠٠٤)، وتسبب بمقتل زهاء (٢٨٠) ألف آخرين.

جدول رقم (١-٢) مقياس ريختر لقياس الزلازل

مقياس ريختر	الوصف	تأثير الزلزال	تكرر حدوثه
أقل من ٢.٠	دقيق	زلازل دقيقة لا يمكن أن يحس بها إلا الحيوانات.	حوالي ٨,٠٠٠ يوميا
٢.٩-٢	صغير جداً	لا يشعر به البشر ولكن يمكن رصده.	حوالي ١,٠٠٠ يوميا
٣.٩-٣		يشعر به البشر، لكن قلما يسبب ضرراً.	٤٩,٠٠٠ سنوياً
٤.٩-٤	خفيف	يشعر البشر بهزة مع تحرك الأشياء. لكنه لا يسبب ضرراً.	٦,٢٠٠ سنوياً
٥.٩-٥	معتدل	المباني الضعيفة قد تتضرر بشكل كبير ولكن المباني القوية لا تتضرر كثيراً.	٨٠٠ سنوياً
٦.٩-٦	قوي	يمكن أن يسبب ضرراً كبيراً حتى ١٦٠ كم عن نقطة حدوثه. (١٠٠ ميل).	١٢٠ سنوياً
٧.٩-٧	كبير	يمكن أن يسبب أضراراً كبيرة.	١٨ سنوياً
٨.٩-٨	عظيم	يمكن أن يسبب أضراراً كبيرة حتى مئات الأميال عن نقطة حدوثه.	١ سنوياً
٩.٩-٩		يمكن أن يسبب أضراراً كبيرة حتى الاف الأميال عن نقطة حدوثه.	مرة لكل ٢٠ سنة
١٠+	خارق	لم يحدث إلى الأن.	نادر

كما يوجد مقاييس أخرى ميركلي المعدل Mercalli scale، وهو من (١٢) درجة، اعتمد في تحديد درجاته من (١-٥) على مدى إحساس الناس بالزلازل، ومن (٦-١٢) على حجم الأضرار في الأبنية والبنى التحتية. (علي موسى: ٢٠١٦، ص ٢٩).

٦- توقع حدوث الزلازل:

يعتمد نجاح عملية التوقع أو التنبؤ بالزلازل على توفر ثلاثة عناصر رئيسة، هي: مكان الزلزال، وزمانه، وشدته، ومن أهم الآثار الدّالة على قرب حدوث الهزات الأرضية:

١- حدوث تشوهات في سطح الأرض بالقرب من مراكز الزلازل، مع اهتزازات أولية تأخذ بالتزايد كماً ونوعاً بشكل تدريجي.

٢- ارتفاع منسوب مياه المسطحات المائية، وظهور أمواج واضحة على الرغم من هدوء الرياح.

٣- تغير في مناسيب مياه الآبار. وانطلاق الغازات من بعض الآبار الواقعة على خطوط الصدوع.

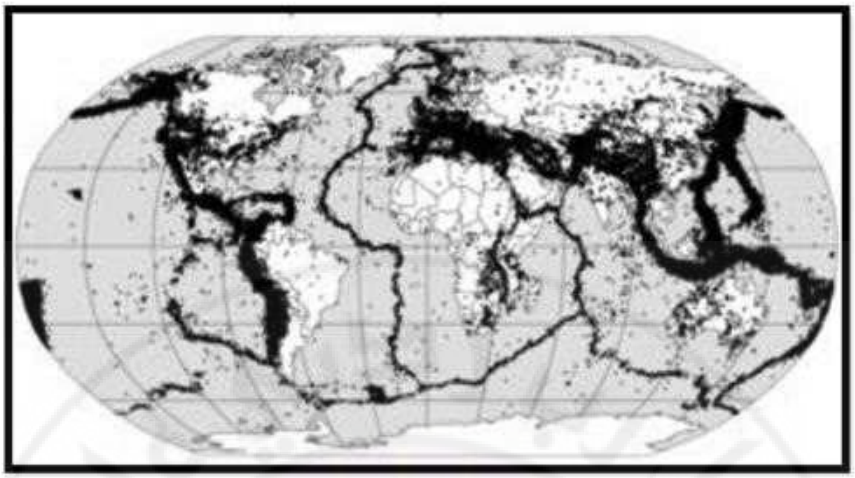
٤- تغير في المجال المغناطيسي للأرض، بسبب تغير قوة الضغط على الصخور المولدة لمجالاتها المغناطيسية.

٥- ظهور تغيرات واضحة في سلوك بعض الحيوانات، كالحركة المستمرة، وطيران الحمام وحركة الفئران واضطراب الكلاب.

التوزع الجغرافي للزلازل:

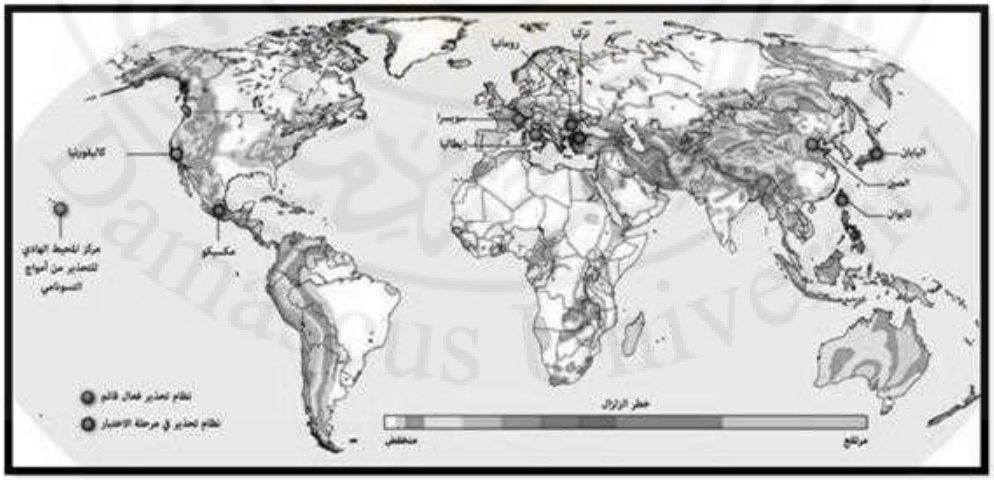
على الرغم من حدوث نحو مليون هزة أرضية سنوياً، إلا أن ما يسبب منها ضرراً لا يزيد عدده على (٧٠٠) زلزال، ويرتبط توزعها الجغرافي بمناطق الضعف البنائي، شكل رقم (٤-٢). التي تتوافق مع الحدود البنائية بين الصفائح الأرضية، ومناطق الصدوع النشطة، ونميز بين نطاقين مهمين، هما: دائرة النار، التي تطوق سواحل المحيط الهادئ، وتحدث فيها (٧٠%) من زلازل العالم. والثانية التي تمتد من حزام جبال الألب وحتى جبال هيمالايا، وتحدث فيها نحو (١٢%) من زلازل العالم. وما تبقى ينتشر في نطاقات بين القارات كالصدع الآسيوي – الأفريقي، الذي يمتد من بحيرات الحبشة شرقي أفريقيا، وحتى جبال طوروس جنوبي تركيا.

ويبين الشكل رقم (٥-٢) توزع الزلازل حسب قوتها في العالم. بينما يُظهر الشكل رقم (٦-٢) أهم المناطق الزلزالية التاريخية في منطقة البحر المتوسط. والتي نتجت عن تقارب الصفيحتين الإفريقية والأوربية، حيث تندس الأولى تحت الثانية، مولدة حزاماً زلزالياً نشطاً على طول سواحل المتوسط الشرقية والشمالية. ومن الزلازل التي بلغت شدتها أكثر من (٨) درجات هي زلازل مدينة هيليك عام (٣٧٣) ق م، وزلازل جزيرة كريت عام (٣٦٥)م، وزلازل جزيرة رودس عام (١٣٠٣)م. وقد أدت جميعها إلى أمواج تسونامي مدمرة.

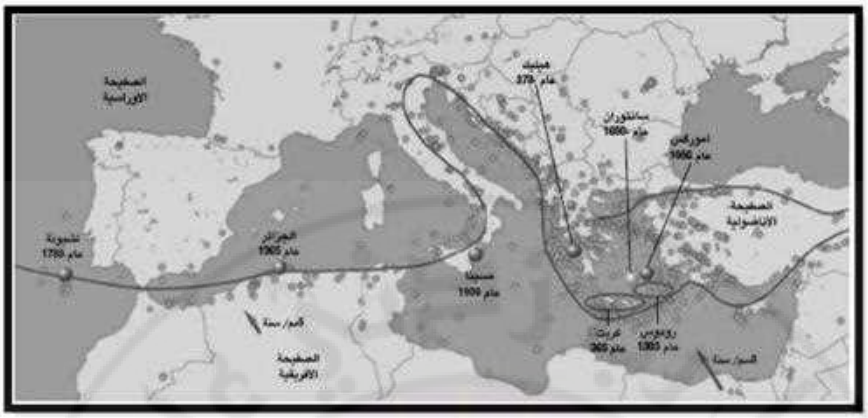


شكل رقم (٤-٢) توزع الزلازل بين عامي (١٩٦٣-١٩٩٨)م.

كما كان لموقع مدينة أنطاكيا في أقصى شمال الساحل السوري، وهي زاوية الانقراص البنائي- إن جاز التعبير- المواجهة لحركة صفيحة شبه الجزيرة العربية المتجهة نحو الشمال الشرقي، دور بالغ الأهمية في تعرضها للعديد من الزلازل المدمرة، بالإضافة إلى تعرض مدن أخرى مثل القاهرة والإسكندرية وحلب ودمشق لزلازل بذات الحجم لوقوعها على خط الفالق الأسيوي - الأفريقي وتفرعاته.



شكل رقم (٥-٢) تصنيف قوة الزلازل في العالم



شكل رقم (٦-٢) زلازل منطقة البحر المتوسط.

٦- الآثار التدميرية للزلازل:

تقاس كارثيّة أي حدث طبيعي بعدة معايير، منها : مساحة الضرر الناتج عنه، وقوته، وفجائيته، وفترة حدوثه، وتكراره، وحجم السكان الذين تعرضوا للخطر وحجم الخسائر المادية الناجمة عنه. ويمكن أن يضاف إليها كونه خطراً أحادياً فردياً أم أنه مركباً متداعياً، لذلك تعد الزلازل من أخطر العمليات الباطنية على سطح الأرض، ولعل أخطر ما فيها أنها تحدث فجأة، فلا يستطيع الإنسان اتخاذ أي تدابير للنجاة منها أو ضمان سلامته. كما أنها تصنف في فئة المخاطر المركبة أو المعقدة، وذلك بسبب أحداثها المتوالية وما يتبعها من أحداث تالية، فغالباً ما ينتج عن الزلزال الرئيس موجات تسونامي مدمرة، وفيضانات وانزلاقات وخسف لسطح الأرض، وانهيار للسدود والخزانات. ويسبب كل ذلك تغيراً في معالم سطح الأرض بما تحدثه من فوارق طبوغرافية وتصدعات. ويبين الجدول رقم (٢-٢) أخطرها وفق التاريخ المعروف، وتسمى بالزلازل الكارثيّة. ويلاحظ أنها مرتبطة جغرافياً بدول ذات كثافات سكانية عالية، ومستوى تقني منخفض. إلا أنه يجب التأكيد أن حدوث الكارثة لا يقتصر على وقوع زلزال عنيف، بل لا بد من وقوعه في منطقة مأهولة بالسكان وذات أبنية متدهورة أو قديمة غير قادرة على تحمل صدمة الزلزال. فزلزال الجمعة الحزينة الذي ضرب ألاسكا بقوة (٩,٢) ريختر عام (١٩٦٤) كان الأعنف خلال القرن العشرين، إلا أنه لم يسبب خسائر كبيرة بالأرواح، فلم يتجاوز عدد القتلى (١٣٩)، وذلك بسبب انخفاض أعداد السكان في

المنطقة. في حين تسبب زلزال سومطرة – أندومان بقتل ما يزيد على (٢٨٠,٠٠٠) وتشريد نحو (١,٥) مليون شخص، واعتبر نحو (٤٥) ألف شخص في عداد المفقودين. وذلك لارتفاع كثافة السكان في الجزر الاندونيسية، وانخفاض مستوى الإجراءات الحكومية والشعبية لمواجهة خطر الزلازل وأمواج التسونامي.

جدول رقم (٢-٢) أشهر زلازل التاريخ ومواقعها وتاريخها وعدد ضحاياها.

المنطقة أو اسم الزلزال	البلد	العام	عدد القتلى/ ألف
حلب	سورية	١١٣٨	٢٣٠
Shaanxi	الصين	١٥٥٦	٨٣٠
Gansu	الصين	١٩٢٠	٢٠٠
Zining	الصين	١٩٢٧	٢٠٠
Tongshan	الصين	١٩٦٧	٢٤٢
Somatra-Andoman	إندونيسيا	٢٠٠٤	٢٨٣
Qwom	إيران	٢٠٠٥	٤٠
Pakistan	باكستان	٢٠٠٥	٨٠

٧- الآثار الجيومورفولوجية للزلازل:

تتمثل التغيرات التي تُحدثها الزلازل في سطح الأرض وتضاريسه بالآتي:

أ/٩- اهتزاز سطح الأرض: يؤدي انتقال الموجات الزلزالية إلى إحداث حركة في سطح الأرض، تنتقل مباشرة إلى المنشآت البشرية، وتتسبب بانهيار الأساسات وأعمدة الجسور، كما يؤدي انتقالها جانبياً إلى تخلع الأرضيات، ولكن بنسب متفاوتة حسب طبيعة الصخر الأساس الذي شيدت فوقه التجمعات السكنية. حيث يكون على أشده في الرواسب الطينية الفيضية والبحيرية والسبخية المالحة. وقد أكدت بعض الدراسات أن التأثير التدميري للهزات الأرضية على منشآت بنيت فوق رواسب ساحلية يعادل نحو ثمانية أمثال ذلك التأثير على المباني التي أقيمت فوق صخور أساس متماسكة.

ب/٩- تميع الرواسب: تتحول الرواسب الغرينية والطينية المشبعة بالماء عند تعرضها لموجات اهتزازية، وضغط شديد، إلى حالة سائلة، تنتشر جانبياً مع اتجاه حركة الاهتزاز، فتتدفق وفق آلية الحركة الانسيابية، وتكون أخطرها التدفقات الطينية والرملية. فتسبب إمالة المباني والأعمدة وانهيار الأبراج. وقد تحمل منازل كاملة نحو أدنى المنحدرات، وأشهرها زلزال أزمير (١٩٩٠)م. الذي دمر نحو (٥٠,٠٠٠) منزل. وأدى زلزال مرفأ كوبِ الياباني عام (١٩٩٥)م إلى انهيار (٥١) رافعة، وتدمير المنازل وميل بعضها، ووفاة (٥٠٠٠) شخص، وألحق بها أضراراً بقيمة (١٠٠) مليار دولار أمريكي.

ج/٩- الانزلاقات الأرضية: تعد الزلازل من أهم الأسباب البنائية لحركة المواد السطحية على المنحدرات، التي تتسبب في كثير من الحالات بفقدها لاستقرارها وتوازنها، فتتحرك موادها نحو أقدامها، مسببة الانزلاقات الطينية والصخرية، والانهيارات الأرضية وتساقط الصخور. ومن أمثلتها زلزال الصين الذي ضرب منطقة جانزو Gansu عام (١٩٢٠)م، فتسبب بحركة انزلاق عارمة لتربة اللوس، أودت بحياة (٢٠٠) ألف شخص، وغيرت معالم سطح الأرض.

د/٩- الشقوق والتصدعات: تحدث على اختلاف أنواعها، فقد تكون متباعدة أو متقاربة أو مغلقة، وتسبب أضراراً مختلفة للمنشآت العمرانية والصناعية والبنى التحتية. ومن أمثلتها الشقوق الصدعية - الزلزالية في فالق منغوليا، الذي أعقب زلزال عام (١٩٥٧)م، وبلغ طوله (٧٥)كم، وتفاوت ارتفاع جرفه الصدعي بين (٧-٣٢٨)م، وراوح عمقه بين (١٠-١٢)م، ومتوسط اتساعه بين (٤-٥) أمتار. ويجب التنبه إلى أن الإزاحة في الصدوع النشطة لا تكون منتظمة على طولها، فمثلاً تميز الصدع في كاليفورنيا الوسطى بنظامي تباعد، أحدهما من رتبة (٢٠)متر، والآخر من رتبة (٢٠٠٠)متراً، (Burbank & Anderson: 2001. P 39). الأمر الذي ينعكس على شكل التضاريس الناتجة عنها، ويفسر بذات الوقت أن هناك اختلافات محلية في الصخور تؤثر في قوة التمزق rupture الصخري الناتجة عن الزلازل. ويبين الجدول رقم (٣-٣) أشهر الشقوق الزلزالية. ترتبط الشقوق بالانهيارات بخاصة في المناطق الجبلية، كما حدث في جبال بامير الوعرة عام (١٩١١)م، حيث انهارت أجزاء واسعة من المنحدرات ذات البنية الغضارية المكونة من الطَفْل، فكونت سداً صخرياً في وادي نهر بارتانغ، بلغ طوله (٥)كم، وارتفاعه (٧٠٠)م، وقدر حجم المواد المنهالة بنحو (٥) مليون م٣، وهي كافية لتغطية مدينة موسكو آنذاك بطبقة صخرية بسمك (١٥)م.

جدول رقم (٣-٢) أشهر شقوق الزلازل وخصائصها.

الاسم	العام	الطول/ كم	العرض/ م	العمق/ م	الإزاحة الرأسية/ م	الإزاحة الأفقية/ م
كالابريا/ ايطاليا	١٧٨٣	١-٢	١,٥	٦	-	-
نيوزيلندا	١٨٤٨	١٠٠				
نيوزيلندا	١٨٥٥	١٥٠	-	-	٣	٣
سان فرانسيسكو	١٨٦٨	-	١٢-١٥	-	٢	٢
ميواتاري/اليابان	١٨٩١	١٦٠	-	-	٢٠	٤
آسام/الهند	١٨٩٧	٦٣	-	-	٥	١٧,٥
منغوليا	١٩٠٥	٤٠٠	-	-	٥	٢٠
كاليفورنيا	١٩٠٦	٥٥٠	-	-	-	٦
منغوليا	١٩٥٧	٢٨٠	-	-	٣٢٨	-

هـ/٩-خسف الأرض: قد يؤدي تقاطع الصدوع والشقوق إلى حدوث حالة خسف وهبوط سطحي، كما حدث بالقرب من بحيرة بايكال في روسيا، حين تسبب زلزال عام (١٨٦٢)م بهبوط مساحة من سطح الأرض بلغت (١٠٠)كم٢ بالقرب من البحيرة، مشكلّة خليجاً مائياً بلغ متوسط عمقه (٨) أمتار. كما اختفت بلدة أونلر التركية بعد زلزال عام (١٨٦٩)م، وفي هذا المجال بالتحديد لا بد من دراسة العلاقة بين نظام الصدوع والشقوق، وتوزع الصخور الكلسية وتعاقب طبقاتها، ومعدل التحلل.

و/٩-أمواج التسونامي: تتشكل نتيجة للتشوهات البنائية التي تصيب قاع البحار والمحيطات، على شكل موجة ضغط تنتشر وتمتد، وتتعاظم ارتفاعاً باتجاه متعامد لحركة التصدع الأرضية، تسبقها حالة انحسار للماء، مع هبوط كمية مياه تعادل حجم الغور أو الهبوط الذي تعرض له قاع المحيط، ثم ترتفع بحركة ارتدادية نحو السطح، وتندفع منسكبة باتجاه السواحل، بسرعة تصل إلى (٨٣٠) كم/سا، إلا أنها تنخفض إلى حوالي (٧٠٠-٧٥٠)كم/سا قبل السواحل لاصطدامها بقاع الشاطئ، وقد أنشأت شبكة لرصد أمواج التسونامي بإدارة المركز الدولي للمعلومات لتأمين الاتصال بين العلماء، والتي رصدت خلال

عقد التسعينات (٨٥) تسونامي ناتجة عن حركة الصفائح القارية، كان آخرها تسونامي بابوا غينيا (١٩٩٨)م الذي أودى بحياة (٤٠٠٠) شخص. إلا أن أكثر أمواج التسونامي كارثيّة حدث عقب زلزال المحيط الهندي عام (٢٠٠٤)م، حيث قدر عدد ضحاياه بين(٢٣٠-٢٨٠) ألف. وكان أكثرها تكلفة تسونامي زلزال طوكيو عام (٢٠١١)م، والذي تسبب بخسائر قدّرها البنك الدولي بنحو (٢٣٥) مليار دولار أمريكي.

ز/٩- تغير مسارات الأنهار: كما حدث للنهر الأصفر Yellow River أو نهر هوانغ هو (Huáng Hé) الكبير في الصين. الذي تحول مجراه الأدنى عن مجراه القديم في مقاطعة شانتونغ عام (١٨٥٣)م، كما قد يسد مجرى النهر فتتشكل بحيرة خلف الانهيار، مثلما حدث في الإكوادور.

يزداد حجم الخسائر مع غياب التخطيط العمراني والهندسي المرن والمدّعم لمواجهة الخطر، وهذا ما حدث للعديد من قرى ومدن إيران التي بنيت من الطوب والطين، ولم تكن مستعدة لمواجهة خطر زلزال عام (٢٠١٣)م. صورة رقم (١-٢).



صورة رقم (١-٢) جزء مدمر تماماً من إحدى قرى بلوشستان / إيران بعد زلزال ٢٠١٣م.

دراسة حالة:

١-زلزال سومطرة- أندمان (زلزال المحيط الهادئ)

جزيرة سومطرة Sumatra هي سادس أكبر جزر العالم، وثالث جزيرة في إندونيسيا من حيث المساحة، تبلغ مساحتها قرابة (٤٧٣,٥) ألف كم٢، بلغ عدد سكانها عام (٢٠١٠)م نحو (٥٠,٦) مليون نسمة، أي إن الكثافة السكانية العامة لها هي (١٠٧)ن/كم٢، وهي جزيرة بركانية الأصل. وقد تعرضت الجزيرة في يوم (٢٦/١٢/ ٢٠٠٤) لزلزال عُرف

باسمها، كما أطلق عليه زلزال المحيط الهادئ Pacific earthquake، وهو من أكبر زلازل التاريخ الحديث، وأكثرها كارثيّة، امتد تأثيره حتى شمل كوكب الأرض، مع تخامد تدريجي كلما بَعُدت المسافة عن مركزه الواقع على سواحل جزيرة سومطرة. الشكل رقم (٧-٢).



شكل رقم (٧-٢) يبين مركز زلزال سومطره، ومجال تأثيره.

٢- أسباب الزلزال:

تغوص الصفيحة البورمية تحت الصفيحة الهندية، مشكلّة هوة أو خندق سوندا Sunda، الذي يقع بالقرب من جزر سومطرة، ونيكوبار، وأندمان. ويواكبها حركة إزاحة جانبية، شكل رقم (٨-٢). تولدّ مهلاً يطلق عليه صهير الاحتكاك أو القدح trigger melt ، ارتفع إلى سطح القشرة الأرضية مكوناً جزراً بركانية قوسية Volcanic arc Iceland's، تدعى بأرخبيل إندونيسيا، مما يفسر بذات الوقت استمرار النشاط الزلزالي في المنطقة.

حدث الزلزال على مرحلتين، تسببت الأولى بتصدع شمالي- جنوبي مع انحراف نحو الغرب، وبلغ معدل سرعة التمزق أو التصدع خلالها (٢,٨كم/ثا)، في حين شكلّت الثانية صدعاً بامتداد شمالي- جنوبي، وبطول (١٢٠٠) كم. بلغ خلالها معدل التمزق نحو (٢,١) كم/ثا.

٣- خصائص الزلزال:

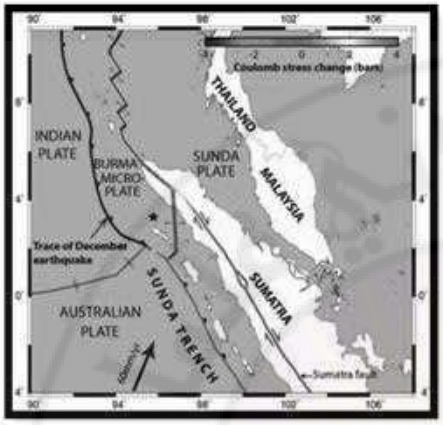
اجتمعت في زلزال المحيط الهادئ العديد من الخصائص التي جعلت منه حدثاً تاريخياً على الصعيد الجيولوجي وكارثياً على المستوى الإنساني، ومنها:

١- بلغت شدته القصوى نحو (٩,٢) على مقياس ريختر، لكنها تباينت بين هذه القيمة بين (٧-٨) درجة عموماً، شكل رقم (٩-٢).

٢- دام نحو (٨,٥-١٠) دقائق.

٣- وقعت بؤرته المركزية تحت قاع البحر بنحو (٣٠)كم فقط.

٤- قدّرت الطاقة المتحررة عنه بما يعادل (١,٩× ١٠ ^{١٧}) جول، أي ما يوازي تفجير نحو (٠,٨) مليار طن من مادة TNT.

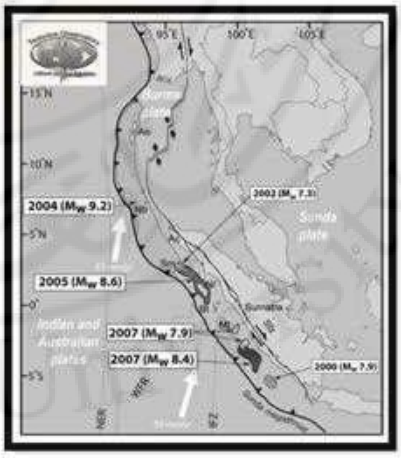


شكل رقم (٨-٢) حركة الاندساس عن خندق سوندا، والحركة الجانبية المتعاكسة.

٤-نتائجه:

أسفر الزلزال عن نتائج جغرافيّة غيرت معالم سطح الأرض في مجاله المركزي، ومنها:

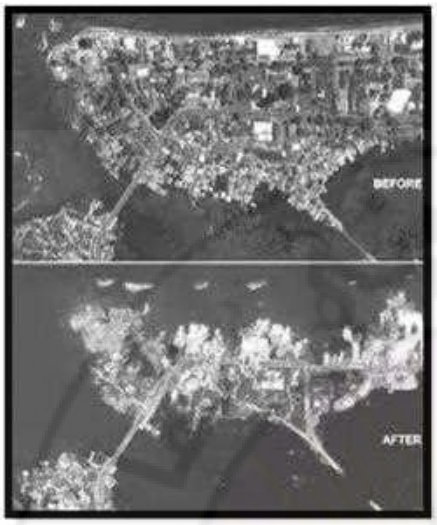
١- ارتفاع بعض الجزر بنحو (٢٠) سم عن سطح البحر، وهبوط أخرى قرابة المتر. مما تسبب بإغراق مساحات واسعة من جزر إندونيسيا والهند وبورما. صورة رقم (٢٧-٦).



شكل رقم (٩-٢) التوزع الجغرافي لقوة زلزال المحيط الهادئ.

٢- تحركت بعض الجزر عن مواقعها الأصلية نحو الجنوب الغربي، متوافقة بذلك مع حركة الإزاحة الجانبية، ولمسافات راوحت بين (٢٠-٣٦)م.

٣- نشأ غور في قاع المحيط الهادئ بطول (١٦٠٠)كم، قدر حجمه بنحو (٥٠٠) مليون م٣.



صورة رقم (٢-٢) تبين اختفاء جزء من ساحل جزيرة سومطرة تحت مياه البحر بعد وصول التسونامي.

٤- حدثت عدة انزلاقات أرضية تحت بحرية، على طول الحافة الصخرية للصدع، بلغ سمك بعضها (١٠٠) م، بطول (٢٠٠٠)م.

٥- نتج عن هبوط قاع المحيط انحسار مياه البحر، ثم ارتدادها نحو السطح مولدة موجة تسونامي عاتية، ضربت السواحل بعلو (٣٠) متراً، وبسرعة (٧٥٠)كم/ سا. توغلت في اليابسة لمسافات راوحت بين (٣-٥)كم، وبطاقة تدميرية عادلت انفجار (٥) أطنان من مادة TNT المتفجرة. صور رقم (٣-٢).



صورة رقم (٣-٢) وصول موجة التسونامي إلى سواحل سومطرة.

٦- مع تراجع الموجة عن السهول الساحلية، خلفت وراءها مستنقعات وسبخات كتيمة السطح، مما تطلب أموالاً طائلة وجهوداً حثيثة لاستصلاحها لاحقاً. صورة رقم (٤-٢).

٧- اتخذت الأمواج اتجاهاً شرقياً في المرحلة الأولى من التصدع، متعامدة بذلك مع محوره. الأمر الذي خفف من وطأة صدمتها مع سواحل بنغلاديش التي تقاطعت معها بزاوية منحرفة.



صورة رقم (٤-٢) السهول الساحلية الطينية بعد انحسار الموجة.

٨- وصل تأثير الموجة مع تخامد تدريجي إلى سواحل جنوب إفريقيا على بعد (٨٥٠٠)كم، واليابان على بعد (٨٠٠٠)كم، إلا أن اتساع الرصيف القاري لجنوب أفريقا خفف من خطر الموجة عليها وأطال زمن وصولها إلى سواحلها، وهو من التأثيرات الحسنة لضحالة السواحل شرقي أفريقيا.

٩- بلغت الإزاحة الأفقية نحو (١٥) متراً، وراوحت الرأسية بين (٣-٥) أمتار، وكان لهذا نتائج ملموسة على تغير معالم سطح الأرض، فتشكلت العديد من الجروف الصدعية، والفوالق، وتغيرات مسارات بعض المجاري النهرية تبعاً لذلك، كما ظهرت العديد من الينابيع المائية، في حين غارت مياه بعض البرك.

دراسة حال ٢:

١- زلزال اليابان ٢٠١١م

تتشابه الظروف الجيولوجية والجيومورفولوجيّة لجزر اليابان مع جزر إندونيسيا، فكلاهما جزر قوسيّة بركانيّة، تنشط عندها الزلازل، فتتعرض باستمرار لخطر أمواج التسونامي، لذلك فمن المفيد جيومورفولوجياً وجغرافياً إجراء مقارنة بين تأثيرات الزلازل والتسونامي على كلتيهما.

تقع منطقة سينداي Sendai التي ضربها الزلزال عام (٢٠١١)م، شمالي شرق جزيرة هونشو Honchu اليابانية، شكل رقم (١٠-٢). وتبلغ مساحة الأخيرة نحو (٦٦,٩)كم٢، وعدد سكانها قرابة (٩) مليون نسمة لعام (٢٠١٥)م، أي إن كثافتها السكانية العامة حوالي (١٣٦) ن/كم٢، فهي تزيد بذلك على كثافة السكان العامة في جزيرة سومطرة.



شكل رقم (١٠-٢) موقع زلزال سينداي (٢٠١١)م.

٢- خصائص الزلزال:

١- بلغت قوة الزلزال (٩) درجات على مقياس ريختر.

٢- دام نحو (٦) دقائق.

٣- بلغ عمق بؤرته (٣٠) كم.

٤- حرر طاقة قدرت بنحو ($٣,٩ \times ١٠^{٢٢}$) جول، أي ضعف زلزال المحيط الهندي عام (٢٠٠٤)م.

٣- أسباب الزلزال:

يسبب غوص صفيحة المحيط الهادئ تحت صفيحة هونشو، نطاقاً زلزالياً نشطاً على طول السواحل اليابانية، تراوح سرعة الاندساس بين (٦-٨)سم/سنة، مما يؤدي إلى تحرير طاقة هائلة تتراكم تحت صفيحة هونشو. ويُعتقد أن هذا الزلزال فرّغ (٩٣%) من الضغوط المحتبسة تحت سطح الأرض، التي تجمعت منذ آخر زلزال قوي ضرب المنطقة عام (١٩٢٦)م.وبلغت شدته (٧) درجات ريختر.

٤- نتائج الزلزال:

تنوعت نتائجه بين جيوفيزيائية واقتصادية وإنسانية، ومنها:

أ. تحرك أجزاء من شمالي شرق آسيا نحو (٢,٤) م نحو أمريكا الشمالية.

ب. انخفاض الساحل على طول (٤٠٠)كم بنحو (٠,٦) م.

ج. تحرك قاع البحر في المنطقة الواقعة بين مركز الزلزال وساحل اليابان، لمسافة (٥٠)م، نحو الشرق والجنوب الشرقي.

د. ارتفع قاع البحر نحو (٥٠) متراً عند مركز الزلزال، و(٣) متر عند ساحل مياجي Miyagi. مما سبب تغيرات واضحة لشكل السواحل ومساحاتها.

هـ. حدوث انزلاقات تحت بحرية بلغ سمك بعضها (٤٠) متراً.

و. حدوث تميع للتربة على مساحات واسعة مستصلحة حول مدينة طوكيو، وأورايسو Urayasu ومدينة تشيبا Chiba ونوراشينا Nurashina. نتج عنها هبوط لسطح الأرض راوحت أعماقه بين (٢٩) سم في منطقة سوما Soma، و(١,٢) م في منطقة مياجي Miyagi. صورة رقم (٥-٢).

ز. دمر الزلزال (٣٠) منزلاً، وتضرر (١,٠٤٦) منزل بدرجات متفاوتة.

ح. غمرت مياه البحر نتيجة لحدوث التسونامي من جهة، وخسف السواحل من جهة أخرى نحو (١٠) كم من السواحل اليابانية. فتعطلت الموانئ، وتهدم نحو (٤٥,٧٠٠) منزل، فيما لحقت الأضرار الجزئية بنحو (٩٠٠) ألف منزل. وتوقف العمل بمطار سينداي Sendai صورة رقم (٦-٢).



صورة رقم (٥-٢) تسيل للتربة في منطقة كوتو Koto في طوكيو.



صورة رقم (٦-٢) فيضانات التسونامي التي غمرت مطار سينداي Sendai.

ط. وفاة (١٥٨٩١) شخص، وفقد (٢٥٨٤)، وتشريد نحو (٢٢٨٨٦٣) إنسان.

ي. تبعه نحو (١٠٠٠) هزة ارتدادية، بلغت شدة (٨٠) منها (٧) درجات على مقياس ريختر وأكثر، كان أعنفها زلزال (٧/ نيسان)، الذي ضرب منطقة سينداي بقوة (٧,٤) ريختر.

ك. تولدت أمواج تسونامي، وصلت بعد ساعة من وقوع الزلزال إلى ارتفاع (٤٠,٢) متر، ووصلت حتى سواحل أمريكا الشمالية وألاسكا. وبلغت نحو المترين في تشيلي.

ل. تدمير محطات الطاقة النووية في فوكوشيما Fukushima، الذي تسبب بإجلاء نحو (٢٠٠,٠٠٠) شخص. إضافة إلى حدوث الحرائق الناتجة عن الزلزال وتدمير المدن وأنابيب الغاز وأعمدة الكهرباء، وتسرب النفط واحتراقه، الصورتان (٧/٨-٢).



صورة رقم (٧-٢) غمر منطقة مرفأ سينداي ودخان حرائق النفط المتسرب.



صورة رقم (٨-٢) دمار الطرق والمنازل بعد الزلزال وتسونامي ميناتو Minato.

يلاحظ من خلال مقارنة الزلزالين، أن حصيلة الدمار البشري كانت عالية جداً في سومطرة، على الرغم من كون الكثافة السكانية العامة فيها أقل، إلا أن تخلف الأوضاع الاقتصادية والتقنية والعمرانية والخدمية، كان وراء الأعداد الكبيرة من القتلى والمشردين.في حين كانت قيمة الخسائر الاقتصادية الناتجة عن زلزال اليابان أعلى بكثير، وذلك لفداحة الخسائر التقنية والاقتصادية، بل إنه عُدّ من أعلى الزلازل تكلفة في تاريخ الخسائر المادية الناجمة عن الزلازل، حيث قدّرت خسائر اليابان حينها بنحو (٣) مليار دولار أمريكي.

مؤشرات حدوث التسونامي:

على الرغم من عدم القدرة على التنبؤ بحدوث الزلازل، إلا أن هامش النجاة من خطر التسونامي يبقى أطول، على الرغم من كونه قد لا يتعدى الدقائق، وذلك لأنها ظاهرة تسبقها مؤشرات عدة، منها:

١. اهتزاز قاع البحر.

٢. انحسار مياه البحر عن الشواطئ لدقائق.

٣. نشوء جدار من الماء يعلو كلما اقترب من الشواطئ، ويرى من المناطق المرتفعة من الجزر أو السواحل.

٤. اضطراب في حركة الأسماك والكائنات الحية البحرية.

الحلول المقترحة لمواجهة خطر الزلازل- تسونامي:

تتنوع الإجراءات المتخذة لمواجهة الزلازل حسب المراحل، فمنها ما يسبق الزلزال، وتسمى إجراءات استباقية، ومنها ما يكون أثناء الكارثة، ومنها ما يكون بعدها:

- **إجراءات ما قبل الزلزال:**

تعتمدها الدول والمناطق المعرضة بشكل دائم للزلازل، فتكون مجتمعاتها منسجمة معها، من حيث السلوك اليومي، ومنها (خلف الدليمي:٢٠٠٩، ص ٨٦):

١- التأكد من احتواء المنازل على مواد طبية وإسعافية، كالحقائب الطبية والمطافئ وبطاريات الشحن ووسائل اتصال لاسلكية.

٢- التوعية الثقفية والتعليمية للمجتمع بخطر الزلازل وسبل النجاة منه.

٣- قطع الكهرباء والغاز والمياه عن الأحياء السكنية لتلافي خطر اندلاع الحرائق والإغراق.

٤- تحديد أكثر المواقع أماناً وخطورة، لوضع خطة نقل سريعة للسكان.

٥- إعداد الخرائط والمخططات المتعلقة بهذا الشأن وتحديثها بشكل دوري. ونشرها عبر مواقع التواصل الاجتماعي والمدارس ومراكز التوعية والإيواء.

٦- تحديد أفضل الطرق والسبل لعملية الإخلاء بشكل سريع وآمن.

- **إجراءات خلال الكارثة:**

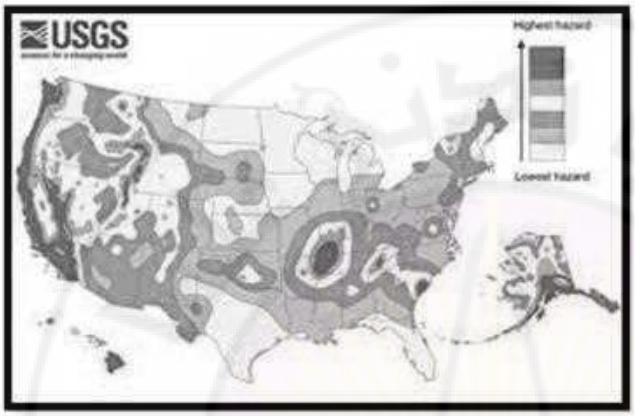
إن قصر الفترة الزمنية للزلازل يعيق اتخاذ إجراءات محددة للسلامة، ويمكن أن تقتصر على تطبيق ما تم التدرب عليه في المرحلة السابقة. بالإضافة إلى الابتعاد عن مواقع التصدع والمنازل القديمة والشاهقة والأثاث المنزلي الثقيل.

- **إجراءات ما بعد الكارثة:**

إن مواجهة أي خطر طبيعي يجب أن تنطلق من استراتيجيين، الأولى إضعاف قوة الخطر، أو تشتيت طاقته التدميرية، بالإضافة إلى تحصين مواقع الدفاع المعرضة للخطر. ويمكن تلخيص الخطوات الواجب اتباعها لمواجهة خطر الزلازل وأمواج التسونامي، بالآتي:

١- دراسة خصائص تضاريس اليابسة وقاع البحار. وبالتحديد عند الشواطئ، وأثر ذلك في رفع خطر الأمواج المحيطية.

٢- دراسة احتمالية تعرض المناطق والأقاليم للزلازل، وإعداد خارطة عن ذلك، والتخطيط المستقبلي بناء على نتائجها. شكل رقم (١١-٢).



شكل رقم (١١-٢) خارطة احتمالية التعرض للزلازل في الولايات المتحدة الأمريكية.

٣- تحديد مواقع عدم الاستقرار التي تتعرض موادها للحركة تحت تأثير الزلازل، فتسبب الانزلاقات والانهيارات، وعدم التصريح لأي بناء فيها قبل تهيئتها لذلك.

٤- عدم البناء بشكل طابقي في مناطق نشطة زلزالياً، وذلك لما ينتج من مخاطر بسبب انهيارها على بعضها جانبياً. صورة رقم (٩-٢).



صورة رقم (٩-٢) سقوط المباني الطابقية على بعضها، إثر زلزال عام (٢٠١٦).

٥- دراسة الخصائص الجيومورفية للسواحل، فكلما ارتفعت وتضرست ومالت طبقاتها الصخرية بعكس اتجاه البحر، شكلّت عائقاً في وجه مياه البحر، وخفضت مستويات خطر الانزلاقات.

٦- إنشاء جدار أسمنتي يرتفع لمستوى يرتفع فوق أعلى تقدير محتمل لارتفاع الأمواج في حال حدوثها. و يفضل أن يكون وجهه المقابل للبحر منحدرا نحو السماء مع تقعر بسيط، يرد الماء إلى البحر.

٧- دراسة واقع المجتمعات السكانية ونمط العمران وتوزعه، فقد أكد بعض الباحثين أن من توفي في زلزال مدينة قم الإيرانية (٢٠٠٥)م، بسبب تهالك المنازل الطينة، أكثر ممن توفوا بسبب الزلزال.

٨- إعداد خرائط دقيقة تبين تاريخ الخطر الزلزالي ومواقعه وأهم خصائصه الجغرافيّة.

٩- إنشاء محطات إنذار مبكر لرصد حركة الأمواج في المحيط الهادئ والكاريبي وبحر اليابان، وهو ما نفذته فعلاً منظمة هيئة الأمم المتحدة عقب زلزال سومطرة.

١٠- اتخاذ تدابير السلامة والإخلاء السريع أو اللجوء نحو المباني المرتفعة المتينة.

ثانياً – البراكين Volcano

البركان جبل أو تل مخروطي الشكل يعلو فوق الأراضي المحيطة به، يغطي مساحات تراوح بين عشرات ومئات الكيلومترات المربعة، يغلب على قاعدته الشكل الدائري أو البيضوي، تحتل قمته فوهة عميقة أو ضحلة. ذات جوانب شديدة الانحدار تحيط بالفوهة إحاطة السوار بالمعصم، قد تكون مشرومة الحافة، أو مشدوقة من أحد الجوانب نتيجة انفجار جانبي، أو صدع لاحق، أو عمل حتيّ، أو انهيار جزء من الحافة. (عادل عبد السلام، ٢٠١٤).

شهدت العشرة آلاف سنة الماضية ثوران نحو (١٥١١) بركان، وقدّر أنه في كل سنة يثور (٣٠) بركاناً منها، وتميزت عصور جيولوجية كاملة بنشاط بركاني مستمر، في حين شهدت أخرى كالعصر الكربوني هدوءاً بركانياً نسبياً. ويرتبط توزع البراكين مكانياً بمناطق الحدود بين الصفائح البنائية، وعند الفوالق القارية، ونطاقات الخسف. ومواقع البقع الساخنة Hot spots، وتعد براكين هاواي و متنزه يلوستون Yellow stone من أفضل الأمثلة عن ذلك. وكشفت الدراسات الرصدية لثورانات بركانيّ بيلي (١٩٠٢)م. و سانت هيلين عام(١٩٨٠)م، النقاب عن مفاهيم جديدة تتعلق بأنواع تدفقات الحطام، وخصائص

البازلت، والسلوك الانفجاري الذي أطاح بالجزء العُلوي من مخروط البركان. (Bardintzeff & McBirney: 2000. P 2).

يبلغ عدد البراكين النشطة في العالم منذ (٢٠٠) سنة مضت حوالي (٦٠٠) بركان، ويوجد منها في إندونيسيا وحدها قرابة (٧٦) بركاناً، وفي اليابان (٦٠) بركاناً، و(٥٣) في الولايات المتحدة الأمريكية. ويمكن أن تكون هذه الأفران العملاقة متقدّة بشكل مستمر فتُعرف بالبراكين النشطة active التي تثور بشكل متتال كل بضع سنين، مثل بركان سترومبولي Stromboli شرقي المتوسط، ومنها ما يكون ساكناً dormant يثور بشكل متقطع – يفصل بين كل ثورتين فترة زمنية تزيد على الألف سنة– كما هي الحال في بركان جبل هيلجافييل Helgafjell في أيسلندا، الذي ثار بعد فترة سكون دامت (٥٠٠٠) سنة عام (١٩٧٣)م. في حين تصنف البراكين التي لم تشهد أي ثوران منذ فترة زمنية طويلة جيولوجياً، تصل إلى عشرات آلاف السنين، ولا يتوقع لها أن تثور لاحقاً، ضمن فئة البراكين المهمدة أو الخامدة Extinct، كالبراكين المنتشرة في منطقة الجولان في الزاوية الجنوبية الغربية من سورية. ومن أشهر براكين العالم بركان جبل فيزوف Vesuvius في إيطاليا، وفوجي Fuji في اليابان وكاراكاتوا Karakatua في إندونيسيا. وللأخير سيرة غير محمودة في العصر الحديث، فبعد خمود دام نحو (٢٠٠) عام، ثار البركان ثوراناً عارماً عام (١٨٨٣)م، قاذفاً مواده البركانية لمسافة (٨٠) كم في الغلاف الجوي، وبقوة تعادل تفجير (١٠٠) مليون طن من مادة (TNT). مما أدى إلى ارتفاع أمواج البحر نحو(٣٧)متراً، وإغراق القرى الساحلية في جزر جاوة Jawa وسومطرة، ودامت ظلمة السماء ثلاثة أيام بسبب الغبار والرماد الذي حجب أشعة الشمس، الأمر الذي أدى إلى انخفاض درجة حرارة الغلاف الجوي الأرضي درجة مئوية واحدة. وسُمع دوي انفجاره في وسط أستراليا على بُعد (٤٨٠٠) كم من مركزه.

وقد أنشأت الدول المتقدمة التي اتسعت رقع مدنها، وشبكات مواصلاتها، حتى أصبحت في مناطق الخطر البركاني، مؤسسات خاصة –بحثية وعلمية – يجمع بينها الاهتمام بالبراكين، لفهم سلوكها وتلافي خطرها والاستفادة منها، وفي مقدمتها مكتب برنامج مخاطر البراكين Volcano Hazards Program (VHP) في الولايات المتحدة الأمريكية، والذي يهدف لمراقبة جميع البراكين فيها، وتفسير أسباب ثورانها، وإيجاد السبل للحد من مخاطرها، وتعمل هكذا مراكز على نشر معلوماتها ومشاركتها عالمياً عبر الدوات والمؤتمرات ومواقع

لشابكة، ولذلك تم مؤخراً تحديث شبكات الرصد في جزيرة هاواي، وكالديرا لونغ فاليو Long Valley في كاليفورنيا، والحقل البركاني الضخم في متنزه يلوستون. وإنشاء مكتب المساعدة في حالات الكوارث للاشتراك بإدارة الكوارث البركانية. ومع ذلك، لا تزال هناك ثغرات وقصور في القدرة على الرصد في العديد من البراكين الخطرة. فحيث تنشط (٥) براكين حالياً، يوجد نحو (١٣) أخرى تصنف ضمن فئة البراكين عالية التهديد في الولايات المتحدة الأمريكية، و (٢١) غيرها تحت المراقبة الرادارية والحرارية والزلزالية، إلا أن بعضها يفتقر إلى كوادر الرصد الأرضي والميداني.

على الرغم من النتائج الكارثيّة لبعض الثورانات البركانية، إلا أنها تقدم فوائد عديدة للأرض والإنسان، أهمها نشوء الجزر أو زيادة مساحاتها كجزر أيسلندا واليابان وهاواي وتاهيتي، وتغذية التربة بالمعادن المفيدة للحياة النباتية، وتزويد الإنسان بالمعلومات المهمة عن باطن الأرض، باعتبارها نوافذ تلقي من خلالها الأرض ما في جوفها من مواد إلى سطحها، كما تعد الصخور البازلتية من أفضل مواد البناء والمنشآت ولبنى التحتية وبعض الصناعات الهندسية والنسيجية. إضافة إلى الاستخدامات السياحية للمتنزهات والمظاهر البركانية، كنافورات المياه الساخنة، وشلالات المهل المتصلبة كما هي الحال في محمية يلوستون في الولايات المتحدة الأمريكية، إضافة إلى إمكانية الاستفادة منها مستقبلاً كمصدر مجاني للطاقة، وتشير الدراسات التي أجراها علماء أيسلنديون، أنه يمكن تدفئة (٨٠%) من منازل ومصانع البلاد في حال أُحسن استثمار الطاقة الحرارية المنبثقة من داخل الأرض.

أما من الناحية الجيومورفولوجية فتتميز البراكين بإمكانية متابعة تشكلها- عكس كثير من التضاريس- حيث يمكن للإنسان مشاهدة أحداثها خلال حياته القصيرة، فقد ارتفع بركان باريكوتين Paricutin في المكسيك لعلو (١٥٠)م، بعد أسبوع من ولادته عام (١٩٤٣)م، صورة رقم (١٠-٢) ويبلغ حالياً (٤١٠)م، صورة رقم (١١-٢). وقد دمرت حممه قريتي باريكوتين وسان خوان. كما قضت على تسع قرى أخرى، وأحال البركان مساحات شاسعة من الأراضي الزراعية والغابات إلى أرض غير صالحة للزراعة حتى توقف نشاطه في عام (١٩٥٢)م.

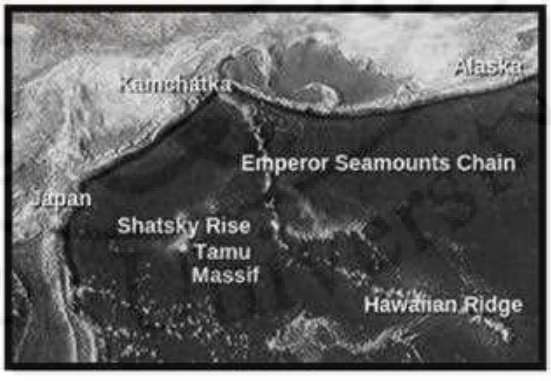




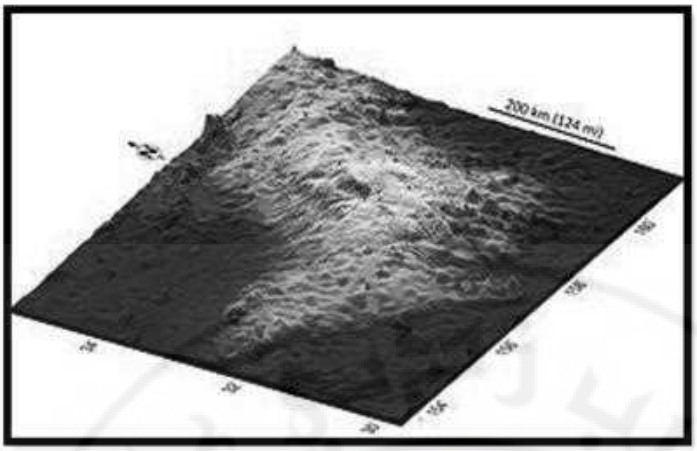
صورة رقم (١٠-٢) ثوران بركان باركوتين عام (١٩٤٣)م.

صورة رقم (١١-٢) البركان عام (١٩٩٧)م.

وما يخفيه ماء البحر من خطر بركاني، هو أشد مما يظهر على سطح اليابس، فقد أكدت الاستكشافات البحرية لجامعة هيوستن عام (٢٠١٣)، اكتشاف ما يُعتقد أنه أكبر بركان ترسيّ على وجه الأرض، وقد أطلق عليه بركان تامي ماسييف Tami massif، ويقع إلى الشمال الغربي من المحيط الهادئ شرق اليابان، شكلان رقم (١٢/١٣-٢). وقد قدّر انخفاض قمته عن سطح البحر بنحو (١٩٨٠)م، بينما تصل قاعدته إلى عمق (٦,٤)كم حتى قاع المحيط. يمتد على مساحة تبلغ نحو(١٩٥) ألف كم٢، أي ما يقارب حجم ولاية نيو مكسيكو.



شكل رقم (١٢-٢) موقع بركان تامو ماسيف.



شكل رقم (٢-١٣) مجسم يبين أبعاد بركان توما ماسيف الدرعي.

١- أسباب البراكين:

إن اختلاف أنماط الثورانات البركانية، يجعل تحديد أسبابها عسيراً، على الرغم من التأكد من أن ذلك يرتبط بتغيرات في سماكة القشرة الأرضية وتماسكها من جهة، وزيادة ضغوط الصهارة المتراكمة وغازاتها المحتبسة من جهة أخرى، إضافة إلى حركات الصفائح الأرضية، التي تسبب ضغوطاً على خزانات المهل ضمن القشرة الأرضية ذاتها، أو تتيح المجال أمام المهل للتحرر عبر ما تسببه الحركات البنائية من تشققات وتصدعات، أما استمرار الثوران أو تخامده فيعود إلى حجم المهل في الخزانات، وإلى التغذية التي يحصل عليها من المعطف، وقرب مصادرها من السطح.

إن تحول العديد من الحقول البركانية النشطة حالياً إلى مناطق جذب سياحي، واستثمار اقتصادي في مجال الطاقة الكهرو-حرارية، وما يعتريها من مخاطر محتملة، جعل من مهمة الجيومورفولوجيا التطبيقية ضرورة علمية واقتصادية لتحديد فوائدها وكيفية استثمارها بطرق آمنة.

٢- عناصر البركان:

تتكون البراكين عادة من فوهة وتل مخروطي، ولها عناصر ثابتة، شكل رقم (٢-١٤)، تتمثل بما يلي:

١- **المخروط Cone:** هو جسم البركان وهيكله الخارجي، وكثيراً ما يشار إليه على أنه البركان ذاته، قد يكون بسيطاً مكوناً من مخروط واحد، أو مركباً من عدة مخاريط. يشكّل الرماد والمواد الصلبة Pyroclastic & ash أهم مكوناته، تتباين ارتفاعات المخاريط

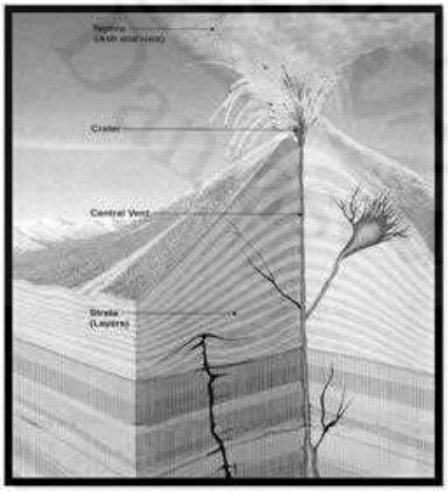
البركانية بشكل كبير، فمنها ما لا يزيد ارتفاعه على بضعة أمتار، ومنها ما يتجاوز (٦٠٠٠) متر كجبل بركان كلمنجارو.

٢- **المدخنة Vent**: القناة التي تندفع من خلالها المواد البركانية، وتصل بين الفوهة وخزان المهل، وتكون غالباً اسطوانية الشكل، تشبه الأنبوب الواسع من أعلاه. يزداد طولها كلما ازداد ارتفاع المخروط البركاني، وقد تفتح المواد المندفعة لنفسها مداخن أخرى جانبية عبر التشققات التي تصيب جسم البركان.

٣- **الفوهة Crater**: هي فتحة البركان ومخرج المواد البركانية وتمثل الطرف العلوي من المدخنة، تتخذ شكل حوض مخروطيّ يبدأ من أعلى المدخنة ويتسع ليحتل قمة البركان، كما يوجد فوهات ثانوية ثانوية فوق المنحدرات. وتعد فوهة بركان Toba في جزيرة جاوة الاندونيسية الأوسع على مستوى العالم، حيث تبلغ مساحتها (١١٧٥)كم٢.

٤- **خزان المهل أو الصهارة أو الماغما Magma Chamber**: هو المصدر الأساس للمهل، يمتد إلى المعطف إذا كان رئيساً، وقد يتفرع من المعطف خزانات ثانوية على سويات أعلى منه ترتبط بالأثينوسفير أو بجيوب في القشرة الأرضية.

٥- **الكالديرا Caldera**: عنصر خاص لا يوجد في جميع البراكين، بل يتطلب شروطاً خاصة، وتعرّف الكالديرا على أنها: حوض كبير واسع، شديدة انحدار الجوانب. من أشهرها كالديرا آسو Aso في اليابان ويبلغ قطرها (٢٢)كم ، وتتكون الكالديرا عموماً جدار يسمى (السوما) يحيط بالحوض، ومخروط بركاني أو أكثر في الوسط، يفصله عن جدار السوما خندق يعرف بـ (أتريو).



شكل رقم (١٤-٢) عناصر البركان ومكوناته.

٣- الظاهرات البركانية ذات الأهمية التطبيقية:

أ/٣- القاطع أو الحاجز أو الجدار Dyke: محقونات قاطعة أو مسعترضة discordant intrusions لطبقات الصخور. وتعرف بالسد أو الحافة البازلتية في حال بروزها فوق سطح الأرض، تنتج عن تصلب اللابة في الشقوق الرأسية والمائلة بين الطبقات. تكون أشد صلابة من الصخور الحاضنة لها، بسبب تركيبها من جهة، وما تتعرض له موادها من ضغط يفرغ غازاتها من جهة أخرى. يراوح متوسط عرضها بين (١-١٠) أمتار، لذلك يمكن لبعضها أن يحجز المياه الجوفية أو يغير من مساراتها.من أمثلتها القاطع البازلتي بريك نايف Breadknife في منتزه واريومبيونغل Warrumbungle الوطني شمالي غرب سدني بأستراليا، الذي يمتد لنحو (٦٠٠)م، ويعلو حتى (١٠٠)م. صورة رقم (١٢-٢). أما أكبرها فهو قاطع كريت دايك (الجدار العظيم) Great Dyke في زيمبابوي، الذي راوح عرضه بين (٦-٨)كم، وطوله نحو (٥٠٠)كم.



صورة رقم (١٢-٢) الجدار البازلتي بريك نايف Breadknife في أستراليا.

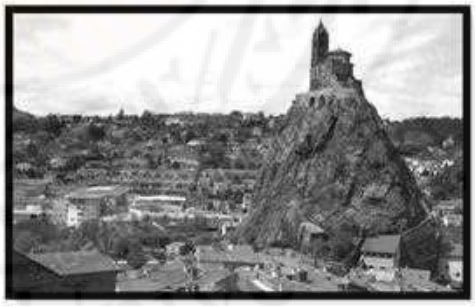
ب/٣- العروق أو النُضدَ Sills: محقونات مهلية متصلبة مسطحة، تتخذ شكل طبقات أفقية منُضدّة مندسة بين أسطح تطبق صخرية مختلفة عنها بالتكوين، وأقدم منها بالتشكل، تمتد لمسافات تصل أحياناً إلى (١٠٠) كم، وتحتل مساحات واسعة تحت سطح الأرض، أكبرها في منطقة karoo في جنوب أفريقيا، تبلغ مساحتها نحو(٥٠٠,٠٠٠) كم٢، ومتوسط سمكها بين (١٠-٣٠)متراً، وعندما تتكشف هذه الطبقات على السطح بإزالة ما يعلوها من صخور بالحت والتعرية. تُشكّل سطحاً صلباً ذا حافات واضحة، وتستخدم كمواقع عسكرية لبناء الأسوار، كجدار هيدريان Hadrian الشهير بالقرب من الساحل الشمالي لنورثيومبرلند Northumberland. صورة رقم (١٣-٢)، ولبناء القلاع مثل قلعة دونستانبرغ

Dunstanburgh ولينديسفيرن Lindisfarne. ومن فوائدها التطبيقية الأخرى، أنها تشكّل طبقة حاجزة للمياه الجوفية تحول دون تسربها، لذلك تعد الطبقات التي تعلوها – إن كانت رسوبية– من أهم الخزانات الطبيعية للمياه الجوفية.



صورة رقم (١٣-٢) جدار هيدريان الروماني.

ج/٣- المسلات أو القصبات أو الأعناق Necks: محقون رأسي أنبوبي أو حشوة متصلبة داخل المدخنة البركانية، تعرف **بالمسلة** حين تكون أسباب بروزها عمليات الدفع التي تمارسها المواد البركانية أسفل منها، و **بالقصبة** حين تكشفها عمليات التعرية الخارجية، بإزالة ما كان يحيط بها من جسم البركان. وقد استفيد منها باستخدامات متعددة لما تتمتع به من ميزات، كالموقع المرتفع، و قساوة صخورها، فبُنيت فوقها القلاع، وأشهرها في سورية قلعة صلخد، و قلعة سانت ميشيل دي أيجولاSaint-Michel d'Aiguilhe فوق مسلة بركانية لي باين فيلو Le Puy-en-Velay في فرنسا. صورة رقم (١٤-٢).



صورة رقم (١٤-٢) قلعة سانت ميشيل دي أيجولا، بنيت عام (٩٦٩)م، على مسلة يبلغ ارتفاعها (٨٥)م، فرنسا.

د/٣- الفوهات الغازية: وينتمي إليها كل من نافورات السولفاتارا Solfataras والفوماورول Fumaroles، تنفث غازات متنوعة مع بخار الماء، تتميز بدرجات حرارة عالية، تصل إلى (٣٠٠) درجة مئوية في الأولى، و(٦٠٠) درجة مئوية في الثانية، تغلب مكونات غاز

الكبريت في الأولى كما تطلق غازات الكلور والهيدروجين والكبريت. وهي مصدر مهم لحمض البوريك والأمونيا والطاقة الكهر – حرارية.

هـ/٣- نافورات المياه الساخنة أو الجيزر Gyser: من أشهر مظاهر البراكين سياحياً، تعمل على دفق المياه الساخنة بعد وصول درجة حرارتها إلى حد الغليان. وهي مقصد سياحي مهم لغرابة عملها بالنسبة إلى السياح. كما تعد مصدراً مهماً للتدفئة والطاقة الحراريّة في أيسلندا وكاليفورنيا. وهي من الظاهرات المائية – الحرارية Hydrothermal phenomena. فمع ارتفاع درجة الحرارة إلى حد الغليان. يزداد تبخر الماء ومع تبرده تزداد كثافته، فتتغير سرعة انحلال بعض عناصره مثل CO_2، الذي تنخفض انحلاليته في الماء الحار أكثر من غازات الكبريت، لذلك يكون غاز ثاني أكسيد الكربون آخر الغازات المحتجزة ضمن الماء المغلي، مما يفسر انطلاقه وتحرره متأخراً.

تشتهر ثلاث مناطق في العالم بنافورات مياهها الساخنة، هي :

- متنزه يلوستون الوطني في الولايات المتحدة الأمريكية، ويضم نحو (٢٠٠) جيزر. وتعد نافوراته الأقدم عالمياً، والأكثر استمراراً من حيث نشاطها، فقد بلغ معدل تدفق الماء الساخن منها، دفقة كل (٦٠-٩٠/د).
- أيسلندا وتضم نحو (٣٠) جيزر. صورة رقم (١٥-٢)
- نيوزيلندا ويضم نحو (٢٠) جيزر.



صورة رقم (١٥-٢) نافورة ستروكيور Strokkur بأيسلندا.

تصنف بعض الينابيع حسب مركباتها الكيميائية، إلى ينابيع كبريتيّة – حامضيّة، وأخرى كلوريّة- قلويّة. تصرف الأولى كمية قليلة من الغازات الكلورية مع كمية أكبر من بخار الماء، مشكلّة برك الطين المغلي boiling mud pools في جوانب بعض البراكين. وتكون

مضطربة وعكرة وتطلق الغازات التي تظهر على شكل فقاقيع تحيط بها دوائر متباعدة عن مركزها، لا تلبث أن تنفجر على مقربة من سطح الأرض، وترتبط مباشرة بالماء السائل. وتستخدم الكبريتية منها للعلاج الطبي – السياحي، كما في أيسلندا والولايات المتحدة الأمريكية، صورة رقم (١٦-٢).

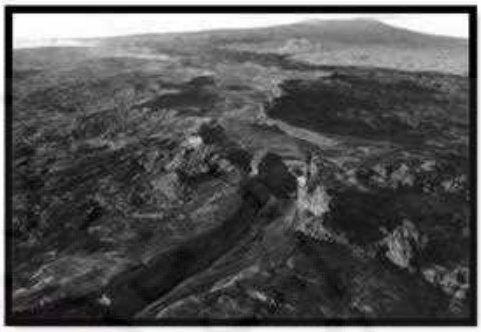


صورة رقم (١٦-٢) فقاعة على سطح إحدى برك الطين في أيسلندا.

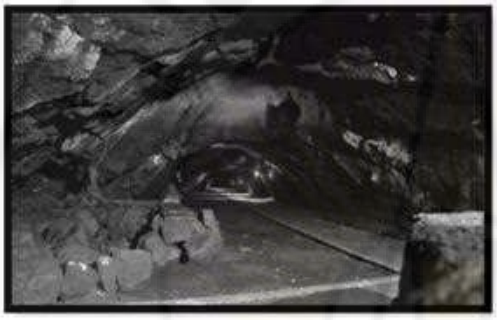
و/٣- أنابيب الحمم البركانية Lava tubes: تمثل أنابيب الحمم البركانية واحدة من أغرب الكهوف، والمظاهر الانبثاقية تحت سطح الأرض، إلا أنها من أكثرها خطورة، بسبب تعرض أجزاء من أسقفها وجدرانها للانهيار. (Halliday; 1963. Pp 4-5)، تتشكل هذه الكهوف مع تصلب القشرة الخارجية من اللابة السائلة والمتدفقة عبر قناة المهل conduits، فتبني بتماسكها سقفاً عازلاً يحافظ على سيولة المهل الذي يستمر بالتدفق، ومع انقطاع التغذية، وانصراف المهل من الأنبوب، يتشكل كهف أسطواني، يعتمد طوله على حجم التغذية واستمرارها.(DeDecker. J :2015. P 2).

تحتوي أنابيب الحمم البركانية على أشكال وتضاريس غريبة، كالنوازل المهلية التي تتخذ شكل أسنان القرش shark's teeth، والقطرات drips المتدلية من الأسقف، وكلها تجذب السياح وتثير فضولهم، (Gadanyi;2010.p6) (Grimes;1995. P 16). ويمكن استخدام هذه الكهوف في تغذية المياه الجوفية عبرها (Al-Amoush:2010.p 389)، ولها أهمية ثقافية وتاريخية واقتصادية وعسكرية لدى بعض الشعوب، فقد اعتمد عليها سكان هاواي الأصليين، في تأمين الشرب والمأوى. (Hon & Others: 2008. P19) (Olhoeft

(& Others; (2000). صورة رقم (١٧-٢)، وتعد مغارة عريقة في محافظة السويداء من أشهر كهوف الحمم البركانية في سورية. صورة رقم (١٨-٢).



صورة رقم (١٧-٢) قناة مهل متدفق، لاحظ خروج الحمم البركانية من مقدمة الأنبوب.



صورة رقم(١٨-٢) جزء من كهف عريقة في محافظة السويداء/سورية.

٤-تصنيف البراكين حسب نشاطها:

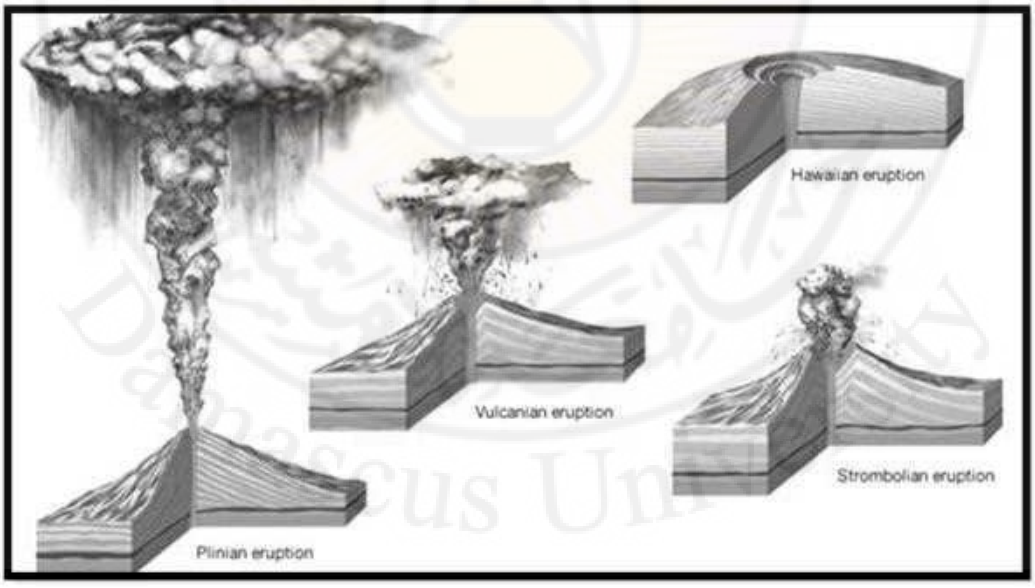
يمكن تصنيف البراكين حسب عدة معايير، كنشاطها، وشكلها، وموادها.

يعد التصنيف المبني على أساس **النشاط** من أهم التصانيف التطبيقية، وذلك كون إدراك آليات عمل البراكين من أهم متطلبات تدارك خطرها، كما يعتمد استخدام مواردها الطبيعية من بحيرات ومنحدرات وتربة ومواد أولية للبناء على مدى استقرارها أو نشاطها، حيث يستحيل التعامل مع بركان دائم النشاط إلا لغايات بحثية وعلمية على الأقل في الوقت الحاضر، وتُصنف البراكين حسب نشاطها. إلى البراكين الخامدة Extinct، والبراكين الهادئة Dormant، والبراكين النشطة Active.

يرتبط نمط ثوران البراكين أساساً بمحتوى موادها من الغازات التي تحتبس دون الفوهة، وتخرج منطلقة وفق أسلوب انفجاري أو هادئ، وهي مواد لزجة إلى مائعة، يغلب على الغنية منها بالغازات التركيب الحامضيّ، وينتمي إليها براكين سترومبولي وفولكاني وفيزوف أو

بيليني. في حين تتميز البراكين ذات المهل السائل بأسلوب هادئ في ثوراناتها، حيث تخرج موادها متدفقة مع انخفاض في إيقاع الانفجارات، وهي براكين ذات مواد قلوية التركيب، منخفضة المحتوى من الغازات بسبب طبيعتها السائلة، وينتمي إليها نموذج براكين هواي، وبالتالي فإن الزمرة الأولى تتميز بنوع معين من المخاطر ناتج عن قوة ثوراناتها وطبيعة موادها الصلبة والغازية عموماً، في حين تنحصر المشكلات المتعلقة بثوران البراكين الهوائيّة الهادئة بمسافة ومساحة تدفق اللابة السائلة على سطح الأرض.

وغالبا ما يرتبط **التصنيف الشكلي (المورفولوجي)** بنمط النشاط البركاني، ويوفر معلومات دقيقة عن أشكال البراكين ومظاهرها، وهي معلومات تساعد في تحديد مسالك المهل القديم والحديث والمحتملة. كما يرتبط زمن وصول مواد البراكين إلى التجمعات السكانية والأراضي الزراعية. بطبيعة هذه المواد من جهة، وخصائص منحدرات البراكين من جهة أخرى، فكلما قصرت وانحدرت وقلت وعورتها، سارع المهل في الوصول إلى المناطق المنخفضة مهدداً القرى والمزارع والمدن. ويبين الشكل رقم (١٥-٢) أشكال البراكين، وسلوكها الانفجاري الذي يرتبط أساسها بطبيعة موادها.

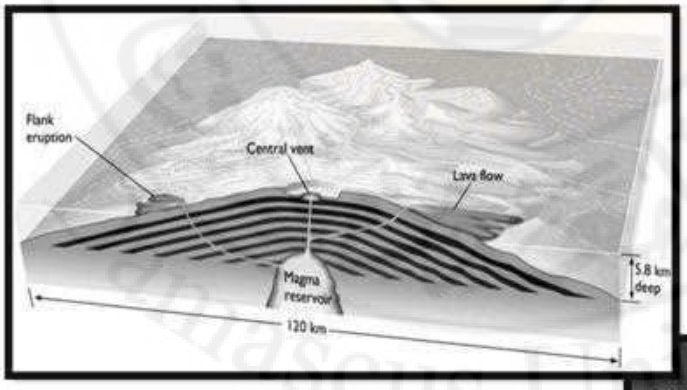


شكل رقم (١٥-٢) نماذج الانفجارات البركانية وأشكال براكينها

وتصنف البراكين حسب أشكالها إلى:

أ- براكين ترسية Shield Volcanoes

هي براكين عدسية الشكل، محدبة من الوسط ورقيقة نسبياً عند الأطراف، واطئة عموماً، ذات سفوح لطيفة الانحدار، لا تتعدى (١٥) درجة، وفوهة مركزية، تنحدر سفوحها نحو الداخل بشدة، يتدفق منها المهل السائل بشكل هادئ، أشهرها سلسلة براكين جزر هاواي Hawaii، التي تضم أحد أكبر البراكين الترسيّة في العالم، وهو بركان جزيرة ماونالوا Mauna loa الذي يرتفع عن قاع البحر نحو (٩٠٠٠)م، متفوقاً بذلك على أعلى قمة على اليابسة وهي قمة أفريست، التي ترتفع فوق مستوى سطح البحر نحو (٨٨٨٤)م. وطالما أن طبيعة ثوراناتها هادئة وموادها سائلة فإن الخسارة الناتجة عن انفجاراتها تكون قليلة، لذلك تستخدم معظم موادها في بناء براكينها، فتزداد ضخامة، وعلواً مع كل تدفق وثوران، وتتسع قواعدها مما يساعدها على حمل الكميات الهائلة من المواد المضافة إليها بشكل مستمر، مما يعلل ارتفاع براكين هواي لتشكل جزراً محيطية، ويفسر توفر شروط الحياة ومقوماتها، من مساحات واسعة، وأسطح قليلة الانحدار، ومياه وتربة خصبة. كما أنها تتوسع باستمرار على حساب البحر مع وصول المهل إلى السواحل وتصلبه بتماسه مع مياه البحر. شكل رقم (١٦-٢). صورة رقم (١٩-٢).



شكل رقم (١٦-٢) مجسم لبركان ترسي من براكين هاواي.



صورة رقم (١٩-٢) إحدى جزر البراكين الترسية.

ب-براكين مركزيّة centric Volcanoes

تتكون غالباً من مواد بركانية صلبة. تراوح انحدارات سفوحها بين (٣٠ -٤٠) درجة. و تنتمي إليها النماذج الآتية:

١- **النموذج الستروميولي:** نسبة إلى بركان سترومبولي Stromboli في جزر ليباري شرقي جزيرة صقلية، وهو شكل انتقالي بين البراكين الهادئة والانفجارية، مواده لزجة إلى مائعة، تراوح درجة حرارتها بين (١٠٠٠ -١١٠٠ °)مئوية، ثوراناته متقطعة، يبني لنفسه مخروطاً مخروطه شديد الانحدار، يترافق خروج مواده مع الغازات.

٢- **النموذج الفولكاني:** نسبة إلى بركان فولكانو Volcano في جزر ليباري. مواده مائعة، تتصلب بسرعة، ما يتسبب بانسداد المدخنة، فتحتبس المواد المتصعدة بداخلها ودونها، فتولد ضغوطاً تتراكم طاقتها حتى تزيد شدتها على قوى المقاومة التي تبديها المواد المتصلبة داخل المدخنة، فتحدث انفجاراً قد يطيح بالسدادة وربما بالجزء العلوي من البركان، ونتيجة لشدة انفجاراته، تتفتت المواد الصلبة وتتعاظم كمية الرماد، فتتكون سحب محرقة من الرماد الملتهب والقنابل البركانية. لذلك يكون خطره أشد على محيطه من سابقيه.

٣- **نموذج بيلي:** نسبة إلى بركان Pelée في جزر المارتينيك Martinique في البحر الكاريبي، مواده شديدة اللزوجة، تتبرد بسرعة، فتتصلب، مما يؤدي إلى انسداد فوهته وجزء من حشوة مدخنته، التي تتصعد ببطء تحت وطأة قوة الدفع، فتظهر قبة عالية، وهو ما حدث حين ارتفعت مسلة بازلتية فوق فوهة بركان بيلي نحو (٣٠٠) م، خلال ثورانه عام (١٩٠٢)م، والذي دمر مدينة سانت بير Saint Pierre بالكامل، وأودى بحياة نحو (٢٩) ألف نسمة، بسبب ما نتج عنه من حمم ورماد وغازات سامة وزلازل وأمواج تسونامي.

جـ- براكين مركبة أو طبقية Composite Or Startavolcanoes:

تتكون من طبقات يغلب عليها المهل الأنديزي والحطام البركاني، كبركان فوجي ياما Fujiyama في اليابان وفيزوف الإيطالي. صورة رقم (٢٠-٢). وقد تعددت الدراسات عن الأخير حتى عرفت معظم تفاصيل سيرته الذاتية وبنيته. فمهله شديد اللزوجة، حامضيّ، ترتفع فيه نسبة السيليكا فوق (٦٠%)، بطيء الحركة، يقذف بالمواد الصلبة بشدة، مطيحاً بجزء

كبير من فوهته، إلا أنه يبني جسده من مواده طبقة فوق أخرى، وبسبب تعدد وتنوع مواده وأنماط ثوراناته، يلاحظ تعاقب طبقات من المهل فوق طبقات من الخبث وثالثة من الرماد البركاني وطبقات أخرى من المواد المختلف. فيزاد اتساع المخروط وبالتالي علوه. ولبركان فيزوف سمعة تدميرية سيئة عبر تاريخه، فقد دفن مدينة بومبي Pompeii تحت ملايين الأطنان من رماده في مقاطعة هيركيولينيوم Herculaneum الرومانية، بسكانها البالغ عددهم نحو (١١) ألف نسمة، خلال ثورته الشهيرة عام (٧٩)م. ولم يكُشف النقاب عنها إلا عام (١٥٩٩)م،ثم وبشكل أوسع وأعمق عام (١٧٤٨)م. وقد أظهرت عمليات التنقيب حالات وفاة جماعية، تؤكد حدوث اختناقات مع وضعيات نوم للجثث، مما يعني أن تسرباً غازياً لكميات كبيرة من المواد السامة قد سبق انفجار البركان، أعقبها انتشار للرماد البركاني، الذي حنط – إن جاز التعبير – أجساد الموتى. صورة رقم (٢١-٢).



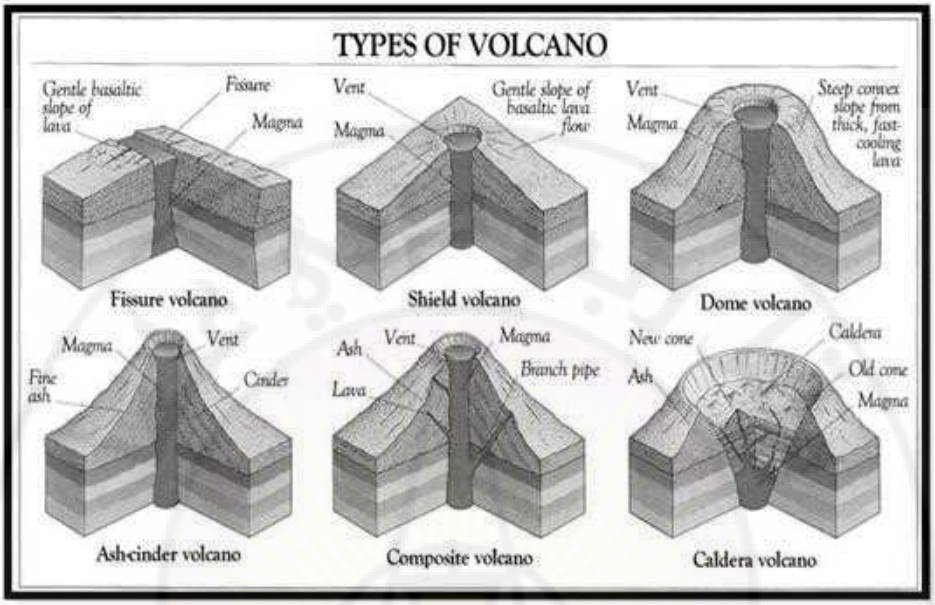
صورة رقم (٢٠-٢) بركان فيزوف.



صورة رقم (٢١-٢) بعض قتلى ثوران بركان فيزوف (٧٩)م من سكان مدينة بومبي.

وقد ترد تصانيف أخرى تعتمد على الربط بين شكل البركان ونشأته وتطوره، وتضم ما سبق من نماذج إضافة إلى البراكين الشقية، التي ترتبط بالتصدعات والشقوق، وبركان القبة Dome volcano أو البراكين القبابيّة، التي تشبه جرس الكنائس، بقمة مفلطحة محدبة الجوانب، وقاعدة عريضة يصل بينهما منحدر ذو انسيابية واضحة، وبراكين الكالديرا،

بفوهاتها الواسعة الخاسفة، والمخاريط الحديثة على سطحها، والجدار المحيط بها. شكل رقم (٢-١٧).



شكل رقم (٢-١٧) يبين تصنيف البراكين حسب أشكالها وبنيتها العامة

وتقدم **تصانيف البراكين حسب موادها**، أفضل المعطيات المطلوبة عن طبيعة هذه المواد، وخصائصها، وتأثيرها في السلوك الانفجاري للبركان، من خلال محتواها من الغازات وحرارتها ولزوجتها وسمّيتها، كما تمثل بعض المواد خطراً رئيساً كالرماد البركاني والغازات السامة والمياه الساخنة – الوحليّة. وبالتالي فإن معرفة خصائصها وآليات انبثاقها وانتشارها يسهم في تقديم حلول مناسبة لدرء خطرها – مع ضرورة التنبه إلى أن التصنيف يعتمد على مبدأ غلبة مادة ما من مواد البركان على بقية المواد، وليس تفردها في تكوين جسم البركان.

ويمكن **تصنيف البراكين حسب موادها** إلى:

١- **براكين مهليّة Lava Volcanoes:** تنتمي إليها البراكين الترسية، وتكون منحدراتها ثابتة بعد التصلب، تعطي مناطق واسعة ومقببة، ذات ترب غنية بالمعادن. أشهرها مجموعة براكين هاواي.

٢- **براكين الخبث Scoria Volcanoes:** يغلب عليها الخبث البركاني، يندرج ضمنها أنواع أخرى كمخاريط الجمر أو الحمم الفتاتية **cinder cones**، وهي عموماً مواد فرطة

هشة سهلة الحركة، وبالتالي فمنحدراتها غير مستقرة، تصل زواياها إلى (٤٠) درجة، صورة رقم (٢٢-٢). تستغل في صناعة الألياف والمواد العازلة والإسفلت ومواد البناء، كما هي الحال في بركان تل شيحان في السويداء.



صورة رقم (٢٢-٢) بركان جمري.

٣- **براكين الرماد Ash Volcanoes:** يتكون الرماد البركاني من بقايا الصخور المفتتة والمعادن والزجاج البركاني، لا يزيد قطر مواده على (٢) ملم، ويرتبط بالثورانات البركانية المتفجرة، ويتم نقل الرماد بواسطة الرياح إلى آلاف الكيلومترات، كما حدث لرماد بركان إيافياتلايوكتل Eyjafjallajökull في أيسلندا. الذي ثار عام (٢٠١٠)م، وانتشر رماده على مساحة آلاف الكيلومترات المربعة.

٥-المواد البركانية

إن معرفة المواد البركانية وتصنيفها وتحديد خصائصها، عمل جيولوجي بامتياز، إلا أن لها أهمية خاصة في مجال الجيومورفولوجيا التطبيقية، فتحديد أنواع الغازات وسميتها وكثافتها، ومعدلات انبعاثها وحجم انتشارها وعلاقة كل ذلك برطوبة الجو وحركة الرياح، وتحديد خصائص المواد السطحية، وزوايا استقرارها، يسهم في اتخاذ تدابير الوقاية من مخاطرها، والاستفادة الآمنة منها، كما يساعد فهم تركيب المهل بتحديد طبيعة حركته، ودرجات حرارته، ومدى خطورته. ويمكن للباحث الميداني إجراء فرز مبدئي بصري للمواد البركانية بدلالة ألوانها ومعادنها ومركباتها، وتجنب السام منها، فالكبريت يعطي رواسب صفراء، وتدل عليه رائحة البيض الفاسد المميزة له، بينما تتخذ مكونات الكلوريد اللون

الأبيض. أما النحاس مع النيكل فلونهما أخضر، ويكون لون دمج الكوبالت مع الرصاص قرنفلياً أزرق، في حين تتخذ مركبات المنغنيز مع الزنك اللون القرنفلي، صورة رقم (٢٣-٢)



صورة رقم (٢٣-٢) غازات ثاني أكسيد الكبريت وترسباته صفراء اللون.

وتُصنف المواد البركانية إلى:

أ/٥- المركبات المتطايرة the volatile components:

تعد الغازات أشد أنواع المواد البركانية خطورة، وذلك كون بعضها غير مرئي، فيتسرب مسبباً حالات اختناق وتسمم، وتكون على أشدها ليلاً حيث تساعد الرطوبة الجوية على سريانها عند سويات منخفضة قريبة من المنازل وساكنيها.

وقد أسهمت تقنيات الاستشعار عن بعد، والقطاف الميداني المباشر للعينات، في معرفة بعض الخصائص الفيزيائية للغازات المكونة للسحب الدخانية fume clouds، والمنطلقة من الفوهات المتوهجة Incandescent vents، صورة رقم (٢٤-٢).



صورة رقم (٢٤-٢) تبين أخذ عينات من غازات منافذ بركان.

ويبين الجدول التالي رقم (٤-٢) تركيب عينات الغازات البركانية، المأخوذة من براكين تتوزع في عدة مواقع، مثل بركان كيلوا Kilauea وأخذت عيناته عام (١٩٣٨)، وبحيرة نيراغونغو Nyiragongo في زائير (١٩٦٠)، وبركان سورتسي Surtsey في أيسلندا (١٩٦٨)، ومن البركان الغازي شوا- شينزا في اليابان showa- shinzan عام (١٩٦١)، والعينة الخامسة من حجر خفان بركان مونت بيلي Mount Pelée(١٩٣٨).

جدول رقم (٤-٢) تركيب الغازات البركانية

المركب الغازي	مونت بيلي	شوا- شينزان	بركان شورتسي	بحيرة نيراغونغو	بركان كيلوا
Co2	٧,٤	٦٥,٩	٤٧	٤٠,٩	٤٨,٦
Co	١,٢٦	--	٢,٦	٢,٤٥	١,٤
H	٠,٤٤	١٥,٢	٣٤,١	٠,٧٥	٠,٤٩
Ch4	--	١٥,٩	--	--	--
Hcl	--	--	٢,٩	--	٠,٠٤
Cl2	١٠,٥	--	--	--	--
F2	٤,٢٩	--	--	--	--
S2	٢,٨٩	--	--	--	٠,٠٤
H2s	--	١,٧	--	--	--
So2	--	--	١٣,٤	٤,٤	١١,٥
So3	--	--	--	--	٠,٠٤
N2+Ar	٢,٤٤	٠,٠٧	٠,١	٨,٣	--
H2o	٧٠,٨	--	--	٤٣,٢	٣٦,٩

أما عن معدلات انطلاق الغازات، فمختلفة حسب محتوى الصادرة منها، وحجم المهل في الخزانات الجوفية. وطبيعة السلوك الانفجاري للبركان، وقد تطايرت في ذروة انفجارات بركان أتنا نحو (٣٥,٠٠٠) ألف طن/ يوم، ويمكن أن يتضاعف هذا المعدل في حال تشكلت السحب المتوهجة فوق الفوهة البركانية. ويمكن للغازات أن تنبعث عبر الترب والصخور النفوذة نحو السطح، وقد سبب تسرب غاز ثاني أكسيد الكربون عبر التربة، بمقتل نباتات

وأشجار مناطق واسعة من جبل الماموث Mammoth في ولاية كاليفورنيا الأمريكية حيث بلغ معدل تسرب الغاز (١,١٠٠) طن/ يوم، وقد تبين لاحقاً ارتباطها بخزانات المهل الضحلة التي تغذي كالديرا لونغ فاليو بالقرب من جبل ماموث.

ب/٥- المهل Lava:

دلت الملاحظات المبكرة على أن المهل لا يخرج إلى السطح إلا إذا بلغت نسبة السائل منه (٥٠%) أو أكثر. مما يتيح له سهولة الاندفاع نحو السطح في ظل ضغوط عادية ودرجات حرارة معينة، وقد قيست درجات حرارة المهل البازلتي مباشرة فبلغت نحو (١٢٠٠) درجة مئوية، في حين راوحت درجة حرارة المهل الريوليتي بين (٨٥٠ -٩٠٠°) مئوية.

ترتبط سرعة جريان المهل بعلاقة عكسية مع لزوجته، التي تتأثر بدرجة حرارته، ومحتواه من المواد الغازية ومدى تبلوره، مع الأخذ بعين الاعتبار طبيعة سطح الأرض، كالانحدار والعوائق، وتحسب اللزوجةNa باستخدام المعادلة التالية:

$$\frac{g\ p\ a\ d^2}{3u}$$

حيث : g قيمة الجاذبية الأرضية.

p كثافة المهل.

a انحدار سطح الأرض.

d عمق الحواجز أو سمكها Levees.

u متوسط سرعة المهل.

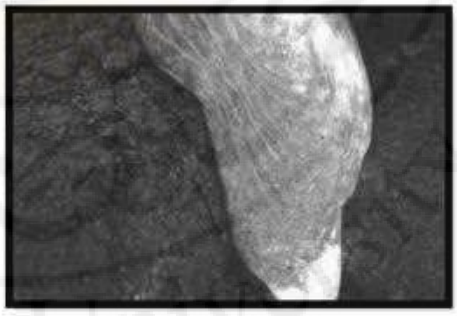
يكتسب المهل مزيداً من اللزوجة كلما تقدم نحو الأمام، ومع حركته الالتفافية rolling فإن السطح العلوي للسان المتدفق يتحرك نحو الأسفل بسرعة أكبر من الجزء الداخلي، فيندفع باستمرار مشكلاً جبهة منحدرة steep front، وقد يتبرد الجزء الخارجي، في حين يبقى المهل الداخلي سائلاً حاراً، فيخترق مقدمة اللسان أو الأنبوب tube المهلي، على شكل بروزات أصبعية toes أو بصلية bulbous protrusion.

ومع ارتفاع درجة حرارة المهل، تزداد سرعته فوق منحدرات الأودية، والمنخفضات الطبوغرافية، فقد تصل سرعته إلى (٧٥) كم/ ساعة، ويغطي عدة كيلومترات مربعة. وعندما

يتجمع في برك يزداد سمكه ليصل إلى مئات الأمتار. وقد قطعت بعض تدفقات البازلت في أيسلندا مسافة (١٠٠)كم، وابتعدت جريانات البازلت الميوسينية في هضبة كولومبيا نحو(١٦٠) كم عن مصدرها، منتشرة على مساحة (١٥,٠٠٠) كم٢، ويتخذ المهل هنا مظاهر عريضة مقببة من الوسط، مع انحدارات بسيطة نحو الأطراف، مشكّلاً براكين التروس. ويحول تبرد المهل ولزوجته دون قطعه مسافات طويلة، في حين يضمن تسخنه بما يرفده من مهل حار من مصدره، استمرار جريانه وفي حال اصطدم بعائق تجمع خلفه، أما في حال صادف منخفضاً عمل على ملئه، ويمكن أن يتوقف الجريان فوق سفوح يصل انحدارها إلى (٢٠) درجة، وهي حالة أكثر شيوعاً تحت سطح الماء من اليابسة، ولهذه الحقائق أهمية خاصة في الحد من خطر المهل، كما سيرد لاحقاً.

تصنف اللابة حسب غناها بالسيليكا إلى ثلاثة أنواع، يختلف كل منها عن الآخر بقوامه، و سرعته، وبالتالي الزمن المتاح لتدارك خطره، وهي:

- **اللابة الريوليتية الحامضية (الفلسية):** يزيد محتواها من السيليكا على (٧٠%)، وتراوح درجة حرارتها بين (٨٠٠ ْ-١٠٠٠ ْ) م، لذلك يكون قوامها ثقيلاً ولزجاً، صورة رقم (٢٥/٢٦-٢). ومعظم موادها غرانيتية، وألوانها فاتحة مائلة للبياض أو الرمادي أو الأحمر، تتحرك ببطء شديد، وسرعان ما تتصلب بمجرد تماسها مع الهواء، فتعطي صخور الريوليت.



صورة رقم (٢٥-٢) المهل اللزج حامضي التركيب بطيء الحركة.



صورة رقم (٢٦-٢) تصلب المهل

- **اللابة البازلتية القاعدية (المافية):** فقيرة بالسيلكا، تراوح درجة حرارتها بين (١١٠٠ ْ-١٢٠٠ ْ) م، قوامها سائل، صورة رقم (٢٧/٢٨-٢)، تنساب بسهول قاطعة مسافات

بعيدة عن مصدرها، وقد وصلت في بعض الحالات إلى (٥٠)كم. وهي غنية بمركبات البازلت، تغطي مساحات أوسع من المهل الحامضيّ لسيولتها، مثال عنها: هضبة الدكن وكولومبيا. تصل سرعتها إلى (١٠٠)كم/سا، تملأ المجاري النهرية مشكلة مجاري مهليّة، وقد قيست درجة حرارتها بعد تدفقها فبلغت نحو (٨٧٠°) مئوية، في حين قيست درجة حرارة القشرة المتصلبة عنها فبلغت نحو (٣٠٠°) مئوية، تتصلب ببطء بعد تماسها مع الهواء.



صورة رقم (٢٧-٢) مجرى مهلي، كيلوا



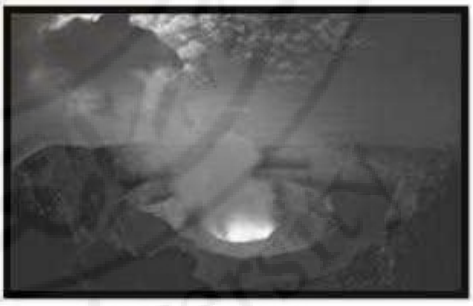
صورة رقم (٢٨-٢) المهل ال قلوي/ هاواي.

- **اللابة الأنديزية:** محتواها من السيليكا متوسط بين النوعين السابقين، وكذلك سلوكها وحركتها.

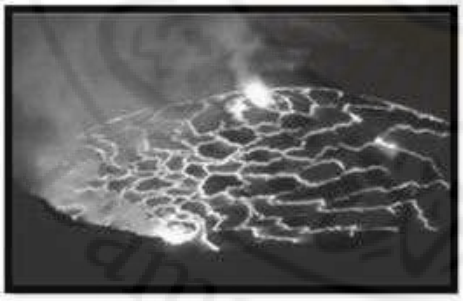
يتناسب معدل تصريف المهل عكساً مع لزوجته، فمعظم الشقوق البازلتية تصرّف مئات بل آلاف الأمتار المكعبة يومياً، في حين تصرّف شقوق المهل اللزج بضع عشرات من الأمتار المكعبة يومياً، وقد تم قياس معدل تدفق المهل من بركان ليكي فبلغ وسطياً (٥٠٠٠م٣/ثا) أي (٠,٤ كم/يوم) خلال الأيام الأولى من ثورته لعام (١٧٨٣)م. إلا أن معدل تصريف المهل يشهد تغيرات واضحة خلال انبعاثه، فيكون مرتفعاً في بداية الانفجارات، ثم ينخفض تدريجياً بسبب قلة التغذية أو انسداد المسالك مؤقتاً إذا كان التدفق متقطعاً. ومن الطبيعي أن يكون معدل تصريف الشقوق أكبر من معدل تصريف الفوهات المركزية، مما يعني بالضرورة استمرار تدفقها من الفوهات لمدة أطول مقارنة بحال تدفقها من الشقوق، فقد سبب انفجار عام (١٩٧٠)م لبركان هيكلا Hekla في أيسلندا، شقاً في سطح الأرض بطول (٢٥)كم، وقد بلغ معدل تصريف المهل في بداية الانفجارات نحو (٧,٥٠٠) م٣/ ثا انخفض بسرعة إلى بضعة أمتار مكعبة في الثانية.

بحيرات المهل وبركه:

تعد بحيرات المهل Lava lakes، وبركه Ponds، من المظاهر النادرة في المنظومة البركانية، وكلاهما مسطحات لابيّة. إلا أنهما تختلفان عن بعضهما، بطول فترة الأولى، وقصر فترة الثانية. حيث تتغذى البحيرات من المهل بشكل مستمر يكفل لها بقاء درجة حرارة موادها فوق عتبة الانصهار، أما البرك فتتعرض للتبرد والتصلب بعد فترة من تشكلها لانقطاع التغذية عنها. يتعرض سطح البحيرات للتبرد فتتشكل قشرة متصلبة تغوص نحو الأعماق عبر الهوامش، بسبب ثقلها وتفريغها من الغازات التي تنطلق منها إلى الغلاف الجوي، مما يولد تياراً حملانياً حرارياً بطيئاً convection slowly carries، يرتفع بواسطته المهل نحو السطح، فيحل محل ذلك المتبرد، الذي يتجه بدوره نحو الأسفل. وهي ظاهرة تشتهر بها حفرة النار Fire Pit أو هيليميوميو Halemaumau بلغة جزر هاواي، التي تشكلت في قمة بركان كيلوا عام (١٨٢٢)م، ومثلها بحيرة نيارغونغو في زائير، استمرت بالظهور بين عامي (١٩٢٨- ١٩٧٧)م، وشهدت انفجاراً غازياً، بسبب ارتفاع أعمدة المهل التي ولدت ضغوطاً كبيرة، شققت جسم البركان، فأتاحت السبل لاندفاع المهل منها بسرعة نحو (١٠٠كم/ساعة)، وفي عام (١٩٨٢)م، عادت البحيرة إلى نشاطها لتغذية وصلتها من الأعماق بمعدل (٢,٥ مليون م٣/ يوم)، ليرتفع منسوبها نحو (٤٠٠)م. صورتان رقم (٢٩/٣٠-٢).



صورة رقم (٢٩-٢) بحيرة نياراغونغو.



صورة رقم (٣٠-٢) تشقق سطح بحيرة كيلوا

ج/٥- المواد الصلبة (التيفرا Tefra):

تختلف المواد الصلبة في أشكالها وأحجامها، جدول رقم (٥-٢). وذلك حسب طبيعة الانفجار البركاني، وشدته، وأسلوب حركتها في الغلاف الجوي، هي:

- **البريشا البركانية Volcanic Broccia**: قطع صخرية ذات زوايا وجوانب حادة، قد ترتفع في الجو مئات الأمتار أثناء ثوران البركان.
- **القنابل البركانية Volcanic Bombs**: كرات ملساء شكلها قريب من الكمثرة ويكون لولبياً حلزونياً في حالات شائعة.
- **الجمرات Cinders**: هي القذائف البركانية التي يراوح قطرها بين (٠.٥-٣)سم.
- **الرماد البركاني Volcanic Ashes**: يتكون من مواد دقيقة من مسحوق الصخر والزجاج البركاني خلال النشاط البركاني، ونعرف ثلاثة طرق لتكون الغبار البركاني : التصريف الغازي، والخلخلة الضغطية المصاحبة للنشاط البركاني، والانكماش المفاجئ للمهل عند التقائه بالماء.
- **الغبار البركاني Volcanic Dust**: هي أدق المواد وأكثرها نعومة، ترتفع إلى مسافات عالية في الجو، وقد تبقى معلقة فيه لفترات طويلة تقارب العام، كما حدث عقب بركان كاراكاتوا (١٨٨٣)م.

جدول رقم (٥-٢) التصنيف الحجمي للمواد البركانية الصلبة

تصنيف المواد الصلبة	الحجم مم	المسمى الأجنبي
الكتل والقنابل	٦٤<	Block - Bombs
الحصى	٢<	Lapilli
الرماد	٢ >	Ash
الرمال	١/١٦>	Sand
السلت	١/٢٥٦>	Silt
الطين	١/٢٥٦ <	Clay

إن حجم ما يقذفه البركان من مواد صلبة وغازية وسائلة، يدل على الطاقة الحرارية thermal capacity المتحررة من الثوران البركانية، التي تحسب باستخدام المعادلة التالية:

$$E_{th} = V.d.T.K$$

Eth الطاقة الحرارية بالجول.

V حجم المواد مقدراً بـ (كم٣).

d كثافة المواد.

T درجة حرارة المقذوفات.

K ثابت يساوي ($٨,٣٧ \times ١٠^{١٤}$).

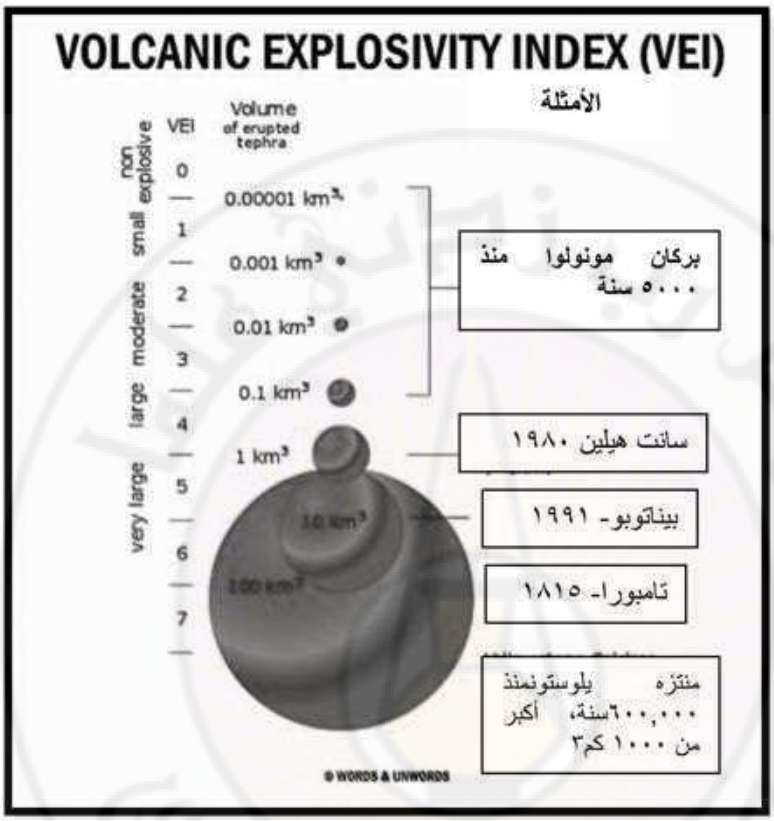
وقد قيست الطاقة الحرارية المتحررة من ثوران بركان بليني، فبلغت نحو (٤×١٠^{١٤}) جول، أي ما يعادل قوة (٢٠,٠٠٠) قنبلة ذرية كالتي ألقيت على هيروشيما خلال الحرب العالمية الثانية.

توزع وانتشار الرماد:

يتأثر انتشار الرماد البركاني بعدة عوامل، يأتي في مقدمتها حجمه وقوة اندفاعه من الفوهة البركانية، وسرعة واتجاه الرياح التي تتجه على ارتفاعات تراوح بين (٥٠٠٠-١٥٠٠٠)م، من الشرق نحو الغرب، وقد ارتفع الرماد البركاني من فوهة بركان كاراكاتوا في إندونيسيا عام (١٨٨٣)م، في أضخم انفجار سجله التاريخ البشري إلى نحو (٥٠) كم، وانتشر على مسافة (٢٥٠٠)كم بعيداً عن الفوهة باتجاه الغرب، وغطى مساحة قدرت بنحو (٨٢٧,٠٠٠) كم٢، وبقي الغبار البركاني معلقاً في الغلاف الجوي لعدة سنوات، مسبباً ظاهرة تألق الغروب brilliant sunsets في كثير من بقاع الأرض، وبقيت غيوم الغبار في السماء قرابة (١٣,٥) يوم، على ارتفاع راوح بين (٣٠-٥٠)كم، بسرعة متوسطة (١٢٠كم/سا).

كل ما سبق يبين أن عوامل عدة تحدد خصائص الثورانات البركانية، وقد وضع لذلك مؤشر عرف بمؤشر الانفجارية البركانية volcanic explosively index، واختصاره (VET)، شكل رقم (١٨-٢). ويعتمد على أخذ العوامل التالية بعين الاعتبار:حجم الانفجار، حجم المقذوفات، الفترة التي استغرقتها الثوران البركانية، ارتفاع عمود الانفجار، عدد الثورانات، يضم هذا المؤشر سبعة مستويات، أدناها يتخذ القيمة (٠) حيث لا يوجد حالة انفجار- تدفق فقط- وأعلاها يتخذ المرتبة (٧) وهي أشد حالات الانفجار، ولا يذكر التاريخ إلا ثوراناً واحداً وصل إلى هذا المستوى العنيف من الانفجار، هو ثوران بركان تومبورا Tombora في إندونيسيا عام (١٨١٥)م، الذي أنتج نحو (١٧٥) كم٣ من المواد الصلبة،

في حين جاء ثوران بركان كاراكاتوا عام (١٨٨٣)م في المستوى السادس، وكذلك بركان ألاسكا عام (١٩١٢)م.



شكل رقم (١٨-٢) مؤشر انفجارية البراكين، أو شدتها.

٦- مخاطر البراكين:

نظراً لقلة انفجار بعض البراكين الضخمة، وخصوبة تربتها، ووفرة مائها. تعد من أفضل مناطق الاستيطان البشري، كبركان فيزوف وأتنا. إلا أن حدوث الثورانات البركانية، وبخاصة في الجزر البركانية أو البراكين المحاذية للسواحل. التي يوصف مجالها الجغرافي بالضيق أو المغلق، مما يقلل فرص النجاة من مخاطرها، فتكون الكارثة مؤكدة. ويتعاظم حجم خسائرها في الدول ذات الكثافة السكانية المرتفعة، التي لا تملك استعداداً تقنياً وعلمياً لمخاطر البراكين بقدر ما تمتلك من براكين ثائرة، كما هي الحال في جزيرة جاوة الاندونيسية، لذلك تعد الجزر البركانية النشطة من أخطر المناطق للبشر، إن لم تتم مراقبة براكينها ورصدها، وإخلاءها

بشكل سريع وفوري. وقد قدر عدد القتلى بسبب البراكين خلال القرن العشرين بنحو (٩٠٠٠٠)شخص، والمتضررين حوالي (٥,٦) مليون نسمة. ويبين الجدول رقم (٦-٢) أهم كوارث البراكين في التاريخ.

جدول رقم (٦-٢) أكثر الثورانات البركانية كارثيّة

البركان	الوفيات (ألف)	المكان	السنة
فيزوف	١٦	بومبي	٧٩
أتنا	١٥	صقلية	١١٦٩
أتنا	٢٠	صقلية	١٦٦٩
هيكلا	٩	أيسلندا	١٧٨٣
تامبورا	٩٠	إندونيسيا	١٨١٥
كراكاتوا	٤٠	إندونيسيا	١٨٨٣
مونت بيليه	٤٠	مارتينيك	١٩٠٢
كيلود	٣	جاوة	١٩١٩
نيفادو دل روز	٢٢	كولومبيا	١٩٨٥

ومن الأحداث المؤثرة في تاريخ الأرض، ما يعرف بالثورانات العملاقة super eruption وأشهرها ثوران بركان توبا في جزيرة سومطرة الذي حدث منذ حوالي (٧٥٠٠٠ ± ٩٠٠) سنة. وقدّرت بعض خصائصه على النحو التالي:

١. بلغت شدته نحو (٨) درجات حسب مؤشر شدة البراكين العالمي Volcanic Explosively Index (*VEI*). أي إنها أشد بنحو (١٠٠) مرة من أكبر ثوران بركانية في التاريخ الحديث، وهو ثوران بركان جبل تومبورا Mount Tambora في إندونيسيا، الذي حدث عام (١٨١٦)م.

٢. قذف كميات من المواد البركانية راوحت أحجامها بين (٢٠٠٠-٣٠٠٠) كم٣، والأغلب أنها بلغت (٢٨٠٠)كم٣، أي ما يعادل (٧×١٠^{١٥}) كغ.

٣. نتج عنه فوهة كبيرة من نوع الكالديرا، احتلتها بحيرة بمساحة (١٠٠ × ٣٠)كم٢.

٤. بلغت كمية الرماد المتساقط نحو (٨٠٠)كم٣.

٥. أكدت المحاكاة الحاسوبية التي أجراها بعض العلماء، أن حدوث الانفجارات سرّع من حدوث العصر الجليدي الأكبر في الزمن الرباعي، حيث أطلق البركان نحو (٦) بلايين طن من غاز أكسيد الكبريت، مما سبب انخفاضاً مفاجئاً لدرجات الحرارة بنحو (١٥) درجة، أدخل الأرض بشتاء لفترة راوحت بين (٦-١٠) سنوات، وتبرد مناخها لعدة عقود.

٦. وسميّت هذه السنوات بالشتاء البركاني.

٧. انخفض حد الثلج الدائم عالمياً إلى ارتفاع (٣٠٠٠)م، مما يعني أن حالة من التجمد أصابت معظم الأحياء فوق هذا الارتفاع.

أطلق علماء الانتربولوجيا والآثار على الحدث، **كارثة توبا Topa Disaster**. وكانت ذات عواقب عالمية، أسفرت عن مقتل معظم البشر خنقاً وحرقاً،وأثرت على الميراث الجيني البشري لاحقاً. ولذلك توصف مخاطر البراكين بالمركبة أو المعقدة، والمتعاقبة أو المتداعية. يبين الجدول رقم (٧-٢) أنواع المخاطر البركانية.

جدول رقم (٧-٢) أنواع المخاطر البركانية وأمثلة عنها مع عدد ضحاياها.

الخطر	البركان	عدد القتلى
سقوط كتل صخرية	بركان اتنا (صقلية) ١٩٧٩	١٦٠٠٠
دفقات المهل	فيزوف (إيطاليا) ١٦٣٠	٧٠٠
تدفقات اللاهار	بيلي (المارتيني) ١٩٠٢	٢٩٠٢٥
غازات وأمطار سامة	ماسيا (بيكاراغوا) ١٩٧٩	١٨٨٧

مظاهر الخطر البركاني:

أ- **جريان المهل Lava Flows:** سبق تحديد العوامل المؤثرة في حركة المهل، وتبدأ أي محاولة لإيقاف خطرها أو تفاديه، من التدخل في أحدها، وقد جرت العديد من المحاولات لتحويل اتجاه حركة اللابة عن طريق السدود والحواجز الصنعية، إلا أن ما لاقى منها نجاحاً كان محدوداً لعدم قدرته على الحد من حجم المهل. فأثناء ثوران بركان هيلجفيل Helgfell في جزيرة هيماي Heimaey بالقرب من ساحل أيسلندا عام (١٩٧٣)م، تمت محاولة إيقاف حركة اللابة، بتبريدها من خلال ضخ مياه البحر عليها بمعدل (١٢,٠٠٠) طن/سا. ولاحقا حولت مساراتها عبر قنوات جديدة صنعية عام (١٩٨٣)م. كما نجحت عملية تحويل المسار باستخدام المتفجرات خلال ثوران بركان أتنا Etna، بتفجير الأجزاء

العليا وتكوين منخفضات تجبر اللابة على سلوكها. في حين عجزت السدود في حالات كثيرة عن درء خطر اللابة. فقبل ثوران بركان أتنا التي بدأت في (١٤/كانون الأول/١٩٩١)م و استمرت (٤٧٣) يوماً، غطت اللابة مساحة (٧)كم٢، وقدرت كميتها بنحو (٢٥٠) مليون م٣، بمعدل تصريف (٦م٣/ثا). وقد عمل رجال الإطفاء والجيش والمهندسون على بناء سد حاجز على بعد (٥,٥) كم من مصدر اللابة الشقّيّ، بطول(٢٣٤) م، وارتفاع (٢١)م، واستخدم فيه (٣٧٠,٠٠٠)م٣ من الحجار والتربة. وبعد أن وصلت اللابة إلى قاعدة السد، تجمعت خلفه منذ (١٤/آذار). حتى تمددت على طوله وألتفت حول نهايته الجنوبية في (٧/نيسان)، وتجاوزت القمة في اليوم التالي، مما سمح بوصولها إلى السفوح المنحدرة. حيث تسارعت حركتها، مهددة بلدة زيفيرانا إتنا Zafferana Etna ذات الـ (٧٠٠٠) منزل، وباءت ست محاولات متكررة لبناء حاجز بالجهة الشمالية بالفشل. ومع تحطيم اللابة لآخر سد، وصلت إلى البلدة، ودمرت أول صفين من المباني المواجهة لها. وغمرت بساتين الفاكهة، إلا أن الطيران الإيطالي ألقى (٧) آلاف طن من المتفجرات لفتح مسالك جديدة للابة، مما ساعد في حماية البلدة من تدفقات لاحقة. ومن المخاطر المدمرة للابة ما حدث عقب الامتداد الواسع لها من بركان كيلوا في جزيرة هاواي عام (١٩٩٠)م حين اختفت العديد من المنازل أو أزيلت عن سطح الأرض، صورتان رقم (٣١/٣٢-٢).



صورة رقم (٣١-٢) محطة وقود في منطقة Kalapana / هاواي يوم (٢٣/٤/١٩٩٠).



صورة رقم (٣٢-٢) لذات الموقع يوم (١٣/٦/١٩٩٠)عقب الثوران البراكانية.

ومن المخاطر الشائعة للمهل، قطع الطرقات بعد تصلبه، صورة رقم (٣٣-٢)، وإحراق المزارع والمنازل والطرقات. صورة رقم (٣٤/٣٥-٢).



صورة رقم (٢-٣٣) مهل بركان كيلوا



صورة رقم (٢-٣٤) انهيار المنازل ثورة بركان nyiragongo (٢٠١١)م



صورة رقم (٢-٣٥) تقدم اللابة نحو الطرق وقطعها، وإذابة الإسفلت تحتها.

ب- التدفقات الطينية Lahar:

اللاهار: كلمة اندونيسية استخدمها (آيشر) لأول مرة عام (١٩٢٢) للدلالة على التدفقات الطينية البركانية الساخنة التي تولدها ثورات البراكين، أشهرها تلك التي نتجت عن ثوران فوهة بركان كيليوت، التي غمرت مساحة قدرت بنحو (١٣٠) كم٢، من السهول المحيطة به، مع فقدان أكثر من (٥,٠٠٠) شخص لحياتهم، وقد تطور هذا المصطلح ليشمل كلا من التدفقات الطينية وتدفقات الحطام، وكافة التدفقات التي تنتج عن الاختلاط بالماء، فأصبح اللاهار يعني خليطاً من الحطام الصلب والمياه. يتدفق بسرعة فوق منحدرات بركان ثائر. وهو أكثر كثافة من تدفق التيار المائي الطبيعي، بسبب الأحمال العالية من الرواسب، مما يسبب تحركها بشكل أسرع لتعاظم دور قوى الجاذبية، حيث يماثل الطين ذو التركيز العالي الإسمنت الرطب. ويرتبط حجم الكارثة الناتجة عنه، بحجم التدفق الذي يراوح بين (١) مليون م٣، و(٣٥٠٠) مليون م٣. في حين يراوح حجم التصريف بين (١٠٠-١٠٠,٠٠٠) م٣/ثا،

وهي قادرة على بلوغ سرعات لا تتيح الفرصة أمام القاطنين للهرب تصل إلى ١٥٠كم / ساعة، وتغطية مئات الكيلومترات أسفل الوديان.

تقلل مكونات اللاهار من الطين والخليط الصخري المشبع بالماء، من الاحتكاك الداخلي والخارجي للتدفق فيزيد ذلك من سرعته، وقد سجلت أخطر التدفقات الطينية في البراكين المركبة، حيث بلغت العشرين في منطقة وانغاهو Whangaehu فيجبل ريوبيهو Ruapehu بنيوزيلندا، خلال عام(١٩٩٥)م.

تتعدد مصادر المياه المختلطة برواسب الطين البركاني، منها ما لا يمكن التحكم به، كالأمطار، كما حدث خلال ثوران بركان ميرابي Merapi (جبل النار) بجاوة الوسطى/ إندونيسيا، ومنها ما يمكن السيطرة عليه، كتدفق ماء بحيرات الفوهات البركانية، كما حدث خلال ثوران بركان كيليوت Kelut شرقي جاوة، حين تدفق (٣٨) مليون م٣ من فوهته مختلطة مع مواده الناعمة، فأودت بحياة (٥١١٠) إنسان عام (١٩١٩)م، أما المصدر الثالث فيتمثل بمياه ذوبان الثلوج والجليد القابع فوق منحدرات البراكين الهادئة، كتلك الشائعة في جزيرة أيسلندا. وقد تسبب انفجار بركان نيفادو دل روز Nevado del Ruiz في كولومبيا، بإذابة (٦٠%) من القبة الثلجية على قمة البركان، فانطلق الماء واللاهار من أربع جهات، باتجاه بلدة تشين تشينا Chinchina قاطعاً مسافة نحو (٨٠)كم خلال ساعة عبر المنحدر الشرقي للجبل. ثم سلك مجرى نهر لانجوريلا نحو مدينة أرميرو Armero، فتسبب بمقتل (٢٥) ألف شخص. صورة رقم (٣٦-٢).



صـــورة رقـــم (٣٦-٢)
إحدى تدفقات جبل نيفادو دل روز في كولومبيا نحو مدينة أراميـــرو / الأنـــديز، عـــام (١٩٨٥)م

وقد حدث الانفجار ليلاً مما زاد من صعوبة تدارك الخطر، وأسفر الانفجار عن تدمير (٦) سدود، ونحو (٨٥%) من منشآت المدينة، وقدّرت ذروة تصريفه بنحو (٤٨,٠٠٠) م٣/ثا، وخلّف كمية من الطين الحار قدّرت بين (٤٠-٦٠) مليون م٣، وبسمك راوح بين (٤٠)متراً عند أقدام الجبل، و(٣) أمتار عند آخر بلدة.

ج- تدفق المواد الفتاتية البركانية Pyroclastic flows:

تسلك هذه المواد مسارات محددة، كالمجاري النهرية والمائية والأودية الجافة والطرقات، وبالتالي يمكن أن تتخذ شكلاً شعاعياً مركزه الفوهة البركانية، فتمتلك طاقة تدميرية مركزة ضمن حيز ضيق. ويتحكم بسرعة المواد واتجاهاتها عدة عوامل، منها شكل التل أو الجبل البركاني، وخصائص سفوحه من انحدار وتحدب أو تقعراً ووعورة، إضافة إلى تركيبها، وعلى الرغم من افتقاد مكونات هذه التدفقات للميوعة والمرونة في الحركة، كما الحال في تدفقات اللابة، إلا أنها يمكن أن تتجاوز الحواجز الطبيعية بيسر، كما حدث أثناء ثوران بركان أونزين Mt. Unzen في اليابان عام (١٩٩١)م، صورة رقم (٣٧-٢).



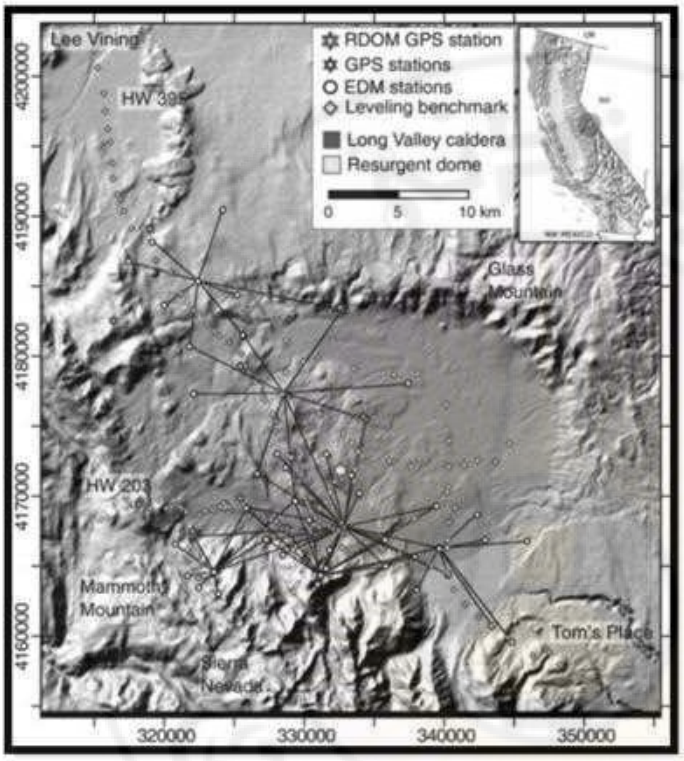
صورة رقم (٣٧-٢) الرماد البركاني والسحب الناتجة عن تدفق الفتات البركاني بعد ثوران بركان أونزين (١٩٩١)م.

ويمكن أن تغطي مساحات تقدر بآلاف الكيلومترات المربعة، كتلك التي تحيط بكالديرا يلوستون في الولايات المتحدة الأمريكية، وهي مناطق نشطة بركانياً، حسب ما دلت عليه محطات القياس الحراري التي نشرها العلماء في كالديرا لونغ فاليو في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، شكل رقم (١٩-٢)، ثم إعداد خرائط تبين مدى خطورتها على التجمعات السكانية قرب بحيرة الماموث.

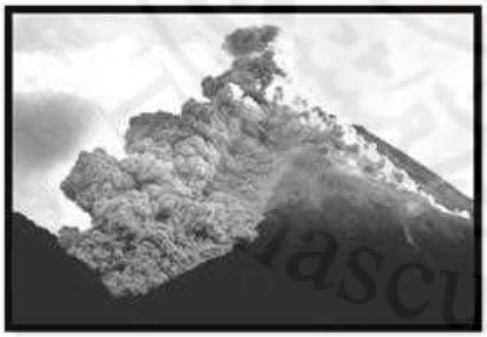
د- السحب المتوهجة nuées ardentes:

تتشكل من الغازات والرماد البركاني، تصل سرعتها على المنحدرات إلى (١٦٠)كم/سا، لها القدرة على إحراق كل ما يقف في طريقها، حتى زجاج المنازل. أشهر

كوارثها تلك التي تسببت بمقتل (١٦٨٠) شخص، خلال ثوران بركان لاسوفريير La Soufrière– ويعني منفذ الكبريت– في جزيرة سانت فنسنت Saint Vincent، من جزر ويندوارد Windward في البحر الكاريبي. صورتان رقم (٣٨/٣٩-٢).



شكل رقم (١٩-٢) توزيع محطات الرصد الحراري والموقعي في فوهة كالديرا الوادي الطويل.في ولاية كاليفورنيا الأمريكية.



صورة رقم (٣٨-٢) احتراق الغابات بالسحب المتوهجة / بركان لا سوفريير (١٩٠٢).



صورة رقم (٣٩-٢) السحب المتوهجة بركان مورابي /إندونيسيا.

هـ- تساقط الرماد البركاني Ash Fall:

تساقط الرماد الخطر هو الأوسع انتشاراً بين مخاطر البراكين، يتسبب بالعديد من الأمراض التنفسية والجلدية للبشر والمواشي والحيوانات. كما يُعرقل تحرك المركبات والسفن والطائرات، ترتبط حركتها واتجاهها بسرعة الرياح والضغط المفرغ على المنحدرات، يرافقها تشكل عمود انفجار يسحب الهواء معه نحو الأعلى، أشهر كوارث الرماد البركاني، تلك التي تسببت بدفن مدينة بومبي على منحدر بركان فيزوف عام (٧٩)م، وثوران بركان تامبورا التي أودت بحياة (٨٢) ألف شخص عام (١٨١٥)م. وقد بلغ سمك الرماد المنبعث من بركان كاراكاتوا الإندونيسي عام (١٨٨٣)م نحو (٧) أمتار. ومؤخراً تسبب رماد بركان إيافياتلايوكتل في أيسلندا عام (٢٠١٠) بتعطيل الملاحة الجوية في عشرين دولة أوربية - وهو ما لم يحدث منذ الحرب العالمية الثانية - وتضرر بسبب ذلك نحو(١٠) ملايين مسافر خلال الفترة بين(١٤-٢٠) نيسان، وقُدّر حجم المواد الصلبة بحوالي (٢٥٠) مليون م٣، وارتفع عمود الدخان إلى (٩) كم، مع العلم أنه لم يكن انفجاراً هائلاً، فقد سجلت هزاته مستويات بلغ أشدها الدرجة (٤) وفق مقياس ريختر. صورتان رقم (٤٠/٤١-٢). وشكل رقم (٢٠-٢).

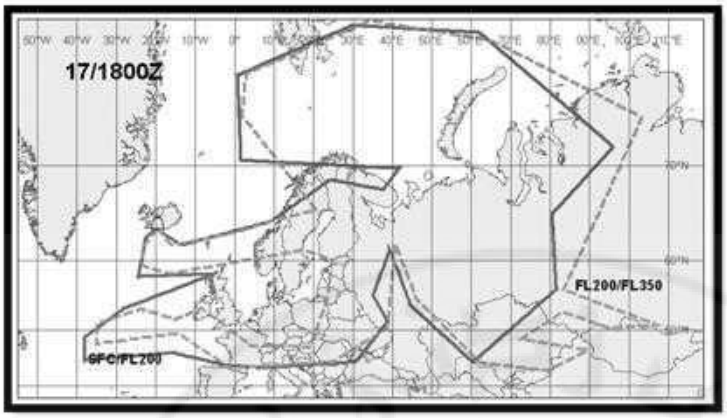


صورة رقم (٤٠-٢) سحب الرماد التي شكلها بركان أيسلندا عام (٢٠١١)م.



صورة رقم (٤١-٢) دمار إحدى قرى جبل ميرابي /جاوة الوسطى/ إندونيسيا.

ومن التغيرات المناخية العالمية التي سببها الرماد البركاني لثوران بركان توبا (١٨١٥)م بإندونيسيا، انخفاض معدل درجات الحرارة عالمياً بنحو (١,٣ °) مئوية، واستمر المناخ شتوياً خلال السنة، حتى أطلق على عام ثورته، **عام بلا صيف** Year without summer، مما أدى إلى واحدة من أسوأ المجاعات في القرن التاسع عشر.



شكل رقم (٢٠-٢)
ثوران بركان إيويافيالايوكول في ١٧/ أبريل/٢٠١٠.

و/خطر الغازات:

تنبعث من البراكين غازات متنوعة، منها السام ومنها غير ذلك، ينتمي إلى الأولى غازات مثل: الهيدروجين وثاني أوكسيد الكربون وثاني أوكسيد الكبريت وكلوريد الألمونيوم، وهي ملوثة للهواء والماء، ولها انعكاسات واضحة على الميزان الحراري للأرض، وبسبب تنوعها يصعب التغلب على خطرها، أو تجنبه تماماً، فغاز ثاني أوكسيد الكبريت الذي انتشر من فوهة بركان ليكي بأيسلندا عام (١٧٨٣)م. مع كمية من بخار الماء، تسبب بإتلاف المحاصيل واختناق آلاف المواشي، وكان له نتائج اقتصادية كارثيّة على سكان المنطقة.

ومنها ما يكون أشد خطورة لصعوبة الكشف عنه في النظام المائي كغاز الفلورين، أو في الغلاف الجوي، كغاز ثاني أكسيد الكربون كونه عديم الرائحة واللون. كما أنه ينتشر على سويات منخفضة بالقرب من سطح الأرض، فتحدث الاختناقات ببطء دون إدراك لسببها إلا بعد فوات الأوان. وهو ما حدث خلال ثوران بركان دينغ Dieng في جزيرة جاوة، الذي أطلق نحو (٠,١) كم٣ من غاز CO_2 فتسبب باختناق ووفاة (١٤٢) شخصاً.

ويمكن أن تتحول البحيرات في الفوهات البركانية إلى خزانات طبيعية مائية- غازية خطيرة، كبحيرة نيوس Nyos البركانية الواقعة على بعد (٢٠٠)كم من العاصمة الكاميرونية ياوندي، ذات شكل بيضي، بمحور يبلغ طوله نحو (١٨٠٠)م، ينخفض قاعها إلى عمق (٢٠٨) عن سطح الأرض، ومنسوبها مستقر بسبب استمرار تغذية المجاري المائية لها، إلا أنه وفي (٢١/ آب/ ١٩٨٠م)، تسربت منها كميات كبيرة من غاز ثاني أوكسيد الكربون، أودت بحياة (١٧٤٦) شخص اختناقاً من سكان بلدة ويوم Wum، ومن نجا عانى أمراض

الرئة والعيون. وقد رصد ارتفاع في نسبة الغاز في الجو بنسبة (١٠-٢٠%)لعدة أيام. صورة رقم (٤٢-٢).



صورة رقم (٤٢-٢) بحيرة نيوس (١٩٨٦)م.

وقدّر حجم الغاز المنحل في مياه البحيرة بنحو (٢٦٥) مليون م٣، بالإضافة إلى حوالي (٥) مليون م٣ تضاف إليها سنوياً، ومن حسن حظ المنطقة- حتى الآن- أن البحيرة محاطة بمجموعة من الجدران البازلتية، إلا أن تكسر هذه الجدران تحت وطأة أي نشاط بركاني مهم، يسبب تدفق المياه السامة عبر الأودية مسببة كارثة محققة. وقد تبين لدى مقارنة البحيرة بمثيلاتها في الكاميرون التي لا يزيد عمقها على (٥٨) متراً، أن الأخيرة أقل خطورة، حيث لم تساعد ضحالتها على تجمع كميات خطيرة من الغاز كما في بحيرة نيوس. ومن الحوادث المماثلة، انفجار بحيرة ماسايا Masaya في نيكاراغوا عام (١٩٤٦)م، الذي تسبب بإتلاف (١٢٠) كم٢ من حقول البن، وقتل نحو (٦) مليون شجرة.

ولا يتوقف خطر الغازات على ما تحدثه من أضرار مباشرة، بل إن آثارها تمتد لعدة سنوات، فقد ارتفعت غازات سحب بركان إيتشيتشون Echichon الذي انفجر في المكسيك عام (١٩٨٢)م، إلى علو (١٦,٨)كم في الغلاف الجوي، وبقيت عدة سنوات تدور فيه. صورة رقم (٤٣-٢).



صورة رقم (٤٣-٢) بدء تصاعد عمود الدخان من بركان Echichon عام (١٩٨٢)م.

يتعاظم خطر الانفجارات الغازية والانهيارات في الجزر البركانية النشطة والمأهولة، لعزلتها، فلا بد من وضع خطط لإخلاء الجزر المعرضة لخطر كهذا، مثلما حدث في جزيرة أمباي **Ambae** إحدى جزر فانواتو **Vanuatu**، جنوب المحيط الهادئ، التي يقطنها نحو (٩٤٠٠) إنسان. صورة رقم (٤٤-٢). وتعاني خطر انبعاث الغازات من بحيراتها، صورة رقم (٤٥-٢). وقصور أنظمة الرصد. وقد حددت مواقع الإيواء والإخلاء كالمدرسة والكنيسة ومخازن المحال التجارية. لحين إجلاء سكان الجزيرة، مع ضرورة تأمين الاتصال والتواصل مع محيطها. وقد اتبع نهج تشاركي مع أهل الجزيرة، لتحديد كيفية تفادي الخطر المحتمل للبركان، وتقريب وجهات النظر بين الدراسات العلمية وأولويات المجتمع والسكان. (Shane & Others:2004.P 668).



صورة رقم (٤٤-٢) جزيرة فانواتو وتصاعد دخان بحيرتها النشطة.



صورة رقم (٤٥-٢) غازات بحيرة في جزيرة فانواتو.

ز- خطر المقذوفات البركانية الصلبة:

يستمد البركان مقذوفاته الصلبة من حشوته المتصلبة داخل مدخنته، والجدران الداخلية لهيكله وخزانه، والكتل المنهارة من فوهته، والقمم المتصلبة أو السدادات Plugs، والمسلات، بالإضافة إلى المهل المقذوف، لذلك يتعاظم خطر هذه المقذوفات في البراكين من نوع بيلي وفولكاني، كما تضم هذه المواد كتل المهل التي تبردت أثناء قذفها في الهواء، فقد بلغ حجم المواد المنهارة من بركان بيلي خلال ثورته عام (١٩٠٢)م، بنحو (٩) مليون م٣. تلاها تدفقات ضخمة غطت مساحة قطرها نحو (١٠)كم. دمرت مدينة سانت بيير. صورة رقم (٤٦-٢).



صورة رقم (٤٦-٢) مدينة سانت بيير بعد ثوران بركان بيلي عام (١٩٠٢)م

ح-الانزلاقات الصخرية Rock Avalanshes:

إن استمرار نشاط بعض البراكين وارتفاع درجة زلازلها بعد هدوء طويل، والحالة البنيوية لطبقاتها الصخرية، إضافة إلى نظام الصدوع والشقوق فيها، وموقع البركان من الصفائح النشطة بنائياً، كل ذلك يوفر الظروف المناسبة لحدوث الانهيارات والانزلاقات الأرضية. كما حدث إثر انفجار بركان سانت هيلين في ولاية واشنطن عام (١٩٨٠)م. الذي يقع على حدود صفيحة كاسكاد Cascade البنائي، حيث انهار جزء من قمته بحجم نحو (٥٤٠) مليون طن، صورة رقم (٤٧-٢). مغطياً مساحة (١٩,٠٠٠) كم٢، ومتسبباً بوفاة (٥٧) شخص.



صورة رقم (٤٧-٢) فوهة بركان سانت هيلين وموقع الانهيار فيها.

ط- أمواج التسونامي Tsunamis Waves:

أمواج تسونامي هي أدوات قتل متعددة الأسباب، تنتج عن الثورانات البركانية الساحلية أو فوق الجزر البركانية أو تحت سطح البحر، وقد تنتج عن الزلازل، أو الانهيارات الصخرية عقب ثوران بركان ما، شكل رقم (٢١-٢). والتي يتعاظم حجمها وتزداد خطورتها كلما كبر حجم الانهيارات الأرضية المنتهية إلى البحر، وازداد انحدار سفوح البراكين، وقربت

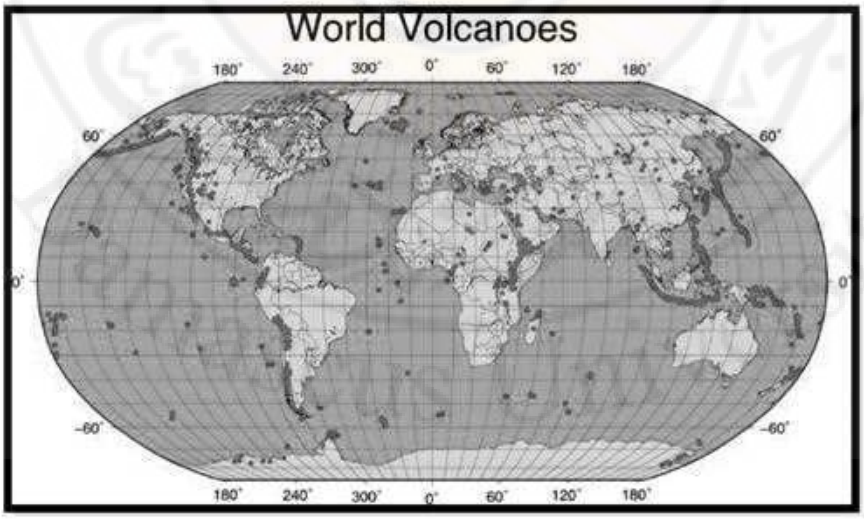
السواحل غير المستقرة من البحر. فتندفع المياه على شكل موجات عاتية، ذات طاقة تدميريّة هائلة، ومن أخطرها تاريخياً تلك التي نتجت عن ثوران بركان تامبورا Tambora في إندونيسيا عام (١٨١٥)م، فأودت بحياة (٨٢) ألف شخص، من أصل (٩٠) ألف شخص قتلتهم أحداث البركان، كما تولدت أمواج عارمة إثر ثوران بركان كراكاتوا في إندونيسيا أيضاً عام (١٨٨٣)م وأودت بحياة (٣٦,٤١٧) شخص.



شكل رقم (٢١-٢) كيفية انتشار أمواج تسونامي عقب انفجار بركان استرومبولي.

٨-توزع النشاط البركاني :

تتوزع البراكين الثائرة تحديداً في مناطق انتشار النشاط الزلزالي، شكل رقم (٢٢-٢) وذلك لارتباط كلا الظاهرتين بالنشاط البنائي، ونميز مناطق البركنة التالية:



شكل رقم (٢٢-٢) توزع البراكين.

أ- بركنة مراكز التباعد Spreading center volcanism:

تمثلها تلال وسط المحيطات، والتي تنشأ عن تباعد الصفائح المحيطية، وهي من أكثر المواقع البركانية نشاطاً وإنتاجاً للمهل، الذي يعلو حتى يشكل مخاريط بركانية ترتفع فوق مستوى سطح البحر، لتكّون جزراً بركانية كجزيرة بركان سورتسي Surtsey، التي تشكلت إلى الجنوب من أيسلندا عام (1963)م.

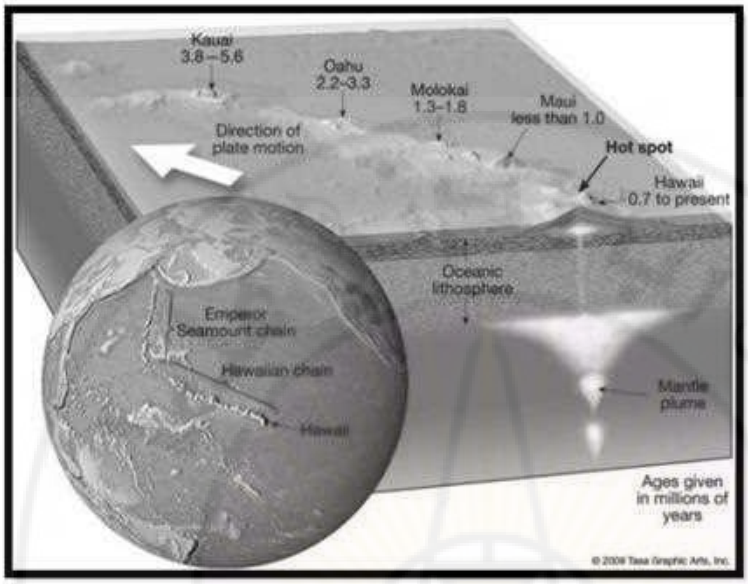
ب- بركنة نطاقات الغوص Subduction zone volcanism:

هي مناطق تتجه فيها صفائح القشرة المحيطية نحو المعطف، وعند بلوغها أعماقاً تقارب (١٢٥) كم، تتعرض للانصهار الجزئي. فيتشكل مهل بازلتي، وبعد انصهار كميات كافية يطفو المهل تدريجياً بسبب قلة كثافته مقارنة بما يحيط به من صخور، مكوناً مخاريط بركانية على قاع المحيطات. والتي تكونت منها سلسلة جبال كاسكاد شمالي غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وتضم جبال سانت هيلين St. Helen ورينير Rainier وشاستا Shasta.

ج- البركنة داخل الصفائح Interplate volcanism

اقترح العلماء تفسيراً مقنعاً لوجود نطاق الانصهار الجزئي ضمن صخور المعطف العلوي- في ظل عدم وجود احتكاك صفيحي- وهو أن تدرج درجة الحرارة الأرضية (الغراديان الحراري) يسبب وجود نطاق يحتوي على تجمعات وجيوب من المهل، على أعماق تراوح بين (١٠٠-٢٥٠)كم، وتسمى هذه المناطق بالبقع الساخنة، تتغذى بالمهل من المعطف عبر أنابيب أو أذرع. ويفترض أن يحدث هذا النشاط البركاني في الوقت ذاته، الذي تتحرك فيه الصفائح القارية والمحيطية فوق البقع الساخنة، أي إن البقع الساخنة ثابتة في حين تمر فوقها الصفائح الأرضية، ومثلما يحدث لورقة تمر فوق شمعة مشتعلة، يحدث للصفيحة الأرضية، حيث تتشكل بؤر نشطة بركانياً، مشكّلة جزراً بركانية، وأُثبت ذلك من خلال تحديد أعمار الجزر باستخدام نظائر البوتاسيوم - الأرغون، لعينات أخذت من (٢٧) موقعاً. فتبين بأنها تتدرج من الأحدث إلى الأقدم، بالاتجاه من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي - أي مع حركة الصفيحة المحيطية- على النحو التالي: (جزيرة كايواي Kauai وعمرها بين (٣.٨-٥.٦) مليون سنة. تليها جزيرة واهو Oohu (٢.٢- ٣.٣) مليون سنة. ثم جزيرة مولوكي Molokai وتعود لفترة بين (١.٣-١.٨)مليون سنة، وأحدثها هي جزيرة

هاواي، التي ما زالت تتشكل منذ (٠.٨) مليون سنة. وينشط من براكينها بركانيّ (مونالوا) و(كيلاوا). ويوضحها الشكل رقم (٢٣-٢).



شكل رقم (٢٣-٢) نقطة هاواي الحارة.

٩-الحلول المقترحة لمواجهة خطر الثورانات البركانية:

لا يمكن بأي حال من الأحوال إبداء الرأي في أي مشكلة ما لم يتم فهمها، وتحديد كيفية حدوثها. لذلك تبدأ الحلول الخاصة بمواجهة خطر البراكين من دراستها دراسة متكاملة، من حيث الشكل والعملية ونمط الانفجارات واستخدامات الأرض، ويمكن تقسيم إجراءات المواجهة إلى إجراءات نظرية وأخرى عملية.

الإجراءات النظرية لمواجهة الثورانات البركانية، وتشمل:

١- نشر مجسات ومراصد للإشارات التحذيرية التي تسبق الانفجارات، وتحليلها وتفسيرها بدقة ومصداقية عالية. وتحديث الشبكات القديمة، أو تحسين أدائها، وصيانة شبكات الرصد الحالية في مناطق البراكين الخطرة، واستخدام بيانات الرصد المعزز لتفسير نشاط البراكين، كدراسة حالة الصخور المنصهرة، والعمليات الهيدرولوجية، وقد ساعد إنشاء محطات قياس الزلازل لرصد النشاط الزلزالي، وربطها بأجهزة إنذار مبكر، في جزر هاواي، بالتنبؤ بحدوث الطفح البركاني من بركان كيلوا عام (١٩٥٩)م. كما تمكّن فريق مراقبة نشاط بركاني سانت

هيلين وبيناتوبو، من التنبؤ والتحذير وإصدار تعليمات الإخلاء قبل أيام من بدء ثورانهاتها. (Montgomery & Keys : 1993).

٢- تحليل بيانات نمط الانفجارات أو نموذج الثورانات البركانية، وتكرارها وحجمها وسجلها الكارثي، ونطاقات تأثيرها. وذلك لتحديد إمكانية التنبؤ بسلوكها المستقبلي.

٣- دراسة مورفولوجيّة البراكين، وتحديد أهم مظاهرها ومواقعها، ومواضع الضعف والمتانة في هياكلها، كالبحيرات، والشقوق، ومنافذ المهل والغازات.

٤- دراسة رواسب البراكين وتعاقبها وطبيعتها، فلكل مادة دلالتها الجيومورفولوجية على طبيعة الثوران البركانية، وخصائص المقذوفات أثناء تراكمها.

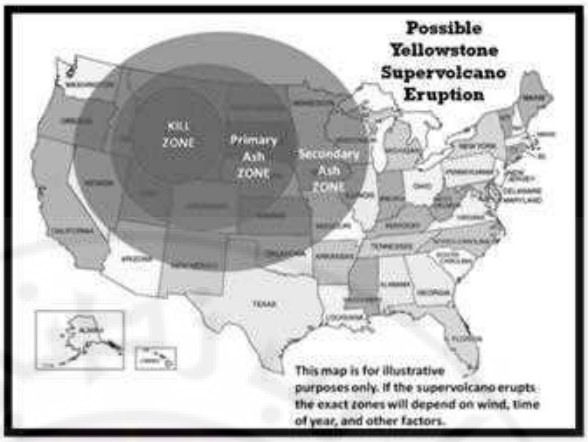
٥- دراسة أشكال المنحدرات وخصائصها الطبوغرافية، لتوقع مسالك المهل المرجحة.

٦- إعداد خرائط للمواد البركانية ومناطق انتشارها وتعاقبها الزمني، لفهم سلوك البركان الماضي والحاضر والمستقبلي. فقد استخدمت مع بداية الألفية الثالثة المجسمات ثلاثية الأبعاد، التي تنقل المشهد الجيومورفولوجي بدقة تفوق الصور الجوية والخرائط الطبوغرافية.

٧- دراسة التاريخ الحتي أو تاريخ التعرية للبراكين، وفترات الثورانات التي تعيد بناءها أو تشكيلها، وذلك لتفسير وتحليل الشكل الحالي للبركان. وهي خطوة تتطلب إعداد خرائط تفصيلية ودقيقة، يُبنى على أساسها تحديد مسار المواد السائلة من الشقوق والفوهات، وكذلك اتجاه التدفقات الطينية.

٨- إعداد نماذج حاسوبية وعددية مدعومة بقياسات ومؤشرات ميدانيّة ومخبريّة. تأخذ بالحسبان التجارب الدولية وتاريخ سلوك الثورانات الموثّق بشكل علمي ودقيق.

٩- تقييم الخطر البركاني إن كان مركباً أو بسيطاً، وإعداد خرائط تبين نطاقات الخطر المحتمل ومواقع انتشاره، وطبيعة المواد، وخصائص السطح والغطاء النباتي، واتجاه الرياح. كتلك التي أعدت لتوضح خطر الرماد الناتج عن انفجار بركان يلوستون المتوقع، وهي تُظهر ثلاثة نطاقات، أولها: مركزيّ يحيط ببؤرة الانفجار، ويكون الموت فيه مؤكداً، فُسمي بنطاق القتل. أما الذي يليه فيُتوقع أن يصاب الناس فيه بأمراض شديدة في الرئة قد تسبب الموت. وثالثها هو نطاق انتشار الرماد البركاني، الذي يسبب أمراضاً عينية وصدرية. شكل رقم(٢٤-٢).



شكل رقم (٢٤-٢) أحزمة الخطر حسب طبيعة المادة، لانفجار بركان يلوستون المتوقع.

١٠- التعاون مع المنظمات الدولية المختصة والمؤسسات العلمية والبحثية وتعزيز التعاون بين البلدان، وتبادل البيانات، والمساعدة التقنية.

١١- اتباع منهجية الإدارة المتكاملة لمخاطر البراكين التي دعمتها المفوضية الأوربية بإطلاق برنامج البحوث والتعاون research and cooperation program عام (٢٠٠٨)م، بما في ذلك تدريب الموظفين، وتطوير قواعد البيانات عن البراكين.

١٢- إعداد برامج وخطط وطنية لإنشاء نظام متكامل للإنذار المبكر، واعتماد معايير للبيانات، والاتصالات، والخطط الأمنية، والمكونات المادية للنظام من أجهزة و موظفين وشركات ومؤسسات وجامعات ومراكز بحث علمي.

١٣- إجراء دراسات استقصائية لدراسة تغير قيم الجاذبية، وانبعاثات الغازات، والنشاط المائي- الحراري في البراكين، واستخدام أجهزة استشعار حرارية وكيميائية.

١٤- تطوير قدرة المخابر المحمولة جواً لإجراء القياس المباشر لنسب CO2 / SO2 بشكل دوري وتقييم طبيعة الهواء وتركيب الغلاف الجوي.

أما الحلول العملية، فتتمثل بالآتي:

- الابتعاد عن البراكين النشطة، وتحديد نطاقات خطرها، واختيار الاستخدام المناسب لكل نطاق.
- بناء سدود مع منافذ لإمرار التدفقات الطينية اللاهار أو قنوات إسمنتية مقاومة لتحويل مساراتها أو احتوائها، صورة رقم (٤٨-٢).



صورة رقم (٤٨-٢) لاهار ثوران بركان ميرابي عام (٢٠١٠)م، ومروره عبر فتحات سد أنشئ للحماية من خطره.

- تجهيز سطح الأرض لأي تدفق مهلي. فيما يعرف بالتدابير الوقائية كتثبيت المنحدرات أو إنشاء مجارٍ صنعيّة لتوجيه المهل نحو منخفضات بعيدة عن القرى والأراضي الزراعية.
- حفر خنادق إما لتجميع المهل واللاهار، أو توجيه حركته. فقد أسهم تحويل مجرى التدفقات التي نتجت عن لاهار بحيرة نياراغونغو في زائير عام (١٩٧٧)م، وغطت مساحة (٢٠)كم٢، بسرعة (٤٠كم/سا)، بتقليل حجم الخسائر، التي بلغ مجملها تدمير (٤٠٠) منزل، و(٧٢) قتيل.
- بناء ملاجئ تحت سطح الأرض في حال عجزت السلطات عن إتمام عمليات الإخلاء السريع.
- رفع سوية المنازل فوق مستوى المهل المتدفق والتدفقات الطينية (اللاهار)، كما تم في جبل (بيناتوبو) بالفلبين.
- تشمل تدابير التخفيف والحد من أضرار التدفقات الطينية، تخفيض مستوى المياه في بحيرات فوهات البركان بواسطة أساليب هندسية، كتلك الأنفاق في جبل (كيليوت) بإندونيسيا، وبناء سدود لحجز الرواسب الطينية، وأخرى لتحويل التدفق بعيداً عن مناطق الاستخدام البشري.
- تحديد مواقع المنافذ الغازيّة. ووضع أجهزة قياس دقيقة لرصد أي تغير في نشاطها وتركيبها، فهي غالباً ما تكون أول المواد المثارة قبل الانفجارات البركانية.
- تقييم المخاطر بهدف إصدار تعليمات وتشريعات بخصوص استخدامات الأرض.
- الانتباه إلى المؤشرات التالية، التي تسبق الانفجار البركاني:

١- ارتفاع درجة حرارة الينابيع والمياه، مع زيادة محتواها من الكبريت.

٢- تغير لون الماء ومحتواه من الطين.

٣- انصهار الجليد والثلوج من قمم ومنحدرات البركان.

٤- حدوث إمالة في جسم البركان أو أحد جوانبه، بسبب ضغط المهل أسفله.

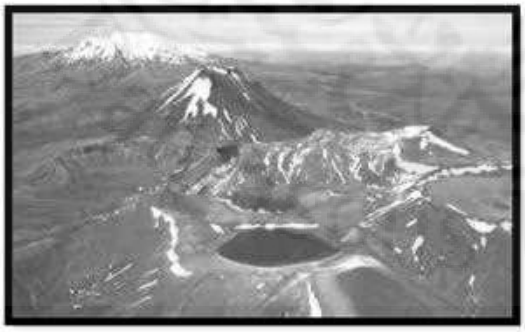
٥- حدوث تمدد وتضخم في جسم البركان، وهو ما حدث قبيل انفجار بركان سانت هيلين الشهير عام (١٩٨٠)م.

٦- سلوك غير مألوف للحيوانات والطيور.

٧- حدوث تشققات في الأرض والطرقات والمباني.

٨- غور المياه السطحية من بعض منابعها، وتغير منسوب مياه الآبار.

- يمكن اتباع إجراءات غير اعتيادية. كالتي قام بها سلاح الجو في الولايات المتحدة الأمريكية، بإلقاء قنابل من ارتفاع (٢٧٠٠) م، على بركان مونولوا، أثناء ثورته عام (١٩٣٥)م، لتحويل طريق المهل بعيداً عن ميناء هيلو، وقد نجحت المحاولة في حمايته.
- تجميد وتبريد المهل بغمرها بالماء، واستخدمت الطريقة عام (١٩٧٣)م، حين هدد الطفح البركاني مرفأ فيتمانتايجورا في جزيرة هيماي الأيسلندية.
- وضع المتنزهات البركانية تحت إدارة صارمة، تعتمد على المراقبة والمتابعة والإخلاء السريع في حال الإنذار بالخطر. ومن أمثلتها ما يخضع له متنزه تونغاريرو الوطني بنيوزيلندا، من قوانين متشددة في إدارته، حيث وضعت له خرائط دقيقة لاختيار أفضل المناطق السياحيّة وأكثرها أماناً، وحُددت أنواع مخاطره ، ومستوياتها المتوقعة، صورة رقم (٢-٤٩).



صورة رقم (٢-٤٩) جزء من متنزه تونغاريرو Tongariro.

وبالتالي فإن انفجاره يعني حدوث تدفقات طينية وفيضانات مائية وانهيارات أرضية، وقد حُدد زمن وصولها إلى المنطقة السكنية، وفندق المتنزه بنحو (٢٠) دقيقة، فزود ببنية

تحتية من الجسور والطرقات والسكك الحديدية وتجهيزات الدعم الفوري لإخلاء القمة ومناطق الخطر بسرعة في حال حدوث ثوران بركانية أو انفجار لبحيرة القمة.

١٠-فوائد البراكين:

١- معرفة تركيب القسم الداخلي من قشرة الأرض، وربما المعطف أو الجزء العلوي منه الأثينوسفير، كما تشير إلى مواقع الضغط البنائي في القشرة الأرضية.

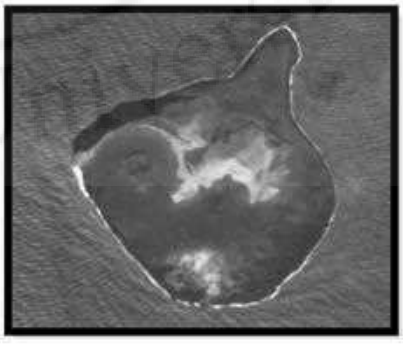
٢- تخفيف ضغط التفاعلات الداخلية التي تحدث تحت القشرة الأرضية، مما يحفظ الكرة الأرضية من الانفجار الكلي.

٣- زيادة مساحة سطح الأرض، بتوسيع السواحل بعد وصول المهل إليها وتبرده بتماسه مع الماء، أو بنشوء جزر بركانية، صورة رقم (٥٠-٢). فقد أضاف بركان كيلوا لجزيرة هواي نحو (٤٠٠) أكر، وهي مساحات مكتسبة للنشاط البشري الزراعي والصناعي والبيئي.



صورة رقم (٥٠-٢) مروحة فيضية نتجت عن انفجار بركان St. Vincent في البحر الكاريبي.

٤- زيادة مساحة الأرض رأسياً بتكون التلال والجبال، كما هي الحال في جزيرة سورتسي قرب السواحل الأيسلندية التي تكونت عام (١٩٦٣)م، ويبلغ ارتفاعها عن مستوى سطح البحر حالياً نحو (١٧٤)م. صورة رقم (٥١-٢).



صورة رقم (٥١-٢) جزيرة سيورتسي قرب سواحل أيسلندا، نشأت عام (١٩٦٣)م.

٥- تشكيل مظاهر خاصة ذات استخدامات محددة، فالقمم التي تشغلها البحيرات تعد خزانات ماء عذب كبحيرة مسعدة، صور رقم (٥٣-٢).



صورة رقم (٥٢-٢) بحيرة مسعدة في الجولان السوري المحتل.

٦- يمكن استخدام الجبال البركانية المرتفعة لبناء محطات الإرسال والاتصال، والخزانات المائية الإسمنتية.

٧- تستخدم القمم البركانية باعتبارها مناطق حاكمة -وفق التعبير العسكري- لمحيطها كمواقع استراتيجية عسكرية، لبناء القلاع والمراصد العسكرية، وأشهرها في سورية قلعة صلخد. صورة رقم (٥٤-٢).



صور رقم (٥٣-٢) بقايا قلعة صلخد، على مسلة بركان صلخد.

٨- للمواد البركانية استخدامات صناعية متعددة، كالألياف الزجاجية ومواد العزل الحراري، ومواد البناء ورصف الطرقات، وهي مصدر مهم للحجر البازلتي.

٩- تحتوي على معادن عديدة تخصب الترب، وبالأخص الرماد البركاني، فلا يمكن أن تعزا الأعداد الكبيرة لسكان جزيرة جاوة والبالغ عددهم نحو (٧٥) مليون نسمة، إلا لخصوبة تربتها وازدهار قطاع الزراعة فيها، على الرغم من كونها جزيرة بركانية بامتياز، براكينها تصنف ضمن فئة البراكين النشطة عموماً.

١٠- تقدم المياه الكبريتية الحارة منافع علاجية، معروفة تاريخياً وشعبياً بالحمامات الساخنة أو الحارة، ومنها حمامات تدمر الشهيرة. وحمامات تركيا الكبريتية الطبيعية صورة رقم (٥٤-٢).



صورة رقم (٥٤-١) حمامات العلاج الطبيعي ببرك الكبريت / تركيا.

١١- يستفاد في الدول المتقدمة من البراكين النشطة كمصادر للطاقة. كالدخان الأسود المستخدم لتدوير محطات الكهرباء في إيطاليا، والمياه الحارة المسحوبة من ينابيعها عبر أنابيب لتدفئة مزارع النباتات الاستوائية في أيسلندا، منذ (١٩٣٠)م، صورة رقم (٥٥-٢). والتي تعتمد في تدفئة (٦٠%) من منازلها على الطاقة الكهرو – حرارية، وكذلك الأمر في ينابيع ونافورات الجيزر في ولاية كاليفورنيا الأمريكية.



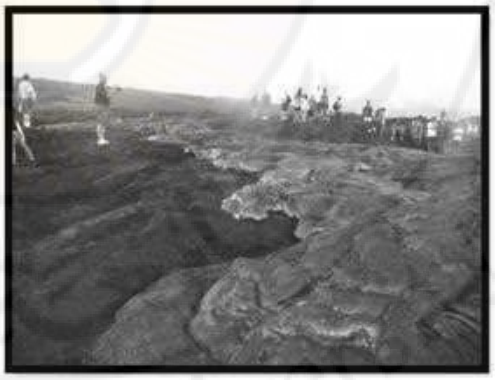
صورة رقم (٥٥-٢) مصانع توليد الطاقة من بحيرات المياه الحارة في أيسلندا.

١٢- للبراكين منافع سياحية متعددة، وتزداد كلما تنوعت بيئاتها الجغرافية بين غابيّة وبحريّة وبحيريّة وجبليّة، كما هي الحال في متنزه يلوستون، حيث يعد جيزر أولد فيثفل من أجمل المقاصد السياحية في الولايات المتحدة الأمريكية، حيث تندفع نافورة من الماء الساخن بارتفاع يصل إلى نحو (٦٠) متراً كل (٦٥) دقيقة تقريباً. صورة (٥٦-٢).



صورة رقم (٢-٥٦) نافورة جيزر ستروكور Strokkur في أيسلندا.

١٣- كما أن كثيراً من الأفواج السياحية بدأت تهتم بمظاهر المهل المتوهج، صورة رقم (٢-٥٧) وتستمتع بأشكاله الحباليّة والعجينية الغريبة. وقد بلغ مجموع عدد السياح والزوار لمنتزه وحديقة تانغاريرو Tongariro في نيوزيلندا خلال عام (١٩٩٢)م. أكثر من (٦٠٠,٠٠٠) سائح، مما يدلل على أهمية هذه المظاهر كمورد سياحي وثقافي.



صورة رقم (٢-٥٧) سياحة البراكين بالقرب من لابة بركان كيلوا في هاواي.

الفصل الثالث

الجيومورفولوجيا التطبيقية والتجوية .

Applied Geomorphology and Weathering

- شروط عمليات التجوية.
- أنواع عمليات التجوية.
- التجوية الملحية في المناطق الحضرية.
- مظاهر التجوية في مواد البناء.
- الحلول المقترحة لمواجهة خطر التجوية.
- طرق المواصلات وتأثرها بأعمال التجوية.
- منافع التجوية الملحية.
- مشكلة تملح الترب الزراعية.

"In time, and with water, everything changes"

مع مرور الزمن وبوجود الماء كل شي يتغير

Leonardo da Vinci (1452 -1519)

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

تعني التجوية Weathering تعرّض الصخور لتأثير العوامل الجوية التي تعكس خصائص المناخ ومدى فعالية بعض عناصره كالحرارة والمياه، وتشمل كافة التغيرات الفيزيائية والكيميائية التي تطرأ على الصخور ومكوناتها تحت تأثير الأغلفة الثلاثة (الجوي والمائي والحيوي)، وتعد التجوية من أهم حلقات الدورة الجيولوجية لمواد القشرة الأرضية، فهي أول العمليات الجيومورفولوجية التي تنال من الصخر فور تكشفه أو تشكله على سطح الأرض، فتغير من الخصائص الفيزيائية و/أو الكيميائية للصخور، ولها دور بالغ الأهمية على الصعيد التطبيقي، حيث ينتج عنها كافة أنواع الترب ومظاهر التحلل كالكهوف والتجاويف الصخرية. وهي عملية موضعيّة، أي تحدث في موضع ما من الصخور، ويبقى نتاجها في مكان نشأته، ليتم نقله لاحقاً بفعل المياه الجارية أو الرياح أو الجليد.

يضاف إلى ما سبق تأثيرها الخطير في الحالة الهندسية والجمالية للأبنية والتماثيل الفنية والأوابد التاريخية، وينتج عن بعض أعمالها موارد طبيعية ذات جدوى اقتصادية كالأملاح.

أولاً- شروط عمليات التجوية:

تحدث عمليات التجوية وفق دورات قصيرة أو طويلة الأمد، وقد توصف بالمتقطعة أو المستمرة، فعملية التمدد المرافقة للتسخن، والتقلص المرافقة للتبرد، تحدث في المناطق القارية بين الليل والنهار، وتتكرر مع تعاقبهما، ومنها ما يكون مستمراً متواصلاً دون انقطاع - طالما وجدت شروطه- كالتحلل الصخري بفعل الماء في المناطق الرطبة أو النهرية أو البحيرية، ولا يقطع مثل هذه الدورات إلا تغير مناخي أو بنائي، ليفرض شروطاً أخرى من درجة الحرارة والرطوبة الجوية والهطل، تُمارس وفقها عمليات التجوية لكن بوتيرة مختلفة، وتزداد فعالية عمليات التجوية كلما توفرت العوامل التالية:

١- **حدوث العملية:** يعد شرطاً أولياً لبدء تأثيرها في الصخر، وتبدأ مع تكشفه على السطح.

٢- **تكرار العملية:** مما يعني وقوع الصخر تحت وطأة عمل مستمر من التفتيت أو/و التحلل.

٣- **قصر الفترة بين دوراتها:** فحين يتقلص صخر ما ويتمدد مع تعاقب الليل والنهار، يكون أثر تكرار العملية فيه أمضى من ذات الصخر في حال خضع لنفس العملية على مدى فصلي أو سنوي، حيث يتمدد الأول ويتقلص بسرعة، مما ينتج عنه تكسر لروابط وبنية الصخر، فينفرط بسرعة مقارنة بالآخر.

٤- **طبيعة الصخور:** تتجلى اصطفائيّة العمل الجيومورفولوجي بأفضل حالاتها في العمليات الكيميائية المؤثرة في الصخور، حيث تتحلل العناصر القابلة للإذابة، كالحجر الكلسي، والأملاح والدولومي. في حين تبقى العناصر العصية على التحلل كنتاج أخير للتفاعل، مثل الكوارتز والطين، وهنا تُهمل الخصائص الفيزيائية للصخر، فلا يعني كونه قاسياً أي إنه مقاوم للتحلل- كما هي الحال في مجمل عمليات الحت - فالصخور الطينية اللينة، مكونة من مواد عصية على عمليات التجوية، في حين يدخل ضمن مكونات صخور الغرانيت القاسية معادن مثل الفلسبار البلاجيوكلازي والأرثوكلازي، وهي قابلة للتأثر بفعل التجوية، وتعطي لدى انفراطها نتاجاً حبيبياً خشناً.

ويمكن مشاهدة تأثير تفاضليّة عمل التجوية أيضاً، في شواهد القبور المصنوعة من الحجر الكلسي، فالحديثة تبدو واضحة مقروءة، في حين فقدت القديمة معظم معالمها وكتاباتها، فطمست حروفها أو شوهت. كما يفقد بعضها ألوانه كحد أدنى من الضرر، مما يعني تدهور حالتها الفنية وانخفاض أهميتها التاريخية، في حين تحافظ شواهد القبور المصنوعة من الغرانيت على حالها فترة أطول من الزمن، إلا أن ذلك منوط بفعالية التجوية، يدل على ذلك الآثار الغرانيتية التي تتشوه مع بدء تآكل بلورات الفلسبارات، لتتحول إلى معادن جديدة.

كما يؤثر نسيج الصخر rock texture في سرعة فساده، حيث يعد الصخر ذو الحبيبات الخشنة أسرع تأثراً بالتجوية من الصخر ناعم الحبيبات، وذلك لامتلاك الأخير نسيجاً متماسكاً مندمجاً قليل الفراغات. ويؤثر تجانس التركيب الصخري أو عدمه في معدلات استجابته لعمليات التجوية، فصخور الحجر الكلسي الرملي، مكونة من عناصر كربونيّة قابلة للتحلل، وأخرى كوارتزيّة عصية عليه، مما يسبب نشوء مظاهر تحلل اصطفائي، تشبه قرص العسل وتعرف باسمه Honeycomb، وهي ظاهرة شائعة على أوجه الصخور والمباني.

ويبقى لنظام الفواصل والشقوق الدور المهم في تسهيل عمل التجوية ومساحة تأثيرها وعمقها، فكلما تعمقت الشقوق في الصخر ساعدت على وصول الماء والهواء إلى تلك الحدود، فعملت على إضعافه بإذابته و/أو تكسره بالتجمد والانفكاك، والتجوية الحرارية. كما أن لتقاطع الشقوق تأثيراً إيجابياً في نشاط عمليات التجوية، باعتبارها نقاط تصالب وتركّز، وغالباً ما ترتبط بها نشأة الآبار الطبيعية.

٥- **طبيعة المناخ:** يضبط المناخ إيقاع العمليات الجيومورفية المرتبطة به. فحيث يسود مناخ رطب دافئ تسيطر عمليات التجوية الكيميائية، في حين تسود أعمال التجوية الفيزيائية في المناخات المتطرفة القارية. فمعدل تراجع الجروف أو ما يدعى بالأوجه الحرة Free faces في المناطق المدارية الجافة يبلغ نصف ملليمتر كل عشرة آلاف سنة، في حين يراوح معدله في مناطق جبال الألب السويسرية بين (١-٢) ملليمتر /سنة.

وتجدر الإشارة هنا إلى أن فهم الأثر الجيومورفولوجي لعناصر المناخ، يتطلب التركيز على قيمها الحديّة العليا والدنيا، كدرجة الحرارة العظمى، و درجة الحرارة الصغرى، وأعلى كمية هطل.. لما لذلك من عظيم الأثر في إفساد الصخور وتغيير خصائصها الفيزيائية والكيميائية، ليصبح مادة أولية سهلة الإزالة بفعل عمليات كالحت والنقل.

ويمكن فهم التأثير المناخي من خلال إجراء مقارنة بين المسلات الفرعونية ذات الانتشار العالمي، ففي حين فقدت معظم المسلات أهميتها التاريخية والفنية والعلمية في ساحات وشوارع بعض دول أوربا والولايات المتحدة الأمريكية ذات المناخات الرطبة، نجدها قد حافظت على حالتها الفنية في صعيد مصر الجاف، وتبين الصور ذوات الأرقام (٣/٢/١-٣)، حجم التشوه الذي تعرضت له المسلة الفرعونية الشهيرة التي نقلت من لندن إلى نيويورك عام (١٨٨١)م.

أشار Schaffer (1932) إلى التغيرات المناخيّة التي أحدثها التوسع الحضري الذي شهدته المملكة المتحدة خلال القرن الماضي، وأهمها تلوث الهواء، مما تسبب بتفاقم مشكلات تحلل واجهات المباني والتماثيل والنصب التذكارية، وجاءت نتائج دراسات مراكز الأبحاث لاحقاً موافقة لرأيه مؤيدة له، حيث بلغ معدل الخسارة والفقد من صخور الأوليت Oolite الكلسية، المستخدمة في البناء، بفعل عمليات التجوية المختلفة من تحلل وتكسر

صقيعي وتجوية ملحية، نحو(١ ملم/ ١٠٠سنة). في حين يبلغ معدل تحلل الحجر الكلسي الناعم حوالي عشرة أضعاف هذا المعدل.(Harris: 2001). صورة رقم (٤-٣)



صورة رقم (١-٣) مسلة فرعونية في إحدى ساحات نيويورك، اليمنى عام (١٨٨١)م، والوسطى رقم (٢-٣) لعام (٢٠٠٥)م، أما اليسرى ورقمه (٣-٣) فتعود لذات تاريخ النحت لكنها في أسيوط/ مصر.



صورة رقم (٤-٣) تشوه تمثال Rhein-Ruhr/ ألمانيا، يعود المبنى لعام (١٧٠٢)م، أي إن عمر التمثال في الصورة اليسرى نحو (٢٠٠) سنة، تدهورت حالته بشدة بسبب تلوث الغلاف الجوي بعد (٦٠) عاماً فقط.

ويتضح تأثير المناخ من خلال مقارنة المباني التي استخدم فيها الرخام الأبيض الإيطالي من منطقة كاريرا Carrara، التي حافظت على حالتها الهندسية لقرون، في ظل مناخ حوض البحر المتوسط، لما يتصف به هذا النوع من الصخور من مسامية منخفضة (٠,٠٠٠٢-٠,٥)، جعلته مقاوماً للصقيع ورشح الماء، إلا أنه ظهرت علامات التنقر أو التحفر Pitting والتآكل Corrosion في الأقاليم الشمالية للولايات المتحدة الأمريكية، ذات المناخ المتطرف القاري.(Halls:1977.p17).

٦- **النباتات والحيوانات والتربة:** تقوم النباتات بنوع مزدوج من التجوية، يعرف بالتجوية الحيوية biotic weathering، فهي تزود التربة بالأحماض العضوية التي ترفع من قدرة الماء على الإذابة، كما تقوم بعمل فيزيائي بتغلغل جذورها في أعماق الأرض، فتوسع من شقوق الترب والصخور وتفككها، وقد تصل بعض الجذور إلى (٥٠) متراً تحت سطح الأرض. ويمكن القول إن الجذور تنقل عمل تجوية مزدوج، فيزيائي- كيميائي إلى حيث تمتد، وحتى مع موتها وتحللها فإن لبقاياها أثراً كيميائياً بتحلله وتعفنه وتزويد التربة بمحاليل حامضية، وقد قدر حجم النباتات المتحللة في المناطق المدارية الرطبة في الغابات المدارية بين (١٠٠-٢٠٠) طن/ الهكتار، بينما راوحت في الغابات المخروطية الباردة بين (٢٠-٢٥) طن/ الهكتار، لذلك يزيد معدل التجوية في الأولى بنحو أربعين ضعفاً عن الثانية، كما يولد انتفاخ بقاياه بامتصاص الماء ضغوطاً على حيزه، ويزيد من تشقق التربة والسطح، في حين يخلف بتحلله فراغاً قد يسبب تشقق السطح، وميل المباني فوقه، صورة رقم (٥-٣)،



صورة رقم (٥-٣) برج كنيسة Suurhusen المائل ،ساكسونيا السفلى، ألمانيا، يميل بزاوية (٥.١٩)- أكثر من برج بيزا.

ولمخلفات الطيور دور كيميائيّ مخرب في مناطقها، وهي آفات صخرية تعاني منها المباني والتماثيل حيث تعشش الطيور. كما يتم التزود بالكبريت والفوسفات من رشح مياه الأمطار عبر زرق طيور الخفافيش bat guano في بعض المباني الأثرية المهجورة، مثل المعابد الشهيرة في أنغكور Angkor في كمبوديا، مما يتسبب بأضرار عالية ناتجة عن تجوية الإذابة المركزة.

عمليات التجوية: قُسّمت التجوية حسب طريقة عملها إلى فيزيائيّة وأخرى كيميائيّة، لا تنفصلان عن بعضهما في الطبيعة، مع سيادة إحداهما على الأخرى حسب طبيعة المناخ،

حيث تسود الأولى في مناخات جافة ومتطرفة حرارياً، في حين تعمل الثانية في ظروف مناخية رطبة. وهي عمليات موضعية، أي أن نتاجها يبقى في مكان حدوثها.

ثانياً – أنواع عمليات التجوية:

أ- التجوية الفيزيائية Mechanical Weathering :

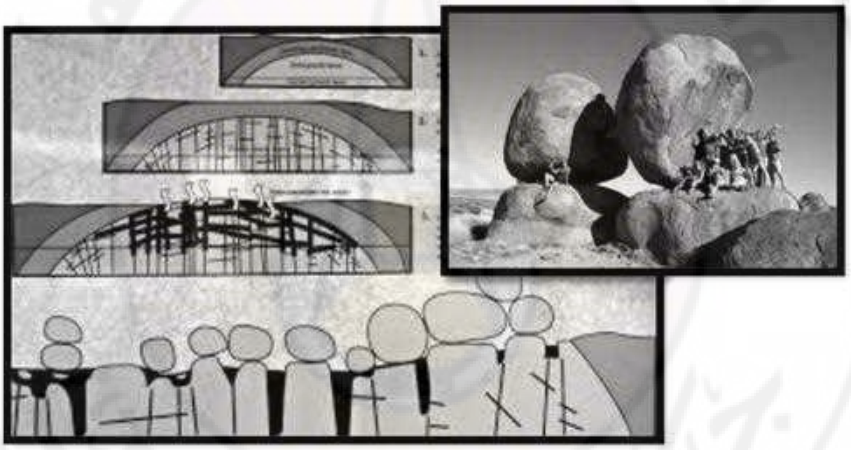
تعمل بأسلوب فيزيائي حركي على تحطيم الصخور وتفتيتها، ولا يختلف تركيب نتاجها عن أصلها، تحدث بعدة طرق منها:

١- التحرر من وزن المواد بإزالتها Unloading: تسترد الصخور مرونتها elasticity بعد إزالة الصخور، ويكون ذلك بالحت الطبيعي أو بفعل النشاط البشري كما في المقالع الحجرية الغرانيتية، فينتج عن ذلك شقوق موازية للسطح. تعرف بالأسطح المتورقة sheets، تشكل ألواحاً غرانيتية rock slabs، يستفاد منها مباشرة في أعمال البناء والإنشاء الهندسي، كما تسبب شقوقاً رأسية يصل عمقها إلى (١٠) أمتار، كما هي الحال في تكوينات الحجر الرملي في هضبة كولورادو. وتعد القباب الغرانيتية الناتجة عن تضافر آليتي التحرر من الضغط، والتقشر البصلي Exfoliation، من أكثر المعالم الطبيعية شهرة، لما تستقطبه من سياح ومهتمين، وقد تتخذ شكل قباب مستديرة كاملة أو نصف دائرية، يصل ارتفاعها إلى عدة مئات من الأمتار، أشهرها قباب منطقة صخور الغرانيت في جبال غراند فازر M. Grandfather بكاليفورنيا الشمالية، وشمال وغرب أستراليا، (Ollier :1984. P 7-8). وهي من أشهر المعالم السياحية. شكل وصورة، صورة رقم (٦-٣).



صورة رقم (٦-٣) قبة غرانيتية في حديقة هيرب herp من متنزه غيراوين Girraween الوطني/ أستراليا، فيما يعرف بحزام الغرانيت.

كما تتشكل بعض الكتل الصخرية البيضوية بفعل التجوية البيضيّة Spheroidal Weathering، أو قد تكون دائريّة، تنشأ من تعميق مواطن الضعف متمثلة بالشقوق ضمن القباب الغرانيتية، فيُخَفض سطحها، تاركاً بعض الكتل المقاومة للتحلل والتكسر بارزة، والتي تتعرض بدورها للصقل والتجوية بالتحلل مع الوقت، فتصبح جوانبها ملساء مكورة أو مقوسة، والكتلة دائرية أو بيضية. ويظهر الشكل رقم (١-٣) كيفية ذلك، كما تبين الصورة رقم (٧-٣) جزءاً من كتل متنزه ديفيل ماربلز Devil's Marbles بأستراليا، التي تراوح أبعادها بين (٣-٧) أمتار، وتعود لعمل مشترك بين أنواع التجوية على مدى (١٧٠٠) مليون سنة، وهي من المناطق الجاذبة للسياح، لغرابتها وضخامة أشكالها، وكيفية ارتكازها واستقرارها فوق بعضها البعض بزوايا ووضعيات توازنية مدهشة.

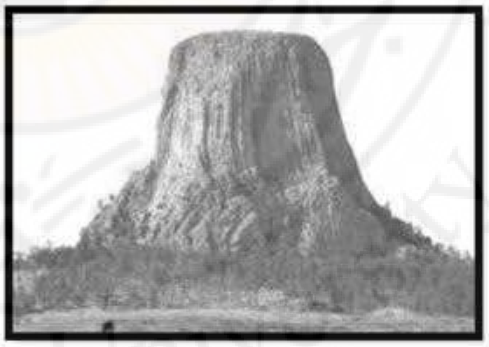


صورة رقم (٧-٣) وشكل رقم (١-٣) كيفية نشوء الكتل الصخرية الدائرية.

وهناك نوع آخر من الشقوق الناتجة عن التحرر من الضغط، وهي على مستوى عال من الخطورة، أشار إليه سيلبي Selby عام (1977)م، ينتج عن الحت النهري، الذي يعمل على حفر الأودية النهرية مشكلاً جروفاً حادة ومنحدرات مستقيمة تشرف على المجرى، أطلق عليها اسم الموقع الجديد للتمدد بالتحرر من الضغط، وأخرى مقوسة مهجورة في الجوانب العليا أسماها الموقع القديم، وتشهد الأولى تحرراً رأسياً من الضغط يعطي شقوقاً أفقية، في حين تتمدد صخور منحدرات جوانب النهر الجديدة أفقياً مشكلة شقوقاً رأسية، وهي من أخطر المواقع للبناء، بسبب عدم استقرارها.

٢- التمدد بالتسخن Heating، والتقلص بالتبرد Cooling: كما تعرف بتجوية الأشعة الشمسية أحياناً Insolation weathering. هي الأكثر شيوعاً وانتشاراً، كونها تنتج عن الفروقات الحرارية، التي تسبب تمدد expansion، وتقلص أو انكماش shrinkage الصخر. وتتكرر مع تعاقب الليل والنهار في البيئات الجافة والصحراوية. وترتفع قدرتها على تفتيت الصخر كلما حدثت خلال فترات قصيرة، وبتكرارية أكبر في الصخور غير المتجانسة، حيث تبدي عناصرها معدلات استجابة مختلفة، فتتمدد وتتقلص بعشوائية، مسببة انفراط الصخر. ويؤدي لون العناصر المكونة للصخر دوراً مهماً في زيادة فعالية عملية التمدد والتقلص، حيث تمتص المعادن الداكنة الحرارة بشكل أسرع، لذلك فإن تأثرها بالتسخن والتبرد يكون أشد.

ينتج عن العملية السابقة مظاهر تعرف بالبنى العمودية columnar Structure، أو ظاهرة التمفصل التكعيبي cubical Jointing، والتي تحدث في الصخور النارية إثر تبردها، فتعطي أعمدة مقطعّة على شكل مضلعات سداسية ورباعية وخماسية. يصل متوسط طولها إلى (٣٠)م. من أشهرها أعمدة برج الشيطان في ولاية وايومنغ الأمريكية، صورة رقم (٨-٣). والواجهات الصخرية لمنطقة كايوسواي Causeway في أيرلندا. يساعد تقطع الصخور في عمليات البناء، كما أن لها فائدة سياحية لغرابة مظهرها. صورة رقم (٩-٣).

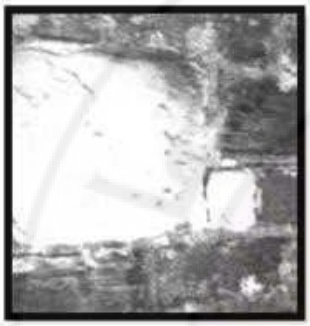


صورة رقم (٨-٣) برج الشيطان Devils Tower منطقة بارتفاع (٣٨٢) م، شمال شرق ولاية وايومنغ.



صورة رقم (٩-٣) شقوق عمودية في كاسواي بأيرلندا.

٣- الضغوط الناتجة عن زيادة حجم بعض المكونات في الصخور: وذلك بتعرض الأملاح ضمن شقوق الصخور أو المواد الإنشائية للإماهة أو التأكسد، فتتغير أحجامها بالتبلور، وذلك لزيادة حجم الماء في حال تجمده بنسب تراوح بين (٩-١١%)، مم يولد ضغوطاً تراوح بين (٢٥٠-١٠٠٠) كغ / سم٢، من جدران الشقوق. ثم يذوب الجليد فيملأ ماؤه الأعماق الجديدة التي نتجت عن توسع الشق، ومع تكرار تجمده وانفكاكه، تتوسع الشقوق بسرعة أكبر، وينفرط الصخر إلى شظايا مزواة. صورة رقم (١٠-٣).



صورة رقم (١٠-٣) تأثير تجوية التجمد والانفكاك في نشوء كسور الصقيع Frost cracks في حجر كلسي مستخدم للبناء.

تتراجع الواجهات الصخرية بخضوعها للآليات السابقة، لتشكّل سفوحاً حطاميّة غير مستقرة وخطيرة، موادها مزواة وسهولة الحركة، مما يعيق عمليات البناء فوقها أو ضمن محيطها. كما أن استمرار تغذية منحدر الحطام بالصخور المتساقطة يرفع من قوة ضغط مواد السفح على المنشآت والمشاريع العمرانية عند أقدام الجبال. ولأحجام المواد دور حاسم في تحديد مستوى الخطر.

٤-شقوق التبلل (الترطب) wetting والتجفيف drying: تتأثر الصخور الطينية mudstone والغرينية siltstone والطَّفل shale، بتعاقب عمليتي الترطيب والتجفيف. مما يتسبب بظاهرتي التورق fig والتفلق splitting، ويحدث فيهما التشقق باتجاه أفقي مع أسطح التطبق bedding planes أو أسطح الانفصال cleavage planes. ويكون فعلها أشد كلما صغرت الحبيبات المكونة للصخر، وزادت نسبة الطين فيه. (Ollier . 1984 p 25). وتتشارك العمليتان في تقطيع الطبقة الطينية العليا المكونة لسطح السبخات والخبرات إلى مضلعات Polygons، ناتجة عن شقوق التجفيف، ومع تعرض السطح للتبلل ثانية، يتسرب الماء عبر الشقوق إلى الطبقة الدنيا، فيزداد حجمها، وتتمدد فتدفع بجوانب

المضلعات التي تعلوها نحو الأعلى، محولة إياها إلى ما يشبه الصحون، فتكون منبسطة القاع ومرفوعة الحواف. ومع استمرار التقلص والانكماش، إضافة إلى عمليات الكنس والتذرية والحت الريحي. تزول الطبقة العليا وتتكشف الدنيا، لتعاود عمليات التجفيف والتبلل عملها في تقطيعها، والحت الريحي في الإزالة. صورة رقم (١١-٣).



صورة رقم (١١-٣) المضلعات الطينية على سطح خبرة.

تتم ذات العملية السابقة على جدران وأسقف المنازل الطينية، لكن بصورة رأسية، تعدل بعض الشيء من شكل المضلعات ونظام شقوقها، لكنها تؤدي إلى ذات النتيجة من تقشر الجدران والأسقف. صورة رقم (١٢-٣).



صورة رقم (١٢-٣) جدار طيني تعرض للتشقق، وظهور آثار عملية التقبب.

وقد دلت التجارب المخبريّة، أن عمليتي التفلق والتورق تكونان أشد وضوحاً خلال الدورة الأولى والثانية من التجفف والتبلل، أي خلال اليوم الأول الجاف الذي يعقب يوماً ماطراً، ونادراً ما تلاحظ في الأيام التالية. لذلك يمكن اعتبار هذه الفترة هي المرحلة الحرجة لتأثير العملية.

تحدث ظاهرتا التورق والانتفاخ في البيوت الطينية، وتعرف بالتطبيل – حيث يسمع صوت يشبه الدق على الطبل لدى النقر على الطبقة الطينية المقببة- وما يزيد الأمر سوءاً

هو ترميم الجدران والأسقف الطينية بماء مالح في حال بنيت المنازل على هوامش السبخات، كما هي الحال في بلدة السفيرة قرب سبخة الجبول جنوب مدينة حلب، مما يسهم في تضافر عمليات التبلل والتجفف مع التجوية الملحية، فتنهار الطبقة الخارجية كاشفة هيكل الجدران الأساسي. الذي سيتأثر بدوره بالعامل المناخي، فيسرّع من تهالك المنازل وتدهور حالتها الهندسية. صور رقم (١٣-٢). ويسهم اقتراب مستوى الماء المالح الجوفي من سطح الأرض وتغير مناسيبه، في تغذية الطين بالماء، كما أن تعرض الجدران للتشمس يعني حدوث عملية التجفف لها.



صورة رقم (١٣-٣) تكشف الهيكل الخشبي للجدار بعد انهيار وتفلق طبقة الإكساء الطينية الخارجية.

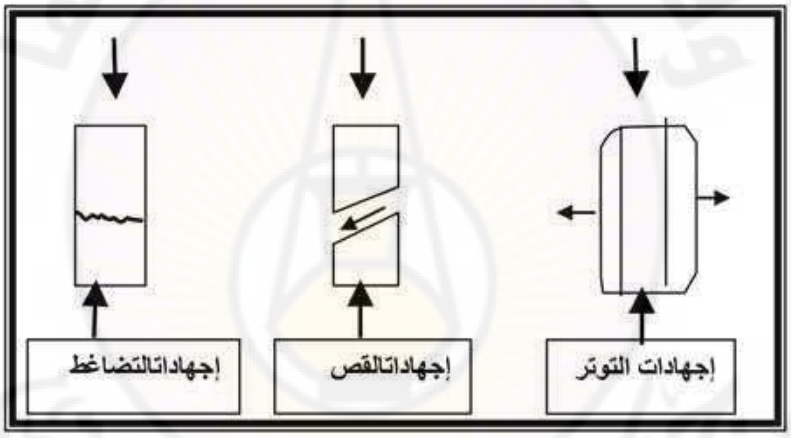
٥- تتشقق الصخور والجدران والأسقف، بفعل نمو جذور النباتات وجذوعها، وهي ظاهرة شائعة في المدن والقرى، حيث تشاهد العديد من الأرصفة وقد تخلعت بفعل نمو جذور الأشجار تحتها.

٦- إن تشكل الأعمدة الصخرية أو التربيّة Earth pillars المتوجة بالكتل الصخرية، يرتبط بتضافر عمل نهري ضمن الشقوق الرأسية، وغسل سطحي للتكوينات الهشة والضعيفة فيخفض السطح عموماً، إلا أجزاءً منه بقيت على شكل أعمدة مقلنسة، كما هي الحال في منطقة كابادوكيا التركية السياحية. صورة رقم (١٤-٣).



صورة رقم (١٤-٣) الجذب السياحي في منطقة كبادوكيا، لرؤية الأعمدة المقلنسة من الأعلى.

يستدعي التعامل الجيومورفولوجي مع الشقوق تحديد خصائصها، من حيث نمط توزعها أطوالها واتجاهاتها، وأسباب نشوئها، ومعدلات نشاطها. وطبيعة صخورها، ونوع القوى المؤثرة فيها. فمثلاً تنشأ شقوق أفقية تكسريّة عمودية على القوى الضاغطة بالتساوي من جهتين متقابلتين، وتسمى مناطق ضعف (إجهادات) الضغط Compressive failure. في حين تسبب القوى المائلة على محور الصخر، إجهادات القص Shear failure، وتعطي شقوقاً مائلة تسهم في انزلاق الكتل المحركة العليا. أما النوع الثالث فهو إجهادات التوتر أو الشد tensile failure، وتسبب تمدد الصخور نحو جهتين معاكستين لجهتي الضغط، فتشكل شقوقاً موازية لها، مما يسبب تفلقها وتفتتها جانبياً. شكل رقم (٢-٣).



شكل رقم (٢-٣) يبين أنواع قوى الضغط واتجاه الكسور الناتجة عنها

ب- التجوية الكيميائية Chemical weathering:

تؤدي التجوية الكيميائية إلى أحداث تغيرات جوهرية في تركيب ما ينتج عنها، بحيث يختلف عن أصله. وتحدث في ظل شروط من أهمها:

١. وجود الماء أو توفر وسط مائي.
٢. توفر صخر وعناصر قابلة للتفاعل كيميائياً مع المحلول السابق.
٣. حدوث تفاعل كيميائي بين الصخر من جهة، والوسط الحّال من جهة أخرى، ويمكن أن يمثله زمن التفاعل بين الوسطين. وكلما طال هذا الزمن استمرت العملية وزادت فعاليتها.

تمثل الترب أهم نتائج التجوية الكيميائية. كما تسبب مخاطر كتشكل الكهوف والتجاويف أسفل السدود والمنازل، والتي قد تتعرض أسقفها للانهيار، فيتأثر ما فوقها بدرجات مختلفة من الضرر. ويمكن تحديد أهم عمليات التجوية الكيميائية على النحو الآتي:

١- **الذوبان والتحلل:** تعدمن أكثر عمليات التجوية الكيميائية شيوعاً، حيث يتعرض الصخر للتحلل بتفاعله مع الماء وفق شروط من الحرارة والحامضيّة، وهي عملية تفاضلية، تنال من الأجزاء القابلة للتحلل، وتخلف المكونات العصيّة عليها. تتأثر فعالية التحلل بدرجة الحرارة. فكلما انخفضت درجة حرارة الماء – القاعدة ليست بالمطلق – ازدادت قدرته على حل غاز ثاني أوكسيد الكربون، فارتفعت حامضيته، وزادت قدرته على حل الصخور وإذابتها. (محمد فائد حاج حسن: ١٩٩٦، ص ٩٤).

وتتنوع المصادر التي يتزود منها الماء بثاني أوكسيد الكربون بين العضوية والكربونية (الصخرية) والصناعية، وقد بات من المعروف أن أجواء المدن الصناعية الملوثة، هي البيئة الأفضل لتكون ما يعرف بالأمطار الحامضيّة، التي تسبب أضراراً بالغة على المباني والتماثيل والقبور التي استخدم الصخر الكلسي في بنائها، فتفقد قيمتها الهندسية والفنية والجمالية والتاريخية. ويزيد من فعالية هذه العملية على واجهات المباني نمو النباتات والفطريات والبكتيريا، التي تعد مصدراً جيداً لأيونات الهيدروجين والأحماض العضوية. لذلك تظهر على الجدران أشكال تماثل ما يتشكل على الواجهات الصخرية، مثل ظاهرة قرص العسل، صورتان رقم (١٥/-٣) .

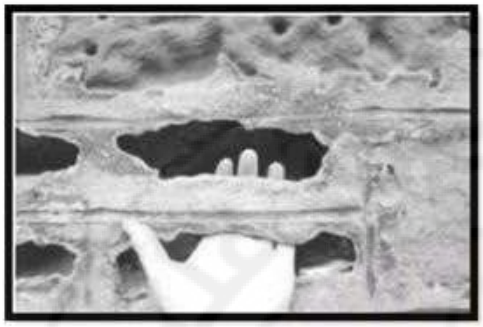


صورة رقم (١٥-٣) مظهر قرص العسل على واجهة صخرية.



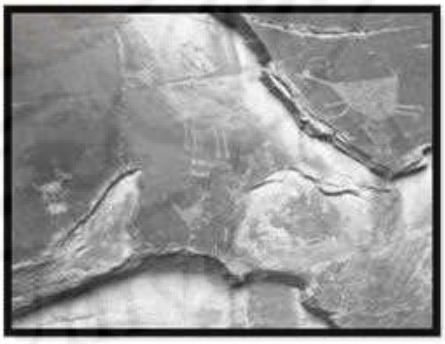
صورة رقم (١٦-٣) قرص العسل في واجهة جدار.

ومع اتساع حجم التجاويف تتحلل أجزاء كبيرة من حجارة البناء، حتى لا يبقى من بعضها إلا المادة غير الكلسية اللاحمة بينها، وهي عملية تفاضلية ترتبط بطبيعة الصخور المستخدمة في البناء وتركيبها البنيوي، صورة رقم (١٧-٣).



صورة رقم (١٧-٣) تآكل حجارة البناء، وبقاء اللُحمة بين التجاويف.

٢-**الأكسدة** Oxidation: تعرض معادن الحديد والمنغنيز في الصخور النارية بعد تحللها للتأكسد، ينتج عن ذلك لطخات صدأية، تسمى بالدهان الصحراوي Desert varnish، وهي قشرة رقيقة، تغلف سطح الصخور الطبيعية، وواجهات الأبنية التي استخدمت الصخور النارية في بنائها، وتسبب هذه الظاهرة ارتفاعاً موضعياً في ناقليّة الحرارة، لما يتمتع به المعدن من سرعة في التسخن والتبرد، فيُحدث تمدداً وتقلصاً في مواضعه، وتشوه واضح في الجدران والواجهات. صورتان رقم(١٨/١٩-٣).



صورة رقم (١٨-٣) ظاهرة الدهان الصحراوي



صورة رقم (١٩-٣) مبنى قديم متأثر بالأكسدة

٣- عمليات التجوية الملحية Salt weathering: من أقدم عمليات التجوية التي تمت دراستها من قبل كل من بلانك وباسارج عام (١٩٢٣)م، في صحاري مصر. بعد أن كانت معروفة في البيئات الساحلية التي تتوافر فيها شروط التجوية الملحية على اختلاف مناخاتها.

إن دراسة مخاطر التجوية الملحية دفع بالأبحاث الجيومورفولوجية إلى حدود بعيدة عن المفاهيم العامة والتقليدية للجيومورفولوجيا، فاقتحمت أبحاثها مجالات كانت حكراً على الدراسات الكيميائية والجيولوجية المتعمقة. لذلك فمن الضروري فهم أسس لآليات عمل التجوية. (Doehne: 2002. P51-64). ومنها:

- يمكن للأملاح أن تتلف أحجار البناء ومواده، من خلال مجموعة من الآليات الأخرى، مثل التوسيع الناتج عن الفارق الحراري differential thermal expansion، وخاصية الانتفاخ الطيني التناضحي osmotic swelling، وضغط الماء ، وتعاقب دورات التجفف والترطيب.
- تحدث التجوية الملحية في حيز دقيق داخل مسامات الصخر، أو في شرائح نانومترية على سطحه، لذلك فمن الضروري دراسة طبيعة الصخر أو مادة البناء قبل الشروع في البناء، ونوع الملح، والماء المستخدم وخصائصه الكيميائية، والبيئة المحيطة بالبناء. والتحقق من خصائص التفاعل بينهما المرتبط بالتوازن الحراري thermodynamic equilibrium. و معدل التبخر والعوامل الحركية، التي تحدد نطاق التجوية الملحية.
- تأكيد أن ليس كل مظهر من مظاهر التجوية الملحية، هو بالضرورة سبب لتدهور حالة البناء، كما هي الحال في الطفح السطحي أو ما يعرف بزهرات السطح surface efflorescence، لذلك لا بد من تصنيف المخاطر، وفق مستويات تأخذ بعين الاعتبار حجم الضرر ونوعه ومساحته وإمكانية انتقاله، وطرق معالجته، أو استحالة ذلك.
- إن نتائج الدراسات المخبريّة قاصرة على تمثيل واقع التجوية في الأبنية أو التنبؤ بمستقبل عملها، كون ما يحدث بالطبيعة هو نتاج عمليات تجوية مركبة combination

weathering أولاً، كما أن العملية تتم بمشاركة أنواع مختلفة من الأملاح ثانياً، وتعمل بآليات متداخلة يصعب التكهن بمساراتها ثالثاً.(Cardell & Others: 2008).

• ضرورة التركيز على مساحة المقطع المعرض للتجوية، ومسامية مكوناته، وحجم المسام ونظام توزعها Pore Size Distribution، ونوع المسام وكثافتها وشكلها، ونفاذية المادة،وخشونة السطح الداخلي Internal Surface Roughness، وعيوب التبلور Crystal Defects، وقوة الشد Tensile Strength، وقوة التبخر السطحي.

•خصائص الأملاح : شكل الملح ونمط تبلوره Crystal Type and Morphology، ومعامل التمدد الحراري Thermal Expansion Coefficient، وقابلية الملح للإماهة، وحد الثباتية Stability Range.

• الخصائص البيئية: وأهمها يرتبط بالنظام الحراري – الرطوبي والريحي. كتباين درجات الحرارة. وسرعة الرياح واتجاهها واضطرابها ورطوبتها. ومعدل التبريد – التبخر، والرطوبة (الكلية والنسبية)، إضافة إلى عوامل زيادة المحتوى من الرطوبة كأمواج البحر، والتربة والنبات.

• العوامل المحركة Kinetic Factors، وهي: تبخر المحلول Solution Evaporation، وتبلور النويات Crystal Nucleation، والنمو البلوري Crystal Growth، والتمدد البلوري Crystal Expansion، والانحلال البلوري Crystal Dissolution، وانتشار المحلول Solution Diffusion، وانتقال المحاليل Solution Transport، وتبخر المحاليل Solution Vaporization، وانتقال الحرارة Heat Transfer.

• عمليات التجوية الملحية، وخصائصها: كالتزهر الملحي، وزحف الملح Salt Creep، وتطور القشرة الملحية Salt Crust development، وشكل شعيرات الملح، وانحلال الأملاح، وإماهتها، وفقدها للماء Dehydration، وضغوط التمدد الحراري

Thermal expansion stress، ودوريّة العمليات Cyclical Processes، وحجم تأثيرها في الشقوق، وتأثير ضغوط التبلور، وضغط المحلول Pressure Solution.

- تحديد درجة التشبع الأعظمي Super saturation للأملاح: ومواقع نمو البلورات، فهي مكمن الضرر وأسّه، ويتطلب الوصول إليها تحديد معدل التبخر Evaporation Rate، وما يؤثر فيه مثل: مساحة السطح، ودرجة الحرارة، والرطوبة والرياح، ومعدل التبرد Cooling Rate، وما يؤثر بالأخير مثل درجة الحرارة والرياح، والأملاح الموجودة من قبل Pre-existing salts، وتوزع النويات Nucleation ومعدل نموها، ومعدل التبخر/ ومعدل نقل المحاليل، وخصائص المحلول الملحي (التوتر السطحي surface tension اللزوجة viscosity)، نظام توزع المسام وأحجامها، حيث يتعاظم الخطر مع صغر حجم الحبيبات. وقد أكدت الدراسات المخبريّة أن معدل نقل السوائل داخل الحجر يتحدد بتركيز الأملاح داخل المحلول solution concentration، وحالة التزهر المفاجئة Sub-florescence precipitate. فعندما يتجاوز معدل التبخر evaporative ratio معدل التدفق الشعري capillary ratio، تزداد لزوجة المحلول الملحي، فتترسب الأملاح قرب سطح الحجر، في حين يحدث التزهر في حالة المحاليل المركزة concentrated solution.

إن تفسير الاختلافات بين الملاحظات الميدانية والمخبريّة، والمفاهيم النظرية للآليات الفيزيائية – الكيميائية، دفع شيرار (Scherer. G ;2000). لوضع إطار نظري، لفهم الضغوط الناتجة عن تبلور الأملاح ضمن المسام. مفسراً عدم تضرر بعض المواد من التملح، ففي حالات معينة، فإن الشقوق الناتجة عن الضغوط الملحية، غير كافية لتفتيت الصخر، وهذا ما يتم في الصخور ذات المسامات الكبيرة مقارنة بالصخور ذات المسامات الصغيرة. ودعمت دراسات كل من بوتنس وماوث (Putnis & Mauthe 2001). مفاهيم التملح وعلاقتها بحجم المسام، حيث أكدا أن المسام الكبيرة في لُحمة الهاليت halite cementation ضمن صخور الحجر الرملي النفوذ، تمتلئ قبل المسام الصغيرة. وأثبتا أن السوائل يمكن أن تبقى محفوظة أكثر بحالة الإشباع في المسام الصغيرة. وقد عرف منذ وقت طويل أن الحل هو فهم حالة التشبع وارتباطها بعملية التملح التي تسبب ضرراً للصخور المسامية، ولوحظ مخبرياً أن نظام توزع المسام وحجمها، يحول التملح نحو المسام الكبيرة.

وأن النفاذيّة تتناقص بعد التملح، مما يعني أن هناك حاجزاً يحول دون وصول التملح إلى المسام الصغيرة، وقد أثبت التحليل الحراري أن الأمر يتعلق بنظام المسام pore system، ونوع الصخر. وأن هناك علاقة مهمة بين زيادة معدل التشبع والنويات الملحية وحجم المسام، وقد سعت التجارب المخبريّة لإنتاج حالة من التشبع في عينات ذات مسام صغيرة تقل أقطارها عن (١) ميكرون، تصل إلى حالة الإشباع قبل بدء مرحلة التبلور، أي إن هناك علاقة عكسية بين مرحلة التشبع بالماء ومرحلة التبلور.

وقد تبين أن انخفاضاً في قيم معامل المرونة modulus of elasticity يشير إلى انخفاض في مقاومة الصخر، ففي عينات الحجر الكلسي المعمرة أو القديمة التي لم تظهر عليها علامات التأثر بالملح، تبين أنها تمتلك معامل مرونة عال، انخفضت معه قدرتها على امتصاص الماء lower water absorption capacities، وكذلك فيما يخص الملح low salt uptakes. وتتم أعمال التجوية الملحية وفق الأساليب التالية (Cooke: 1985.P 140):

١- نمو بلورات الملح Salt- Crystal growth:

تولد عملية تشكل بلورات الملح ضغوطاً تتجه نحو الأجزاء الأضعف من الحيز الذي تشغله الأملاح. حيث تتفتت الصخور وتتحطم بفعل نمو بلورات الملح في الشقوق والمسام والفواصل. وقد كشفت الأبحاث أن نمو البلورات مستمر. وكذلك ما ينتج عنها من ضغوط. طالما أن غشاء المحلول الملحي محفوظ بين سطوح تطبق الصخور وشقوقها، ويعتمد هذا الشرط على الأهمية النسبية لقوة الشد بين الصخر والملح من جهة، وبين الملح والمحلول الملحي من جهة ثانية، وبين الصخر والمحلول الملحي من جهة ثالثة، وهي سطوح تماس، تتأثر بقوة الشد والضغط الناتجين عن نمو البلورات. وتعتمد العملية برمتها على مدى إشباع المحاليل بالأملاح، وحجم الفراغات التي تشغلها.

٢- التمدد الحراري لبلورات الملح Thermal expansion of Salt Crystals:

إن تمدد بلورات الأملاح بالتسخن من أهم الخصائص الحرارية للأملاح، فأملاح كلور الصوديوم تشهد زيادة في الحجم قدرها (١%) أثناء الدورة اليومية لدرجة الحرارة في المناطق الجافة، مما يولد ضغوطاً مؤثرة في الشقوق، ويجب التفريق بين معدل تمدد المعادن والصخور، حيث تبلغ نسب معدل زيادة الحجم للكوارتز (٠,٠٠٠٣١٠) وللكالسيت

(٠,٠٠٠٢٠٠)، أما للصخور فقد بلغت في ظروف درجة حرارة تصل إلى (٥٠ ْ) مئوية للغرانيت (٠,٢٥) وللحجر الرملي (٠,٦) بالألف.

ومن العوامل المساعدة على زيادة نشاط التمدد الحراري للأملاح: ارتفاع درجة الحرارة اليومية في المناطق الصحراوية، التي تزيد على (٢٥ ْ) مئوية، وتصل أحياناً إلى (٥٤ ْ) مئوية. مع التأكيد أن درجة حرارة سطح الأرض ترتفع أكثر من درجة حرارة الهواء الذي يعلوه. فقد تصل إلى (٨٠ ْ)مئوية، وفي الليل يحدث العكس حيث تسيطر حالة من التبرد. أي إن الفرق الحراري لدرجات حرارة سطح الأرض يراوح بين (٥٠-٨٠) درجة مئوية، ويقل هذا الفرق بالابتعاد عن الطبقة السطحية للصخر والتربة، وطالما أن التمدد الحراري للصخور والترب متباين، فإن نشوء الشقوق يكون مختلف الاتجاهات.

٣- تميؤ الأملاح the hydration of Salts:

ينشأ بفعل امتصاص الأملاح للماء، أو ما يعرف بالتميؤ ضغوطاً تمزيقيّة Disruptive stresses، فمثلاً ينتج عن زيادة حجم الإنهدريت عند تحوله إلى جص بالتميؤ، نحو (٦٠%)، وهذا يولد قوة ضغط قدرها (١١,٠٠٠) كغ/سم٢، في ظروف درجة الحرارة اليومية والرطوبة الصحراوية، وهي عملية معقدة جداً. فمثلاً يعتمد تميؤ كبريتات الصوديوم (Na So4) على الرطوبة النسبية للجو، ودرجات الحرارة والضغط الناتج عن بخار الماء المتفكك عن الملح المركز. وهناك ثلاثة شروط لتصبح عملية الإماهة فاعلة في تفتيت الصخور، وهي:

١. يجب أن تتم العملية خلال (١٢) ساعة، وإلا فإن تغير درجة الحرارة اليومية سيحول دون حدوثها أو إتمامها.
٢. تميؤ الأملاح يجب ألاّ يؤدي إلى ارتشاح الأملاح من مسام الصخر وشقوقه.
٣. يجب أن تتجاوز ضغوط التميؤ قوى الشد tensile stresses. التي تحدد مدى مقاومة الصخر.

تتوفر الظروف المناسبة بالقرب من البحيرات المالحة فتصبح منازلها وقراها ومزارعها عرضة لخطر عمليات التجوية الملحية، حيث تمارس أملاح الهاليت NaCl (كلوريد الصوديوم)، وأوكسيد كبريتات الصوديوم (Na2 S04) ضغوطاً قدرت بحوالي (١٢٠) ميغا

باسكال، مع العلم أن قوة الشد المطلوبة لتفكيك جزيء من الغرانيت هي فقط (٤) ميغا باسكال.(Trewin & Lech; 2013).

لا بد من تأكيد أهمية استخدام مواد طبيعية في بناء المنازل، فمنذ القدم استخدم الإنسان لبنات الطين والحجارة الكلسية والبازلت، وكان لهذا الاستخدام نتائج مهمة على صعيد توفير الطاقة، فضلاً عن انخفاض التكلفة، وذلك مقارنة بمواد الأسمنت الحديثة، ذات الناقلية العالية للحرارة والبرودة. وقد بينت آراء خبراء الهندسة الصديقة للبيئية، في المملكة العربية السعودية بالتعاون مع جامعات كندية. أن استخدام المواد المحلية من البراكين السعودية يعد واحدا من أهم الموارد المحلية لتوفر المباني الخضراء على غرار المباني الرومانية، التي كانت تعتمد على مواد بناء بنسب (٧٠% بركانية و ٣٠% عادية). وقد حافظت على حالتها الهندسية الجيدة لأكثر من (٢٠٠٠) سنة، حيث تقوم المواد البركانية بالعزل الحراري، ومقاومة الأملاح، وقتل الجراثيم بنسبة (١٠٠%) وتوفر نحو(٥٠%) من الطاقة الكهربائية.(جودي، و ولكنسون: ١٩٨٠، ص ٣٩-٤٠).

ثالثاً- التجوية الملحية في المناطق الحضرية:

هناك أسباب عدة تجعل من عمليات التجوية الملحية خطيرة في المناطق الحضرية، منها:

١- تغير التركيب الكيميائي لمواد البناء، مما يؤدي إلى إضعاف تماسكها وقساوتها، ويحد من إطالة عمر المبنى.

٢- تسبب التجوية الملحية في المباني والإنشاءات إضعاف أجزاء من جدرانها وأسقفها وتفتيتها. وتدهور حالتها الهندسية والتاريخية والثقافية والفنية.

٣- يمكن أن يتسبب تغير حجم الأملاح الداخلة في أساسات البيوت، ضرراً بالغاً، فمثلاً رشح أملاح الجص، يزيد من مساحة المسامات، فتتشقق الجدران والأسقف.

تعتمد قدرة الأملاح على التدمير على العوامل البيئية، وطبيعة مواد البناء المستخدمة، والأمور الفنية والمهنية المتعلقة بطرق البناء وأوقات تنفيذ المشروع، وذلك بسبب تأثير الأحوال المناخية التي ترفع من قدرة التجوية على إفساد مواد البناء، كما هو في حال العديد من المباني التاريخية بالأقاليم الرطبة، صورتان رقم (٢٠/٢١-٣).





صورتان رقم (٢٠-٣/٢١) جزء من جدار تراجع ملاطه في مدينة أزمير/ تركيا، بين عامي (٢٠٠٣) على اليمين، و(٢٠٠٥) على اليسار.

ويمكن تمييز ثلاثة مستويات مخاطر عمليات التجوية الملحية في المناطق الحضرية، وهي:

١- **<u>الأبنية التي استخدمت المواد الطبيعية في بنائها:</u>**

تستخدم الحجارة الكلسية والحجر الرملي لبناء المنازل في معظم المناطق الجافة، وكلا النوعين من الحجارة- بالإضافة إلى الملاط اللاحم- معرض لخطر التجوية الملحية، وقد كان استخدام الأملاح قبل وخلال وبعد عملية البناء، سبباً رئيساً في إحداث أضرار كبيرة في قرميد منازل منطقة إيندوس Indus الباكستانية، مما تطلب إجراء صيانة واسعة لمبانيها، وكانت أكثر المناطق تضرراً أول مترين من جدران الطوابق الأرضية القريبة من مستوى المياه الجوفية، بفعل نشاط الخاصية الشعرية، التي تسبب ظهور لطخ وبقع رطوبة وزهرات ملحية. وفي دراسة حالة مدينة السويس القديمة، (Cooke; (et al): 1980. p150). تبيّن:

أ. تخريب القرميد الأسفل وقواعد الجدران، من الخارج والداخل، وذلك لنمو بلورات الجص.

ب. تفتت وتشقق الأجزاء السطحية من الحجارة الكلسية والحجر الرملي والغرانيت.

ج. تخريب المادة اللاحمة بين الحجارة بفعل التجوية الكيميائية للكبريت.

وفي دراسة تفصيلية عن مخاطر التجوية على (٣٤٧) منزلاً من منازل مدينة السويس المصرية، خلص كوك (Cooke) إلى نتائج وصفية ضمنها في الجدولين (١/٢-٣).

إلا أنه لا بد من الإشارة إلى حقيقة مقلقة، وهي أن معظم المباني تتعرض لخطر التجوية، حيث يرتبط فعل الأخيرة، بتوفر الماء، أو الرطوبة، وارتفاع واضح لدرجة الحرارة و/أو انخفاض ملحوظ لها، وهي شروط متوفرة في جميع البيئات الجغرافية فضلاً عن وجودها

في مواد البناء. كما خرجت الدراسة المخبريّة التي أجراها (Cooke :1970) على بعض أنواع حجارة البناء في البحرين، وفق معيارين هما: قدرة الصخر على امتصاص الماءWater Absorption، وقدرة الارتداد Rebound بعد تعريض العينات للضغط. بالنتائج التي يوضحها الجدول رقم (٣-٣).

جدول رقم (١-٣) يبين درجة التجوية في المنازل (تصنيف وصفي)

الدرجة	الوصف
١	ظهور زهرات ملحية بسيطة.
٢	وضوح الأملاح لكن دون الوصول إلى مرحلة الضرر السطحي، مع إزالة ألوان بعض المباني.
٤-٣	تشقق أسطح الجدران عند قواعدها، وتوافق توزع الشقوق عند مواضع الملاط، كدليل على انكماشه (تقلصه)، وإزالة الألوان بشدة.
٦-٥	انهيار في الطبقة السطحية بنسبة (٢٥%) وتفكك واضح في الملاط الإسمنتي، وفقدانه في بعض الأماكن من الجدران، حيث تظهر الفواصل بين اللبنات.
٨-٧	خسارة كبيرة في الطبقة الأولى من الجدران، وتساقط الملاط والقرميد.
١٠-٩	تدهور حالة البناء أو الجدران، مما يجعل المعيشة داخل الغرف غير آمنة.

جدول رقم (٢-٣) يبين مستويات حالة الأبنية (تصنيف وصفي)

الدرجة	حالة الأبنية
٠	غير مسكون
٢-١	مهمل لتدهور البناء أو تهدم أساساته.
٤-٣	البناء متدهور ولكن يمكن ترميمه.
٦-٥	الحالة متوسطة، والبناء متين وجيد نسبياً ويحتاج لبعض الترميمات.
٨-٧	حالة جيدة للبناء مع انتهاء أعمال تشييديه ويمكن السكن فيه.
١٠-٩	درجة عالية ونوعية ممتازة والسكن داخله آمن.

جدول رقم (٣-٣) خصائص مواد البناء حسب أنواعها الصخرية

المادة	% امتصاص الماء	الارتداد عن الضغط	البقايا من التجربة %	عدد الدورات	التصنيف حسب المقاومة
حجر رملي	٤٢,٧	٢٧,٥	٠	٧	١٤
حجر كلسي	١١	٢٢,١	٠	٧	١٤
كلس متطبق	٤	٣٤,٣	٥٧,٢	٥٠	٦
حجر صواني	٦,٨	١٨,٩	٠	٣٤	٩
كلس ميوسيني	٦,١	٣٤	٠	٣٦	٨
دولوميت	٥,٢	٤٣,١	١,١	٥٠	٢
صخور قبابية	٥	٤٤	١٠٠	٥٠	٣
كلس	٥٠	٥٠	١٠٠	٥٠	٤

٢- المنشآت والمنازل التي استخدم الأسمنت في بنائها:

يكون تأثير التجوية في المباني الخرسانية أو الإسمنتية واضحاً. من خلال تغير لون الجدران، وتشويه معالم أسطحها على نطاق واسع، مما يتطلب إصلاحاً مكثفاً ومستمراً لإطالة عمر المباني، ويشترك في إضعاف هذه المباني عدة عوامل منها: مواد البناء الحجرية، والماء، وقضبان الفولاذ، وقد أثبتت الدراسات المخبريّة أن أملاح الكلور، تسبب ضرراً واضحاً للفولاذ المستخدم في البناء، فحوالي (٥٠%) من شقوق الأسمنت كانت في الدعامات المتأكسدة، والمحتوية على أملاح الكلور مثل كلور الصوديوم. مما زاد من اتساع مساحة طبقة الأسمنت بنسبة (٤%).

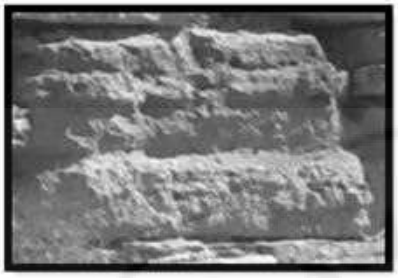
رابعاً- مظاهر التجوية في مواد البناء:

١- **تراجع أجزاء من الجدار** Back weathering: تنتج عن إجمالي عمليات التجوية، التي تسبب تراجع أسطح الحجارة أو المادة اللاحمة بينها. وقد تتم بأساليب كالتفتت crumbs والتشظي splinters، صورة رقم (٢٢-٣).

٢- **فقد طبقة من الحجارة ومواد البناء** loss of stone layers: وهي مرحلة متقدمة من تدهور المواد، أو أن طبيعة الحجارة والمواد تكون ضعيفة. صورة رقم (٢٣-٣).



صورة رقم (٢٢-٣) تراجع جزء من جدار حجري



صورة رقم (٢٣-٣) تدهور جدار بازلتي - كلسي.

٣- **التجوية المرتبطة ببنية الصخر**: تستغل مَواطن الضعف البنيوي فيه، كالشقوق الدقيقة، والعناصر الضعيفة. صورة رقم (٢٤-٣).

٤- **تخرش أو تخدش الجدار**: وفيه تتراجع أجزاء بالتحلل والتفتت، وتبرز أخرى بسبب مقاومتها.صورة رقم (٢٥-٣).



صورة رقم (٢٤-٣) تدهور طبقة الإكساء الخارجي من جدار.



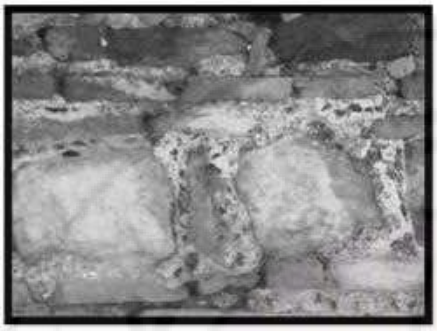
صورة رقم (٢٥-٣) تخرش جزء من جدار.

٥- **التحفر والتنقر** Pitting: يصيب واجهات الحجارة المكونة من البازلت والغرانيت والحجر الرملي، حيث تُحل العناصر القابلة لذلك، وتبقى المقاومة. لتشكل سطحاً غنياً بالتجاويف والفراغات الصغيرة، صورة رقم (٢٦-٣).

٦- **الزهرات الملحية** Efflorescence: تتوفر لها العديد من الظروف أهمها الأملاح والمحاليل الملحية وصخر مسامي أو متشقق، كذلك فيما يخص الجدران ومواد بنائها. صورة رقم (٢٧-٣).



صورة رقم (٢٦-٣) الحفر في حجر بازلتي .



صورة رقم (٢٧-٣) زهرات ملحية تغطي المادة اللاحمة.

٧- **التكسر Splintering**: تتكسر الحجارة إلى أجزاء وقطع مزواة تتوافق مع نظام شقوقها، فتكون مائلة ورأسية ومتقاطعة، صورة رقم (٢٨-٣).

٨- **الترقق** Scaling: إصابة الحجارة بترققها أو تفتتها إلى شرائح رقيقة، تتوافق مع كسور وأسطح موازية لوجه الحجر. صورة رقم (٢٩-٣).



صورة رقم (٢٨-٣) تكسر حجر بناء بفعل التجوية الفيزيائية



صورة رقم (٢٩-٣) نشوء رقائق على سطح حجر بناء.

وتبين لدى دراسة (Ibraham 1989) عن آثار عملية التجوية في مباني مدينتي الإسكندرية وبور سعيد، أن مصادرها تقع في أربعة مستويات، وهي:

أ. تسرب المياه الجوفية حتى تصل إلى الأجزاء الدنيا من الجدران.

ب. الرشح من أنابيب الصرف الصحي المتهالكة، والمحتوية على نسب عالية من الأملاح.

ج. رذاذ مياه البحر.

د. ما تجلبه الرياح من أملاح السبخات الواقعة على هوامش بحيرة المنزلة.

خامساً- الحلول المقترحة لمواجهة خطر التجوية:

١- إجراء دراسات ميدانية- مخبرية على التربة والصخور التي ستبنى فوقها المنشآت، لتحديد مدى احتوائها على الأملاح، أو قابليتها لاحتواء وسط ملحي- مائي.

٢- وضع حلول تخطيطية Planning solutions: تشمل تعديلات المخططات أو وضع خطط بديلة، تأخذ بالحسبان وجود مخاطر لاحقة للبناء.

٣- تنفيذ الحلول الهندسية: كإجراء دراسات على المنازل والإنشاءات والطرق، لتحديد مدى مقاومتها للتجوية الملحة.

٤- التحكم النوعي Quality control: بتقليل نسبة المواد التي تحتوي على الأملاح في مواد البناء والرصف.

٥- الصيانة Maintenance: بطرق ووسائل قادرة على تدارك مخاطر الأملاح، وعدم غسل المباني بمياه مالحة، وسد الشقوق بمواد مقاومة للتجوية، وقد لوحظ في بلدة السفيرة المبنية بالقرب من سبخة الجبول جنوبي مدينة حلب السورية، قيام سكانها بترميم تشققات الجدران والأسقف، باستخدام مياه السبخة والمواد المحلية – الطينية والجصية- وهي عملية تتكرر كل عام تقريباً، كون المواد المستخدمة للترميم هي بذاتها مشكلة وليست حلاً.

٦- عزل الأساسات بمواد خاصة أو بطرق هندسية عن المياه التحت سطحية.

٧- استخدام مواد بناء مقاومة للتجوية كالأسمنت الكبريتي، والجص المعالج.

٨- استخدام مياه غير مالحة في عمليات البناء.

٩- استخدام مياه خالية من الأملاح للأعمال المنزلية والصناعية.

١٠- العمل على الحد نهائياً من وصول المياه إلى الأساسات والجدران، بطرق تضمن صرفها نحو خزانات أرضية أو عبر أنابيب معزولة بعيداً عن محيط التجمعات السكنية والعمرانية.

١١- استخدام أملاح التكميد poulticing salts التي تمتلك مواد ذات قدرة عالية على الامتصاص. مثل الطين أو لب الخشب wood pulp في البناء أو معالجة مواضع التلف.

١٢-ترميم الحجر وإزالة الأملاح من اللوحات الجدارية المهمة والتماثيل المنحوتة، في حين تتم إزالة الكلوريد والنترات بسهولة، فإن إزالة الكبريت هو أكثر صعوبة .

١٣-أكدت التجارب المخبريّة، أن الغسيل المتكرر repeated washings لحجارة البناء قبل استخدامها، أكثر فعالية على المدى القصير لإزالة الأملاح، وخاصة كلوريد الصوديوم منها. في حين كان غمرها بالماء قبل استخدامها، أكثر كفاءة على المدى البعيد.

١٤- استبدال الحجارة المجواة بأخرى مقاومة لفعل التجوية، لكن الطريقة مكلفة، وتتطلب حرصاً وحفاظاً على سلامة المباني.

١٥- حقن مواد مقاومة للرطوبة والأملاح بشكل مناسب يحول دون تفشي المحاليل الملحية.

١٦- إعداد مخططات تبين توزع التكوينات الصخرية السطحية وما دونها، لتحديد ما كان منها مساعداً على نشاط الخاصة الشعرية.

١٧- إعداد خرائط لمستوى المياه الأرضية، وتغيراتها الزمنية، وتحديد أهم العناصر الجغرافية التي تؤثر فيه من أمطار وعمران ومد وجزر.

١٨- إعداد خرائط عن ملوحة المياه الأرضية وتغيراتها، تبين مستويات الضرر والخطر الذي تعرضت له المباني.

سابعاً- منافع التجوية الملحية:

تعمل التجوية الملحية على تشكيل الأملاح على أسطح السبخات، وتعد من أهم مصادر الأملاح الصخرية في العالم، كما هي الحال في سبخة سالار دو أويوني Salar de

Uyuni. الواقعة جنوب غرب بوليفيا، وسط جبال الأنديز المركزية في الهضاب العليا على ارتفاع (٤٣٠٠)م فوق مستوى سطح البحر، صورتان (٣٠/٣١-٣)، وهي أكبر مصدر طبيعي للملح في العالم، حيث تبلغ مساحتها (١٠,٥٨٢) كم٢، ويقدر حجم مخزونها من الملح بـ (١٠) مليار طن، مع طاقة إنتاج سنوي تقدر بـ (١٩,٧٠٠) طن. صورتان (٣٢/٣٣-٣) كما أنها أكبر مرآة hug mirror عاكسة للسماء على سطح الأرض، وذلك أثناء امتلائها بالماء.حتى يظن القادم إليها أن السماء وقعت على الأرض، حيث يعكس سطح الأرض ألوان السماء.

نشأت السبخة كبحيرة عذبة خلال الفترات الرطبة من البلايستوسين، أي بين (٦٠,٧-٧٥,٧) ألف سنة، و(٥٣,٤- ٥١,٣) ألف سنة، و(٢٦,٧- ١٦.٥) ألف سنة، ومن الهولوسين بين (١١,٤-١٠,٢) آلاف سنة، و آخرها بين (٦,٢- ٣,٥) ألف سنة. تخضع حالياً لمناخ قاري – شبه الرطبة. (Bobst & Others; 2011.p 21). مع كمية هطل تراوح بين(٦٠٠-٨٠٠) ملم/سنة، تتوزع على ستة أشهر هطل، تليها ستة أشهر جفاف. مما يسهم في تكوين الأملاح على مدار السنة. وقد احتلت المرتبة الثانية عالمياً باحتياطيها من مادة الليثيوم lithium الضرورية لصناعة البطاريات الكهربائيّة للسيارات. حيث قدّر أنها تكفي لصناعة نحو (٤,٨) مليار بطارية. وبالإضافة إلى كونها تحتوي على كمية كبيرة من أملاح الصوديوم والبوتاسيوم والمنغنيزيوم والبوراكس. فهي محمية طبيعية لطيور النحام، ومقصد عالمي للسياحة.



صورتان رقم (٣٠/٣١-٣)سبخة Salar de Uyuni بعد هطل الأمطار(أكبر مرآة عاكسة للسماء في العالم)



صورة رقم (٣٢-٣) سطح السبخة صيفاً.



صورة رقم (٣٣-٣) تجميع الملح في سبخة سالا ردي أويوني

ويُلخص ما تقدمه التجوية من فوائد بالآتي:

١. تهيئ أعمال التجوية الصخور السطحية وتفتتها، لتنقلها فيما بعد المياه الجارية والرياح، وهي من المعايير التي تُحدّد على أساسها خطورة السيول.
٢. تسهل الشقوق في الصخور عملية تقطيعها واقتلاعها من مناطقها لأغراض البناء.
٣. تساعد الشقوق في التربة والصخور على توغل المياه السطحية وتغذي المياه الجوفية.
٤. تكّون العديد من أنواع الترب كالتيراروزا Terra Rossa، التي تنتج عن تحلل الصخور الكلسية، وصخور الترب الحمراء الناتجة عن تحلل الصخور الغنية بأكاسيد الحديد.
٥. تشكل الأملاح في مناطق السبخات، والترب الجصية في مناطق الصخور الجصية.
٦. تساعد عمليات التجوية الكيميائية في نشوء القشرات الكلسية، وهي قشرات صلبة ومتينة، وتناسب أعمال البناء والإنشاءات، مع أخذ قابليتها للتحلل بالحسبان.
٧. للمظاهر الناتجة عن التجوية غرابة تثير دهشة السياح. وتعد مناطقها من أفضل المناطق السياحية بالعالم.
٨. إنتاج مواد ذات استخدامات صناعية مثل الليثيوم والأملاح في السباخ.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

الجيومورفولوجيا التطبيقية والكارست.

Applied Geomorphology and Karst

- شروط تشكل التضاريس الكارستية.
- مكونات النظام الكارستي.
- المظاهر الكارستية.
- العمليات الجيومورفولوجية.
- الفوائد التي تقدمها المناطق الكارستية.
- مخاطر المظاهر الكارستية.
- سبل مواجهة مخاطر الكارست.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

تُنسب تسمية التضاريس الكارستية إلى منطقة كارست الواقعة على الحدود السلوفينية – الإيطالية شمالي شرق ساحل البحر الإدرياتيكي، والمكّونة من الصخور الكلسية إجمالاً. كما تنتشر هذه المظاهر في منطقة حوض البحر المتوسط، كما في جنوبي فرنسا في إقليم كوسيه، وفي مناطق الحجر الطباشيري (الحواري) إلى الشمال منها، وفي إمارة ويلز في المملكة المتحدة، وعلى مناطق واسعة من ولاية فلوريدا الأمريكية، وأغلب جبال الساحل السوري– اللبناني. وقّدرت المساحة التي تشغلها التضاريس الكارستية بنحو (١٢%) من مساحة اليابسة*، في حين تنتشر المظاهر الكارستية المتطورة بين (٧–١٠%) من سطح القارات (Goudie: 2004. P 588)، ويعيش ما يراوح بين (٢٠– ٢٥٪)من سكان العالم على المياه الجوفية الكارستية (Ford & Williams; 2007: p 1). لذلك فقد أوصت الكثير من الدراسات بضرورة العيش بتناغم وانسجام مع المظاهر أو التضاريس الكارستية life in harmony with karst بدلاً من العيش فوقها، والمقصود وجوب إدراك ماهية هذه النظم الهشة والحساسة، والتعامل معها بحذر شديد بعد دراستها وإدراك ماهيتها. (Brinkmann & Parise ; 2012. 4).

تتطلب نشأة التضاريس الكارستية ظروفاً خاصة، فهي متنوعة بين مظاهر سطحية وأخرى تحت سطحية وباطنية، وتعزا أساساً إلى عملية تحلل وإذابة الصخور القابلة لذلك.

ترجع أولى الدراسات العلمية للمغاور لعام (١٦٨٩)م، حين أصدر المستكشف يوهان فون فالفاسور Johann von Valvasor تقاريره العلمية عن مظاهر مناطق من سلوفينيا، وإليه يعود الفضل في إطلاق مصطلح الكارست عالمياً. أما الأبحاث الاستكشافية الحديثة فتعود إلى النصف الأول من القرن التاسع عشر،على يد مستكشف المغاور الفرنسي إدوارد ألفرد مارتلÉdouard-Alfred Martel(1859–1938) ، الذي سجل عام (١٨٨٩)م، سبقاً في الوصول إلى عمق (١١٠)م من شق مغارة كابينغ جيلGaping Gill في

---

*عرض (محمد فائد حج حسن، ١٩٩٦: ص ص ٣٤٧-٣٨٠) تفصيلاً دقيقاً للظروف المحيطة بالتوزع النطاقي والجغرافي للمظاهر الكارستية في العالم، لذلك يمكن الرجوع إليه للاستزادة والتوسع.

يوركشاير البريطانية، صورة رقم (١-٤). ويعد العالم اليوغسلافي سفيجيك (Cvijic, J; 1893) المؤسس الفعلي لعلم الكارست الحديث، حيث وضع العديد من مصطلحاته ذات الأصل اللغوي السلافي، وعرّف أغلب مظاهره .



صورة رقم (١-٤) مدخل كهف Gaping Gill في Yorkshire في بريطانيا.

على الرغم من أن الاستكشاف الفعلي للكهوف والمظاهر الباطنية قد بدأ في الولايات المتحدة على يد العالم فلويد كولينز Floyd Collins منذ عام (١٩٣٠)م، وتوالي الاستكشافات في جبال الألب والهضاب الكارستية جنوب غرب فرنسا، إلا أن الكثير من أسرار نظم المياه الجوفية لم تكتشف بعد، فالمتغيرات التي تتحكم في هذه النظم الحساسة كثيرة، منها المسامية والشقوق ونقاوة الحجر الكلسي والغطاء النباتي والتربة واستخدامات الأرض، وأبعد من ذلك، فإن للمحيط البيئي خارج حدود المنطقة الكارستية أثر كبير في تحديد خصائص الجريانات المائية، حيث يعد من أهم المناطق الرافدة لها بالمياه.

ومن رواد علم المغاور خلال الحرب العالمية الثانية الفرنسيون روبيرت دي جولي Robert de Joly، وجاي دي لافور Guy de Lavaur ، ونوربرت كيستير Norbert Casteret، الذين استكشفوا نظام كهوف دينت دي كروولز Dent de Crolles قرب غرينوبل Grenoble. وكان الأعمق آنذاك بعمق (-٦٥٨)م عن سطح الأرض، ويعود إليهم الفضل في تطوير معدات الاستكشاف وإرساء قواعد دراسة المغاور . ثم شهد هذا العلم تطوراً ملحوظاً منذ أربعينيات القرن الماضي، حتى أصبح له نوادٍ وجمعيات واتحادات دولية. ويعود تاريخ إنشاء أول معهد لدراسة الكهوف في العالم إلى عام (١٩٢٠)م في كلوج نابوكا Cluj-Napoca في رومانيا، ثم أسست الجمعية السويسرية لدراسة الكهوف the Swiss

Society of Speleology، عام (١٩٣٩) في جنيف، تلاها التجمع الوطني للكهوف في الولايات المتحدة الأمريكية National Speleological Society (NSS) عام (١٩٤١)م.

أولاً- الشروط الواجب توفرها لتشكل التضاريس الكارستية:

تنتشر التضاريس الكارستية في نطاقات من سطح الأرض تتوفر فيها شروط خاصة، ومنها:

١- وجود صخر قابل للتحلل والذوبان solution بمعدلات مناسبة: تخضع معظم صخور الأرض للتحلل، لكن بمعدلات متباينة، فبعضها سريع التحلل والذوبان كالصخور الملحية (Na Cl) ثم الجص (CaSo4.2H2o) والانهدريت (CaSO4)، وفئة أخرى أقل سرعة كصخور الحجر الكلسي والدولومي، لذلك تعطي الأولى تضاريس كارستية مشوهة وسريعة الزوال، حيث يراوح ما ينحل من وزن الجص في اللتر الواحد من الماء بين (٢-٢,٥) غ/ ل في درجة حرارة (٢٠) مئوية. (Cooper& Gutiérrez: 2013. P 453). في حين تعد صخور الفئة الثانية الأفضل، فاستجابتها للحل والذوبان تساعد في بناء تضاريس كارستية طويلة الأمد، وترتبط درجة جودة التضاريس الكارستية طرداً بمدى نقاء الحجر الكلسي، حيث تعد الصخور الحاوية على نسبة (٩٠%) من كربونات الكالسيوم (CaCo3)، الأنسب لنشوء المظاهر الكارستية النموذجية. حيث يبلغ ما ينحل منها في اللتر الواحد من الماء نحو (٠,١) بالألف.

٢- يجب أن تكون مسامية الصخور السطحية مناسبة ومتدرجة، تنخفض كلما زاد العمق، فالمسامية العالية التي تراوح بين (٣٠-٥٠%) من كتلة الصخر، لا تساعد على احتفاظ الصخر بالماء. (Goudie: 2004. P 587). كما تزداد قابلية الصخور للتحلل، كلما كانت غنية بالشقوق، وذات سماكات كبيرة.

٣- وجود طبقة كتيمة أسفل الطبقات الحاملة للمياه، تمنع تسربها نحو الأعماق.

٤- توفر هطل متوسط إلى غزير: والأفضل أن يحتوي ماء المطر على حمض الكربون من خلال حلّ غاز ثاني أوكسيد الكربون الجوي، لتكوين محلول حمض الكربون، المسؤول عن تحلل الصخور بوتيرة أسرع من أداء الماء العادي بنحو (١٠) مرات، مما يجعل الصخر الكلسي صخراً مثالياً قابلاً للتحلل (عادل عبد السلام : ٢٠٠٠، ص

٣٤٠). ويُفضّل أن تكون المناخات دافئة ذات درجات حرارة مناسبة تراوح بين (٢٠-٢٥) درجة مئوية.

٥- توفر الزمن اللازم لإجراء عملية التحلل الصخري وضمان استمرارها، وتتم بتماس الوسطين الحالّ والمنحل.

إلا أن عملية التحلل قد تتعطل بغياب أحد الشروط الواجبة لحدوثها، فمع سيادة مناخ صقيعي تُسد مسامات الصخر الكلسي وشقوقه، فيتحول السطح إلى سطح كتيم، لترتفع فرص الجريانات المائية السطحية على حساب انخفاض شبه تام لكمية المياه المتسربة، فتتشكل مجارٍ مائية واضحة المعالم غير معهودة في المناطق الكارستية. ومع ارتفاع درجات الحرارة وتحول المناخ إلى الدفء، ينفك الجليد عن المسامات والشقوق، فتستعيد الصخور مساميتها وقدرتها على تسريب المياه وتشربها، فتغور مياه المجاري المائية، وتتحول إلى أودية جافة. كما يمكن أن يفقد السطح مساميته بما يصله من مواد طينية وغضارية ناعمة غير قابلة للتحلل، تترسب فوق قيعان البحيرات الكارستية، فتحولها إلى أسطح كتيمة تتعطل معها آلية التحلل الكارستي أو تتباطأ.

لم تعد الكهوف مؤخراً حكراً على المستكشفين والمغامرين، بل بدأت مؤسسات التقنيات العالية بالتوجه نحو هذه المجاهل المدهشة لاستكشافها واستثمارها، بكشف النقاب عنها بصرياً فضلاً عن الأبحاث العلمية، باستخدام تقنيات عالية من المسوح الليزرية والضوئية، بهدف إعداد صور ومجسمات فائقة الدقة، تمثل المظاهر الكارستية الجوفية بقياسات دقيقة، مما يجعل استغلالها أكثر أماناً وربحاً. شكل رقم (١-٤).



شكل رقم (١-٤)
مجسم ثلاثي الأبعاد لكهف Jenolan في الجبال الزرقاء Blue Mountains في نيوزلندا، معد باستخدام تقنية الخرائط الليزرية

كما ساعدت الطرق الحديثة في دراسة التضاريس الكارستية الجوفية، كالتكامل بين نتائج قياس المقاومة والجاذبية للصخور resistivity & gravity methods، في الكشف عما دون سطح الأرض من تجاويف وكهوف وممرات، وقد طبقت هذه الطريقة مؤخراً في ماليزيا، لدى دراسة مغاور وكهوف باتيو Batu. المكونة من صخور الحجر الكلسي، شمالي العاصمة كوالالمبور Kuala Lumpur، وقد ساعدت أيضاً في تحديد اتجاهات الصدوع، وتحديد مدى الترابط المكاني بينها وبين مظاهر التحلل الكارستي، وبالتالي تحديد مناطق الخطر السطحية – الباطنية. إلا أن بعض الطرق الحديثة لم تجد نفعاً في إعطاء نتائج صحيحة، فقد استخدمت طريقة الانعكاس الموجي seismic refraction، في التحري عن مناطق الضعف الأرضي أثناء اختيار موقع مطار كوالالمبور المقترح، ولم تكن نتائجها مطابقة لنتائج عمليات التدقيق الميداني. وتكرر الأمر عند تحديد مسار الطريق السريع الواصل بين العاصمة ومدينة سيريمبان Seremban. وذلك لوجود طبقة من الصخر غير المشبع بالماء تعلو طبقة المياه الجوفية، وهي ذات امتصاصية عالية، حالت دون توغل الأمواج في الصخر وشوشت انعكاساتها. (Bakhshipouri: 2009. P 5).

ثانياً– مكونات النظام الكارستي:

يطلق على النظام الكارستي الوحدة الكارستية karst unit، أو الوعاء الكارستي، وهو نطاق ثلاثي الأبعاد أو كتلة من منطقة مكونة من صخور قابلة للذوبان، محاطة بأخرى أقل قابلية للذوبان. يمكن تعيين حدودها باستخدام الخرائط الجيولوجية والطبوغرافية والصور الفضائية والجوية عالية الدقة، والعمل الميداني. ويقوم عمل التشخيص السطحي للكارست على تتبع مظاهره المعتادة من حيث ظهورها أو اختفاؤها، حيث يصبح حجراً أملس مستديراً أو ذا أسطح مكورة ناعمة بفعل التحلل والإذابة. وتختفي المجاري السطحية في فتحات سطحية أو بالعات. ومداخل الكهف. والينابيع التي تخرج من فتحات حجر الأساس أو جوانب الأودية أو جروف المنحدرات. أما في مناطق الغطاء الحراجي الذي يعيق تحديد هذه الميزات. فيمكن تحديد خصائصها عن طريق عملية الحفر والسبر، إلا أن الكشف يصبح أكثر تعقيداً في ظل وجود غطاءات سميكة من الجليد. وتتكون الوحدة الكارستية (Stokes& Others: 2011. p 381)، شكل رقم (٢–٤)، من الآفاق التالية:

١- الأفق السطحي exokarst: يشمل كافة المظاهر السطحية، يتكون من صخور ذات مسامية مرتفعة نسبياً، وغني بالكسور والشقوق، لذلك ترتفع فيه الطاقة التسريبية للماء، فيحول ذلك دون تطور الترب ونمو النباتات، فيكون السطح عارياً أجرد في بداية نشأة التضريس، ويفقد مساميته تدريجياً بفعل انسداد الشقوق والمسام برواسب دقيقة ناتجة عن عملية التجوية، وهي مواد غير قابلة للتحلل، وقد أكدت الدراسات الجيومورفو- كارستية حساسية هذه النظم تجاه التغيرات المحلية، حيث يرتبط نظامها الهيدرولوجي بالخصائص البنيوية والتركيبية للصخور، والغطاء النباتي والتربي، وقد أجرى (Yan Li & Others; 2011. P 98) دراسة ميدانية ومحاكاة حاسوبية على مناطق كارستية ذات معدلات هطل متماثلة، فتبين أن الجريان وصل إلى (٥٥)مم/سا فوق أراض مغطاة بالنبات بنسبة (٥٠%)، في حين راوح معدل الجريان السطحي Runoff rate فوق أسطح ذات ترب جافية بين (٣,١- ٢٠,٦%)، وفوق أسطح ذات ترب رطبة (٢-٦٥,٤%)، وراوح معامل الجريان السطحي لأراضٍ ذات نتوءات صخرية، لكنها غير متشققة بين (٥٩-٧٩,٥%)، في حين تبين ميدانياً، أن معدل التسرب infiltration rate خلال الساعة القصوى للهطل بلغ (٤١%)، كما بلغ معدل التسرب الأعلى لحالة هطل غزيرة منفردة largest single rainfall event نحو (٩٤%). مما يعني أن خاصية التشرب العالية للحجر الكلسي ليست مطلقة، ويمكن القول: إن للدراسات النظرية والمخبرية رأي، وللطبيعة رأي آخر قد يكون مختلفاً، أي قد تتعطل فعّالية التسرب أو تنخفض في الصخور الكلسية لتسمح أسطحها بحدوث جريانات سطحية واضحة.

٢- الأفق الانتقالي أو الأوسط epikarst: يعرف بمنطقة الممرات والكسور، التي تصل بين المظاهر السطحية و المظاهر العميقة، وتراوح سماكاته بين (١٠-٣٠)م وسطياً. ولخصائص هذا الأفق من سُمك ونظام شقوق وكسور، وأسطح تطبق، وتجانس في التركيب، أهمية خاصة في إيصال المياه عبر الكسور والشقوق نحو المظاهر الباطنية.

٣- الأفق السفلي أو الأدنى endokarst: يضم جميع مكونات النظام الكارستي العميق، التي تشمل الكهوف والممرات والحجرات المتعددة، ومظاهرها من صواعد ونوازل وأعمدة وستائر، وأنهار جوفية، ومجمل المكونات الحية وغير الحية للنظام البيئي الكارستي

الجوفي. وغالباً ما يقع هذا الأفق فوق الطبقة الصخرية الكتيمة، التي تحول دون تسرب المياه منه، الذي يعرف بمستوى الأساس الكارستي.



شكل رقم (٢-٤) يظهر الآفاق الثلاثة للوحدة الكارستية.

ثالثاً- المظاهر الكارستية:

تتنوع المظاهر والتضاريس الكارستية بين سطحية وباطنية، وتضم المجموعة الثانية، كل ما دون السطح، وبالتالي تشمل مظاهر الأفق الانتقالي أيضاً.

أ- المظاهر الكارستية السطحية:

١- **الخدوش الكارستية Lapies:** يطلق عليها أسماء مختلفة، فهي أيضاً Bogaz في اللغة السلافية، و Karren بالألمانية، والقشعات والخرافيش بالعربية، وهي حزوز وخدوش مختلفة الأشكال تخدد السطح، صورة رقم (٢-٤). تراوح بين مليمترات -هي الشائعة- وعدة أمتار، تتسع وتتداخل بفعل التحلل والحت الميكانيكي والتجمد والانفكاك، تتخذ أشكالاً مختلفة بين متعرجة ومستقيمة ومتقاطعة، وقد تتداخل فيطلق عليها المتاهة الكارستية labyrinth karst، يرتبط تشكلها بنظام الشقوق، وبنية الصخور، وتدعى غريكيس grikes عندما تتوسع، في حين تسمى الحواجز بينها والناتجة عن تعمقها بـ (كلينت clints)، ويطلق على السطح المقطّع، الرصيف الكلسي Limestone Pavement. أما في حال ارتبط نشوؤها بالشقوق الأفقية وأسطح التطبق، فتكون أكثر اتساعاً، وتتخذ شكل حفر، يفصل بينها حواجز مسطحة أو محدبة، (Ford 1989, p33) ويتطلب كلا المظهرين إجراءات خاصة لتلافي أخطارها، مع الأخذ في الحسبان معدل التحلل وسرعته.



صورة رقم (٢-٤) الأخاديد ذات الجوانب الحادة .

٢- **الآبار الطبيعية Aven**: هي ممرات ذات مداخل دائريّة أو اهليلجيّة أو أسطوانيّة أو أنبوبيّة الشكل، تتسع بين بضعة سنتمترات إلى عشرات الأمتار، وتراوح أعماقها بين بضعة أمتار إلى مئات الأمتار، قد تكون مستقيمة أو متعرجة وأحياناً مائلة. لها أهمية كبيرة كونها تمثل مداخل لخزانات المياه والمظاهر الكارستية الأعمق. لذلك تتعاظم أهميتها في المناطق الصحراوية، وقد تنتهي أحياناً إلى كهوف ومغاور وحجرات مما يكسبها أهمية سياحية. وأشهرها آفن كهف كروبيرا Krubera، الذي يقع في أبخازيا/جورجيا، ويعد من أعمق الآبار الطبيعية في العالم، حيث يقدر عمقه بنحو (٢٠٨٠)م، صورة رقم (٣-٤).



صورة رقم (٣-٤) آفن مغارة كروبيرا.

٣-**الجوبات Dolines**: حفر غائرة Sink holes في سطح الأرض. مختلفة الأشكال بين دائرية في الأسطح الأفقية، وبيضوية في الأسطح لطيفة الانحدار. وتكون على هيئة صحن واسع أو قمع مخروطي عميق، ذي جوانب بين المنحدرة بلطف إلى القائمة، تقل أعماقها عن (٣٠٠)م، وتصل أقطارها إلى بضع مئات من الأمتار. أما قيعانها، فغالباً ما تكون مغطاة بترب التيراروزا، ومخلفات عملية التحلل مثل الطّفلْ الرملي، ميّز العلماء نوعين من الجوبات حسب النشأة، يرتبط النوع الأول، الذي يعرف بجوبات التحلل Solution doline بعملية التحلل السطحي والتعمق المستمر، وتتميز بحواف لطيفة الانحدار، صورة رقم (٤-٤). أما النوع الثاني فيعرف بجوبات الانهيار collapse doline، الذي ينشأ عن

هبوط سطح الأرض وأرتخاء الطبقات السطحية Sagging بسبب تجويف يقع دونها، وربما كانت الأسطح البينية الفاصلة بين طبقات الحجر الكلسي هي المواقع الأفضل لذلك. ولذلك يطلق عليه كارست الأسطح البينيّة interstartal karsts، وتشبه جوبات الانهيار الأقماع العميقة ذات الفوهات الواسعة والقيعان الضيقة، مع جروف صخرية حلقية تحيط بها وتدل على نشأتها، وقد تتعدد هذه الجروف بتكرار عملية الخسف. صورة رقم (٥-٤). شكل رقم (٣-٤).

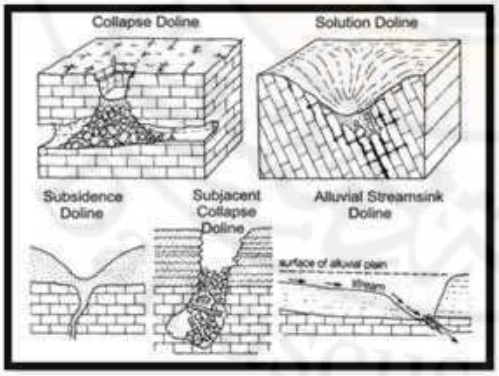
للجوبات أهمية خاصة في الكشف عن الأنهار الضمنية التي تتقاطع معها في بعض الحالات، لذلك يدعى موضع التصالب بينهما بالنافذة الكارستية karst window.



صورة رقم (٤-٤) جوبة تحلل



صورة رقم (٥-٤) جوبة انهيار.



شكل رقم (٣-٤) أنواع الجوبات حسب نشأتها

٤- **الأوفالا Uvala**: منخفضات تشبه الجوبات، لكنها أوسع، ذات قيعان غنية بالحفر، تكمن الأهمية التطبيقية لها وللجوبات في كونها تؤمن مناطق لزراعة الأشجار المثمرة والرعي، بما توفره من ترب ومياه، كتلك المنتشرة في جرود جبال القلمون ولبنان. (عادل

عبد السلام: ٢٠٠٠، ص ٣٥٠). مثال عنها أوفالا منطقة وادي كاردينال Cardinal Creek بالقرب من مدينة أوتاوا Ottawa عاصمة كندا. صورة رقم (٦-٤) .



صورة رقم (٦-٤) سلسلة مظاهر كارستية، منها الجوبات والأوفالا في مقدمة الصورة، بوادي كاردينال.

٥- **الدارة (polje - Polie)**: تسمية يوغوسلافية تعني الحقل. تنتشر معظمها في أراضي الكارست الدينارية، وهي عبارة عن أحواض واسعة ومغلقة. تتجاوز مساحتها أحياناً (١٠٠)كم٢، وتكون ذات شبكة تصريف ضمنية، مع بالعات تنتهي إليها المجاري المائية فتختفي عندها. إلا أنها تكون عاجزة-أحياناً- في فترة التدفق الأعظمي شتاءً عن استيعاب مياه الأنهار، فتتحول إلى بحيرة، وتتميز معظم الدارات بمخرج واحد تصرف مياهها عبره، صورة رقم (٧-٤). وتستخدم الدارات صيفاً للزراعة بعد انصراف مياهها وتكشف قيعانها، صورة رقم (٨-٤).



صور رقم (٧-٤) بوليه دابارسكو Dabarsko (البوسنة والهرسنك) شتاءً.



صور رقم (٨-٤) بوليه دابارسكو صيفاً.

ترتبط أصول الدارات بعمليات خسف وانهيار تدريجي لأسقف المغاور الضمنية، بسبب وجود نظام معقد من الفوالق والصدوع، وقد تتطور عن التحام أو اتساع منخفضات أصغر كالجوبات والأوفالا. ويرى آخرون أن الدارات الكبيرة تكون نتاج أصول مشتركة بنائية - بنيوية تعرضت لأعمال الكارست لاحقاً.

إن العناصر الجيومورفية المكونة للبولييات، من مياه سطحية وضمنية وقيعان شبه منبسطة غنية بالترب الزراعية، وانحدار قاع لطيف يسمح بتصريف المياه صيفاً، والحواف المرتفعة، كل ذلك جعل من بعض دارات يوغوسلافيا أراض زراعية في الصيف، ومصائد للأسماك في الشتاء.

٦- **المخاريط الكارستية Cone karst:** وتدعى الموغوت أحياناً، تنشأ عندما يتفوق معدل التعمق والتخدد أو التحزز vertical incision، على معدل التعرية بالإذابة – لذلك تنتشر في مناطق العروض المدارية وشبه المدارية، وتبقى أجزاء منها مرتفعة على شكل تلال، تتخذ شكلاً هرمياً أو مخروطياً، أشهر مواقعها فينغكونغ fengcong في الصين، ولها استخدامات سياحية وعسكرية متعددة، كما تعد من خزانات المياه الجيدة.

٧- **المجاري المائية العمياء:** هي مجار مائية أو أودية نهرية تختفي مياهها بعد مسافة من منابعها في بالعة أو حفرة تنتهي إلى المياه الجوفية تعرف بالحفر الغائرة. صورة رقم (٩-٤). وأحياناً يطلق على هذه الأنهار (الأنهار المفقودة Lost Rivers). من مخاطرها تعرض المنازل والمنشآت التي أقيمت في أوديتها للتدمير بعد حدوث جريانات مائية سطحية جارفة في حال زادت كمية المياه السطحية على استيعاب البالعة لها، ومن منافع البالعات إمكانية استخدامها لتحويل المياه الفائضة عن حاجة الإنسان لتغذية المياه الجوفية. وحين تنهار أجزاء من هذه البالعات ينكشف ما ترتبط به من كهوف وشلالات، فيمكن الاستفادة منها في مجالات السياحة والطاقة وتتبع مسارات المياه الجوفية، كما هي الحال في شلال بلدة تنورين شمالي لبنان، والمعروف باسم شلال الثلاثين جسراً أوشلال بوترا (باتارا) جورج، صورة رقم (١٠-٤).



صورة رقم (٩-٤) مجرى مائي يختفي في بالعة، كولومبيا البريطانية.



صورة رقم (١٠-٤) شلال بوترا جورج على ارتفاع (٢٥٥) م عن قاع الكهف الذي تنتهي مياهه إليه، لاحظ المستويات الثلاثة التي يفصل بينها جسران طبيعيان/ لبنان

٨-**الجسور الكارستية الطبيعية Natural Karst bridges**: تنشأ الجسور الطبيعية عن اتصال كهفين متجاورين، كما أكد (أبو العينين ١٩٩٥، ص ٥٠٥) لدى دراسته لجسر الحجر في جبال لبنان عند أعالي حوض نهر الكلب. وقد تنشأ عن فوهات بالعة جانبية تخترق الحواجز الصخرية. وعن تكشف الأودية الجوفية الجافة بسبب انهيار أسقفها وبقاء أجزاء منها معلقة، كما قد تشكل بقايا أسقف كهوف متداعية. صورة رقم (١١-٤).



صورة رقم (١١-٤) جسر ويولنغ Wulong الطبيعي جنوبي الصين.

٩- **الغابات الحجرية Stone- forest**: بقايا من خرائب الحجر الكلسي، والحجر الكلسي الدولومي، وهي مجموعة صخور عرضت للتحلل الاصطفائي، فبقيت منها أجزاء استعصت على الحل والإذابة، لتشكل أعمدة تشبه جذوع الأشجار. من أمثلتها غابات شيلين Shilin جنوبي الصين، التي يعود تشكلها لأربع فترات منذ العصر البيرمي من الحقب الأول، أي منذ حوالي (٢٧٠) مليون سنة صورة رقم (١٢-٤). وهي مَعلَم سياحي عالمي.



صورة رقم (١٢-٤) الغابات الحجرية في شيلين في الصين.

ب-مظاهر الكارست الضمني:

تعد المظاهر الضمنية للكارست أكثر أنواع التضاريس الأرضية دهشة وجاذبية، لما يكتنفها من غموض ومهابة، وأهم مظاهرها:

١- **الينابيع الكارستية:** ترتبط الينابيع الكارستية ارتباطاً وثيقاً بخزانات المياه الجوفية التي تتغذى من مياه الأمطار الراشحة من السطح. فتتأثر كمّاً ونوعاً بخصائص المياه الجوفية. يمكن تمييز نوعين من الينابيع الكارستية: الأولى مستمرة التدفق، تضمن لها الطبقات السميكة الحاملة للمياه تغذية على مدار السنة، لذلك فغالباً ما تقع عند أقدام الجبال، كما تدعى بينابيع التدفق الخارجي outflow springs. ترتفع غزارتها في حالة الهطل الغزير وتنخفض بانخفاض كمياته، والثانية ذات تدفق متقطع أو موسمي، وتدعى ينابيع التدفق الفيضي overflow springs. وتقع على سويات أعلى من سابقتها. تجف مع تفريغ مياه الطبقات التي تغذيها. تاركةً فتحات جافة متعاقبة رأسياً. يدل كل منها على نبع سابق بلغه مستوى المياه الجوفية. ومن أشهر الينابيع الكارستية في سورية، ينابيع بردى و الفيجة ورأس العين. تشكل في حالات خاصة نافورات مائية لشدة تدفقها وغزارتها. كنبع دولا فوكلوز في فرنسا، ونبع أومبالا قرب مدينة دوبروفنيك الكرواتية.

٢- **المغاور والكهوف Caves & Carven:** يختص علم السبيليلوجيا Speleology بدراسة الكهوف، التي تمثل تجاويف طبيعية داخل القشرة الأرضية، يحتوي بعضها على مناطق لا تصلها أشعة الشمس نهائياً، يطلق عليها أماكن الظلام الدائم أو الكلي permanent or total darkness. (Stokes& Others: 2011. p 381) ، واشترط (Goudie: 2004. P 124) إضافة إلى ذلك أن يكون لها فتحات تكفي لدخول البشر

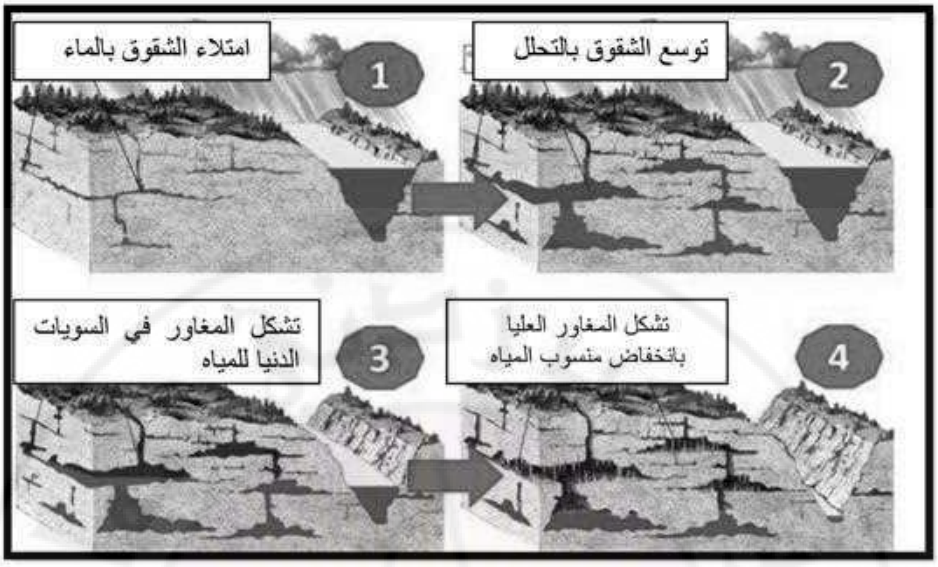
إليها. يتشكل معظمها ضمن الصخور الكلسية والكلسية الدولومية. منها ما هو مليء بالماء، مثل كهف أوردا، وهو أطول الكهوف البحرية، ويوجد بروسيا، ويمتد لـ (٥)كم. صورة رقم (١٣-٤) ومنها ما هو جاف. والبعض الآخر يجمع بين هذا وذاك، حسب تعدد طبقاتها وموسميّة امتلائه.



صورة رقم (١٣-٤) كهف أوردا Orda، عبارة عن متاهات من الممرات الخطيرة، المعرضة للانهيارات، فضلاً عن درجات الحرارة التي تصل إلى (٢٠) تحت الصفر.

يمتد بعضها على سوية واحدة، في حين تتكّون أخرى من سويتين أو طابقين وأكثر، مثل مغارة جعيتا اللبنانية. تصل بين مكوناتها ممرات وسراديب. و تمتلئ الكهوف بملحقاتها تدريجياً من الأسفل إلى الأعلى، ويرتبط ذلك بمنسوب المياه في الأنهار المتصلة بها، فضلاً عن غزارة الهطل وزيادة معدلات التسرب، فتتحول الممرات إلى قنوات مائية. وهي من أخطر الحالات التي تواجه المستكشفين الغافلين عن هذه الحقيقة، ففي حين تمثل الممرات، المسارات الوحيدة الآمنة للخروج من الكهوف، تصبح هي أخطر ما في المنظومة الكارستية، ويغدو اللجوء إلى الكهوف العليا الملاذ الأكثر أماناً. شكل رقم (٤-٤).

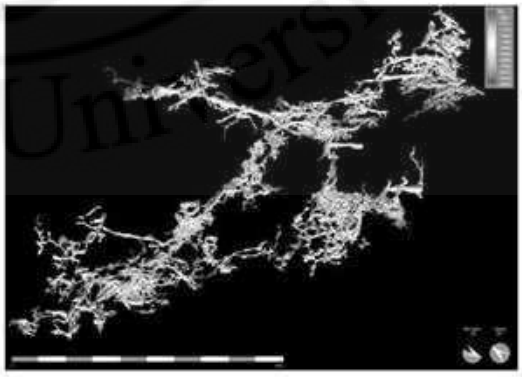
وعموماً لا بد من شروط خاصة لتشكل المغاور، يأتي في مقدمتها: توفر طبقات صخرية مشبعة بالماء تحت غشاء مائي كارستي، وحركة بطيئة للماء الجوفي تسمح بطول فترة التماس بين الماء والطبقة الصخرية. أما عن ممرات ومسارب الكهوف فترتبط بنظام الشقوق والفواصل وأسطح التطبيق، ومن المغاور ما يكون أفقياً - وهو الشائع- ومنها ما يكون رأسياً. وقد رسمت العديد من مخططات الكهوف على شكل خرائط تظهر بُعديّ الطول والعرض - وهي الوسيلة القديمة نسبياً- أما حالياً فتنتج مخططات ثلاثية الأبعاد بتقنيات حديثة، وهي الأفضل لإظهارها البُعد الثالث من جهة، ودقتها المتناهية في إظهار أبعاد التضاريس وتمثيلها من جهة أخرى، الشكلان (٥/٦-٤).



شكل رقم (٤-٤) تطور الكهوف



شكل رقم (٤-٥) خريطة كهف مالونجولي Malongulli وسط أستراليا.



شكل رقم (٤-٦) مخطط ثلاثي الأبعاد لكهف ليشيوغيولا Lechuguilla، في ولاية نيومكسيكو الأمريكية.

يمكن تصنيف الكهوف حسب مستوياتها، ومكوناتها، إلى بسيطة أو معقدة، كاحتوائها على مظاهر متنوعة من صواعد، ونوازل، وأعمدة، وستائر أو سجف، وممرات، وحجرات و مجار مائية، وشلالات، وبحيرات، أو تنوع العمليات المسؤولة عن نشوئها وتطورها، أو وفق المرحلة التي بلغتها من تطورها الجيومورفولوجي.

وعلى الرغم من أهمية الكهوف، إلا أن الدراسات الحديثة تؤكد أنها لا تمثل سوى جزء بسيط من تجاويف النظام الكارستي، بحجم لا يزيد على(٠.٠١٪) منه. (Ford and Williams 2007). تتكون الكهوف عادة من ثلاثة عناصر :

أ. القنوات Passages.

ب. الغرف أو الحجرات chambers.

ج. المدخل أو أكثر entrances.

وتُحدّد العوامل الجيولوجية والهيدرولوجية موقع الكهف وشكله وصفاته، مع تأكيد أهمية أي كهف لا ترتبط بالضرورة بحجمه. فيمكن أن يحتوي حتى الكهف الصغير على مظاهر تمثل موارد مهمة وقيّمة، مثل:

١- **النوازل Stalactites**: عندما تتسرب المياه المشبعة بالكربونات من أسقف المغاور تفقد جزءاً من غاز ثاني أوكسيد الكربون، وتبقى كربونات الكالسيوم على هيئة بلورات معلقة، تزداد حجماً واتساعاً مع الوقت، فتتدلى من السقف بشكل أقماع (مخاريط) مقلوبة، وتحتوي غالباً في مركزها على قناة دقيقة يقطر منها الماء، فيزداد حجمها من الداخل مع بناء حلقات حول القناة، كما تنساح عليها المياه من الأسقف فترسب عليها كربونات الكالسيوم، ليزداد حجمها من الخارج.

٢- **الصواعد Stalagmites**: يتجمع كل ما يقطر من الأسقف على أرضية الكهف أسفل مصدر الرشح، فيتبخر الماء لتبقى رواسب كربونات الكالسيوم، وتبني نتوءات تعلو شيئاً فشيئاً، لتعطي شكل بروز صخري مدبب الرأس، مما يكسبه شكلاً قطرياً في بعض الأحيان، ويمكن تمييزها عن النوازل بالإضافة إلى اختلاف شكليهما بغياب القناة المركزية في الصواعد.

٣- **أعمدة الترافرتان Travertine Pillar**: تنشأ مع اتصال الصاعدة بالنازلة، أو عن اتصال الصاعدة بالسقف، أو النازلة بأرضيّة الكهف، وتتخذ بعض الأعمدة أشكالاً

مميزة تشبه الشمع، مما يجعلها قبلة للسياحة، ومسابقات التصوير الفوتوغرافي. صورتان (١٤/١٥-٤).



صورة رقم (١٤-٤) صواعد ونوازل وأعمدة مغارة كارلسباد/نيومكسيكو

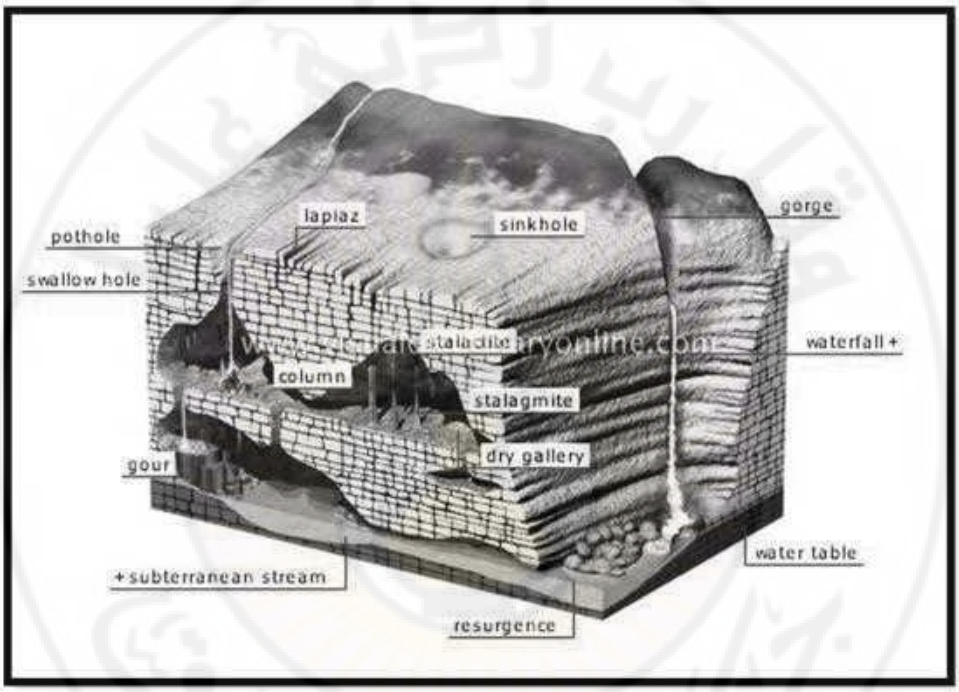


صورة رقم (١٥-٤) تبين مرحلة ما قبل تشكل عمود كلسي.

٤- **الستائر والسجف Curtains and draperies**: تنشأ من انسياح الماء الغني بالكربونات على جدران الكهف، فتترسب عليها متخذة أشكالاً متموجة حسب طبيعة سطح الجدار، لتشبه مع زيادة سمكها الستائر.

٥- **ممرات الكهوف Cave Passageways** : يمكن تمييز نوعين منها: ترتبط الأولى بالفواصلJoints الرأسية والمائلة فتتخذ مساراتها، وتكون ضيقة ومرتفعة عموماً. أما النوع الثاني، فيرتبط بأسطح التطبق الفاصلة بين الطبقات الصخرية، فتكون ممراتها واسعة ومنخفضة. كما تشيع ممرات حلزونية أو لولبية Cork Screw passageways ترتبط بنظام متقاطع مائل ومعقد من الشقوق والفواصل الصخرية. وعموماً تتوزع الممرات وفق نمط مطابق لما سبق من أسباب، فيكون شبكيّاً أو شجرياً متفرعاً ومتداخلاً. ولهذه الأنفاق أهمية خاصة في تحديد طول المغاور وامتدادها الرأسي والأفقي، وبالتالي يمكن اعتبارها من مؤشرات التطور الكارستي. وقد بلغ إجمالي طولها في أطول كهوف العالم - كهف الماموث بولاية كنتاكي الأمريكية- نحو (٥٣٠)كم، ضمن طبقة صخرية تحتوي على نظام الكهف لا يزيد سمكها على (١٠٠)م، أما أعمق الكهوف لعام (٢٠١٣)م، فقد بلغ (١٧٥٠)م، وهو كهف فورونجا Voronja في هضبة كايوكاسيزر Caucasusr الفرنسية. ويبين الشكل رقم (٤-٧) أهم المظاهر الكارستية. ولهذه الممرات أهمية تطبيقية، فهي بمثابة شرايين يجري

فيها الماء من سويات عليا إلى دنيا، فتتحول إلى قنوات مائية جوفية في فترات الفيضان، كما تمثل سبل الاستكشاف والانتقال بين مكونات النظام الكارستي أفقياً ورأسياً، منها ما يكون مفتوحاً على حجرات وصالات، فيسقط منه الماء كالشلالات، ومنها ما يكون مسدوداً مغلقاً، لذلك يجب إعداد مخططات دقيقة عنها، وتحديثها بشكل دوري، لما لها من أهمية كسبل نجاة للمستكشفين والعلماء.



شكل رقم (٧-٤) بعض أهم تضاريس النظام الكارستي.

رابعاً- العمليات الجيومورفولوجية:

تنتج العمليات الجيومورفولوجية في المناطق الكارستية عن العلاقات بين المادة والطاقة والكائنات الحية، وعلى الرغم من كونها تجاويف تحلل صخري، إلا أن بساطتها تخفي تعقيداً جيومورفولوجياً، فاحتواؤها على مظاهر سطحية وتحت سطحية، ترتبط فيما بينها بمظاهر انتقالية عبر شبكة من الكسور والتجاويف، وتنوع العمليات بين الحت النهري السطحي على ضآلته، والتحت سطحي الأشد فعالية ووضوحاً، بالإضافة إلى عمليات التجوية والانهيارات والخسف يزيد المشهد تداخلاً. مما يتطلب تحرياً واستكشافاً دقيقين، فإن إدارة البيئات

الكارستية تعتمد على تحديد طبيعة العمليات، وتصنيفها، وتحديد أنواع التضاريس وخصائصها، وإعداد الخرائط التفصيلية عن ذلك.

تتشكل المظاهر الطبيعية الكارستية في صخور تتكون من عناصر كربونية أساساً، وأخرى مثل الكالسيت في كربونات الكالسيوم ($CaCO3$) في حالة الحجر الكلسي والرخام، والمنغنيز في صخر الدولومي ومكونه فلز الدولومي ($Ca\ Mg\ CO3\ 2$). فمع سقوط الأمطار تحلّ غاز ($CO2$) من الجو، فتكتسب قدراً من الحموضة، وقد تتحول إلى أمطار حامضيّة في حال كان الجو ملوثاً، ومع وصول الأمطار إلى سطح الأرض وتسربها عبر شقوقه وتربته، تتزود بكميات أكبر من غاز ($CO2$) ذي المنشأ العضوي، ليتحول المحلول إلى وسط حامضيّ يعرف بحمض الكربون أو الكربونيك وفق المعادلة الآتية:

$$H2O + CO2 = H2CO3$$

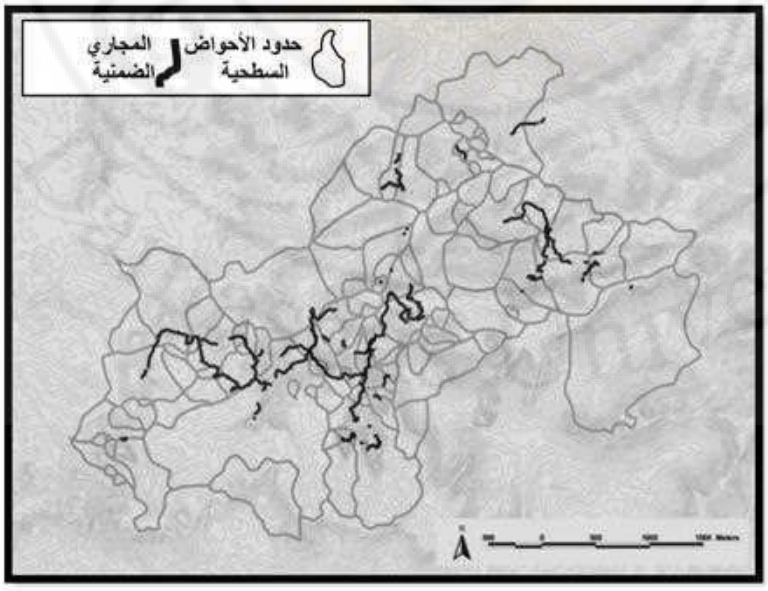
وطالما أن الصخر الكلسي يتميز بالمسامات والكسور، فإن مساحة التماس بين المحلول الحمضي والصخر تزداد، وبالتالي يمكن القول إن زيادة حامضيّة الماء من جهة، وارتفاع مسامية الصخر وتشققه من جهة ثانية، ترتبطان طرداً بفعالية عملية الانحلال والإذابة. حقيقة أخرى لا بد من إيضاحها، وهي أن خاصيّة الاصطفائيّة تتجلى بأفضل صورها من خلال إذابة العناصر الأسرع استجابة لذلك، فيكون التحلل بمعدلات متناغمة في الصخور المتجانسة، والعكس في الصخور المختلطة، وينعكس ذلك حتماً على المظاهر الناتجة.

وقد ميز البعض بين نوعين من الكهوف حسب نشأتها، يرتبط الأول منهما بعمليات التحلل الصخري بفعل المياه المحملة بحمض الكربون، ومصدرها الأمطار والمياه السطحية المتسربة نحو الأسفل، وتعرف بالكهوف السطحية Epigenic caves، أما النوع الثاني فقد تشكل بالتحلل من الأسفل – أي بعكس الاتجاه السابق- وارتبطت نشأته بالمياه الجوفية وتغير مناسيبها، وسميت بالكهوف الداخلية Hypogenic caves، إلا أن فريقاً آخر من العلماء يرى عدم ضرورة التفريق بين النوعين لاتصالهما طبيعياً عبر ممرات وآبار.(Land .(;2013. P2

وقد أكدت الدراسات الحديثة ضرورة الربط بين تطور الشبكات النهرية السطحية، وتطور الأنظمة الكارستية الجوفية أو تحت السطحية التي تقع دونها، فلطالما اعتبرت الشبكات

النهرية السطحية الهزيلة قليلة الأهمية لضحالتها أو قلة تطورها، فهُمِّش دورها في تطوير الشبكة الكارستية. بل صُنفَت على أنها مظاهر مهجورة abandoned forms، أو جريانات قديمة paleo-flow وجافة، إلا أنه تبين لاحقاً من خلال دراسة كهف الماموث أن العلاقة بينهما علاقة وطيدة ووثيقة، حيث تتطور المظاهر السطحية والباطنية وفق آليات متكاملة ومتناغمة وككيان واحد. (John ;2001. P 7). ويبين الشكل رقم (٨-٤) التوافق المكاني بين حدود أحواض التصريف المائي السطحية، والتوزع الجغرافي للأنهار الضمنية الباطنية من نظام كهف حافة مارتن Martin Ridge Cave System، في الولايات المتحدة الأمريكية.

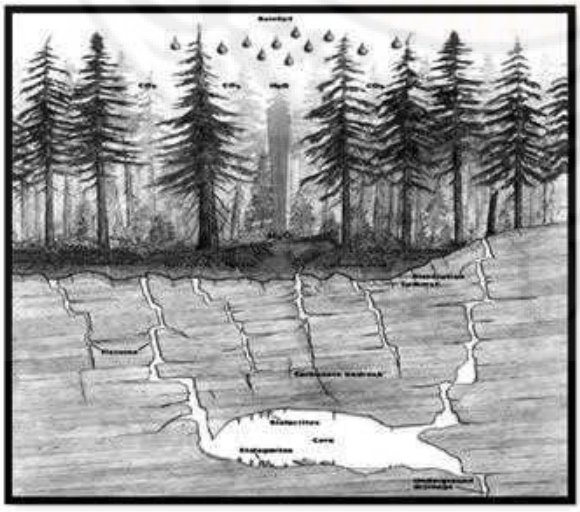
كما يرتبط عمل النظام الكارستي بتغيرات مستوى المياه الجوفيّة والسطحيّة فيه، فمن المعلوم جيومورفولوجيا أن الوعاء الكارستي يمتلئ بالماء بدءاً من قاعدته وحتى قمته بالتوازي مع ارتفاع كمية المياه السطحية بفعل الهطل الغزير، مما يعني أن كافة السويات المغرقة تخضع معاً إلى عمليات التحلل، ومع انخفاض منسوب المياه في الأنهار، وما يتبعه من انخفاض موازٍ في مياه النظام الكارستي، تجف المناطق العليا فالأخفض تدريجياً، لتعاود بقية العمليات السابقة نشاطها، وفي ظل هذه الشروط من موسميّة المناخ، تتغير الأعمال الجيومورفولوجية، إلا في الأجزاء الدنيا التي تبقى مغمورة بالمياه الجوفية، والتي تطلق عليها مستوى الأساس الجوفي الكارستي.



شكل رقم (٨-٤) العلاقة بين المجاري المائية السطحية والضمنية في كهف مارتن.

ولا بد من النظر إلى خارج حدود المنطقة الكارستية، بالبعدين الرأسي والأفقي، والزمني، حيث تتدخل جغرافيّة المكان على المستوى الإقليمي في رفع حامضيّة الماء، وتغذية الوعاء الكارستي بالمياه، فمع توفر نشاطات واستخدامات بشرية، تزداد فرص التزود بغاز ثاني أوكسيد الكربون، وقد ترفد المنطقة مياهاً سطحية قادمة من مناطق ذات أسطح كتيمة، فتتجه مياهها نحو الآفاق التحت سطحية مع وصولها إلى المناطق الكارستية، كما يؤدي استصلاح الغابات والحراج وزراعتها دوراً بالغ الأهمية في تعزيز فرص التزود بغاز (Co2) إلا أنه يجب التنبه إلى أن قدرة الماء على حل الغاز السابق، ليست مطلقة، فعند حدود التشبع به، تنخفض قدرة الماء على حلّه، إلاّ أن تدخل عوامل معينة قد يسبب انخفاض تركيز الكربونات بداخل الماء، فيستعيد نشاطه وقدرته على الإذابة. ويبين الشكل رقم (٩-٤)جانباً من تأثيرات المناخ والغابة والتربة في عمليتي الانحلال والإذابة. فتوفر غابات كثيفة فوق صخور كربونية، يسبب زيادة في فعاليّة عملية التحلل الكارستي، ويُحدّث تأثيرات جوهرية في النظام الكارستي، (Stokes & Others: 2011 . p 375) أهمها:

- التغيرات الهيدرولوجية عن طريق إعادة توجيه التدفقات السطحية التي يمكن أن تغذي المياه الجوفية أو مجاري الفيضانات.
- زيادة المدخلات من الفضلات العضوية والرواسب في التجاويف تحت سطح الأرض.
- تغيير المناخ الصغير في التجاويف تحت السطحية الضحلة.
- زيادة جفاف السطح وفقدان التربة السطحية الرقيقة في الكارست المتطور .



الشكل رقم (٩-٤) تسرب المياه عبر الشقوق في منطقة غابية والعمليات المرافقة لها وأهم مظاهرها.

إن انحلال كربونات الكالسيوم (CaCO3) في الماء الحامضي (H2CO3) أو حمض الكربون يعطي بيكربونات الكالسيوم Ca(HCO3)2، ذات القابلية الأكبر للانحلال و الذوبان وذلك وفق المعادلة التالية:

$$CaCO3 + H2O + CO2 = Ca(HCO3)2$$

وتعتمد سرعة التحلل– أي تحويل المواد الصلبة إلى أيونات في المحلول الكربوني– على محتوى الماء من غاز الكربون، أو مدى حامضيته وتأثيره، فمن المعروف أن تركيز غاز (CO2) في الغلاف الجوي، يبلغ نحو (٠,٠٣%)، في حين يراوح في هواء التربة بين (٢–١٠%) من حجمه الكلي. لكن تتضاعف النسبة خمس مرات في الماء الناتج عن انحلال الصخور. وقد يصل معدل التحلل إلى (٧٦٠) م٣/سنة/ م٢، كما في المناطق الرطبة من بابوا نيو غينيا New Guinea Papua، مع كمية هطل سنوي تزيد على (١٢٠٠٠)مم. وقد تنخفض إلى (٥)م٣/سنة/كم٢، كما هي الحال في سهل نولاربو Nullarbor شبه الجاف، حيث الأمطار (٣٥٠) مم/سنة.

وقد دلت الدراسات أن (٩٠%) من عمليات التحلل تتم في الأمتار العشرة الأولى من الكتلة الصخرية، التي تقع تحت التربة. حيث تكون المياه الراشحة في أوج فعاليتها aggressively، وبالتالي تكون مظاهر الطوابق العليا من الكهوف المتعددة المستويات أقدم عمراً من السفلى من حيث التشكل وليس عمر الصخر.

وتفيد معرفة معدلات التحلل في تقدير أعمار الكهوف، وبالإضافة إلى الطرق المخبريّة فقد تم استخدام الطرق الإشعاعيّة في تقدير عمر رواسب كهف الماموث، الذي بلغ نحو (٣,٥) مليون سنة. كما أعطت القياسات الباليومغناطيسية للبقايا البشرية والنباتية والحيوانية في بعض كهوف جنوب أفريقيا عمراً مقارباً لذلك. (Goudie: 2004.p 588).

خامساً– الفوائد التي تقدمها المناطق الكارستية:

قبل ذكر منافع التضاريس الكارستية بمظاهرها وعملياتها، يجب تحديد المجال الكارستي أو ما يعرف بحوض تجمع المياه الكارستية karst catchment، الذي يضم كافة المناطق التي تغذي الوعاء الكارستي بالماء، وهي تشبه إلى حد ما، نظيرتها في أحواض

التصريف النهري، إلا أنها لا تتوافق بالضرورة مع التقسيمات الطبوغرافية، أو مع خطوط تقسيم المياه، فبالإضافة إلى الوارد السطحي تستمد المناطق الكارستية مياهها الجوفية من مناطق تقع خارج حدودها الطبوغرافية، لارتباطها بخطوط الكسور والصدوع وميل الطبقات.

ينتج عن هذا الواقع حقيقة تمثل بحد ذاتها صعوبة في إدارة التضاريس الكارستية، فعدم الترابط أو ضعفه مع المعالم السطحية يستوجب البحث والتحري الدقيق عن مصادر المياه الجوفية، ولذلك أهمية خاصة، فمثلاً لا بد من تحديد مصادر تلوث المياه الكارستية والإحاطة بالحدود التي وصل إليها التلوث من حيث الكم والنوع، مما يستوجب معرفة حدود المجال الكارستي بالكامل. ولما كان للكهوف أهمية خاصة على كافة الأصعدة الاقتصادية والتاريخية والثقافية والاجتماعية والأمنية والعسكرية والاستراتيجية، فقد أصدرت الحكومات الاتحادية في الولايات المتحدة الأمريكية عام(١٩٨٨)م، قوانين صارمة لحماية المناطق الكارستية، باعتبارها مناطق هشة سريعة التضرر، (الموسوعة الحرة). وهو ما منح السلطة الكاملة لوكالات إدارة الأراضي المختصة، بحمايتها واستثمارها بطرق آمنة.

تتجلى أهمية التضاريس الكارستية عموماً، بالآتي:

أ. **على الصعيد الطبيعي (الفيزيائي):** المغاور الكارستية تضاريس أرضي بمداخلها، باطنية بممراتها وصالاتها وحجراتها. تتكون من صخور قابلة للذوبان، ومياه جوفية وغلاف جوي خاص. حيث تتحرك فيها كتلة الهواء بسبب التباين الحراري بين الغلاف الجوي الداخلي والخارجي من جهة، والاختلافات المحلية داخل نظام الكهف من جهة ثانية، فينتج عن ذلك قيم ضغط جوي متباينة، ومع انخفاضه تتمدد كتل الهواء، فتتشكل تيارات هوائيّة داخليّة. كما أنّ درجة رطوبة الهواء ضمن الأنفاق والكهوف تكون مرتفعة حتى تصل إلى درجة الإشباع. أمّا التركيب الكيميائي للغلاف الجوي فيختلف عن تركيب الهواء الجوي الخارجي. إذ تبلغ نسبة غاز ثاني أوكسيد الكربون (٤,٥%) مقارنة بنسبتها في الغلاف الخارجي، والبالغة (٠,٠٣%)، ونسبة الأوكسجين (١٤,٥%) مقابل (٢٠,٩%)، ونسبة النتروجين(٨٠%) مقابل (٧٦%). (فؤاد العجل، ٢٠١٥: ص ١٤٣).

ب- **على الصعيد الإحيائي (البيولوجي):** تحتوي المغاور والكهوف أحياء تكيّفت مع بيئات منعزلة يطلق عليها stygobites، التي تميزت بتفرد أحيائها جينياً لأصالتها، إلا أن

بعض الكهوف ليست شديدة العزلة، بل تتصل مباشرة أو بوساطة أنفاق مع الوسط الخارجي، لذلك تصنف أحياء الكهوف عموماً إلى مستوطنة، أو هجينة.

ج- **على الصعيد الأثري والتاريخي والاجتماعي والعلمي:** مثلت الكهوف الملاجئ الأولى للإنسان القديم، كإنسان نياندرتال، وإنسان العصر الحجري، وكانت حصنه الآمن من الحيوانات، ومأواه من برد العصور الجليدية خلال الزمن الرابع.

أما على مستويات أضيق، فإن من أهم الفوائد التي تقدمها الاستخدامات الجيدة للتضاريس الكارستية، ما يلي:

١- السكن: مازالت بعض الكهوف تستخدم لأداء وظيفة سكنيّة، كما هي الحال في مناطق متفرقة من الصين وأهمها كهوف جاياجو، حيث يقدر عدد سكانها بنحو (٤٠) مليون نسمة، صور رقم (١٦-٤) كما تتكرر الظاهرة في مناطق مختلفة من العالم، مثل كهوف ساس يدي ماتيرا بإيطاليا، وكهوف مطماطة بتونس - ويطلق عليها مساكن الأمازيغ- وكهوف ميزا فيردي (الجبل الأخضر) في الولايات المتحدة الأمريكية، وكهوف أوشيسار بتركيا، وهي من أهم المناطق السياحية عالمياً.



صورة رقم (١٦-٤) كهوف جاياجو Guyaju المسكونة في الصين.

٢- استخدامات فندقية: حُولت بعض الكهوف لفنادق تجارية مترفة مع إجراء بعض التعديلات عليها لمزيد من الأمان. كما هي الحال في كهوف ولاية يوتا الأمريكية، والتي تُعرف بكهوف مونتيزرما كانيون (الكهوف الوردية)، وتقع على مقربة من مدينة مونتيسيللو، صورة رقم (١٧-٤).



صورة رقم (١٧-٤) إحدى حجرات كهوف مونتيزرما، بعد التعديلات الهندسية عليها.

٣-عسكرياً: أستخدمت المغاور والكهوف لأغراض عسكرية خلال الحرب العالمية الأولى والثانية، وهو استخدام شائع في أوربا وأمريكا والدول العربية. أولاً كمخازن وملاجئ، وثانياً: لإنتاج المادة الأولية لبارود البنادق، وذلك من رواسب النترات الناتجة عن عملية التجوية الكيميائية مثل: نترات الكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، والمتراكمة في أرضيات وجدران المغاور والكهوف.

٤- أهمية تاريخية – انتربولوجية: فقد مثّلت المساكن الأولى للإنسان القديم، يدل على ذلك الرسوم والأشكال التي تزين جدرانها، وتشير إلى طبيعة الحياة التي عاشها ساكنوها وبذلك تقدم فائدة أخرى في مجال علم الجغرافية القديمة، ومن أفضلها رسومات كهف لاسكو في بلدة مونتيغنيك Montignac في محافظة دوردون Dordogne في بيريجور Périgordعلى ضفة نهر فيزير Vézère اليسرى، جنوب غرب فرنسا. وقد حُدّد تاريخ صوره ورسوماته ونقوشه بالعصر الحجري القديم الأعلى، وقد استخدمت طريقة الكربون (١٤) لتحديد العمر فتبين أنه يراوح بين (١٥٠٠٠-١٣٥٠٠)ق.م. صورة رقم (١٨-٤).



صورة رقم (١٨-٤) اللوحات الجدارية في كهف لاسكو/ فرنسا.

٥- يمارس الكثيرون رياضة استكشاف المغاور والكهوف، ويجب أن يتمتع أفراد فرق الاستكشاف بالعديد من الصفات البدنيّة والرياضيّة والذهنيّة والنفسيّة التي تؤهلهم لاتخاذ قرارات حاسمة في ظل المجهول من الكهوف. ولهذه الرياضة أدواتها الخاصة التي أصبحت ضرورية لجميع الباحثين في مجالها، مثل أدوات التسلق، والإسعافات الأولية، وعبوات الأوكسجين، وبدلات الغوص. كما يجب معرفة حالة الطقس المحلي والإقليمي قبل التوغل بعيداً في الكهوف والمغاور، حيث يحتمل تعرض الزائرين لخطر الفيضانات وامتلاء الممرات بالمياه في حال الهطل الغزير، ومن أشهر الكهوف التي تستقطب هواة الاستكشاف كهف سون دونج- وهو الأكبر في العالم حتى عام (٢٠١٤)- ويعني اسمه كهف نهر الجبل، يقع في إحدى غابات فيتنام، يصل طوله إلى (٤,٥) كم. أما عرضه فيبلغ (٧٠) متر، وارتفاعه (٧٠) متر في معظم أقسامه، وقد تصل الأبعاد إلى (١٤٠ × ١٤٠) م. صورة رقم (١٩-٤).



صورة رقم (١٩-٤)
لاحظ حجم الغواصين أسفل كهف سون دونج.

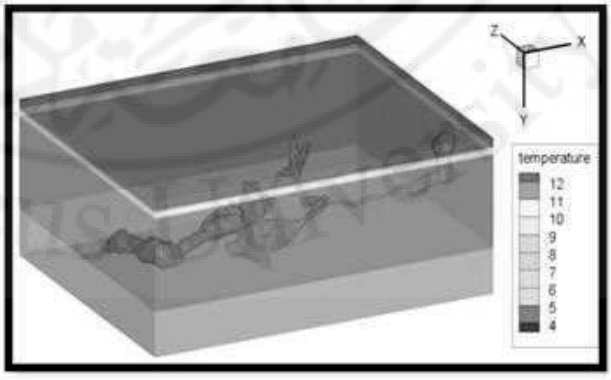
٦- سياحياً: تمثل المغاور إحدى أهم الموارد السياحة، فمثلاً بلغ عدد زائري كهف الماموث بولاية كنتاكي الأمريكية عام (١٩٧٤)م، حوالي(١,٥) مليون زائر. وجال أكثر من (٦٧٠) ألف سائح في كهف كارلسباد في نيومكسيكو في الولايات المتحدة الأمريكية. إلا أن تحويل المغارة من مشهد طبيعي، إلى مَعلم سياحيّ، يتطلب عملاً مضنياً ومشتركاً بين عدة جهات، كفرق البحث التي تضم: الجيوموروفولجيين، والهيدرولوجيين، والمهندسين، والمستكشفين، والغواصين، وعلماء الأحياء، وعلماء الإنتربولوجيا، ومصممي الخرائط، كما يتطلب تنسيقاً دقيقاً مع فرق الإنقاذ، وأهالي المنطقة، وشركات الاستثمار. وتعمل هذه الفرق

على تحديد أفضل الممرات وأكثرها أماناً، وأفضل المظاهر الجاذبة للسيّاح، والممرات البديلة للابتعاد عن الأماكن الخطرة أو المجهولة. ومن الأمثلة الحية عن هذه السياحة، كهف باتو Batu شمالي كوالالمبور في ماليزيا، حيث تقام الاحتفالات السنوية للهندوس، ويؤمّها نحو مليون حاج وزائر سنوياً، شكل رقم (٢٠-٤). جدير بالذكر أن تحويل هذه النظم الحساسة واالهشة لمقاصد سياحية، يتطلب إدارة دقيقة وحازمة لها، لمنع تلوثها أو الإضرار بها.



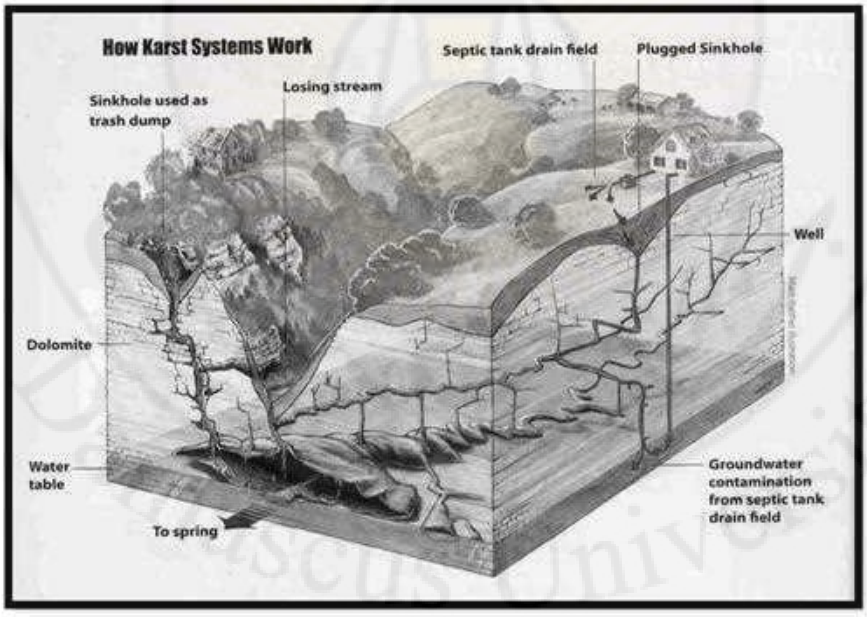
صورة رقم (٢٠-٤) كهوف باتو في ماليزيا.

٧- تجري دراسات حالية في أوربا لاستخدام بعض الكهوف كمخازن تبريد طبيعي. فهي ذات درجات منخفضة وثابتة نسبياً على مدار السنة، وغالباً ما تصل فيها درجات الحرارة إلى ما دون الصفر، مما يوفر الطاقة ويخفّض من تكاليف التبريد والتخزين. مع ضرورة إجراء التعديلات الهندسية المطلوبة لتحويل الكهوف لأداء هذه الوظيفة. وقد تبين وجود اختلافات حرارية محلية لدى دراسة كهف لاسكو في بلد بمحافظة دوردوني Dordogne جنوب غرب فرنسا. شكل رقم (١٠-٤).



شكل رقم (١٠-٤) مجسم ثلاثي الأبعاد يظهر درجات الحرارة في كهف لاسكيو Lascaux ومحيطه الصخري.

٨- تستخدم الآبار الطبيعية لسحب المياه الجوفية في المناطق الكارستية التي تتميز بقلة مياهها السطحية. لذلك يجب التنبه لمخاطر التلوث، فجميع عناصر الوعاء الكارستي أو آفاقه المفترضة متصلة عن طريق المسارب والمجاري المائية الضمنية، وبالتالي فإن أي تلوث قد يؤثر في النظام وصولاً إلى منسوب المياه الجوفية، أو القاعدية Water table، ما يعني ضرورة اختيار مواقع الآبار بعيداً عن مواقع المطامر أو مقالب القمامة والمقابر، بل لا بد من منع هذه الاستخدامات نهائياً في المناطق الكارستية -إن أمكن- أو اختيار أماكنها بعناية وحذر، وتهيئة سطح الأرض فيها قبل استخدامه، وذلك بإنشاء طبقات من المواد العازلة، وعدم السماح لنتاج هذه المنشآت من المياه الملوثة بالولوج إلى المياه الجوفية عبر الشقوق والبالعات، كما لا بد من منع استخدام البالعات لتصريف مياه الصرف الصحي، ويستوجب ذلك إجراء فحوصات واختبارات دقيقة للمياه بشكل دوري بالقرب من مصادر التلوث، مع تطبيق إجراءات صارمة لمعالجة مصادره، وتتبع مساراته للحد من انتشاره، ويبيّن الشكل رقم (١١-٤) كيفية تلوث المياه الجوفية بمياه الصرف الصحي.



شكل رقم (١١-٤) يبين كيفية صول الملوثات السطحية نحو المياه الجوفية

٩- تستخدم الكهوف كأنفاق طبيعية لسكك الحديد أو الطرقات التحت سطحية لاختصار المسافة عند تجاوز المرتفعات، كما حدث في جنوب غرب ولاية فرجينيا، في أجزاء من خط

السكك الجنوبي، وهي توفر بذلك الزمن والنفقات، إلا أنها قد تتطلب إعدادات وإجراءات مكلفة لتوفير مسلك آمن، وحمايته من الكتل القابلة للانهيار أو الانهيال، وسد التجاويف والتكهفات، بالإضافة إلى حمايته من ارتفاع منسوب المياه الجوفية.

١٠- تستخدم مخلفات الخفافيش المتراكمة (زرق الخفافيش)bat guano فوق أرضيات الكهوف كسماد فوسفاتي كما في جنوب الولايات المتحدة والمكسيك.

١١- تضم بعض الكهوف والمغاور أحياء نادرة، بسبب عزلتها عن الوسط البيئي الخارجي، مما أتاح لبعضها الفرصة للتطور الذاتي في ظل ظروف مستقرة ومظلمة. فاكتسبت تكيفات وظيفيّة وعضويّة في أجسامها مثل انخفاض الصباغ والبصر (Finlayson & Hamilton-Smith 2003). ومن الكهوف التي حازت على شهرة عالمية كهف سراج الليل في جبال التمبورين النيوزيلندية، الذي يتلألأ سقفه بآلاف الأضواء- توصف محلياً بنجوم السماء- وهي عبارة عن يرقات تتعلق بوساطة خيوط مضيئة. ويسمى هذا النوع من الديدان المضيئة بـ Arachnocampa، صورة رقم (٢١-٤).



صورة رقم (٢١-٤) تبين جزءاً من كهف سراج الليل/ نيوزيلاند.

١٢- زيادة الإنتاج السمكي: دلت أبحاث أجريت جنوب شرق ألاسكا على أن النظم الإيكولوجية المائية المرتبطة بالتيارات التي تغذيها مياه كارستية، يمكن أن تكون أكثر إنتاجية من غيرها. فالتيارات التي تتدفق من خلال التضاريس الكارستية لها كيميائيّة مميزة. ولهذا دور مهم على صعيد صيد الأسماك والمناظر الطبيعية الكارستية، كما هي الحال على ساحل كولومبيا البريطانية.

١٣- احتواء الصخور الكربونية على الثروات الباطنية: تضم الصخور الكربونية نحو (٥٠%) من نفط العالم واحتياطي الغاز، ومواد مثل البوكسيت والفضة والرصاص والزنك والإسمنت ومواد البناء والزينة. (Ford &William ; 2007. P 9).

١٤- تعد الطبقات الكلسية أفضل الطبقات الصخرية الحاملة للمياه الجوفية، مثال عنها صخور الجوراسي والكريتاسي الكلسية في جبال الساحل السوري.

١٥- نشاط شركات التأمين في المناطق الكارستية: أدرج هبوط سطح الأرض في المملكة المتحدة ضمن مجال التأمين عام(١٩٧١)م، ومنذ عام(١٩٩٤)م زودت هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية شركات التأمين بمجموعة بيانات تشير إلى التعرض للهبوط الكارستي، وهي معلومات يتم استخدامها من قبل بعض شركات التأمين لإدارة نظام التأمين بشكل سليم، حتى إنه في بعض المناطق يتم فرض مبالغ إضافية لحالات خاصة من الخطر المؤكد.

أهمية استكشاف المغاور ومتطلباتها:

إنّ لاستكشاف الكهوف والمغاور دوراً مهماً في إعداد الخرائط عنها، وتحديد المناطق الآمنة فيها والخطيرة، والاستفادة منها لاحقاً في المجالات الاقتصادية والخدمية، لذلك لا بد من تجهيز الفرق بكل ما تحتاجه عملية الاستكشاف لضمان سلامتها ودقة نتائج عملها.

يدفع البعض حياتهم ثمناً لقاء الاستخفاف بمتطلبات استكشاف المغاور. ولطالما كانت الإرشادات والتجهيزات السبب الرئيس في نجاح حملات الاستكشاف أو فشلها، وأهم هذه التوجيهات:

١- إعداد دراسة جيومورفولوجية وجيولوجية وبيئية متأنية ودقيقة عن المغاور ونظمها.

٢- تحديد مداخل المغاور ومخارجها.

٣- الاستعانة بالمخططات والخرائط المعدة مسبقاً عن المغاور، وتحديثها بما تسفر عنه عمليات الاستكشاف.

٤- يجب أن تكون الممرات محددة والاتجاهات محسوبة بدقة، مع ترك علامات إرشادية عند التقاطعات ونقاط التحول الحادة، وحفظ الملامح الخاصة بكل مسلك، لتأمين العودة وعدم الدخول في متاهات.

٥- وضع برنامج زمني محدد للرحلات، بحيث تقوم فرقة الاستكشاف بالدخول إلى المغاور وتتبعها فرق البحث العلمي والمسح الطبوغرافي والتصوير، لأخذ القياسات الضرورية، مع ضرورة التقيد بالتواصل المستمر بين الفرق في الداخل والخارج.

٦- التحقق من عدم وجود أي خطر يمكن أن يسبب احتجاز فرق الاستكشاف، كالفيضانات، أو الجليد الذي قد يسد المداخل والمخارج، أو الانهيارات. صورة رقم (٢٢-٤).

٧- تحديد مواقع التخييم المؤقت، ونقاط الانطلاق والتجمع، واللجوء الاضطراري والإخلاء الفوري.

٨- استخدام وسائل إنارة. كخوذة الحماية المجهزة بنظام إنارة أمامي، بالإضافة إلى شعلة يغذيها خزّان غاز الأسيتيلين، والأفضل تأمين ثلاثة مصادر إنارة مستقلة لكل شخص.



صور رقم (٢٢-٤) انسداد أحد مداخل كهف Amarnath cave بسبب امتلائه بالجليد مع تدني درجات الحرارة، في جبال هيمالايا الهندية.

٩- استخدام مطارق وأزاميل مناسبة لتوسيع الأنفاق الضيقة. ويمكن استخدام نوع خاص من المتفجرات دون التسبب بحدوث انهيارات واهتزازات خطيرة.

١٠- التزود بمعدات إسعافات أولية، ومعدات طوارئ، ومواد غذائية.

١١- يجب أن يناسب اللباس مناخ المغاور وطبيعتها، فيقي المستكشف حرّها أو بردها. مع تجهيزات حماية المفاصل عند الأكواع والركب، تساعد على الزحف بأمان بين الممرات وتحت الأسقف المنخفضة. وارتداء أحذية وجوارب مطاطية خاصة يختلف طولها حسب عمق المياه.

١٢- استعمال حبال من النايلون مجهزة بمكابح خاصة للنزول، وأخرى للصعود.فغالبية مداخل المغاور هي شقوق رأسية أو مائلة، صورة رقم (٢٣-٤). وتستخدم الرافعات الآلية في حالة الأعماق الكبيرة التي يزيد عمقها على (٢٠٠)م.



صورة رقم (٢٣-٤) بئر كروبيرا في أبخازيا، لاحظ استخدام المستكشفين للحبال أثناء النزول.

١٣- التزود بأجهزة الغطس في حال وجود كهوف مليئة بالماء أو ممرات مائية تصل بينها، كما تستخدم الزوارق المطاطية لاستكشاف البحيرات الجوفية وتجاوزها. واستعمال أجهزة التنفس كالتي تستعمل أثناء عمليات الغطس، في حال احتوت المغاور والكهوف على جيوب غنية بغاز ثاني أوكسيد الكربون وفقيرة بالأوكسجين.

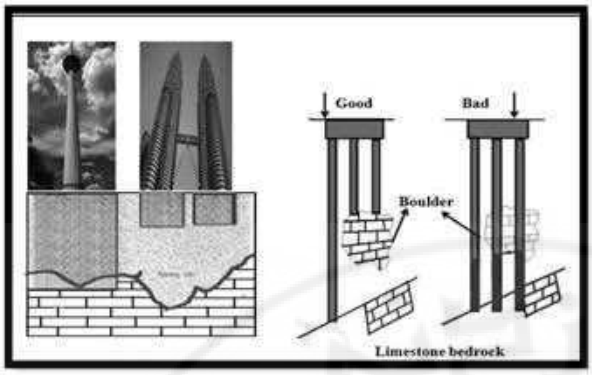
١٤- في حال وجود ضرورة لدراسة أسقف المغاور أو النوازل العملاقة، يتم الوصول إليها عن طريق بناء سارية أو سقالة بارتفاعات (١٠-١٥م)، مؤلفة من وصلات أنبوبية مناسبة لطبيعة العمل في الكهوف،ويتدلّى من أعلاها سلّم ليّن يساعد على الصعود والنزول.

سادساً- مخاطر المظاهر الكارستية ومساوئها:

تعززت أهمية الإدارة الجيدة للمناطق الكارستية والتخفيف من الآثار الضارة الناتجة عن الأنشطة البشرية على هذه البيئات الحساسة، من خلال سلسلة من المؤتمرات والمشاريع منذ(١٩٩٠)م، ومنها مؤتمر جنيف وعنوانه الرئيس: الجيومورفولوجيا والمخاطر في مناطق الكارست Geomorphology and Hazards in Karst Areas، الذي عقدته جمعية اتحاد علوم الأرض الأوروبية عام (٢٠١٠)م. تهدف كل هذه الإسهامات العلمية العالمية إلى

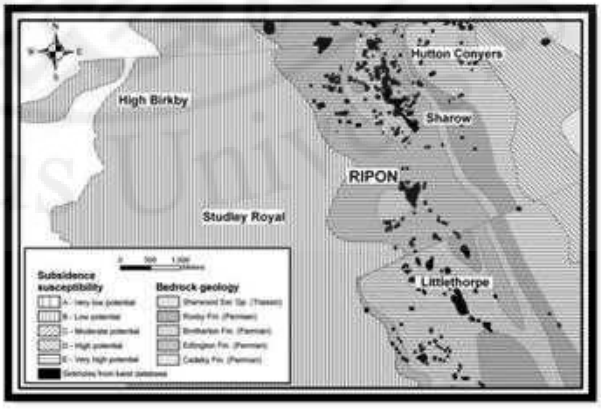
رفع مستوى الوعي العام لحماية الموارد الطبيعية المهددة بالتلوث والتدمير، وتبنت البلدان المتقدمة دراسات أكثر عمقاً لتقييم الأثر البيئي- الكارستي، ونجم عنها وضع معايير خاصة وطرق متنوعة لتقييم درجة الاضطراب في النظم الكارستية، وعلى الرغم من أن هذه الدراسات ضرورية لإدارة الموارد الكارستية، إلا أنها لا تكون مجدية إذا لم يتبعها قرارات وتشريعات قانونية وإدارية كفيلة بتطبيقها. (Waele & Others; 2011.p 1).

إن اجتماع الظروف المناسبة لنشاط التحلل الصخري، مع اتساع التطور العمراني في مناطقها، يؤدي حتماً إلى حدوث مشكلات جيومورفولوجية – بيئية، كالخسوفات الأرضية، والانهيارات، وتحلل المباني والتماثيل والأوابد المبنية من الحجر الكلسي. إضافة إلى مشكلات تلوث المياه وضرر المواطن الطبيعية الهشة داخل النظم الكارستية. الأمر الذي يستدعي تطبيق إجراءات استباقية، أو إيجاد حلول مبتكرة تناسب المنشآت وتحد من تفاقم الخطر الكارستي كمّاً ونوعاً. فمثلا اجتمع في موقع عاصمة دولة ماليزيا (كوالالمبور) عدة عوامل جعلت من المخاطر الكارستية تحدياً قومياً، حيث يسود مناخ استوائي بمعدل هطل سنوي يبلغ نحو (٢٤٠٠) مم/سنة،وتتوفر المياه الجوفية الحمضيّة والملوثة، وتنتشر الصخور الكربونية المتشققة والمتصدعة على مساحة (٤٠%) من إقليمها الجغرافي. لذلك كانت النتيجة الحتمية للعلاقات المكانية بين كل ما سبق من مكونات المشهد الجيومورفولوجي هي تعرض مناطق التعدين والأودية والأبنية لخطر الخسف، وفقدان المياه من خزانات السدود، وتلوث المياه الجوفية، ومن المباني التي تعرضت لخطر الحفر الكارستية أو البالعات، بناء البرجين التوأمين Petronas الأشهر في البلاد، وفندق بان باسيفيك Pan Pacific Hotel، ومجمع Berjaya Times السكني، ومجمع Sri Mara. وقد عولجت الفجوات التي يقل قطرها عن (١) م،عبر مراحل متعددة من بناء أساسات إسمنتية أسفل الأبنية، أما التي راوحت أقطارها بين (١-٢) م فعولجت بحقن مواد غير قابلة للتحلل فيها، ويبين الشكل رقم (١٢-٤) طرق المعالجة الصحيحة والخاطئة لمشكلة الفجوات أسفل المباني.(Bakhshipouri: 2009. P 4-9).



شكل رقم (١٢-٤) الأسس الهندسية الصحيحة والخاطئة لبناء الأبراج فوق الحجر الكلسي في ماليزيا.

إن تجاهل المخاطر الناتجة عن المظاهر الكارستية أمر لا يقتصر على الدول النامية، بل تعاني منه بعض أهم الدول المتطورة في العالم، فالمملكة المتحدة، لم تبن قاعدة بيانات خاصة بالنظم الكارستية ومخاطرها إلا مع بداية عام (١٩٩٠)م. حين تم تحديث وثيقة توجيه التخطيط في عام(٢٠٠٢)م. التي تتضمن معلومات عن أنواع المخاطر الطبيعية، وكيفية التعامل مع بعضها. إلا أنها لم تضم سوى خريطة صغيرة ومعممة عن المخاطر الكارستية. وذلك لأن معظم البلديات تفتقر إلى الإدراك الضروري للمخاطر الكارستية المحتملة، وبالتالي فهي تفتقد إلى المهارات المتخصصة لتفسير المعلومات الجيولوجية- الجيومورفولوجية، التي يمكن أن تساعد في تلافي مثل هذا النوع من المشكلات الطبيعية. مع استثناءات بسيطة في منطقة ريبون Ripon، التي تنتشر فيها صخور الجص القابلة للانحلال، حيث أعدت خريطة لأنواع المظاهر الكارستية ومخاطرها كالخسف، ومستويات حساسيّة Susceptibility الصخور تجاه عمليات التحلل والإذابة. شكل رقم (١٣-٤).



الشكل رقم (١٣-٤)منطقة ريبون الكارستية في المملكة المتحدة.

واستخدمت طريقة حفر الآبار والخنادق للتحري الموقعي عن طبيعة الأرض. إلا أنها طريقة غير مجدية في المناطق التي تتوزع فيها التجاويف الكارستية بشكل مبعثر، لذلك استخدمت طرق أكثر فعالية كالقياس الجيوفيزيائي للجاذبية Microgravity geophysics، والتصوير المقطعي لمقاومة الصخور Resistivity tomography. مما قلل من تكاليف الحفر، وحسّن خرائط التوزع المكاني للمظاهر الكارستية الضمنية. ويمكن الجمع بين تقنيات مثل التحقيق الراداري الأرضي ground probing radar مع الطرق السابقة لتقديم صورة أدق لكنها مكلفة.(Anthony & Others : 2011. P 23).

- لقد أكدت العديد من الدراسات التي أجريت على البنى التحتية، بهدف فحص أدائها وحل مشكلات الهبوط والخسف الناتجة عن تحلل الصخور التي أنشئت فوقها، على ضرورة بناء قاعدة بيانات متكاملة عن الموقع، لتكون بمثابة الصندوق الأسود، الذي يمكن الرجوع إليه لتحديد أسباب المشكلات في حال وقوعها، وقد تبين لدى تقييم الطريق السريع المحاذي للقطاع الأدنى من نهر بيرس Birs جنوب شرق بيزل Basel في سويسرا، الذي يعود تاريخ بنائه إلى عام (١٨٩٠)م، تأثره السلبي بالعديد من السدود التي بنيت بالقرب منه في الثلاثين سنة الماضية، والتي سببت مياهها الراشحة بإذابة الصخور تحت الطريق، وبخاصة في العشر سنوات الأولى من بناء السدود، فتشكلت الحفر والخسوفات بأقطار راوحت بين (٣-٧)م، وعلى أعماق راوحت بين (١٥-١٨)م من الطريق، كما راوح التمدد العمودي أو الرأسي vertical extension لطبقات الجص بين (٢-٨)م لزيادة حجمه بعد تشبعه بالماء، فخرجت قطاعات متعددة من الطريق عن مجال الاستخدام. (Epting & Others ; 2009.p 1164).

- تعد تعقيدات الحالة البنيوية للمشهد الجيومورفولوجي الكارستي، من العوامل التي يصعب التعامل معها، إلا من خلال دراسات مفصلة ودقيقة، كما هي الحال في هضبة المقطم المطلة على مدينة القاهرة، حيث تتنوع الطبقات الصخرية بين طبقات قابلة للتحلل، وأخرى قابلة للانتفاخ بالتبلل والترطيب، أو التفكك بالتجوية الحرارية، كما تتوزع الكهوف متوافقة مع شبكة الصدوع، بالإضافة إلى بناء العديد من الأحياء السكنية فوق سطحها، وهي ذات شبكات صرف صحي داخلية. وقد بيّنت الدراسات الميدانية لأكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا المصرية عام (١٩٧٧)م، أن صخور الطَّفَلْ والطَّفَلْ الرملي تتعاقب مع

طبقات الحجر الكلسي والمارل، مما يعني اختلافات كبيرة في استجابتها للعوامل الجيومورفولوجية، ففي حين يتفتت الطَفَلُ خلال (٥-١٠) دقائق، فإن المارل يتفكك في فترة بين (١٥-٦٠) دقيقة، وأن الأول يتميز بسرعة تحركه إذا اختلط بالماء، مُخلِفاً مكانه فجوات واسعة وكهوف قبابية غير مستقرة، ويزداد الأمر سوءاً مع انتفاخ طبقات الطَفَل بعد تشبعها بالماء، فيزداد حجمها مولدة ضغوطاً ترفع من فرص تخلع الطبقات الأعلى، وبالتالي عدم استقرار المنحدرات، وتدهور حالة المنازل فوقها. (عزة عبد الله: ٢٠٠٤، ص ٦١-٧٨). وتتكرر الحالة في مدينة سرقسطة Zaragoza الأسبانية ذات الـ (٧٠٠,٠٠٠) نسمة، حيث تسببت الانهيارات بخسف المنازل، وتدمير الطرقات وسكة الحديد. (Cooper & Gutiérrez ; 2013. P 455)، وقد تبين من الدراسات المخبريّة والملاحظات الميدانية أن تحول الجص إلى انهدريت بفقده للماء يُقلص حجمه بنحو (٣٨%) ويخلف فراغات وتجاويف تمثل نوى لتكهفات ومغاور لاحقاً، وبالعكس فإن تحول الانهدريت إلى جص بالتميه يزيد من حجمه بنسب تراوح بين (٣٠-٦٧%) مما يسبب انتفاخات وتخلعات في الطبقات الصخرية المحيطة به، وتحت أساسات المباني والمنشآت. (Ford & William ; 2007. P 11).

- تعد المظاهر الكارستية السطحية - الحديثة النشأة عموماً- أسوأ المناطق للاستخدامات الزراعية والرعوية. فهي جرداء خالية من الغطاء الترابي والمياه عموماً. غنية بالحفر والشقوق المسننة، لكن مع تطورها تسد مخلفات التجوية الكيميائية غير القابلة للتحلل مسامات الصخر، وتُسوى أسطح المحززة بانهيار الأعراف والنتوءات لتملأ المنخفضات الطوليّة بينها، فيصبح السطح قابلاً للاستخدامات الزراعية والعمرانية في مواقع محددة منه.
- مشكلات الخسف: يحدث الهبوط الأرضي نتيجة التجوية الملحية وذوبان الأملاح أسفل المباني والمنشآت. وهي ظاهرة سببت التشققات في كثير من مباني المناطق الكارستية في العالم. مثال عنها انهيار سد القديس فرنسيس St. Francis عام(١٩٢٦)م في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، بسبب عروق الجص في قاعدته الصخرية. وتسبب بمقتل (٤٠٠) شخص، ومثل ذلك كانت خاتمة سد كويل كريك Quail Creek في ولاية يوتا، الذي بني عام (١٩٨٤)م وانهار بعد ملئه عام (١٩٨٩)م. كما سبب انحلال الجص في بحيرة سد Hessigheim على نهر نيكار Neckar في ألمانيا. انخفاض عمر السد، وإجراء عمليات

حقن مستمر، للتجاويف التي تصل إلى عدة أمتار، وتطلبت عمليات الحشو نحو ثماني سنوات بين (١٩٨٦-١٩٩٤). حيث استخدام (١٠٦٠٠) طن من الإسمنت. وحدد العمر المتوقع للسد فقط بين (٣٠-٤٠) عاما، مع استمرار الحقن المطلوبة للحفاظ عليه داخل الخدمة. ويمكن لتكاليف الحشو أن تكون مرتفعة جدا، وتراوح نسبتها بين (١٥ أو ٢٠٪) من تكلفة السد، لتصل إلى (١٠٠) مليون دولار في بعض الحالات. ويمكن القول أن الحقن في تجاويف الحجر الكلسي من أكثر الصعوبات التي تواجه هذه المنشآت، إلا أن ذوبان الجص أكثر منها كارثية وصعوبة، نظراً لسرعة ذوبانه.(Cooper & Gutiérrez: 2013. P453). أما في مدينة البندقية Venice (Venezia) فقد تسببت عمليات الخسف بهبوط أجزاء من مينائها مارغيرا Marghera، وغمره بماء البحر، (Verstappen: 1983. P 149-170). كما أدى الخسف السريع لسطح الأرض غربي منجم ديرفونتين Dreifontein، في الجزء الشمالي من جنوب أفريقيا في منطقة جوتنغ. إلى تشكيل منخفض بقطر (٥٥) متراً، وعمق نحو (٣٠) م، ووفاة (٢٩) شخصاً عام (١٩٦٢)م. (Halles: 1977. P 103).

- خطر انهيار أسقف المغاور والبالعات في مناطق التحضر والري الزراعي، ويتعاظم مع توفر أنابيب صرف صحي سيئة، وقد أشير إلى مثل هذا التراكب من العوامل في منطقة فونتويل Fontwell البريطانية/ حيث تكثر الحفر والانهيارات في الأراضي الزراعية وحول الطرق وعلى امتداد أنابيب الصرف الصحي والمياه. صورة رقم (٢٤-٤).



صورة رقم (٢٤-٤) نحو سبعين بالعة وحفرة كارستية رصدت عام (١٩٨٥)م، تشكلت في صخور الحجر الطباشيري، في طريق Littleheath، فونتويل/ ساسكس Sussex/ بريطانيا.

• تقف المغاور والكهوف حجر عثرة في وجه الاستخدامات السطحية من عمران وطرق وسكك حديد، طبعاً في حال كانت أسقفها قابلة للانهيار والخسف تحت وطأة ما يمارس عليها من جهد (إن كان وزناً أو حركة، أو كليهما معاً)، مثال عنها الحفرة العملاقة التي تشكلت في مدينة غواتيمالا downtown Guatemala عام (٢٠١٠)م، وابتلعت بناءً من ثلاثة طوابق، (http://malaysiabrowser.blogspot.com). صورة رقم (٢٥-٤).



صورة رقم (٢٥-٤) الحفرة الغائرة في غواتيمالا .

• تعيق مظاهر التحلل الكارستي إنشاء أنفاق المترو، حيث واجه خط مترو سنغافورة. أكبر المخاطر بسبب الصخور القابلة للانهيار مع مرور النفق في سلسلة من المغاور، مما تطلب معالجتها إما بحقن مواد غير قابلة للتحلل، أو تثبيتها بمواد خرسانية بأساليب هندسية تكفل ثباتها وأمان مترو الأنفاق، مما أخّر مدة إنهاء المشروع وزاد من تكاليفه. وكذلك تأثر طرق كوالالمبور في ماليزيا بالعديد من الانهيارات، وقد تجاوزت الأخطار الطريق لتهدد مشروع خط مترو الأنفاق سونغايبولوه- كاجانج، إضافة إلى قواعد الجسر الذي يعلو الطريق. صورة رقم (٢٦-٤).



صورة رقم (٢٦-٤) حفرة إذابة بعمق نحو (١٠) أمتار، وطول نحو (١٩)م، في أحد شوارع كوالا لومبور (٢/ يوليو/٢٠١٤)م.

- تسبب التجاويف والتكهفات أسفل أرضيات الخزانات المائية أضراراً فادحة وكارثيّة. تبدأ بغور الماء عبرها نحو المياه الجوفية، مما ينهي وظيفة الخزان ويخرجه من مجال الاستخدام. ويحول بحيرته إلى منخفض فارغ يهدد استقرار المنحدرات المشرفة عليه، كما حدث في خزان ماي May وسط تركيا، وقد أنهي العمل به عام (١٩٥٩)م وبلغ ارتفاعه (٢٨)م وطاقته التخزينية (٤٣) مليون م٣، ومع امتلائه في شهر نيسان، بدأ يتناقص بشكل تدريجي ومتسارع حتى جف تماماً بعد شهر. وقد تكشف قاعه عن العديد من البالعات والتكهفات الدائرية وشبه الدائرية ذات الجوانب القائمة، مما يدل على نشأتها بأسلوب الخسف. والسبب في هذه الكارثة الاقتصادية -الهندسية كان سوء اختيار موقع السد، وعدم إجراء عمليات سبر كافية، حيث تكّون قاع الخزان من طبقة طينية بسمك (١٥-٢٠)م. إلا أنها تتوضع فوق طبقة من الحجر الكلسي المتعرض للإذابة في كثير من مواضعه. ولذلك توصي الدراسات الحديثة أن تراوح أعماق آبار السبر بين (٥٠-٦٠) م، بحيث يتناسب سمك الطبقة الحاملة للخزان مع طاقته التخزينية. مع ضرورة التنبه لأهم مخاطر الطبقات الكلسية وهي عملية الرشح Leakage. التي عانت منها معظم سدود وادي نهر تينسي Tennessee في الولايات المتحدة الأمريكية.(Halles: 1977.p 105).
- تعد الصخور المتشققة الآيلة للسقوط، في الممرات والأسقف والجدران، من أخطر المظاهر في الكهوف على السياح والمستكشفين.
- مخاطر الانزلاق على الجدران الملساء والمناطق الغنية بالمواد الزيتية أو الطينية أو الأشنيات، كل ذلك يسبب ضرراً للإنسان.
- نقص الأوكسجين والغازات السامة الصادرة عن زرق الخفافيش، تسبب حالات اختناق مميتة أحياناً.
- يصنف التلوث من أشد المخاطر تأثيراً في النظام الكارستي الهش، وذلك لاتصاله بالشقوق والممرات والأنهار الضمنية، وقد بينت دراسات أكاديمية البحث العلمي والتكنولوجيا المصرية، أن المياه المالحة والناتجة عن الصرف الصحي السيئ تصل إلى أعماق (١٨٠)م من هضبة المقطم، وهو خلل بيئي كارثيّ، نتج عن خطأ فادح ارتكبته الشركة الإيطالية المسؤولة عن بناء المدينة السكنية فوق الهضبة، والتي آثرت توجيه الصرف الصحي نحو

الكهوف والمياه الجوفية، بدلاً من إنشاء شبكة صرف صحي، وذلك بهدف تخفيض التكاليف. (عزة عبد الله : ٢٠٠٤، ص ٧٥).

سابعاً- الحلول المقترحة لمواجهة خطر التضاريس الكارستية:

يمكن مواجهة مخاطر المناطق الكارستية بما يلي:

١- إعداد خرائط تفصيلية عن توزع التضاريس الكارستية، تبين أنواعها، ومعدلات تحللها.

٢- إعداد خرائط تطبيقية تبين المناطق الخطرة والمناطق الآمنة.

٣- تقييد استخدامات الأرض في المناطق الكارستية بقوانين صارمة، وشروط محددة بهدف منع تلوث النظام الكارستي.

٤- تحديد أنواع الاستخدامات المثلى للمناطق الكارستية، كزراعة الأشجار المثمرة في الجوبات، في حين تستخدم الآبار الطبيعية كممرات مجانية لتغذية المياه الجوفية بتحويل الفائض من المياه السطحية إليها، وللكهوف استخدامات متعددة سياحياً وخدمياً وعسكرياً.

٥- عدم السماح باستخدامات تفوق قدرة أسقف المغاور على التحمل، كالأبنية الطابقيّة والجسور العملاقة.

٦- حقن التجاويف والكهوف الصغيرة بمواد غير قابلة للتحلل، وتحديد مواقعها في خرائط تفصيلية.

٧- تثبيت أسقف المغاور بأعمدة أو جسور أو مسامير لمنع تساقطها على السياح أو الأنفاق.

٨- نشر الشاخصات واللوحات التي تحذّر من الخطر، وتحدد مسافات الأمان عنها، وغلق المسارات غير الآمنة في الكهوف.

٩- مراقبة استهلاك المياه الجوفية من المنظومة الكارستية، والتوقف عن السحب مع وصول مستويات المياه إلى الحد الحرج، الذي تدل عليه الشقوق السطحية، والكسور في أسقف الخزانات، مما يهدد استقرارها.

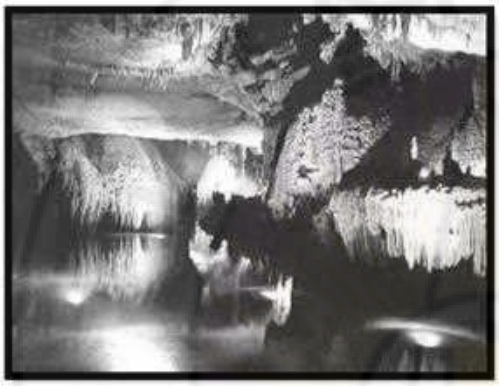
ثامناً – دراسة حالة مغارة جعيتا:

إن لدراسة الكهوف أهمية تطبيقية خاصة، فبالإضافة إلى ما تقدمه من حلول لتدارك مخاطرها السطحية، وتقييم سلامة ممراتها الباطنية. من خلال تحديد مداخلها ومخارجها، ورسم مخططات دقيقة عنها تشمل أهم مظاهرها والتغيرات الموسمية لنظامها. فإن لها أهمية سياحية لا تقل أهمية عما سبق، باعتبارها تمثل مورداً اقتصادياً محلياً وقومياً، فضلاً عن قيمتها التاريخيّة والرمزيّة في بعض الحالات. لذلك فإن الجيومورفولوجيّ معنيّ بتقديم أفضل الطرق والسبل الآمنة لاستخدامات المغاور، ومن الأمثلة الشهيرة في الشرق الأوسط عن ذلك مغارة جعيتا اللبنانية، التي تؤمن مياه الشرب لنحو مليون لبناني، فضلاً عن فرص العمل والدخل بالقطع الأجنبي.

تقع المغارة شمال العاصمة بيروت، على بعد نحو (٢٠)كم منها. تتكون من طابقين أو مستويين، وبالتالي من نظامين كارستيين منفصلين – متصلين، يقع الطابق الأدنى ضمن صخور الجوراسي الأوسط –الأدنى، التي يصل سمكها إلى (١٠٠٠)م. وقدّر تاريخ البدء بتشكلها في الفترة التي شهدت تكشف هذه الطبقات خلال الكريتاسي المبكر، (wikipedia.org/wiki/Jeita -Grotto). يبلغ طول بعض حجراتها (٢٥٠)م، وعرضها نحو (٦٠)م. يمتد الكهف العلوي مسافة (٢١٣٠)م، المتاح منها للتجول (٧٥٠)م فقط، وهو غني بالنوازل والصواعد والأشكال الفطرية mushrooms، والبرك، كما تتنوع ألوان واجهات الصخور بسبب ارتفاع درجات الحرارة التي تنتج أكاسيد الحديد، فتكتسب الصخور ألواناً حمراء وصفراء – برتقالية. مما يضفي على المشهد التضريسي مزيداً من الجمال والفائدة السياحية. يضم الطابق ثلاث حجرات، البيضاء وتضم أطول نازلة في العالم بطول (٨,٢)م، والحجرة الحمراء ويصل ارتفاع سقفها إلى (١٠٦)أمتار، والحجرة الثالثة – وهي الأكبر – ويصل ارتفاع سقفها إلى (١٢٠)م.

أما الكهف السفلي فيمتد لـ (٦٢٠٠)م. يفصل بينه وبين الكهف العلوي سقف بسمك (٦٠)م. يتم الانتقال إليه عبر نهاية أحد الأنهار الباطنية المشكلة لبركة تدعى البركة السوداء، ويدخله السيّاح بقوارب مع انخفاض منسوب سطح البركة صيفاً، وبالغوص شتاءً حين يغمر الكهف بالماء، فيقتصر الموسم السياحي على الطابق الأعلى. ويضم المستوى السفلي العديد من المظاهر الكارستية النموذجية، كالنوازل المنفردة، والمتجمعة، أو الممتدة

على طول الشقوق كستارة إبرية متدلية مرتصفة على طول خطوط الكسور المستقيمة، والأعمدة المتوجة بالمتدليات، والعديد من المنصات ذات الأشكال المميزة، والستائر الجدارية والسقفية المعلقة. وقد جهزت المغارة ببنية تحتية متكاملة. حيث تمتد ممراتها المسيجة إلى أفضل المواقع التي تجذب السائح، بالإضافة إلى القوارب في الطابق السفلي، وبالعديد من التقنيات البصرية الحديثة، حيث سلطت الأضواء على مظاهر ذات قيمة جمالية وفنية وسياحية. صورة رقم (٢٧-٤).



صورة رقم (٢٧-٤) المنصات المقرنصة، والإضاءة المميزة.

تمتد المغارة على طول (٩)كم في وادي نهر الكلب في محلة جعيتا، ولها أهمية تاريخية حيث سكنت من قبل إنسان ما قبل التاريخ، إلا أن اكتشاف طابقها السفلى لم يتم حتى عام (١٨٣٦)م، من قبل القس وليام طومسون. وتأخر اكتشاف صالات العرض العليا حتى عام(١٩٥٨)عبر نفق وسلسلة من الممرات. وهي آمنة تمكن السيّاح من الوصول الآمن دون إلحاق الضرر بالمظاهر الطبيعية، وتضم الصالات العليا أكبر النوازل المعروفة في العالم.

كهوف جعيتا هي كهوف إذابة solution caves كارستية، تشكلت نتيجة لتفكك الحجر الكلسي. وتحلله بواسطة حمض الكربون في مياه الأمطار والمياه الجوفية، ويحتوي على الشقوق الناتجة عن القوى البنائية، التي شكلت العديد من الينابيع والممرات. تعد مغارة جعيتا أطول مجمع كهفي في منطقة الشرق الأوسط، يرتفع إلى(٣٠٠)م فوق مستوى سطح البحر، مع فرق ارتفاع نحو (٣٠٥)م داخله. ويوضح الشكل رقم (١٤-٤) حدود حوض التصريف المغذي لنبع جعيتا.



شكل رقم (١٤-٤) حوض تغذية نبع جعيتا

يراوح معدل تصريف المياه من مغارة جعيتا في الربيع بين (١-٢)م٣/ ثانية. إلا أنه يعاني من التلوث بسبب صرف المياه المنزلية والزراعية، التي لا تزال مصدر قلق خطير بسبب زيادة البكتيريا القولونية. إلا أن ما يجب التنبيه إليه جيومورفولوجياً، أن زيادة أعداد الزائرين قد يرفع درجات حرارة المغارة، مما يؤثر في آليات الإذابة والتحلل وتركيز نسب الكالسيوم، وللتلوث آثار أخطر على معدلات الإذابة وتشويه مظاهرها. ففي عام (٢٠٠٨)م، وجد الباحثون أدلة على أن التنفس من زوار المغاور قد يرفع من تركيز غاز ثاني أوكسيد الكربون في الكهوف، مما يؤدي إلى زيادة درجة حرارة تصل إلى(٣) درجات مئوية وزيادة معدلات التحلل والإذابة للمظاهر الموجودة. (الموسوعة الحرة).

وتبين الصور ذوات الأرقام (٢٨/٢٩/٣٠-٤) بعض خدمات البنية التحتية في المغارو، كالسلالم، والممرات، والقوارب.



صورة رقم (٢٨-٤) أحد الممرات المسيجة



صورة رقم (٢٩-٤) القوارب في المغارة.



صور رقم (٣٠-٤) أحد السلالم في المغارة ، لاحظ ارتفاع العمود.

وفي دراسات مميزة أجراها مجلس الإنماء والإعمار (CDR) في لبنان، بالاشتراك مع المعهد الاتحادي لعلوم الجيولوجية والموارد الطبيعية (BGR) في جامعة هانوفر بألمانيا ووزارة الماء والطاقة بين عامي (٢٠٠٨-٢٠١٣). عن مدى استقرار الكهف، وتحديد مستويات التلوث، واحتمالات خطر انهيار أجزاء من سقف المغارة. تبين أن هناك نطاقاً حرجاً يمتد من نبع جعيتا حتى أعلى الوادي، حُدّد وفق عدة معايير، منها: سمك الطبقة الصخرية الفاصلة بين أعلى نقاط highest point سقف المغارة، وسطح الأرض platform، والذي راوح بين (٦٠-٧٥)م، وتوزع البرك، ونظام الكسور والشقوق. فوضع مخطط لممرات المستوى الأعلى من الكهف، ومسار النهر الباطني underground river، بالإضافة إلى مدخل الكهف، والجهد البنائي ومظاهره، والحمولة السطحية. كما رصدت العديد من المباني الطابقيّة فوق سقف المغارة، بالإضافة إلى أكوام مخلفات البناء فوق مواضع البالعات أو البرك في الطابق الأول، التي لا يفصلها عنه إلا مسافة تقل عن (١٠)م. كما حُدّدت اتجاهات المياه الجوفية، ونسبة تلوثها، ويبين الشكل رقم (١٥-٤) نطاق الخطر المحتمل لانهيار أجزاء من سقف المغارة، الذي منع فيه البناء نهائياً، وأوصي بتدعيمه من الأسفل بأساليب لا تؤثر في الصورة الطبيعية والجمالية للكهف.

كما حُددت منطقة تلوث المياه الجوفية، شكل رقم (١٦-٤)، ومصادرها الأساسية المتمثلة: بشبكة الصرف الصحي المنزلي، وعوادم السيارات، ومياه الصرف الصناعي من محلات إصلاح السيارات، ومياه الصرف الزراعي الغنية بالأسمدة والمبيدات الكيميائية، لذلك اقترح مسار جديد لأنبوب الصرف الصحي بعيداً عن مجالي التلوث والانهيار، مع ضرورة التعامل بحذر شديد مع هذه الأنظمة الهشة،شكل رقم (١٧-٤).



شكل رقم (٤-١٥)
نطاق احتمال خطر انهيار سقف مغارة جعيتا.



شكل رقم (٤-١٦) نطاق تلوث المياه الجوفية.



شكل رقم (٤-١٧)
المسار المقترح لأنبوب الصرف الصحي حول المغارة إلى محطة المعالجة.

وقد لوحظ وجود توافق كبير بين منطقتي احتمال خطر انهيار أجزاء من السقف، وتلوث المياه الجوفية. الأمر الذي يؤكد وجود خطر مركب يستوجب ضرورة التعمق في الدراسات الجيومورفولوجية- البيئية، لتحديد أثر تلوث المياه على معدلات التحلل والإذابة، وحركة المياه السطحية والتحت سطحية، وتحديد نقاط الضعف البنائية والبنيوية بدقة،

وعلاقتها بالمجاري السطحية. وطبيعة النشاط البشري وتوزعه الجغرافي بدقة، وإنتاج خرائط تفصيلية تبين مواضع الخطر الفعلي وليس مواضع الخطر العامة، التي تتطلب معالجات مختلفة، تبدأ بإزالة الخطر أو مصدره، وتنتهي بحقن وتدعيم أجزاء من سقف المغارة وجدرانها بمواد مقاومة وعازلة.

الفصل الخامس

الجيومورفولوجيا التطبيقية للمياه الجارية (بيئة الأنهار والأودية السيلية).

Applied Geomorphology and running water (river environment)

- مفهوم الأحواض النهرية كنظم جيومورفولوجيّة
- العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة في عمل المياه الجارية.
- العمليات الجيومورفولوجية للمياه الجارية:
- الدلتاوات: أهم المظاهر والعمليات الجيومورفولوجية فيها.
- مخاطر عمل المياه الجارية.
- الحلول المتبعة لحل أهم المشكلات النهرية.
- الفوائد الجيومورفولوجية للأنهار.
- إدارة أحواض التصريف المائي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

يكاد يكون الماء المكُّون الوحيد في الطبيعة الذي يؤدي عملاً جيومورفولوجيا في كافة حالاته (السائلة والصلبة والغازية)، فإن كان ساكناً أذاب وحلّ ما أحاط به من صخور كلسية فتسود التضاريس الكارستية على المشهد الطبيعي. وإن تحرك أزال من كتلة سطح الأرض بقدر ما يستطيع بالحت ونقلها إلى مصباته، ويقدر أن (٨٥-٩٠%) من الرواسب القارية المنتهية إلى البحار والمحيطات تم نقلها عن طريق الأنهار والسيول (عادل عبد السلام: ٢٠٠٠، ص ١٧٢)، بل إنه يؤدي عمله الأكثر أهمية على الصعيد التطبيقي عندما تتخامد قوته وقدرته على النقل، فيجنح إلى الترسيب مكّوناً الدلتاوات والسهول الفيضية، وينطبق القول ذاته على فعله فوق سطح الأرض وتحته. ولا يقتصر هذا النشاط على الحالة الكميّة أو الحركيّة للماء، بل إن له تأثيرات مهمة على الصعيد النوعي، فمع تغير حالته من سائل إلى جامد بالتجلد، يولد ضغوطاً تزيد من اتساع الشقوق التي يشغلها، فيفتت الصخر، وعلى مقياس أكبر تنتشر الأغشية الجليدية وتمتد ألسنتها طالما سمح المناخ بذلك، أو تتراجع بالذوبان مغيرة من معالم سطح الأرض قبل وبعد الزحف الجليدي، ومع انتقاله من الحالة السائلة إلى الحالة الغازيّة بالتبخر، يُخلّف وراءه رواسب كان يحملها كالجص والأملاح.

إن نسبة حجم المياه العذبة من أجمالي كمية المياه على كوكب الأرض لا تزيد على (٢,٥%)، أما نسبة مياه الأنهار فتبلغ نحو (٠,٥%) فقط، وتشمل مياه البحيرات والمجاري المائية والخزانات الطبيعية، وتبلغ نحو (٢١٢٠) كم٣حسب تقديرات هيئة الأمم المتحدة لعام (٢٠٠٣). لذلك تُعَد الأنهار بمياهها العذبة وموائلها الطبيعية من أهم الموارد المتاحة مجاناً، ولقد شاع قول في المياه العذبة بأنها: (أرخص موجود وأغلى مفقود). لذلك يجب التعامل معها بحذر، وحمايتها بشتى السبل لضمان سلامتها.(Martin: 2006).

أولاً- مفهوم الأحواض النهرية كنظم جيومورفولوجيّة:

تعد أحواض التصريف المائي Drainage basins، الحاضن الطبيعي للأنهار والمجاري المائية، وتعرّف على أنها أنظمة مفتوحة Open systems. ذات مدخلات من الهطل والأشعة الشمسية، ومخرجات من الماء والحمولة الرسوبية (Strahler: 1952. P 324). إلاّ أن ما يتم داخل هذه الأنظمة من عمليات جيومورفولوجية معقدة ومتداخلة مكانياً وزمنياً، كما شهدت هذه الأنظمة – وما زالت- تعديلات بشرية أثّرت في تطور المظاهر

السطحية النهرية وحتى الضمنية منها، وقد خضعت بعض هذه الأنظمة كلياً أو جزئياً لتغيرات جذريّة في مظاهرها وعملياتها، وليس أدل على ذلك، من إنشاء سد على مجرى مائي، مما يعني أن البيئة الجيومورفولوجية للموقع قد تغيرت كلياً، حيث تحل بحيرة بسواحلها وأمواجها محل المجرى المائي بعملياته من نقل وحت وترسيب ومظاهره من أكواع وجزر، وطالما أن بحيرة السد أصبحت مستوى أساساً محلياً لعالية النهر، فإنه يمارس فيها عمل ترسيبي، وقد يكون تأثير السدود إقليمياً، فقد انخفض منسوب البحر الميت بسبب السدود التي أقيمت على أنهار ضفته الشرقية بنحو (١٢)م خلال الفترة بين (١٩٥٩-١٩٨٩)م، الأمر الذي تسبب بتعمق هذه الأنهار والمجاري السيلية ضمن مجاريها وأوديتها، تعمقاً رأسياً راوح بين (٤-٣١) متراً، وجانبياً بلغ أقصاه حتى (١٨) متراً في بعضها، (سميح عودة : ١٩٩٨، ص ١٥٩-١٧٩). مما يؤكد استجابة هذه النظم تجاه أي تدخلات بشرية في عملها وتوازنها.

يشمل عمل المياه الجارية كافة أشكال جريانها السطحي، أي المنبث أو الغشائي sheet flow والخطي Liner flow، والأخير بنوعيه السيلي المؤقت والسريع أو الخاطف Flash flood، والنهري fluvial الدائم. وهي أعمال عرفها الإنسان منذ استوطن بالقرب من مصادر المياه والغذاء، وقد وهبت الأنهار بفيضاناتها الحياة لكثير من الحضارات التي نشأت عليها، إلا أنها كانت في حالات أخرى، من أهم أسباب الدمار والموت. ولعل أشهر الهجرات في تاريخ العرب، تمت بعد انهيار سد مأرب في سبأ، الذي حدث عام (٥٨٠)م. حيث انتشرت القبائل العربية في شبه الجزيرة شمالاً وشرقاً. وقد عدّها كثير من المؤرخين بداية مرحلة ديموغرافية غيّرت خارطة توزع القبائل العربية إلى الأبد.

تعد دراسات التضاريس النهرية وعملياتها، الأشهر في الفكر الجيومورفولوجي، فلطالما ارتبطت أفكار المنظرين والمفكرين الجيومورفولوجيين بعمل المياه الجارية، فبُنيت نظرية الدورة الحتية على مفاهيم عمل الحت والنقل والترسيب المائي، وكان عمل المياه الجارية حاضراً وفاعلاً في نظرية التوازن الحركي ذات الطابع البنيوي، التي اعتمدت على آليات التخفيض الخارجي بفعل الحت النهري لتفسير حالة النهوض الارتدادي أو التعويضي للجبال، لاستعادة توازن الكتلة مع الطاقة، وأهمية التخفيض والترسيب على حد سواء في إزالة العقبات التضريسية وتسوية السطح. أضف إلى ذلك الارتباط التاريخي بين الإنسان والأنهار،

مما جعل الأولويّة الفكرية تتجه نحو عمل المياه الجارية، وهو أمر مبرر في ظل الارتباط الحيوي بل العضوي بين الماء والحياة.

تعود أصول الجيومورفولوجيا النهريّة الحديثة modern Fluvial geomorphology إلى نهاية القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، حين وضع وليم موريس ديفيز نظريته المعروفة بالدورة الحتية Erosion Cycle (١٨٩٩-١٩٠٨)م. التي اعتمدت نهجاً تحليلياً- تصنيفياً لمظاهر سطح الأرض وتطورها وفق آليات العمل النهري. واكبتها دراسات (جيلبرت ١٨٧٧م) عن العمليات النهرية وعلاقتها بالشكل، وإليه يعود الفضل في تأسيس مذهب جديد في الجيومورفولوجيا، الذي طُور لاحقاً على يد علماء اهتموا بدراسة الآليات لتفسير أشكال التضاريس وتطورها، وباتوا يعرفون بعلماء جيومورفولوجيّا العملية، أمثال شوم Schumm (1972)، ووليامز Williams (1986)، وقد نتج عن دراساتهم قوانين جمعت بين مفهوميّ المادة – الطاقة. حيث أكد كل من (Leopold & Langbein: 1962. P 249)، على أن تطور التضاريس النهرية لا يتضمن فقط تحول الطاقة الكامنة للأمطار Potential Energy إلى طاقة حركية Kinetic Energy، عند جريان الماء على سطح الأرض. بل أيضاً يشمل إعادة توزعها حسب تغير خصائص حمولتها، والقطاع الطولي والعرضي للمجرى النهري، واختلاف كل ذلك زمنياً. مما يعني أننا نتعامل مع منظومات ديناميكية معقدة ومتغيرة حسب التأثير المتبادل بين الطاقة والمادة.

ولقد أسهمت الدراسات الجيومورفولوجية التجريبية في فهم تأثير العلاقة بين شكل القنوات المائية ومعدلات الترسيب. حيث استفادت الجيومورفولوجيا كغيرها من تقنيات معالجة الصور الجوية والفضائية، وتحليل البيانات المتعلقة بسطح الأرض، بتطبيق نظم المعلومات الجغرافية GIS. ويجب التأكيد أن أي محاولة لفهم التوازن بين العمليات الجيومورفولوجية وأشكال التضاريس، لا بد من أن تنطلق من إدراك تام لمجمل المتغيرات التي تؤثر في هذه المنظومات المعقدة، والتي صنفها كثيرون على أنها نظم ذاتيّة التكيف Self – Regulation، فهي تستجيب تلقائياً لأي تغير أو تعديل عليها بقدر ما يتطلبه هذا التغير من ردود فعل، (Strahler: 1952. P 326). وبما أن الماء الجاري جسم مادي سائل يحتك بأجسام مختلفة في صلابتها – أي الصخور السطحية- ويتأثر بمجمل التغيرات المناخية والطبوغرافية والحيوية والبشرية لسطح الأرض. فإن فهم آليات عمله وتفسير نشأة

تضاريسه وتطورها، بهدف تحقيق الاستفادة العظمى منها، وتجنب مخاطرها، يعتمد بقدر كبير على ما يمتلكه الباحث من ذخيرة علمية في مجالات تشترك بدراسة المياه كالجيومورفولوجيا، والهيدرولوجيا، والجيولوجيا، والهندسية والفيزياء والرياضيات.

ثانياً- العوامل الجيومورفولوجية المؤثرة في عمل المياه الجارية:

تؤثر العديد من العوامل الطبيعية والبشرية والاقتصادية في عمل المياه الجارية، ويمكن تحديدها على النحو الآتي:

١. خصائص السطح: كالانحدار والوعورة والتضرس، حيث ترتبط سرعة المياه الجارية بعلاقات طردية معها، مما يُكسب الأنهار طاقة جيومورفولوجيّة أكبر على الحت والنقل، ومع انخفاض قيم الانحدار والتضرس تجنح الأنهار للترسيب الاصطفائي وبشكل تدريجي، فتتخلى عن الحمولة الأكبر فالأصغر وصولاً إلى مصباتها حيث تلقي الرواسب الأنعم والأقل حجماً.

٢. الخصائص البنيوية والبنائية للصخور السطحية: كالمساميّة والنفاذيّة ونظام الكسور والشقوق، حيث ترتبط الطاقة التسريبية للسطح -وبالتالي الفاقد بالتسرب- طرداً مع ارتفاع القيم السابقة، كما تؤدي ميول الطبقات الصخرية دوراً محورياً في توجيه حركة المياه الجوفية.

٣. العوامل المناخية: وبالتحديد نظام الهطل بأنواعه (المطري والثلجي)، الذي يؤثر من خلال كمياته وفتراته في كمية مياه الأنهار وسلوكها الهيدرولوجي، وعموماً تعكس الأنهار خصائص نظام الهطل، فتفيض مع ارتفاع كمية أمطاره وثلوجه فوق قدرة مجاريها على استيعابها، وتشح في مواسم الجفاف. أضف إلى ذلك تأثير قدرة الجو التبخيرية.

٤. التضاريس السطحية: يتأثر عمل المياه الجارية بطبيعة المنحدرات، وتوزع مناطق المنابع والمصبات، وخصائصها المورفولوجية، فمثلاً يزداد حجم الوارد من المياه السطحية المغذية للأنهار، كلما عَظُم حجم الجبال التي تتلقى الهطل، وزاد انحدار سفوحها.

٥. العمليات الجيومورفية (السطحية والباطنية): من حت ونقل وترسيب، وخسوف وانهيارات، وزلازل وبراكين، وهنا لا بد من توضيح كيف يؤثر عمل المياه الجارية في عملها ذاته؟ والمقصود هنا مثلاً أن مزيداً من الحت الرأسي لقاع المجرى المائي، سيزيد من زاوية

انحداره، وبالتالي سيرفع من سرعة المياه الجارية وقدرتها على الحت والنقل، مثال آخر: فإن ترسيب المياه لحمولتها في جانب من القاع أو السرير النهري، يعمل على تشكيل الجزر النهرية وتطورها، وكذلك الحواجز الرملية أو الحصوية، التي تبتعد عنها المياه الجارية نحو الجانب الآخر من السرير، فيتعرض للحت، الجانبي، ويتطور كوع نهري، يتسع عنده المجرى، في حين يلتحم جانب الترسيب مع الضفة المجاورة للجزيرة، فتزيد مساحة اليابسة على حساب النهر عندها، وقد يتجه التيار المائي نحو كلا الضفتين- إن كان موضع الجزيرة في وسط السرير النهري- فيتعرض جانبا النهر للحت بعد تفرع المجرى المائي إلى مجريين.

٦. أنماط استخدامات الأراضي وتغيراتها، وتأثيرها في معدلات الحت والتعرية والترسيب، فمن المعروف أن الحراثة، وأعمال التمهيد الهندسي لأي مشروع، تسبب تفتت التربة والغطاء السطحي، وتجعله عرضة لعمليات الحت والنقل نحو الأنهار، فيرتفع حجم حمولتها فوق قدرتها المعتادة على النقل، فتجنح للترسيب في مواقع لم تكن لذلك، مما يخلق تغيرات طارئة في مجرى النهر، ذات تأثيرات مباشرة على حركة المياه داخله.

٧. خصائص شبكاتها المائية: كنمط توزع المجاري المائية، وكثافة المجاري المائية من حيث الأطوال والأعداد، ومتوسط طول المجرى، ومعدل زيادة طول المجرى، ومعدل الترافد – والذي يعرف خطأ بمعدل التشعب- واتساع المجاري المائية، وأشكالها، والتغيرات في القطاعات الطولية والعرضية، وخصائص القاع ورواسبه، وتغير مواقع المجاري المائية بالهجرة الجانبية أو الحت التراجعي، وتغير خصائص ضفاف المنعطفات والأكواع النهرية، ونمو الجزر النهرية وتطورها، وخصائص الحمولة النهرية والسيلية، وتوزعها.

٨. خصائص أحواض التصريف: كالمساحة والشكل والأبعاد الهندسية الأخرى.

٩. عوامل بشرية – اقتصادية: وتشمل استخدامات الأرض المختلفة كالعمران، والطرق والجسور، والسدود، والأنفاق، وقنوات الري، والزراعة)، أضف إلى ذلك القرارات السياسية والخطط الحكومية، ورأس المال.

ثالثاً- العمليات الجيومورفولوجية للمياه الجارية

تقوم المياه الجارية بأعمال الحت والنقل والترسيب، لكن بمعدلات متباينة على طول المجرى النهري، لذلك فإن هناك حقيقتين لا بد من التأكيد عليهما، وهما من أسس العمل الجيومورفولوجي عموماً، وهما:

- أن العمليات الجيومورفولوجية تتم بأسلوب اصطفائي، حيث يتعاظم فعل الحت في التكوينات الصخرية الضعيفة، ويتباطأ عندما يواجه صخوراً قاسية مقاومة، وكذلك فيما يخص النقل والترسيب، فهما عمليتان تفاضليتان متغيرتان مكانياً وزمنياً.
- تقود الحقيقة السابقة إلى أخرى تساعد في فهم آليات عمل المياه الجارية. وهي أن الماء الجاري لا يقوم بعملية دون أخرى، إنما تسود إحدى العمليات على غيرها وفق ضوابط يحددها الموقع وخصائص كتلة المياه الجارية. حيث يسود الحت مع الانحدارات الشديدة، مع ترسيب الحجارة التي لم تستطع المياه حملها، وحتى عند مناطق الترسيب، فإن فعلاً حتياً ملموساً تشهده المراوح الفيضية والدلتاوات، تقوم به المجاري المائية المضفرة.

وتحدد طبيعة العلاقة بين طاقة الماء الجاري ووزن الحمولة، نوع العملية السائدة- بالإضافة إلى الانحدار- حيث تتغلب عمليات الحت في حال تجاوزت الطاقة المائية وزن الحمولة، وتسود عملية الترسيب في حال العكس.

إن فهم قوانين العمل النهري معقد نوعاً ما، وذلك لتداخل العوامل المتحكمة فيه، فتغير بسيط في درجات انحدار قاع النهر أو المجرى المائي، يغير نوع العملية من حت رأسي إلى حت جانبي. كما أن تعرجات بسيطة في مسارات المجاري المائية، تسبب مع الوقت انعطافات وأكواعاً وانقطاعات في المجرى المائي. مما ينجم عنه تغيرات في المشهد الجيومورفي، ونظم استخدامات الأرض، فضلاً عن المشكلات الناتجة عن ذلك، وأهمها البيئيّة والحيويّة، حيث أثبتت الدراسات التي أجريت على أنهار ألاسكا والنمسا، وجود علاقة وطيدة بين عمق النهر وخصائص التدفق من جهة، وبنية الموائل المائية من جهة أخرى، حيث اختلفت أنواع الأسماك مع تغير عمق الأنهار، وكذلك أعدادها، وقدرتها على التزاوج، وتعشيش البيض في قيعان الأنهار.(Gilvear: 1999. P 245). وتقسم العمليات الجيومورفولوجية النهرية على النحو التالي:

١- الحت النهري ومظاهره:

تعد عملية الحت رد فعل توازني لمجمل العوامل المسؤولة عن تحريك المياه، وطبيعة المواد التي تحتك بها. وقد صُنفت عمليات الحت حسب اتجاهه، إلى ثلاثة أنواع، هي: الحت الرأسي، والحت الجانبي، والحت التراجعي (الصاعد).

تسود عمليات **الحت الرأسي vertical Erosion** في القطاعات العليا وبأي جزء من قطاع النهر الطولي تتوفر فيه شروط خاصة، كشدة الانحدار مما يزيد من سرعة المياه، وقدرتها على الحت، وصلابة صخور جوانب المجاري، وضعف صخور القاع، وكثرة نقاط الانقطاع من سقطات وشلالات، وطبيعة الحمولة النهرية، وأسلوب الجريان الذي يعكس طبيعة القاع وغزارة التصريف، فيتخذ الوادي شكل حرف V. وغالباً ما يكون الجريان فيها مضطرباً دواميا، يُعمّق القاع بتكوين ما يسمى قدور الجبابرة أو الحفر الوعائية Pot holes، التي تتصل مشكّلة خوانق عميقة ذات قيعان غنية بالحفر، ومنها فج معلولا في سورية، صورة رقم (١-٥).



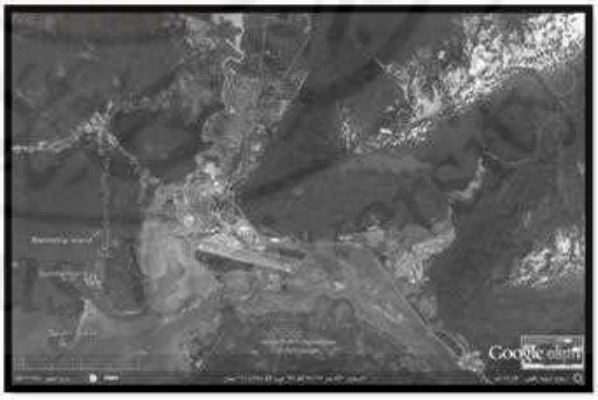
صورة رقم (١-٥) جزء من فج معلولا، يلاحظ جوانب من قدور الجبابرة في الأجزاء السفلى منه، وهو مقصد سياحي مهم لغرابة مظاهره، بالإضافة إلى قيمته الدينية.

كما يتجدد فعل الحت الرأسي بزيادة الفارق الطبوغرافي بين المنابع والمصبات، لأسباب بنائية أو مناخية، فكلما زاد الفارق تعمق النهر رأسياً لاستعادة توازنه الجيومورفي.

تقف عوامل طبيعية بحتة وراء تعمق الأنهار ضمن أسرتها بالحت الرأسي، ولعل أهمها زيادة الفارق الرأسي بين المنابع والمصبات مع قصر المسافة بينهما، إما بتعرض اليابسة للنهوض أو سطح البحار للانخفاض، أو لحدوث كليهما معاً كما هي الحال في ألاسكا. فقد أكدت دراسات هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية (USGS) لعام (١٩٩٧)م،

التي أجريت على (٦٠) موقعاً مختاراً من القطاع الأدنى لنهر مينديل هول Mendenhall في ألاسكا، أن الذوبان المستمر لجليديتها، يواكبه ارتفاع – طفو – لسطحها، يبلغ معدله نحو (٠,٠٥) قدم/سنوياً، في حين بلغ معدل انخفاض سطح البحر نحو (٠,٠٤) قدم/سنة منذ قياسات عام (١٩٣٦)م، وأن مقدار النهوض في مواقع الدراسة بلغ نحو (١,٨) قدم. الأمر الذي يجبر أنهارها على التعمق ضمن مجاريها بالحت الرأسي، لبلوغ مستوى الأساس المنخفض. صورة رقم (٢-٥).

كما يتعاظم فعل الحت الرأسي عند قواعد الشلالات بأسلوب الانفجار الغازي (التفريغ الغازي). وفيه تتحرر المياه الجارية من مقاومة القاع والجوانب، وتسقط بطاقتها الجيومورفية الكاملة، دون إعاقة تذكر إلا من الهواء والرياح التي تخرقه، مما يعني أن فعل الحت الرأسي الممارس عند اصطدام كتلة الماء بأسفل الشلال يكون أعظمياً. إلا أن وجود بحيرة عند قاعدة الشلال – وهو المظهر الشائع– يمتص جزءاً من هذا القوة. ومن النتائج المباشرة لاصطدام المياه بقاع الشلال، ما يعرف **بالحت التراجعي أو الصاعد** Head ward Erosion، الذي يسبب نشوء نحور تتطور إلى مغاور مع استمرار الحت أسفل الشلال، وذلك بفعل الحركة الدوامية المرتدة للمياه بعد وصولها إلى البحيرة أو القاع المتكشف، ومع تراجع المغاور وتوغل المياه ضمن الصخر، تنهار الشرفات متراكمة على شكل كتل صخرية أمام الشلال، ولهذه الآلية أهمية بالغة في تراجع الشلالات عن مواقعها، مما يخلق مشكلات عدّة منها سياسية – حدودية. ويرتبط ذلك بعدة أسباب:



صورة رقم (٢-٥) مصب نهر ميندهول / الساحل الغربي لألاسكا.

- قوة المياه الساقطة وعِظم حجمها: يوصف عمل المياه الهادرة فوق هذه الشلالات بأنه الأشد بين شلالات أمريكا الشمالية، حيث تلقي الشلالات نحو (٤) ملايين قدم مكعب من المياه كل دقيقة من الحافة، أي حوالي (١١٠,٠٠٠)م٣/دقيقة، تصل خلال الذروة إلى (٣٨٤.٠٠٠) م٣/ثا.
- تطبق الصخور: تقع طبقات الحجر الكلسي القاسية في الأعلى، وطبقات الحجر الطباشيري والطَفْلة الأقل قساوة في الأسفل، مما يعرضها للحت من أقدامها ويسرّع من حتها، وتراجعها أسفل الطبقات العليا.
- اندفاع المياه من بحيرتي إيري Erie وأونتاريو Ontario: القريبتين من الشلالات. إلا أن ارتفاع الأولى نحو (١٠٨) أمتار عن الثانية، ثم تتجه المياه عبر سهل – دون جريانها بأي واد– لمسافة (٣٢) كم، لتسقط من ممر ضيق نحو جرف الشلال، مما يعطي المياه المتدفقة من بحيرة أونتاريو نحو الشلالات قدرة أكبر على الحت.
- ارتفاع الشلالات البالغ نحو (١٦٥) قدماً أي حوالي (٥٠)متراً، مما يزيد في طاقة المياه على الحت الرأسي والتراجعي مقارنة بشلالات أدنى.

وفي دراسة قام بها جيلبرت (Gilbert 1907). لتحديد معدل تراجع شلالات نياغارا بين عامي (١٨٤٢،– ١٩٠٥). تبيّن أنه وصل إلى (٥ أقدام/سنة)بين عامي (١٨٤٢–١٨٧٥)، ثم تباطأ بين عامي(١٨٧٥ – ١٩٠٥)م. في حين قدّرت الدراسات الحديثة أن معدل التراجع يبلغ نحو (٣ أقدام/سنة) أو (٠.٩١م/سنة)، وهو معدل كفيل بإزالة المسافة الفاصلة بين الشلالات وبحيرة Erie خلال (٥٠٠٠٠)سنة. مما يعني إزالة الشلالات من الوجود في حال استمر التراجع بذات المعدل، وهو أمر افتراضي جيومورفولوجياً.

ومع تراجع الشلالات تتضرر كافة المنشآت الصناعية والتجارية والسياحية التي أقيمت للاستفادة منها. إلا أن العمل على التخلص من الكتل الصخرية المتراكمة أسفل الشلالات– كما اقترح البعض– سيسرع من تراجع الشلالات. كونها تمثل خط الدفاع الأول الذي يتلقى ضربات كتلة المياه الساقطة. ولهذا المشهد التضريسي استخدامات ومنافع متعددة، يأتي في مقدمتها: توليد الطاقة الكهرو– مائية، والسياحة، حيث زاد عدد زوار شلالات نياغارا عام (٢٠٠٩)م على(٢٨) مليون زائر.(Wikipedia). الصورتان رقم (٣/٤–٥).



صورة رقم (٣-٥) جزء من شلال نياغارا، وفي مقدمتها الكتل الصخرية.



صورة رقم (٤-٥) المنشآت السياحية والخدمية على حافة شلالات نياغارا.

ومن العمليات التي تنتج عن الحت التراجعي – والجانبي أحياناً- ما يعرف **بالأسر النهري** River Capture، وهي شائعة بين الأحواض المتجاورة والمتباينة في نشاطها الحتي، تتسبب بتحويل مجرى من حوض لآخر، فيتسع الحوض الآسر مساحة، ويزداد وارده من الماء واللحقيات، على حساب الحوض المأسور، ولهذه العملية نتائج خطيرة بين الدول التي تتشاطر الأحواض المائية فيما بينها، كالأرجنتين وتشيلي. إلا أن الاتفاقيات بين الدولتين تجاهلت الحقائق التالية مما أدى إلى عدم حل النزاع الحدودي بينهما إلا مؤخراً، وهي:

١- يوجد مناطق واسعة من الجبال بلا قمم، حيث يتحدد خط تقسيم المياه وفق معايير أخرى غير القمم.

٢- إن اعتماد خط تقسيم المياه كحد فاصل بين الدولتين أوقعهما في مشكلات لاحقة، فخط تقسيم المياه غير ثابت، ويتغير مكانياً بنشاط الحت في أحواض تشيلي بوتيرة أسرع من نظيراتها في الأرجنتين، مما يتسبب بضم أراض من الأخيرة لصالح الأولى. (محمد ديب : ٢٠٠٢، ص ٦٥٩).

تعد **المصاطب النهرية اللحقية** Alluvial terraces من أهم التضاريس الناتجة عن التعمق الرأسي للأنهار ضمن أسرّتها اللحقية، وبالأخص في قطاعاتها الدنيا. نتيجة لزيادة الفارق الرأسي بين المنابع والمصبات. وقد ارتبطت مواقع الحضارات القديمة بمواضع امتداد

هذه الضفاف والمصاطب اللحقية، لتوفر شروط الاستقرار والقوة الاقتصادية، من تربة وماء عذب وسهولة التنقل، وتصريف مخلفات التجمعات البشرية، ويؤمن ارتفاع القديمة منها عن مستوى الأنهار مسافة فاصلة تحميها من خطر الفيضانات، في حين تتعرض الدنيا للفيضانات إلا أن تربتها تكون في حالة تجدد مستمر مع كل غمر نهري لها. كل ذلك جعل من الضفاف والمصاطب مواقع عمرانية قديمة وحديثة. وكلما اتسعت المصاطب زادت مساحة الأراضي الزراعية، إلا أن تعرضها للانهيارات والانزلاقات والتقويض بفعل الحت السفلي- الجانبي يُقلص من مساحاتها، ويدمر المنشآت القائمة عليها. أضف إلى ذلك فإن للمصاطب أهمية تاريخية على الصعيد الباليوجيومورفولوجي والباليوجغرافي والانتربولوجي.

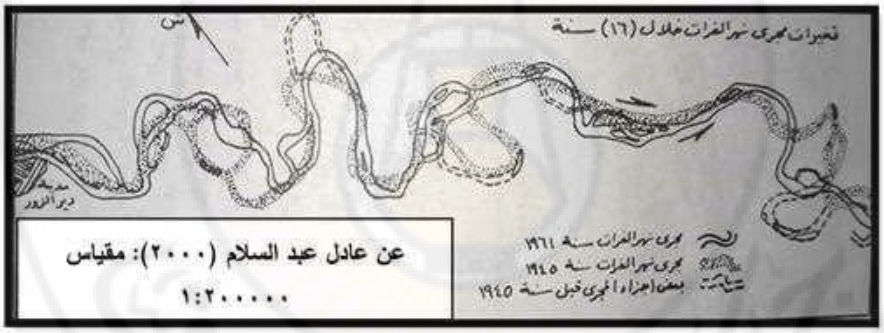
أما **الحت الجانبي Lateral Erosion** فيعود لأسباب عدة منها، عدم تناظر القطاع العرضي، مما يخلق دوامات حلزونية جانبية، تضرب الضفة شديدة الانحدار بقوة، لقربها منها، مسببة حتها وتراجعها، كما يعد تعاقب سلسلة، الحواجز Pools - البرك bars، من أهم أسباب تغير مسارات المياه الجارية، حيث تنحرف المياه عنها بعد اصطدامها بها نحو الضفاف، مسببة تعرج المجرى. فيضرب الضفاف التي تواجهه ليتحول المجرى من متعرج إلى منعطف. يضاف إلى ذلك ما لقوة كوريوليس من تأثير في حرف الأجسام نحو اليمين في نصف الكرة الشمالي نحو اليسار. ولتتابع الصخور بين قاسية وطرية على طول الضفاف دور مهم في تحديد فعاليّة الحت الجانبي، فتتراجع الضفاف الضعيفة منها، في حين تبقى القاسية متقدمة نحو سرير النهر.

ومع استمرار الحت الجانبي عند الأكواع النهرية تتعرض إحدى الضفاف للتآكل، بينما تتسع الأخرى بسبب الترسيب، كما تشهد هذه القطاعات من الأنهار أخطر ظاهرة للحت الجانبي، ألا وهي الهجرة الجانبية للأنهار، حيث يتلوى النهر يمنة ويسرة ضمن سريره اللحقي، كما قد تتبدل مواقع الحت- الترسيب في ذات القطاع العرضي من النهر، فتتعرض أجزاء من ضفافه للإزالة، وبعد فترة زمنية تتعرض ضفافه المقابلة للحت حين يعاود الماء مهاجمتها، وهي ظاهرة ذات أبعاد خطيرة على مستوى تآكل الأراضي الزراعية وتغير مساحات الملكيات العقارية على طول ضفتي الأنهار. وتشيع في قطاعات من نهر النيل والفرات. صورة فضائية رقم (٥-٥).



صورة رقم (٥-٥) الأكواع النهرية في قطاع من مجرى الفرات بين بلدة معدان ومدينة الرقة في سورية، ويلاحظ كذلك الأكواع المهجورة (البحيرات الهلالية)، والجزر النهرية.

ومن المظاهر الناتجة عن الأكواع النهرية الجزر النهرية في الأسرّة اللحقية (الحويجات في منطقة الفرات)، بالإضافة إلى البحيرات الهلالية الشكل، شكل رقم (١-٥). (عادل عبد السلام: ٢٠٠٠، ص ٢٠٩). والتي تستخدم لأغراض متعددة كالزراعة والصيد والري، وهي من المظاهر الشائعة في القطاع الأوسط لنهر الفرات.



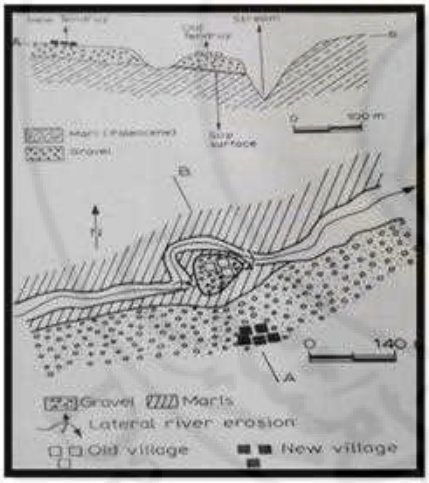
شكل رقم (١-٥) تغير مجرى نهر الفرات خلال الفترة بين(١٩٤٥-١٩٦١)م.

كما قد ينتج عن اتصال كوعين نهريين في قطاع نهري جبلي، بما يعرف بالجبال المقطوعة، وتتميز قطاعاتها العرضية بالعمق والشكل الخانقي، ومتانة الضفاف الصخرية. وانعدام أسرتها اللحقية أو شدة ضيقها، فتختفي الأراضي الزراعية، أو تكون محدودة، إلا أنها من أفضل المناطق لإقامة الفنادق والمطاعم والمنشآت السياحية الأخرى، لإشرافها على المظاهر الطبيعية الجاذبة للسياح كالخوانق والشلالات والأكواع النهرية، ولها استخدامات سياحية وعسكرية وهندسية في إنشاء الجسور والقواعد الحربية. وأشهرها عالمياً أكواع نهر كولورادو في الولايات المتحدة الأمريكية، صورة رقم (٦-٥).



صورة رقم (٦-٥) كوع نهري في مجرى نهر الكولورادو.

وقد تتعرض المدن أو القرى والأراضي الزراعية لخطر الحت الجانبي، وهي ظاهرة ملازمة للتجمعات السكانية والأنشطة البشرية الملاصقة للأنهار النشطة غير محمية الضفاف، وفي شمالي أسبانيا أمثلة حية عن بلدات عانت من خطر الانهيارات والانزلاقات النهرية، كبلدة بوغسيرجوس Puigcergos، التي تتعرض أطرافها الشرقية والغربية للحت النهري، لوقوعها بين ضفتي كوع نهري. شكل رقم (٢-٥)، لذلك تم بناء البلدة الجديدة إلى الجنوب الشرقي بعيداً عن النهر. في منطقة بعيدة عن خطر الحت النهرية.



شكل رقم (٢-٥) قطاع عرضي لبلدة Puigcergos في شمال أسبانيا، وخارطة للبلدة المعرضة للحت النهري.

كما تنشأ مشكلات سياسية ونزاعات حدودية بين الدول التي رسمت حدودها على مجاري مائية بالأخص عند قطاعات الأكواع منها، كما حدث بين الولايات المتحدة الأمريكية والمكسيك، عند منطقة أرتيستا بانكو Artesta Banco التي يمر بها كوع شكلّه نهر الريوغراند، وهو حد سياسي بين الدولتين منذ عام (١٨٩٨)م، ومع تطور الكوع النهري قطع العنق الفاصلة بين طرفيه، مخلفاً بحيرة هلالية، فأصبحت المنطقة المبتورة منه تقع في

المكسيك بعد أن كانت ملكاً للولايات المتحدة الأمريكية، وبالمثل حلت مشكلة بين الدولتين في منطقة ايلشمازال El Chamizal على مجرى النهر عام (١٩٠٥)م. (محمد الديب : ٢٠٠٢، ص ٦٦٤).

إن **لاستخدامات الأرض** دوراً بالغ الأهمية في زيادة معدلات الحت أو الحد منها، فقد بينت دراسات (Gregory & Walling 1973). أن حراثة التربة الزراعية ترفع من كميات الرواسب في الأنهار. إلا أن لنمط الزراعة أثراً لا يقل أهمية عن أساليبها، فكميات الرواسب في أنهار الأراضي الزراعة الكثيفة أقل منها في مناطق الأراضي المحروثة، وذلك لما لجذور النباتات من أهمية في تماسك حبيبات التربة، وإعاقة قدرة الماء على الحت والتعرية، فقد راوحت كميات الفاقد من التربة بالتعرية النهرية في أراض محروثة بدون زراعة في ولايات ميسوري وأوكلاهوما وأيوا الأمريكية، حوالي (١٩-٧٠) طن/ كم٢، في حين راوحت في أراض مزروعة بزراعات كثيفة بين (٠,٠٦١- ٠,٣٣) طن/كم٢، وراوحت النسب المئوية للجريان السطحي في كلا النمطين من الاستخدام (٨,٦-٢٨%) (٠,٩٧-٩,٣%) على التوالي. وفي ظروف مناخية متقاربة من كميات الهطل السنوي التي راوحت بين (٦٨٠-٨٨٤) مم. كما لوحظ ارتفاع كميات المواد المنحلة Dissolved loads في مياه أنهار حوض ياكيما Yakima بولاية واشنطن، فقد زاد معدل تركّزها بسبب استخدام الأسمدة الكيميائية من (٨٥ ملغ/لتر) إلى (٢٩٢ملغ/ل) في المياه العائدة إلى المصارف المكشوفة، وإلى (٤٣٥ملغ/ل) في المصارف المغلقة، وارتفعت كمية كربونات الكالسيوم في المياه قبل الري وبعده نحو (٥,٦) مرة. و تقل معدلات الجريان في الأحواض التي لا تمارس فيها حرفة الرعي عن تلك التي يمارس فيها الرعي بنسبة (٣٠%) وتنخفض كمية الرواسب بنسبة (٤٥%). ولا يتأثر معدل الحت فقط بنمط الاستخدام الزراعي، بل بتطور الوضع البيئي، فقد أدى تدهور الغطاء النباتي في مناطق من ولاية يوتاه الأمريكية من غطاء جيد راوحت نسبته بين (٦٠-٧٥%) إلى غطاء فقير بلغت نسبته (١٠%) نتيجة الرعي الجائر، إلى زيادة الجريان السطحي من (٢%) إلى (٧٣%)، وزيادة في فاقد التربة أو كمية الرواسب من (١٢) طن/كم٢ إلى (١٣٤٩) طن/كم٢.

في حين قارنت دراسات أخرى بين معدلات الحت في أحواض تصريف نهري ذات أراض متباينة الاستخدامات، حيث استُخدمت أراض بعضها في الزراعة، وأبقي على الغابات في أحواض أخرى، فتبين أن كمية الحمولة أو الرواسب في الأولى تعادل (١٠) مرات ما كانت عليه في الثانية، وأكثر بنحو (١٠٠) مرة من الأحواض التي تغطي سطحها غابات مخروطية مكتملة النمو، (عبد الحميد كليو: ١٩٨٥، ص ١٤). ومن المعروف جيومورفولوجيّاً أن للغطاء النباتي دوراً مهماً في تخفيض قدرة المياه السطحية على الحت، ولا يقتصر دور الغابات فقط على ما تقوم به جذورها وأوراقها المتساقطة من رفع كتامة السطح وتماسكه، بل إن أوراق أشجارها تتلقى الأمطار وتحول دون وصولها مباشرة إلى سطح الأرض، مما يعرّض كميات من مياهها للتبخر واحتجازها في تيجان الشجار وأوراقها.

٢- الترسيب النهري:

يجنح النهر للتخلي عن حمولته أو ترسيبها بشكل تدريجي وطردي مع انخفاض طاقته وقدرته على نقلها، إما بسبب انخفاض تأثير العامل الدافع له على الحركة وهو انحدار القاع، أو زيادة الحمولة وحجمها، أو بسبب العوائق الطبوغرافية أو النباتية أو الصنعية. لذلك تسود عمليات الترسيب في القطاعات الوسطى والدنيا من المجاري المائية، وتتعاظم خلال فترات الشح حيث تمر الأنهار بأضعف حالاتها. ولعملية الترسيب مظاهر خاصة ذات أهمية اقتصادية، حيث تنشأ الأسرّة اللحقية ومنها الضفاف النهرية، والجزر النهرية، كما تتكون المراوح الفيضية والدلتاوات عند مصبات الأودية والأنهار بفعلها. فتتقدم الدلتاوات في البحر طالما أمدّتها المياه الجارية بالرواسب، والعكس صحيح للدلتاوات التي حرمت من التغذية بالرواسب بسبب بناء السدود والخزانات المائية على أنهارها، مثال ذلك ما يحدث لدلتا نهر النيل التي تشهد تراجعاً في بعض أجزائها بسبب زيادة وتيرة الحت الساحلي على معدلات الترسيب النهري بعد بناء السد العالي، وقد تنشأ بعض الدلتاوات وتتطور بفعل التزود المفرط بالرواسب الناتجة عن أعمال التعدين، كما حدث لمصب نهر كويسنيل Quesnel أحد أهم روافد نهر فريزر Fraser في مقاطعة كاريبو Cariboo وسط كولومبيا البريطانية /ألاسكا، وقد استقبل مصبه في بحيرة كوينسيل فجأة نحو (٢٥) مليون طن من الرواسب ونفايات التعدين، بعد انهيار السد الصنعي الذي كان يحجز أحواض التعدين عن المصب، وذلك عام

(٢٠١٥)م، وقد تحملت شركة أمبريل البريطانية للتعدين المسؤولية كاملة. صورة رقم (٧-٥). وقد نجم عن هذه الاستثمارات خسائر في الثروة السمكية قدرت بنحو (مليار) دولار.



صورة رقم (٧-٥) نشوء دلتا نهر كويسنيل بسبب زيادة حجم الرواسب الناتجة أعمال التعدين في مجراه.

ومن الظاهرات الأكثر تأثيراً في حياة البشر، التي تجدد ترب الضفاف الفيضانات النهرية، وهي نتاج زيادة حجم الكتلة المائية عن قدرة المجرى على استيعابها. وعلى الرغم من أهميتها الاقتصادية إلا أنها من أكثر المخاطر الطبيعية التي تسبب خسائر بالأرواح والماديات. وتصنف الفيضانات حسب فترتها: إلى موسمية، وسنوية، أو حسب حجمها:إلى ضخمة أو متوسطة أو صغيرة، ويصنفها البعض حسب قوتها التدميرية: فتكون مدمرة أو خطرة أو متوسطة الخطورة، فقليلة الخطورة، أو غير خطرة. وقد شهد العالم بين عامي (١٩٨٥-٢٠٠٩) نحو (٢٨٩٣) فيضاناً، وتسببت بمقتل (١٧٥,٠٠٠) شخص، وألحقت الضرر بنحو (٢,٦٧٧) مليون إنسان. (Chan & Other: 2012. P 40). وقد وضع (Kim 1974) تصنيفاً لفيضانات نهر وادي هان Han التي حدثت قرب ديوجزو Deogso في كوريا، على أسس ثلاثة: تكرار حدوثها خلال(١٠٠)عام، وارتفاع منسوب المياه بالأمتار، وكمية التصريف (م٣/ثا). جدول رقم (١-٥).

ومما يزيد من مخاطر الدلتاوات أنها أراض واطئة قريبة من مستوى سطح البحر، فهي عرضة بشكل دائم لخطر ارتفاع مائه، كما حدث لسواحل ميانمار الجنوبية، التي ضربها إعصار نيرجس Nargis عام (٢٠٠٨)م، وتسببت بغمر (٥٠)كم٢ من دلتا نهر إيراوادي Irrawaddy، بطبقة من ماء البحر ارتفعت إلى (٤)أمتار، وقد تسبب ذلك بوفاة نحو (١٣٠,٠٠٠-١٤٦,٠٠٠) إنسان، وخسائر مادية تقدر بنحو (١٧) مليار دولار.

جدول رقم (١-٥) تصنيف فيضانات نهر هان.

التصنيف	التصريف م٣/ثا	مستوى الماء م	التكرارية خلال ١٠٠ عام
فيضانات تنذر بالخطر	١٤,٧	٨,٧	١٠٠-٥٠
فيضانات خطرة	٢٣,٢	١٠,٣	٢٠-١٠
فيضانات أكثر خطورة	٣٧,٣	١١,٦٩	٤-٢
فيضانات شديدة الخطورة (استثنائية)	٣٧,٦	١٢,٥٧	١ وأقل

أكدت بعض الأبحاث اليابانية المتعلقة بالفيضانات النهرية مثل دراسة (Oya 1966-1977)، و(Oya & Akagiri 1968) على نقاط رئيسة لا بد من تحديدها لدى دراسة مخاطر الجريان المائي:

١- ضرورة تحديد الأنماط التوزيعية للمناطق المعرضة لخطر الفيضانات، وتصنيفها.

٢- عمق مياه الفيضان.

٣- اتجاه تدفق مياه الفيضانات، والتغيرات المحتملة لمجرى النهر.

٤- تحديد مناطق الحت والترسيب.

٥- التنبؤ باحتمالية حدوث الفيضانات، وحجمها، ومناطق انتشارها، ومدتها.

واعتمد المتنبئون في مجال الفيضانات، على دراسة عاملين اثنين:

- الارتفاع أو الفارق الرأسي بين مجرى النهر والسهل الفيضي.
- شكل وهيئة الأراضي السهلية المنخفضة.

أثبتت الدراسات التي اعتمدت على هذين المتغيرين صحة نتائجها، كما حدث في حالة فيضان أنهار جنوب سهل نوبي Nobi عام (١٩٥٩)م. حيث تنبأ الجيومورفولوجيون بدرجة الفيضان ونمطه وعمقه واتجاهه، وأعدّوا خرائط خاصة بذلك منذ عام (١٩٥٥)م، وكانت أحداث فيضان عام (١٩٥٩)م، قريبة جداً من الاحتمالات التي وضعها الجيومورفولوجيون قبل أربعة أعوام.

وقد أعد (Oye 1967) خريطة جيومورفولوجية لفيضانات نهر مي كونغ Me Kong في اليابان بمقياس (١:٥٠٠٠٠) احتوت على العناصر الآتية: مناطق الغمر، واتجاه تدفق مياه الفيضان، وأنماط التصريف، و بيانات عن بدء الغمر، وفترة الغمر بالأيام، وعمق الغمر

وسمك الرواسب، ومناطق الرواسب الرملية، ومناطق تعرضت للحت، ومواقع الحواجز المؤقتة.

إن خطر الفيضانات لا يقف عند حد التدمير والغمر للممتلكات والمنشآت، بل قد يكون بعيد الأجل، وتختلف آثارها من دولة لأخرى، فدول نامية كبنغلاديش والباكستان تعتمد غالباً على خصائص المجاري المائية، والدورة المائية، في عودة المناطق المنكوبة إلى حالتها الطبيعية دون تدخلات مباشرة أو مجدية من قبل حكوماتها. في حين تتخذ مسألة الفيضانات في دول أوربيّة مثل المملكة المتحدة بُعداً آخر، فعلى الرغم من إيجاد الكثير من الحلول لمشكلة الفيضانات، إلا أن المملكة تعاني مشكلة أشد خطورة، حيث تعمل الفيضانات على نشر الملوثات من المجاري المائية التي تمثّل مصارف طبيعية لمخلفات المصانع والمعامل، وتحملها إلى السهول الفيضية بنسب مختلفة، ومن المعلوم بيئيّاً أن تطهير التربة، ومعالجتها من الملوثات الصناعية، أمر يتطلب جهوداً وأموالاً وزمناً أطول بكثير مما تتطلبه عمليات معالجة الأضرار التي تُخَلفُها الفيضانات بحد ذاتها. وهذا ما أظهرته دراسات (Maynard & Others: 2012)، عن جزء من نهر سويل Swale شمال يوركشاير Yorkshire، وفيه ترتفع مستويات التلوث على طول سهوله الفيضية، بعد بلدة كاتريك Catterick.

رابعاً- الدلتاوات، أهم مشكلاتها وطرق إدارتها:

يمكن من خلال دراسة دلتا مهمة عالمياً معرفة أهم خصائص الدلتاوات، وطبيعة العمليات المسؤولة عن نشوئها وتطورها، وأهم المشكلات التي تعاني منها، وكيفية إدارتها.

الجغرافية الاجتماعية والاقتصادية للدلتاوات:

تعد الدلتاوات من أفضل مناطق الاستقرار البشري لاجتماع العديد من العوامل الجغرافيّة المناسبة لذلك، كالماء العذب والتربة الخصبة والنقل النهري – البحري الرخيص، لذلك نشأت فيها الزراعة المبكرة والحضارات القديمة، وتضم حالياً أكبر المراكز الحضرية في العالم، مثل (شنغهاي وبانكوك والقاهرة)، كما أنها تمثل مواقع الثقل الديموغرافي – الاقتصادي في بعض أكبر الدول كالصين، فبالرغم من أن مساحة دلتا نهر بيرل Pearl River Delta لا تزيد على (٤١,٧٠٠) كم٢، وهو ما يعادل (٠.٥%) من مساحة جمهورية الصين الشعبية، إلا أنها تعد الإقليم الاقتصادي الأسرع نشاطاً في العالم، وقد بلغت قيمة مشاريعها عام (٢٠٠٧)م، نحو (٤٤٨) مليار دولار أمريكي، تنتج نحو (٢٠%) من إجمالي

الناتج الوطني، وفيها أكثر من(٣٠%) من الاستثمار الأجنبي المباشر، و(٤٠%) من الصادرات الوطنية.

لكل ما سبق تعرف الدلتا باسم "مصنع العالم World's Factory" و"المعجزة الاقتصادية economic miracle " استقطبت ملايين المهاجرين إليها لتوفر فرص العمل، فازداد عدد سكانها أكثر من عشرة أضعاف خلال ثلاثة عقود، حيث بلغ عددهم عام (١٩٨٠)م نحو (٤,٦) مليون نسمة، وصل إلى (٦٠) مليوناً عام(٢٠٠٨)م، ومن المتوقع أن تتضخم مدن المنطقة، مثل هونغ كونغ وشنتشنو وقوانغتشو، فيبلغ عدد سكانها مجتمعة أكثر من(٨٠) مليون نسمة بحلول عام(٢٠٣٠)م، وقرابة(١٢٠) مليون نسمة بحلول عام(٢٠٥٠)م، ومن المتوقع أن تتحد سلسلة المدن التسع في الدلتا وهي: قوانغتشو وشنتشن وتشوهاى وفوشان، وجيانغمن، ودونغقوان، وتشونغشان، هويتشو، تشاوتشينغ، بالإضافة إلى مناطق إدارية من ونغكونغوماكاو، لتشكل إقليماً سكانياً هو الأكبر عالمياً، يأتي هذا النجاح الاقتصادي نتيجة للتخطيط الإقليمي المعتمد على الاستفادة القصوى من المقومات الجغرافية للدلتا، فاتسعت الموانئ وامتدت شبكة الطرق والسكك الحديدية.

وتشير التقديرات إلى أنه من المتوقع بحلول نهاية القرن الحالي، أن يراوح ارتفاع مستوى سطح البحر بين (١٨ – ٥٨)سم، إلا أن تقديرات حديثة أكدت ارتفاعه إلى أكثر من(١٨٠) سم (El Raey :2010) مما يعني تعرض الملايين للتشرد والهلاك بنهاية هذا القرن، إذا لم يتم تدارك مشكلات الدلتاوات بإدارة متكاملة وصحيحة.

خامساً– أهم المشكلات والمخاطر الناتجة عن العمل النهري:

تتنوع المخاطر والمشكلات الناتجة عن الأنهار بين محلية ودولية، وتخضع الأولى لإجراءات كل دولة حسب قدراتها التقنية والعلمية، أما الأحواض الدولية فقد عُقدت الاتفاقيات بشأن فض الخلافات والنزاعات عليها، وأهمها اتفاقية هيئة الأمم المتحدة عام (١٩٩٧)م، التي تضمنت قانون الاستخدامات غير الملاحيّة للمجاري المائية الدولية (Law of the Non-Navigational Uses of International Watercourses)، الذي ينظم إدارة الأنهار بين اثنين أو أكثر من الدول، كالتجارة وصيد الأسماك، وتوليد الطاقة، والري،

والترفيه، والحفاظ على الأسماك والحياة البرية، والتلوث، ومجموعة كبيرة من الأنشطة وغيرها من القضايا. (Caan & Others: 2008. P 2).

تمثل الفيضانات النهرية أكثر الظواهر الطبيعية تكرارية على سطح الأرض. وقد تحدث على نطاق محلي أو عالمي، فمثلاً شهد عاما (٢٠١٠-٢٠١١) فيضانات مدمرة على طول حوض نهر السند في باكستان في آب من عام(٢٠١٠). وتضرر منها نحو(١٧٨) مليون شخص، وتجاوزت الخسائر الإجمالية نحو(٤٠) مليار دولار. كما غمرت الفيضانات مناطق واسعة من ولاية كوينزلاند الأسترالية، وجنوب أفريقيا وسريلانكا والفلبين. وشهد عام(٢٠١١)م العديد من الأحداث الكارثيّة بسبب الفيضانات التي صاحبها انهيارات طينية في منطقة سيرانا البرازيلية. كما غمرت الفيضانات ضفاف نهر المسيسبي في منتصف ذلك العام، وفي مناطق واسعة من تايلاند، بما في ذلك بانكوك. (Jha: 2012. P 20-22).

إلا أن السلوك الهيدرولوجي للأنهار لا ينحصر فقط بالفيضانات، فهي تمر بمرحلة الشح التي ينخفض فيها مستوى الجريان المائي في أسرتها إلى أدنى مستوياته، ولهذه الظواهر دور مهم في تحديد المنافع التي يمكن الحصول عليها من الأنهار، بل إنها تتحكم بأنواع المشاريع المقامة عليها، فتصبح الأولوية لمشاريع الشرب، ثم الري، كلما انخفض حجم الوارد المائي للنهر. كما تتحدد مهمة السدود حسب كمية الجريان السطحي، حيث تُبنى السدود عموماً عندما يكون (٢٥%) من مياه الأنهار السطحية متوفراً، وتستخدم السدود التخزينية إذا تجاوزت نسبة احتمال الفيضانات (٥٠%)، في حين تصمم مشاريع الري في حال بلغ احتمال أن تكون السنة شحيحة بنسبة (٧٥%). (مريم عيسى: ٢٠١٥، ص ٣٢٩).

ويمكن تحديد المشكلات الجيومورفولوجية ذات الأبعاد الاقتصادية والسياسية الخطيرة بما يلي:

١- يعمل الحت الرأسي على تعميق المجرى وانهيار الجسور والطرقات بسبب هبوط قاع المجرى الذي أنشئت عليه الجسور والسدود والطرقات.

٢- تتراجع الشلالات تحت وطأة الحت التراجعي، مما يتسبب بخسائر للمشاريع السياحية والتجارية والصناعية التي أنشئت بجوارها. ويخلق مشكلات سياسية بين الدول التي جعلت منها حدوداً لها، كما حدث بين كندا والولايات المتحدة الأمريكية منذ عام

(١٨١٩)م، فقد رسمتا الحدود بينهما على قوس شلالات نياغارا التي تتخذ شكل حدوة الحصان the Horseshoe Falls، وهي في حالة تراجع مستمر.

٣- تسبب عمليات الحت التراجع تغيراً في مواقع خطوط تقسيم المياه، مما ينذر بمشكلات سياسية إذا رُسّمت الحدود الدولية عليها، كما حدث بين تشيلي والأرجنتين، اللتين رسّمتا حدودهما على خط تقسيم المياه لجبال الأنديز، وهو متغير بطبيعته، فبعد ثلاثة قرون من النزاع، اتفقت الدولتان عام (١٨٨١)م على أن يتسق الخط الفاصل بينهما مع خط تقسيم المياه، وبذلك وقع المعنيون بالاتفاق في أخطاء جيومورفولوجية، كان لها انعكاسات تطبيقية غاية في الخطورة، ومع استمرار النزاع أحيل إلى المملكة المتحدة لفضه، فوجه الملك إدوارد السابع أمراً إلى الجغرافي الشهير السير هولدشن للتحقيق الميداني، وتم تحسين الاتفاقية، وحُل النزاع بين الدولتين عام (١٩٠٨)م، وبالمثل تؤثر الأنهار الحدودية مشكلات دولية مما دفع دول العالم للاتفاق عام (١٩٢٠)م على الملاحة في الأنهار الدولية (محمد ديب : ٢٠٠٢، ص ٦٥٩).

٤- يسبب الحت عموماً انجراف الترب، وتتعاظم المشكلة كلما ارتفعت كثافة المجاري المائية كما هي الحال في الأراضي السيئة. صورة رقم (٨-٥).



صورة رقم (٨-٥) أراض سيئة شديدة التخدد.

٥- يؤدي الحت الجانبي للضفاف إلى انهيارها وانزلاقها، مما يتسبب بتدمير المباني والمنشآت التي أقيمت عليها جزئياً أو كلياً، وانخفاض مساحة الأراضي الزراعية.

٦- تؤدي عملية الهجرة الجانبية للمجاري المائية عند الأكواع النهرية إلى تغيرات في شكل السهل الفيضي والقنوات المائية، والحيازات الزراعية، مما ينجم عنه مشكلات عقارية واقتصادية. كما تسببت الأكواع النهرية بانهيار الطرقات والابتعاد عن مواقع الجسور، فهي أكثر أجزاء النهر تغييراً لمواقعها.

٧- في حالات شائعة يخترق النهر ضفته عند الأكواع في ظاهرة تعرف بالتخطي، وفيها يخرج النهر عن مساره الطبيعي، ويتخذ مساراً جديداً، وهو ما عانت منه بلدة أبسوم Epsom، المقامة على نهر سونكوك Suncook، في عيد أم الفيضانات عام (٢٠٠٦)م، عندما حطّم النهر سد هوكينغ ميل Huckins Mill، في ولاية نيوهمبشر شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية، غامراً كل ما واجهه من أراض وممتلكات.(Drive: 2016. P2).

٨- يمكن لتوسع الجزر أن يتسبب بخلافات عقارية، كما يمكن أن يفقدها ميزات خاصة، فتنخفض أسعار المطاعم والمباني التي اتصلت من جهتها الجزيرة بالضفة النهرية.

٩- تعاني بعض المجاري المائية من اختناقات في قنواتها، وذلك بسبب انخفاض الجسور أو العبارات والأنفاق. مما يتسبب بغمر الطرقات والفيضانات للجسور، وتعطيل حركة المرور.

١٠- تدمر العديد من الطرق والمزارع والمنشآت في مناطق المراوح الفيضية، نتيجة تغيير المجاري المائية المضفرة Streams braided لمواقعها، وهي سمة مميزة لهذا النوع من المجاري المائية، وقد تسبب نهر ماتانوسكا Matanuska جنوب وسط ألاسكا، على مدى عقود من الزمن، بكثير من الدمار والخسائر بسبب تغيير مجراه لمساره، ففي دراسة جيومورفولوجية رصدت نشاط المجاري المضفرة المكّونة للنهر خلال الفترة بين عاميّ (١٩٤٩-٢٠٠٦)م، تبين أن نحو (١٠٠)كم من الضفاف ابتداء من مصب النهر نحو عاليته، تتعرض للتآكل المستمر، وراوحت قيم الحت بين (٧٥- ٣٥٠)م، وبلغت نسبة مساحة المناطق الأكثر عرضة لخطر حركة المجاري المضفرة – التي توصف حركتها بالدورية periodic- نحو (٣١%) من أجمالي السهل الفيضي للنهر.(Curran & Mc Teague :2011. P 1-7). صورة رقم (٩-٥).



صورة رقم (٩-٥) انهيار أحد المنازل بسبب الحت الجانبي للنهر.

١١- تعاني دلتا نهر اليانغتسي Yangtze وتيانجين Tianjin، من هبوط سطح الأرض بمعدل (١١سم/سنة) منذ عام (١٩٨٠)م، وتجاوز الهبوط نحو (٣) أمتار في عام (٢٠٠٠)م، ومترين وسط شنغهاي. وقد تسبب استخراج الماء من دلتا تشاوفرايا Chao Phraya في تايلاند بهبوط سطح الأرض بمعدل (١٠)سم/سنة منذ عام (١٩٧٠)م.

١٢- تدمر الفيضانات الجسور والطرقات وتغمر الأراضي الزراعية والمباني، كما حدث لمدينة نيوأورليانز بفعل فيضانات المسيسبي أثناء إعصار كاترينا (٢٠٠٥).

١٣- لا تنتهي مشكلات الفيضانات بانحسار الماء، بل تبدأ مشكلات أخرى كتغريق الترب، واختناق جذور النباتات، وتدهور حالة المنازل الخشبية التي تنتفخ جدرانها بتشربها للماء فتتفكك وتتداعى أسقفها - وهو ما حدث لمعظم مباني مدينة نيوأورليانز التي نجت من غمر الفيضان - فضلا عن مشكلة التلوث بمياه الصرف الصحي التي خرجت من مصارفها مع ارتفاع منسوب المياه من النهر خلالها.

١٤- تغير منسوب مستوى المياه الجوفية بانخفاض مناسيب الأنهار، وارتفاعها، مما يتسبب بإضعاف الترب والصخور، وعدم استقرار ما فوقها من منشآت.

١٥- جفاف الينابيع الكارستية ذات السويات الطبوغرافية العليا، مع انخفاض منسوب المياه الجوفية، التابع بدوره لمستويات مياه الأنهار، واستنزافها بالاستخدامات البشرية المفرطة.

١٦- إنتاج كمية هائلة من الرواسب في فترة قليلة من الزمن، فقد نتج (٢٥%) من إجمال رواسب حوض سانتا كلارا على مدى سجله الرسوبي بين عامي (١٩٢٨-٢٠٠٠)م، في أربعة أيام فقط، في حين تم نقل نحو (٥٠%) من إجمالي رواسب الحوض أي نحو (٥١) مليون طن خلال خمسة أيام فقط بين عامي (١٩٥٣-٢٠٠٩)م.

١٧- تحدث خسائر مادية كبيرة بسبب تدهور حالة البنية التحتية بفعل الفيضانات النهرية، وقد بلغت في المملكة المتحدة بين عامي (٢٠٠٧-٢٠٠٩)م، أكثر من(٣٢٠٠) مليون جنيه، وقُدر أن هناك (٢,٤) مليون عقار عرضة لخطر الفيضانات من الأنهار والبحار وهو ما يعادل (١١%) من الأراضي في بريطانيا، ومخاطر كبيرة على (٥٥%) من محطات المياه وضخ مياه الصرف الصحي، و(٢٠%) من السكك الحديدية، و(١٠%)

من الطرق الرئيسة، و(١٤%) من الكهرباء، و(٢٨%) من البنية التحتية لتمديدات الغاز. وقد أشارت الأبحاث الحديثة أيضا إلى أن أكثر من(٥٠%) من الأراضي الزراعية تقع ضمن دائرة خطر.

١٨- تعرض أراضي الدلتاوات بسبب انخفاضها وقربها من مستوى سطح البحر للفيضانات البحرية المستمرة، كحال دلتا نهر بيرل، التي عانت من خطر الحت البحري، وتأثيرات المد والجزر، والفيضانات النهرية والبحرية وانجراف التربة والأعاصير الاستوائية، وقد تسبب إعصاري كوبيو Koppu وهاغيوبيت Hagupit عامي (٢٠٠٨-٢٠٠٩)م على التوالي، برفع مستوى سطح البحر متراً واحداً، وغمر المناطق الحضرية المنخفضة من مدينتي تاي أو Tai O و شينغ وان Sheng Wan، وقد أكدت دراسات (Zhang et al. 2011) أن متوسط مستوى سطح البحر قد ارتفع (٢٦)ملم، بين عامي (١٩٥٤-٢٠٠٩)، ومن المتوقع أن يغمر ارتفاع مستوى البحار أكثر من(٢٠٠٠)كم٢ من الأراضي المنخفضة الساحلية.

١٩-تُسبب قلة أعماق المجاري المائية المضفرة وضحالتها في المراوح الفيضية والدلتاوات، سرعة حدوث الفيضانات نحو السهول الفيضية، كما أن نمط هذه المجاري يجعل من قياس سرعة التيارات المائية فيها، وكذلك تقييم قدرتها على الحت. فقد أكدت دراسات أجريت على قوة التدفقات المائية في أنهار ودلتاوات انجلترا وويلز والدانمرك وميسيسيبي، أن قوة تيارات المياه في المجاري المضفرة مختلفة بشدة، فقد راوحت بين (٥٠-٣٠٠ واط/ م٢)، بينما تبلغ قوة المياه في المجاري العادية نحو (٣٥ واط /م٢)، وتراوح في السهول الفيضية التي تشهد مجاريها هجرة جانبية بين (١٠-٦٠ واط /م٢). ما يعني أن التعامل مع المجاري المائية في الدلتاوات، التي تنتج طاقة جيومورفية متباينة، يتطلب إجراءات هندسية ذات مرونة عالية وغير تقليدية، مع العلم أنه وبموجب تحديد العلاقة بين الانحدار وقوة التيارات المائية وقدرتها على الحت، ومقاومة مواد الضفاف لذلك، يمكن التنبؤ وبدرجة عالية من الدقة باتجاه تطور المجاري المائية وعدم استقرار قنواتها. وهو ما تم بالفعل من خلال دراسة (٢٧٠) مجرى ونهر (Bledsoe and Watson :2006) في بيئات مختلفة من العالم.

٢٠- إن نمط المجاري المائية السائد في الدلتاوات والمراوح الفيضية يزيد من خطورتها جيومورفولوجياً، فشكلها المضفر والمتداخل وتعقيد آليات الحت والترسيب فيها، يؤدي إلى انسدادات عديدة فيها، فتُغير مساراتها ومواقعها بشكل مستمر، مما يعني صعوبة التنبؤ بتطورها، وبالتالي العجز عن حماية المنشآت والمدن والأراضي من خطر الفيضانات والحت والترسيب.

٢١- إن توفر شروط الاستقرار البشري من مياه عذبة وتربة واستقرار بنائي، جعل من الدلتاوات والمراوح الفيضية من أكثر المناطق استقطاباً للسكان، وبالتالي فإن الخسائر الناتجة عن مخاطرها تكون عالية. على سبيل المثال، ما حدث لسواحل ميانمار الجنوبية، والتي ضربها إعصار نرجس Nargis عام (٢٠٠٨)م، وتسبب بغمر (٥٠)كم٢ من دلتا إيراودي Irrawaddy، بطبقة من ماء البحر ارتفعت إلى (٤)أمتار، فأودت بحياة مابين (١٣٠,٠٠٠-١٤٦,٠٠٠) إنسان، وخسائر مادية قُدّرت بنحو (١٧) مليار دولار.

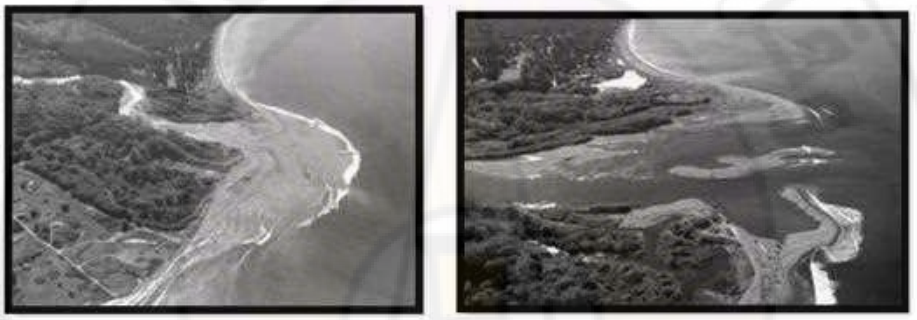
سادساً- استراتيجيات حل المشكلات النهرية:

أعتمد منذ ثلاثينيات القرن الماضي على ما يعرف الهندسة الصلبة Hard Engineering لدرء مخاطر فيضانات الدلتاوات، كالسدود والحواجز الرملية والجدران الإسمنتية، إلا أن النتائج الحالية أكدت ضرورة تغيير النهج المتبع، وتبني سبل الهندسة المرنة أو الناعمة Soft Engineering، كإعادة ترميم الغابات وزراعة الأعشاب البحرية وترك هوامش حرة من الدلتاوات - تختار الحديثة منها - لتقوم بعملها الطبيعي من ترسيب وحت، واستخدام القديمة المعطلة لأغراض التحضر والزراعة.

ومع تطبيق مشاريع ترميم بعض الدلتاوات في الدول المتقدمة لأهداف بيئية كالولايات المتحدة الأمريكية، **وتبني سياسة الإدارة المتكاملة للسواحل**، أبدت دلتا نهر **إلوا** Elwha الذي يمتد ضمن الحديقة الوطنية الأولمبية Olympic National Park في ولاية واشنطن معافاة تدريجية وزيادة في نشاطها الترسيبي، حيث تقدمت باتجاه المحيط واستعادت حيويتها، صورة رقم (١٠-٥). كما تحسّنت الموائل الطبيعية التي ترتبط بها، وذلك بعد عامين فقط من إزالة السد الذي كان يحتجز رواسب النهر، صورة رقم (١١-٥). وقد تم

إزالته مع سد آخر كجزء من برنامج وطني لترميم النظام الإيكولوجي لمواطن سمك السلمون بتكلفة (٣٢٥) مليون دولار، وقد بدأت أعمال الإزالة في شهر أيلول من عام (٢٠١١)م، وتم الانتهاء منه في آب من عام (٢٠١٤)م. وتم بالفعل زيادة (٧٠) فداناً للمصب عند مضيق خوان دي فوكا Juan de Fuca على ساحل المحيط الهادي.

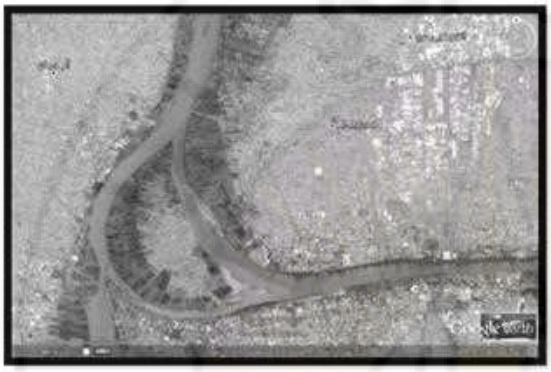
أما في مصر- هبة النيل- فعلى الرغم من إنشاء السد العالي لضبط إيقاع نهر النيل واستثمار مياهه في توليد الطاقة الكهر- مائية وفي عمليات الري، إلا أن مشكلات عدة برزت بعد سنوات من إنشائه، حيث تناقصت خصوبة الترب الزراعية وانخفضت التغذية بالمخصبات الطبيعية للفيضانات، وتدنى مستوى الحت على ضفافه بانخفاض منسوبه.



صورتان (١٠/١١-٥) دلتا نهر إلوا قبل إزالة السد (٢٠١٤)م على اليمين، وبعد إزالته (٢٠١٥)م على اليسار.

كما انتشرت الحواجز Bars والجزيرة Island، فتطورت بعض الأكواع النهرية، فتغيرت معالم النهر ودلتاه، وعلى الرغم من انخفاض معدل التزود بالرواسب بعد بناء السد، إلا أن الصور الجوية تؤكد نمو وتطور بعض الجزر النهرية في أجزاء متفرقة من إقليم مصر الوسطى، ويفسر ذلك بانخفاض منسوب المياه وعدم قدرتها على نقل حمولتها مما رفع من كمية وتركيز الرواسب فيها، فتخلت عنها حول الجزر القديمة التي اتسعت بدورها. وأحدثت تغيرات مهمة في جيومورفولوجية النهر، فمن المتعارف عليه جيومورفولوجياً أن تشكل الجزر النهرية يسبب انقسام التيار المائي على جانبيها، فيتعمق الجانب الذي يستقبل كمية مياه أكبر، ويضمحل الآخر، متعرضاً بشكل تدريجي للترسيب والإطماء لضعف التيار المائي فيه، فيتصل بالسهل الفيضي القريب منه، وتنتقل كتلة الماء بكاملها لتضغط على الجانب الآخر، الذي يتسع في حال واجه ضفة ذات تكوينات طرية، أو يتعمق في حال كانت الضفة

صلبة أو مثبتة بجذور الأشجار والنباتات، وقد يحدث الأمران معاً. وبجميع الحالات يتغير شكل المجرى المائي وسهله الفيضي، وينتج عن ذلك كسب أراض زراعية في منطقة الالتحام، وخسارة لها في منطقة التوسع. وهو ما حدث في مناطق من بلدات (بني مزار وبيا وبني سويف والمنيا) في صعيد مصر، فنشأ عن ذلك مشكلات عقارية وأسرية. وبالمثل تعاني جزيرة (توتي) وسط الخرطوم، من تقويض جوانبها الشرقية بالحت الذي يمارس النيل الأزرق، وتتسع أطرافها الشرقية بالإطماء عليها بفعل نهر النيل. صورة رقم (١٢-٥).



صورة رقم (١٢-٥) جزيرة توتي وسط الخرطوم الكبرى.

وقد أكد (طه جاد ١٩٨١) على نجاح بعض الإجراءات التي اتخذتها الدولة والمتمثلة بالإكساءات الحجرية والسدود الجانبية، وبناء المسننات والرؤوس الأسمنتية التي تعمل على تلقي ارتطام مياه النيل بجوانب المجرى وتحولها نحو وسطه. إلا أنها تتعرض للانهيار المستمر بسبب انخفاض منسوب مياه النيل، مما أدى إلى حت جوانب المجرى تحت الإكساءات والرؤوس الحجرية، وبالتالي انهيارها تحت تأثير الجاذبية، لتؤدي دور المصيدة لاحقًا فتحتجز رواسب ونباتات وحطام خلفها. (أحمد سالم :١٩٨١،ص ٣٥-٤٧). وقد هددت هذه العملية بعض المناطق بالإزالة، إلا أن السدود والإكساءات ساعدت على تخفيف حدة التراجع نحو اليابسة. والنتيجة الأهم على الصعيد الجيومورفولوجي هي تغير شكل المجرى ومواضعه، وما يتبع ذلك من تغير في خصائص مقطعه العرضي وقاعه وسرعة تياراته. مما ينعكس بشكل مباشر على سهله الفيضي من حيث المساحة والامتداد وطبيعة الرواسب، وما يقوم عليها من نشاطات اقتصادية وعمرانية وخدمية.

إن تغيير المجاري المائية لمواقعها قد يسبب في حال اختلف مالك الأرض على جانبي المجرى، مشكلات عقارية وزراعية، بسبب تآكل الأراضي الزراعية نتيجة لهجرة النهر نحو الضفة المعرضة للحت. وقد أورد شوم Schumm حادثة قضائية لجهتين أدعتا ملكية جزء من السهل الفيضي لنهر سنيك Snake في ولاية ومينغ Wyoming الأمريكية، عام (١٨٨٣)م، الذي تشكل بفعل تغير موقع جريان النهر. وقد قضت المحكمة آنذاك، بحكم ارتكز على فكرة خاطئة سادت حينها، وهي أن موقع المجرى ثابت لا يتغير. إلا أن الدراسات الجيولوجية والجيومورفولوجيا اللاحقة أكدت صحة وجهة نظر الدفاع، وخطأ قرار المحكمة، كون تغيير المجاري المائية لمواقعها أصبحت حقيقة لا ريب فيها. كما أثار قضية مهمة فرضتها الظروف العسكرية بعد الحرب العالمية الثانية، وهي اختيار مواقع دفن النفايات السامة والتخلص من النفايات الإشعاعية، التي يجب أن تكون بعيدة عن مصادر المياه السطحية ومجاريها، بمسافات تتناسب أولاً مع مدى الخطر لهذه الإشعاعات. وثانياً مع نشاط ومعدلات عمليات الحت وهجرة الأنهار نحو مدافن النفايات المختارة. (Schumm : 1977. Pp 120- 121). وينطبق ما سبق على معظم دول العالم التي حولت مجاريها الطبيعية إلى قنوات صرف صحي ومنزلي، ويتعاظم خطر هذه الممارسات في حالة الأنهار ذات التدفق البطيء أو المياه القليلة، أو الأودية موسمية الجريان.

إن توجه الدراسات الجيومورفولوجية لدراسة أحواض التصريف يجب أن تشمل ماضيها وحاضرها ومستقبلها، فللتاريخ الجيومورفولوجي أهمية خاصة في تحديد مواقع الحت والترسيب القديمة، ويمكن من خلال مقارنتها بالحالية، توقع سلوك النظام الجيومورفولوجي للحوض مستقبلاً مع الأخذ بالحسبان مجمل التغيرات الطارئة عليه. كما يساعد في فهم الظاهرات الموروثة والمتكررة. وتحديد المناطق الآمنة التي ابتعدت عنها المجاري المائية، فنجت من عمليات الحت والترسيب، ويمكن تحديد مناطق الخطر ومستوياته، من خلال تحديد المناطق المعرضة دائماً أو بشكل متقطع للحت والترسيب، إضافة لبقية العمليات الجيومورفولوجية الشائعة، كالتجوية والانهيارات وحركة المواد على السطح. وتأثير اتساع المساحات الإسمنتية والإسفلتية على رفع معدل المياه الجارية باعتبارها أسطحاً كتيمة.

وللوصول إلى فهم متكامل للحوض، لا بد من النظر إليه من جوانبه الجغرافيّة والجيومورفولوجيّة، وهي رؤية يتميز بها الجيومورفولوجي ذو الخلفية الجغرافية. فلا يغيب عن

ذهنه مجمل ما على السطح من عوامل طبيعية وبشرية، مع التركيز على ما يؤثر في المُركب الجيومورفولوجي للحوض، وقد أظهرت بعض الأبحاث أن استجابة النظام البيئي للتيار المائي، لا يمكن تحديدها إلا عندما يبلغ إجمالي مساحة الأراضي الكتيمة total impervious area (TIA) نحو (١٠٪) من إجمالي مساحة الحوض النهري. وتتباين هذه الاستجابات بين زيادة في حجم المجرى المائي، كما حدث في مناطق من جبال روكي وبيدمونت Piedmont ونيو أنكلاند New England حسب دراسات (Hammer 1972)، وزيادة عمق المجاري المائية بالحت والتعمق incision، كما قد تحدث زيادة في معدلات الترسيب في حالات خاصة. وغالباً ما تكون استجابة الأنهار للتغيرات البشرية نمطيّة، فقد أكد (Wolman 1967)م أن العديد من المجاري المائية تبدأ بالإطماء، ثم بالحت والتعمق، وأخيراً بتوسيع المجرى المائي، وهو ما عرف لاحقاً بنموذج ولمان Wolman Model. .(Fitzgerald:2007)

إن تتبع مراحل تطور حوض نهر سانتا كلارا في كاليفورنيا، يعطي صورة دقيقة عن حجم التغيرات الجيومورفولوجية التي تعرض لها الحوض بسبب تغير طرق الاستخدامات البشرية المختلفة، (Avenue :2011). ويمكن اختصارها على النحو الآتي:

١- مرحلة قبل الاستعمار الأوروبي (١٧٦٠-١٨٢٠):

غطت مساحات واسعة من الغابات سطح لأرض، وكان الحوض يخضع فقط لتذبذب الفيضانات والجفاف، أي إنه كان حوضاً طبيعياً بامتياز .

٢- مرحلة الاستيطان وتربية الماشية (١٨٢٠-١٩١٠):

انتشرت تربية الماشية، فتدهور غطاء الحشائش المعمرة. واستعيض عنه بنباتات غير محلية أقل قدرة على مقاومة انجراف التربة. كما تسبب جفاف منتصف عام(١٨٦٠)م. بتحول خطير بأساليب تربية الماشية التقليدية، التي تحولت من رعي الماشية إلى رعي الأغنام، مما سَرع في إزالة الغطاء النباتي وتعرية الترب، وأسهم في تآكل ضفاف النهر وتغير خصائص جريانها لسطحي. إلا أن المرحلة لم تشهد قطعاً مفرطاً للأشجار في المناطق المرتفعة من الحوض لعدم الحاجة الملحة إلى ذلك. عكس ما لحق بغابات السهول، التي تعرضت للإزالة بالكامل بهدف التدفئة، وإعداد الأراضي للرعي والزراعة. كما جُرّفت سفوح التلال وسُويّت لأغراض زراعيّة، فزادت حاصلاتها من الرواسب. كل ذلك سبب زيادة

في حجم الفيضانات وتآكل الضفاف وارتفاع مستويات المياه الجوفيه عند السهول والمصب. وفي هذه الفترة أنشئت العديد من المكاتب الحكومية لدراسة الوضع، ومنها المكتب الوطني للغابات في لوس أنجلس عام (١٨٩٢)م.

٣- مرحلة الري والسدود التحويلية وتعديلات النهر (١٩١٠-١٩٩٠)م:

شهدت هذه المرحلة تنمية واسعة النطاق للبنية التحتية بهدف تأمين المياه لتلبية الطلب المتزايد عليه مع زيادة الاستخدام الزراعي والاستيطان على طول وادي النهر، ونمو استخدامات أخرى كالتعدين والتنقيب عن النفط، وهي من الأعمال التي رفعت معدلات تدمير سطح الأراضي، إضافة إلى مد الطرق والسكك الحديدية، والتوسع الحضري. كما تم استكمال النقص في كميات المياه السطحية بسحب المياه الجوفية. فزادت وتيرة تدهور المصاطب النهرية الكبيرة التي وصلت إلى حد الإزالة، وأنشئ أول سد كبير على خانق وادي دراي Dry عام (١٩١٢)م، إلا أنه تم الاستغناء عنه لاحقاً عام (١٩٦٠)م بسبب تعاظم معدلات الترسيب في بحيرته، وتم بناء قناة في وادي أوينز Owens Valley في ولاية لوس أنجلس عام (١٩١٣)م. كما بني سد سانت فرانسيس عام (١٩٢٦)م على خانق فرانسيسكو Francisquito، إلا أنه انهار عام (١٩٢٨)م محدثاً واحدة من أكبر مآسي السدود في تاريخ الولايات المتحدة الأمريكية، واستمرت ثورة بناء السدود، وبالأخص بعد فيضان (١٩٦٩)م.

٤- مرحلة التعمير (التحضر) (١٩٨٠-٢٠١٠)م:

هي الأكثر أهمية، بسبب تزايد معدل التنمية الحضرية في مقاطعات فنتورا ولوس أنجلس من الحوض، واللتين تشهدان أكبر نسبة نمو حضري. ولحقتها مناطق من أوكسنارد، سانتابولا، وفيلمور.

وزادت الفيضانات ضراوة خلال هذه الفترة، فتعرض شكل المجاري المائية للتغير على نحو متزايد لغرض توفير متطلبات التنمية، وذلك جنباً إلى جنب مع البنية التحتية المرتبطة بها. بهدف السيطرة على الفيضانات وحماية الضفاف من تدفق الحطام. كما تصاعدت وتيرة نشاط التعدين في المناطق العليا من الحوض، وضمن أسرّة أنهاره، إلى أن منعت مقاطعة فنتورا هذا النشاط عام (١٩٨٦)، وأوقفت جميع عمليات التعدين. كما ساعد بناء سد فيرن-

فريمان التحويلي عام(١٩٩٢)م، على استقرار أعمال حفر سرير النهر، وارتفاع قاعه تدريجياً بالترسيب الطبيعي وتعافيه التدريجي مما خلفته أعمال التعدين من أضرار.

ومن الناحية الجيومورفولوجية فإن انتشار السدود وانخفاض عدد العواصف المطيرة، واتساع رقعة الأراضي الزراعية، سببّ خللاً في توازن النهر، وتغيراً في سلوكه الهيدرولوجي، فمع ازدياد عدد السدود، انخفضت نسبة الرواسب في مياهه، إلا أن صرف مياه محطات المعالجة في مجراه، أعاد له بعض قدرته على حت الضفاف وتغير شكل قنواته، وفي سنوات الفيضانات الكبرى استطاع أن يحمل كميات كبيرة من الرواسب إلى دلتاه. يقابلها في سنوات الجفاف تراجع ملحوظ في قدرته على تزويدها بالرواسب، فيغلب عليها التراجع والتآكل بفعل الحت البحري، مما استدعى وجود إدارة ذات استراتيجية مرنة ومتنبهة لأي تغير في الحوض، وبالأخص تفاقم مشكلة النمو السكاني والحضري.

سادساً- الحلول المقترحة لحل مشكلات الأنهار ومواجهة خطرها:

يمكن من خلال ما سبق طرح مجموعة من الحلول لمواجهة مخاطر عمل المياه الجارية أو الحد منها، وهي:

١. إجراء دراسات تفصيلية عن مظاهر سطح الأرض لتحديد أشكالها وأبعادها ومواقعها، والعمليات الجارية عليها، من حيث الفعالية والتكرارية والاتجاه العام لها، مما يستدعي القيام بالقياسات الميدانية المستمرة لأبعاد المجاري المائية وأعماق الأسرّة المعرضة للحت. مع المراقبة والمتابعة باستخدام الصور الفضائية والجوية.

٢. الرصد الشامل والمستمر للحوض، وإعداد خرائط تفصيلية عنه، مع استخدام النمذجة الرياضية للربط بين مخططات التنمية وخصائص شبكة التصريف المائي، وتدفق التيارات المائية وحمولتها، وأنماط استخدامات الأراضي، والتغيرات متعددة النطاقات في الموائل الطبيعية، وحالة الأحياء فيها.

٣. إبعاد المباني والمنشآت قبل بنائها عن المواقع الخطرة أو المحتمل أن تكون خطرة، واتخاذ الإجراءات والتدابير الوقائية قبل إنشاء المباني والطرقات والجسور، وهذا يعتمد على ما سبق من خطوات (الدراسات والخرائط).

٤. إكساء الضفاف المعرضة للحت بالأسمنت أو الحجارة، مع الأخذ بعين الاعتبار أدنى مستوى يمكن أن يهبط إليه النهر، لكي لا يمارس النهر الحت أسفل الإكساء فينهار الأخير، أو تثبيتها بزراعتها بالأشجار أو الغطاء العشبي. صورة رقم (١٣-٥).



صورة رقم (١٣-٥) تثبيت الضفاف بالإكساء الحجري والنبات.

يجب عند حماية الجوانب بالإكساء الحجري أو الأسمنتي أو بأكياس من الرمل، التأكد من عدم تحول الحت الجانبي إلى حت رأسي، مما يعرض القاع لعدم الاستقرار، كما أن العديد من عمليات الإكساء حولت المجاري المائية إلى قنوات صنعية ذات أصل طبيعي. صورة رقم (١٤-٥). كما يمكن تثبيت الضفاف بشبكات معدنية مرنة تتحمل عدم استقرار الضفاف وتحافظ على الحدود الدنيا من تدهورها. صورة رقم (١٥-٥).



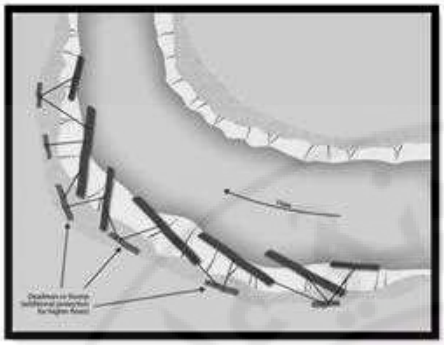
صورة رقم (١٤-٥) تحويل مجرى طبيعي إلى صنعي بالإكساء الكامل.



صورة رقم (١٥-٥) تثبيت الضفاف بالشبكات.

٥. تحويل اتجاه التيار المائي عن الضفاف المعرضة للحت، إما بحرف مسار الماء، باستخدام عوارض مروحية أو خشبية تدفع بالماء نحو وسط المجرى. أو بتسوية القاع للتخفيف من حركة الدوامات المائية. إلا أنه لا بد من التأكيد أن وضع حل للمشكلة يجب ألاّ يتسبب في إحداث مشكلة أخرى، فتغير اتجاه كتلة المياه عن الضفة نحو الوسط، يجب

أن يتم وفق قياسات تجريبية لمنع اتجاهها نحو القاع أو الضفة المجاورة في حالة القنوات الضيقة، فيتعرضان بدورهما للحت.شكل رقم (٣-٥).



شكل رقم (٣-٥) يبين توزع الألسنة الموجهة لتيار المجرى بعيداً عن ضفة الحت.

٦. عدم القيام بأنشطة سياحية دون التنبه إلى خطورة تبعاتها الجيومورفولوجيّة، فإكساء جوانب نهر بردى وقاعه بالحجارة باستثناء خندق في الوسط تُرك طبيعياً، وذلك في القطاع الممتد من ساحة الأمويين وحتى ساحة المرجة، قد يتسبب لاحقاً على المدى البعيد بتوجيه الماء نحو الوسط ونشاط عملية الحت الرأسي فوقه، والحفر دون الكسوة الحجرية وهبوطها وتفككها، وبالتالي جرفها مع توفر جريانات قوية في القناة.

٧. بناء شبكة من الأنفاق والمصارف لتوجيه حركة مياه الفيضانات في حال حدوثها، ذات مواصفات تتحمل كمية المياه المتوقعة وطبيعة الحمولة النهرية، موزعة على أساس معطيات طبوغرافية وجيومورفية عن سطح الأرض ومظاهره. ويُفَضل أن يتم توجيه مياه الفيضانات نحو منخفضات طبيعية أو إلى آبار طبيعية أو صنعيّة لتغذية المياه الجوفية.

٨. إنشاء السدود والحواجز لمنع تدفق المياه من الأنهار نحو المدن والأراضي الزراعية، وبارتفاعات تتجاوز أعلى تقدير محتمل لارتفاع منسوب المياه خلال فترات الفيضانات.

٩. مراقبة الغابات وتجهيزها بفرق تدخل سريع لإطفاء الحرائق. فقد بلغت الزيادة في حجم رواسب حوض سانتا كلارا في كاليفورنيا (٤٠٠%)، بعد إحداث حرائق متعمدة بهدف تحويل الغابات إلى أراض زراعية وعمرانية، مما انعكس على طبيعة الجريان المائي سلباً، فارتفعت وتيرة أعمال الحت في المجاري المنحدرة، والترسيب في المجاري الدنيا قليلة الانحدار.

١٠. سَن قوانين حماية الملكيات العقارية، بناءً على التغيرات السطحية لتضاريس سطح الأرض، ومنها الأنهار، لعلاقتها الوطيدة بممتلكات البشر ضمن محيط تأثيرها. ووضع قوانين أخرى لحماية البيئات النهرية من التدخلات العشوائية للأفراد أو المؤسسات أو حتى الدول، تأخذ بعين الاعتبار تغيرات مظاهر سطح الأرض. وضبط تأثير مختلف الأنشطة البشرية التي تغير من استخدامات الأرض، وتزيد في حجم الرواسب النهرية، فمثلاً ارتفع معدل إنتاج الرواسب في مجاري الحوض السابق -سانتا كلارا- من (١,٠٨) مليون طن/سنة للفترة بين (١٩٥٦-١٩٧٥)م، أي قبل بناء السد، إلى (١,٧١) مليون طن /سنة، بعد بنائه، والسماح لعملية التعدين واستخراج الحصى منه لأغراض البناء.

١١. ترسيم الحدود الدولية باستخدام التقنيات الحديثة للاستشعار عن بعد، والاستفادة من الإحداثيات الفلكية (خطوط الطول ودوائر العرض)، فهي ثابتة مقارنة بالمظاهر الجيومورفية كخط تقسيم المياه والجروف والشلالات.

١٢. إنشاء مكاتب لإدارة الأزمات، تشترك فيها جميع الجهات المعنية (الرسمية والخاصة والمجتمعية والفردية)، تقوم بإعداد برامج وخطط إخلاء سريع ومنظّم للتقليل من خطر الفيضانات، مما يتطلب اشتراك دوائر الإطفاء والشرطة والجيش والدفاع المدني والأطقُم الطبية، ونشر برامج التوعية الإعلامية والاجتماعية للتعامل مع الفيضانات قبل وأثناء وبعد حدوثها.

١٣. إنشاء الجسور والطرقات وفق مواصفات تأخذ بالحسبان أعلى منسوب محتمل للنهر، وحركة المجرى ضمن سريره، ومناطق الحت والترسيب فيه، وكذلك فيما يخص الأنفاق والعبّارات تحت الطرقات.

١٤. نشر شبكات إنذار مبكر على مناطق في القطاعات العليا والوسطى والدنيا، مرتبطة بشبكة معلومات من الأرصاد الجوية، مع شبكات حاسوبية تربط كافة المؤسسات العلمية والبحثية والخدمية بقاعدة بيانات تفصيلية عن الفيضانات وتطورها.

١٥. تقييم ردود أفعال الأحواض المائية على التدخلات والتعديلات البشرية، والذي غالباً ما يكون متداعياً، إلا أنه متخامد كلما ابتعدنا عن مصدر التغيير وموقعه، وقد تتميز بعض الحويضات- داخل الحوض الواحد – باستجابات ذات طابع فردي أو مستقل individual character وذلك حين تختلف الظروف المحلية مكانياً ضمن الحوض الواحد، مع تأكيد أن

لكل حوض نهري حداً من المناعة ضد الخلل الجيومورفي – إن جاز التعبير– تكفل له توازنه الجيومورفولوجي الذاتي إلى حد ما.

سابعاً– الفوائد الجيومورفولوجية للأنهار:

لا بد من التأكيد أن الفائدة العظمى التي يرجى الحصول عليها من استثمار الأنظمة النهرية، باعتبارها موارد طبيعية مجانية. هي تحقيق التوازن بين المنفعة الاقتصادية من جهة، وسلامة الأنظمة النهرية بيئياً من جهة ثانية، والطرق والأساليب الهندسية المتبعة لتحقيق ذلك من جهة ثالثة، ويمكن تحديد فوائد الأنهار بما يلي:

١- هي الحاضن الطبيعي للمياه بمعظم أشكالها، وبذلك تعد المكان الطبيعي الذي يقدم أفضل مقومات الاستقرار البشري.

٢- تقديم ما يلزم المدن من مقومات للبناء وإنشاء البنية التحتية عند القطاعات المناسبة من الأنهار، وأمثلتها عديدة كما هي الحال فوق سهول الفرات ودجلة والسند ومي كونغ والنيجر والراين.

٣- تستخدم العديد من القطاعات النهرية الواسعة والعميقة كطرق مواصلات وتجارة قليلة التكاليف، كأنهار النيل والراين والميسيسيبي والأصفر، وقد نقل الفراعنة القدماء آلاف القطع الحجرية الضخمة عبر النيل من مقالع بني سويف والمنيا إلى القاهرة لبناء الأهرامات، ويذكر (جمال حمدان) ((أن عامل النقل النهري أثر في توحيد وظيفي محقق في بيئة مصر النيلية، ففي تناسق نادر يتضافر النهر مع الرياح في ربط أجزائها ربطاً محكماً)) كما يضيف أن ما من دولة دخلها الرومان إلا ومدوا فيها الطريق الروماني رمز مجدهم، إلا مصر لم يجدوا لذلك بداً بوجود الطريق المتحرك – أي النيل– على حد تعبيره.

٤- للأنهار دور في نشر سلطة الدولة وثقافتها وتعد مصر مثالاً تاريخياً حسناً عن ذلك، حيث كان النهر وملاحته أساس انتشار الحضارة الفرعونية داخل الوادي، ووسيلة توحيده سياسياً (جمال حمدان: ١٩٦٧، ص٤٠).

٥- تقدم مياهها ورواسبها فوائد جمة لقطاعات الزراعة والصناعة والتجارة والمواصلات.

٦- للأنهار استخدامات عسكرية، باعتبارها خنادق عزل طبيعية تفصل بين القوات المتحاربة، ويصعب اجتيازها في حال اتساعها، وفي مواسم الفيضانات عموماً، كما أنها ممرات طبيعية قليلة التكلفة للقوات البرية توفر الوقت والجهد.

٧- الاستفادة من الشلالات في إنشاء محطات توليد الكهرباء بتكلفة أقل. وتكون في قطاعاتها العليا، كسد كاريبا عند نهاية خانق شلالات فيكتوريا على نهر الزمبيزي، وسد يولدر قرب الخانق العظيم على نهر الكولورادو. وإنشاء السدود التخزينية والكهر– مائية في القطاعات الوسطى، كما هي الحال في سد أسوان على نهر النيل، وسد الفرات في سورية.

٨- إقامة الموانئ عند مصبات الأنهار العميقة، كميناء كلكوتا عند مصب أحد فروع نهر الكينغ، وشنغهاي عند مصب نهر اليانغتسي (تشانغ جيانغ)، ونيو أورلينز على مصب المسيسبي.

٩- تمثل الأودية الجبلية ممرات طبيعية تختصر المسافة بين أطراف الجبال، إلا أن أفضل المواقع لشق الطرقات تكون وفق مسار خطوط تقسيم المياه بين الأحواض النهرية، لبعدها عن تأثير الحت والترسيب، مع ضرورة حمايتها من الحت التراجعي و الانهيارات.

١٠- للأنهار استخدامات سياحيّة وترفيهيّة، ولذلك يتم اختيار مناطق الشلالات والمنعطفات والجزر النهرية لبناء الفنادق.

١١- يمكن الاستفادة من رمال الدلتاوات في أعمال البناء. فهي رمال خالية من المواد العضوية، بسبب تعرضها لفترات ومسافات طويلة للحت والغسل والنقع والتحلل بالماء، كما تنتشر كميات كبيرة من الحصى المكور في القطاعات الوسطى من المجاري السيلية في المناطق الجافة وشبه الجافة، يمكن الاستفادة منها في أعمال البناء، ورصف الطرقات.

ثامناً- إدارة أحواض التصريف المائي:

تعتمد إدارة المجاري المائية – الحضرية، على تلبية متطلبات التجمعات الحضرية من المياه والاستخدامات الأخرى كالخدمات والسياحة والزراعة من جهة، والحفاظ على توازن النظام النهري المار بها أو بجوارها قدر الإمكان من جهة ثانية، ويعتمد ذلك إلى حد كبير على التقنيات الهندسية لضبط سلوك الأنهار، بهدف التحكم بالجريان السطحي وحجمه وتصريفه زمنياً ومكانياً، وتقليل الأضرار المرتبطة بالغمر، وذلك بنشر مجموعة من السدود وتطبيق أساليب هندسية متنوعة في حماية الضفاف. إلا أن بعض هذه الأساليب قد فشل في تقدير ديناميكية النظم الطبيعة للتيار المائي، وبالتالي نتجت الكثير من التداعيات السلبية التي فاقمت مشكلات المناطق الحضرية- النهرية، وقد أظهرت العديد من الدراسات أن من نتائج التحضر في أحواض التصريف النهري، حدوث تغيرات ليس فقط في خصائص التدفق النهري، وتكرار الأحداث المتطرفة للجريان المائي. وتعطيل تشكل المجاري المائية، ووظائف تيار الجريان على المدى الطويل.

وبناء عليه، فإن إدارة هكذا مناطق تتطلب تحسين وإصلاح ما لحق بها من خلل، بحيث تصبح قادرة على أداء وظائف نظمها الحيوية – الجيومورفولوجيّة لنقل المياه والحمولة، ودعم النظم المائية والتوازن الديناميكي على المدى الطويل. وهنا تبرز فوائد استخدام نهج الإدارة البيئية المتكاملة للمجاري المائية في البيئات الحضرية، وهو أحد أهم السبل لفهم العمليات الفيزيائية التي تؤثر في شكل مجاري الأنهار، ويقدم الحلول الأنجع لاختيار البنى الهندسية المناسبة وغيرها، بالإضافة إلى اقتراح الاستخدامات الأمثل للأراضي ضمن الحوض النهري. ولا يتم ذلك إلا بالتعاون المستمر بين فرق البحث من الجيومورفولوجيين والجيولوجيين والزراعيين والمهندسين وأصحاب القرار السياسي.

وقد عولجت مشكلات المجاري النهرية – الحضرية في نيجيريا مثلاً، باستخدام الأساليب الهندسية التقليدية، متمثلة بمجموعة متنوعة من التعديلات الهندسية على شكل مجاري النهر، كإزالة التعرجات والأكواع وتحويل المجاري إلى قنوات مستقيمة، أو تضييقها منعاً لتوسعها الجانبي، وفي حالات أخرى وُسعت لتستوعب الكم الزائد من المياه في حال الفيضانات. بالإضافة إلى إدخال بعض التعديلات في خصائص المجاري، كدعم أسرتها وضفافها بالخرسانة، أو الدروع الحجرية، وبناء السدود، ونشر أجهزة المراقبة. كما في قناة

جاكارا Jakara في كانو ميتروبولس Kano metropolis. إلا أن فشلاً ذريعاً طال بعض هذه الإجراءات، لأنها اعتمدت على تقويض القناة الطبيعية، وتعديل أشكالها دون فهم عميق لمسارها التطوري الطبيعي، وامتد تأثير هذه الأخطاء ليطال الموائل المائية والنهرية المتاخمة للمجرى المائي. وقد أدى ذلك إلى الدخول في حلقة مفرغة وتداعيات متسلسلة من الفشل لحماية تثبيت القناة وإيقاف تدهورها المستمر.

تعد الجيومورفولوجيا من أقرب علوم الأرض إلى تحقيق إعادة ترميم الأنهار river restoration. واستعادتها لتوازنها الجيومورفولوجي، (Baba & Adamu: 2014. P 23). وذلك للأسباب التالية:

١. قدرتها على فهم أشكال المجاري المائية وتصنيفها، وتحديد مساراتها الحالية والمستقبلية.
٢. دراسة معدلات الحت والترسيب، على القاع والجوانب وفي مناطق المنابع والمصبات.
٣. تحديد معدلات هجرة المجاري المائية، وتقييم ما ينتج عنها من أضرار في العمران والأراضي الزراعية. وتحديد خصائص الضفاف والأسّرة ومدى مقاومتها للحت والترسيب.
٤. دراسة السهول الفيضية والمصاطب النهرية. لما لها من كبير فائدة في النشاط البشري الزراعي، وتحديد خصائص الحمولة النهرية والرواسب عليها، التي تعد مصدراً حيوياً للترب وبعض المعادن.
٥. تحديد مستوى الاضطراب في النظام الجيومورفي، ومداه، فليس كل تغير في الحوض المائي يستوجب تداعيات على مستوى الحوض ككل.
٦. طرح حلول إعادة التوازن إلى هذه الأنظمة التي تختلف حساسيتها للتدخلات البشرية بين الهشة والمقاومة. وذلك من خلال تحديد العتبات الحدية الجيومورفية Geomorphic thresholds للتغيرات في الشكل والعملية، المتباينة باختلاف الظروف المكانية والزمنية.
٧. إعادة تأهيل rehabilitation المجاري المائية التي تعطلت بسبب التعديلات الهندسية.
٨. تساعد الجيومورفولوجيا في مراقبة المستجدات التي تطرأ على النظم النهرية، ومدى تأقلمها مع البنى الهندسية أو/و الحضرية. أي التنبؤ بالنمط الجديد للمنظومة الجيومورفية، أو النمط ما قبل الجديد أي الانتقالي.
٩. فهم أحواض التصريف المائي كإطار لتنفيذ إدارة ناجحة للنظم الإيكولوجية.

١٠.ربط كل ما سبق بالحاضن الجغرافي والمحيط البيئي لخلق حالة من التوازن المحلي والإقليمي بين أحواض التصريف النهري.

لذلك ولضمان الحد الأدنى من ردود الفعل السلبية على التدخلات البشرية في الأنظمة النهرية، لا بد من تطبيق الآتي:

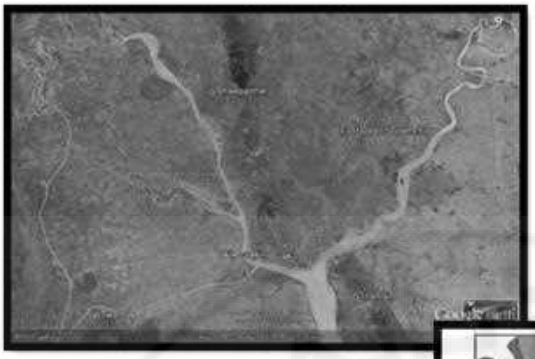
أ. تقييم الوضع التضريسي لموقع المنشأة إن كانت سداً أو خزاناً أو مدناً.

ب. دراسة المنشأة من وجهة نظر جيومورفولوجية بالقدر الذي يتعلق بالجيومورفولوجيا-الهندسيّة.

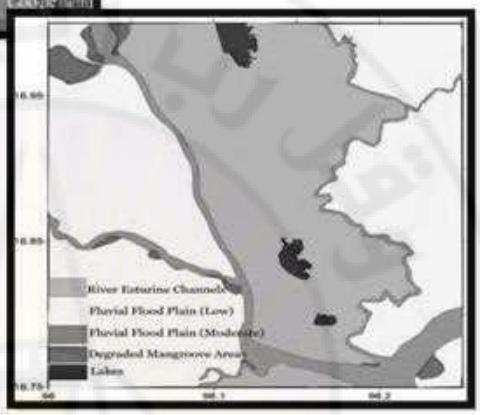
ج. متابعة الموقع جيومورفولوجيا أثناء الأعمال الإنشائية، وبعد تنفيذ المشروع من حيث التضاريس والعمليات الجيومورفولوجية.

إن التداعيات التي تحدث في الأحواض النهرية تعكس حجم استجابة هذه النظم الجيومورفية للتعديلات البشرية، مع تأكيد أن هذه الردود قد تتناقص أو تتخامد وقد تتلاشى بالابتعاد عن موقع التغيير في الحوض، إلا أنها يمكن أن تمتد إلى ما بعد حدود حويضاته لتشمل أجزاء كبيرة من الحوض المائي، إما مع مرور الزمن، أو بسبب كبر حجم التعديلات البشرية في سطح الحوض النهري، وقد ينتج عنها ردود فعل كبيرة في ظل تراكم مخاطر ثانوية مع الزمن.

إن دمج نتائج عدة أساليب جيومورفولوجية علمية (ميداني، مخبري، مكتبي باستخدام نظم معلومات جغرافية..)، يسهم في تسريع عملية تصنيف تضاريس سطح الأرض، وفق معايير عدة، كالنشأة والعملية والموقع ومستوى الخطورة، ثم تمثيلها خرائطياً لإظهار نمط توزعها المكاني، وهي الخطوة الأهم لفهم طبيعة العلاقة المكانية بينها. ثم استخدام نتائج هذا الدراسات بالطرق المثلى مع فرق عمل أخرى، وعلى سبيل المثال استخدم مثل هذا النهج المتكامل بين نظم الاستشعار عن بعد البصرية والرادارية Opticaland Radar Sensing Techniques، والتحقق الميداني، في وضع خرائط جيومورفية لنهر يانغو Yangon في ميانمار، وما يحيط به، وتصنيفها بدقة ودرجة تمييز عالية. صورة رقم (١٦-٥)، شكل رقم (٤-٥). (Lwina & Khaingb: 2012).



صورة فضائية رقم (١٦-٥)
جزء من نهر يانغون وما يحيط به/ ميانمار.



شكل رقم (٤-٥) خارطة جيومورفية لجزء من المنطقة التي تظهرها الصورة الفضائية.

تعد الفيضانات من أخطر الظاهرات المرتبطة بالأنهار، كما يبين الجدول رقم (١-٥) ذلك. لما لها من آثار كارثية على الرغم من أهميتها على الصعيد الزراعي. حيث قدر حجم الخسائر الناتجة عن فيضانات أنهار الولايات المتحدة الأمريكية بنحو (١٦٠٠ × ١٠ ^{٦}) دولار/سنوياً، في حين بلغت في اليابان (٤٥٠ × ١٠ ^{٦}) دولار/سنوياً، ولا تختلف درجات الخطورة في الدول الجافة، كالدول العربية عن ذلك، ففي عام (١٩٨٩)م، سببت السيول العارمة هجرة نحو (١٥٠) ألف إنسان وتدمير مئات المنازل الطينية في منطقة حضرموت في اليمن. وقد استفادت دول عدة من التطور التقني لعلم الحاسوب. فمثلاً يتم مواجهة خطر السيول في المملكة العربية السعودية من خلال بناء شبكات محطات رقمية متكاملة، تبدأ بمحطات الأرصاد الجوية المتطورة، وتنتهي بإجراءات الدفاع المدني المسبقة لمواجهة السيول، وقد وضعت برامج محاكاة فائقة الدقة والكفاءة للتقليل من خطر السيول في مدينة جدة. فقد شهد عام (٢٠٠٩)م، أكبر هطل مطري منذ (٢٧) عاماً، وتبعه في عام (٢٠١٠)م، سيول عارمة أودت بحياة نحو (١٥٠) شخصاً، وبلغ عدد المفقودين (٣٥٠) شخص، إضافة إلى الخسائر المادية العالية بالممتلكات والخدمات، انخفض عددهم عام

(٢٠١٣) إلى قرابة (٤) أشخاص وعشرة مفقودين. (EGU 2014). وقد قدرت ضحايا فيضانات الهند عام (٢٠١٣)م، بنحو (٦٠٠٠) شخص معظمهم في ولاية يوتاراخاند Uttarakhand، وهي أسوأ كارثة ضربت الهند بعد تسونامي (٢٠٠٤)، ويبين الجدول رقم (٢-٥) عدد ضحايا أشهر الفيضانات في العالم.

جدول رقم (٢-٥) عدد المتضررين من الفيضانات الكبرى بين عامي (١٩٠٠- ٢٠١٤)م

البلد	عدد المتضررين
الصين (١ يوليو/ ١٩٩٨)	٢٣٨٩٧٣٠٠٠
الصين (١ يونيو/ ١٩٩١)	٢١٠٢٣٢٢٢٧
الهند (٨ يوليو/١٩٩٣)	١٢٨٠٠٠٠٠٠
الصين (١٥ مايو/١٩٩٥)	١١٤٤٧٠٢٤٩
الصين (١٥ يونيو/٢٠٠٧)	١٠٥٠٠٤٠٠٠
الصين (٢٣ يونيو/١٩٩٩)	١٠١٠٢٤٠٠٠
الصين (١٤ يوليو/١٩٨٩)	١٠٠٠١٠٠٠٠

http://www.statista.com/statistics.

وتزداد المشكلات الناتجة عن المياه الجارية تعقيداً في دول العالم النامي ذات المناخ الجاف وشبه الجاف، للأسباب التالية:

- وقوع معظم المدن والقرى عند مخارج السيول والمراوح الفيضية، أو عند ضفاف الأنهار.
- عدم توفر بيانات مناخية – هيدرولوجية، تساعد على التنبؤ بخطر الفيضانات.
- عدم اتخاذ الإجراءات الوقائيّة من خطر السيول في المنشآت والمدن وطرق المواصلات والمشاريع الاقتصادية.
- سوء التخطيط الاقتصادي والخدمي والعمراني، لاعتماده إما على قرار سياسي أو لاهتمامه بالمردود المادي، دون الأخذ بالحسبان الخصائص الجغرافية للموقع.
- عدم وجود أبحاث أو مراكز أو محطات قياسية وعلمية وتجريبية، لدراسة حالة الأنهار وسلوكها الهيدرولوجي، وينطبق هذا على السيول في المناطق الصحراوية.

وللوقوف على حقيقة العوامل المؤثرة في خصائص الجريان السطحي، لا بد من فهم الأمور التالية:

١- لا يتحول كل الهطل المطري إلى جريانات سطحية، فالنسبة تراوح بين(١-٤٠%) عموماً، وتتأثر هذه النسبة بالفواقد عن طريق التسرب والبخر، وترتبط فترة الجريان ارتباطاً طردياً مع فترة الهطل وتعكس خصائصها عموماً.

٢- يرتبط حدوث جريانات سطحية بتركّز الهطل، وطول فترته، مع حد أدنى من المطر لا يقل عن (١) مم/ دقيقة، وبمجموع لا يقل عن (١٠)مم/ دقيقة خلال العاصفة الواحدة. (أحمد سالم: ١٩٩٩، ص٢١).

٣- يرتبط الفاقد بالتسرب بما يعرف بالقدرة التسريبية Infiltration Capacity، للسطح وترتبط هذه بمسامية الصخر Porosity ونفاذيَة Permeability السطح والتربة، وغنى الصخور بالشقوق، وشكل وحجم المفتتات الصخرية، حيث ترتفع القدرة التسريبية مع زيادة حجم وتفكك المفتتات السطحية.

٤- لا يبدأ توالد الجريان السطحي فور اصطدام قطرات المطر بسطح الأرض، ويؤكد (Horton 1945) في نموذجه الذي حدد فيه طبيعة العلاقة بين الهطل والطاقة التسريبية والجريان السطحي، على أن قيم الطاقة التسريبية تكون عالية في النصف ساعة الأولى من الهطل خلال التجربة، ثم تبدأ بالتناقص بشكل عكسي مع ازدياد حالة التشبع في التربة، ومع بلوغ التربة حالة التشبع التام، وذلك بعد ساعتين أو ثلاث ساعات من التجربة، يبدأ الجريان السطحي بالحدوث.

٥- هناك مصطلح مهم لا بد للمتنبئين والمهتمين بالسيول أو الفيضانات من تفهمه وتحديده، وهو زمن التباطؤ Lag- Time، ويعّرف بأنه الوقت الذي يفصل بين بداية الهطل وبداية الجريان السطحي، أي إنه الوقت الذي ترتفع فيه معدلات التسرب وتزداد فيه رطوبة التربة وتشبعها. ويراوح بين (٢-١٠) دقائق عموماً، ويسبق حالة الجريان، (أحمد سالم : ١٩٩٩، ص٣٥). وهو الوقت المتاح لاتخاذ تدابير الحيطة من خطر السيول أو الفيضانات بعد إضافة زمن امتلاء المجاري المائية له، ويطول هذا الوقت بانخفاض كثافة الهطل وغزارته وجفاف سطح الأرض وانحداره وزيادة كثافة الغطاء النباتي، ويحسب بالمعادلة التالية:

$$T L = K . (A\ 0.3 / Sa - Da)$$

حيث :TL: زمن التباطؤ.

K: معامل قدره 1.6

A : مساحة الحوض.

Sa :انحدار السطح.

Da: كثافة التصريف.

٦- يؤثر شكل السفوح وانحدارها على شدة الجريان السطحي من الناحية الكميّة والكيفيّة، حيث يزداد الحت ويتركّز في المقعرات، لتجمع المجاري المائية بزوايا حادة. في حين تشهد المحدبات جرياناً سطحياً مشتتاً أو غطائياً، وتتباعد المجاري نحو أطراف التحدب وفق نمط شعاعي، أما في السفوح المستقيمة فتتجه المجاري المائية مباشرة وبشكل مستقيم نحو أقدام السفوح وفق نمط متواز.

٧- يؤدي التدخل البشري إلى إحداث خلل في التوازن البيئي والجيومورفولوجي لأحواض التصريف المائي، بكل عناصرها من منحدرات ومجار مائية وحمولة، إلا أنه يجب عدم المبالغة في القلق من هذا الخلل، فقد يكون بسيطاً يمكن الحد منه، وربما كان كبيراً يمكن معالجته تدريجياً.

إن دراسة العوامل والعمليات المتحكمة والمؤثرة في الجريان السطحي للماء، ضرورة حتمية لتدارك أخطارها والاستفادة منها إلى أقصى حد، ويمكن القول بوضوح إن الدراسات الجيومورفولوجيّة المرتكزة على قاعدة جغرافية، تقدم الكثير من الحلول المنطقية، لما تتمتع به من رؤى ودقيقة وعميقة بذات الوقت.

إن أي تدخل بشري هندسي أو زراعي أو حضري، يتطلب أخذ المبادئ التالية بعين الاعتبار (Gilvear :1999. P 229):

١. التعامل مع قناة النهر على أنها تضريس ثلاثي الأبعاد من طول، وعرض، وعمق، تتغير جميعها بتناغم وفق تدفقات المياه والرواسب.

٢. الحوض النهري ليس فقط مجار مائية، بل منحدرات تتأثر بتعمق الأولى، وتؤثر فيها من خلال الانهيارات والانزلاقات، حيث يوجد تناغم بين تطور المجاري المائية والسفوح.

٣. يقوم النظام النهري بعمله كرد فعل على التغيرات في كمية المياه والحمولة فيه، وتتفاوت هذه الأعمال بشدتها من المنبع ومستجمعات المياه إلى المصب حسب الظروف المحلية، وتتفاوت ردود فعل المجاري المائية من موقع لآخر على طول النهر، ومن نهر لآخر.

٤. يختلف شكل التضاريس النهرية وأحجامها مكانياً وزمنياً، ولكن تبقى آليات عمل الأنهار قائمة على أساس التكيف الذاتي مع أي متغير على سطحه أو دونه.

٥. يتأثر الاستقرار الجيومورفولوجي لنظام النهر بما يُمَارس عليه من أنشطة. كالحد من فيضاناته، وإزالة غطائه النباتي، وأنماط خاطئة لاستخدام الأراضي وتغيرها نحو أنماط أسوأ.

٦. تختلف الأحواض النهرية فيما بينها فيما يعرف بحساسية التضاريس Landscape sensitivity، وهي قدرة النهر على التغير- أو مقاومته - نتيجة لتأثره بالضغط الخارجي مثل المنشآت الهندسية، لذلك يجب تنفيذ أساليب هندسية تواكب في مرونتها ديناميكية الأنهار، وسعيها الدائم للتوازن مع مستجدات مكانية طارئة على نظمها. فبعض أنهار بيتسبرغ لم تكن قادرة على استيعاب ارتفاع حجم الفيضانات وتكرارها الناتجة عن تزايد مساحات التحضر، في حين أن معدلات الترسيب في نهر ميكونغ Mekong- بين تايلاند ولاوس- كانت تفوق معدلات استخراج الحصى من سريره، فلم يكن لها ذلك التأثير السلبي الكبير عليه.

٧. تصنف الأنهار كمظاهر حركية Dynamic أي إنها في حالة تغير دائم، باستمرار عمليات الحت والنقل والترسيب طالما سمحت الظروف المناخية بذلك، وبالتالي تتغير معالم سطح الأرض فيها باستمرار، إضافة إلى التأثير البشري بأنماط استخدامها.

٨. تتغير المظاهر السطحية وبشكل معقد Landscape changes Complex: وذلك لتداخل العوامل والعمليات وتغيرها عبر الزمن. (Halles: 1977. P 103).

٩. تعد العتبات الحدّية الجيومورفية، الأخطر في سلوك الأنظمة النهرية أو مظاهر سطح الأرض، كونها تمثل مراحل حرجة تنتقل فيها الأنظمة من حالة إلى أخرى، مما يعني تخليها عن توازنها السابق وانتقالها إلى نظام آخر، وربما عبر مرحلة لا توازنية أو مضطربة على صعيد العمليات والمظاهر، وهي من المؤشرات المهمة على تغير سلوكه الجيومورفي، وأخطر هذه الحالات ما كان منها غير متوقع، ومن أمثلتها تغير شكل

المجاري المائية نتيجة زيادة طاقة الأنهار، وحدوث الانهيارات الأرضية السريعة rapid collapse، وانتقال شكل المجاري المائية من المُنعَطِف إلى المضفر braided بعد بناء السدود.

١٠.تتأثر الموائل الطبيعية للأحياء بتضاريس الأنهار وخصائص الجريان، من سرعة ودرجة حرارة ورواسب. باعتبارها الحاضن الطبيعي لها

يجب تبني إدارة متكاملة للأحواض النهرية ومخاطر فيضانات أنهارها بذات الوقت دون الفصل بينهما An integrated approach to urban flood risk management، وذلك بدمج العديد من تدابير الوقاية، والتي عادة ما يتم تصنيفها إلى تدابير هيكلية structural أو غير هيكلية non-structural، وتهدف الأولى إلى الحد من مخاطر الفيضانات عن طريق التحكم في تدفق المياه سواء داخل التجمعات السكانية الحضرية أو خارجها، فهي متممة للتدابير غير الهيكلية التي تعمل على إبقاء السكان في مأمن من الفيضانات، من خلال تحسين تخطيط التنمية الحضرية وإدارتها، والاستراتيجيات الأكثر نجاحاً هي المبنية على الجمع بين كلا النوعين، لذلك يجب أن تتصف الاستراتيجية بالشمولية والتكامل في التخطيط الإقليمي والمحلي بدءاً من السياسيين وانتهاءً بالمنفذين.

وتتنوع التدابير الهيكلية الصلبة مثل: دفاعات الفيضانات وقنوات الصرف الصحي. في حين تكون غير الهيكلية أكثر اندماجاً مع الطبيعة مثل الأراضي الرطبة والخزانات الطبيعية. ويمكن أن تكون فعالة للغاية عند استخدامها بشكل مناسب، كما هي الحال مع حاجز نهر التايمز Thames Barrier، والدفاعات البحرية الهولندية وأنظمة الأنهار اليابانية، إلا أنه في بعض الأحيان تصبح الهياكل الصلبة جزءاً من الخطر الطبيعي كما حدث في تسونامي اليابان عام (٢٠١١)م.

أما التدابير المرنة – وتدعى بالخضراء أحياناً أو الحيوية– فلا تتطلب عادة استثمارات ضخمة، لكنها غالباً ما تعتمد على الفهم الجيد لخطر الفيضانات وعلى نظم التنبؤ الدقيقة، وتتم بتطبيق حلول بيئية، كزراعة الغابات، وتشجير الضفاف، وتحسين أنماط استخدامات الأرض، لذلك توصف بأنها إجراءات طويلة الأمد عموماً.

ويمكن تحديد أربع إستراتيجيات لإدارة أحواض التصريف المائي، وهي:

١- إدارة الطوارئ والتخطيط لها Emergency planning and management بما في ذلك نظاما الإنذار والإخلاء، وقد طبقت في الفلبين وفي حوض نولاه لاي Lai Nullah في الباكستان، ومن التدابير المرنة تحسين البنية التحتية، وزيادة مساحة الأراضي الخضراء في المناطق الحضرية greening of urban areas.

٢- رفع مستوى التأهب و الاستعداد المجتمعي من خلال حملات التوعية، وهي إجراءات طبقت في موزامبيق وأفغانستان.

٣- تجنب الفيضانات عبر تخطيط استخدام الأراضي Flood avoidance via land use planning، وإصدار قوانين ناظمة لذلك، كالقانون الألماني للحماية من الفيضانات، وأنظمة التخطيط في انكلترا وويلز ، وذلك لضبط آليات تطور استخدامات الأراضي.

٤- تسريع الانتعاش Speeding up recovery بعد الفيضانات، وإعادة الاعمار من خلال تحسين التصميم والبناء والتشييد – ولكن على نحو أفضل- على سبيل المثال، ما تم في بلدة حافون Xaafuun الصومالية التي تضررت من التسونامي.

وقد تستفيد إدارة الفيضانات بشكل كبير بمشاركة أصحاب المصلحة - المجتمعات المحلية- والأفضل أن تتم الإدارة المتكاملة لمخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية على مقياس أكبر أي أن تشمل القطاع الأعلى من الحوض النهري، الذي تبدأ عنده مياه الفيضانات بالتجمع متجهة إلى البلدات والمدن، ومنتهية بالدلتاوات والمصبات. ولذلك يمكن القول أن إدارة الفيضانات مصطلح أفضل من إدارة خطر الفيضانات، كونه يشمل الاستفادة منها وتفادي خطرها (Jha: 2012. P33).

إن قيام الإنسان بأعمال هندسية في أحواض التصريف المائي، يستدعي تغيرات جيومورفولوجية قصيرة الأمد، وأخرى بيولوجية طويلة الأمد، وقد رصدت دراسة جيومورفولوجية- هندسية أجريت على حويضات من حوض الرون في مناطق الألب الفرنسية التغيرات التي سببت تحولاً سلبياً في توازن الأنهار وأشكال مجاريها بين عامي (١٩٢٨-١٩٨٦)م. (Bravard & Others: 1999. P 310). وشملت: السدود والخزانات وقنوات التحويل ومحاولات ضبط الفيضانات، وعمليات التحضر ، وما يسبقها من عمليات تمهيد الأراضي وإزالة الغابات، واستخراج الحصى بكميات مفرطة من أسرّة الأنهار لأغراض البناء، التي وصلت في أحد الأعوام إلى (٢٥٠,٠٠٠)م٣، وهي كميات لا يستطيع الترسيب الطبيعي

والبالغ متوسطه نحو (٣٥,٠٠٠)م٣ تعويضها، وتبين أن حتاً جانبياً أصاب الضفاف بلغ حوالي (٥) أمتار. وأن القطاعات الطولية خضعت لحت بنسبة (٧٥%)، وانخفض مجموع الرواسب نتيجة لاستخراجها بما يقدر بنحو (٧٥%). وقد أوصت الدراسة بما يلي:

١- ترك منطقة حرة freedom space أو ما يُدعى بمسلك المجرى المائي stream way ليقوم النهر بعمليات الحت الجانبي فيها دون قيود تعيق توازنه ضمن سريره.

٢- الحفاظ على الغابات والحراج الطبيعية الموجودة لحماية الترب من الانجراف، واستصلاح الأراضي وإعادة تحريج وزراعة الغابات.

٣- دراسة الروافد الرئيسة الأكثر إنتاجاً للرواسب، وتحديد حجم الرواسب التي تنتج عن الانزلاقات وتنتهي موادها إلى الأسرّة النهرية.

٤- تتطلب إعادة ترميم المجاري المائية جهوداً متضافرة من عدة اختصاصات فضلاً عن الجيومورفولوجيا وفي مقدمتها الهندسة والبيئة.

٥- اتخاذ القرار السياسي الصائب، لتوفير القبول الاجتماعي لتطبيق إجراءات الإدارة المتكاملة للحوض.

إن عدم قدرة معظم الدول الأوربية على تحسين أوضاع أنهارها التي تعرضت منذ القرن الثامن عشر للاستنزاف والتعديات الهندسية، وإعادة مشهدها الطبيعي إليها في مناطق الاكتظاظ السكاني. دفع المؤسسات العلمية المسؤولة عن مراقبة ومتابعة الأنهار إلى تبني مفهوم: إعادة بناء الحماية الذاتية للقنوات المائية re-build a self-maintaining channel. حتى تتمكن الأنهار من استعادة توازنها ذاتيا، والاستفادة منها في التجمعات الجديدة، دون التعدي على مجالها الحيوي، كما أوصت بعض الدراسات (Margaret & Others: 2002) (Maynard & Others: 2012). بعدة إجراءات تساعد في إعادة توازن الأنهار. ومنها:

أ. تحديد التغيرات الشكلية لقنوات الجريان المائي الطبيعيّة والصنعيّة، والعلاقة المتبادلة بينها وبين الفيضانات وعمليات الحت والترسيب.

ب. نقل وإزالة رواسب السهول الفيضية الملوثة بسبب أنشطة التعدين والصناعة، والتي تشكل خطراً كبيراً على الأنظمة البيئية وصحة الإنسان.

ج. تقييم عملية ترميم النهر على المستوى الوطني والمحلي، وتحديد النموذج الأفضل لاستعادة التيار المائي لعافيته- إن جاز التعبير- وتسليط الضوء على أسباب نجاح العملية.

د. العمل على إعادة التوازن الجيومورفي لأحواض التصريف المائي. في ظل التغيرات المناخية والبيئية، وعدم إجهاد الأنهار بحلول لا يعززها التغير المناخي.

هـ. الرصد المستمر والصيانة المتعاقبة للمشاريع والإجراءات الوقائية، وتطوير وتحديث الإنشاءات والمباني المعرضة لخطر الفيضانات، من أهم الخطوات التي يجب اتباعها لتدارك خطر الفيضانات، كما أثبتت العديد من الدراسات الجغرافية – الجيومورفولوجية أهميتها لدى تشريح حالة دلتا الغانج.

تعتمد إدارة أحواض التصريف المائي جيومورفولوجياً على فهم مجمل العوامل المؤثرة فيها، والعناصر المكونة لها، والعلاقة بينها، مع الرصد والمتابعة لأي تغير أو تغيير في الحوض، وتقييم ردود فعل الحوض النهري على هذه التغيرات. لذلك يجب أخذ الأمور التالية بالحسبان:

١.تحديد ما إذا كانت تضاريس سطح الأرض بحالة توازن جيومورفولوجي أم لا: وهي دراسة تتطلب الدقة والمتابعة لرصد مواقع التغير ونوعه وحجمه ومعدلاته، وتصنيفه وفق مستويات الخطورة، ويستدعي تحقيق هذا الهدف النظر بعين بصيرة لكل ما من شأنه أن يُحدث تغيراً في نظام الحوض. من عوامل طبيعية وبشرية. ومن الضروري النظر للحوض كوحدة جيومورفية تحافظ على توازنها ذاتياً، وربما تجبر على التخلي عن ذلك في حال كان التغير كبيراً لدرجة يفقدها توازنها ويدخلها في مرحلة جديدة من التطور.

٢.إن تغير أشكال السطح أمر معقد عموماً: ويأتي تعقيد المنظومة الجيومورفية من تعدد العوامل، وتنوع العمليات الضابطة لآليات العمل فيها. وذلك وفق البعدين المكاني والزمني. إلا أن الصعوبة تكمن في عدم قدرة الإنسان على السيطرة على بعض هذه العوامل كالمناخ والتركيب الصخري والنشاط الزلزالي والبركاني. وتغير مستويات سطح البحر ومستويات الأساس المحلية من بحيرات وسبخات. كما أن عدم القدرة على دراسة الأحواض الكبيرة ذات الأبعاد القارية، كوحدة متكاملة بدقة عالية يجعل من تعقب أي تغير جذري وتبعاته على مجمل الحوض أمر عسير.

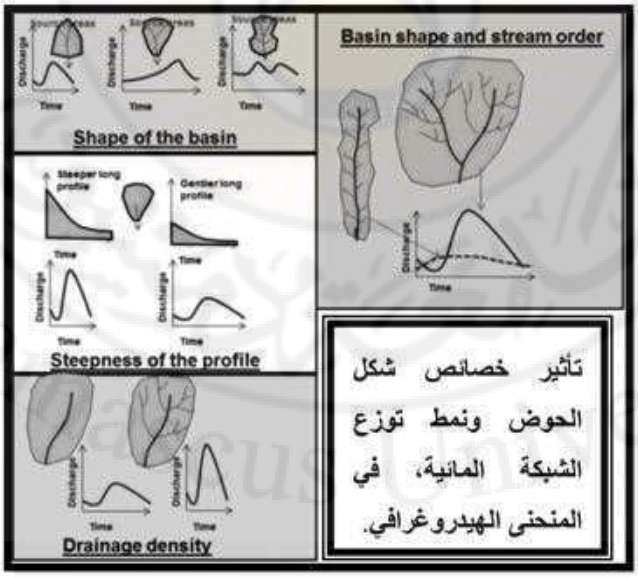
٣.إن هناك حدوداً للشكل تتناسب مع فعالية العملية: فقد أكد شورلي(Chorley 1962) أن التناغم بين الشكل والعملية من مؤشرات استقرار النظام الجيومورفي، وأن إي تعطيل في إمدادات الطاقة سيؤدي إلى دخول النظام بحالة من الاضطراب المؤقت، كحالة توقف الجريان أو نقص كمية المياه بالمجاري المائية خلال فترة ملء خزانات السدود، ومثال على التناغم بين الشكل والعملية، ما تُحدّثه كمية المياه الجارية القليلة من تخددات ومسيلات صغيرة، في حين تشكل الكميات الكبيرة أودية ومجاري تتناسب مع فعلها الحتي، أما في حال لم يتناسب شكل المجرى النهري أو حجمه مع كمية المياه الجارية فيه، وهي الحالة الشائعة في مواسم الزيادة المطرية، فإن حدوث الفيضانات أمر حتمي، وضروري، فلو كان البديل هو التعمق بالقاع أو التوسع جانبياً، لتشكلت العديد من الأودية السحيقة، وأصبح الوصول إليها مستحيلاً، أو قد تتسع لتزيل كل ما يحيط بها.

لذلك يجب فهم ما إذا كانت العمليات الجيومورفولوجية الحالية والمتوقعة متناسقة مع حجم وأبعاد وشكل المجاري المائية. ويعني هذا أن على الجهات المعنية بالدراسات والأبحاث والمشاريع الهندسية- الهيدرولوجية أن تحدد حجم كتلة الماء التي يجب أن تمر من القنوات المائية مروراً آمناً، من خلال ضبط كمية المياه بالإجراءات المعتادة من سدود تخزينية وتحويلية، مع الاستفادة القصوى من سطح الأرض كمورد يقلل من تكاليف الإنشاءات، أو توسيع المجاري المائية بقدر ما يتطلبه الأمر.

يجب دراسة المنحنى الهيدروغرافي للتصريف المائي في الحوض النهري - وهو عبارة عن خط بياني يمثل تغيرات كمية المياه المنصرفة من نقطة ما خلال وحدة الزمن- ويُظهر أهم خصائص الفيضانات، وهي قمة أو ذروة الفيضان وبعض خصائصها، كالعلو والانخفاض، وتوقيتها إن كانت مبكرة أو متأخرة، بالإضافة إلى زمن التصريف، وهي بيانات ومعلومات لا غنى عنها لأي مخطط في مجال أحواض التصريف النهري، فعلو القمة يعني أن كمية كبيرة مرت عبر محطة القياس الهيدرومترية - أي عبر جزء من المجرى- وقد تتجاوز حدود جوانبه. أو قد تكون مبكرة أو متأخرة، فهذا يشير إلى زمن وصولها إلى التجمع البشري أو المنشآت العمرانية والخدمية أو إلى مصب النهر. وبالتالي فهو الوقت المتاح لتدارك خطرها، أو الاستعداد للاستفادة منها. كما يستفاد من المنحنى في تقدير ما إذا كان موسم الفيضان قصيراً، إن كانت القمة مبكرة، أو طويلاً إن كانت متأخرة. ويتناسب ذلك مع

شكل الحوض، فأي اتساع في شكله (تفلطح) يعني وصول كميات أكبر من سفوحه إلى مجاريه، وبالتالي إلى مصبه. كما يرتبط تصريفه بنمط توزع الشبكة المائية، حيث يعد النمط الشجري في الأحواض القريبة من الشكل المستدير من أخطرها، لوصول كمية كبيرة من المياه إلى نقطة التقاء المجاري المائية المركزية على المجرى الرئيس في وقت واحد تقريباً. مما يعني خروجها على شكل كتلة واحدة كبيرة من مصبه، أو عن حدود مجراه الرئيس إن لم يستطع استيعابها.

أما الأحواض المستطيلة التي غالباً ما تتميز بنمط ريشي لتوزع مجاريها المائية، فغالباً ما يدل منحناها الهيدروغرافي على ارتفاع تدريجي لكميات المياه، دون وجود قمة واضحة. وذلك لوصول المياه بشكل متتابع ومسترسل نحو المصب، فتكون نظرياً أكثر أماناً. مع عدم إغفال دور عوامل أخرى مثل: كثافة المجاري المائية. وانحدار قطاع المجرى Steepness of the profile، ورتبة المجاري المائية stream order. وبالتالي يمكن للجيومورفولوجي أن يوصي بمنظومة من السدود تؤدي وظائف مختلفة في كلا النموذجين السابقين من الأحواض. وذلك حسب أشكالها، ونمط توزع مجاريها المائية. ويبين الشكل رقم (٥-٥) العلاقة بين شكل الحوض وتصريفه وفق المتغيرات السابقة.



شكل رقم (٥-٥) العلاقة بين أهم خصائص أحواض التصريف المائي وتصريفها.

وقد أكد (محمد فائد حاج حسن: ١٩٩٦، ص ١٣٢) أنه بالرغم من أن جريان المياه وآلياته تخضع لقواعد هيدرولويكية متماثلة في سائر أنحاء الكرة الأرضية، فإن نظام الجريان هو المسؤول عن تحديد العمل الجيومورفولوجي وشدته. ولتحديد أهميته لا بد من التعرف على معدل صبيب الأنهار ومعدلات انحدار مقاطعها الطولية، وسرعة جريان مياهها، وأشكال الأسرّة والمجاري المائية، دون إغفال دور الغطاء النباتي والتربي وطبيعة القاعدة الصخرية، مع التنبه إلى حجم الفاقد من الماء بالتسرب و/أو التبخر.

أما مساحة الحوض وأبعاده فترتبط بعلاقة طردية مع كمية المياه والحمولة التي يصرفها الحوض (Leopold & Miller: 1956. P 19) (Morisawa: 1962.p 104)، ويلاحظ ذلك من خلال العلاقة الرياضية التالية التي أوردها نيوسون وهانويل (Newson & Hanwell; 1982. P 121)، وهي:

$$Q = kAc$$

حيث Q: تصريف النهري (م٣/ثا).

K: قياس سرعة الجريان القاعدي river base flow (م/ثا).

A: مساحة حوض التصريف (م٢).

C: مقياس الطاقة المعتمد، ويكون قريباً أو مساوياً الواحد.

وقد أجرى بورخان دراسات متعددة (Burkhan 1951-1966) على بضعة أحواض تصريف مائي شمالي مدينة نيو مكسيكو. وأكدت نتائجها أن العلاقة بين المساحة والتصريف المائي وحجم الرواسب والنسيج الطبوغرافي ومعدل التضرس، علاقة طردية على العموم، (Schumm:1977. P132). جدول رقم (٣-٥).

شكل القناة المائية

يؤثر شكل القناة المائية أو المجرى المائي في حدوث الفيضانات. فهي تقع مباشرة تحت وطأة عمليات الحت والترسيب والانهيارات فور جريان كمية كبيرة عن قدرتها فيها، فيتغير شكلها. وقد ظهرت أولى الدراسات الكمية التي ربطت بين أبعاد القناة وكمية المياه في الهند والباكستان أثناء تشييد قنوات الري، حيث أخذ بعين الاعتبار حجم كتلة المياه والحمولة الرسوبية. وقد أكدت معظم الدراسات العلاقة الطردية بين التصريف وعرض القناة وعمقها ومساحة مقطعها، بالإضافة إلى

خصائص القاع. ولا يمكن إهمال دور الحمولة الرسوبية في إعطاء القنوات شكلها، فقد وجد شوم Schumm عام (١٩٦٨)م، أن هناك تأثيراً كبيراً لخصائص حمولة القاع على شكل القناة الفيضية، فالحمولة المعلقة غالباً ما تسود في القنوات المتعرجة، التي تتميز بانخفاض نسبة العمق إلى العرض، أما في حال سادت حمولة القاع فإن عرض القناة يزداد نسبياً، وتصبح القناة أقل عمقاً وتعرجاً.

جدول رقم (٣-٥) نتائج دراسة (Burkhan)

المساحة ميل٢	معدل التضرس	كثافة المجاري	نسيج المنحدرات	متوسط الحمولة الرسوبية قدم/ميل٢	متوسط كمية الجريان قدم/ميل٢
٠,٢٩	٠,٠٤٦	٥,٦	٠,٢٦	٦,٨	٦٣,٤
٠,٧٨	٠,٠٢٦	٢,١	٠,٠٥٥	١,٧	٢٢,١
٠,٢٥	٠,٠٣٦	٣	٠,١١	٢,٢	٣٦,٨
١,١٨	٠,٠٢٣	٠,٦	٠,٠١٤	٠,٦	١٦,٣
١,٠٤	٠,٠٣٥	١,٣	٠,٠٤٦	٠,٩	٢٠,٥
٠,٠٩	٠,٠٤٨	٣,٢	٠,١٥	٢,٨	٥٩,٩
٠,٣٣	٠,٠٤٣	٣,١	٠,١٣	٣,٧	٤٤,٥

وخلاصة القول إن اتساع القناة من المؤشرات الجيومورفية المهمة على حجم التصريف المعتاد، وهو من أهم العوامل التي تتحكم بحدوث الفيضانات، فالقنوات في الحالة الطبيعية تكون أغلب فترات السنة في حالة تكيف مع حجم المياه الجارية عبرها، أما في حال زيادة كمية المياه الجارية عن قدرة القناة على استيعابها، فمن المؤكد أن النتيجة الحتمية هي فيضانات نهرية، كما تعد نسبة العمق إلى العرض من المؤشرات الكمية عن طبيعة العلاقة بين التصريف المائي، وعرض القناة والحمولة الرسوبية ونوعها وخصائصها، وقد وضعت بعض الدراسات الأمريكية والأسترالية معادلتين، تحددان طبيعة العلاقة بين هذه المتغيرات، وهما:

$$Q\,ma = 16\,(W^{1.56}/F^{0.66})$$

$$Qm = W^{2.45}/\,18\,F^{1.13}$$

حيث :

Qma الفيضانات السنوية.

W عرض القناة.

F نسبة العمق إلى العرض.

Qm التصريف السنوي.

فالعلاقة بين التصريف والفيضانات تكون عكسية مع نسبة العمق إلى العرض، فتوسيع قنوات الري والأجزاء الدنيا من المجاري المائية، يساعد في تخفيف حدة الفيضانات أو الجريان السطحي، وفي الدراسات الجيومورفولوجية – الحضرية إجماع واضح على أن تغيرات مهمة تصيب أبعاد القنوات المائية. وأن اتساع المجاري المائية يكون أشد في استخدامات الأرض الحضرية مقارنة بالاستخدامات الريفية. (Fitzgerald:2007).

وقد وضعت العديد من التصاميم لإنشاء قنوات مائية اصطناعية تحاكي المجاري المائية الطبيعية، كنظام التحليل الهيدروليكي الهندسي للنهر hydrologic Engineering Centers River Analysis System، واختصاره (HEC-RAS)، الذي وضعته فرق الهندسة في الجيش الأمريكي عام (١٩٩٥)م، وقد طبق هذا البرنامج على قنوات نهر تابي Tapi أحد أنهار شاطئ بحر العرب على الساحل الغربي للهند، الذي تقع عليه مدينة سورات Surat، (Mehta :2013). وأوصت الدراسة بما يلي:

١- أن يكون المقطع العرضي للقناة قادراً على استيعاب أعلى مستوى لمياه الجريان أي في حالات الفيضان.

٢- أن يتكون التصميم الهندسي للقناة من بوابات تسمح بتصريف مياه الفيضانات للحيلولة دون فيضانها خارج نطاق القناة.

٣- عدم البناء في منطقة السهل الفيضي لما لهذه الأعمال من تأثير في رفع حجم الفيضانات وأعدادها.

٤- ترك مساحة يمنع فيها ممارسة النشاط البشري، تبتعد عن القناة أو المجرى لمسافة لا تقل عن (٣٠٠)م، وتُعرف بحَرَم النهر.

٥- ضرورة متابعة سلامة القناة المائية بالترميم والصيانة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل السادس

الجيومورفولوجيا التطبيقية في المناطق الساحلية .

Applied Geomorphology in coastal areas

- السواحل وعناصرها الشكلية.
- العوامل المسؤولة عن تطورها.
- نماذج السواحل.
- العمليات الجيومورفولوجية الساحلية.
- أشكال التضاريس الساحلية.
- المخاطر الجيومورفولوجية للسواحل.
- فوائد جيومورفولوجيّة السواحل
- إستراتيجيات إدارة المناطق الساحلية.
- الحلول المقترحة لمواجهة مشكلات السواحل.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

تمثل السواحل جبهة صراع جيومورفولوجي بين بيئتين مختلفتين، هما البيئة البحرية والبيئة القارية، ولكلٍ دفاعاته ووسائل هجومه. حيث تعمل الأمواج وباقي حركات المياه البحرية والمحيطية من مد وجزر وتيارات مائية، على حت السواحل فتنقص مساحة اليابسة وتزداد مساحة البحار. ولو استمر الأمر على هذا النحو لما بقي على سطح الأرض قارات نسكنها، لذلك فإن تعويضاً ترسيبياً تقوم به أيضاً اليابسة عن طريق طرح حمولة أنهارها في مناطق الدلتاوات والمراوح الفيضية أو تصلب المهل عند السواحل القريبة من البراكين، وكذلك تفعل الأمواج والتيارات البحرية على السواحل حين تنشر ما تقوم بحته من السواحل على الشواطئ. وقد تنهض الأرض فينشأ يابس جديد بانحسار مياه البحر عنه، أو تنخسف فتغرق بغمر مياه البحر لها، مما يعقّد المشهد التضريسي تاريخياً.

وتعد المناطق الساحلية من أفضل المواقع الجغرافية للاستيطان البشري، ومن المتوقع أن يشكل سكانها بحلول عام (٢٠٢٥)م نحو (٧٥%) من سكان العالم، حيث تقع نصف المدن الكبرى الحالية ضمن نطاق (٥٠) كم من السواحل، كما تعادل الكثافة السكانية فيها (٢,٦) مرة مثيلتها في المناطق الداخلية، وتسهم المناطق الساحلية بنسبة (٤٠٪)من الإنتاج المحلي الإجمالي للاتحاد الأوربي، كما يتم (٧٥٪) من حجم تجارته الخارجية عن طريقها. (European Environment Agency: 2013.p 2). مما يعني أنها بيئات تقع تحت ضغوط كبيرة بفعل النشاط البشري المتسارع فيها.

وتعاني السواحل عموماً خطر الحت والتعرية، حيث بلغ معدل خسارة الأراضي الساحلية في أوربا نحو (١٥كم٢/سنة)، وهو ما يسبب خسائر سنوية قدرُها (٣) مليار يورو. (Van Rijn: 2010. P2). وبالمثل قدّرت حجم الخسائر المتوقعة في الولايات المتحدة الأمريكية نتيجة الحت والتآكل بفعل الأمواج خلال الـ (٦٠) سنة المقبلة، بنحو (٥٣٠) مليون دولار/سنوياً، (Landry:2012).

وتستمر هجرة السكان نحو السواحل لما تتمتع به من عوامل جذب، يقابلها عوامل طاردة من الداخل القاري، مما يعني زيادة العبء على السواحل. إلا أن وعياً متنامياً تشهده بعض الدول فيما يخص سياسات الإدارة المستدامة لها، فبدأت المؤسسات والحكومات بتوجيه جهودها نحو حماية سواحلها، وفهم العلاقات الشائكة بين مكوناتها الحيوية والفيزيائية،

والأخيرة بشقيها الطبيعي (التضاريس) والبشري (العمران واستخدام الأرض)، وبلغ الاهتمام العالمي ذروته بإعلان اتفاقية الإدارة المتكاملة للنطاق الساحلي Integrated coastal zone management (ICZM) الموقعة في مدريد عام (٢٠٠٨)م. ومن أهدافها تحقيق التخطيط المكاني الأكثر شمولية more holistic spatial planning، وهي عملية معقدة تأخذ بالحسبان مجمل الموارد البيئية والاقتصادية والاجتماعية للسواحل. وتحقيق الربحيّة منها بأقل مستوى من الضرر، وذلك بتطبيق إجراءات تنمية سليمة ومتسقة مع توازن البيئة الساحلية، ولا يتم ذلك إلا بوعي شعبي وتبصّر سياسي مشترك بين قاطني هذه المناطق والمسؤولين عن إدارتها. وتعد عملية تحليل المُركّب الجيوموفورلوجيّ للسواحل، والفهم الدقيق لآليات العمل المسؤولة عن تطورها، جزءاً لا يمكن تجاهله لوضع سياسة ناجحة في هذا الشأن.

أولاً- السواحل وعناصرها الجيومورفولوجية:

يجب التمييز بداية بين مفهوميّ: الشاطئ Shore والساحل Coast، حيث يقصد بالأول خط التماس بين مياه البحر والبر، أما الساحل فهو النطاق من الأراضي الذي يتأثر بحركة مياه البحر، ويتوقف اتساعه حسب الانحدار العام لسطح الأرض وارتفاعه، ومدى قرب البحر منه، فيكون محدوداً ومعدوماً في السواحل الصخرية الجرفية المشرفة مباشرة على البحر، وواسعاً في السهول الساحلية الفسيحة المستوية. (عادل عبد السلام: ٢٠٠٠، ص ٣٧٤) وتُدعى الأجزاء الأعلى التي تصلها الأمواج بالبلاج أو الشاطئ الخلفي Back shore، في حين يُطلق على المنطقة التي تمثل أدنى موضع تصله المياه أثناء تراجع الأمواج وحركة الجَزْر بالشاطئ الأمامي For shore. (حسن أبو العينين: ١٩٩٥، ص ٥٢١).

ثانياً- العوامل المسؤولة عن نشوء السواحل وتطورها:

من العوامل المؤثرة في نشوء السواحل وتطورها، حركات المياه البحرية والمحيطية نشاط العمليات على اليابسة، التي ترتبط بالواقع التضريسي السطحي والقاعي الشديد التعقيد، والظروف المناخية المتباينة محلياً وإقليمياً ونطاقياً، والخصائص الفيزيائية والكيميائية للكتل المائية، وهي عوامل متداخلة ليس من السهل الإحاطة بها، فعلى سبيل المثال، وعلى الرغم

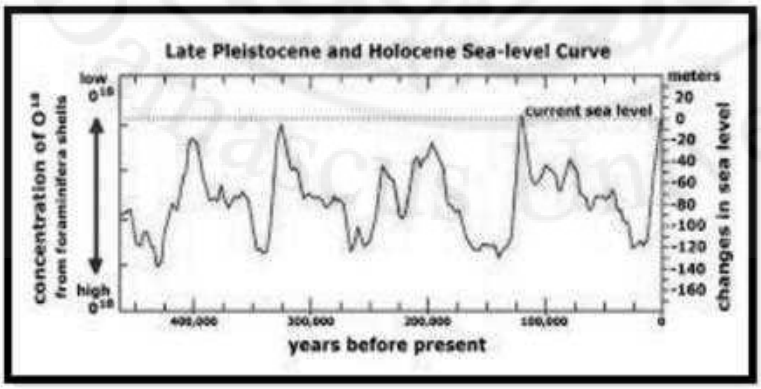
من تقدم وسائل السبر المائي والبحث، إلا أنه مازالت الاختلافات قائمة بين العلماء، فمثلاً مازالت حركات المياه في البحر المتوسط محل جدل علميّ. (شاهر آغا: ٢٠٠٤، ص ١٢١).

تتعرض التضاريس الساحلية للتعديل والتطور حسب العوامل الآتية:

١- <u>تذبذب مستوى سطح البحر:</u>

إن لتغيرات مستوى سطح البحر نتائج جيومورفولوجية خطيرة للغاية، حيث يتحدد المجال الأفقي والرأسي للسواحل من خلال ارتفاع منسوب سطح البحر إلى اليابسة أو انخفاضه، ويتعلق ذلك بأسباب مناخية ترتبط بالعصور الجليدية والدفيئة، وبأخرى بنائيّة كالحركات الخافضة والرافعة وحركة الصفائح الأرضية.

كما يؤثر تغير مستوى سطح البحر في عمل الأنهار باعتباره مستوى أساس مطلق لها، حيث تتراجع مواقع الدلتاوات مع ارتفاع سطح البحر وغمره لأطراف اليابسة، وتتعمق الأنهار عند مصباتها المتقدمة لتحتل مواقع جديدة مع إضافة أراض إلى اليابسة في حال انخفاض مستوى سطح البحر وانحساره. وفي كلتا الحالتين فإن نطاق نشاط العمليات الجيومورفولوجية من حت وترسيب ينتقل إلى مناطق جديدة، مشكّلة تضاريسها الساحليّة فيها. ولا تقف العوامل المناخية فقط وراء تغيرات مستوى سطح البحر، بل للعمليات الباطنية دور حاسم في ذلك، حيث تسبب عمليات النهوض البنائي لكل من اليابسة أو قاع البحار، وعمليات الخسف، مثل هكذا تغيرات. ويبين الشكل رقم (١-٦)، أهم الذبذبات التي أصابت مستوى سطح البحار والمحيطات خلال الزمن الجيولوجي الرابع.



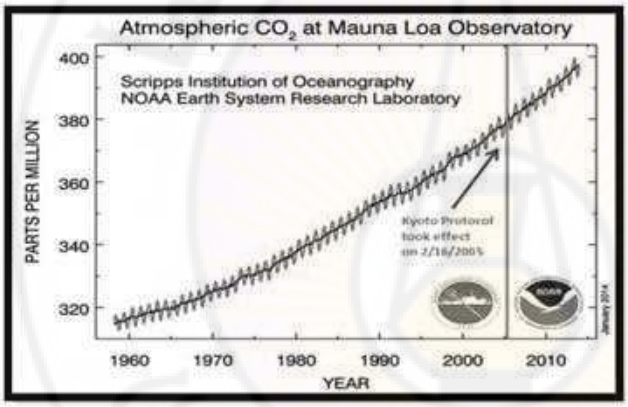
شكل رقم (١-٦) تذبذب مستوى سطح البحر خلال الزمن الرابع

وقد حدث آخر عصر جليدي منذ نحو (٢٠) ألف سنة، انخفض فيه سطح البحر في بعض المناطق لأعماق راوحت بين (٩٠-١٣٠) متراً، فتكشفت بذلك مناطق واسعة من قيعان بعض البحار متحولة إلى يابس، كالبحر الأدرياتيكي. الذي أصبح سهلاً واسعاً من بحيرات وأودية عميقة، كما تشكلت جسور من اليابسة land bridges بين روسيا وأمريكا الشمالية، كان لها أكبر الأثر في حدوث هجرة بعض الحيوانات كفيل الماموث من الأولى إلى الثانية عبر مضيق بيرنغ Bering الذي استمر متكشفاً حتى (١٤) ألف سنة قبل الميلاد. كما اتصلت تونس بصقليا وسردينيا بكورسيكا عبر أراض جافة من قعر المتوسط. ولذوبان الجليد خلال الفترات الدفيئة وآخرها بين (١٢-١٣) ألف سنة قبل الميلاد، و(١٠,٣) ألف سنة قبل الميلاد، أثر بالغ الأهمية، حيث يرتفع سطح البحر مستعيداً أراض كان قد تخلى عنها بانحساره، وقد بلغ ارتفاعه نحو (٤٤) متراً جنوب غرب نيوفنلند Newfoundland في كندا شمال شرق أمريكا الشمالية. وبين (١٢٠- ١٦٠) متراً في بايه دي سابليز Baie des Sables في مقاطعة كيبك Quebec شرقي كندا. فغمرت الأرصفة القارية، وتراجعت السواحل نحو اليابسة، وتغيرت مواقع مصبات الأودية والأنهار عالمياً، كما انخفضت ملوحة مياه البحار، فتأثرت بذلك كامل النظم البيئية البحرية والساحلية.

وقد أكدت الدراسات المخبريّة والميدانية أن معدل ارتفاع البحر راوح خلال الفترة بين (١٣-١٥) ألف سنة مضت بين (٨-٢٥) مم/سنة، لينخفض إلى (٩مم/سنة) منذ (١٢,٥) ألف سنة. ولهذا أكبر الأثر في نمو المرجان أو موته، فمع معدلات ارتفاع بطيئة لمستوى سطح البحر، تنمو مستعمرات المرجان وتتسع تدريجياً، حتى إن بعضها يتصل باليابسة القاري، فتضاف أراض جديدة على حساب حجم البحار، أما في حال الارتفاع السريع لمستوى سطح البحر، فإن هذه الأنظمة الهشة تتعرض للإغراق لأعماق تحجبها عن أشعة الشمس، وهو ما حدث منذ (١٦,٢- ١٥,٨) ألف سنة في منطقة باربادوس Barbados. كما اختفت السبخات الساحلية، فغمرت بمياه البحر خلال الفترة بين (١٠,٥-١٠) ألف سنة مضت عند الرصيف القاري جنوبي داكار.

وتشير الدراسات الحديثة أن الأرض على أعتاب دفيئة جديدة، حيث ارتفع محتوى الغلاف الجوي من غاز Co2 فوق بركان مونولوا في هاواي من (٣١٥) جزءاً بالمليون عام (١٩٥٨)م، إلى (٣٦٠) جزءاً بالمليون لعام (١٩٩٥)م، مقابل (١٨٠-٢٠٠) جزء بالمليون

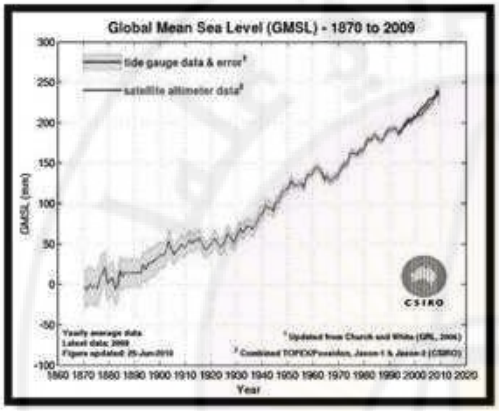
خلال الفترة الجليدية الأخيرة. (Pirazzoli: 1996. Pp 64-135). ومؤخراً أكدت دراسات الإدارة الوطنية الأمريكية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) أن زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بلغت حدوداً قياسية عام (٢٠١٥)م، حيث دلت القياسات في (٤٠) موقعاً من ألاسكا إلى جزر هاواي، أن محتوى الغلاف الجوي من CO2 بلغت (٤٠٠ جزء بالمليون)، وهو حد لم يصله الغلاف الجوي منذ (٨٠٠,٠٠٠) سنة. وقد حذرت من ضرورة تجاوزه لمستويات (٤٠٠-٤٥٠) جزءاً بالمليون. حيث يصبح تغير المناخ نحو الدفيئة أمراً لا رجعة عنه. فتنضغط النطاقات المناخية نحو خط الاستواء، فتتسع النطاقات الباردة على حساب الدافئة، وتحل تضاريس تعكس طبيعة كل مناخ في نطاقه. شكل رقم (٢-٦). (http://www.worldviewofglobalwarming.org/pages/maunaloa).



شكل رقم (٢-٦) زيادة نسبة غاز CO2 فوق بركان مونولوا.

كما تشهد البحيرات القارية تغييرات جذرية في مستوى مياهها السطحية استجابة لنظام الهطل، والتبخر. فمثلاً سببت فترة طويلة من المناخ الرطب في ولاية يوتا Utah في أوائل عام(١٩٨٠م)، ارتفاع مستوى المياه في بحيرة Salt Lake الكبرى، فغمرت الفيضانات مدينة سولت لايك بمستويات قياسيّة. ولذوبان الجليد تأثير خطير في العمل النهري والساحلي، حيث تتعرض القشرة الأرضية في أجزاء من جنوبي شرق خليج هدسون وكندا، للنهوض الارتدادي نتيجة ذوبانه بنحو (٤ م/قرن). وتصل المعدلات على طول الشاطئ الشمالي لبحيرة سوبيريور إلى(٦٠ سم/قرن). (El Raey: 2010). وترجع ظاهرة الاحتباس الحراري إلى زيادة تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. مما سببَ ارتفاع درجة حرارته خلال القرن الماضي بمعدل (٠.١٣/ عقد)، ويتوقع أن يرتفع المعدل من(١,١)درجة مئوية إلى (

٦,٤)درجة مئوية، بحلول نهاية هذا القرن. وتشير دراسات القطبين والجموديات، إلى تراجع خطير في أحجامها ومساحاته. مما يعني زيادة حجم المياه في المحيطات، وارتفاع مستوى سطح البحر، وتغير نطاقات السواحل، وتشير التقديرات إلى أنه من المتوقع بحلول نهاية القرن الحالي أن يراوح ارتفاع مستوى سطح البحر بين (١٨ – ٥٨)سم، إلا أن تقديرات حديثة أكدت ارتفاعه إلى أكثر من(١٨٠) سم.ويبين الشكل رقم (٣-٦) الارتفاع المطرد لمستوى سطح البحر خلال الفترة بين (١٨٧٠-٢٠٠٩)م.



الشكل رقم (٣-٦) ارتفاع مستوى سطح البحر بين عامي (١٨٧٠-٢٠٠٩)م..

٢- **حركات المياه:** تتنوع حركة مياه البحار والمحيطات، بين التيارات البحرية والمد والجزر والأمواج.

أ-التيارات البحرية sea currents: تتأثر بثلاثة عوامل:

١- الرياح الدائمة: خاصة الرياح التجارية الشمالية، والجنوبية الشرقية. التي تهب باتجاه خط الاستواء، وتعمل على دفع المياه الاستوائية نحو أمريكا الوسطى، حيث يندفع تيار الخليج منعكساً عابراً الأطلسي باتجاه غرب أوربا وشمالها الغربي.

٢-قوى أرخميدس: تنشأ عن تغيرات داخلية في خصائص كتلة الماء، التي ترجع إلى عاملي الانكماش والتمدد، نتيجة لتعرضها للبرودة والحرارة، وقد ترتبط بزيادة ملوحة المياه نتيجة التبخر الشديد، كما في المناطق المدارية، أو العكس نتيجة تدفق كمية هائلة من المياه العذبة نتيجة ذوبان الجليديات والأنهار الجليدية، والهطل الغزير.

٣- دوران الأرض: تولد قوة تعرف بقوة كوريولس. تؤثر في الغلافين الجوي والمائي، وهي لا تسبب حركة المياه بقدر ما تسبب انحرافاً في حركتها، فالمياه تتحرك في نصف الكرة الشمالي نحو اليمين، وفي نصفها الجنوبي نحو اليسار.

ب-المد والجزر Tides: يتحرك سطح البحر بين ارتفاع وانخفاض مرة كل نصف يوم تقريباً. تنشأ هذه الحركة عن وقوع الأرض في نطاق قوى جذب القمر والشمس لمياه البحار والمحيطات، و بالرغم من كبر حجم الشمس إلا أن تأثير القمر على مياه سطح الأرض أكبر لقربه منها، وهي قادرة على تحريك كتل مائية ضخمة. فمثلاً تجلب تيارات المد سنوياً إلى خليج Fundy كتلاً من الماء تقدر بنحو (١٠٠) مليون طن مرتين يومياً. ويبلغ أقصاه في مياه حوض ميناس بمقدار (١٥)م، بينما لا يزيد في حوض البحر المتوسط شبه المغلق على (١٠) أمتار. ولهذه العملية أثر ميكانيكي ضعيف على الصخور، كونها تحدث ببطء، إلا أن آثارها الكيميائية كبيرة، حيث يغمر المد مساحات من الصخور بالمياه والأملاح، وهي مياه ذات محتوى عضوي في بعض السواحل، فترتفع قدرة المياه على الانحلال والإذابة.

ج-الأمواج Waves:

هي اهتزازات شاقولية تعبّر عن انتقال الطاقة عبر تحريك جزيئات الماء، في مسار دائري أو بيضوي يتعامد مع خط مرور الموجة، وتستمد الأمواج طاقتها من الرياح، فتعكس الموجة بعض خصائص الرياح كالقوة والاتجاه والتكرارية، حيث تكون الرياح شديدة تتحرك كتلة الماء على شكل موجة حادة القمة، والعكس يعطي موجة محدبة. وكما تنشأ أعظم الأمواج في المحيطات لاتساع مجالها، وبلغ طول أكبر موجة محيطية تم قياسها (١١٣٠)م، وأعظم ارتفاع كان (٣٤,٢)م، وذلك في المحيط الأطلسي عام (١٩٦١)م.

تصنف الشواطئ وفق علاقتها بطاقة الأمواج إلى: شواطئ مبددة Dissipative beaches، وشواطئ عاكسة reflective، وشواطئ متوسطة intermediate. وتكون الطاقة في الأولى عالية، حيث الأمواج مرتفعة والرمال ناعمة والشواطئ متدرجة مع نطاق الأمواج وتعدد للحواجز الشاطئية. في حين تختفي هذه المظاهر في الشواطئ العاكسة الضيقة ذات الطاقة المنخفضة، كالمناطق المحمية sheltered، والخلجان شبه المغلقة semi-enclosed bays.

ا/ج- خصائص الموجة وعناصرها:

- ارتفاع الموجة: هي المسافة الرأسية بين قمة الموجة وقاعها، أي إنه المجال الرأسي لعمل الأمواج وتأثيرها الجيومورفولوجي، ويرتبط بالعوامل الآتية: سرعة الرياح، و مسارها البحري Fetch، ومدة هبوبها، وعمق المياه، وتضاريس قاع البحر، والخصائص الفيزيائية لمياه البحر، و التيارات البحرية.
- طول الموجة: المسافة الأفقية بين قمتين متتاليتين.
- انحدار الموجة Steepness of Wave: يفيد في تحديد شكل الموجة ودوامها، ويمكن حسابها من العلاقة التالية بين ارتفاع الموجة W.H وطولها W.L:

$$W.S = W.H/W.L$$

وكلما تجاوز انحدار الموجة حد (٠,١٤) أي كانت نسبة الارتفاع إلى الطول(١/٧) أصبحت الموجة غير مستقرة Unstable مما يسبب انهيارها. ويكون انحدار العادية منها أكبر من (٠,١). ونادراً ما يكون أشد من (٠,٠٥٦) أو (١/١٨).

- فترة الموجة: الوقت المستغرق لمرور قمتين متتاليتين من نقطة مقدراً بالثانية، ويطلق عليها أحياناً تكرارية أو ترددها، وهو مؤشر مهم للغاية لتحديد مدى فعالية عملية الحت.
- قوة الموجة: تتولد أثناء هبوب الرياح أو العواصف وسط البحار والمحيطات. تكون متداخلة فيما بينها من حيث الحجم والأبعاد والتردد. وقد وجد أن رياحاً بسرعة (١٦كم/سا) تولد أمواجاً يزيد ارتفاعها على (٦٠سم)، وأن رياحاً بسرعة (٨٠كم/سا) تولد أمواجاً قادرة على بلوغ ارتفاع (١٨) متراً. وتراوح فتراتها بين (٠,١- ٢٠ ثا).

ومع خروج الأمواج من منطقة سيطرة الرياح تستقل بذاتها، وتمثل الأمواج الأطول والأقل ارتفاعاً، وتراوح فتراتها بين (٦-١٦ثا)، مما يدل على تجانسها وانتظامها، لذلك يمكن إخضاعها للأسس والقوانين النظامية. وفي دراسة قام بها (Holcombe 1958) عن الأمواج تبين الآتي:

١- أن دائرة العرض الرئيسة التي يوجد فيه أكبر عدد من العواصف المطيرة والتي تولد أمواجاً عاتية، تقع عند الدائرة (٥٤°) جنوباً في الشتاء، والدائرة (٥٦°) جنوباً في الصيف، والدائرة (٦٢°) شمالاً في الصيف، والدائرة (٤٦°) شمالاً في الشتاء.

٢- أكثر السواحل التي تتعرض للأمواج المحيطية هي السواحل المفتوحة.

٣- تفقد الأمواج المحيطية (٨٠-٩٠%) من طاقتها بعد مسافة (٢٠٠٠)كم عن مصدرها.

- **سرعة الموجة Speed of Wave:**

تعكس السرعة بطبيعة العلاقة بين العوامل المسببة للحركة، والعوامل المعيقة لها. ففي حال كانت الأمواج من النوع الزلزالي أو ما يعرف بأمواج التسونامي Tsunami ستكون سرعتها في عرض البحر بين (٧٠٠-٨٠٠كم /سا)، وعند الشاطئ نحو (٥٠٠كم/سا)، أما في حال الرياح، فتختلف حسب طبيعتها، حيث تكون إعصارية مدارية تعرف بالهوريكان Huricans، وهي الأشد قوة، وتراوح فيها سرعة الرياح بين (١٢٠-٣٨٠كم/سا)، ويعبر عنها رياضياً بالعلاقة:

$$C=1.56\ T \quad \text{أو} \quad C= L/ T$$

حيث C سرعة الموجة.

L طولها.

وعلى فرض أن فترة الموجة (١٠) ثا، فإن طولها يبلغ (١,٥٦ × ١٠٠ = ١٥٦). وتكون سرعتها(١٦٠/ ١٠ = ١٥,٦ م/ثا). وهذا يعادل نحو (56 كم/سا).

أما عوامل الإعاقة فمنها طبيعة قاع النطاق البحري، كالعمق، والوعورة، والجزر والرؤوس البحرية، ومها بشرية، كالإنشاءات الهندسية الصلبة، والتي تشمل الجدران السمنتية، والكتل الصخرية والحجرية، والرؤوس الخراسنية، ومنها الهندسية المنسجمة مع الطبيع، كالتشجير والتعشيب وحماية الكثبان الرملية..

- **طاقة الموجة Energy of Wave:**

للطاقة مفهومان فيما يخص الأمواج، الأولى كامنة Potential، والثانية حركيّة Kinetic، وتحسب من العلاقة التالية:

$$E = 1/8\ PGH^2$$

حيث : E طاقة الموجة.

P كثافة الماء.

G معامل تسارع الجاذبية ويعادل ٩,٨١م/ثا^{٢}

H ارتفاع الموجة.

أي إن العلاقة بين طاقة الموجة وارتفاعها، علاقة طردية، فكلما ارتفعت الموجة زادت طاقتها. وتتناسب طاقة الموجة البحرية الحركية والكامنة ارتفاع الموجة. وتسارع الجاذبية الأرضية. وكثافة ماء البحر التي يتعلق بالملوحة وحرارة ماء البحر والضغط والعوالق وهي تختلف من منطقة إلى أخرى.

وتحدد طاقة الموجة قدرتها على الحت والتدمير، ولها أوقات محددة أو مستمرة، فعلى سبيل المثال، تبلغ طاقة الأمواج ذروتها على الساحل السوري في قطاع طرطوس في أشهر كانون الأول وشباط وآذار وأيار (بهجت إبراهيم: ٢٠١٢).

٢/ج- أنواع الأمواج حسب شكلها:

- **الأمواج المنسكبة Spilling waves:**

تنتج عن الأمواج القبابية Swell، تتميز بتسطحها وانحدارها البسيط، وتتميز بانخفاضها الذي لا يزيد على (١) متر، وطولها البالغ نحو (١٠٠)متر، وتكون فترتها طويلة، وطاقتها محدودة، وبالتالي تجنح إلى الترسيب.

- **الأمواج الساقطة Plunging waves أو المتكسرة:**

تسبب شدة انحدار قطاع الشاطئ، تكسراً عنيفاً للموجة، بعد انحناء مقدمتها بقوة لتحصر جيباً من الهواء داخلها، وهي أمواج مرتفعة، قصيرة، سريعة في تكراريتها فتحدث خلال فترات تراوح بين (١٠-١٤مرة/دقيقة)، وبالتالي فعملها الأساس هو الحت والنقل التراجعي. إلا أنه لا بد من تأكيد حقيقية، أنه في نطاق التكسر يصبح العمق أقل من نصف طول الموجة. وفي الحالتين يجب فهم ارتداد الموجة Wave reflection، الذي غالباً ما تكون زاوية الارتداد معاكسة لزاوية الاصطدام، ويخضع ذلك لعدة عوامل منها استقامة الساحل أو تعرجه، واندفاع الموجة دون إعاقة.

٣- خصائص السواحل (اليابسة):

تنشأ السواحل وتتطور متأثرة بخصائص اليابسة أيضاً، وأهمها:

أ- أنواع الصخور وخصائصها البنيوية: فكلما كانت الصخور قاسية استعصت على عملية الحت الساحلي وكانت مستقيمة، في حين يؤدي تنوع صخورها إلى نشوء سواحل متعرجة، تتطور إلى خليجان ورؤوس، نتيجة الحت التفاضلي لصخورها.

ب- تُضعف الكسور والصدوع السواحل الصخرية، وتمثل مواطن ضعف فيها، لذلك ترتبط العديد من مواقع تراجع السواحل الصخرية بها. كما أن لأسطح التطبق ذات التأثير، فهي أسطح ضعف تستغلها المياه لحت السواحل، إلا أن حيزها المكاني يكون أفقياً، في حين يكون رأسياً أو مائلاً عند الصدوع.

ت- تتحكم ميول الطبقات بمعدل تراجع السواحل، حيث تحدث النزلاقات الصخري في السواحل التي تميل طبقاتها نحو البحر بفعل النسف السفلي لقواعدها، فتتراجع بمعدلات أكبر من تلك السواحل الصخرية التي تمي طبقاتها بعكس جهة البحر، التي تبقى معلقة على الرغم من تعرض قواعدها للحت والتقور، تتشكل شرفات صخرية، تنهار في النهاية بسبب ثقل وزنها وعدم قدرة الجدران على حملها. صورة رقم (١-٦).



صورة رقم (١-٦) طبقات الصخرية مائلة عكس اتجاه البحر، مما يبطئ من وتيرة تراجعها بفعل الحت.

ث- تؤثر الزلازل في شكل السواحل وتطورها، فترفع أجزاء منها و/أو تخفض أخرى، كما تسبب الانزلاقات والانهيارات الصخرية.

ج-للثورانات البركانية دور مهم تؤديه في نشوء السواحل أو تطورها، فتتسع وتمتد في حال انتهى المهل أو المواد الصخرية المنزلقة أو المنهارة بفعل انفجار البركان إلى ساحل البحر، وقد تختفي قطاعات من السواحل بسبب ثورانات البراكين.

ح- يحدد انحدار الساحل وارتفاعه مدى تعرضه لتأثير حركات المياه، فكلما كان منخفضاً تنوعت الحركات المؤثرة فيه من حت ومد وجزر. في حين تبقى الأجزاء المرتفعة بعيدة عن تأثير الأمواج.

خ- أما المناخ فله تأثير عالمي، وآخر محلي، فمثلاً تعمل المناخات المطيرة على تشكل جريانات مائية سطحية فوق منحدرات الجبل الساحلية، فتقطعّها بالحت، فتصبح السواحل متعرجة.

د- على الرغم من كون التضاريس من نتاج العمليات الجيومورفولوجية لحركات مياه البحر، إلا أنها تؤثر فيها فيما بعد، حيث تُحدِث المغاور والمسلات والخلجان والرؤوس تغيرات مهمة في قوة الأمواج واتجاهاتها وتأثيرها، وبالتالي في شكل الساحل وتطوره.

ذ- أخيراً للغطاء النباتي أثر مهم في حماية السواحل من الحت البحري.

٤- **التدخلات البشرية:** تعد التدخلات البشرية من أهم المؤثرات في شكل السواحل المعمورة، بل يمكن اعتبارها أكثر فعالية من العوامل الطبيعية السابقة، وذلك لسرعة حدوثها وتداعياتها الخطيرة في كثير من الأحيان، (Landry: 2012). وتتمثل بالآتي:

أ- **الدفاع الساحلي القاسي** Hard coastal defense: تشمل الدفاعات الساحلية الصلبة، كافة أساليب الهندسة، كالأسوار البحرية والجسور، وحواجز الأمواج، والأرصفة، أو أي هياكل صلبة وصخرية كالدروع الصخرية والإسمنتية، التي تهدف إلى حماية السواحل والشواطئ. تُحدث هذه المنشآت تغيراً في أنماط نقل الرواسب الساحلية من خلال ثلاث عمليات رئيسة هي:

١- الحد من الرواسب المنقولة على طول الشاطئ trapping of sediment transported alongshore، مما يسبب نقصاً في كميتها، ويحول دون وصول الأمواج إلى الشواطئ للحصول على الرواسب اللازمة لنشرها على طول الشواطئ، وهو ما يعد أساس بناء الشواطئ. مثال عنها سواحل برايتون – ساسكس Brighton - Sussex (المملكة المتحدة)، و شواطئ ميسّينا Messina في إيطاليا.

٢- الموجات المرتدة Counter waves: وتعرف بظاهرة الموجة المنعكسة The reflected wave التي ترتد عن الهياكل الصلبة، وتبدد طاقة الأمواج القادمة من البحر،

وزيادة اضطرابها، فتزداد قدرتها على حت السواحل والشواطئ بأسلوب عشوائي. وقد عززت هذه الظاهرة على طول السواحل التي بنيت أمامها جدران بحرية، مثال عنها سواحل شاتيلايون Chatelaillon (فرنسا).

٣-انحراف الموجة Wave diffraction: وهو تغيير اتجاه قمة الموجة بسبب القرب من الهياكل في اتجاه البحر (مثل الأرصفة أو الممرات المائية). مما يضعف طاقة الأمواج. مثال عنها حالة ساحل بلايا كروس Playa Gross (إسبانيا).

ب- **استصلاح الأراضي** Land reclamation: تعاظم تأثير مشاريع استصلاح الأراضي التي حدثت في النصف الثاني من القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين في السواحل، حيث تسببت بالحد من المد والجزر، وحدّت من فعالية الفيضانات، وخفّضت كمية الرواسب التي تعزز استقرار السواحل. كما لوحظ في مناطق من روسلير Rosslare/ أيرلندا خلال الفترة بين عامي(١٨٤٥-١٨٥٥)، و منطقة شيلدت الغربية Western Scheldt/ هولندا.

ج- **تنظيم مياه الأنهار Regulation of river water**: من خلال بناء السدود بشكل مكثف على الأنهار وحجز ملايين الأمتار المكعبة من الرواسب. وقد انخفض حجم الرواسب التي حملتها بعض أنهار أوربا بسبب السدود إلى (١٠%) مما كانت تلقيه عام (١٩٥٠)م. كأنهار: إيبرو Ebro، دورو Douro، يوميا Urumea، الرون. وأقل من (٥٪) في نهر إيبرو، مما أدى إلى عجز كبير في إمداد مصباتها بالرواسب النهرية، وغلبة الحت البحري في مناطق الدلتا، كدلتا ايبرو - بلايا (إسبانيا)، ودلتا الرون (فرنسا).

د-**التجريف** Dredging: كُثّفت عمليات الحفر في مياه القنوات والموانئ في العقدين الماضيين لأغراض تحسين الملاحة، ولأغراض البناء، ويؤثر التجريف في العمليات الساحلية عن طريق إزالة مواد الشواطئ الأمامية (الحجارة والحصى)، التي تحمي السواحل من التآكل. على سبيل المثال: تشير التقديرات إلى أن (٥٠٪) من إجمالي حجم الحصى أي نحو (٣ مليون م٣) تم استخراجها من الجرف الطباشيري chalk cliff لساحل النورماندي فيفرنسا منذ أوائل عام (١٩٠٠)م. وكذلك يتعاظم العجز في دورة الرواسب، كما هي الحال في مصب نهر مهمبر Humber ، وساحل ساسكس في المملكة المتحدة، وذلك لأغراض البناء، وفي منطقة شيلدت الغربية في هولندا الأغراض الملاحة، وفي دلتا نهر الميسيسيبي،

والميكونغ. وقد سبب تعميق السواحل زيادة في قدرة الأمواج وعدم تكسرها، كما في بحر وادن في هولندا. صورة رقم (٢-٦)، أو بضخ الرمال. صورة رقم (٣-٦).



صورة رقم (٢-٦) تجريف قنوات النقل في دلتا الميكونغ. بطريقة التجريف الآلي.



صورة رقم (٣-٦) تجريف قناة نهر النيجر بطريق ضخ الرمال منها.

هـ-إزالة الغطاء النباتي Vegetation clearing: تعد النباتات من أهم خطوط الدفاع الطبيعية والصنعية ضد الحت الساحلي، وإزالتها يعني السماح للأمواج بالتوغل في اليابسة أكثر وأسرع، كم تؤدي التغيرات في استخدام الأراضي وأنماط الغطاء الأرضي، إلى زيادة في تسرب المياه المالحة نحو المياه الجوفية فضلاً عن تقويض استقرار الجروف، كما حدث في المناطق التي حولت إلى ملاعب غولف في استيلا وفالي دو لوبو في البرتغال.

و-تعدين الغاز أو استخراج المياه: توضح بعض الأمثلة تأثير تعدين الغاز أو استخراج المياه على هبوط الأرض كما في بحر وادن - هولندا. وعلى الرغم من محدودية الظاهرة، إلا أن نتائجها لا رجعة فيها، أي يصعب معالجتها حيث تكّون حفر كبيرة جداً. مثال عنها ما تتعرض له شواطئ سيراليون، صورة رقم (٤-٦).

ز- الموجات الناجمة عن السفن Ship-induced waves: تظهر آثارها في السواحل الهشة، التي تقصدها السفن بشكل متكرر، أو تكون سفن عملاقة، تدفع بالمياه نحو الساحل مسببة أضراراً تشبه الموجات البحرية الطبيعية.



صورة رقم (٤-٦) التعدين المحموم وغير المنضبط في شواطئ سيراليون.

ثالثاً- نماذج السواحل

تختلف المعايير التي تصنف على أساسها السواحل، إلا أن أفضلها ما جمع بين النشأة والشكل، ويمكن تمييز النماذج التالية من السواحل:

١- **سواحل الريا:** سواحل صخرية متعرجة، خلجانها كثيرة تتوغل في اليابسة. ترتبط نشأتها بأصولها النهرية، فهي عبارة عن أودية نهرية مغرقة، لذلك يكون مقطعها العرضي مثلثياً حاد الجوانب، أشهر أمثلتها سواحل غالبسيا في أيبيريا.

٢- **سواحل الشروم:** تمتد على طول سواحل البحر الأحمر، وهي تشبه سواحل الريا. إلا أنها عبارة عن أودية سيلية مغرقة. مما يعني أن مقاطعها العرضية أشد خطورة على السفن من سواحل الريا. ويستفاد من قرب الرفوف القارية في ممارسة السباحة العميقة، وإنشاء المنتجعات السياحية، كما هي الحال في مدينة شرم الشيخ، التي تستقبل نحو (٣,٥) مليون سائح سنوياً، صورة رقم (٥-٦).



صورة رقم (٥-٦) جزء من مدينة شرم الشيخ السياحية جنوبي سيناء.

٣- **سواحل الفيوردات:** سواحل صخرية ذات خلجان متوغلة في اليابسة. ترتبط نشأتها بالعمل الجليدي الذي حفر وشكّل أودية الأنهار الجليدية. لذلك توصف بالعمق والاتساع بين الجوانب القائمة، وهي أفضل من السواحل السابقة لممارسة أعمال الملاحة، أشهرها سواحل النرويج وأيسلندا. صور رقم (٦-٦).



صورة رقم (٦-٦) جزء من الساحل النرويجي.

٤- **سواحل بنائية:** ترتبط بنظام الصدوع الرأسية، حيث تغمر مياه البحر الشفة السفلى، وتبقى العليا لتشكل سهلاً ناهضاً يشرف على البحر بجرف صخري قائم أو حاد الانحدار ينطبق على مرآة الصدع، وتتخذ شكلاً مستقيماً في بداية نشأتها، بل يمكن أن تحتفظ بهذه الاستقامة لفترات أطول من سواها، في حال تكونت من صخور قاسية، وأشرفت على بحار مغلقة أو شبه مغلقة، كما هي الحال في ساحل البحر الأحمر شرقي مصر. (محمد صبري محسوب: ١٩٩٨، ص ٢٥٧).

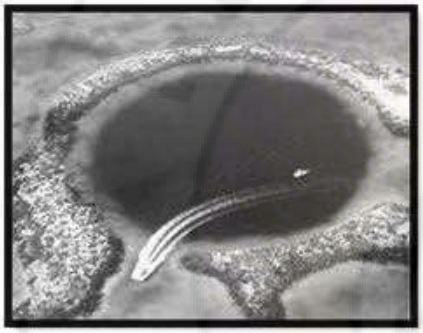
٥- **سواحل بركانية:** أشهرها سواحل الجزر البركانية كإندونيسيا وهاواي، أو التي تنتهي إليها اللابات البركانية من داخل القارات كسواحل جنوبي إيطاليا، تختلف حسب طبيعة موادها، بين سواحل خبثية غير متماسكة، كالتي تنتشر على طول سواحل جزيرة كاراكاتوا الإندونيسية، وتعاني سرعة تراجعها تحت وطأة حت الأمواج، بينما تزيد اللابات من مساحة جزر هاواي مع وصولها إلى الساحل وتبردها ثم تصلبها بعد تماسها مع ماء البحر. صورة رقم (٧-٦).



صورة رقم (٧-٦) جزء من ساحل جزيرة هاواي، بين كاهولويKahului وهاناHānā .

٦- سواحل عضوية:

أشهرها السواحل المرجانية Coral reefs. التي ترتبط بأحياء المرجان التي تبني مستعمراتها في مناطق ذات شروط خاصة، حيث لا تزيد الأعماق على (١٠٠)م، ودرجة الحرارة لا تقل عن (١٨) في الفصل البارد، والمياه قليلة الملوحة وصافية تسمح لضوء الشمس بالوصول إل المستعمرة، لذلك تمثل مناطق بين المدارين أفضل السواحل لنمو المرجان وتطوره. ومن المظاهر المرجانية الجاذبة للسياحة جزر الآتول، أو الجزر الحلقية، وفيها تنمو المرجانيات صعوداً على سواحل بعض الجزر، في حين تهبط الجزيرة تدريجياً لأسباب بنائية، مما يحول داخلها إلى بحيرة زرقاء محاطة بالمرجان، صورة رقم (٨-٦).



صورة رقم (٨-٦) المرجان يحيط بما يعرف عالمياً بالحفر الزرقاء العميقة، وأشهرها جزر Belize عند الساحل الشمالي الشرقي لغواتيمالا.

ومن السواحل العضوية سواحل المانغرف (القرم): تنشأ في سواحل ضحلة، تراوح أعماقها بين (٥-١٠) أمتار، تنخفض فيها قوة الأمواج حتى تكاد مياهها أن تكون راكدة، وتنتهي إليها مصبات الأنهار فتمدها بالمغذيات والمواد الطينية والغرينية، مما يفسر انخفاض ملوحتها، تساعد في تشكل نوع من الترب البحرية الذي يعرف باسم (بوتو بوتو) وعليها تنمو شجيرات المانغروف، لها أهمية تطبيقية في حماية السواحل وتثبيتها ووقايتها من فعل الأمواج (عماد الدين الموصلي: ١٩٩٨، ص٥٥٥). صورة رقم (٩-٦).



صورة رقم (٩-٦) سواحل المانغروف.

رابعاً- العمليات الجيومورفولوجية الساحلية:

١- عملية الحت:

الحت ظاهرة طبيعية، تصيب نحو (٩٠%) من سواحل العالم، ومن المرجح أن تزداد بسبب ارتفاع منسوب مياه البحر وزيادة نشاط العواصف،(Williams : 2001). وتعد عملية الحت السبب الطبيعي الرئيس في تآكل السواحل وتراجعها، إلا أن النهضة الصناعية والعمرانية التي حدثت في بعض الدول، أسفرت عن تعاظم الدور الخطير الذي يؤديه الإنسان في زيادة حجم الفاقد من رواسب الشواطئ، فقد أكد دوغلاس Douglas عام (٢٠٠٣)م أن معدل الإزالة السنوية للرمل من الشواطئ الأمريكية، بلغ نحو (١) مليار م٣ خلال القرن الماضي، وذلك بسبب الأعمال الهندسية. (Van Rijn :2010. P 1).

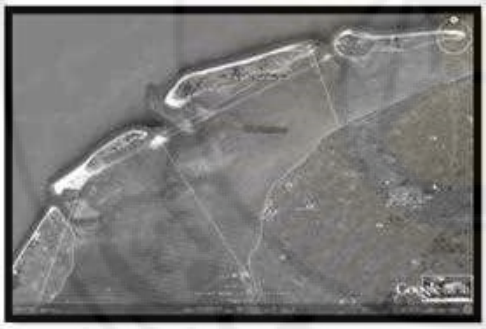
ولقد سجل أعلى تراجع للسواحل في جزيرة كراكاتو، وهي جزيرة بركانية تقع بين جزيرتي سومطرة وجاوة، فقد بلغ في بعض المواقع (٣٠م/سنة)، وذلك لضعف تكونها، حيث يشكل الرماد البركاني الهش معظمها. كما تشير الدراسات إلى تراجع كبير لخط سواحل المغرب العربي الشمالية على المتوسط، نحو (٢٢مم/سنة) بين عامي (١٩٦٣-١٩٨٠). وتراجع ملحوظ عند مصب نهر ملوية بسبب حجز الرواسب التي كانت تصلها خلف سدود حمادي ومحمد الخامس. (الطيب بومعزة و هشام لسكع: ٢٠٠٩، ص ص ٢-١٥).

كما تراجعت قطاعات من الساحل المصري على البحر المتوسط غرب فرع رشيد، حيث بلغ المتوسط السنوي لتراجعها بين عامي (١٩٧٠ - ١٩٩٠) حوالي (٧٥.٣٥) متر سنوياً، (منى عبد الرحمن الكيالي: ١٩٨٤، ص ١٥٢)، وأكدت دراسات أخرى تبايناً واضحاً في معدلات تراجع الساحل الشمالي (محمد محمود طه: ١٩٨٨، ص٢١١) (محمد صبري محسوب: ١٩٩٨، ص ٩٣). وأنه يحدث نتيجة لعدة أسباب، منها: هبوط اليابسة المجاور للبحر، وذلك إما لارتفاع قاع البحر، أو لهبوط سطح اليابسة.

وفي أوربا، وعلى الرغم من تدابير الوقاية والحماية المطبقة، فإن ما يقرب من (٢٠%) من سواحلها يتآكل حالياً (Niesing: 2005 . p421). ومن المتوقع أن يختفي حوالي (٤٥٠٠)كم٢، نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر المرتبطة بتغير المناخ، أي ما يعادل نصف الأراضي الرطبة الساحلية، مع العلم أن نحو (١٠٪)منها محمي بالدفاعات البحرية، وتواجه أوروبا اليوم خطر حت السواحل بسبب:

- الفيضانات الساحلية نتيجة لتآكل الكثبان والحواجز الرملية.
- تقويض الدفاعات بفعل تآكل الشواطئ الأمامية والحت الساحلي.
- تراجع المنحدرات والشواطئ والكثبان الرملية، مما تسبب في فقدان الأراضي ذات القيمة الاقتصادية والبيئية، نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر، أو انخفاض في توافر الرواسب.

تعد هولندا من أشد دول أوربا تأثراً بالبحر، فقد عانت انخفاض أراضيها وسواحلها، فبنت حاجزاً من الكثبان والحواجز الرملية، يتفاوت عرضه بين مئة متر إلى عدة كيلومترات، صُمم ليكون خط الدفاع الأساسي ليتحمل عاصفة قوية من مستوى نادر الحدوث. صورة رقم (١٠-٦)، وهو عبارة عن سد رملي – نباتي، تعاد زراعته في حال تدهورت حالته في موقع ما، وبعد دراسة متأنية قامت بها الحكومة الهولندية لعدد من البدائل، تقرر الحفاظ على الشريط الساحلي في موقعها لحالي. إلا أنها تبنت بعض الأساليب الحديثة، كالسماح بالعمليات الجيومورفية التي تسهم في تحقيق التنمية بالحدوث، مثل زحف الرمال من وإلى الحاجز الرملي.



صورة رقم (١٠-٦) امتداد جزر أقليم الفريز لاند شمالي هولندا (الحاجز الرملي المتقطع).

وحُددّت أكثر الأماكن عرضة لخطر الحت على امتداد (٥) كم، من الساحل الشمالي الشرقي لجزيرة وادن Wadden من تيرشيلينج Terschelling، صورة رقم (١١-٦). التي تعاني مشكلات عدة، كالحركة الدائمة لكثبانها، وتعرض الخارجية منها – أي التي تقع في جهة البحر – للحت، بينما تتعرض الكثبان الداخلية للتقويض والتقطيع بسبب الأودية. وقد طبقت استراتيجية مزدوجة لحماية الساحل، تقوم على تحقيق هدفين، **الأول**، تزويد الحواجز بالرمال باستخدام مصائد خاصة، وقد حُقق الهدف بزيادة قدرها (٢٥٠,٠٠٠)م٣ من الرمال خلال تسع سنوات، **والثاني:** إيصال الحاجز الرملي إلى مرحلة من التطور الطبيعي-الذاتي،من خلال تصميم جيومورفولوجي geomorphological design يساعد على التزود

بالرمال بفعل نقلها طبيعياً من النهاية الشرقية والغربية للساحل وإعادة تشكيلها ذاتياً على طول الحاجز الرملي. (van der Wal:1996).



صورة رقم (١١-٦) حاجز جزيرة تيرشخيلينج.

أما في المملكة المتحدة فقد بينت دراسة أعدت للبرلمان، من قبل قسم إدارة المياه والفيضانات (FWFA)، تأثر مناطق مثل كمبريا وكورنوال نورفولك الشمالية، بين أعوام (٢٠٠٧-٢٠٠٩م)، وتعرض حوالي(٥,٢) مليون ملكية لخطر الحت، وأن واحداً من ستة عقارات معرضة لخطر ،إما بفعل فيضانات الأنهار، و/أو فيضان مياه البحر، ونحو ما يقرب من(٢٠٠) ملكية معرضة حتماً للخطر، وأن حوالي (٣٤٠)كم من الدفاعات الساحلية تآكلت. ويلاحظ من الصورة رقم (١٢-٦)، تراجع خط الساحل شرقي بريطانيا، في منطقة نورفولك Norfolk.

ولطبيعة المواد المكونة للسواحل الدور الأبرز في تحديد فعاليّة الحت، فمن البدهي القول إن السواحل الصخرية أشد مقاومة لعمليات الحت، في حين تتراجع السواحل الرملية ذات المكونات الطرية والهشة، بوتيرة أسرع لضعف مكوناتها. صورتان رقم (١٣/١٤-٦).



صورة رقم (١٢-٦) تراجع سواحل نورفولك بين عامي (١٩٩٦-٢٠١٢).





صورتان (١٣/١٤-٦) لجزء من ساحل متنزة كارلين Carlin على ساحل جوبيتر Jupiter في كاليفورنيا، اليمنى عام (٢٠١٢)م، اليسرى عام (٢٠١٤)م.

ومن بين المشكلات التي واجهتها أوربا مؤخراً، حسب دراسات المعهد الوطني لإدارة السواحل والبحار في هولندا (RIKZ 2004)هي:

١. تآكل نظام الكثبان الرملية نتيجة لحدوث العواصف، الأمر الذي قد يؤدي إلى حدوث فيضانات في المناطق النائية. وأفضل مثال على ذلك قطاعات من ساحل هولندا، كما في بحر وادن، وشبه جزيرة هيل Hel، و سولت Sylt.

٢. انهيار العقارات الواقعة في الجزء العلوي من منحدرات التلال، كما هو موثق في مناطق إيستيلا كاستيلون Castellon Estela، وفالي Vale.

٣. تقويض دفاعات الفيضانات البحرية نتيجة لانخفاض الشواطئ الأمامية، كما حدث في هيومبير إيسواري Humber Estuary.

٤. فقدان الأراضي ذات القيمة الاقتصادية مثل شواطئ مامايا Mamaia، والأراضي الزراعية في أيسيكس Essex، أو ذات القيمة البيئية كما في جزيرة شارهورم Scharhoern على طول مصب نهر الإلب Elbe.

كما تتعرض سواحل جزيرة لويزيانا في الولايات المتحدة الأمريكية، منذ (١٨٥٦)م، لتراجع خطير، تحت تأثير ضربات الأمواج العاتية المرافقة للأعاصير العنيفة التي تضرب المنطقة بشكل متكرر. حتى بلغ معدل تراجع سواحلها حداً حرجاً وخطيراً فاق (٢٠م/سنة). وقد أظهرت التحقيقات الجيولوجية أنه في كل مرة انتقل فيها مجرى النهر إلى موضع جديد،سببت رواسبه هبوطاً في قاع الدلتا، كما تعرضت الدلتا المهجورة إلى الحت والتراجع

بسب انخفاض الإمداد بالرواسب. وتتفاوت معدلات الحت على السواحل الأمريكية، حيث تعاني الشرقية منها وبعض قطاعات من الجنوبية حتاً شديداً، صورة رقم (١٥-٦).

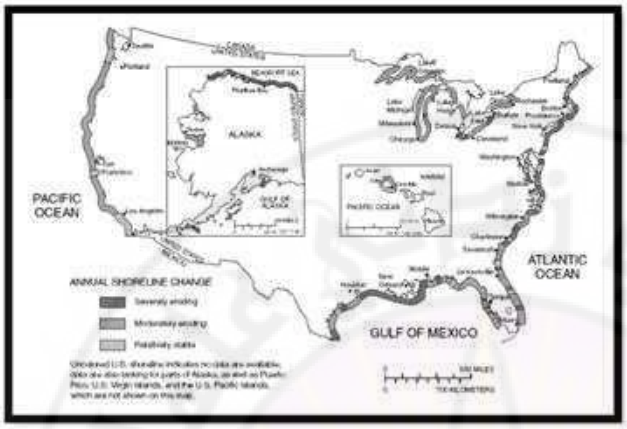


صورة رقم (١٥-٦) تراجع الشواطئ وهجر المنازل، في جزء من الساحل الغربي للولايات المتحدة الأمريكية.

في حين تصنف السواحل الغربية بالسواحل متوسطة التراجع، والجنوبية الغربية بضعيفة التأثر بالحت. شكل رقم (٤-٦). وذلك لعدة أسباب أمهما: تغذية دلتا النهر للسواحل بالرواسب بمعدل (٢١٠مليون طن / سنة) (Goudie: 2004. P 863)، وضعف التيارات المائية في خليج المكسيك كونه شبه مفتوح.

وتصبح إدارة المناطق الساحلية أكثر تعقيداً مع تنوع تضاريسها بين نهرية وبحرية، كما هي الحال في مناطق مصبات الأنهار، فقد بينت الدراسة التي أجريت على نهر سانتا كلارا (Avenue :2011) الذي يقع جنوبي ولاية كاليفورنيا، إلى الشمال من مدينة لوس أنجلس. أن ارتفاع مستوى سطح البحر بلغ نحو (٣٠)سم منذ (١٥٠) عاماً، مع بدء الاستعمار الأوربي للمنطقة، كما أن العواصف سببت تقدم مياه المد لمسافة (٤٠٠)م داخل منطقة الحاجز الرملي عند مصب النهر، وهي مساحة تعادل ما نسبته (٢٢%) من منطقة المصب، و(٧%) من حجم الحوض، ومع قلة تصريف النهر التي لا تزيد على (٠,٠٣) م٣/ثا، وتراجع مياه الجزر، تراكمت كميات كبيرة من الرواسب البحرية والنهرية، فأغلقت مصب النهر، وعطلت النشاط البشري المتعلق به في كثير من الأحيان. ويعد حاجز الرمال خط الدفاع الأول للسواحل، إلا أن إدارة المصب تسمح في بعض الحالات بفتحه للحد من خطر العواصف المطيرة التي تسبب الفيضانات في فصلي الشتاء والربيع، أو بسبب ارتفاع منسوب المياه الجوفية. كما تعمل الإدارة على فتحه لتصريف مياه الصرف الصحي والزراعي المعالجة في محطة مدينة فنتورا، التي تطرح في النهر (٠,٤)م٣/ثا، وهو أعلى من المعدل

الطبيعي لفصلي الصيف والخريف. أو لمعالجة بقع النفط المتسربة كما حدث عام (١٩٩٤)م في بحيرة ماك كراث Mc Grath عند المصب.



شكل رقم (٤-٦) مستويات الحت على طول سواحل الولايات المتحدة الأمريكية.

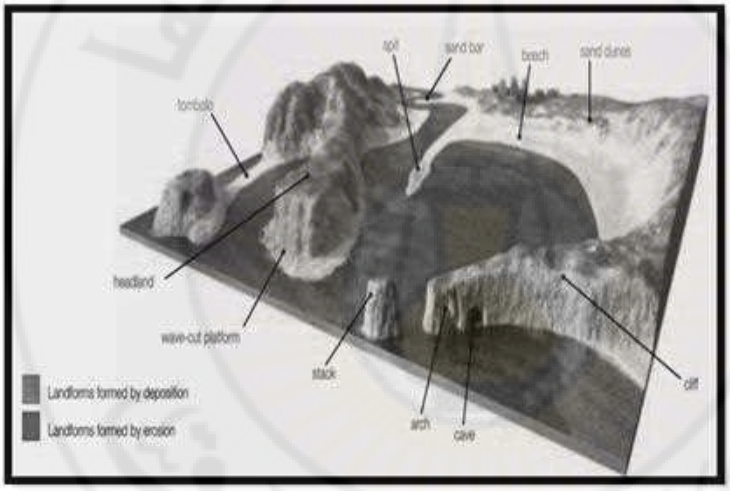
ولقد قُدّر حجم الرواسب التي ألقاها النهر في دلتاه بين عامي (١٩٥٠-١٩٩٩) بنحو (١٧٠) مليون طن، إلا أن سلوك النهر المتناوب بين فيضانات قوية وتدفقات بسيطة، ينعكس على عمليات الحت في الأولى والترسيب في الثانية.

٢- عملية الترسيب:

تحدث عملية الترسيب بذات الاصطفائية التي سبق ذكرها في البيئات النهرية، حيث تخضع للعلاقة بين وزن الحمولة وطاقة المياه، فكلما كبرت الأولى وضعفت الثانية سادت عمليات الترسيب، وقد تضعف طاقة المياه لعدة أسباب، منها: زيادة كمية الرواسب، وتعدد مصادرها من البحر أو اليابسة، واصطدام الأمواج أو التيارات المائية بعوائق أو بقاع البحر الضحل، كما تضعف التيارات بابتعادها عن مصادر نشأتها، وتتفاوت كميات الرواسب التي تتخلى عنها مياه البحر حسب طبيعة العائق، فهي أكبر أمام الحواجز الصلبة منها أمام الحواجز النباتية، ولهذه العملية دور محوريّ في حماية السواحل من الحت والتراجع.

خامساً- أشكال التضاريس الساحلية:

يمكن تصنيف التضاريس الساحلية حسب العملية التي شكّلتها إلى حتيّة وأخرى رسوبيّة، وغالباً ما تتوزع الأولى في مناطق السواحل الصخرية. شكل رقم (٥-٦). وتشمل التضاريس الحتية: الرأس البحري Headland، والعتبة الحتية Wave-cut platform، والمسلات أو الرواشن Stacks، والأقواس البحرية Arches، والكهوف Caves، والجروف Cliffs)، وبينما ينتمي إلى الثانية، أي التضاريس الترسيبية، كل من: الحبال الرملية الرابطة Tombolo، والرأس الرملي Spit، والحواجز الرمليةSand bars، والشواطئ الرمليةBeaches، والكثبان الرملية Sand dunes).



الشكل رقم (٥-٦) المظاهر السطحية الساحلية.

وفيما يلي أهم المظاهر السطحية الساحلية:

أ- التضاريس الحتية:

إن العلاقة بين الحت بفعل الأمواج من جهة والصخور الساحلية من جهة أخرى، مضبوطة بشروط الاصطفائية أو التفاضلية في العمل الجيومورفولوجي. فاستمرار الحت على صخور متباينة رأسياً يعطي مظاهر خاصة كالنحور والشرفات والكهوف، في حين أن اختلافها أفقياً، يوفر ظروفاً مناسبة لنشوء الرؤوس والخلجان. ومن مظاهر الحت ما يلي:

١. المصاطب البحرية Marian Terraces: من أهم مظاهر الحت البحري، وعليها نشأت العديد من الحضارات البحرية، لما تتميز به من مياه وترب وسهولة الاتصال بين اليابسة والبحر، ويستفاد منها في قضايا التأريخ الجيولوجي. صورة رقم (١٦-٦).



صورة رقم (١٦-٦) مصطبة للساحل المرفوع في كاليفورنيا.

٢. الرؤوس والخلجان Headlands & Bays: تنشأ الخلجان بسبب تراجع الأجزاء الضعيفة من الصخور بفعل الحت المستمر. في حين تبقى الأجزاء المقاومة متقدمة نحو البحر على شكل رؤوس، ولهذا التعاقب أهمية في اختيار مواقع الموانئ البحرية المحمية، ومواقع الصيد عند الخلجان.

٣. الجروف Cliffs: تتعرض الجروف الواقعة على تماس مع البحر لحت مستمر. فتتشكل النحور على طول الواجهة الصخرية، وتتطور إلى كهوف بحرية، وتعد الجروف من المظاهر المهمة عسكرياً، حيث تقف عثرة في وجه الانزالات العسكرية البحرية، كما تستغل في المشاريع السياحية.

٤. العتبة أو الرصيف الحتي Wave-cut platform: يرتبط تشكله بحت الأمواج وتراجع الجروف بفعل الحت، ويزداد اتساعه كلما اشتد فعل الحت، وتعمل المواد الناتجة عن الحت على زيادة كشط سطح الرصيف بالاحتكاك، من أمثلتها رصيف ستراندفلات Strandflat غرب النرويج (جودة حسنين جودة: ٢٠٠٣، ص ٣٤٢).

٥. الثقوب النافرة Blowhole: هي فتحات طبيعية في الأسطح الصخرية الساحلية، تخرج منها المياه على شكل نافورات ودفقات. قد يصل ارتفاعها إلى (٣٠)م في الهواء، والسبب في تشكلها أنها نهايات لممرات أو كهوف أو قنوات طبيعية، تدخلها مياه الأمواج، وتضغط

الماء والهواء فيها، فيخرج الماء من ثقوب أسقف الفجوات، مندفعاً تحت تأثير قوة الدفع ثم تنخفض المياه فيه مع انتهاء الموجة وتراجعها. صورة رقم (١٧-٦).



صورة رقم (١٧-٦) ثقب نيكاليلNakalele النافر للمياه، في شمال غربي Maui بجزيرة هاواي.

٦. الشرفات الصخرية : تنشأ عن توغل الحت والأمواج في جدار الساحل. وقد تمثل أسقف المغاور والكهوف والنحور حين تتراجع جوانبها، ومع عجز قواعدها عن حملها، تنهار مسببة تراكم كتل صخرية تماثل تلك التي تتراكم أمام الشلالات، لتقوم بتلقي لطمات الأمواج، وتشتيتها مما يضعف قدرتها على حت الجدار الخلفي الجديد، أو يؤخر وصولها إليه بعد إزالتها أو فتح ممرات من خلالها.

٧. الكهوف الساحلية Coastal caves: تنشأ الكهوف الساحلية بفعل عملية اللطم الموجي المستمر في مناطق الضعف البنيوي والبنائي من الصخور. فتتشكل منفردة أو متعددة على شكل حجرات في جدار الساحل، صورة رقم (١٨-٦). ولهذه المظاهر دور سياحي مهم، من أشهرها مغارة الرخام Marble cave في تشيلي.



صورة رقم (١٨-٦) مغارة الرخام/ تشيلي.

٨. الأقواس الطبيعية Arches: تنشأ في مواضع خاصة من السواحل الصخرية، تمثل نقاط ضعف بنيوي وبنائي عند قواعد الجروف والألسنة الصخرية، كما يؤدي التقاء التيارات والأمواج الملتفة بعد اصطدامها بالرأس الصخرية دوراً مهماً في نشوء الأقواس في هذه المواقع. صورة رقم (١٩-٦).



صورة رقم (١٩-٦) قوس بحري.

٩. الرواشن والمسلات Stacks والجزر الماسحة: تعد المسلات أو الأعمدة الصخرية من البقايا المتخلفة أو المبتورة Stumps عن الجدار الساحلي المتراجع، التي انفصلت عنه بفعل حت الأمواج، وتوغلها في مناطق الضعف البنيوي من شقوق وصدوع، وأشهرها صخرة الانتحار قبالة الساحل اللبناني في بيروت، صورة رقم (٢٠-٦).



صورة رقم (٢٠-٦) صخرة الروشة أمام ساحل بيروت، ويظهر خلفها الجدار البحر متراجعاً.

ومن أنواعها المسلات، التي تنتج إما عن انهيار أسقف الرواشن، أو بقاء جزء على شكل عمود من الجدار الساحلي المتراجع. صورة رقم (٢١-٦)، وتنهار هذه النتوءات الصخرية مع استمرار الحت وتقويض قواعدها، مشكّلة جزراً ذات أسطح مصقولة منخفضة، تعرف بالجزر الماسحة أو المصقولة. صورة رقم (٢٢-٦).





صورتان رقم (٢١/٢٢-٦) مسلة على اليمين
وجزيرة ماسحة مع ثقب مائي على اليسار

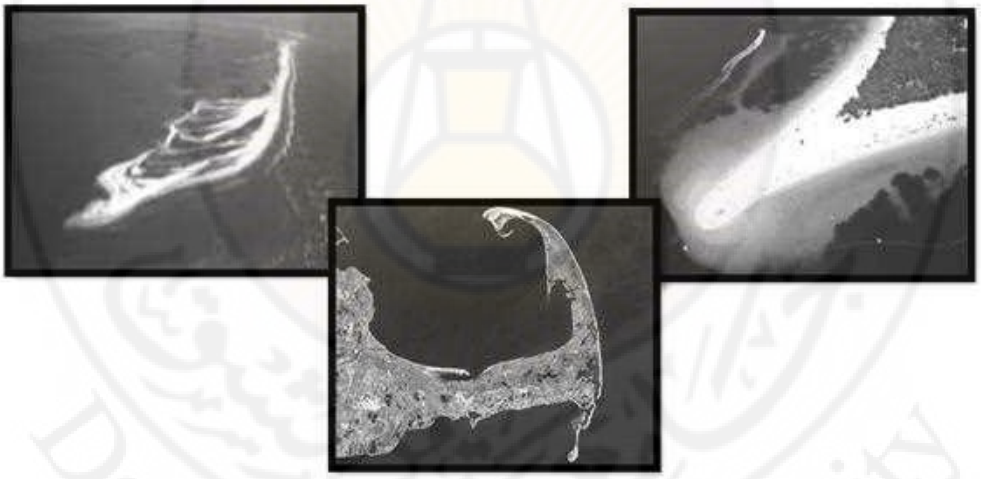
ب- التضاريس الترسيبية:

تتنوع مصادر الرواسب الساحلية بين قاريّة وبحريّة، حيث تلقي الأنهار رواسبها في البحار، فتحملها التيارات البحرية لتعيد توزيعها على السواحل والشواطئ، في مناطق الخلجان وما بعد الرؤوس البحرية، أما الرواسب البحرية فتنتج عن تحطيم الأمواج لواجهات الصخور الساحلية، أو حت ونقل الكثبان الرملية الساحلية نحو البحار وإعادتها رمالاً إلى الساحل. أو ما ينهار من الشرفات الصخرية فتحطمه الأمواج وتنشره على طول السواحل، وتضم مظاهرها:

١. الشواطئ الرملية Beach Sand: تنشأ بفعل الترسيب البحري للرمال التي تحملها الأمواج والتيارات البحرية من مصادرها نحو الخلجان أو المناطق الساحلية الضحلة حيث تتوفر أفضل الظروف لترسيبها، وقد يكون الشاطئ حصوياً، ذا حصى مصقول عدسي، بفعل عملية اللطم الموجي.

٢. الحبال الساحلية Spits: هي ألسنة رملية ملتصقة بالساحل. تتشكل بعد حت الأمواج للرؤوس الصخرية والتعرجات الساحلية، وترسيب حمولتها من الرمال في المناطق العميقة من الساحل، وهي عملية تراكمية طالما تحقق شرطين: الأول استمرار التغذية بالرمال، والثاني عدم تغيير الأمواج لاتجاهها، (Dean & Dalrymple: 2002.p 50). وتنتشر غالباً بعد مصادر الرمال كالدلتاوات، وشواطئ الكثبان الرملية، منها ما يمتد متعامداً مع الساحل، ومنها ما يمتد موازياً له.

تتخذ الحبال الرملية أشكالاً متعددة كالمستقيمة. فحين تلتقي التيارات المسايرة للساحل عند رأسه، تتصادم جانبياً أو جبهياً، فيُضعِف كل منهما قدرة الآخر على النقل، لتتم عملية ترسيب مع نشر الرواسب بجهة انصراف التيارين المائيين أمام الرأس، وتعرف هذه الحبال بالأسهم الساحلية. صورة رقم (٢٣-٦)، ومن أشكالها أيضاً الحبال المعقوفة، التي تشبه مخلب الطير أو الخطّاف، صورة رقم (٢٤-٦) أو جناحه، صورة رقم (٢٥-٦). وتتشكل بسبب الحركة الالتفافية للتيارات المائية والأمواج – القادمة من جهة واحدة – عند نهاية اللسان الرملي، ومع انخفاض الضغط بعد التفاف المياه نحو داخل الرأس، تفقد المياه قدرتها عن النقل، ويمكن أن تصطدم المياه بتيار آخر معاكس يجبرها على التخلي عن حمولتها ونشرها وفق اتجاه حركتها الالتفافية، ومع استمرار العملية يُبنى حاجز رملي معقوف. ويعد فهم هذه الآليات شرطاً ضرورياً لتنظيم حركة الرمال على الشواطئ، وإعادة توزعها تلقائياً أو باستخدام تقنيات تعتمد عليها. صور أرقام (٢٣/٢٤/٢٥-٦).



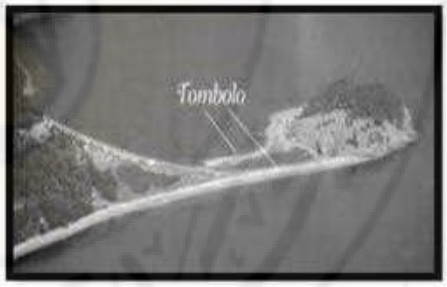
صورة ذات الأرقام (٢٣/٢٤/٢٥-٦) أشكال اللسان الرملي (السهمي- المعقوف- المخلبي).

٣.الحواجز الرملية Sand Bars: نوع من الحبال الرملية التي تمتد بين رأسين صخريين أو من نهايتي جون أو خليج صغير، لتغلقه بحاجز رملي يفصله عن البحر، مُشكّلاً بحيرة ساحلية تعرف باللاغون Lagoon، التي تتحول إلى سبخة ساحلية مع ارتفاع ملوحتها بسبب انقطاع التغذية المائية عنها، وارتفاع معدل البخر فيها. ولبعضها أهمية في إنتاج الملح. صورة رقم (٢٦-٦).



صورة رقم (٢٦-٦) حاجز رملي في نهاية تشكله.

٤. الحبال الرملية الرابطة التومبولو Tombolo: كلمة إيطالية تعني الرابية، وأصلها يوناني tumulus، وهو نوع آخر من الحبال الرملية. إلا أنها تربط بين الساحل وجزيرة تقع أمامه، قد تكون منفردة أو مزدوجة. والأخيرة تحيط بمستنقعات ملحية ضحلة تجعلها معزولة نسبياً عن البحر. صورتان (٢٧/٢٨-٦). كما تساعد عمليات الترسيب النهري في تزويد التيارات المائية بالرواسب فتطمر هذه المستنقعات لتتحول المنطقة بين الحبلين يابس قاريّ. ويتغير المشهد التضريسي إلى رأس ساحلي. ويستدل عليها من اختلاف نوع الصخور بين اليابسة والجزيرة الصخرية. وما يقع بينهما من رواسب لحقيّة.





صورة رقم (٢٧-٦) تومبولو مزدوج/ أسبانيا صورة رقم (٢٨-٦) تومبولو منفرد.

٥. الكثبان الرملية Sand dunes: تضاريس رملية تنشأ عن ترسيب الرمال على الشواطئ بفعل مشترك بين الرياح المحملة بالرمال، وفعل الأمواج الحتي، ويشترط لتشكلها حدوث إعاقة لحركة التيارات بفعل النباتات أو العقبات الصخرية أو طبوغرافيّة القاع أو الرطوبة المرتفعة. وهي من المشكلات التي تضر بالمنشآت السياحية، كونها تشكل حواجز تمنع وصول المياه إلى الداخل القاري، إلا أن لها دوراً إيجابياً في حماية السواحل من تأثير الأمواج على السواحل.

سادساً- المخاطر الساحلية:

١- يتسبب الحت البحري للجدر الساحلية الطينية والرملية بانزلاقات خطيرة، يستدل عليها من الشقوق الهلالية والمقوسة، وتستقر الكتل المنزلقة من الواجهات الصخرية عند حد معين، ومع استمرار حت الأمواج لقواعدها، وتآكل هذه الأخيرة، تنزلق الكتل مرة أخرى، وهكذا مراراً حتى تنال الأمواج من الكتلة كاملة. وتحول نتاجها إلى حصى ورمال تستخدمه في معاودة الهجوم على خط الساحل. صورة رقم (٢٩-٦).



صورة رقم (٢٩-٦) انزلاق صخري بسبب حت الأمواج لقاعدة الجدار الساحلي.

٢- يؤدي الحت السفلي للجدر الساحلية إلى انهيار المنازل والمنشآت العمرانية، واستخدامات الأراضي الأخرى، كما حدث عقب إعصار عام (١٩٩٧)م في ساحل كاليفورنيا الهش، حيث تسبب الحت بانهيار أحد المنازل، وهي ظاهرة شائعة على طول هذا الساحل، صورة رقم (٣٠-٦).



صورة رقم (٣٠-٦) شرفة منزل معلقة بسبب تراجع الجدار الساحلي

٣- تعاني الطرقات الساحلية الحت والانهيار، وبالأخص تلك التي تنشأ فوق الحبال الرابطة لتسهيل الوصول إلى الجزر، من أثر عمليات الحت المضاعف من كلا الجانبين. صورة رقم (٣١-٦).



صور رقم (٣١-٦) اقتطاع أجزاء من طريق ساحلي بفعل الحت.

٤- تأثير الأعاصير في السواحل: تدمر الأعاصير الشواطئ، وتخرب بيئتها المرجانية وكثبانها الرملية، وقد أسفر إعصار لويس Luis - من الفئة الرابعة - الذي ضرب سواحل جزيرة أنغويلا Anguilla، عام (١٩٩٥)م، عن أضرار فادحة في البنية التحتية للجزيرة ومواردها البيئية (CEP 1998)، والتي تمثلت بالآتي:

- تدهورت الشعاب المرجانية Coral reefs بنسبة (٦١%).
- تخفيض غطاء الأعشاب البحرية بنسبة(٤٥%).
- انخفض حجم الشاطئ بنسبة(٤٠%)، وتقليص اتساع الشاطئ بمقدار (٩) أمتار في المتوسط.
- تراجعت قاعدة الكثبان بمتوسط(٩) أمتار .صور ذوات الأرقام (٣٢/٣٣-٦).
- تباينت معدلات موت نباتات القرم Mangroves بين(٦٨ - ٩٩%).



صورة رقم (٣٢-٦) تراجع جزء من الشاطئ الرملي في جزيرة أنغويلا بعد إعصار لويس (١٩٩٥)م، لاحظ الحت أسفل المنزل.

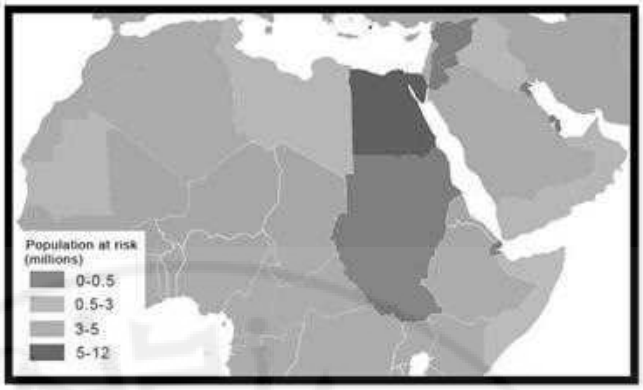


صورة رقم (٣٣-٦) مقدار التدمير الذي لحق بحزام الكثبان الرملية على الشاطئ بعد إعصار لويس ١٩٩٥في جزيرة أنغويلا.

إلا أن الشواطئ استعادت وازنها بنسبة (٧٥%) خلال أربعة أشهر، في حين احتاجت الشعاب المرجانية والأعشاب النباتية وقتاً أطول لبطء نموها.

٥- تسبب أمواج التسونامي بغمرها لسواحل المأهولة العديد من الوفيات وتشريد الملايين، وكان أشهرها تسونامي المحيط الهادي (٢٠٠٤).

٦- لارتفاع مستوى سطح مخاطر عدة: يسفر تغير مستوى سطح البحر عن آثار كارثيّة على جميع المناطق المنخفضة ودول الجُزر الواطئة، وقد أجرى(El Raey: 2010) دراسة عن نتائج ظاهرة الاحتباس الحراري وتأثيراتها في المنطقة الساحلية، وحدد أهم المناطق المرشحة للتأثر بهذه الظاهرة، مثل: دلتا النيل في مصر، والجزء الشمالي من موريتانيا والعديد من المواقع الساحلية في دول الخليج العربي وشمال أفريقيا، مع تأكيد خطر ارتفاع مستوى سطح البحر لا يقف عند حد الغمر فقط. بل يتعداه إلى مشكلات بيئية مثل تسرب المياه المالحة نحو المياه العذبة، وتملح التربة، وانخفاض إنتاجية الأراضي الزراعية، وأوصت الدراسة بضرورة تطوير الإدارة المتكاملة للسواحل والتخطيط الاستباقي proactive planning عن طريق مؤسسات متخصصة، بالاعتماد على قاعدة بيانات جغرافية دقيقة. ويبين الشكل رقم (٦-٦) أن مصر تقف في مقدمة الدول المتضررة من تغيرات المناخ. وأقل الدول تضرراً هي ذات السواحل المرتفعة كسوريا ولبنان والسودان، أو ذات التجمعات السكانية القليلة على سواحلها، كالبحرين وقطر.



الشكل رقم (٦-٦) تصنيف الدول العربية حسب عدد السكان المتضرر من التغيرات المناخية (مليون نسمة).

وتوافقت دراسات مؤسسة Maple croft البريطانية الاستشارية لتحليل المخاطر الطبيعية، التي اعتمدت على مؤشر تغير المناخ Climate Change Index (CCI)، مع النتائج السابقة، حيث أكدت أن خمس دول عربية هي الأكثر عرضة لخطر تغير المناخ، وهي: جيبوتي، مصر، العراق، المغرب، والصومال. واستنادا إلى النتائج التي توصل إليها الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)، والمنتدى العربي للبيئة والتنمية (Arab Forum for Environment and Development (AFED)، يمكن القول بشكل قاطع أن الدول العربية تقع في نواح كثيرة بين الفئات الأكثر ضعفاً في العالم للتأثيرات المحتملة للتغير المناخي وارتفاع مستوى سطح البحر. فمثلاً قدّرت خسائر الاقتصاد المصري مع غمر المتر الأول من سطح يابس دلتا النيل، بنحو (٦٪) من إجمالي الناتج المحلي، وتصل إلى أكثر من (١٢٪) في حال ارتفاع البحر لـ ٣ أمتار. (Das Gupta et al, 2007).

الاستخدامات العمرانية للنطاق الساحلي – البحري:

تعد دولة الإمارات العربية المتحدة، نموذجاً جديراً بالدراسة عن تقدم المشاريع العمرانية في البحر على شكل جزر أو شبه جزر صنعيّة. فقد شهدت الدولة نمواً اقتصادياً وسكانياً وعمرانياً غير اعتيادي في السنوات الأخيرة، وساعد النمو الاقتصادي الكبير على تنفيذ مشاريع توصف بالعملاقة والجريئة على صعيد التنمية الساحلية، ويتركّز في المناطق الساحلية حوالي(٨٥٪) من السكان، وأكثر من(٩٠٪) من البنية التحتية. وتهدف معظم هذه المشاريع إلى الترفيه والسياحة وتجارة العقارات. صورة رقم (٣٤-٦). تعرف أكبرها بجزر

نخيل جميرة، تليها نحو الجنوب الغربي جزيرة نخيل جبل علي، و بينهما جزيرة الكرة الأرضية، وآخرها جزيرة ديرة. وقد أضافت مجمل المشاريع إلى إمارة دبي سواحل اصطناعية بطول (٥٢٠)كم. وقد أجريت دراسات تفصيلية قبل البدء بهذه المشاريع، حدّد فيها: طبيعة الساحل وقاع البحر، وأعماقه وخصائص الأمواج والعمليات المؤثرة في المشاريع. وقد استخدم في إنشاء كاسر أمواج شبه جزيرة الجميرة نحو سبعة ملايين صخرة، امتدت نحو (١١)كم بعيداً عن خط الساحل، ورصفت باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي GPS. في حين قدر حجم الحجارة الكلسية والرمال والصخور في كاسر جزيرة جبل علي (٢١٠) مليون م٣، منها (١٠) مليون م٣لتثبيت المنحدرات، مع العلم أن الجزيرة امتدت فقط (٤)كم.



صورة رقم (٣٤-٦) الجزر الاصطناعية على ساحل الإمارات العربية المتحدة (٢٠٠٥-٢٠١٣).

تشير النتائج الأخيرة للفريق الحكومي الدولي المعني بدراسة تغير المناخ أن النطاق المتوقع ارتفاع مستوى سطح البحر فوقه، سيبلغ نحو (١٠) أمتار عام (٢١٠٠)م، مما يعني أن أضراراً اقتصادية باهظة الثمن ستصيب المناطق الساحلية في دولة الإمارات ومشاريعها النوعية، لذلك استخدمت تقنيات المحاكاة الحاسوبية، لتقدير المستويات المحتملة لارتفاع مستوى سطح البحر، فيما عرف بمشروع تحليل هشاشة دولة الإمارات العربية المتحدة لخطر ارتفاع مستوى سطح البحر (وكالة البيئة في أبو ظبي، ٢٠٠٩م). وتم تصميم نموذجين للسنوات(٢٠٥٠)م وعام(٢١٠٠)م، فكانت النتيجة مقلقة للغاية، حيث ستتغير خطوط السواحل الحالية بشكل كامل، مما يعني أن جميع المدن الساحلية في دولة الإمارات العربية

المتحدة ستشهد زيادة مطردة من حالة الغمر. ومن المتوقع أن تسبب اضطراباً سياسياً – اقتصادياً – اجتماعياً، لتأثر أعمال استخراج النفط وصناعة العقارات والمراكز السكانية سلباً بذلك. ويبين الشكل رقم (٣٥-٦) المناطق المغرقة في حال ارتفاع مستوى سطح البحر، ويلاحظ منه أن كافة المشاريع الساحلية تقع في نطاق الخطر المؤكد.



صورة رقم (٣٥-٦) المناطق المعرضة لخطر ارتفاع مستوى سطح البحر في دولة الإمارات.

تتعاظم مشكلات السواحل في مناطق الدلتاوات، حيث تعاني عدة مشكلات كبناء السدود التي تحرمها من رواسب الأنهار التي تؤمن لها الارتفاع عن مستوى سطح البحر وتعوضها عما تزيله الأمواج بالحت، ومن التغيرات الجذرية الناتجة عن تحول أراضيها من أرض طبيعية إلى أراض حضرية. كل ذلك لوحظ في دلتا نهر بيرل Pearl River Delta، التي تبلغ مساحتها حوالي (٤١,٦٩٨) كم٢، وتضم تسع مدن وبلديات، وهي قوانغتشو، وشنتشن، وتشوهاى، وفوشان، وجيانغمن، ودونغ قوان، وتشونغشان، و هويتشو، وتشاوتشينغ. إضافة إلى مناطق إدارية من ونغ كونغ وماكاو. وقد اجتمعت فيها العديد من الظروف الجغرافية التي فاقمت مشكلاتها الطبيعية، فتَحُوّل اقتصادها إلى الاقتصاد الصناعي الحر أواخر (١٩٧٠)م. أدى إلى تركيز التجارة الدولية فيها منذ (١٩٨٠)م. فاتسعت موانئها وشبكة السكك الحديدية الوطنية، إلا أنها تعرضت لمخاطر طبيعية من حت بحري وتأثيرات المد والجزر، وفيضانات نهرية وبحرية وانجراف للترب، والأعاصير الاستوائية التي ضربت الدلتا كإعصاريَ كوبيو Koppu وهاجيوبيت Hagupit عاميَ (٢٠٠٨-٢٠٠٩)م، فارتفع مستوى سطح البحر متراً واحداً، وغمر المناطق الحضرية المنخفضة من مدينة تاي أو Tai O، و شينغ وان Sheng Wan، إلا أن هذا المستوى من الارتفاع قد يتجاوز (٤) أمتار كما حدث عام (١٩٦٢)م، بعدما ضرب إعصار واندا Wanda سواحل هونغ كونغ.

وتحتل الدلتا حوالي (٠.٥%) من مساحة جمهورية الصين الشعبية، ولكنها تنتج نحو (٢٠%) من إنتاجها المحلي الإجمالي الوطني، وفيها أكثر من (٣٠%) من الاستثمار الأجنبي المباشر، و(٤٠%) من الصادرات الوطنية، مما رفع عدد السكان أكثر من عشرة أضعاف خلال ثلاثة عقود بسبب الهجرة إليها. حيث بلغ عددهم عام (١٩٨٠)م نحو (٤,٦) مليون نسمة، وصل إلى (٦٠) مليون عام (٢٠٠٨)م، ومن المتوقع أن تتضخم مدن المنطقة، مثل هونغ كونغ وشنتشن و وقوانغتشو، فيبلغ عدد سكانها مجتمعة أكثر من (٨٠) مليون بحلول عام (٢٠٣٠)م، ويحتمل أن تضم (١٢٠) مليون نسمة بحلول عام (٢٠٥٠)م، (wikipedia.org/ wiki/ Pearl_River_Delta).

وتعد التجربة الهولندية رائدة في مجال حماية السواحل، فقد عاش الهولنديون مع خطر الفيضانات لأكثر من (٢٠٠٠) سنة. وتضم سواحل هولندا دلتا نهر الراين– ميوز، وتقع عليها مدن رئيسة مثل روتردام وأمستردام، وهي الأكثر اكتظاظا بالسكان. وتعود أقدم السدود في البلاد إلى عام (١٢٠٠) م، وقد شيدت بهدف حماية الأراضي من خطر المد والأمواج، ومنذ عام (١٦٠٠)م، استخدمت طواحين الهواء لضخ المياه من السهول المنخفضة، وتم استصلاح أراضي البحر في وقت متأخر من القرن الثامن عشر، وذلك لأغراض الزراعة في المقام الأول، ولحماية السواحل من الفيضانات بالدرجة الثانية. وبعد أن تسبب فيضان عام (١٩٥٣)م إثر موجة ساحلية بهدم (٩٠٠) سد فغمرت المناطق المحمية، وشرد نحو (٧٥٠,٠٠٠) من السكان، ولقي (١,٨٣٥) شخصاً حتفهم، أنشأت الحكومة الهولندية لجنة لتحسين الدلتا ووقايتها من الفيضانات. مع ضرورة التخطيط لمواجهة فيضانات نادرة، أي تبني سياسة التعامل مع الحد الأعلى من التوقعات. ومع تنبه الحكومة الهولندية إلى عجز الإجراءات المتخذة لمعالجة مشكلة فيضانات الأنهار، مقارنة بالمستوى الذي واجهت به الفيضانات الساحلية، انتقلت الحكومة من نهج الوقاية من الفيضانات و الدفاع، نحو استراتيجية إدارة مخاطر الفيضانات flood risk management (FRM). حيث يتم التركيز على المزيد من سعة التخزين لفيضان النهر، وإدماجه مع نظام التخطيط المكاني لضبط تطوير السهول الفيضية، وقد شجعت هذه السياسة على إعادة النظر في تخطيط استخدام الأراضي ومصائد الأسماك، والترفيه، وموارد المياه الصالحة للشرب والمحافظة على الطبيعة عبر نهج متكامل. كما سعت منذ عام(١٩٩٥) لمعالجة التطورات

الاجتماعية والاقتصادية والإدارة المستدامة للموارد المائية. ومنذ عام(٢٠٠٠)م، بدأت الحكومة تنفيذ سياسات FRM وفق مفهوم "التعايش مع المياه Living with Water" و "العيش في دلتا متغيرة Living in a Dynamic Delta "، التي تهدف إلى تعزيز القدرة على مواجهة خطر الفيضانات بدلا من مقاومتها، والحفاظ على جودة البيئات النهرية والساحلية. وتعترف الحكومة الهولندية أن الإدارة الفعالة لكامل حوض النهر تتطلب تعاوناً دولياً في مجال إدارة مخاطر الفيضانات، وهذا ما تم بعد تشكيل اللجنة الدولية لحماية نهر الراين the International Commission on the Protection of the river Rhine واختصارها (ICPR).

أما في الولايات المتحدة الأمريكية فتم بناء حاجز للأمواج في منطقة لونغ بيتش Long Beach في كاليفورنيا لحماية الشاطئ من الحت، تهدم جزء منه، فأعيد بناؤه عام (١٩٣٩)م، ثم تكسر تماماً بفعل الأمواج، فكلف العالم بول هورد من معهد سكربيس بدراسة الحالة. فأسفرت عمليات التحري الموقعي الدقيقة عن اكتشاف عتبة مغرقة على بعد سبع أميال من خط الساحل، تعمل على زيادة وتركيز قوة الأمواج. وهي على عمق (٨,٥)م من سطح البحر، تزيد من قوة وارتفاع الموجة بنحو (٣,٥) مرة. وقد وُجد أن موجة بارتفاع ستة أقدام (١٨٠سم)، وطول (١٣٢) قدم (٤٠سم)، قادرة على إحداث ضغط قدره (٥٧١٥كغ/ قدم). وقد تجاوز الضغط (٤٥٠كغ/ قدم) خلال (٠,٠٠١) من الثانية الأولى، وفي حالات خاصة كأمواج تسونامي، قد يصل وزن المياه على المتر المربع حوالي (١٠٠,٠٠٠) طن، كما قدّر في تسونامي سومطرة- أندومي (٢٠٠٤)م.

سابعاً- فوائد السواحل :

قامت السواحل منذ القدم بوظيفة تأمين مواقع مناسبة للسكن، بل ارتبطت بعض الحضارات بها كالحضارة الفينيقية، ومن فوائد السواحل:

١- تمكن السواحل الصخرية من إنشاء مشاريع سياحية – سكنية آمنة نسبياً.

٢- تعد بعض المظاهر الغريبة مصدراً سياحياً خاصاً، وأشهر مثال عنها في الشرق الأوسط صخرة الانتحار أو الروشة على الساحل اللبناني، ومغارة الرخام في تشيلي.

٣- تساعد بعض مظاهر الترسيب ومنها لحبال الرملية الرابطة، في ربط الجزر البعيدة بالسواحل، مما يمكّن من استثمارها بتكاليف أقل. صورة رقم (٣٦-٦).

٤- تعد السباخ الملحية المحصورة بين الحبال الرملية والسواحل، وبين الحبال الرابطة، مصادر مهمة للأملاح.

٥- تمثل السواحل العميقة مواقع جيدة للموانئ، وبالتالي فهي من أهم واجهات الاتصال بين الدول.



صورة رقم (٣٦-٦) تومبولو رابط لجزيرة ساحلية.

٦- يستفاد من الأمواج في توليد الطاقة الهيدرو-كهربائية باستخدام محولات طاقة الأمواج، حيث يقدر التوليد السنوي بين (٨٠٠٠- ٨٠,٠٠٠) تيرا واط ساعي في البحار المفتوحة (WWW.ar.m.wikipedia.com)

٧- يستفاد في بعض الدول مثل اليابان وبلدان بحر الشمال والبلطيق، من الأمواج في توليد الطاقة الكهرو- موجية، أو الكهرو- بحرية، لما لهذه الحركة من صفات الديمومة والشدة، والأهم من ذلك رخصها، فقد طور مشروع كابلات جهد عال عبر قاع البحر، لإمداد أوربا بالطاقة الكهربائية، وتأكد أن نسبة الضياع من الطاقة لا تزيد على (١٠%) لكل (٣٠٠٠)كم.

٨- تعد السواحل الصخرية من أهم العوائق الجيومورفولوجية العسكرية، حيث تمثل عقبة في طريق الجيوش والغزاة. كما تعد بعض المناطق من السواحل الرملية عسيرة على حركة الدبابات، كما حدث على سواحل النورمندي خلال الحرب العلمية الثاني.

٩- للسواحل المرجانية شهرة عالمية سياحية، وهي تتمتع بمزايا فريدة من نوعها من غنى بالأحياء، والألوان الغريبة والمدهشة، ويعد الحيد المرجاني العظيم Great coral reef في شمال أستراليا أطولها، حيث يمتد لمسافة (٢٣٠٠)كم، كما تعد سواحل البحر الأحمر من أجمل السواحل المرجانية في العالم.

ثامناً- استراتيجيات إدارة المناطق الساحلية:

حددت المؤسسة الوطنية للبحث العلمي والتكيف مع التغيرات المناخية (NCCARF) الأسترالية هدف إدارة السواحل، بتحديد أطول استخدامات ممكنة للأراضي - تمتد لنحو (١٠٠) عام- دون أن يتسبب ذلك بتغيرات سلبية للسواحل. مما يعني أخذ كثير من المتغيرات بالحسبان: منها ديناميكيّة السواحل على المستوى المحلي والإقليمي، واستخدامات الأراضي الحالية، والتغيرات المناخية المحتملة، واستخدامات الأراضي المجاورة، والوضع الجيومورفولوجي الحالي للسواحل، من حيث العوامل والعمليات والتضاريس، والتنبؤ بحالته المستقبلية، وتفاعلات النظام البيئي والحيوي، ومدى استقرار النظام الساحلي وتوازنه، ومختلف أشكال الإدارة الساحلية السابقة والحالية. كما أوصت بعدم الوقوع في فخ النماذج الحاسوبية، وما تقدمه من حلول وأساليب على المدى البعيد. لذلك يجب أن تتصف إدارة السواحل بالمرونة flexibility، وسرعة الاستجابة للمتغيرات، من خلال تطبيق أُطر الإدارة التكيفيّة adaptive management frameworks. (Eliot: 2016.p 3).

من المفاهيم الجديدة التي تطبق مؤخراً في إدارة السواحل، وبشكل رئيس في شمال أوروبا مفهوم **(خلية الرواسب الساحلية The coastal sediment cell)**، الذي يعني منطقة مغلقة أو شبه مغلقة تمتد على طول الشريط الساحلي، وما يرتبط بها من المناطق القريبة من الشواطئ، و تكون فيها حركة الرواسب إلى حد كبير مكتفية ذاتياً (RIKZ 2004). ويجب عند تطبيقها فهم التغيرات الزمنية والمكانية للسواحل، وإمكانية الترابط بين الخلايا والبحر من جهة، وبين بعضها البعض من جهة أخرى، مما يحدد طريقة تصميمها كخلايا مفتوحة على البحر أو مغلقة أو شبه مغلقة، وذلك حسب موازنة الرواسب، فإن كانت طاقة البحار عالية ومعدلات الحت مرتفعة، صُممت الخلايا مغلقة، لحماية الرواسب ضمنها. وإن كانت الظروف غير ذلك، أنشئت الخلايا المفتوحة أو شبه المغلقة لتأمين التبادل المتوازن بين البحار والسواحل. (Stul & Others: 2015. P 33).

وقد تم تحديد مكونات كل خلية وفهم الحدود الفاصلة بينها، على أساس معدلات نقل الرواسب واتجاهها، مما ساعد على وضع استراتيجيات أفضل لإدارة السواحل، (Van Rijn 2010. P4 -13:). وتتمثل هذه الحدود بالآتي:

١- الحدود الثابتة: وتشمل كافة المظاهر التضريسية التي تساعد على الترسيب، كالرؤوس الصخرية، و الجونات أو الخلجان الصغيرة deep inlets، والخوانق. وتحدث فيها تغيرات طويلة الأمد (١٠٠-١٠٠٠)سنة.

٢- الحدود شبه الثابتة: يحدث فيها التزود بالرواسب أو فقدها بشكل عابر أو مؤقت، أي أنها مجال متغير للزيادة والخسارة، وبالتالي تتطلب إدارة ومتابعة مستمرة، وغالباً ما تنشط فيها العمليات الجيومورفولوجية مع وصول الأعاصير إليها. وينتمي إليها مظاهر مثل: الرؤوس الصخرية القصيرة، والمداخل الضحلة shallow inlets. وتحدث فيها تغيرات متوسطة الأجل (سنة -عقود)، وتمتد غالباً لمسافات تراوح بين (١٠-١٠٠)م.

٣- الحدود المتغيرة: يكون فيها التغير دائماً ومستمراً، وغالباً ما تقع تحت تأثير متغيرات عدة، تشمل: الرؤوس الصخرية القصيرة ذات التكوينات الطرية، والخلجان والسواحل الرملية الضحلة، وتخضع بدورها للتأثيرات القارية والبحرية، لذلك تتطلب حماية وإدارة ومتابعة دقيقة، وتكون فيها التغيرات قصيرة الأجل (فصول – شهور- أيام)، وتمتد لمسافات تراوح بين (١-٥٠)م.

وقد طبقت مفاهيم إدارة الخلية الواحدة والخلايا المتعددة في سواحل النورماندي، واسيكس، وجزيرة وايت، وساحل هولندا، وبحر وادن، وأكد هذا النهج ضرورة تطبيق أسس التقسيم الإقليمي الطبيعي، والتخطيط الجغرافي المتكامل، بالاعتماد على ما تقدمه الدراسات الجيومورفولوجية من معطيات، وخرجت الأبحاث بضرورة وضع **استراتيجيات وفق مبدأ العمل مع الطبيعة working with nature**، المرتكز على مفهوم خلية الرواسب الساحلية، وتطبيق ثلاثة مبادئ لإدارة السواحل، هي:

١. الحفاظ على إجمالي الرواسب (المتحركة أو الثابتة) داخل منظومة الساحل.

٢.اتخاذ تدابير لمراقبة العمليات الطبيعية أو ترك العمليات الطبيعية، دون إعاقتها.

٣. إذا لم يكن هناك خيارات أخرى متاحة، ووجب استخدام المنشآت القاسية والصلبة للحفاظ على الرواسب في مواقعها فإن مفهوم خلايا الرواسب يحدد القيود المعتمد عليها، مثل: الحفاظ على توازن العمليات المسؤولة عن إنتاج الرواسب وطرحها داخل الخلية.

وقد دفع تعقيد المشهد الجيومورفولوجي للسواحل الغربية الأسترالية، حيث تتنوع الرسوبيات بين رمال وطين وحصى، وكذلك طبيعة التضاريس بين جروف وشرفات وتلال

ومصبات وسبخات ودلتاوات. إلى تبني مفهوم ممائل للخلية الساحلية، إلاّ أنه أوسع مجالاً، وعُرف بالحجرات الساحلية coastal compartments، التي تعني تقسيم الساحل إلى كتل جغرافية تساعد في إدارة المناطق الساحلية وفق العديد من المقاييس. ويمكن أن تشمل الحدود الاقتصادية أو القضائية أو الإدارية، ولكنها تتعارض في كثير من الأحيان مع مفهوم الاستقلال الطبيعي- النسبي- للحجرات الساحلية، مما دفع نحو التوصية بشدة إلى استخدام "الحدود الطبيعية" في الإدارة البيئية، والمطابقة فعلياً لمفهوم إدارة القطاعات العليا من الأحواض النهرية وتدعى بمستجمعات المياه catchment management، وهو مجال يمتد بعيداً عن الشاطئ ليصل إلى خطوط تقسيم المياه في المناطق الجبلية، التي تعد المصدر الأساسي للرواسب، وقد استخدمت هذه المنهجية على مستوى النطاق الوطني لإدارة المناطق الساحلية في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة، ويمكن القول: إن نهج الحجرات الساحلية يساعد في تقييم التغيرات الساحلية، في حين تسهم مفاهيم خلايا الرواسب الساحلية في تحدد الحيز المكاني للتقييم، أما التضاريس فتمثل اللبنات الأساسية التي توجه عملية صرف الرواسب واستخدامها في بناء الشواطئ، كالجروف والمنحدرات من الأولى والكثبان والحواجز الرملية من الثانية.

وفي مواجهة ارتفاع مستوى سطح البحر طرحت منهجيات معقدة، ومفاهيم مركّبة مثل الإطار الجيومورفولوجي الهرمي hierarchical geomorphic framework (Eliot 2013:). الذي يعتمد على التعامل مع المشهد الجيومورفي على مستويات دنيا صغيرة، أو محلية. ويتدرج وصولاً إلى المستوى السياسي مروراً بالإقليمي. ويسمح ذلك بدراسة العمليات الرئيسة التي تنشط على مستويات مختلفة، واستخدام المعلومات المتفرقة التي تم تطويرها على مختلف المستويات، ثم دمج المعطيات وتقريب الخلافات بين التقييمات الهندسيّة على نطاق محلي، والتحليلات الجيومورفولوجية على نطاق أوسع، وقد ساعدت التحسينات في التكنولوجيا المتاحة والتطورات الحديثة في العلوم الساحلية على استخدام أطر جيومورفولوجيّة أكثر كفاءة، بما في ذلك تقنيات الهيدروغرافية وسبر الأعماق البحرية جواً. مما وفر للجيومورفولوجيين أدوات أفضل لتحليل التضاريس وتفسير تطورها، وتحديد المناطق ذات القابلية الأعلى للتغير أو الاستجابة الأسرع لارتفاع مستوى سطح البحر.

تقترح معظم الدراسات الجيومورفولوجيّة وضع قوانين تحافظ على البيئة من جهة، وتقدم أفضل مستويات الفائدة من جهة ثانية، فتصبح إدارة السواحل منسجمة مع واقعها الجيومورفولوجي – الاقتصادي من خلال تطبيق نهج الأطر الجيومورفولوجية، الذي يوصف بالآتي:

١- أداة مساعدة في تقييم أثر ارتفاع مستوى سطح البحر على السواحل.

٢- يمثل الطريقة المناسبة التي توفر وسيلة لتحديد مدى تعقيد السلوك الساحلي على مستويات متعددة، وبالتالي تمثيل أفضل للاستجابة تجاه أي تغيير.

٣- من خلال استخدام الإطار الهرمي، يمكن تقييم السلوك الجيومورفي من الملاحظات ثم رفع مستوى الإدارة نحو قمة الهرم، حيث يبدأ العمل بالاستقصاء والتحري الميداني وينتهي بالتخطيط، ثم التطبيق والإدارة.

٤- يساعد تطبيقه في بناء قاعدة بيانات مفصّلة جيومورفولوجيّة- جغرافيّة عن السواحل.

وقد اعتمدت السلطات المحلية في مدينة أديلاند Adelaide جنوبي أستراليا استراتيجية لحماية سواحلها (Cordingley & Others: 2006. P 6)، وفق خمس خطوات:

أ. استمرار تجديد الشواطئ beach replenishment.

ب. إعادة دورة الرمال، بضخها عبر أنابيب من حيث ترسبت إلى الشواطئ.

ج. إضافة الرمال من مصادر خارجية في حال عجز المخزون المحلي عن تلبية متطلبات دعم السواحل، شرط أن تناسب البيئة.

د. بناء الهياكل الساحلية في المواقع الحيوية.

هـ. دمج آليات التزود بالرمال في الموانئ مع مخططات إدارة الشاطئ.

وطبقت مفاهيم أكثر شمولية فلاقت رواجاً عالمياً، وحققت نتائج طيبة فيما يخص إدارة السواحل (Pickaver: 2010)، مثل الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية Integrated coastal zone management واختصارها (ICZM)، وتتم من خلال اتباع نهج متكامل، فيما يتعلق بجميع جوانب المنطقة الساحلية، بما في ذلك الحدود الجغرافية والسياسية، في محاولة لتحقيق الاستدامة، لقد وُلد هذا المفهوم في عام (١٩٩٢)م خلال قمة الأرض في ريو دي جانيرو. وتعد الإدارة المتكاملة للمناطق الساحلية عملية ديناميكية،

متعددة التخصصات، ومتتابعة لتعزيز الإدارة المستدامة للمناطق الساحلية، وتغطي دورة كاملة من جمع المعلومات من حيث التخطيط (بمعناه الواسع)، وصنع القرار، وإدارة تنفيذه ومراقبة ذلك، كما تعتمد الإدارة المتكاملة على المشاركة الواعية، وتعاون جميع الجهات المعنية لتقييم الأهداف المجتمعية في منطقة ساحلية معينة، واتخاذ الإجراءات اللازمة لتحقيق أهداف ICZM على المدى الطويل، والأهم هو تحقيق التوازن بين الأهداف البيئية والاقتصادية والاجتماعية والثقافية والترفيهية، ويشير "التكامل" في الإدارة هنا، إلى الشمولية في الأهداف، ودمج العديد من الأدوات اللازمة لتحقيقها، وهو ما يستوجب التناغم والتنسيق بين جميع المجالات السياسية والقطاعات والمستويات ذات الصلة من الإدارة، وكذلك التكامل بين العناصر الجغرافية بجميع أبعادها لمكانية والزمنية، أضف إلى ذلك ضرورة وجود توافق بين التكامل والتنمية المستدامة.

ولقد تم التوقيع على بروتوكول الإدارة المتكاملة في مدريد بين (٢٠-٢١) يناير/شباط(٢٠٠٨)م وضم عدة دول مثل الجزائر، وكرواتيا، وفرنسا، واليونان، وإيطاليا، والجبل الأسود، والمغرب، وسلوفينيا، وإسبانيا، وسورية، وتونس. (Wikipedia). ويمثل علامة بارزة في تاريخ خطة عمل البحر المتوسط وفق برنامج الأمم المتحدة للبيئة والمعروف اختصاراً بـ (UNEP / MAP) ، وبرنامج البحار الإقليمية الأول من نوعه تحت مظلة الأمم المتحدة للبيئة. وسوف تسمح الدول لتحسين إدارة مناطقها الساحلية، وكذلك للتعامل مع التحديات البيئية الساحلية الناشئة، مثل تغير المناخ. ويمثل البروتوكول صكاً قانونياً فريداً من نوعه في المجتمع الدولي بأسره، وبلدان البحر المتوسط خاصة، كونه يجمع بين شعوب المتوسط لتحقيق هدف واحد هو الاستثمار الأمثل في ظل مستويات أدنى من الأضرار البيئية لسواحل البحر الدولي، ويمكن تطبيقه عالمياً.

دخلت سورية بترتيب هو السادس بين الدول في البرتوكول، الذي أصبح حيز التنفيذ حين أُصدر المرسوم التشريعي رقم (٨٥) بتاريخ (٣١ / أيلول/ ٢٠١٠)م، من أجل التصديق على بروتوكول الإدارة المتكاملة للسواحل وتطبيقه بعد شهر واحد.

إن فهم السواحل كمنظومة طبيعية- حية، كان وراء نجاح فكرة أن الحلول الهندسية الليّنة أو الناعمةsoft engineering هي الأفضل من حلول الهندسة الصلبة hard engineering. إلا أن ذلك منوط بطبيعة السواحل ومدى استعدادها بيئيّاً وجيومورفولوجيّاً

لتقبل الحل الهندسي والاندماج معه، فقد تتعرض الحلول الليّنة غير الملائمة لانتكاسات خطيرة – مثل صعوبة تغذية الشواطئ بالرمال، مما تسببت بسوء فهم لآليات الترسيب، وصعوبة الحصول على احتياطيات الرمل، مما أضطر الجهات المعنية لدفع مبالغ أكبر لتأمينها، وكانت نتيجة ذلك آثار سلبية غير متوقعة على النظام الطبيعي، وعلى رأسها الحيوانات القاعيّة. ومن الأمثلة على ذلك ما حدث في ساحل فالي دو لوبو البرتغالي، حيث تم غسلها (٧٠٠,٠٠٠) م٣ من الرمال، وإنفاق (٣,٢) مليون يورو من الاستثمارات بعيداً عن الشاطئ في غضون بضعة أسابيع فقط، وحالة مصب نهر إيبرو حيث يجب إعادة تغذيته بالرواسب، التي تم استيرادها من منطقة أخرى، وحالة ساحل سيتجيس Sitges الإسباني. الذي تأذى مجتمعه النباتي بشدة بسبب عمليات تجريف الرمال. إن تطبيق الحلول الليّنة يجدي نفعاً على المنظور المتوسط والطويل، أي عندما لا يشكل تآكل السواحل خطراً على المدى القصير (٥–١٠ سنوات)، وذلك لبطء تأثيرها، وقد تم توثيق حالات معاكسة لتقييم جدوى الحلول القاسية، وذلك في ساحل بيتيت كارماجيو Petite Camargue الفرنسي، حيث ساعدت هذه البنى الهندسية على توفير القدر الكافي من الدفاع عن المظاهر الضعيفة على المدى القصير، ومن نتائجها استعادة الكثبان الرملية لتوازنها، وحالة ساحل دي هان De Haan في بلجيكا، حيث وفر السور البحري السلامة للمجتمعات الاجتماعية والمشاريع الاقتصادية، وحالة ساحل غرب غوتلاند في الدنمارك، الذي بنيت فيه حواجز الأمواج بشكل منفصل، مما خفض ميزانية النفقات وفتح مجالات ونوافذ لتغذية الشاطئ بالرمال، إلا أن هذا التطبيق الأخير محفوف بالمخاطر لتركز العمل الجيومورفي في مناطق دون غيرها من الساحل.

إن تبني مشروعات رعاية الكثبان والعناية بالأرض Dune Care and Land care projects في أستراليا منذ العقد الأخير للقرن الماضي، أدى إلى تطوع نحو مئة مجموعة عاملة، تهدف للعناية بالكثبان الرملية التي تنتشر على طول ساحل نيو ساوثويلز، كما حددت مناطق عديدة منه كمتنزهات للحياة البرية تحت حماية الخدمة الوطنية. باعتبارها وسطاً انتقالياً طبيعياً بين البيئة البحرية– المحيطية واليابسة، لذلك يجب حمايتها وفهم ديناميكياتها (Kidd: 2001). إلا أن العديد من مناطقها قد تأثر بالنشاط البشري، فقد أزيلت الكثبان الرملية من شواطئ كاملة واستبدلت بمظاهر التمدن أو الصناعة، أو تأثر ما بقي منها سلباً

بالأنشطة البشرية، التي شملت الرعي وحركة المركبات الثقيلة، واستخراج الرمال المعدنية أو استخراج الرمل للبناء، كما تأثرت تضاريسها بالإنشاءات الوقائيّة كالأسوار البحرية، والتنمية السكنية.

يتحكم بأنظمة الكثبان الساحلية العديد من العمليات الطبيعية، أو ما يسمى بنظام الإمداد بالرسوبيات ونظام النقل sediment supply and transport system. ويتكون هذا النظام من منطقة بحرية offshore zone (مصدر الرواسب sediment source)، ومنطقة عبور transit zone (الشاطئ والكثبان الأمامية النشطة beach and active foredune) ومنطقة الراحة resting zone resting (الكثبان الرملية مستقرة stable sand dunes). يتم توفير الرواسب في هذا النظام من قبل الأنهار ومن تآكل المنحدرات والرؤوس، ونظم الكثبان الأخرى المجاورة، وتتعطل عملية النقل عبر الشاطئ بسبب بناء الأرصفة والمراسي أو مصدات الأمواج، وحواجز الأمواج والهياكل الصلبة الأخرى، وشق الطرق وبناء المنازل وحفر الممرات على الكثبان الساحلية أو الشواطئ، يسبب أيضا تآكل الكثبان الرملية من خلال تعطيل عمليات الرواسب الطبيعية.

لا يجب الاكتفاء بحماية الكثبان الرملية أو إعادة تأهيلها، بل لا بد من فهم مكانها داخل المشهد الساحلي الأوسع، كونها ظاهرة متكررة ومتراكمة، مع الفهم السليم للعلاقات ذات الصلة مثل استخدام الأراضي في الحاضر والمستقبل. ففي الولايات المتحدة الأمريكية تم وضع برنامج لرصد وتحليل التغييرات الساحلية، من خلال التنسيق بين عدة ولايات ووكالات أميركية، بهدف إنشاء قاعدة بيانات واسعة ومتكاملة، لدعم عملية صنع القرار، وتطبيق إدارة ناجحة ضمن خطة عامة وشاملة للبلاد. وقد أسفر ذلك عن وضع قواعد صارمة لرصد وإدارة الموائل الطبيعية، بالإضافة إلى اعتماد المظاهر الجيومورفولوجية الساحلية الحساسة، وفي مقدمتها الكثبان الرملية، كمؤشرات على استجابة السواحل للتغيرات المناخية على المدى القريب والبعيد، مما يعني ضرورة مراقبتها وتتبع تطوراتها. (Psuty & Silveira: 2011. Pp 1253 - 1256).

يسهم انتشار الكثبان الرملية على طول السواحل، بالحد من عملية تآكلها وتراجعها، وللكثبان عدة فوائد ذكرها (Kenneth & Others: 2007)، على النحو الآتي:

أ. يوفر نظام الكثبان الرملية الحماية من الفيضانات الساحلية.

ب. يساعد في الحفاظ على البيئة الطبيعية للشواطئ.

ج. له أهمية سياحية وترفيهية.

د. الكثبان أكثر اندماجاً مع المشهد الطبيعي للسواحل من الناحية البصرية والسياحية.

هـ. لها قيمة أكبر للحياة البرية.

و. قادرة على الاستجابة بسرعة أكبر للتغيرات البيئية.

يساعد الغطاء النباتي في حماية الكثبان الرملية، حيث يقلل من سرعة الرياح، ويساعد على تماسك الرمال وتغذيتها بما يعلق به من رمال جديدة، إلا أن تربة الكثبان الرملية تتصف بالقدرة المنخفضة على الاحتفاظ بالرطوبة، وكذلك المحتوى المنخفض من المادة العضوية، ومع الوقت تنمو النباتات وتتراكم المواد العضوية، فترتفع قدرتها على الاحتفاظ بالرطوبة. وقد بينت الدراسات المخبريّة والميدانية التي أجريت على كثبان سواحل أستراليا، أن اختلافاً واضحاً في محتوى الرطوبة بين الكثبان القديمة (الكبيرة) والحديثة (الصغيرة)، حيث بلغت نسبتها في الأولى نحو (٣٣%) ولم تتعد في الثانية (٧%)، أما خصوبتها فتخضع لعوامل فيزيائية كتوفر الماء، والمسامية وطبيعة البنية وأخرى كيميائية، وتوفر المواد الغذائية، والملوحة والمحتوى العضوي.

تاسعاً- طرق الحد والحماية من أخطار تراجع السواحل:

تحدد الحلول المقترحة لحل المشكلات الطبيعية وفق عدة معايير، منها:

١. عامل الأمان والسلامة للسكان، فبعدم توفره تصبح التكاليف المادية قليلة مهما بلغت.

٢. القيمة الاجتماعية والاقتصادية والثقافية للمواقع الساحلية المعرضة للخطر.

٣. الجدوى الزمنية للحلول.

٤. توفر مواد المعالجة بالقرب من الموقع.

٥. سهولة تنفيذ الإجراءات، بدءاً من عمليات الإخلاء وانتهاءً بعمليات الإكساء الحجري.

وفي هذا الصدد تعترف EUROSION- وهي المنظمة الأوربية المعنية بتقييم حالة السواحل في أوربا- بأن التنمية المستدامة للمناطق الساحلية، تتطلب الحفاظ على المواطن الحيوية، وخاصة على السواحل المتخلفة والمتبقية، وبضرورة وضع استراتيجية لتحقيق أهداف على المدى الطويل، مما يتطلب احتراماً وتقديراً للبيئات الساحلية، وفي كثير من الحالات

يجب ترميم المسار الطبيعي للنظام الساحلي، وليس تغيره، وبالتالي إعادة صفة المرونة الطبيعيّة لعوامل التعرية، فلكل ساحل مرونته الخاصة، التي تعني قدرته الكامنة على استيعاب التغيرات الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر، والظواهر المتطرفة، والتأثيرات البشرية في بعض الأحيان، مع الحفاظ على القيام بوظائفه على المدى الطويل. وتعتمد مرونة السواحل على عاملين أساسيين: الرواسب ومساحة العمليات الساحلية. حيث تنخفض مرونة الساحل نتيجة لخسارته كميات من الرواسب لا يمكن تعويضها، أو لارتفاع معدلات الحت الطبيعي، ويصبح التدخل البشري محدوداً، في ظل التراجع الحتمي والطبيعي للمنحدرات والأنظمة الرسوبية، ولا يتعدى إعادة توزيع الرواسب نتيجة لهذا التراجع.

عاشراً- الحلول المقترحة لمواجهة مشكلات السواحل:

يساعد اقتراح الحلول من وجهة نظر جيومورفولوجيّة - جغرافيّة، على المزيد من الشمولية والتكامل، إلا أن أكثر ما يواجه هذه الرؤى أن السواحل المعرضة للخطر، تعاني مشكلات عدة: مثل الكثافة السكانية، والاستخدام البشري الخاطئ، ونقص الرواسب، ولذلك أوصت أغلب الدراسات مؤخراً، باتباع نهج يعتمد على التكيف مع طبيعة السواحل، والحفاظ على استجابتها المرنة تجاه أي تغير في أنظمتها، وترك مسافات آمنة لتتم فيها العمليات الجيومورفولوجية لضمان استعادة الفيضانات الساحلية لنشاطها، أو ما أطلق عليه: السهل الساحلي الفيضي الاستراتيجي الواسع strategic large-scale coastal floodplain. أي إننا بحاجة قبل طرح الحلول، إلى تغيير مفاهيم الإدارة الساحلية المتبعة، والاتجاه بها نحو تخفيض التدخلات البشرية إلى حدودها الدنيا، والسماح للعمليات الطبيعة بالسيطرة من جديد على السواحل. (Crooks: 2004. P18).

ويمكن إيجاز الحلول المباشرة على النحو الآتي :

١. فهم النظام الفيزيائي للساحل، أي المادي- الحيوي له، وتقدير الآثار الجيومورفية للتدخلات الهندسية المطلوبة، واستخدام تصاميم ونماذج مناسبة للسواحل، مع الأخذ بالحسبان مدى حساسيتها لأي تغيرات. (Von Rijn : 2005. P 10).

٢. اختيار المواقع الأكثر أماناً من السواحل للاستخدامات المناسبة.

٣. السماح للكثبان والحواجز الرملية والنباتات بالنمو فوق السواحل والدلتاوات، وقد ساعدت هذه المظاهر في حماية دلتا نهر الميسيسيبي خلال (٧٠٠٠) سنة الماضية من التراجع.

٤. تثبيت السواحل بزراعة أصناف مناسبة من النباتات، وذلك من خلال دراسة الأنواع المحلية والمستوطنة، وحمايتها.

٥. إكساء الواجهات الصخرية بالأسمنت أو بالحجارة، أو أي مادة مقاومة لعمليات الحت الموجي وعمليات التجوية. صورة رقم (٣٧-٦).



صورة رقم (٣٧-٦) إكساء حجري لساحل جنوب لشبونة / البرتغال.

٦. إلقاء كتل أسمنتية أو حجرية بالقرب من الساحل، وفق توزع يضمن تشتيت قوة الموجة.صورة رقم (٣٨-٦).



صورة رقم (٣٨-٦) الكتل الأسمنتية لحماية السواحل من الحت الموجي.

٧. بناء سدود وجدران أسمنتية وحجريّة تعلو فوق أعلى مستوى متوقع لارتفاع مستوى سطح البحر، فقد سبب ارتفاع الحواجز فوق الحد المسموح به في بعض سواحل الفلبين تراجعاً في كمية الرواسب من (١١,٨) م٣/سنة إلى (٤,٣) م٣/سنة، بين أعوام (١٩٦٥-١٩٨٠)م و (١٩٨٠-٢٠٠١)م، على التوالي. واستمرت التأثيرات الخطيرة لعملية الحت على نحو (٩٣%) من القطاع الساحلي بين مدينتي بينه ثوان Binh Thuan، وخانا

هوا Khanh Hoa، وقد تبين أن (٤٣%) منها يتراجع بمعدلات تزيد على (١٠٠م/سنة)، وأن معدلات الخسارة بالرواسب راوح بين (١٥-٣٠ م٣/سنة). مما اضطر الدولة إلى تغيير سياسة إجراءات الحماية بتطبيقات الهندسة الصلبة، وتبني استراتيجية التطبيقات الخضراء Green application، فتم ترميم غابات المانغروف وتشجير السواحل. (Cat & Others; 2005. P3-6). صورة رقم (٣٩-٦).

٨. قطع الجروف الشديدة الانحدار، وتعديل أشكالها إلى مصاطب ومدرجات يمكن الاستفادة منها باستخدامات عمرانية أو زراعية.

٩. الحد من تأثير الحت النهري، والتأثيرات السلبية للأودية السيلية على استقرار الساحل.



صورة رقم (٣٩-٦) مصدات أمواج أمام شاطئ نورفولك Norfolk في بريطانيا، لاحظ اتصال لسان رملي بأحد المصدات واتساع نطاق الترسيب.

١٠. نشر مصدات الأمواج Groynes (كواسر الأمواج)، بعيداً عن الشاطئ لمسافات محددة تسمح بتوازن الترسيب والحت، وبشكل مواز له، أو متعامد عليه، على شكل ألسنة إسمنتية أو حجرية تعمل على تحويل تيارات المد والجزر من الشاطئ، وتحقيق الاستقرار في قنوات المد والجزر العميقة نسبياً. وتتنوع المصدات بين كتيمة impermeable، وهي التي تسمح بمرور (١٠%) من الأمواج، ومنفذة permeable أو قابلة للاختراق، والتي تسمح بمرور (٣٠-٥٠%) من الأمواج، ويتم إنشاء المصدات بشكل متقطع لتشكيل حجرات متجاورة Adjacent compartments، صورة رقم (٣٩-٦). وتُصمم المصدات على شكل حرف (T أو L) فوق قاع ضحل، مما يسمح

ببناء مساحات جديدة بفعل الترسيب البحري. صورة رقم (٤٠-٦). بشرط ألا تحول دون وصول المد والجزر إلى الشاطئ. (Von Rijn : 2010. p 41-45).



صورة رقم (٤٠-٦) حجرات رواسب شاطئ ميرامار Miramar، الأرجنتين.



صورة رقم (٤١-٦) مقربة لحجرات شاطئ ميرامار.

١١. تغذية مواقع الحت والتآكل الساحلي بكميات مناسبة من الرمال. التي يفضل أن تكون حبيباتها كبيرة الحجم، أي إن أقطارها تراوح بين (٢-٣ مم) - فالصغيرة قابلة للحت بمعدل أسرع - صورة رقم (٤٢).



صورة رقم (٤٢) دعم السواحل بطريقة الرش بالرمال/ نيجيريا.

وتُحدد كميات الرمال المطلوبة لكل متر من الساحل، حسب طاقة الأمواج وقدرتها على الحت، فقد تطلبت السواحل الشرقية للبحر المتوسط ذات الطاقة المنخفضة، دعماً بكميات من الرمال راوحت بين (١٠-٣٠م٣/م)، في حين احتاجت سواحل بحر الشمال، ذات الطاقة المتوسطة، لكميات راوحت بين (٣٠-٧٥م٣/م، وعززت سواحل المحيط الأطلسي والهادي النشط بكميات راوحت بين (٧٠-١٥٠م٣/م). (Von Rijn : 2010. p 15-16).

١٢. تبني مفهوم إنشاء خزانات الرواسب الاستراتيجية أو الاحتياطية، لإمداد المناطق الساحلية بالرواسب، إما بشكل مؤقت، للتعويض عن الخسائر الناجمة عن العواصف الشديدة، أو على المدى الطويل (١٠٠) عام.

١٣. التكيف مع تغير الساحل، والعمل على الحد من خطره على أنماط ونظم الحياة، وهنا لا يتجه الاهتمام الجيومورفولوجي للاهتمام بالأحياء إلا بقدر تأثيرها وتأثرها بمظاهر السطح، فمثلاً من شأن الحيود المرجانية التخفيف من حدة الأمواج وتشتيتها، لذلك وجب على الجيومورفولوجي الاهتمام بهذه النظم البيئية.

١٤. وضع مراصد مرتبطة بشبكات استشعار عن بعد، بالأقمار الصنعية لمراقبة مستوى سطح البحر، و سلوك أمواجه، وتحسين طرق وأدوات الكشف والتنبؤ عن الأمواج العاتية، واستمرار رصد ومتابعة مخاطر الفيضانات وتآكل السواحل، وطنياً ومحلياً، لذلك يمكن تكون الأولوية للاستثمار في إدارة المخاطر أكثر فعالية من استثمار السواحل بحد ذاتها. مما يستوجب وضع الخطط بالتنسيق مع إدارة المخاطر، بحيث تشترك فيها المجتمعات والشركات لاتخاذ قرارات تحقق المصالح المحلية والوطنية. ويشمل ذلك خطط الطوارئ والاستجابة للحوادث، فتكون المجتمعات المحلية شريكاً في الحل وليس عائقاً له.

١٥. إعداد خرائط دقيقة للسواحل، يتم تحديثها بشكل دوري أو حسب المستجدات بفعل العمليات الجيومورفولوجية.

الفصل السابع

الجيومورفولوجيا التطبيقية في البيئات الصحراوية وشبه الجافة

Applied Geomorphology in desert and semi-arid environments

أولاً- مفهوم الصحاري والمناطق الجافة وشبه الجافة.

ثانياً- أعمال الرياح، ومظاهرها.

ثالثاً - أعمال المياه السطحية، ومظاهرها.

إن المتابع للكتاب الرملية بدلاً من أن يجد فيها فوضى وعدم انتظام، تأخذه الدهشة لمحاطة الشكل ودقة التكرار والنسق الأصيل، الذي لا يعرف بالطبيعة بمثل هذا المقياس.. مما يجلب اللب ويثير أي ذهن خيالي..

Ralph Alger Bagnold
1896-1990

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أولاً- مفهوم الصحاري والمناطق الجافة وشبه الجافة.

حققت جيومورفولوجيا الصحاري أو ما يعرف بالجيومورفولوجيا الريحية أو الهوائية Aeolian geomorphology، معنى الشمولية والدقة في البحث العلمي، فقد انطلقت من تحديد الخصائص الإقليميّة للصحاري بنوعيها الداخلية والساحلية، ثم تصنيف وتفسير مظاهر الحت والتراكم الريحي، وأعمال المياه الجارية والتجوية، واستمرت في البحث في أدق التفاصيل، كالتحليل المجهري للحبيبات الرملية، من خلال دراسة استدارة Roundness الحبيبات وتكورها Sphericity لتفسير نشأتها وبالتالي تحديد مصادر رمال الكثبان، وكذلك لتفسير العلاقة بين بنية الكثبان الرملية والعمليات الجيومورفولوجية المشكّلة لها والمسؤولة عن تطورها. (عبد الحفيظ سقا: ٢٠٠٢، ص٣).

تقسم دراسة العمل الجيومورفولوجي بالصحاري والمناطق الجافة، إلى شقين: الأول يهتم بدور الرياح ومظاهرها، والثاني يبحث في نظام المياه الجارية- الصحراوية ومظاهرها، وذلك ضمن المشهد التضريسي الصحراوي الذي يجمع بينهما.

لطالما عُدَّت الصحاري – قبل ثورة النفط – أراض مهلكة موحشة لا تقل خطورة عن البحار الهائجة. إلاّ أن لها وجهاً حسناً آخر، فقد أسهمت بتأمين مناطق عزل لبعض الحضارات، كالفرعونية، بل ما زال هذا الدور حاسماً في حماية مصر من أي عدوان بري، وعلى الأقل يمكن القول: أن إحاطة مراكزها العمرانية بصحراء شرقيّة تقع خلف حاجز جبال البحر الأحمر، والصحراء الغربية الممتدة حتى صحراء شمالي أفريقيا. تمثلان بعداً استراتيجياً يمهل القلب الحضري بداخلها بعض الوقت، ليتخذ إجراءات حمايته في الحروب البرية الحديثة. ولعل هذا الدور الجيوبولوتيكي أفضل ما قدمته الصحاري من فائدة تطبيقية على المستوى الإقليمي كمنظومة جيومورفية قائمة بحد ذاتها. إلا أن للصحاري دوراً حيوياً لا يقل أهمية عن المناطق الرطبة في العالم، فهي تضم من الأحياء فصائل ومجموعات يندر وجودها في مناطق أخرى، ولذلك حولت بعض الدول المتقدمة مناطق من صحاريها إلى محميات طبيعية ومتنزهات. كحديقة الصحراء الوطنية الصغرى Little Desert National Park في فكتوريا باستراليا، التي أسست ووسعت خلال الفترة (١٩٥٥- ١٩٨٩)م، وزادت مساحتها من (٢١٧)هـ إلى (١٣٢٠٠٠)هـ. وقد قسمت الحديقة إلى منطقتين: الأولى مرجعيّة Reference Areas، أي بقيت برية wild، والأخرى تعليمية Catiabrim Education

Area، حيث تضم الحديقة أكثر من (٤٠) نوعاً من الأحياء النادرة أو المهددة بالانقراض. ويعد المتنزّه من الأماكن السياحية -الترفيهية الشهيرة في البلاد، وبالإضافة إلى غناه بالتضاريس والمظاهر الغريبة على الزائرين، فله مهمة تاريخية- ثقافية، حيث يضم العديد من المواقع الثقافية للسكان الأصليين على طول نهر ويميرا Wimmera . (National Parks Service: 1996).

تخضع المناطق الجافة وشبه الجافة والصحاري لتضافر العديد من العمليات الجيومورفولوجية المناخية، ومظاهرها نتاج صرف لأحوالها المناخية، حيث تقوم الرياح والتجوية والمياه الجارية برسم معالمها وتحديد حجم التغير في خصائصها الشكلية.

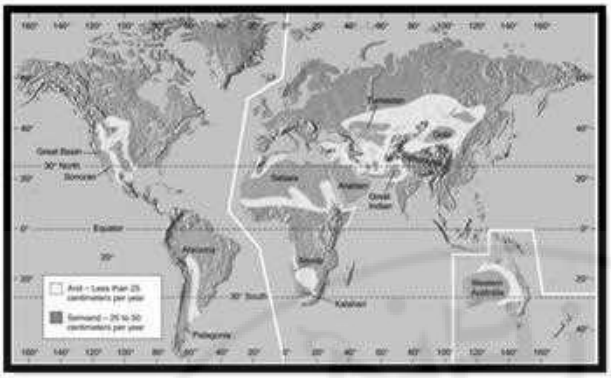
ويمكن تحديد العمليات الجيومورفية في المناطق شبه الجافة والجافة والصحاري حسب العامل المسبب لها، وفق ما يلي:

ثانياً - أعمال الرياح ومظاهرها.

على الرغم من اتساع مجال العمل الريحي على مستوى سطح الأرض، إلا أن مساحة الصحاري والمناطق الجافة، تراوح بين (٤٠-٤١%) من مساحة اليابسة، يقطنها حوالي (٢) مليار شخص، تدهور منها فعلياً بالتصحر بين (١٠-٢٠ %). وتعد هذه المناطق الميدان الجيومورفولوجي الأشهر لأعمال الرياح والتجوية والجريانات السيلية.

إن تنوع وتفاقم المشكلات الجيومورفولوجية في الصحاري والمناطق الجافة لا يعود لأسباب طبيعية فقط، بل لعوامل جغرافية عدة، منها:

١. زيادة مساحة الصحاري بسبب ظاهرتي التصحر- والتصحير، فمثلاً انخفض متوسط كمية الهطل السنوي في منطقة الفاشر شمالي دارفور بالسودان بنسبة (٣٤%)، فقد بلغ في الفترة بين عامي(١٩٤٦-١٩٧٥) حوالي (٢٧٢,٤)مم، انخفض إلى حوالي (١٧٩)مم، بين عامي (١٩٧٦-٢٠٠٥)، وفي دراسة أجرتها المؤسسة الأسبانية العامة للعلوم والتكنولوجيا FECYT عام (٢٠١٠)م، أكدت أن (٣٨%) من مساحة العالم معرضة لخطر التصحر. ويبين الشكل رقم (١-٧) توزع الصحاري، ومناطقها الهامشية الجافة.



شكل رقم (١-٧) توزع الصحاري في العالم.

٢. اتساع مساحة المستخدم من الأراضي الصحراوية، إن كان بعمليات الاستصلاح الزراعي land reclamation، أو إعادة إعمار الواحات والأودية السيلية، لتخفيف الضغط على المدن والأرياف، بسبب زيادة معدل النمو السكاني والهجرة، ومن المشاريع العملاقة التي تواجه مشكلات زحف الرمال، ما يعرف بمشروع توشكا في مصر، حيث انتقلت كميات كبيرة من رمال الكثبان الرملية نحو المجاري المائية، وقدرت معدلات كميات الرمال التي ملأت المجاري المائية خلال الفترة بين (٢٠٠٠-٢٠٠٦)م بين (١٥٠ – ٤٤٥٠) م٣/ سنة، وأسفر ذلك عن سد بعض المجاري المائية والقنوات الصناعية في المشروع (الترع)، مما قلل من كفاءتها وأخرج بعضها عن نطاق العمل، وقد حدد مصدر الرمال، بالكثبان الهلالية المتحركة والموازية للضفة اليسرى من بحيرة ناصر، كما راوح سمك الرمال في القناة الرئيسة للمشروع بين (٣٨-٦٧)سم، وقدرت الكمية التي تتحرك من الرمال نحو المشروع بين(١٥-١٠٠)م٣/ سنة (Hosny & Abd elmoaty: 2009. P 311)، كما أضيفت مساحة قدرت بنحو (٢٧٥٦) هكتار بين عامي رصد (١٩٨٧-٢٠٠١)م إلى الجهة الشمالية والشرقية من حقل الكثبان الرملية في سهل سبزوار Sabzevar في إيران البالغة مساحته (٤١٠,٠٠٠)هكتار، بسبب حركة الرمال والكثبان الرملية (Amirahmadi: 2104.p120).

الأمور التي أسهمت في تطور الدراسات الجيومورفولوجية للصحاري:

١. اكتشاف العديد من حقول النفط في المناطق الصحراوية، والتي أسهمت في التوغل داخل حدود لم يكن الإنسان مضطراً لها داخل الصحاري، وأجبرت العلماء والباحثين على

مواجهة مشكلات صحراوية لطابع، كزحف الرمال والتملح والتجوية الحرارية، مما استدعى إيجاد حلول لحماية هذه الاستثمارات من مخاطر الصحراء.

٢. ساعد اختراع السيارات والمركبات القادرة على تحمل الظروف الصحراوية، على اختراق الصحاري لمسافات أطول خلال فترات أقصر مع حمل المعدات ومتطلبات الحياة من ماء وطعام في الرحلات الطويلة.

٣. امتدت الثورة العمرانية التي شهدتها دول الخليج إثر النهضة الاقتصادية فيها، إلى المجال الصحراوي.

٤. دفع الفضول العلمي والسعي للثراء من خلال اكتشاف آثار الحضارات القديمة، وبخاصة الفرعونية منها، بمزيد من المعلومات عن الصحاري وأوديتها ومظاهرها، خلال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر.

٥. أسهم التطور التقني في جميع وسائل الاتصال والمواصلات، وتطور أدوات البحث ورسم الخرائط، في اكتشاف الصحاري، والحد من مخاطر دراسة الصحاري.

كل ما سبق أدى إلى تداخل حدود التماس بين العمل الريحي والسيلي في الصحاري والمناطق شبه الجافة، والنشاط البشري العمراني والزراعي والصناعي وحتى السياحي، فكانت له نتائج كارثية في بعض الأحيان، وإيجابية في أحيان أخرى.

١- العمليات الجيومورفولوجية للرياح:

يوصف العمل الريحي - كغيره من الأعمال الجيومورفولوجية- بكونه اصطفائياً أو تفاضلياً، حيث يتم بمعدلات وسويات مختلفة، حسب العوامل التي تتحكم به والصخور التي يواجهها. تتمثل أعمال الرياح في الصحاري، بالنقل والحت والتراكم، ويضبط النظام المناخي طبيعة العمل وفعاليته، فعندما تكون قوة الرياح أكبر من وزن الرمال تسود **عملية النقل**، التي تتم من وفق أساليب متزامنة -غير منفصلة- هي: الزحف creep، والدحرجة rolling، والقفز siltation، والتعليق suspension. وتعتمد طريقة النقل في المقام الأول على العلاقة بين حجم الجسيمات و سرعة الرياح، وإجهاد القص الريحي wind shear stress وشدة الاضطراب turbulence intensity.

يتم نقل الجسيمات الصغيرة جدا (<٢٠) ميكرون، بأسلوب التعليق لمسافات تراوح بين مئات وآلاف الكيلومترات، في حين تتعرض الجسيمات الأكبر حجماً بين (٢٠-٧٠) ميكرون للتعليق لمسافات أقل تراوح بين عشرات ومئات الأمتار. وبطريقة الدحرجة rolling للرمال ذات الحجم (٧٠-١٠٠٠) ميكرون، بشكل رئيس في سلسلة من القفزات القصيرة (القفزات)، ويكون لسرعة الرياح واضطرابها تأثير ضئيل على مسارات الجسيمات. أما الرمال الخشنة ذات الأقطار أكبر من(٥٠٠) ميكرون فتنقل على السطح بطريقة الدحرجة والزحف. (Lancaster:2009).

تبدأ الرمال بالتحرك بفعل الرياح عندما تتجاوز قوة الأخيرة وزن ما تواجهه من رواسب سطحية، وهي قاعدة عامة، إلا أن التجارب المخبريّة بينت أن السرعة الحدية للرياح المؤثرة، يجب ألا تقل عن (٣,٤م/ثا)، وحددها Bagnold (١٩٤١) بين(١٠-٢٠ميل/سا). وأطلق عليها عتبة التأثير impact threshold (Mangimeli: (2007. P 3). وتعرف أيضاً بالسرعة الفعالة Effective Speed. وتعتمد عتبات سرعة الرياح التي تحرك الرمال، على حجم الرمال (أنصاف أقطارها) وخصائصها من رطوبة ولزوجة وتراص وتفكك، فمثلاً بالنسبة إلى رمل الكوارتز، يرتبط الحد الأدنى لعتبة سرعة الرياح مع الرمل الناعم (~ ١٠٠ ميكرون للقطر). ويحد من حركة الرمال عوائق ذاتية تتعلق بطبيعة الرمال كمحتواها من الرطوبة والأملاح. أو تشكل قشرات من التربة فوقها. وقد تم تحديد معدل تدفق الرمال مخبرياً في أنفاق الرياح. وأظهرت أنها تكون متناسبة مع مكعب سرعة الرياح، ولوحظ علاقة وطيدة بين التدفق الأفقي لجزيئات الرمال الخشنة، والتدفق العمودي للجسيمات الدقيقة.

أما الحت الريحي، فيتم من خلال عمليتين: الأولى هي التفريغ Deflation أو التذرية، وتقوم فيها الرياح بإزالة المواد وكنسها، وتعميق سطح الأرض، لتشكل منخفضات يتناسب حجمها مع فعالية العمل الريحي وتفكك مكونات السطح وعمق الطبقة القابلة للإزالة، من أشهر مظاهرها منخفض القطارة في مصر. أما العملية الثانية فهي السحج أو الكشط Abrasion، وهي عمل ميكانيكي تقوم فيه الرياح فيسبب تخريش الواجهات الصخرية أو ما يقابلها من منشآت. ومن مظاهرها الشائعة ذات الأهمية على الصعيد الجيومورفولوجي والأركيولوجي والمناخي والهيدرولوجي ما يعرف باليارداغ Yardange، وهي تضاريس حت ريحي. تشبه القوارب المقلوبة Inverted Boats أو أبو الهول Sphinx، أو الأسود الطينية

Mud Lions. ولها دلالات باليوجيومورفولوجية، حيث ترتبط بمستويات بحيرية سابقة، مما يفيد بتقدير حجم البحيرات الصحراوية أو السبخات، ويمكن للأعمال البشرية أن تسبب دماراً كاملاً لهذه المظاهر، بهدف الاستصلاح الزراعي، كما في منخفضات الخارجة والداخلة والفرافرة المصرية.(عبد الحميد كليو: ٢٠٠٠، ص٦٣).

وتختلف معدلات التعرية الريحية حسب سرعة الرياح، ونسيج التربة أو الرواسب sediment texture، ودرجة التقشير والتماسك crusting and cohesion، وتأثير حركة المرور و/أو الحيوانات.

أما ثالث العمليات الريحية، فهي **التراكم الريحي** Accumulation wind، ويتم حين تعجز الرياح عن حمل أو نقل الرمال، وذلك لأسباب عدة، منها ضعف طاقة الرياح لابتعادها عن مصادر قوتها، واصطدامها بعوائق نباتية أو حيوانية أو صنعية، أو زيادة وزن الحمولة بسبب ارتفاع رطوبتها بعد مرور الرياح فوق مسطحات مائية كالخبرات والسبخات.

٢- العوامل المتحكمة بحركة الرمال و تراكمها

كان يعتقد سابقاً أن الأشكال البسيطة والنمطية أو المتكررة للكثبان الرملية، تتم على آليات بسيطة وغير معقدة، إلا أن الدراسات الحديث في فيزيائية تدفق الهواء، أكدت أن هناك عدة عوامل تقف وراء شكل الكثبان وحركتها، فشكل الكثيب يكتسب بحد ذاته نمط تدفق هواء خاصاً به، وبالإجمال فإن شكل الكثبان يخضع لمتغيرات عدة، منها:

١. **نظام الرياح الإقليمية** وخصائصه: ويضم قوة الرياح، وتكراريتها، واتجاهاتها، وفترة سكونها، ورطوبتها. فالرياح الأقوى تكون قادرة على تحريك ونقل رمال أكثر*، ويكفل تكرارها استمراراً عملها لمُدد أطول، أما اتجاهها فيحدد مسارات تحرك الكثبان والأغشية الرملية.
٢. **نظام الرياح الأصغري:** يحيط هذا النظام بالكثيب الرملي، وهو يؤثر فيه مباشرة، ويتأثر به. وقد أكدت الدراسات المخبريّة والحقلية، أن سرعة الرياح عند الذيل أخفض منها عند القمة، وذلك كون الأخيرة مناطق ضغط منخفض. أي إن هناك تدرجاً متناقصاً في قيم

* أكدت التجارب المخبرية أنه يوجد استثناء لهذه القاعدة العامة، فالرمال ذات الأقطار الأقل من (٠,٠٦) ملم، تحتاج إلى رياح أسرع من تلك التي تكبرها حجماً، أي إن القاعدة معكوسة. (عادل عبد السلام ، أشكال الأرض ٢٠٠٠، ص ٢٤٩)

الضغط بالاتجاه نحو القمة، هو المعنيّ بانخفاض سرعة التيار عند السفح المواجه للرياح، وزيادته عند القمم. أما بين الحافة والقمة فيحدث تبدد سريع لقوة التيار الهوائي بسبب تمدده، وانخفاض مماثل للسرعة. فتسود عملية التراكم، بينما يحدث انفصال للتيار عند منحدر منصرف الرياح (الصبّاب أو المهيل)، وتوزع في مختلف الاتجاهات مما يحدث الحركة الدوامية عند أسفله.

٣. **شكل الكثيب وخصائص سفوحه:** من العوامل الجيومورفية الخاصة التي تؤثر في عملية تحريك الرمال ونقله، من خلال تأثيرها في سرعة التيارات الريحية، شكل سفوح الكثبان الرملية، فقد تبين أن التقعر الموجود أسفل المنحدر المقابل للرياح يزيد من سرعة الرياح، في حين يسبب التحدب في أعلى المنحدر عند نطاق القمة، تباطؤاً له، وتكون سرعة تأثير التحدب أعلى من التقعر. (أشرف أبو الفتوح: ٢٠٠٢، ص١٥٦).

٤. **خصائص الرمال:** تتطلب الرمال كبيرة الحجم رياحاً أقوى لتحريكها أو حملها، وكذلك الأمر فيما يخص الرمال الرطبة.

٥. **طبيعة سطح الأرض**، فالسطح الوعر يعيق حركة الرياح بمستوياتها الدنيا القريبة منه، في حين يساعد السطح المستوي العاري على تحريك الرمال لمسافات أبعد، كما أن زاوية انحداره تتحكم في تراكم الرمال أو انزلاقها، فحيث يكون الانحدار مواجها لحركة الرياح يسبب إعاقة لنقل الرمال وتراكمها، ومن الشائع أن تتراكم الرمال عند أقدام الجروف، ويماثلها حال قواعد الجدران والمنازل والإنشاءات الهندسية الأخرى، كما تؤثر رطوبة السطح في حركة الرمال فوقه سلباً.

٦. **مصدر الرمال:** كلما كان مصدر الرمال قريباً سَهُلَ نقل الرمال منه، وحافظت على خصائصها الأصلية، أما مع طول المسافة بين مصادر الرمال ومواقع تراكمها. فيعرضها للبري والتكور، ويفقدها رطوبتها.

٧. **عمليات بناء الكثيب:** تمر الكثبان الرملية الكبيرة بعدة مراحل من الترسيب والحت خلال تطورها، فتكبر أحجامها مع استمرار التغذية، وتتعرض للتآكل مع سيادة فترات مناخية جافة تسيطر فيها رياح قوية. (Lancaster: 2008. P 573).

٨. **توزع النباتات وكثافتها**، حيث تشكل المصدات الأكثر استخداماً للحد من العمل الريحي، وهنا لا بد من دراسة خصائص الغطاء النباتي، من حيث نوعه، وتوزعه، وكثافته، وفترات نموه، وخصائصها الشكلية. كتوزع الأغصان والأوراق و عمق الجذور.

٩. **نمط استخدام الأرض** وتغيره: فكلما اقتربت مظاهر العمران والاستثمار من نطاقات تحرك الرمال، أعاقت حركتها، في حين تسهّل أعمال الفلاحة والحراثة، التي تفتت التربة تعرضها للحت والتعرية الريحية. كما تعمل الممارسات البشرية والإجراءات المتبعة لمواجهة زحف الرمال أكبر الأثر في إعاقة حركة الرمال أو إعادة توجيهها. وقد أكدت دراسة أجريت على أراضٍ من تنزانيا، أن الفاقد من التربة كان معدوماً في أسطح ذات غطاء نباتي شجيري سليم، لكنه بلغ نحو(٧٩) طن/هـ في أراض زُرعت بالذرة الرفيعة. وإلى (١٤٦) طن/هـ في الأراضي الخالية من الزراعة أثناء فترات الراحة.(جوديزو ولكنسون: ١٩٨٠، ص ٨١).

أما **فعل الحت** فيمثل الخطر الثاني بعد زحف الرمال، ويتعلق بعدة أمور منها:

١. **خصائص الرياح** : وقد سبق ذكرها، لكن هنا يتم التركيز على التوزع الشاقولي لقوتها، حيث تقع أعلى سرعة فوق السطح – بسبب احتكاكها به– وتتناقص كلما ارتفعت نحو الأعلى، وبالتالي فإن تحديد هذه السويات يسهم في تقييم مستويات الخطر الريحي الحتي على الجدران وأعمدة الخدمات. ويقدر الارتفاع الوسطي للمجال المعرض للحت الريحي بين (٥-٢٥)سم. (عادل عبد السلام: ٢٠٠٠، ص ٢٥٤).

٢. **طبيعة الحمولة**: كلما كانت الرمال قاسية وجافة – وهي عموماً من الكوارتز، الذي تعادل قساوته (٧)– كان فعل التخريش والحت أشد.

٣. **البنية التركيبية للواجهات الصخرية والأسمنتية**: تتسارع عملية التخريش عندما تصطدم الرياح المحملة بالرمال بواجهات صخرية غير قاسية. وتزداد خاصية التفاضلية في الواجهات المكونة من صخور غير متجانسة، حيث يبدي كل نوع استجابة مختلفة عن الآخر. أما الجدران والحواجز الهندسية المخصصة لمقاومة عمل الرياح، فتُختار موادها وتعالج وتحسن بشكل يحد من فعل الرياح لفترة طويلة قدر الإمكان. كما يتم اختبار الواجهات الزجاجية في معامل خاصة لاختبار قدرتها على تحمل فعل الرمال والعواصف الغبارية والمطرية في المناطق الجافة وشبه الجافة. وقد أحرزت دول الخليج العربي

قفزات نوعية في هذا المجال حتى غدت مشاريعها ذات شهرة عالمية، كمبنى برج العرب ومبنى برج دبي في الإمارات العربية المتحدة.

ومن آثار **التشويه الريحي** ما تتعرض له أهرامات الجيزة وتمثال أبو الهول، حيث تزال وبشكل مستمر أجزاء من الأسطح البينية من جوانب أبو الهول، والآثار الفرعونية المجاورة، صورة رقم (١-٧) وهو مثال فريد من نوعه، يتيح الفرصة لإجراء مقارنة دقيقة عن تأثير الرياح على كل من الأسطح الصخرية الطبيعية، ففي ظل مناخ جاف صحراوي، تشكلت قنوات نصف اسطوانية على طول الواجهات المقابلة للرياح. التي يراوح قطر بعضها بين (٥٠-٧٠)سم، توافقت مع الأسطح البينية للصخرة التي نحت منها التمثال، في حين تشكلت في الأهرامات بفعل حت وتراجع أسطح الملاط بين الحجارة بعضها فوق بعض، وهي بالتالي أضعف من صخر الحجر الكلسي المستخدم في عملية البناء، كما لوحظ انتشار ظاهرة أقراص العسل. صورة رقم (٢-٧).



صورة رقم (١-٧) تشكل حفر أسطوانية بين الأسطح البينية (تصوير المؤلف ٢٠٠٠).



صورة رقم (٢-٧) ظاهرة أقراص العسل.

أما التراكم فيحدث عندما تفقد الرياح قدرتها على نقل الرمال، وتتعدد أسباب ذلك، كاصطدامها بعوائق صخرية أو نباتية، وانخفاض طاقتها بابتعادها عن مصدرها، أو مرورها فوق مسطحات رطبة كالخبرات أو السبخات، ويؤدي عامل احتكاك الرمال ببعضها Friction sand grains دوراً مهماً في تراكمها وإضعاف الرياح الحاملة لها. ويتم تبعاً لضوابط مثل: (Mangimeli :2007. P 9):

١- اختلاف سرعة الرمال وتفاضلها فوق الأسطح غير الرملية.

٢- تأثير قوة جر أو سحب Drag الرمال في سرعة الرياح.

وتقسم **مظاهر التراكم الريحي**، إلى ثلاثة أنواع رئيسة، هي:

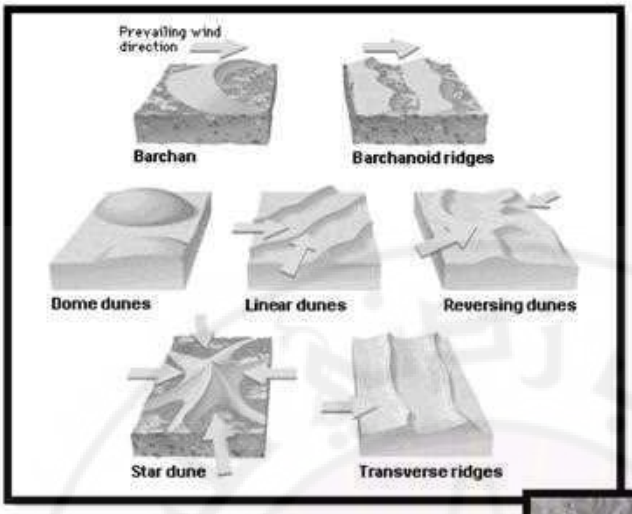
١- الحداريب أو تموجات الرياح (تباعد ٠.١-١ م) Wind ripples: عادة ما يراوح طول الموجة بين (٠.٠٥- ٠.٢)متر، واتساعها بين(٠.٠٠٥-٠.٠١٠)متر. وهي مظاهر شائعة في معظم الأسطح الرملية، باستثناء تلك التي تتعرض لتآكل أو تراكم سريعين يحولان دون تشكل التموجات وظهورها.

٢- الكثبان البسيطة الفردية simple dunes أو الكثبان المركبة superimposed dunes والكثبان المعقدة complex dunes (تباعد ٥٠-٥٠٠ م).

٣- الأغشية الرملية Sheets of sands، أو التراكمات الكبيرة والمعقدة compound and complex (mega).

ولكن ما يثير انتباه الجيومورفولوجي في المجال التطبيقي هو تلك التراكمات الرملية المتحركة، وبخاصة التي تتجه نحو مناطق مأهولة فتهدد أسلوب حياتهم وتغير طريقة عيشهم، وتدفعهم إلى الهجرة، كحال سكان منطقة واحة الإحساء، الذين يضطرون للهجرة باستمرار نحو الجنوب أمام غزو الرمال، تاركين بعض مراكزهم العمرانية مدفونة تحت الرمال، مثل قرى العمران والعيون والمقدام وجواثا.(يحيى أبو الخير: ١٩٨٤، ص ٧).

يمكن القول إن اتجاه الكثبان الرملية وأشكالها من أهم المؤشرات الجيومورفولوجية على الأحوال المناخية الحالية أو القديمة، وبالتحديد على النظام الريحي المسبب لتشكلها. حيث تنشأ الكثبان الهلالية (البرخانات)، والكثبان الطولية أو الخطية Linear Dunes وأشهرها السيفية، بفعل رياح ذات اتجاه سائد Prevailing wind direction، ووحيد يساير محورها. في حين ترتبط نشأة الكثبان العرضية مع رياح ذات اتجاه وحيد متعامد مع محورها ، فيدفع بها على شكل جبهات متعرجة نحو الأمام، ، لذلك تعرف بالحواف المستعرضة Transverse ridges. أما الكثبان النجمية Stars dunes، فتتخذ شكلاً هرمياً pyramidal، مع عدة أذرع حادة ومتعرجة sinuous sharp-crested arms radiating. تشبه أذرع الإخطبوط، تعمل على تغيير اتجاهات الرياح ضمن تجمع الكثيب نفسه، ويشترط لتشكلها سيادة نظام ريحي متعدد الاتجاهات ومعقد، وهي أكبر الكثبان الرملية في العديد من البحار الرملية، حيث بلغت ارتفاعاتها أكثر من(٣٠٠)متر. شكل رقم (٢-٧). صور رقم (٣-٧).



الشكل رقم (٢-٧) العلاقة بين اتجاه الرياح وشكل الكثبان الرملية.



صورة فضائية رقم (٣-٧) كثبان هلالية تهاجم مدينة دوحاني غولمان Dahan-e Ghulaman الأثرية شرقي إيران، عام ١٩٦٢.

وقد ساعد تفسير صور الأقمار الصناعية التي استخدمت لرصد التغيرات المورفولوجية والموقعية للكثبان الرملية في مناطق متعددة من العالم، على تحديد ثلاثة أنماط رئيسة لتغيراتها، (El-Magd & Others: 2013.p 599) وهي:

١- نمط الكثبان المتحركة أو المهاجرة Migrating dunes: تنتمي إليه الكثبان التي تشهد تغيرات في أحجامها وأشكالها ومواقعها، وتمثلها الكثبان الهلالية عموماً، وهي الأخطر على المنشآت والبنى التحتية والخدمية.

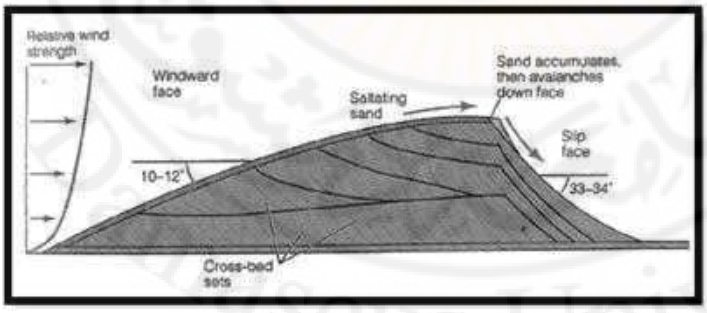
٢- نمط الكثبان المتطاولة Elongating dunes: التي يزداد طولها بعملية الاستطالة الذاتية، حيث تتقدم جبهاتها مع ثبات مواقع ذيولها، وتمثلها الكثبان الطولية.

٣- نمط الكثبان المتراكمة Accumulating dunes : تتجمع الرمال حول الكثبان القديمة فتزيد من أحجامها، وتغير في أشكالها مع ثبات نسبي في مواقعها، تمثلها الكثبان النجمية والقبابية.

وقد حددت معدلات حركة بعض الكثبان في صحراء نيغسيا Ningxia الصينية، بين عامي (١٩٥٤-١٩٥٩) فبلغ نحو (١٠٠م/سنة). وتوصف آلية تشكل الكثبان الرملية بأنها عملية تنظيم ذاتي self-organized. تعتمد على نظام الرياح أولاً، وتوريد الرمال ثانياً. أما حركته فتتعلق بالأولى وشكل الكثيب ثانياً. حيث يتناسب معدل هجرة الكثبان عكساً مع ارتفاعها، وطرداً مع سرعة الرياح. إن رصد معدلات هجرة الكثبان يوفر معلومات تسهل فهم آليات عمل النظام الريحي، بالتالي حماية المناطق المعرضة لخطرها، كالطرق والمنشآت الصناعية والتجمعات السكنية، والموائل الطبيعية النادرة، وبالتالي يسهم في تحسين إدارة الموارد الطبيعية في المناطق الجافة وشبه الجافة، وهي موارد غاية في الأهمية بالنسبة إلى مجتمعات هذه البيئات الجغرافية الهشة.

- **الكثبان الهلالية:**

تعرف عالمياً بالبرخان Barchan وعربياً بالنقا*، وهي كثبان غير متناظرة السفحين، يمتد الأطول والأقل انحداراً والمحدب منها مع جهة هبوب الرياح، ويدعى سفح أو وجه هبوب الرياح Windward face، يقابله سفح أقصر وأشد انحداراً، وغالباً ما يكون مقعراً، يقع في جهة منصرف الرياح، ويدعى وجه الانزلاق أو الانهيال Slip face، يفصل بينهما حد تتراكم فيه الرمال، يسمى بخط القمة Crestline، لتنهار عنه نحو سفح الانزلاق، ويوضح الشكل رقم (٣-٧)، هذه العناصر مع زواياها الشائعة.

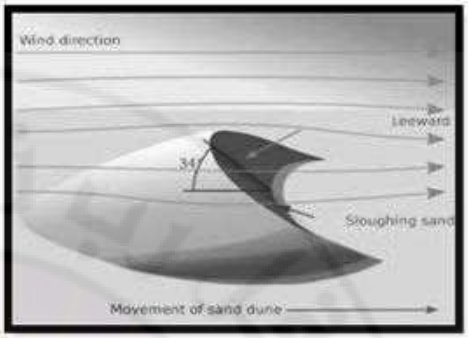


شكل رقم (٣-٧) عناصر الكثيب الرملي وزواياه.

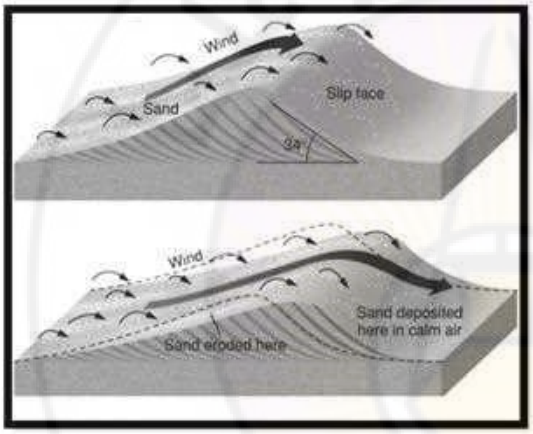
ومع اكتمال شكل الكثيب واتخاذه شكل قطع مكافئ parabolic – وبه يعرف هذه النوع أحيانا – يبدأ بتوجيه التيارات الريحية، نحو جوانبه، لتعمل على دفع الرمال نحو قرونه، كما

*للاستزادة: أنظر (عبد السلام، عادل ٢٠٠٠) حيث أفرد في كتابه (علم أشكال الأرض) جزءاً للتسميات العربية للكثبان حسب اختلافاتها الشكلية.

تتجه تيارات أخرى متسلقة السفح المواجه للرياح، ودافعة ما تستطيع من رمال نحو قمة الكثيب، لتنهال بعدها على سفح منصرف الرياح، ثم تتعرض لعملية تذرية وإعادة توزيع بفعل التيارات الدوامية التي تتشكل عند أسفل السفح، شكلان رقم (٤/٥-٧).



شكل رقم (٤-٧) التيارات الريحية، وعدم تناظر الكثيب الهلالي.



شكل رقم (٥-٧) التيارات الريحية ووصف لحركة الرمال.

تتحرك الكثبان الهلالية بشكل يتناسب طرداً مع سرعة الرياح، وعكساً مع طولها. تراوح ارتفاعاتها بين (١,٥-١٠)م، واتساعها بين (٣٠-١٠٠)متر، وطولها بين (٤٠-١٥٠)م (Sparavigna; 2011. P 3). وفي دراسة تفصيلة ودقيقة باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد لـ (١٤٩) كثيباً رملياً هلالياً في منخفض الخارجة من صحراء مصر الغربية، تبين أن معدلات حركتها راوح بين (١,٣-١٩,٣م/سنة)، وأن معدل السرعة الحدية للرياح الفعّالة هو (٦م/ثا)، كما ساد اتجاه حركة من الشمال إلى الجنوب، مهدداً العديد من مشاريع الاستصلاح الزراعي، كمنخفض توشكا ومفيض بحيرة ناصر، وتبين أن الكثبان الصغيرة أسرع من الكبيرة، وفُسر هذا التباين الكبير في معدلات الحركة، باختلاف أنماط استخدامات الأراضي، والغطاء النباتي، وخصائص سطح الأرض. (El-Magd & Others; 2013. P 498). فطالما أن المساحات أمام الكثيب مفتوحة دون عوائق تحد من حركته، وتدفق الرياح

مستمر، فإن الكثيب يبقى في حركة دائمة، ويكفل وجود مصدر رملي قريب منه، نموه واتساع رقعة خطره، وهما مفهومان يجب التفريق بينهما، فحركة الكثيب لا تشترط بالضرورة وجود مصدر رملي كبير، بل هذا الشرط الأخير مطلوب لنشوء الكثبان ونموها.

- **الكثبان الطولية Longitudinal أو الخطيةLinear Dunes:**

تمتد بشكل مستقيم لا يخلو من اعوجاج والتواء مسايراً لرياح ذات اتجاه أحادي مسيطر، وهي ذات سفحين متناظرين، يراوح انحدارها بين (٢٠-٢٥) درجة، تتميز بخط قمة متعرج sinuous، تكون محدبة أو حادة، يبلغ طول ما يعرف منها بالسيوف Seif dunes – والتي تشيع في الصحراء العربية الأفريقية – نحو (٣٠٠) كم، وارتفاعه (٣٠٠)م،تنشط بينها – في مناطق المنخفضات أو الفجاج- عملية التذرية والتفريغ الريحي بفعل تيارات حلزونية الشكل. تنشأ بفعل تصاعد الهواء الساخن فوق المنحدرات الساخنة، ثم هبوطه بسبب تبردها. مما يولد حركة ريحيّة دواميّة بين الكثيبين، تعمل على تفريغ الرمال بينها وتذريتها لتتراكم فوق المنحدرات المتقابلة، صورة رقم (٤-٧).



صورة رقم (٤-٧) كثبان رملية خطية تشرف على نواكشوط عاصمة موريتانيا.

- **الكثبان العَرَضية transversal Dunes:**

وفيها يتعامد اتجاه الرياح مع محورها، وهي تموجات رملية مقوسة الشكل، متناظرة الجانبين، متحركة، تحصر بينها – في حال هطل الأمطار – بحيرات مائية يستفاد منها في الري والرعي. صورة رقم (٥-٧).



صورة رقم (٥-٧) كثبان رملية تحصر بينها بحيرات مؤقتة.

- **الأغشية الرملية Sand sheets:**

هي عبارة عن مساحات من الرمال تغطي سطح الأرض بسماكة معينة دون انقطاع، يوجد أوسعها في الصحراء الكبرى بين مصر وليبيا، ويمتد على مساحة (٧٢,٠٠٠)كم٢، معظمها من التموجات الرملية، ولا تشكل الكثبان منه إلا (٧%) فقط. وتخضع في حركتها لقوة الرياح واتجاهاتها وتكراريتها، وهي ذات خطر أكبر من الكثبان في حال نشاطها، كونها تتحرك بجبهات عريضة، وتغطي مساحات أوسع بالرمال، وقد راوحت معدلات حركتها في منخفض الخارجة بصحراء مصر الغربية بين (١٠-١٨م/سنة). صورتان رقم (٦/٧-٧).



صورة رقم (٦-٧) تعرض الطرق في منخفض الخارجة لزحف الرمال.



و

صورة رقم (٧-٧) تعرض سكك الحديد في منخفض الخارجة لزحف الرمال.

- **الأغشية الغبارية أو (اللوس Loos):**

تشمل رواسب الطمي، والمواد ناعمة الحبيبات التي تغطي حوالي إلى(١٠٪) من سطح اليابسة. وتنتشر على نطاق واسع في مناطق شمال الصين وجنوب وسط آسيا، وأوروبا الوسطى، والأرجنتين، وألاسكا، ووسط الولايات المتحدة.

ثالثاً- المخاطر المرتبطة بالأعمال الريحية في الصحاري:

أسهمت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في رصد مخاطر زحف الرمال على مختلف أنماط استخدامات الأرض، وإعداد خرائط دقيقة عنها، مما انعكس بشكل ايجابي على عمليات التخطيط العمراني والإقليمي، وساعد أصحاب القرار في اختيار المناطق الأفضل للتوسع العمراني وشبكات النقل وأنواعها المناسبة، كالخرائط التي أعدت لتصنيف مدى خطورة زحف الرمال على التجمعات السكانية وطرق المواصلات. (Effatand & Hegazy :2009). ومن مخاطر الرياح:

١- العواصف الغبارية والرملية على المناطق الحضرية والريف، التي تتزود بحمولتها عن طريق عملية التذرية والتفريغ الريحي، صورة رقم (٨-٧).



صورة رقم (٨-٧) عاصفة رملية على منشآت عسكرية أمريكية في العراق.

٢- زحف الرمال على الواحات والآبار والقرى والمدن: وهي مشكلة شائعة في المناطق الصحراوية وشبه الجافة، ولا تعود لبناء هذه التجمعات أمام الكثبان المتحركة، إذا ليس من الممكن أن تبنى القرى أمام خطر لا بد أن يداهمها، بل إن وصول الرمال إلى القرى هو السبب الرئيس، مثال عنها ما تعانيه القرى والمدن والطرق وسكك الحديد في شمال غرب سيناء،حيث تغطي الكثبان مساحة (٥٠٠٠) كم٢، وتتحرك بمعدل (٢,٥) م/سنة للطويلة منها، و(٣,٥)م/سنة للهلالية. ويرتبط المعدل بحركة الكثبان وموسمية هذه الحركة، فتسود الرياح الشمالية الغربية طول السنة، ما عدا فصل الشتاء فتسود رياح غربية وجنوبية غربية على بعض المناطق كالإسماعيلية وبئر العبد ووادي غادي. (Philip & Others; 2004. P168). كما يمكن أن يتحول مسار الكثبان والأغشية الرملية تجاه التجمعات السكانية حسب تغير اتجاه الرياح، أو اصطدام الرمال بعائق

طبوغرافي حوّل مسارها، ويكون ضررها متعاظماً كلما تراكمت وعلّت وتقدمت، وفي حالات غالبة، فإن وصولها إلى مشارف التجمعات العمرانية يعني أنها دفنت كل ما فصل بينهما، أي المزارع والبساتين والآبار والطرقات، وبالتالي يصبح خيار هجرة السكان من القرى هو الوحيد. صورة رقم (٩-٧).



صورة رقم (٩-٧) زحف الرمال على مدينة كولمانسكوب Kolmanskop جنوبي ناميبيا.

٣- زحف الرمال على الأراضي الزراعية، كما هي الحال في الصحراء الغربية بمصر، حيث تهدد الرمال الزاحفة مشاريع استصلاح الأراضي، ومناطق مثل المنيا وأسيوط وبني سويف، وقد بينت الدراسات المخبريّة للخصائص الفيزيائية والكيميائية والمعدنية لعينات من تربة السهل الفيضي لنهر النيل، التي أجراها (Darwish 1979) و(Gad 1988) في المناطق المعرضة لزحف الرمال، أنها اكتسبت خصائص مختلفة عن تلك الترب الأصلية في السهل الفيضي، كزيادة نسبة الملوحة والرمال، والتفتت السريع.

٤- زحف الرمال على الطرقات والسكك الحديدية ودروب القوافل.

٥- زحف الرمال على الآثار والأوابد مما يسبب اختفاءها، كما كان حال أبو الهول خلال القرن الثامن عشر، حيث لم يكن ظاهراً منه سوى رأسه، وكما هي الحال مع العديد من الآثار في مصر حالياً، صورة رقم (١٠/١١-٧).

٦- حت وتآكل قواعد جدران المباني والمنشآت وأعمدة الكهرباء، ومنصات ألواح الطاقة الشمسية، التي يجب أن تصنع من زجاج خاص يقاوم التخريش، وترفع لمستويات تقلل من خطر الحت والزحف الرملي.

٧- حت الآثار القديمة والأوابد التاريخية.

٨- خطر الرمال المتحركة: وسحب السيارات والأشخاص إلى أعماقها، وقد تكون جافة، والغالب أنها مختلطة بالماء، مما يجعل الحركة فيها مهلكة.

٩- تزيل التعرية الريحية الأجسام الأخف وزناً من مكونات التربة، والأقل كثافة مثل المواد العضوية، والطين، والغرين. وبالتالي فإنها تزيل المواد المسؤولة عن خصوبة التربة فيقلل من إنتاجيتها الزراعية.



صورة رقم (١٠-٧) تمثال أبو الهول مدفوناً بالرمال حتى منكبيه، عام (١٩١٠)م.



صورة رقم (١١-٧) تمثال أبو الهول حالياً.

رابعاً- الحلول المقترحة لمواجهة خطر العمليات الريحية:

يمكن اتباع أسلوبين لحل أية مشكلة جيومورفولوجيّة: فإما أن يتم التحكم بالعملية. أي من خلال التحكم بأسباب المشكلة الناتجة عن تحرك الظاهرة والتدخل بتوجيه آلياتها، أو يتم التعامل مع شكل التضريس ذاته، وهنا يتطلب الأمر تغيير شكل التجمعات الرملية أو التحكم بعوامل تحركها، والأفضل تطبيق كلا الأسلوبين معاً.

ومن الحلول المتبعة للحد من زحف الرمال والحت الريحي:

١- إجراء دراسة تفصيلية ودورية لتحديد الخصائص الشكلية للمظاهر الرملية، وأبعادها، لرصد أي تغير فيها، وتحديد معدلات حركتها، واتجاهاتها المستقبلية، ومصادر رمالها، والعمليات المسؤولة عن تحركها.

٢- إجراء دراسة متكاملة جيومورفولوجية - جغرافية، عن المناطق التي تتشكل فيها الكثبان الرملية وتنمو وتتطور، والبدء من منطقة مصدر الرمال، ثم التحري الدقيق عن المناطق المتوقع وصولها إليها.

٣- ضرورة حساب ميزانية التدفق الرملي من كسب وخسارة، وفق مبدأ التفاعل بين الشكل والتيار الهوائي، وهي عملية تزداد تعقيداً كلما كبر حجم الكثيب، أو التجمع الرملي.

٤- تحديد أساليب حركة الرمال وعلاقتها بالنظام الريحي، فمثلاً تبين أن حركة الرمال في منطقة واحة الإحساء تتم وفق أسلوبين حسب سرعة الرياح، هما: الانسياق أو التدفق الرملي sand Drift، حيث تزحف الرمال في الفرشات الرملية مع وصول قوة الرياح (٥,٥ م/ثا)، والزحف الكتلي للكثبان الرملية مع وصول الرياح لسرعة (٩م/ثا)، وتغطي الرمال التي تتحرك وفق الأسلوب الأول مساحات أكبر من تلك التي تتحرك وفق الأسلوب الثاني.

٥- نقل التجمعات السكانية والقرى إلى مناطق آمنة، إن كانت تكلفة ذلك أقل من تكلفة إجراءات الحد من خطر الكثبان الزاحفة نحوها.

٦- عدم إقامة المشاريع العمرانية والاقتصادية - إن أمكن - في مناطق معرضة أو ستتعرض لخطر الكثبان الرملية. وإن كان الأمر حتمياً، فلا بد من اتخاذ إجراءات الوقاية قبل أو أثناء البدء بعمليات الإنشاء والتنفيذ.

٧- زراعة مصدات ريحية: على شكل جدران متعامدة مع اتجاه الرياح. أو على هيئة أحزمة ونطاقات لإضعاف قوة الرياح. التي تعد العامل الأساسي والسبب الفعلي لحركة الكثبان. فوجود غطاء نباتي مستمر دون انقطاع يسبب إضعاف قدرة الرياح بنسبة (٣٠%)، منذ لحظة وصولها إلى مسافة تعادل عشرة أضعاف أطوال أشجار هذا الغطاء. ومن الأنواع التي أثبتت قدرتها على تحمل الجفاف في واحة الإحساء، وأجدى استخدامها نفعاً في تثبيت الكثبان الرملية : الأثل وأشجار الكزورينا والبروسيس والأكاسيا واليوكاليتوس

٨- تثبيت الكثبان بإحدى الطرق التالية:

أ/٨- زراعتها بالنباتات: يتطلب تطبيقها ظروفاً مناسبة للأشجار أو الحراج، وفيها يتم زراعة الأشجار بحيث تشكل حواجز مواجهة لاتجاه الرياح وحركة الرمال، وتعد الأشجار الكثيفة التي يفوق معدل نموها معدل تحرك الرمال الوسيلة الأكثر فاعليةً، كما أن هناك أموراً أخرى تحدد اختيار النوع الملائم من النباتات، تتضمن كمية المياه المتوافرة ونوعيتها، ونسبة الأملاح في التربة، وسرعة واتجاه الرياح، ونظام الجذور الخاص بالنبتة، وأفضل النباتات والأشجار المناسبة هي الخروع، الكونكارابوس، وتاراميكس أفولا،

والأكاسيا، والسالفادورا، والبروسوبيس والبنيسيتوم، وقد زرع السنط الأسمر والأثل في صحراء ثار يحيط بها صفان من الأشجار الأصغر كالأكاسيا السنغالية، مشكلّة أحزمة ذات مناخ أصغري حول نفسها، وخفضت سرعة الرياح الموسمية بنسب راوحت بين (٢٠-٤٦%) على الجانب المواجه للرياح. كما تمت المحافظة على الحدود الدنيا من معدلات تعرية التربة. وقد سجلت الأكاسيا بأنواعها نسب بقاء على قيد الحياة راوحت بين (٦٥-٩٨%) مقابل أشجار أخرى كالسدر الذي لم يَزِدْ على (٣٥%). (Sinha & Others: 2004). (Misak & Draz:1997. P 19).

ب/٨- رش الكثبان بالنفط لإعاقة حركتها، وهي طريقة تستخدم في المساحات الرملية الكبيرة، لتشكيل طبقة رقيقة من الزيت الخام الثقيل، أو استخدام البوليمر، ويُكّون الزيت الخام الثقيل طبقة حماية تتصلب في النهاية فوق الرمل، صورة رقم (١٢-٧).



صورة رقم (١٢-٧) رش الكثبان الرملية بالنفط لتثبيتها، شركة أرامكو السعودية.

يوفر استخدام بخاخات القار المستحلب أو البوليمرات العضوية استقراراً مؤقتاً من خلال تجميع أو تدعيم حبيبات الرمل، بحيث لا تستطيع الرياح نقلها، وذلك على عكس طريقة التغطية بالنباتات ومخلفاتها، إلا أن هذه المواد لا تعزز تراكم الرمال، ويمكن أن يكون مظهرها الزيتي من العيوب الظاهرة، والذي يولد رد فعل سلبي لدى السكان والسياح، كما أن لون القار الأسود يزيد من درجة حرارة سطح الشواطئ، مما يسبب أضراراً بالغة لجذور النباتات في الطقس الحار. ومع ذلك، يمكن أن يكون القار مادة قيّمة للعلاج في المواقع النائية، والسبب وراء كونه حلاً مؤقتاً، لأن القار يهبط إلى أسفل ويختفي بعد (٣-٦) أشهر، كما تم استخدام مستحلب البيتومين Bitumen emulsion البطيء على نطاق واسع

لتحقيق استقرار الرمال، وتقدر الكمية المطلوبة لتثبيت هكتار واحد نحو (٢٥٠٠) لتر، ولا بد من تخفيفه بنسبة(١:٤)بالمياه العذبة، واستخدام مواد أخرى لتجنب انهياره، أو اختراقه. (Kidd :2001).

ج/٧- تغطية الكثبان الرملية بطبقة من الطين: تعتمد هذه الطريقة على إنشاء طبقة من التربة الطينية الثقيلة حول الكثبان الرملية، ثم تغطية الكثبان الرملية بطبقة منها يراوح سمكها بين (٢٠-٣٠سم). وهي مجدية في إيقاف حركة الرمال بالكامل لكونها ترب ثقيلة يصعب على الرياح نقلها، كما أنها تتماسك عند هطل الأمطار، مع قلة تكاليفها بالمقارنة مع الطرق الأخرى.

د/٨- تغطية الكثبان بالبقايا النباتية الحية والميتة **brushes and mulches**: تعتمد الطريقة على تغطية (٦٠-٨٠%) من جسم الكثيب بأجزاء من النباتات الحية كالشتلات، أو بقاياها الميتة من الأغصان والأوراق. ويكون الارتفاع المثالي بين(٢-٣)أمتار، فتمنع بذلك فقدان الرمال السطحية من التلال الرملية والأجمات، وتساعد على الاحتفاظ بالرطوبة وتوفير المأوى الطبيعي للشتلات النامية، وتعزز تراكم الرمال ونمو الكثبان الرملية.

هـ/٨- التثبيت بزراعة محاصيل التغطية cover crops، وتكون محاصيل معمرة أو سنوية، وبالنظر إلى أن الهدف الرئيس من إعادة تأهيل الكثبان الرملية، هو إنشاء وتعزيز النظم البيئية، فإن استخدام نباتات محلية أفضل لتأمين استقرار أكثر ديمومة للسطح، ومن ميزات هذه الطريقة أنها مناسبة لصد الرياح القوية، فالمحاصيل تنبت بسرعة، وتنمو بقوة، موفرة غطاءً نباتياً كثيفاً قادراً على الحد من سرعة الرياح.

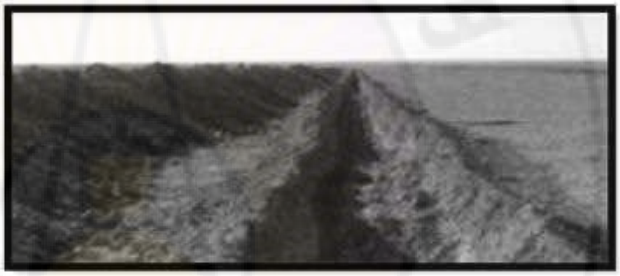
و/٨- تثبيت الكثبان بإلقاء الحصى والحجارة على ظهرها، أو بغرس العديد من القضبان الحديدية والأعمدة الخشبية في نقاط متعددة فيها، بالاعتماد على الأجزاء الأكثر نشاطاً لتشتيتها وبعثرتها.

٩- إعادة تأهيل المراعي في البوادي للحد من تدهورها تحت وطأة التصحر والتصحير. ودعمها بإنشاء مشاتل ومزارع خاصة بالنباتات الرعوية والصحراوية لضمان استمرار زراعة المراعي واستصلاح الأراضي شبه الجافة، وهي حلول تم تطبيقها بنجاح في بادية دير الزور في سورية، صورة رقم (١٣-٧).



صورة رقم (١٣-٧) إعادة تأهيل المراعي في مشروع جبل بشري في بادية دير الزرو.

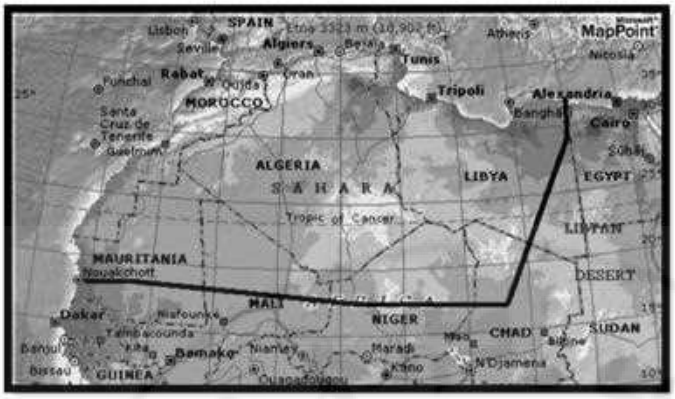
١٠- حفر الخنادق أمام التجمعات الرملية المتحركة، مما يحد من تقدمها، إلاَّ أنه إجراء لا يلغي خطر الرمال على المدى البعيد، فقد يتم تجاوز الخندق لامتلائه بالرمال، وقد اتبعت مثل هذه الطريقة في كثير من مشاريع استصلاح الأراضي في سورية ومصر والعراق. (حسين محمد:٢٠١٠). صورة رقم (١٤-٧).



صورة رقم (١٤-٧) خنادق في بادية الشام، مشروع جبل البشري.

١١-استخدام مياه البحر لرش الكثبان ولهذه الطريقة فوائد عدة متوقعة، منها تثبيت الرمال باتحاد حبيباتها، وغسل الأملاح والمعادن من الكثبان الرملية وإعادة استخدامها بعد تبخر المحاليل وترسبها، وقد اقترحت بعض الدراسات إنشاء نهر صناعي أو قناة بحرية تبدأ عند الساحل الغربي الموريتاني مروراً بالصحراء الأفريقية الكبرى وحتى الصحراء الغربية في مصر ثم تتجه شمالاً نحو الإسكندرية لتصب في البحر المتوسط، (Badescu: 2008).شكل رقم (٦-٧).

١٢- بناء جدران وحواجز أسمنتية في وجه الكثبان، وهو حل يشبه سابقه من حيث فترة نجاحه في صد الرمال. ويساعد في حجز الرمال، وأحياناً تغيير اتجاه الكثبان الرملية نحو مناطق بعيدة عن التجمعات السكانية والأراضي الزراعية، وهو حل يحتاج إلى صيانة ومتابعة مستمرة.



شكل رقم (٦-٧) مسار القناة المائية المقترحة عبر صحاري أفريقيا.

١٣- السماح للفيضانات بالحدوث على فترات لتغذية الترب المعرضة للتملح أو لخطر زحف الرمال، حتى تستعيد بعض خصائصها الأصلية التي تساعد على بقائها ضمن مجال الانتفاع الزراعي.

١٤- إكساء المباني والأعمدة الكهربائية المواجهة للرياح بمادة تقاوم تأثيرات الحت الريحي عند قواعد جدرانها، وذلك بعد تحديد مستوى خطره الرأسي. وتصميمها بشكل يناسب خصائص النظام الريحي في المنطقة. من اتجاه وحت ونقل وتراكم، وأحجام للذرات الرملية، ومستويات انتشارها. فيقل عدد النوافذ وترتفع الجدران المواجهة للرياح، وتكون محمية بألواح زجاجية معالجة تتحمل تخرش الرياح وقوتها.

١٥- رفع السكك الحديدية عن مستوى سطح الأرض، أو حمايتها بزراعة حزام من النباتات على طولها، ويمكن تصميمها بطرق تسهل صرف الرمال عبرها دون احتجازها، أو إحاطتها بالحصى لإعاقة حركة الرمال نحوها، (Phillips. 2011). صورة رقم (١٥-٧).



صورة رقم (١٥-٧) رفع السكة الحديدية عن مستوى سطح الأرض، خط شنغهاي – التيبت (٢٠٠٨)م.

١٦- إعداد الخرائط الجيومورفولوجية، وعمل المسوحات الميدانية واستخدام صور الاستشعار عن بعد لكل ما سبق، وبشكل دوريّ.

١٧- ينبغي لهيئات التخطيط الحضري والإقليمي، إضفاء الطابع المؤسساتي لمراقبة ودراسة الظاهرات الريحية، وإصدار قوانين تنظم عمليات البناء وتضبط مساره.

إن ما تتميز به الصحاري من بيئات جغرافية وجيولوجية وبيولوجية وثقافية ذات قيمة علمية واقتصادية واجتماعية لسجل الحياة الأرضية والبشرية على حد سواء، دفع بالاتحاد الدولي لحماية الطبيعة International Union for Conservation of Nature ورمزه (IUCN) للتوصية باعتبارها جزءاً من التراث العالمي، واختيار مناطق محددة وفق أسس منها التمايز الجيومورفي أو الثقافي – التاريخي، كالأودية الجافة والكهوف والهضاب المنتشرة في الولايات المتحدة الأمريكية ، ومصر وإيران وأفغانستان وتشيلي (IUCN: 2011).

ثانياً- عمل المياه في الصحاري والمناطق الجافة:

لا تتجلى العلاقة المصيرية بين الحياة والمياه في أي مكان من العالم، مثلما هي عليه في الصحاري والمناطق الجافة، بل إن التوزيع الجغرافي للسكان يتخذ شكل مصدر المياه المرتبط به، فيكون شريطياً ضيقاً لصيقاً بضفاف الأنهار والأودية كحال سكان وادي النيل، ونقطياً أو هلالياً حول واحات صحاري آسيا وأفريقيا، ومروحياً فوق مصبات المراوح الفيضية Alluvial Fans السيلية، إلا أن نعمة الماء تنقلب في حالات كثيرة إلى نقمة مميتة، حتى شاع القول بأن من مات في الصحراء غرقاً بسيولها أكثر ممن ماتوا عطشاً من حرّها. وقد اجتمعت عوامل عدة جعلت من سيول الصحاري على رأس قائمة مخاطرها. يأتي في مقدمتها ندرة الغطاء النباتي الطبيعي، وقلة الترب، وتطرف الأحوال المناخية، كفجائية الهطل المطري وشدته وتركزه في مدة قصيرة، بالإضافة إلى خصائص القطاعات الطولية الغنية بالركب والسقطات والحجارة مختلفة الأشكال والأحجام. صورة رقم (١٦-٧). والقطاعات العرضية القابلة للانهيار بسبب تقطعها بالشقوق الرأسية الناتجة عن شدة عمليات التجوية الفيزيائية النشطة صيفاً أو في سنوات الجفاف، وعملية النسف السفلي للمياه الجارية المزودة بحمولة حجرية وحصوية ورملية مزواة.



صورة رقم (١٦-٧)
السيول فوق ركب وسقطات أحد أودية أثيوبيا.

كل ذلك يجعل من معدلات التصريف عالية وخطيرة. فمثلاً راوحت في واديي أساكاراسين (الحجار) وتمسدلسين في الصحراء الكبرى، في الفترة بين (٢٦-٢٩) من شهر تشرين الثاني لعام (١٩٥٨)م بين (٢٠-٦٠)م٣/ثا. ويرفع من خطورتها حدوثها بشكل سريع لا يسمح للقاطنين بأوديتها أو العابرين منها، باتخاذ إجراءات السلامة. لذلك يطلق عليها الفيضانات الخاطفة أو الومضية Flash Floods.(جودي ، ولكنسون: ١٩٨٠، ص ٧٧).

ولولا استقرار البداوة والرحل في بطون الأودية، أو إقامة مخازن ومستودعات للحبوب، وحظائر للماشية، لما ارتفع حجم الخسائر الناتجة عن السيول العارمة والمدمرة. فمثلاً، تسببت الأمطار العاصفية المفاجئة التي هطلت على مناطق وادي غيبة و ودان وجبل السوداء في ليبيا، عام (١٩٦٣)م، بتشكيل سيول اقتلعت نحو (٥٠%) من أشجار البلح، ونقلت جلاميد وصلت أبعادها إلى (١.٥×٢×١) م، كما شكلت بحيرات مؤقتة بطول (١٠)كم، وعرض (٣)كم، وعمق بضعة أمتار، وخرجت المياه عن أوديتها مدمرة العديد من الطرق الإسفلتية... (عادل عبد السلام: ٢٠٠٠. ص ٢٨٩).

١- العوامل المؤثرة في جيومورفولوجية السيول ومخاطرها:

- **العوامل الطبيعية:**

السيول تدفقات مائية عارمة ترتبط مباشرة بظروف طبيعية، يأتي في مقدمتها:

١- طبيعة النظام المطري وخصائصه: يعد الهطل العامل الأساس لتشكل السيول. فتكون مفاجئة وسريعة وغزيرة، وذات فعل تدميري كبير. مما يحول دون توفر الوقت اللازم لاتخاذ إجراءات الحماية والنجاة.

٢- خصائص المجاري المائية ونمط تشعبها: يتكون الحوض المائي عادة من عدد من الروافد والأودية الصغيرة، التي تتجمع مع بعضها لتكون المجرى الرئيس للوادي. ومن خصائص الشبكات النهرية

العادية، أنها كلما كانت ذات كثافة مجار مائية عالية، أصبحت كفاءتها في نقل المياه والحمولة أعلى. فيزداد خطر الفيضانات عند المصبات، أما في حال كانت كثافتها منخفضة، فإن حالة الفيضان ستتكرر في المجاري الضحلة لعدم قدرتها على نقل المياه والحمولة، ويمكن أن تنطبق هذه الحقائق على الأودية الصحراوية، مع إضافة تأثير صفات العمق والاتساع والحمولة الحجرية والرملية. ويعد النمط الشجري –الموروث طبعاً– أخطر أنماط توزع المجاري المائية، لوصول المياه من روافد عدة إلى نقطة التوافد المركزية، كما تصنف المجاري المضفرة ضمن أخطر أنواع المجاري النهرية على الاستخدامات البشرية لسطح المراوح الفيضية، مما يؤثر سلباً في الأراضي الزراعية والتجمعات السكانية القريبة منها. صورة رقم (١٧-٧).

٣- الخصائص الجيومورفية لنظام الحت والترسيب: من المعروف أن السيل والفيضانات، هي فائض مائي عن قدرة المجرى على استيعابه، وبالتالي كلما كانت الأودية ضيقة فاضت مياهها على جوانبها، إلا أن الفعل الأخطر يتم ضمن الوادي، حيث يتعرض للتعمق الشديد بفعل الحت الرأسي، مما يسبب عدم استقرار الجوانب فتتداعى منهارة على قيعان أوديتها، كما تشهد العتبات والأجزاء وراء السدود المحطمة حتاً تراجعيا عنيفاً، صورة رقم (١٨-٧). أما إذا كانت السيول غير قادرة على نقل رواسبها نحو مفيضاتها، فإن ترسيباً وتراكماً واضحاً سيتم فوق قيعان أوديتها، فترتفع سوياتها، مما يعني مزيداً من خطر السيول اللاحقة التي تصل مياهها وحمولتها بسرعة أكبر إلى المنشآت والأراضي المحيطة بالوادي.



صورة فضائية رقم (١٧-٧) مروحة فيضية في صحراء تاكلامكان، في زينغ انج Xinjiang، ويلاحظ فوقها نمط المجاري المائية المضفرة.



صورة رقم (١٨-٧) سيول أملج في حي التحلية، وقد دمرت السد، وما يليه من خدمات. السعودية.

٤- الخصائص الجيومورفية لبعض أقسام المنحدرات: ويقصد بها العناصر الجيومورفولوجية المهمة تطبيقياً، والمرتبطة بالنشاط البشري، كالأقسام القابلة للتسوية أو إنشاء ءالمدرجات، والآمنة من خطر الانهيارات والانزلاقات.

٥- أما المراوح الفيضية، فهي مظاهر ترسيبية معقدة، تتداخل فيها خصائص السطح من انحدار، ووعورة، ومواد سطحية مختلطة. وتتبدل معدلات العمليات الجيومورفية مع كل حالة جريان جديدة. وترتبط أحجامها بحجم الحوض الذي يغذيها بالماء والرواسب، وعمق الخانق الذي تخترقه منتقلة من النطاق الجبلي إلى النطاق شبه السهلي الذي تتشكل فوقه. فتنتشر مياهها ورواسبها بشكل مخروطي أو مروحي، يبدأ بعد رأس المروحة apex، والقناة المتعمقة incised channel، عند نقطة تحول، حيث يتفرع المجرى إلى روافد في اتجاهات جانبية، بشكل متداخل ومتقاطع، فيما يعرف بنمط المجاري المائية المضفرة أو المجدّلة braiding streams، وبسبب فقد التيار لطاقته، تنخفض قدرته على النقل بشكل سريع، فيجنح إلى الترسيب في منطقة تعرف بمخروط الترسيب الأساسي، ويقع في الجزء الأخفض من المروحة، وهو الأنشط جيومورفولوجياً من المناطق التي تعلوه، ويرتبط تطور المراوح الفيضية -بالإضافة إلى نظامها الذاتي- بمحيطها وحدودها العليا المتمثلة بحوض التصريف أو حوض التغذية، والدنيا التي تنتهي إليها، إن كانت بيئة جافة كالصحاري، أو موسمية كالسبخات، أو نهرية، أو بحيرية. كما يمكن أن يتأثر بالتدخلات البشرية، فانهيار السدود أو السماح بتصريف كمية كبيرة من المياه وحمولتها، يسبب حالة جريان عنيفة وسريعة ومدمرة، لذلك فإن المراوح الفيضية تكفل وجود شروط استقرار بشري عدة، أهمها الماء والترب الزراعية، إلاّ أن التعامل معها ينطوي على مخاطر عدة، أهمها العشوائية في العمليات الجيومورفية، فمن المعروف جيومورفولوجيّاً أن المجاري المضفرة أكثر أنواع

المجاري المائية تغييراً لمواقعها وتطويراً لأبعادها، وذلك لكثرة نقاط التقاطع فيها، التي تسمح للتدفقات المائية بحمولتها، أن تتجه في أي مسار ممكن وتحت أي ظرف من التغيرات المحلية أو الموضعية على سطحها، مما يعني حدوث تغير دائم لمواقع الحت والترسيب، وهو أمر يستحيل تداركه لصعوبة التنبؤ به، أي إن تعقيد جيومورفيّة المراوح الفيضية، يقف وراء العديد من حالات الفيضانات الكارثيّة الخاطفة Flash Floods، وذلك في حال هطلت أمطار غزيرة وفجائية ومؤقتة، وهي حال النظام المطري في هذه المناطق. (Abrahams & Parsons:1994. P 321). وقد حدد كل من (Goudie & Wilkinson 1977. P 85)، أهم خصائص المراوح الفيضية، التي تجعل منها مواقع خطر جيومورفولوجي محتمل، وهي:

١- فقر سطحها بالغطاء النباتي، مما يعني أن مجاريها المائية يمكن أن تغير مواقعها باستمرار دون أي إعاقة.

٢- أن العواصف الرعدية المطيرة تولد جريانات سطحية عارمة تحرك كمية كبيرة من رواسب المناطق الجبلية. مما يجعل عمل الحت عنيفاً وعشوائياً، وكذلك تكون كميات الترسيب وأسلوبه فوق سطح المراوح قليل الانحدار.

٣- تسبب حالات الترسيب المفاجئ انسداد المجاري المائية، مما يؤدي إلى حرف مسار الجريان التالي، فتغير المياه الجارية بحمولتها اتجاهها نحو منطقة أخفض، مما يجعل التجمعات السكانية في حالة خطر دائم، لتغيير هذه المجاري لمواقعها باستمرار.

ومن القياسات الجيومورفية المهمة لتحديد مستوى خطر السيول، مساحة حوض التصريف Area of drainage basin، وانحدار السطح، وكثافة المجاري المائية، ومعامل الخشونة، وشكل حوض التصريف، ومعامل الارتفاعات Heights Factor . وتحسب قيمة الخطر Risk value لكل معامل على حدة وفق المعادلة التالية:

$$\text{Risk value} = 4 \times \frac{X - Xmin}{(Xman - Xmin)} + 1$$

حيث : X متوسط قيمة المعامل أو المتغير.

Xmin قيمة المتغير الصغرى.

Xman قيمة المتغير العظمى.

إضافة إلى متغيرات أخرى: مثل كمية المياه runoff volume، وقد تبين لدى تقييم مخاطر السيول في شبه جزيرة سيناء باستخدام المعطيات المورفولوجية. أن للمساحة الدور الأبرز في تحديد قمة الفيضانات المتولدة. تلاها انحدار السطح ثم معامل الخشونة، وعوامل أخرى لها تأثير أقل مثل: معامل الشكل، وخصائص شبكات المجاري المائية. أما زمن ذروة time to peak السيول فكان لانحدار سطح الحوض الأثر الأكبر، تلاه معامل الشكل. ولزمن التركز time of concentration، أهمية خاصة في تحديد فترة الفيضان، وتوقيته، وبالتالي فهو الزمن المتاح أمام المعرضين للخطر بالنجاة (Elmoustafa & Mohamed: 2013. P 122-123). ويحسب من المعادلة التالية:

$$T c = 1944 \times (L^{0.77}) / S^{0.385}$$

حيث : Tc زمن التركز .

L طول المجرى (متر).

S انحدار المجرى.

- **العوامل البشرية:**

لا يمكن للسيول أن تمثل خطراً على الإنسان ما لم يقترب منها بنشاطاته ومساكنه، إلاَّ أن هذا القرب حتميّ، فطالما أن الماء هو أغلى مفقود وأثمن موجود في الصحاري، وأن الأودية والمراوح الفيضية هي مسالك إجبارية للسيول، وهي بذات الوقت أفضل المواقع للاستيطان البشري، فإن خطر السيول سيبقى من الهموم الطارئة على إنسان الصحراء. حتى إن أكثر المدن تحضراً في الصحاري ليست في مأمن من خطر السيول، وذلك لعدة أسباب منها:

١- اختيار الأماكن الأسوأ لبناء المدن أو التجمعات السكانية، والمنشآت الصناعية أو استصلاح الأراضي الزراعية، كأن تكون في قاع الوادي، دون حماية أو مراقبة، فمن المعروف أن قيعان المجاري السيلية غنية بالمياه الجوفية وتجذب إليها الاستثمارات.

٢- عدم حماية المدن القديمة – التي تشهد توسعاً حضرياً حديثاً- من خطر الأودية القريبة منها، وخاصة تلك التي قامت عند المراوح الفيضية، أو عند مصبات الأودية على

السواحل البحرية، كما هي الحال في مدن المملكة العربية السعودية، كجدة، ورابغ، والقنفذة، والليث، وجازان، وغيرها.

٣- بناء المنشآت الهندسية – المائية بشكل خاطئ، لم يأخذ بالحسبان خصائص الجريانات السطحية في الصحاري، كالجسور والطرقات، صورة رقم (١٩-٧). وبالتالي فإن بناء هذه المنشآت من دون دراسات تفصيلية دقيقة للعوامل الجيومورفولوجية والطبوغرافية والمناخية، وتحليل هذه العوامل بشكل علمي سليم، بالإضافة إلى عدم مراعاة كمية مياه السيول التي يمكن أن تمر خلالها، وعدم صيانة هذه المنشآت بشكل دوري، يؤدي في معظم الأحيان إلى مشكلات تؤدي إلى تدمير هذه البنى التحتية. صورة رقم (٢٠-٧).



صورة رقم (١٩-٧) تدمير أحد الطرق في وادي وتير بسيناء مصر.٢٠٠٨



صورة رقم (٢٠-٧) تجاوز الفيضانات لجسر في عدن.

٤- عدم صيانة فتحات مرور السيول أسفل الطرق أو ما يعرف بالعبّارات، والمجاري المائية الصنعية، والجسور، مما يزيد من مشكلات حدوث الفيضانات الجارفة والمدمرة.

٥- الاستخفاف بقوة السيول، مما يدفع بالعديد من المحيطين بها إلى محاولة اجتيازها، فيقعون ضحية لقوة جرفها وعنف تحطيمها لمركباتهم، وهي حالات تكررت في سيول جدة خلال العقد الأخير، لقلة الوعي الاجتماعي بخطورة السيول. صورة رقم (٢١-٧).



صورة رقم (٢١-٧) انقلاب سيارة بعبورها أحد سيول المملكة العربية السعودية.

تقدم الدول العربية العديد من الأمثلة عن مخاطر السيول باعتبارها مناطق جافة وشبه جافة تشهد نمواً سكانياً متفاقماً وعمرانيا واسعاً،ففي وسط تونس،يتسبب وادي زرود Zeroud بفيضانات عارمة، كالتي حدثت عام (١٩٦٩)م مغرقة سهل القيروان، حين اتجهت مياه فيضانه باتجاهين، جنوبي شرقي نحو قرية سيدي بوزيد، وامتدت حتى بلدة فايد. ونحو الشمال الشرقي باتجاه قرى سيدي سعيد والمهيري، حيث تشعبت إلى فرعين، شمالي شرقي نحو سبخة كيلبيا Kelbia، وجنوبي شرقي نحو منخفض شيريتا، وسبخة سيدي هاني. وقد حمل السيل رواسب متنوعة من الطين والحصى والرمال والجلاميد التي بلغ حجم بعضها (4.5×2.5×1)م٣، وبلغ متوسط سمك طبقة الرواسب نحو النصف متر. وقد لحق الدمار بمنازل عدة في بلدة القيروان كما دمرت العديد من الطرقات. صور (٢٢/٢٣-٧).





صورتان رقم (٢٢-٧) سيل وادي زرود يخترق من طريق مدينة لقيروان.

صورة رقم (٢٣-٧) انهيار جزء صحراوي يقطع وادي زرود.

وقد عملت الدولة على ضبط سلوك الوادي بإنشاء سد (سيدي سعد) عام (١٩٨١)م. بين منطقتي نصر الله وحاجب العيون، وهو سد متعدد الوظائف، فقد بني

للاستفادة منه في استصلاح مساحات شاسعة من الأراضي لتدخل في مجال الزراعة المروية، ولحماية المنطقة من فيضانات الوادي السيلية، حيث يبلغ حجم تصريفه نحو (٢٤٠٠) م٣/ثا. أما مشكلة الحت العنيف للأراضي الزراعية، فقد عولجت بجهود فردية، حيث لجأ الفلاحون لبناء حواجز رملية بين أراضيهم والوادي، أو زراعة الغابات، أو أشجار التين الشوكي. كما أوصت بعض الدراسات بإنشاء عدة بحيرات، تكون بمثابة خزانات مائية، في مناطق قريبة من الوادي، كالمهيري والبريكات والعرقوب والخضراء وزعفرانة وغيرها.. وذلك للحد من انهيار الضفاف وانجراف التربة وحماية الغطاء النباتي المستصلح، وبالتالي إقامة مشاريع تنموية الموارد البشرية، عن طريق توسيع مساحة المناطق الزراعية. فيتم بذلك تحويل الوادي من نقمة صحراوية إلى نعمة زراعية.

نماذج عن المدن التي تعاني خطر السيول:

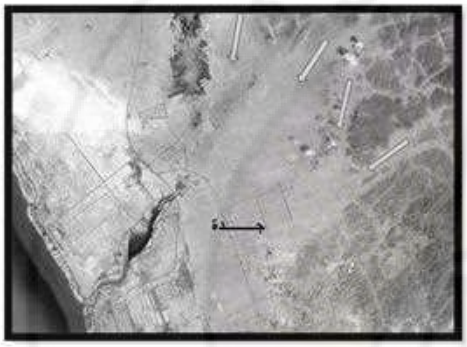
الرياض: تقع عاصمة المملكة العربية السعودية على سفوح ظهرة الشرقية. يخترقها وادي حنيفة من أطرافها الغربية، منحدراً من الشمال إلى الجنوب، وهو ذو روافد غربية خانقية وعميقة، كأودية: المهدية، وأوبير، ولبن، ونمار، أقيمت على بعضها سدود حاجزة، في حين تتميز روافده الشرقية بسعتها وقلة انحدارها، مما جذب إليها التوسعات العمرانية، حتى إن بعضها اختفى تحت المباني والأحياء. ومن أهمها أودية: الأيسن والبطحاء والسلي. وتعاني بعض أحياء مدينة الرياض، و بخاصة الشمالية والشرقية من أخطار الأمطار والسيول، إضافة إلى عدم مراعاة طبوغرافية الأرض وخصائص السلوك الجيومورفولوجي للسيول عند تخطيط وبناء الأحياء وطرقها وجسورها. فكانت النتيجة انهيار جسر شرق الرياض، في (٢٠١٣/١١/٢٠). بعد أن ضربت السيول قواعده. وتبين بالتحري الموقعي أن المشكلة مزدوجة، فبالإضافة إلى قوة السيول، فقد بنيت القواعد الإسمنتية فوق صخور رملية هشة، دون تدعيمها أو تقوية جوانب الوادي قبل وبعد الجسر. ولم يتم تثبيت قاعه بطرق تكفل الحد من تعميقه بفعل المياه الجارفة، ليصل إلى ما دون قواعد الجسر. صور رقم (٢٤-٧).

جدة : تقع على ساحل البحر الأحمر في سهله الساحلي، بمحاذاة السفوح الغربية لجبال الحجاز. امتدت أحياؤها باتجاه الشمال و الجنوب محاذية لساحل البحر الأحمر، كما امتد بعضها باتجاه الشرق نحو حضيض جبال الحجاز (أبو هماج، وأبو

غشياء، وأم رقيبة، والمعترضة ومريخ). وضفاف مجاري الأودية المنحدرة، ومنها: الكراع، وأم حبلين ومريخ وغياء ودغيبج والعصلاء ومحرق ومثوب وقوس وعشير وغليل وفاطمة. صورة رقم (٢٥-٧).



صورة رقم (٢٤-٧) انهيار جسر بسبب تعميق مياه السيل لقاعه، والحفر تحت أساسات أعمدته.



صورة رقم (٢٥-٧) مواقع السدود المبنية على مخارج الأودية التي تخترق مدينة جدة، للتقليل من مخاطر سيولها.

وتعاني معظم أحياء مدينة جدة خاصة الشرقية والجنوبية من خطر السيول، نتيجة عدم مراعاة خصائص السيول عند تخطيط الأحياء والطرق والشوارع، وعدم وجود شبكة لتصريف مياه السيول والأمطار، ويؤكد ذلك ما حدث لمدينة جدة من أضرار بشرية ومادية بعد أمطار عام (٢٠٠٩)م. صورة رقم (٢٦-٧).



صورة رقم (٢٦-٧) بعض الأضرار التي نجمت عن فيضانات سيول جدة ٢٠٠٩م.

وتعد عملية النسف السفلي لقواعد الجسور والمفيضات الإسنمنتية من أخطر الظاهرات التي تتسبب دمارها وانهيارها في المناطق الجافة وشبه الجافة، ومنها قرى القلمون السوري، وتتفاقم هذه المشكلة في ظل عدم وجود صيانة دورية(٢٧-٧).

ولا يقتصر عجز الدول على مواجهة السيول على النامية منها، بل إن دولاً متقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية تعاني من ذات الخطر، فقد انهار أحد الجسور في ولاية كاليفورنيا بفعل الحت العنيف للسيل الجارف أسفل منه. صورة رقم (٢٨-٧).



صورة رقم (٢٧-٧) تدمير جزئي لقواعد جسر سكة القطار قرب سبخة جيرود (تصوير المؤلف ١٩٩٩).



صورة رقم (٢٨-٧) انهيار جسر في ولاية كاليفورنيا.

٢-حصاد المياه Water harvesting

تبلغ مساحة الأرضي الزراعية في العالم نحو (١,٤) مليار هكتار، يعتمد قرابة (٨٠%) منها على مياه الأمطار، وتسهم هذه المناطق بأقل من ثلثي الإنتاج العالمي للأغذية حسب تقديرات عام (٢٠٠٧). ومع ارتفاع نسبة سكان الريف في الدول النامية إلى (٧٠%) فقد بلغ عدد فقراء العالم نحو (١) مليار شخص يعيشون تحت خط الفقر، وينتشرون في مناطق الزراعات البعلية (المطرية) والصحاري، وتعد المياه بالنسبة لهم عماد اقتصادهم وحياتهم. إلا أن ندرة المياه وتباين كمياتها سنوياً من جهة، وزيادة الطلب عليها بفعل التوسع

الاقتصادي والعمراني من جهة أخرى، وسوء استخداماتها مما يسبب ارتفاع كمية الهدر بسبب تخلف طرق الزراعة والري من جهة ثالثة، أجبر الإنسان منذ القدم على إيجاد طرق يمكن من خلالها الحفاظ على كل قطرة مياه واستغلالها بشكل مناسب. فقد استغل سكان المناطق القاحلة في الهند والصين والأمريكيتين والشرق الأوسط القديم، مياه الأودية وأقدام الجبال بتقنيات ما زال بعضها متبعاً حتى وقتنا الحاضر، وتعّرف هذه الأساليب حالياً بعملية **حصاد المياه Water harvesting**، وتعرّف على أنها ((جمع مياه الفيضان أو مياه الأمطار والجريان السطحي وإدارتها، لزيادة توافر المياه، للاستخدام المنزلي والزراعي والنظام البيئي)). لذلك لا تقف العملية عند اختيار مواقع الحصاد، بل أيضاً على طرق حجزها وتخزينها، وسبل استخدامها عند الحاجة إليها، سواء للشرب أو للري التكميلي أو لتغذية المياه الجوفية، وقد ساعدت هذه الطرق في جمع (١٠- ٢٥%) من مياه السيول لاستخدامها في النشاطات الزراعية. (Cleaver & Mordasini : 2013. P 3). وهي عملية متكاملة تدعى بإدارة المياه water management، تبدأ بدراسة الحاصل المائي المتوقع حصاده، ثم اختيار الطريقة الأمثل لذلك، وتحسين التربة والمواد الغذائية والمحاصيل. وتلخص مكونات نظام حصاد المياه في أجزاء ثلاثة (عبد الملك آل الشيخ:٢٠٠٦، ص ٢-٥).هي :

أ - منطقة جمع المياه Catchment area: هي حويضة التجمع التي تتجمع منها المياه ضمن الأودية، وتحدد بحجمها – بالإضافة إلى حجم العاصفة- كمية المياه الجارية، التي غالباً ما تتناسب طرداً مع مساحتها.

ب- وسيلة التخزين Collection device: وهو المكان الذي تجمع فيه المياه لحين استخدامها، وتختلف أحجام هذه الأماكن تبعاً لكمية الهطل المطري السنوي، وكمية مياه السيول، وقد تكون الخزانات عبارة عن حفر تحت أرضية أو خزانات أسمنتية أو بلاستيكية، وإن كانت الخزانات مكشوفة تستخدم مواد عازلة للحد من البخر، كنشارة الخشب أو طبقة من التبن التي تطفو على سطح المياه. (Waterfall :2006).

ج – نظام النقل Conveyance System: حيث تتطلب أنظمة حصاد المياه في بعض الأحيان نقلها من منطقة الحجز إلى منطقة التجميع، ومن ثم إلى مناطق الاستخدام، عن طريق قنوات أو أخاديد أو شبكات من الخراطيم والأنابيب المثقبة للري بالتنقيط مباشرة. ويتم

استخدام المياه إما بشرياً (الشرب والاستخدامات المنزلية الأخرى)، أو زراعياً (للماشية، الري).

الأساليب المختلفة لحصاد وخزن مياه الأمطار والسيول في المناطق الجافة:

يحدد مناخ المنطقة بدرجة كبيرة نوعية الأساليب المستخدمة في خزن مياه الأمطار والسيول، فعلى سبيل المثال: تستخدم في الأقاليم المطيرة البرك المعدة من الأسمنت أو البلاستيك المقوى أو الفيبرغلاس أو الإسفلت، وهى أساليب مكلفة، ولكنها ذات جدوى اقتصادية عالية وعمر طويل. أما في الأقاليم الجافة قليلة الهطل، التي في الغالب تكون مواعيد الهطل فيها وكميته، وفترته غير ثابتة، فإن استخدام برك أسمنتية أو بلاستيكية سيكون مكلفاً وغير ملائم لانخفاض الحاصل المائي، وبالتالي لابد من التركيز على الأساليب قليلة التكلفة، كبيرة الحجم، تناسب خصائص الأودية والشعاب حيث السيول جارفة، والمناخ عالي التبخر. فما تلبث المياه بالتجمع حتى تتعرض للبخر بعد فترة قصيرة، دون الاستفادة منها إلا في حالات نادرة وبكميات قليلة جداً. لذلك يجب استخدام أساليب ملائمة لمثل هذه الظروف المناخية، ولتحقيق الفائدة القصوى في البيئات الجافة، نقترح اتباع الآتي:

١.الخزن خلف السدود : يجب اختيار مواقع السدود بدقة عالية، على أن يراعى فيها حجز أكبر كمية ممكنة من المياه، ووضع خطط سريعة للخزن والاستثمار لتقليل الفاقد بالبخر، كما يجب أخذ حجم وكميات الرسوبيات والحطام السيلي ومعدلات ترسيبها في قاع بحيرة السد بالحسبان. والاستثمار الأكمل لمكونات السيل، والبحث عن طرق يمكن من خلالها الاستفادة من الحمولة السيلية بالزراعة حول السد لتقويته، وتشكيل مجتمع بيئي حراجي أو زراعي مؤقت، يسهم في توطين البدو، أو يقدم منافع متعددة للقرى المجاورة. صورة رقم (٢٩-٧).



صورة رقم (٢٩-٧) سد حصوي في سلطنة عمان(٢٠١١).

٢. الخزن في مجارى الأودية: حيث تبنى سدود اعتراضية في الأودية كما في المناطق الجنوبية الغربية من المملكة العربية السعودية، ويفضل أن تكون من المتانة والشدة بحيث تحد من خطر السيول العارمة، وإلا شكلت خطراً مزوجاً في حال انهيارها. صورة رقم (٣٠-٦).

٣. الغدران والبرك الصناعية: للاستخدامات الخدمية والزراعية في القرى، تختار في مواقع منخفضة نسبياً، فيسهل على المنتفعين بها الوصول إليها، لكنها مؤقتة وسريعة الجفاف، لصغر حجمها واتساع سطحها. صورتان رقم (٣١/٣٢-٧).



صورة رقم (٣٠-٧) سد حجري معترض لأحد المجاري السيلية.



صورة رقم (٣١-٧) بركة اصطناعية.



صورة رقم (٣٢-٧) بركة صنعية في النيجر.

٤- بناء خزانات خلف مصائد المياه، تتجمع فيها المياه مباشرة، وتكون مجهزة ببوابات تعالج مشكلة الحمولة، تقوم بعمل المُنقي (الفلتر)، بحيث تسمح بمرور الماء دون الحجارة والفتات الصخري، لذلك يجب أن تتميز بالقوة، وتتخذ شكل ممرات متعرجة تسهم في رفع فرص الترسيب. صور رقم (٣٣-٧).



صورة رقم (٣٣-٧) خزان حصاد مياه مع مصيدة حجارة ورمال عند مدخله.

٥- نشر المياه : حيث توضع حواجز بطول عشرات الأمتار وبارتفاع لا يزيد على المتر، يتم إنشاء تلك الحواجز في بعض المرتفعات والسهول لتعترض تدفق السيول فتسمح بتسريب مياهها داخل التربة بغرض تغذية الطبقات الجوفية.

أما في الولايات المتحدة الأمريكية، فتعد مناطق المراوح الفيضية ذات أهمية خاصة في الأقاليم شبه الجافة، حيث يعيش ملايين السكان على ما توفر من موارد طبيعية، كما هي الحال جنوبي غرب البلاد، فوق أسطح مروحتي تورتوليتا Tortolita وهاركيوهالا Harquahala، الواقعتان **في** ولاية أريزونا، (Pelletier & Others:2005). إلا أن تعقيداً جيومورفولوجياً ينتج عن طبيعة عمل المجاري المضفرة، وهو تشتت الطاقة الجيومورفية للمياه الجارية بعد نقاط التقاطع أو التحول إلى المجاري المتفرعة عن القناة الرئيسة بعد رأس المروحة، الذي يعرف بالانتشار الجانبي للجريان lateral expansion of flow، مما يعني أن منحدراتها غير مستقرة بقدر ما أن مجاريها ذات طبيعة جيومورفية ديناميكية عالية.

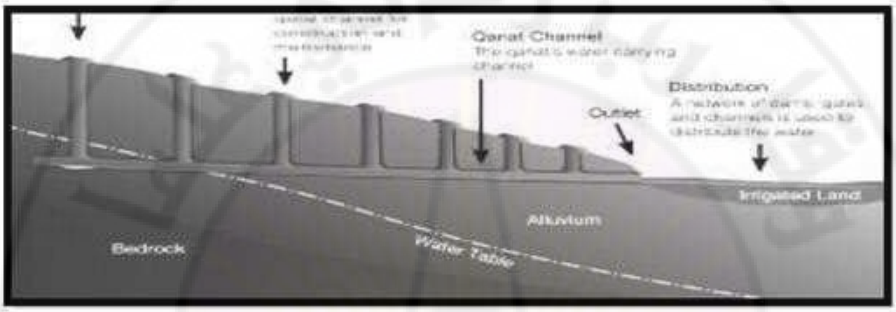
وقد تم تحليل نمط الفيضانات في المرحتين، باستخدام تقانات الاستشعار عن بعد وتفسير صور فضائية عالية الدقة تبين ارتفاعات سطح الأرض(DEMs) ، التي تظهر حتى الشعاب الصغيرة المخددة لسطح المروحتين، مما يفيد في التنبؤ بمسارات المياه الجارية، ويشير إلى خطر الفيضانات على كافة المستويات. كما حددت مناطق الغمر، وتغير أعماق الفيضانات، مما ساعد في إعداد نموذج عددي، وخرائط خطر الفيضانات المحتملة probabilistic flood hazard map، وتم التحقق من صحتها بالتحري الميداني وتدقيق الصور الفضائية، وتصحيحها هندسياً باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. وحددت

الفيضانات المحتملة على مقاييس زمنية لكل (١٠) سنوات و(١٠٠)سنة، كما استخدمت سجلات الترسيب القديم لتقدير الحد الأقصى للفيضانات بناءً على تاريخها الباليو-جيومورفولوجي. وقد عكست الخرائط الناتجة التعقيد المكاني -على نطاق صغير- وأثر التضاريس والجيولوجيا السطحية في خصائص الفيضانات.

تختلف كلا المروحتين عن بعضهما بنوعية الجريان أو التدفق السطحي، فالأولى ذات تدفق حطامي debris flow fans، بينما يغلب على الثانية تدفق المجاري المائية stream flow fans، ولكل منهما انعكاسات مؤثرة في مخاطر الفيضانات flood hazards. إذ غالباً ما يوصف تيار تدفق الحطام بكونه غير مستقر من الناحية الجيومورفية، مقارنة بالمجاري المائية، وذلك بسبب الحطام الذي يملأ القنوات، فيحول الجريانات عنها، مما يسبب تغيرات جيومورفية أكثر تواترا. تتميز تدفقات الحطام بخطورة عالية. فحمولتها الصلبة أكبر من قرينتها في المجاري المائية، مما يؤدي إلى زيادة مخاطر الفيضانات المحلية في المناطق شديدة الانحدار من المراوح، وبالتحديد رؤوسها، مع تأكيد أن كلا المروحتين تتصفان بتضرس منخفض Low relief عموماً. إلا أن فارقاً رأسياً يبلغ ديسمترات كفيل بإحداث فيضانات في مناطق لم تشهد ذلك منذ آلاف السنين، ويزيد من خطر الفيضانات أن المسافة بين الجبهات الجبلية mountain fronts، ونطاقات الجداول المائية distributaries zones، لا تزيد على بضعة كيلومترات. إن تعقيد ظروف التدفق، والحد الأدنى من تضرس سطح المروحتين، وتغيير المجاري المائية لمواقعها، جعل وسائل التحكم بالفيضانات غير مجدية. حيث تعتمد معظم المعادلات والنماذج المعدة للتنبؤ بخطرها، على مدخلين رئيسين: هما: وضوح مسارات التدفق المائي والحطامي، والفوارق الرأسية الواضحة لسطح المراوح الفيضية. وهما شرطان غير متوفرين في المروحتين السابقتين. مما يتطلب فهم عوامل أخرى كالتاريخ الجيومورفي للتدفقات، وطبيعة الصخور السطحية، والتحقق ميدانياً من دلائل الفيضانات الحديثة. للتعرف على المناطق النشطة حالياً من المروحتين، ولكن تشير الملاحظات الميدانية والخرائط الجيولوجية، إلى أن مناطق الرواسب القديمة لم تخضع للفيضانات العنيفة منذ آلاف السنين.

ويبدو أن الشعوب الأسيوية القديمة في الشرق الأوسط قد تفوقت على تقنيات العالم الحديث في تعاملها مع المراوح الفيضية، حيث طورت أساليب الاستغلال الأقصى لموارد

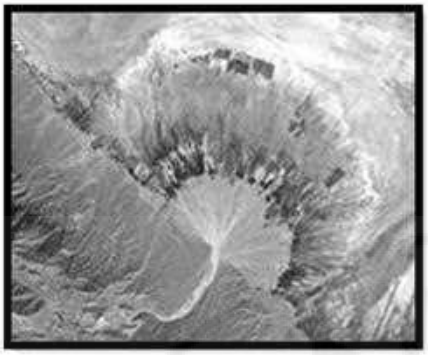
المياه، منذ الألفية الثالثة قبل الميلاد. حين قام أهل العراق بحفر أنفاق وقنوات مائية تعرف بالفجارات- لطيفة الانحدار من أقدام الجبال حيث تخرج المياه، وحتى الأراضي الزراعية مروراً بالمدن والقرى، لتصل أطوالها إلى عشرات الكيلومترات. وكانت الغاية منها جمع وتخزين مياه الجريان السطحي، والحفاظ عليه من التبخر في ظروف درجات الحرارة العالية، ومن التسرب خلال الرواسب الخشنة على أسطح المراوح الفيضية. ويتم الوصول إليها من السطح عبر العديد من الآبار والحفر الرأسية. شكل رقم (٧-٧).



شكل رقم (٧-٧) التصميم الهندسي لإحدى الفجارات.

يطلق على هذه القنوات الأقنية الرومانية، والكاريز kārēz أو الكهاريز kahriz في إيران ودول آسيا الوسطى، وتستخدم لأغراض الشرب والزراعة. وقد انتشرت أيضاً في المناطق الجافة وشبه الجافة من الصين وحتى المغرب العربي، وما زال بعضها يؤدي ذات المهمة في تأمين مياه الشرب.

كما هي الحال في حوض كافخوني أبركوه سيرجان Gavkhoni -Abarkoh -Sirjan وسط إيران.(Arzani :2010). وقد حُفرت الفجارات في مناطق المراوح الفيضية من الحوض المذكور، صورة رقم (٣٤-٧). تراوح أقطارها بين (٥-٢٠) كم، لإمداد سكان مدينتي أباركوه، اردستانوناباين، البالغ عددهم نحو (٣٠٠٠٠) نسمة، إلا أن استخدام المضخات في سحب المياه الجوفية، أدى إلى انخفاض منسوبها إلى أعماق تزيد على (٨٠٠)م، مما أخرج العديد من القنوات من نطاق الاستخدام. إن إنشاء الفجارات يعتمد على بعض المعلومات الجيومورفولوجية، كمنطقة خروج المياه من أقدام الجبال، والانحدار اللازم لتحريك المياه بشكل ذاتي.



صورة رقم (٣٤-٧) مروحة فيضية يستخدم فيها نظام الفجارات تحيط بها الأراضي الزراعية في جنوبي إيران

ولقد أوجز (صابر الدسوقي ١٩٩٨) في دراسته **لمخاطر السيول** في سيناء، بعض أهم الأسباب الجغرافية التي تقف وراء هذه الظواهر، ومنها:

١- أشد المناطق خطورة في سيناء تنحصر في مناطق مهمة من الناحية العمرانية أو السياحية.

٢- لم يتم عمل مخارج للسيول في كثير من أماكن المراوح الفيضية، حيث توجد بعض المدن مثل مدينة دهب على دلتا وادي دهب، ومدينة نويبع على دلتا وادي وتير، ومدينة سدر على دلتا وادي سدر، وذلك على الرغم من الحاجة الملحة والضرورية لتحديد مسار الجريان في هذه الأجزاء، وبالتالي تفادي الأخطار أو التقليل منها.

٣- أن المنطقة تكاد تكون خالية تماماً من السدود على الأودية – فيما عدا وادي غرندل الذي أنشئ عليه أحد السدود الصغيرة مؤخراً. ولهذه السدود فوائد كثيرة أهمها الاستفادة من كميات المياه التي تضيع حالياً، إضافة إلى ما توفره من حماية وتفادٍ للأخطار.

٤- تتم معظم عمليات التوسع العمراني والسكاني والسياحي دون تخطيط مسبق لتفادي أخطار السيول، ومن تلك القرى السياحية: شاطئ القمر على خليج السويس ومجموعة قرى سياحية على خليج العقبة مثل: شرم الشيخ ودهب ونويبع.

٥- لم يتم إنشاء مجار صنعية بجوار بعض القطاعات من الطرق المارة ببطون الأودية لتصريف مياه الأمطار والسيول، وتعد عملية التكسية التي تتم عن طريق بناء حوائط مائلة من الحجر الكلسي في كثير من المواضع، طريقة غير مجدية حيث يسهل على السيول حتها جانبياً ومن أسفلها، فتنهار متراكمة على جانبي المجرى.

إن دراسة الظواهر المفاجئة كالسيول، يتطلب طرق إنذار مبكر لتفادي خطر حدوثها، وذلك بتقييم الإشارات التي تدل على بدء توالد الجريانات السطحية، لتحذير السكان القاطنين قرب الوادي أو عند مخرجه، أو تنبيه مستخدمي الطرق في حال نشأت في الوادي. وذلك بالسبل الآتية:

- استخدام أنظمة الإنذار Warning Systems: كجزء من أنظمة متكاملة من محطات الرصد الجوي، والهيدرولوجي و الفضائي، مع مناطق التجمعات السكانية المهددة بالخطر.
- يمكن استخدام أنظمة الاستشعار عن بعد للحصول على صورة واضحة ودقيقة عن أنواع السحب وأماكن تجمعها وتحركها وخصائصها، وتحديد أماكن الهطل، وخصائص سطح الأرض والتربة، واتجاه المجاري المائية ومساراتها.
- طبع نشرات إرشادية، ووضع لوحات تحذيرية عن نوع الخطر وتوقيته وفتراته.
- الاستعانة بوحدات الجيش والدفاع المدني، وتجهيز فرق التدخل السريع، والربط بين كافة الجهات المعنية عبر ما سمي بوحدات إدارة الأزمة والكوارث.

٣- الحلول المقترحة لحل مشكلات السيول والفيضانات:

تعتمد دراسة السيول على التوقعات، فهي ظواهر سريعة، لذلك لا بد من دراسة مجمل العوامل المسؤولة عن إحداثها وذلك من خلال:

١-التحليل الدقيق لسجل السيول وتاريخ سلوكها، لتحديد خصائصها الفيزيائية والزمنية، أي حجمها وحمولتها وفترات تكرارها، والأفضل بناء قاعدة بيانات متكاملة عنها.

٢- فهم خصائص أحواض التصريف التي تغذي الأودية، من حيث مساحاتها وتوزع مجاريها المائية، والزمن المطلوب لإحداث حالة الجريان السيلي. و تحليل خصائص المجاري المائية، وأشكالها، كالعمق، وانحدار القاع، وطبيعة الحمولة الرسوبية، وخصائص جوانب الأودية، والمنعطفات والعقبات أو السقطات في القطاع الطولي، وتحديد خصائص القطاع العرضي وتغير شكله، وتحديد المناطق المتوقع تأثرها بالسيول.

٣- دراسة جيومورفولوجية المراوح الفيضية (العمليات المظاهر)، وتحديث خرائطها بشكل دوري أو حسب الضرورة.

٤-تصنيف الأودية في المنطقة حسب درجة خطورتها والتعرف على الأودية ذات الخطورة الشديدة بالمنطقة وبالتالي المناطق المعرضة للخطر، وإعداد سجل دقيق للفيضانات تحدد فيه أعدادها وارتفاعاتها وخصائص حمولتها ومناطق انتشارها وتكراريتها وخسائرها وتاريخها وفتراتها.

٥-الاستفادة من مظاهر السطح قدر الإمكان لتقليل التكاليف، حيث تستخدم المنخفضات كمناطق تجميع للمياه السطحية، والدحول أو الآبار الطبيعية كمنافذ توجه إليها المياه السطحية لتغذية المياه الجوفية.

٦-تحديد مدى تأثير السطح من حيث انحداره ووعورته وتضرسه في السيول.

٧-إكساء جوانب الأودية بمواد مناسبة ومقاومة لفعل الحت العنيف، أو إنشاء جدران إسمنتية أو حجرية كحواجز في وجه السيول لتحويل مساراتها.

٨-إعداد خرائط توضح مسارات مجاري المياه ومناسيبها، إضافة إلى المناطق التي تكون معرضة للفيضانات والسيول، ومنع البناء والتطوير فيها قبل معالجة مشكلاتها وإعدادها لذلك. كما يجب إعداد خرائط تبين مظاهر سطح الأرض، والتركيز فيها على التضاريس المسؤولة منها عن السيول، وتحديد المواقع المتضررة وحجم الضرر فيها ونوعه.

٩-مراعاة ظروف الموقع الجيومورفولوجية عند التخطيط الحضري، والإقليمي والذي يشمل المخططات التنظيمية للمدن والقرى، ومخططات المشاريع الإنمائية القريبة من السيول، أو الواقعة ضمن مجال خطرها. وتحديد استخدامات الأرض، وتصنيفها.

١٠-تأهيل مجاري الأودية وشبكاتها داخل المدن ومنع رمي المخلفات في مجاري الأودية والشعاب، وتنظيفها باستمرار، إضافة إلى تنظيف العبّارات ومخارج المياه لتقوم بالدور الذي أنشئت من أجله.

١١- إنشاء سدود تجميعية لتخزين مياه السيول، مع مراعاة تصفية المياه وتنقيتها من الحمولة، عن طريق ترشيحها قبل تخزينها باستخدام شبكات مختلفة الفتحات، تعمل كمصائد للرواسب، وبناء سدود في أعالي مجاري الأودية التي تخترق مدينة، ويمكن تصميمها بالاستفادة من خصائص الرمال في الكثبان الرملية، حيث يمكن إنشاء خزانات أسفل الحضيض الصخري، وملؤها بالرمال، ومع جريان المياه السطحية وتحت السطحية، تعمل الرمال على ترشيحها نحو أسفل المصيدة أو الخزان، مما يقلل من نسبة التبخر إلى

(١٠%)، إلا أن حجم الماء قد لا يزيد في مثل هذه الإنشاءات على (٥٠%) من سعتها. (جودي و ولكنسون (١٩٨٠)، ص ١١٩).

١٢- إزالة المنازل أو الأحياء التي بنيت في بطون الأودية أو على ضفافها الضعيفة، وهو ما أوصت به العديد من الدراسات، كتلك التي تناولت مخاطر سيول وادي القاش على مدينة كسلا في السودان، حيث بني (٧٥%) منها في مناطق الأكثر عرضة للفيضانات، وكان أخطرها عام (٢٠٠٣)م، شكل رقم (٨-٧). كما تسببت فيضانات هذا السيل بتدمير (١٥٠٠) منزل في مدينة أورما في (٢٠١٤/٨/٦)م.(عصام وداعة عبد، وآخرون ٢٠١٢).



شكل رقم (٨-٧) المناطق المهددة بفيضانات وادي قاش/ السودان.

١٣- التنسيق التام بين الإدارات الحكومية ذات العلاقة كمجالس إدارة المناطق والدفاع المدني والبلديات ومديرية الأرصاد الجوية، وحماية البيئة وغيرها.. لتحذير السكان من أخطار السيول، وإرشادهم إلى طرق تجنبها، من خلال وسائل التوعية الإعلامية، ووضع خطط الطوارئ المناسبة لإدارة المخاطر.

وقبل الانتهاء من موضوع السيول، لا بد من التأكيد أن مظاهر غير الأودية ترتبط بالمياه الجارية في الصحاري والمناطق الجافة، ويأتي في مقدمتها **السباخ والخبرات**، وكلاهما بحيرات مؤقتة، تمثلان مستوى أساس محلي للأودية المنتهية إليها، إلا أن الأولى مالحة والثانية عذبة، ولهذا أهمية تطبيقية في الصحاري، ومن ذلك:

- تعد السباخ مصدراً من مصادر الخطر، فطبقتها الملحية السطحية قد لا تحتمل سير الآليات الثقيلة، فتتكسر، وتغوص المركبات في الطبقة الوحلية الدنيا.

- تعد السباخ مصدراً مهماً من مصادر الأملاح والجبس والرمال، فبعضها محاط بالكثبان الرملية، كما هي الحال في سبخة جيرود في المنخفض المحصور بين سلسلتي جبال القلمون الثانية والثالثة.
- يمكن الاستفادة من الخبرات في جعلها مهابط مؤقتة للطائرات، لما يتمتع به سطحها من كتامة وصلابة، أو في الزراعة بعد معالجة تربتها.
- تعد الخبرات من المصادر المائية المهمة والمؤقتة للبدو الرحل والرعاة.
- يقدم كلا المظهرين فائدة سياحية وترويجية في مواسم الهطل.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثامن

الجيومورفولوجيا التطبيقية لحركة المواد فوق المنحدرات.

Applied Geomorphology of the movement of materials on slopes

- المنحدرات تعريفها وتصنيفاتها الجيومورفولوجية.
- العوامل المؤثرة في حركات المواد فوق المنحدرات.
- العمليات الجيومورفولوجية.
- مخاطر المنحدرات.
- الحلول المقترحة لمواجهة مخاطر المنحدرات.
- دراسة حالة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المنحدرات أو السفوح Slopes: هي كل سطح بينه وبين المستوى الأفقي زاوية. (جودة حسنين جودة، وآخرون:١٩٩١، ص٣٧٨). أي أنها كل سطح غير مستو، وتُعَرف المنحدرات بأنها نظم جيومورفيّة مفتوحة Open geomorphic systems، تتجمع فيها الأمطار والثلوج، لتخرج مياهاً جارية مع حمولتها، كما تتحرك عليها المواد لتستقر عند أقدامها. تمثل المنحدرات صفحات الجبال وأسطحها، فتتخذ في بداية تشكلها صفات بنيوية – بنائية أصلية، ثم تتغير أشكالها تحت تأثير العمليات الباطنية والخارجية اللاحقة. تتحرك موادها السطحية تحت تأثير الجاذبية، أو الزلازل أو الهطل المطري الغزير. إلاّ أن عوامل أخرى تحدّ من حركتها، كالغطاء النباتي والتدخلات البشرية. يغلب عليها صفة عدم الاستقرار، فموادها في حالة حركة مستمرة أو عدم ثبات نسبي، لذلك تُصنف تحت فئة الأنظمة غير المستقرة instability system.

وقد لجأ الإنسان منذ القدم إلى المنحدرات هرباً من الفيضانات وحماية من الحروب، فعاش في مغاورها وكهوفها وعمل على التخفيف من انحداراتها بالمدرجات لاستخدامها في الزراعة والعمران. وما زالت المنحدرات ملجأ الملايين من فقراء العالم الذين أعمروها بأحياء عشوائية، تدعى بأحياء البؤس أو الصفيح، التي بنيت دون أدنى مراعاة لخطورة عدم استقرار المنحدرات، مما تسبب بالكثير من الكوارث البشرية.

تستمد المنحدرات أهميتها من مرتفعاتها- لذلك سيتم تناولهما معاً- فإذا كانت الأخيرة جبالاً ذات فارق رأسي كبير، ارتفعت زاوية انحدار السفوح وعَسُر استغلالها، أما إذا كانت تلالاً منخفضة، قل انحدار سفوحها وسَهُل استخدامها، إلا أن للمنحدرات الشديدة بعض الحسنات في إكساب القرى والمدن المقامة فوقها منَعةً وحصانة، لذلك تنتشر القلاع والحصون عليها، ويطلق على هذه المرتفعات في العلوم العسكرية **بالجبال الحاكمة**، لما تتمتع به من علوٍ وإشراف على محيطها، فلا يصلح مع الوعرة والضيقة منها، إلا التحركات البرية والأسلحة الفردية الخفيفة والمتوسطة.في حين تفسح السهول مجالاً واسعاً لاستخدام الدبابات والحروب المفتوحة والمواجهات المباشرة. كما أنها ملجأ حصين للتراجعات التكتيكية والانسحابات العسكرية. (محمد الديب: ٢٠٠٢، ص ٣١٠).

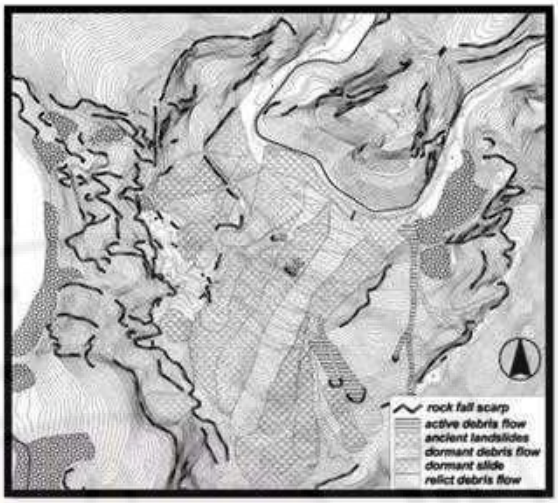
ومن الشواهد التاريخية الحية على أهمية المرتفعات والمنحدرات في حماية المدن، مدينة ماتشو بيتشو Machu Picchu في البيرو- وتعني قمة الجبل القديمة- وتعرف

بالقلعة الضائعة أيضاً، وقد اختار شعب الإنكا موقعها بين جبلين من سلسلة جبال الأنديز، وعلى ارتفاع (٢٣٤٠) م فوق سطح البحر، وساعدت الغابات والعزلة وشدة انحدار السفوح، في إخفائها عن أعين الغزاة الأسبان، ولم تُكتشف إلا صدفة، بعد أن تسلق المستكشف الأمريكي هيرام بينغهام عام (١٩١١)م الجرف الصخري الشاهق الذي توارت خلفه المدينة لقرون. وتعد ماتشو بيتشو مَعلماً سياحياً ودينياً وثقافياً، وقد وضعتها منظمة اليونسكو ضمن قائمة التراث الثقافي العالمي عام (١٩٨٣)م.



صورة رقم (١-٨)
الحافة شديدة الانحدار والجرف الخلفي لمدينة ماتشو بيتشو.

إلا أن ما لم يقم به نهّاب الآثار و الغزاة من تدمير، تكفلت به الطبيعة، فبدأت بعض الجروف بالانهيار والتراجع، والحطام الصخري بالتدفق مهدداً سلامة المدينة. فتوجهت فرق البحث لدراسة الموقع، وتصنيف أنواع المخاطر الجيومورفولوجية وتوزعها الجغرافي، فنشرت شبكات من أجهزة GPS لتحديد المواقع، والماسح الضوئي الليزري والراداري، واستخدمت صور الأقمار الصناعية. (Sassa & Canuti (ed): 2009. P 250)، حيث سجلت أعلى درجات التساقط القديم عند الجانب الشمالي- الشرقي من الجدار الصخري، ويضاف إليها التدفقات الصخرية في الطرف الجنوبي الغربي، وتتمثل المخاطر الجيومورفولوجية التي تهدد المدينة بالتساقط صخور الحافة rocks fall scarp، وتدفق الحطام النشط Active debris flow، والانهيارات الأرضية القديمة Ancient landslides وتدفق الحطام الساكن dormant debris flow، والانهيار الساكن dormant slide أو المعلق، وتدفق الحطام القديم relict debris flow. شكل رقم (١-٨).



شكل رقم (١-٨) خارطة مخاطر المنحدرات في مدينة ماتشو بيتشو.

تتنوع مصادر بيانات المنحدرات لكن أهمها الخرائط الطبوغرافية والصور الجوية والفضائية، والقياس الحقلي المباشر. ويعتمد على رسم القطاع الطبوغرافي في إظهار أهم خصائص السطح من ارتفاع وانحدار. كما تُعد خارطة المنحدرات من أهم وسائل التحليل الجيومورفولوجي Geomorphological analysis، الذي يهتم بتصنيف أشكال المنحدرات وفق طرق كميّة، وتحديد أهم خصائصها، وتحليل أشكالها، ومدى تقوسها وزوايا انحدارها. وتصنف المنحدرات وفق استقرارها أو عدمه في محاولة لتبيان مواقع الخطر والأمان.

ويوظف كل ما سبق لفهم آليات عمل المنحدرات، فضلاً عن دراسة العوامل المؤثرة فيها كالهطل والرياح والتجوية والمياه الجوفية والغطاء النباتي والاستخدام البشري (صابر دسوقي ٢٠٠٤ ص ص ٤٠-٧٥). لذلك شهدت دراسة المنحدرات تطوراً نوعياً وكمياً مع إدخال طرق وأساليب رياضية، لتصنيف أشكالها وتحديد خصائصها المورفولوجيّة، فوضع يونغ (Young 1972). معظم ما يتعلق بالدراسات المورفومترية، ويبين الجدول رقم (١-٨) تصنيفه لسطح الأرض حسب زوايا انحداره*، كما يعود إليه الفضل في وضع أهم المصطلحات والتقسيمات المستخدمة في دراسة المنحدرات. كالزوايا الشائعة Characteristic Angles والزاوية الحدية Limiting Angle، والوحدات الشكلية أو وحدات السفح Units slope، وتضم قطاعات مستقيمة تدعى بالأقسام Segment، يندرج

* نُقل الجدول بتصرف، بحيث أضيف (٠,١) لبداية كل فئة توخياً للدقة.

تحتها: قسم الدرجة القصوى Maximum Segment، وهو أشد الأجزاء انحداراً. وقسم الدرجة الدنيا Minimum Segment، وهو أقل انحداراً مما يعلوه ويدنوه في المقطع الطبوغرافي. وقسم القمة Crest Segment، وقطاعات منحنية تدعى بالعناصر Elements. وتضم العناصر المحدبة Convex والعناصر المقعرة Concave. (Young: 1970)

جدول رقم (١-٨) تصنيف يونغ للمنحدرات.

زاوية الانحدار	التصنيف
٠,١ - ٢	أرض شبه مستوية
٢,١-٦	انحدار خفيف
٦,١-١٠	انحدار متوسط
١٠,١-١٨	انحدار فوق متوسط
١٨,١-٣٠	انحدار شديد
٣٠,١-٤٥	انحدار فوق شديد
٤٥+	انحدار رأسي

كما وضع معادلة التقوس، لتحديد مدى تحدب العناصر أو تقعرها (Young: 1974). وهي على الشكل التالي:

$$C_{pq} = 100 \frac{Op - Oq}{0.5 (Lp - Lq)} \text{ degree/ 100 m}$$

حيث: Cpq: معدل التقوس، تدل القيم الموجبة على التحدب، والسالبة على التقعر.

Op: الزاوية الدنيا.

Oq: الزاوية العليا.

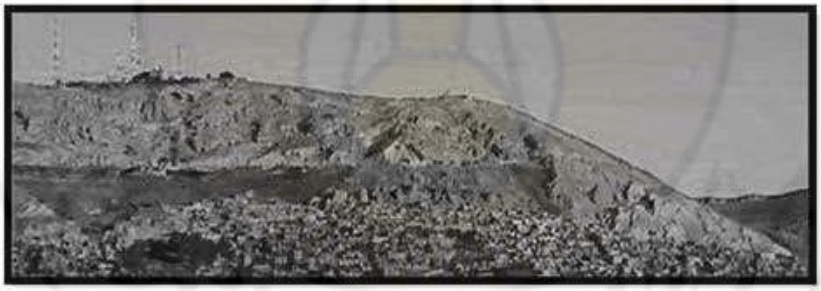
Lq - Lp: المسافة بين نقطتي القياس.

ويمكن تحديد أهم الخصائص الطبوغرافية للمنحدرات باستخدام الخرائط الطبوغرافية ذات المقاييس الكبيرة (١:٥٠٠٠٠) (١:٢٥٠٠٠)، بتطبيق معادلة معدل الانحدار، وتتخذ الصيغة التالية:

معدل الانحدار = الفارق الرأسي / المسافة الأفقية بين النقطتين العليا والدنيا

كما تُحسب زاوية الانحدار من مطابقة الكسر الناتج – الذي يمثل ظل الزاوية – مع قيمته في الجداول الرياضية المعروفة، ويمكن الاستغناء عنها في حالة الانحدارات اللطيفة، وذلك بضرب الناتج بـ(٦٠)، (طه جاد: ١٩٨٤، ص٩٠). وهو عند الدليمي (٧٥,٣).(خلف الدليمي:٢٠٠١، ص ١١٢).

وتبين الصورة رقم (٢-٨)، معظم أجزاء المنحدرات، حيث القمة في الأعلى، يليها باتجاه يمين الصورة عنصر محدب طفيف، ثم مقعر، ومحدب أشد تقوساً، ثم قسم مستقيم، وتتوزع الزوايا بين قصوى ودنيا بينها.



صورة رقم (٢-٨) السفح الجنوبي الشرقي لجبل قاسيون تظهر فيه معظم الوحدات الشكلية.

يجب الانتباه لدى تطبيق الأساليب الكمية في دراسة المنحدرات، إلى ضرورة عدم الانجراف وراء لغة الأرقام والإفراط باستخدامها، وضبط ذلك وفق متطلبات الوصف والتفسير والتحليل أولاً. وإعداد الخرائط الموضوعية والنوعية ثانياً، ودرء مخاطرها أو الاستفادة منها ثالثاً. ومع تطور نظم المعلومات الجغرافية أصبح بالإمكان إعداد خرائط ومجسمات وصور ثلاثية الأبعاد تبين الارتفاع، وجهة المنحدرات بدقة. فأصبح تمثيل المنحدرات أفضل وأكثر جدوى من الأساليب التقليدية. أما ميدانياً فتستخدم أجهزة القياس الهندسي مثل شريط القياس والبوصلة والتيودوليت وأجهزة القياس الالكترونية كجهاز (distomat) وأجهزة التاكيومترات.

أشكال المنحدرات:

يمكن تصنيف المنحدرات حسب مكوناتها الشكلية إلى **بسيطة ومركبة**. أما النوع الأول فيكون أحادي الشكل، أي محدباً أو مستقيماً أو مقعراً. في حين تتألف المنحدرات المركبة أو المعقدة أكثر من عنصر وقسم، ويعكس تتابع أجزائها طبيعة العلاقة بين العوامل المشكّلة لها والتعديلات التي لحقت به. فالجروف أو المنحدرات الشديدة Cliffs، التي يطلق عليها الأوجه الحرة Free faces، تخضع لعملية التجوية بأنواعها، فإذا توفرت فيها الشقوق، تسارع تفتتها وتراكم نتاجه مشكّلاً حدور أنقاض Talus، وفي حالات متقدمة من تطورها، تختفي بعض الجرف خلف أنقاضها أو تحتها، مكونة منحدراً تراكميّاً متدرجاً- مستقيماً، تراوح زواياه بين (٢٠-٣٥) درجة.

ويتأثر كل عنصر من عناصر المنحدرات بعمليات معينة، حيث تسود عمليات زحف الترب والجريانات المائية السطحية الانتشارية أو الغطائية فوق المحدبات. في حين تسود عمليات الجريان المائي الخطي والمُركّز في المقعرات، لتجمعها ضمن مسارات محددة، فتؤثر فيها عوامل الحت الرأسي، التي تتطلب إجراءات هندسية معينة لمباشرة أعمال الإنشاء والبناء. أما المنحدرات المستقيمة، فتنتشر عليها المجاري المائية المتوازية، لاتجاه المياه مباشرة نحو المناطق المنخفضة. ولهذا تأثير تطبيقي مهم على صعيد المنشآت العمرانية والمشاريع الصناعية، لتوفر مساحات مستطيلة هندسياً، آمنة من الحت بين المجاري المائية التي تحيط بها، فتؤمن نقل مياه الصرف الصحي من التجمعات العمرانية. أما أسطح البيدمنت فتتنوع مجاريها بين متعرجة ومتوازية، وهي مناطق مناسبة للزراعة والإنشاءات لضعف قدرة المجاري المائية على الحت فيها، وسيادة الترسيب في أجزائها الدنيا.

إن استمرار تعديل الإنسان للمنحدرات ومواجهته لمخاطرها، يستوجب فهم أهم العمليات الجيومورفية المعنية بنشوئها وتطورها، مما يوفر فرصة أكبر لتدارك الخطر باتباع أساليب أفضل للاستخدام الأمثل.

ثانياً- العوامل المؤثرة في شكل المنحدرات:

تنشأ المنحدرات مباشرة مع المرتفعات، ولذلك ينصب اهتمام الجيومورفولوجي عليها بعد استقرارها النسبي، ويمكن تحديد العوامل المؤثرة في نشأتها وتطورها، على النحو الآتي:

• **العوامل الجيولوجية:** تتمثل العوامل الجيولوجية المؤثرة في شكل المنحدرات، بآليات نشأتها البنائية، من ضغط والتواء وتكسر، وبالتكوين الصخري وخصائصه البنيوية، من قساوة وشقوق وتطبق، فطبقات الصخر القاسي كالبازلت مقاومة لعمليات البناء، حيث تستجيب للضغط بالتكسر والتصدع، وتعطي سفوحاً حادة أو شديدة الانحدار. أما طبقات الصخور اللينة الطرية، فتبدي مرونة في استجابتها للضغط بالالتواء والطي، فتكَون سفوحاً محدبة ومقعرة. ويمثل تطبق الصخور وسمكها وميولها علامات فارقة بين التضاريس. فالضلوع أو التضاريس وحيدة الميل، تتمايز فيما بينها بميول طبقاتها، حيث تكون الكويستا ذات طبقات لطيفة الميل، في حين تشتد الميول في تضريس ظهر الخنزير. كما يؤثر التطبق في حدوث الانزلاقات والانهيارات ويحدد أحجامها. فحين تتوضع طبقة كلسية متشققة فوق أخرى طينية أو مارلية، وتتشبع هذه الأخيرة بالمياه، تتحول إلى طبقات لدنة ينزلق عنها ما فوقها من طبقات.

ولتجانس بنية الصخور أو عدمه. تأثيرات مهمة في مظاهر السطح، فمن البدهي القول إن خاصية الانتقائية أو الاصطفائية في العمل الجيومورفولوجي ما هي إلا انعكاس لعدم تجانس الصخور- على افتراض أن أثر العملية الجيومورفية في الصخور واحد- فتُزال الصخور الطرية بالحت وتبقى القاسية مستعصية لفترة أطول. كما يفترض أن تحدث استجابة الصخور المتجانسة لعملية التجوية الحرارية بالتمدد والتقلص، بمعدلات متقاربة، في حين تبدي الصخور المختلطة ردود أفعال عشوائية وغير منتظمة. فيكون انفراطها سهلاً وسريعاً. كما يحدث لغرانيت الماسيف سنترال عقب موجة الصقيع الحادة، الذي يشبه انفراط البيوت الطينية عقب هطل الأمطار الغزيرة. وإذا كانت الصخور المتبلورة متكتلة وغير متشققة، فإن تحللها وانفراطها يحدثان على سطحها بمعدلات متساوية. فتصبح أعالي جبالها مدورة (عمر الحكيم: ١٩٦٥، ص ٢٩٢).

• **العوامل المناخية:** للمناخ دور فاعل في هدم المنحدرات بتراجعها وتخفيضها، وبالتالي تعديل أشكالها ومظاهرها، من خلال العمليات الجيومورفولوجية – المناخية، التي تبدأ بالتجوية والحت والتعرية ثم النقل فالترسيب. وكلما كان المناخ عدائياً، أي ذا عناصر فاعلة ومؤثرة كالهطل الغزير والرياح الشديدة والفروقات الحرارية الكبيرة. كان أثره أسرع وأشد في تغيير أشكال المنحدرات وتطورها. مثال ذلك ما تتعرض له الجبال الغرانيتية من تقشر

سطحي، وتفتت وانفراط يحولها إلى رمال تشكل سهولاً تحيط بما يتبقى من الجبال، ولا يطال تأثير المناخ فقط شكل المنحدرات، بل يتعداه إلى خصائصها الطبوغرافية، فينخفض ارتفاعها وتتراجع جبهاتها.

•**العوامل الحيوية:** تشمل التربة والغطاء النباتي والحيوانات. وتنتج عن علاقات مكانية وزمنية معقدة. إلا أنها تؤدي دوراً حاسماً في تطور المنحدرات. حيث يعني تشكل الترب فوق المنحدرات أن معدلة التجوية أعلى من معدلة النقل، مع الأخذ بالحسبان أن الانحدارات المحسوسة تحول دون ثبات التربة وتطورها، ومع تطور الترب فوق المنحدرات اللطيفة، تنمو عليها النباتات. وترتفع فرص استقرار المنحدرات، فجذورها تثبت الترب وسوقها وأوراقها تحجز المواد السطحية، إلا أن نمو جذورها ضمن الشقوق يفتت الصخور، كما تتلقى النباتات الصدمة الأولى لهطل الأمطار، وتحول دون تشكل جريانات مائية مباشرة وانتشارية أو متعمقة إلا في مناطق محددة من الغابات، مما يقلل من معدل الحت وانجراف الترب. لذلك يجب على الجيومورفولوجي دراسة الغطاء الترابي والنباتي بعناية، وإبراز أهميتهما الجيومورفولوجية.

•**النشاط البشري:** تسارع تحول المنحدرات بفعل التوسع العمراني من مظاهر طبيعية إلى أخرى طبيعية – صنعية. واستفاد من مقوماتها في العمران والزراعة والصناعة، فشق الطرق وحفر الأنفاق.ونتج عن هذا التمدد البشري مشكلات تحولت إلى مخاطر فعلية، بل كارثيّة في بعض الأحيان، حين تسببت الانهيارات والانزلاقات بدمار واسع للقرى والمنشآت التي بنيت ضمن محيطها.

ثالثاً– العمليات الجيومورفولوجية المؤثرة في المنحدرات:

وضعت العديد من النظريات لتفسير أشكال المنحدرات وطرق تطورها، التي اعتمدت في مبادئها على إبراز دور العمليات الجيومورفية في ذلك، ولعل أقدمها يعود لأكثر من مئة عام، حين بيّن فينمان (Fenneman 1908) دور المياه الجارية في تطور المنحدرات. ثم وضع ديفيز (Dives 1909) نظرية تطور المنحدرات بأسلوب التخفيض Decline. في حين أكد جيلبرت (Gilbert1909) أهمية عملية زحف الترب في نشوء المحدبات. وشهدت دراسة المنحدرات قفزات نوعية مع ظهور كتاب بنك (Penck 1924) عن التحليل المورفولوجي.

الذي طرح فيه آراءه حول تطور المنحدرات وفق أسلوبيّ: التراجع المتوازي parallel retreat، والإحلال أو الاستبدال replacement، ويقصد بالأول تراجع كامل عناصر المنحدرات بمعدلات متقاربة، فتبدو وكأنها تتراجع بشكل متواز نحو الخلف، أما الإحلال ففيه تتطور المنحدرات لتأخذ أشكالاً مغايرة لأصولها، فتحل هذه بدل تلك.

ثم تتالت دراسة المنحدرات وتطورت طرقها وأساليبها، بين الطرق الاستنتاجية والرياضية والإحصائية، على يد علماء أمثال وود (Wood 1942) واسترهلر (Strahler 1956)، ويونغ (Young 1972)، وما زالت تشهد قفزات نوعية تواكب تطور برامج الحاسوب، ونظم المعلومات الجغرافية، فأصبحت الخرائط ثلاثية الأبعاد، التي تظهر اتجاهات المنحدرات وخصائصها الطبوغرافية من انحدار وارتفاع، فضلاً عن تمثيل أشكالها كما هي في الواقع، مما أتاح المجال لفهم نظمها أكثر. ويمكن تحديد العوامل والعمليات المؤثرة في نشوء المنحدرات وتطورها على النحو الآتي:

١- **عمليات البناء Tectonic processes**: ترتبط الصفات البنيوية والبنائية للمنحدرات بأسباب نشأة المرتفعات التي تمثل صفحاتها وأوجهها. فتكون منحدرة في الأسطح التي ارتفعت أو خسفت بشكل حاد. ولطيفة هينة في المناطق التي تعرضت لنهوض والتواء طفيف على مسافات طويلة. وتكون العمليات الباطنية في هذه الحالة المسؤول الرئيس عن الشكل الأصلي والأوليّ للمنحدرات وخصائصها الطبوغرافية والجيومورفولوجيّة. فارتفاع جبل ما لسويات عالية، مع قرب المسافة بين قمته وحضيضه، يعني أنه يمتلك سفوحاً شديدة الانحدار.

والانحدار أهم عامل محرض على حركة المواد السطحية. حيث يزداد فعل الجاذبية كلما اشتد، وينخفض كلما قلّ، لتغلب قوى المقاومة على قوى الحركة. كما تنتمي فئة من المظاهر إلى التضاريس الصدعية، كالأغوار والنجود والجروف الصدعية، وجميعها تتميز بمنحدرات شديدة تعكس أسباب نشأتها، أما البراكين فتتبدل حال سفوحها مع كل نشاط بركاني، إلا الخامدة منها، فتتعرض لفعل الهدم والتخريب المناخي.

٢- **التجوية Weathering**: هي أولى العمليات التي تؤثر في الصخور فور تشكلها وظهورها على السطح. وتصنف ضمن العمليات الموضعيّة، التي تحدث مع بقاء نتاجها من الفتات في موضعه. قد تكون سطحية أو تصل إلى أعماق تحددها شقوق الصخور.

وتتنوع بين فيزيائية (ميكانيكية) وكيميائية. تنتج التجوية الفيزيائية المواد السطحية التي تتحرك فوق المنحدرات أو تستقر عليها وفق زاوية معينة. ومن البدهي أن تكون المناطق التي يسيطر عليها مناخ صحراوي، أو جاف وشبه جاف، أو صقيعي، هي الأكثر ملاءمة للتجوية الفيزيائية، كما يتوفر في السفوح المواجهة للشمس كميات أكبر من الإشعاع الشمسي، وبالتالي تتسخن لساعات أطول. في حين تسود أعمال التجوية الكيميائية حيث تتوفر ظروف مناسبة لها من مياه ودرجات حرارة، وسيتم التطرق إلى ذلك لاحقاً.

٣- **الزحف Creep**: تصنف عملية زحف التربة أو غطاء التجوية ضمن الحركات البطيئة للمواد السطحية، التي تعرف بآثارها لا بذاتها. وهي حركة بطيئة لا تزيد على بضعة ميلمترات في السنة، وقد تصل في حدودها القصوى – مع توفر انحدارات واضحة وتشبع المواد بالماء– إلى بضعة سنتمترات (Swanston & Howes :N D. p 2). وعلى الرغم من كون أنواع متعددة من المواد تتحرك زحفاً، إلا أن أكثرها شيوعاً هي الترب الطينية المشبعة بالماء، التي تتحرك فوق سفوح لا يزيد انحدارها على (٢) درجة عموماً. وتزداد فرص حدوثها مع زيادة تشبعها بالماء، لكن دون وصولها إلى الحد الحرج، الذي تصل فيه نسبة الماء إلى (٦٠%) من حجم التربة، فتتحول حركتها من زحف إلى سيلان وحليّ على كامل المنحدر، ويدل عليها ميل قواعد أعمدة الهواتف وجذوع الأشجار باتجاه الحركة.صورة رقم (٣-٨). وكذلك التباعد بين أسوار الحدائق. أو تشقق الإسفلت والطرقات والمنازل. وقد يحدث الزحف، نتيجة التمدد والتقلص الحراري للمواد الطينية، أو التمدد والتقلص بالترطيب والتجفف، أو بالتجمد والانفكاك فيما يعرف بالدفع الصقيعي push frosty، حيث تتحرك حبيبات التربة على شكل دبيب شامل.



صورة رقم (٣-٨) انحناء جذوع الأشجار

ولإدراك ضوابط هذه الحركة لا بد من فهم دقيق للعوامل التي تسببها. وهي:

أ.تغير حجم الحبات بالتقلص والتمدد، فتعمل كنوابض تتسع بالتشبع ثم تتقلص بالتجفف، مما يسبب تغير مواقعها الأصلية.

ب. ينجم عما سبق تغير في حجم الفراغات بين الحبيبات. التي تؤدي دور مخمدات للحركة، حيث يضيع قدر من التمدد فيها.

ج. قوة الدفع التي تمارسها الحبيبات القادمة من القطاع الأعلى للمنحدر على حبيبات قطاعه الأوسط والأدنى.

د. شكل المنحدر: فكلما كان مقعراً ساعد على زيادة سرعتها، وعكس ذلك إذا كان محدباً.

هـ. تأثير الغطاء النباتي: حيث تصبح الترب حرة الحركة مع انخفاض كثافة النبات، كما يتأثر معدل حركتها فصلياً بالتغيرات الحيوية للنبات.

٤- **تدفقات Flows التربة والمواد السطحية:** تعد الأكثر تعقيداً بين حركات المواد السطحية، سواء من حيث كيفية نشأتها أو طريقة تحركها. وتتميز التدفقات باحتوائها على مواد صغيرة، مثل: السلت (الغرين) Silt و الرمل Sand أو التربة Soil، بالإضافة إلى الحجارة والحصى وربما الجلاميد من الصخر. تكون حركتها سريعة وفوضوية إذا حدث التدفق فوق منحدر حاد. كما تزداد خطورتها إذا احتوت على نسبة من الماء تراوح بين (٥٠-٦٠%) من حجمها. وتصبح الحركة بطيئة - ويمكن التنبؤ بها إلى حد ما- إذا كان السفح متدرجاً أو لطيف الانحدار، إلا أن زيادة وزن المواد ومحتواها من الماء، وتوفر اهتزازات مستمرة، كأن تكون المنطقة نشطة زلزالياً أو ذات كثافة مرورية عالية- يسرّع من حركتها ويضاعف من خطرها. كما حدث في منطقة (لا كونشيتا La Conchita) في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، عام (٢٠٠٥)م، حيث قدّرت كمية الطين المتدفقة بنحو (٤٠٠,٠٠٠) طن، وتسببت بمقتل عشرة أشخاص، وإتلاف (١٣) منزلاً، وخسائر بنحو (١٠٠) مليون دولار. وقد عزا خبراء هيئة المساحة الأمريكية سببه إلى إنشاء الطريق بأساليب خاطئة، أدت إلى إخلال توازن المنحدر وتداعيه. فكانت خطورته أكبر من خطورة الأمطار. صورة رقم (٤-٨).



صورة رقم (٤-٨) التدفقات الطينية التي حدثت عام ٢٠٠٥م، في منطقة لا كونشيتا، كاليفورنيا.

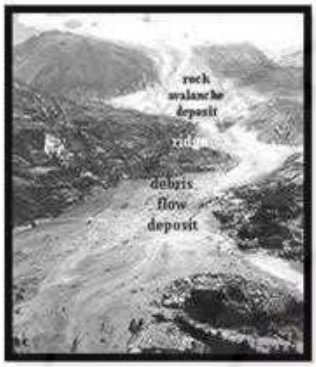
كما يحدث في المناطق النشطة بركانياً نمط آخر من التدفقات الطينية، هو اللاهار Lahar. ومن خصائصه الخطرة أنه يتشكل ويتحرك بسرعة كبيرة نحو أسفل المنحدر على شكل جبهة حارّة حارقة، مما يعني أن الهامش الزمني المتاح لتدارك خطره قصير، ما يفسر حجم الخسائر الناتجة عنه، صورتان رقم (٦/٥-٨).



صورة رقم (٦/٥-٨) تدفقات لاهار بركان Tongariro 1953، التي نتجت عن فيضان مياه بحيرة Ruapehu التي تحتل فوهة البركان / شمالي نيوزيلاند.

٥- **الانهيالات الثلجية Avalanches:** هي حوادث سريعة وخطيرة تصل سرعة موادها إلى (٣٠٠)كم/ ساعة في بعض الأحيان. يمكن تصنيفها حسب موادها، إلى: غبارية Powder، وحطامية Debris أو كتلية. تتسبب الأولى باختناقات تنفسية، بينما قد تكون الثانية مميتة.إلا أنها قد تحدث لآلاف المرات ولا تسبب أي خطر على البشر، كما في غربي الولايات المتحدة الأمريكية، وذلك لخلو تلك المناطق من السكان. وتحدث هذه

الانهيالات نتيجة لزيادة وزن الثلوج فوق المنحدرات، أو ارتفاع درجة الحرارة، أو النشاط البشري، كسياحة التزلج أو المقالع أو حرق الغابات. أو نتيجة لزلزال كبير كما حدث على منحدرات بركان تال Tall في البيرو، في منطقة نيفادو هوسكاران Nevado Huascaran. صورة رقم (٧-٨).



الصورة رقم (٧-٨) بركان tall في البيرو. نجم عن زلزال قوي في عام (١٩٧٠)م.

ومن الكوارث الطبيعية التي نجمت عن انهيار ثلجي، ما حدث عام (١٩٩٩)م، في منتجع غالتور Galtür النمساوي، الذي أصيب بكارثة طبيعية، حين تحركت كميات كبيرة من الثلوج نحوه، بسرعة (٣٢٠ كم/سا)، فقتلت خلال (٥٠) ثانية (٣١) شخصاً، صورة رقم (٨-٨). وتسببت بسد الطرق وعزل المنتجع، وتدمير (١٦) مبنى، وخسارة سياحة التزلج نحو (٥) مليون يورو.



صورة رقم (٨-٨) مبان مدمرة إثر انهيال غالتور، ٢٣/شباط/١٩٩٩م.

ويمكن من خلال تتبع سياق الأحداث، الوقوف على أسبابها بدقة، حيث اجتمعت العديد من الأحوال المناخية- الجيومورفولوجية، ليتحول انهيال ثلجي معتاد في منطقة ألبية إلى حادثة مأساوية. ففي الفترة من (٢٩ كانون ٢) وحتى (٤ شباط) ارتفعت درجة الحرارة حتى أصبح الجو دافئاً، أعقبها ولمدة ثلاثة أسابيع هطل ثلجي كثيف، ألقى نحو (٣٣٠)

سم من الثلوج على المنحدرات المحيطة بالبلدة، ثم بدأت الرياح تشتد قبل الحادثة بيومين، لتصل عصر يوم (٢٣/ شباط) إلى (١٢٠ كم/سا)، حاملة نحو (٣٠) ألف طن من الثلوج إلى جبال غاليتور، فارتفعت ثخانته إلى (٤) أمتار، وبدأت حركة الثلوج بانهيالات بسيطة، ومع تسارعها وزيادة حجمه، بلغ ارتفاع جبهة الانهيال نحو (١٠٠)م، وثخانته فوق البلدة (٣) أمتار، بوزن (١٢٧٠)طن.

وقد كشف التحقيق العلمي الدقيق للكارثة، عن عدة حقائق حولت الخطر إلى كارثة، وهي:

١. أدى ارتفاع درجة الحرارة إلى تغيير حالة الطقس من بارد إلى دافئ. مما أذاب الطبقة العليا لثلوج المنحدرات، التي تجلدت ليلاً بعد انخفاض درجة الحرارة، لتشكل سطحاً صلباً أملساً وقاسياً.

٢. تساقط كمية كبيرة من الثلوج فوق حافة جبل غالتور البالغة (٢٧٥٤)م فوق سطح البحر، وهي كميات فاقت المعدل السنوي بنحو (٦) مرات. فزاد وزن الثلوج فوق الطبقة الزلقة.

٣. ارتفاع زاوية انحدار السفوح التي تبلغ قرابة (٣٥ °)، مما ساعد على تحرك كتلة الثلوج.

٤. دلت التجارب التالية على أن كمية مضافة من الثلوج كان يتزود بها الانهيال من ثلوج المنحدر، وقدّر معدل التغذية بـ (٢٠ ألف طن/ ثا).

٥. تسارعت حركة الثلوج حتى وصلت إلى (٤١٧كم/سا).

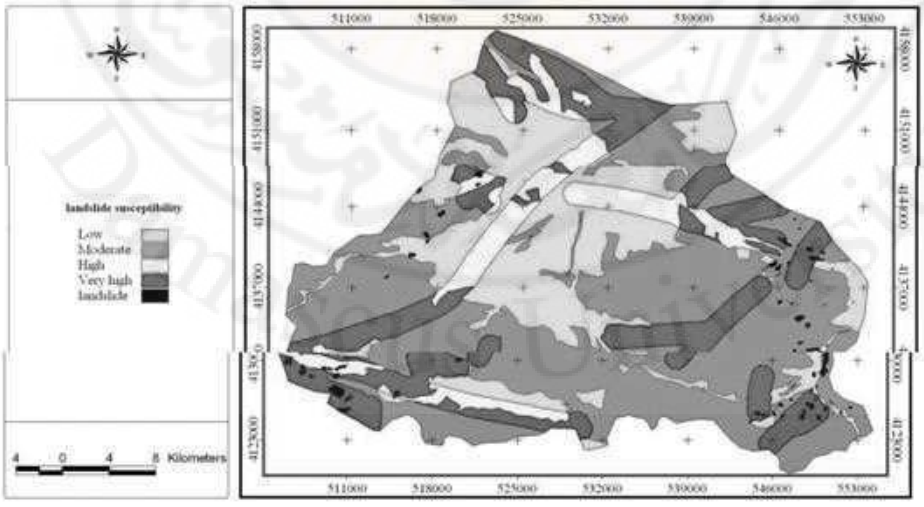
٦. كان نوع الثلج غبارياً، وهو من الأخطر بين أنواع الثلوج. حيث يتحرك بسرعة أكبر وجبهة أوسع، ويتلاحم كالاسمنت، ويسبب حالات اختناق سريعة، حيث لا يبقى لمن دُفن تحته أكثر من (٤٠) دقيقة من التنفس.

٧. فشل نموذج الحاسوب الذي بنيت على أساسه معظم منتجعات النمسا والألب. الذي يحدد ثلاثة نطاقات. الأول: وهو الأخطر، ويكون قريباً من الجبال بعيداً عن البلدات. و الثاني: متوسط الخطورة، ويجوز فيه ممارسة بعض النشاطات الرياضية، وإنشاء مبان مدعمة. أما الأخير: فمن المفترض أن يكون آمناً. والذي بنيت في محيطه البلدة، إلا أن الانهيال اخترق جميع النطاقات خلال ثلاث دقائق.

وفي حالة أخرى حدثت شمالي إيران حددت من خلالها نطاقات الانهيارات في منطقة بوجنورد Bojnord (Teimouri & Graee:2012). طبقت فيها عملية التحليل الهرمي Analytical Hierarchy Process (AHP)، التي تعتمد على تراكم العوامل وتصاعد تأثيرها، وطريقة معدل التردد أو معدل التكرارية frequency ratio. ونتج عنها تحديد تسعة عوامل لتغذية نظم المعلومات الجغرافية، صُنفت الأهم في زيادة خطر الانهيارات في المنطقة، وهي: تدرج الانحدار slope gradient. والارتفاع elevation، والواجهة aspect الصخرية، وخصائصها الشكلية، والحالة الجيولوجية، واستخدام الأرض وتغيراته، والهطل المطري، والبُعد عن شبكة الطرق، والصدوع وشبكة المجاري المائية، وتأثير عامل وعورة السطح أو خشونته roughly.

وقد أُعدت خرائط نوعية متميزة تبين أربعة مستويات من احتمالية الخطر. حُدّدت مواقع الانهيارات المؤكدة، تجتمع فيها العوامل التسعة أو أكبر عدد منها، في حين ظهرت المناطق ذات الاحتمالية العالية، على شكل شريطيّ، و امتدت المناطق الأقل خطورة على محاذاتها، مما يعني أنها نتجت عنها أو ارتبطت بها. وما تبقى من أراض فهي أكثر أماناً واستقراراً. شكل رقم (٢-٨).

شكل رقم (٢-٨) توزع الانهيارات الأرضية في منطقة Bojnord الحضرية شمالي إيران.



٥-الانزلاقات الأرضية Landslides:

هي حركات كتليّة سريعة. مكّونة من حطام صخري وترب، تتم بفعل الجاذبية أو بعد هطل استمر لفترات طويلة، أو عقب الزلازل، أو الذوبان السريع للثلوج، أو الأنشطة البشرية الخاطئة. ويستخدم مصطلح Landslide للدلالة على أكثر من نوع من حركة المواد السطحية مثل: الانزلاق اللوحي أو الصفيحي slides، والتدفق flows، والانتشار spreads، والانقلاب topples أو السقوط falls. كما تختلف موادها بين الصخور rock، والحطام والترب. ويمكن أن يحدث الانزلاق من نوع واحد من المواد السابقة، أو يكون مختلطاً، وترتفع بذلك درجة خطورته، وقد ينتج عن عامل واحد أو أكثر. وتحدث الانزلاقات نتيجة لتضافر العديد من العوامل، منها:

١- توافق زاوية ميل الطبقات مع انحدار السطح.

٢- تعاقب طبقات صخرية مختلفة في تركيبها. بين طبقات عليا متشققة تسمح بإنفاذ الماء نحو طبقات رقيقة طرية قابلة للتبلل، كالطين و الطَفَلْ والغضار والتحول إلى طبقات زلقة.

٣- وصول السفح إلى مرحلة اللا- توازن الطبقي، حيث تتجاوز القوى المحرضة على الحركة قدرة القوى المقاومة لها. وهي مرحلة حديّة حرجة بين الاستقرار وعدمه.

٤- توفر عوامل تضغط على زناد الحركة - إن جاز التعبير- فتحرر الطبقات من مواقعها، لتدفعها تحت تأثير وزنها نحو أدنى المنحدر.

وقد حدد كروزير Crozier عام (١٩٩٩)م، مهمة كل من الجغرافيين والجيومورفولوجيين في دراسة الانزلاقات، (Zorn & Komac : 2011.p 7). على النحو الآتي:

١. تحليل التضاريس والخرائط الجيومورفولوجية لتحديد خصائص الانزلاقات السابقة. والتحقيق في المخاطر القديمة من خلال مصادر متعددة، كالسجلات التاريخية، ومديريات التنمية الحضرية، والسجلات المناخيّة والزلزاليّة والهيدرولوجيّة، بما يفيد في تحديد مناطق الضعف ومواقع المخاطر السابقة، وتقييم الآثار المحتملة عن تحركها مجدداً.

٢. تصنيف العمليات الجيومورفولوجية في منطقة الإنشاءات أو المشاريع، وفهم آليات تطور المنحدرات.

٣. تحديد مدى استقرار المنحدرات، وأشكال التضرس غير مستقرة فيها.

٤. تقييم مصدر الرواسب والحطام، ومعالجته.

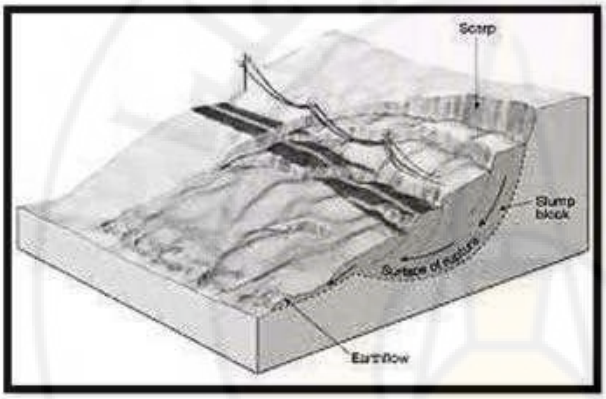
٥. معايرة النماذج وتحديثها بموجب ما طرأ على قاعدة البيانات من تغيرات حقلية.

ويتكون الانزلاق الطيني من عدة عناصر، شكل رقم (٣-٨). هي:

أ. الشقوق الهلالية في أعلى الانزلاق، التي تفصل بين الجزء المستقر الأعلى، والآخر المنزلق، وإن لم تكن شقوقاً متباعدة فهي جروف أو حافات Scarp قوسية أو نصف دائرية. تعرف بجدار الحافة Scarp wall أو جدار الانسلاخ أو الانزلاق.

ب. الكتلة المنزلقة، ويطلق عليها بعد توقف الحركة، الكتلة المستقرة Slump block، التي تتخذ شكل لسان منسكب.

د. سطح الانزلاق Slip Plane الذي يشبه قعر الملعقة. وينتهي اللسان بتقبب. أو قد تكون النهاية لطيفة هينة تندمج مع سطح الأرض. لذلك يعد هذا السطح من أخطر المواقع للبناء أو الاستخدامات البشرية.



شكل رقم (٣-٨) عناصر التدفق الطيني Earth flow.

من أمثلتها الانزلاق الطيني الذي حدث في شهر آذار من عام (٢٠١٤)م، بالقرب من بلدة أوسو في ولاية واشنطن، والذي يعد كارثياً وفق المقاييس الأمريكية. حيث بلغ عدد القتلى (١٤)شخصاً، بالقرب من بلدة أوسو، شمال سياتل. وقد ارتبط حدوثه بصدع، أدى إلى تسرب المياه أسفل الكتلة الطينية، فتكونت طبقة وحلية انزلقت فوقها الكتلة الطينية نحو المجرى المائي والطريق الرئيس. صورة رقم (٩-٨).



صورة رقم (٩-٨) انزلاق طيني بالقرب من بلدة أوسو/سياتل

تتفاوت المساحات التي تغطيها الانزلاقات بين بضعة أمتار وعدة مئات من الكيلومترات المربعة، ويكون تأثير بعضها خطيراً من خلال إحداث تغيرات محلية في نظام الجريان النهري. فتتشكل بحيرة قبل موقع الانزلاق. كما حدث في إقليم سوندريو Sondrio الإيطالي عام (١٩٨٥)م، صورة رقم (١٠-٨) .

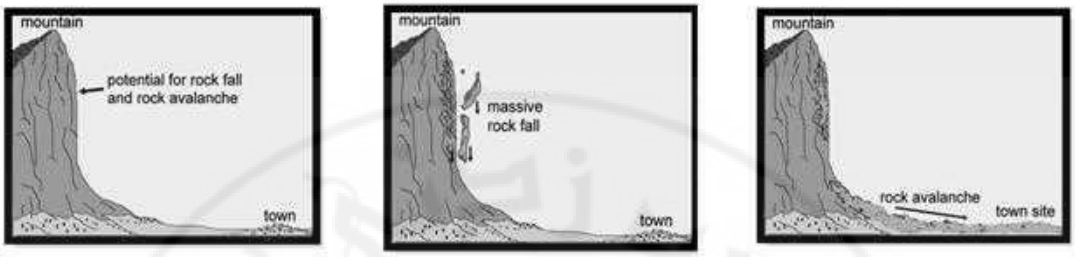


صورة رقم (١٠-٨) انزلاق فال بولاVal Pola في إقليم Sondrio الإيطالي (١٩٨٥)م، لاحظ البحيرة قبل الانهيار.

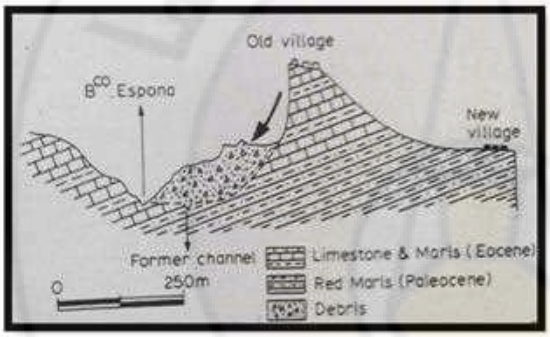
أما تساقط الصخر من الجروف الصخرية والمنحدرات الحادة الواقعة، فيحدث تحت تأثير عملية التجوية الحرارية التي تعمّق الشقوق، وتؤدي إلى تفكك صخوره، وإضعاف تماسكها وبالتالي سقوطها بشكل حر بفعل الجاذبية لتتراكم عند قواعد جروفها مشكلّة منحدراً حطامياً، يتلقى صدمات الكتل التالية المنهالة فوقه. فيقلل من خطرها، ومع الوقت واستمرار التغذية بالفتات الصخري، تتشكل جبهات أنقاض يراوح انحدار سطحها بين (٢٠-٣٥) درجة. وهي منحدرات هشة تجاه أي عامل يسبب اضطراب توازنها، فتتحول إلى تدفقات صخرية عنيفة بتوفر الماء، وتشكل خطورة عالية على المنازل والمنشآت أسفل الجروف، لذلك تتطلب مراقبة مستمرة، فما يوفره سفح الركام من دفاع أولي تجاه الكتل المنهارة، قد يعزز خطورته لاحقاً إذا تجاوزت زوايا انحدار مواده عتبة استقرارها، فيتحول من انهيال للصخور إلى انهيار صخري. أشكال ذوات الأرقام (٤/٥/٦-٨).

ومن أمثلة تأثير الانهيارات في بناء المدن. ما تعرضت له بلدة تندروي Tendruy شمالي أسبانيا. حيث تنهار الطبقات الصخرية الأيوسينية المكونة من الحجر الكلسي والمارل. بفعل الحت النهري لقواعد الجرف الصخري. الأمر الذي مثل خطراً مباشراً على

البلدة، فدفع السكان للنزوح شرقاً لبناء البلدة الحديثة في موقع سهلي أكثر أماناً. شكل رقم (٧-٨).



أشكال أرقام (٤/٥/٦-٨) مراحل التساقط الصخري.



شكل رقم (٧-٨) مقطع جيولوجي لبلدة Tendruy شمالي أسبانيا.

وقد لحقت دراسات الانهيارات الأرضية حُمى المعادلات الرياضية أسوة بما لحق مظاهر العمل المائي من معادلات مورفومترية، حيث وضع Fujii (1969) من خلال دراسة (٨٠٠) انهيار أرضي في اليابان قانونين رياضيين (Von & Guzzetti:2006. P 91). وذلك في محاولة لتفسير العلاقات المكانية بين عناصر الانهيارات الأرضية والطاقة التي تملكها. دعي أولهما بقانون الطاقة power law، ويتخذ الصيغة التالية:

$$Ncl \propto Al^{-a}$$

حيث: Ncl العدد التراكمي للانهيارات cumulative number of landslides.

Al مساحة الانهيار landslide area.

A أس يساوي متوسطه(٠,٩٦)، و تختلف قيمته من موقع لآخر.

وقد وقعت القيم بين (١,٦٢-١,٣٤)، في حين اختبر القانون في مناطق أخرى من وسط اليابان، وألاسكا من خلال أعمال أوماري وسوجاي Ohmori & Sugai (1995) فراوحت قيم نتائجه بين (١,٢٧-٢,٤٩). وأظهرت الدراسات ارتباط الانهيارات بنوع الصخور، وارتفاع المنطقة. كما تبين لساساكي Sasaki (1991) وجود علاقة بين عدد الانهيارات و أقصى عرض للسفوح، من خلال الهطل الغزير على منطقتي ميشومي Misumi وماشدا Masuda جنوب غربي اليابان.

ويبين الشكل رقم (٨-٨)، مختلف أنواع حركة المواد على المنحدرات.

أما القانون الثاني فيتعلق بحجم الانهيارات الأرضية، ويتخذ الصيغة التالية:

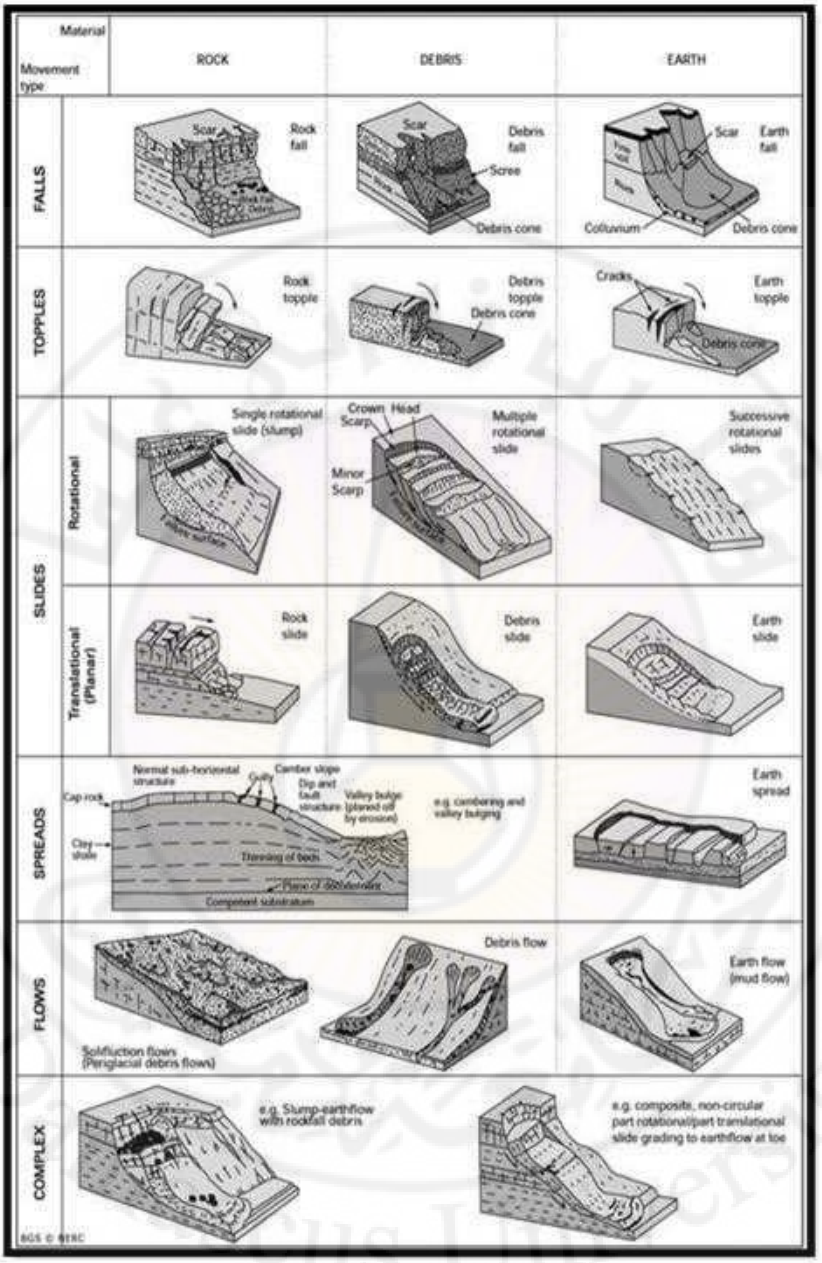
$$Ncl \propto Vl^{-a}$$

حيث: Ncl الحجم التراكمي للانهيارات cumulative number volume.

Vl حجم الانهيار.

a ثابت يساوي (٠,٨٥).

وتنطوي محاولات ترييض أو تقنين العلاقات المكانية على مخاطرة اختصار التعقيدات التي تتصف بها الانهيارات الأرضية، التي تنعكس على خصائصها الهندسية، فقد أكدت دراسة مارتن وفريقه عام (٢٠٠٢) لنحو (٦١٥) انهياراً أرضياً في جزر شارلوت كوين Queen Charlotte Islands، أن أقطارها راوحت بين (٢٠٠ - ٥٢,٠٠٠)م٢،وتباينت أحجامها بين (٢١٧ - ١٦,١٠٠)م٣، في حين راوحت مساحاتها في منطقة كلايوكوت Clayoquot في كولومبيا البريطانية بين (٥٠٠- ٤٠٠,٠٠٠)م٢، بحجم زاد على (٤٠٠٠)م٣، مما يدلل على اختلاف أشكالها والعوامل والعمليات المسؤولة عن ذلك.



شكل رقم (٨-٨) أنواع حركة المواد على المنحدرات

إلا أن أكثر المعادلات فائدة من الناحية التطبيقية هي معادلة عامل السلامة the Factor of Safetyواختصارها (FS)، التي اعتمدت على طبيعة العلاقة بين قوى القص shear

force– المقاومة– وقوة سحب الجاذبية gravity. أو مستوى استقرار المنحدر، (Geomorphology GLG362/598). وتتخذ الصياغة الآتية:

$$FS = \frac{c' + hg\cos 2\theta(\rho r - \rho wm)\tan\varphi}{\rho rhg \sin\theta\cos\theta}$$

حيث :

c': قوى التماسك cohesion.

h: سمك طبقة الانزلاق المحتمل.

g: تسارع الجاذبية acceleration of gravity.

θ: زاوية تراجع سطح الانزلاق.

pr: كثافة الصخور المحتمل انزلاقها.

pw: كثافة الماء.

m: سمك الجزء المشبع بالماء. (القيمة ١ للطبقات المشبعة بالكامل، والقيمة صفر للجافة).

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي. أو سطح الانزلاق.

فإذا زادت قيمة الناتج على (١) دل ذلك على استقرار المنحدرات، وإذا اتجهت القيمة نحو الصفر، فالمنحدر غير مستقر، في حين يمر المنحدر بمرحلة حرجة إذا بلغت قيمة المعادلة (١).وترتفع مقاومة المواد للحركة بفعل ثلاث قوى أو عوامل. منها ما هو ذاتي دائم، ومنها ما هو مكتسب متغير (Swanston& Howes :N D. p 3). وهي:

أ. قوة تماسك المواد مع بعضها البعض، وهي انعكاس لبنية الصخور، وطبيعة المواد السطحية، وأحجامها، ونسبة الرطوبة بها.

ب. مقاومة الاحتكاك بين المواد وسطح الانزلاق، وتزيد مع اتساع سطح التماس بينهما، فالكتل الكبيرة المسطحة ذات الأوجه المخرشة، تبدي مقاومة عالية للحركة، لاتساع سطح تماسها مع سطح المنحدر.

ج. مقاومة القوة الناتجة عن تأثير جذور الأشجار.

في حين تنخفض قوى القص أو المقاومة بوجود العوامل الآتية:

١. وجود مناطق ضعف في صخور الأساس كالكسور والفواصل، والطبقات البينيّة الزلقة من الطمي والطين والمارل.
٢. زيادة انحدار السفح، وميل طبقات صخور الأساس.
٣. إزالة الدعم الذاتي الذي يوفره القطاع الأسفل من المنحدر، نتيجة قطعه لإنشاء الطرق أو السكك الحديدية أو البناء (كافة الأعمال الهندسية).
٤. إزالة الغطاء النباتي.
٥. تطور نظم المياه الجوفية وتزايد تأثيرها السلبي في تماسك المنحدر.
٦. الزحف التدريجي مع تعاظم قوة الضغط على المنحدر.

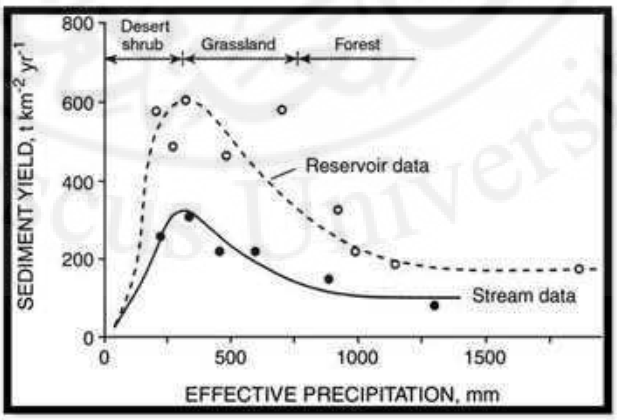
وقد أبدى (سباركس ١٩٦٠) رأياً حكيماً في شأن المعادلات الرياضية في الجيومورفولوجيا. حين أكد أن تعقيد المشكلات والقضايا الجيومورفولوجية يجعل من السابق لأوانه استخدام معالجة رياضية، التي تتطلب إلماماً أكثر تفصيلاً بالعمليات. لذلك يجب التعامل بحذر مع كافة المعادلات الرياضية التي وضعت لتمثل عملية ما أو تفسر مظهراً أو ظاهرة تضريسية. (ليلى عثمان: ١٩٨٣، ص١٢٦).

وتُصنف المنحدرات إلى نوعين حسب طبيعة حركة المواد عليها، (محمد صبري محسوب ٢٠٠١: ص ١١):

أ. منحدرات ذات نقل محدود transport limited: يكون فيها معدل نقل المواد من مفتتات وتربة أقل من معدل إنتاجها، فيتراكم نتاج عمليات التجوية ويتحول مع الزمن إلى تربة، تنمو عليها النباتات، فيتحول إلى سفح ثابت نسبياً.
ب. منحدرات ذات نقل سريع rapid transport: يتفوق فيه معدل نقل المواد على معدل إنتاجها، وفيه تنشط أعمال النقل المائي على عمليتي التجوية والحت، فيتحول إلى سفح منحدر شديد التخدد، مع شروط سيئة لتشكل الترب ونمو النباتات.

تعد زاوية الاستقرار angel of repose مؤشراً على التوازن بين المواد السطحية والمنحدر، ومجمل العوامل والعمليات المسؤولة عن استقراره. لذلك لا بد للجيومورفولوجيّ من الاهتمام بها والتركيز عليها، وتحديد أهم العوامل التي تتحكم بها وتضبط تغيراتها. وأهمها:

- **زاوية انحدار السفح:** فكلما زادت زاوية الانحدار تسارعت حركة المواد نحو المناطق الدنيا من المنحدرات، وتكون على أشدها من الجروف، حيث تعرف بالحركة الحرة لانعدام فعل المقاومة، ومع ازدياد زاوية السفح ترتفع زاوية الاستقرار.
- **الشكل الأولي للمنحدرات وشكله الحالي:** حيث ترتفع قدرة الجاذبية على تحريك المواد في القطاعات المقعرة، مقابل ارتفاع فعل المقاومة في القطاعات المحدبة، ولذلك تسود الحركات السريعة في الأولى والبطيئة في الثانية، كما تستقر المواد بزوايا منخفضة فوق المحدبات، وزوايا حادة فوق المقعرات.
- **نوعية العمليات الجيومورفية:** فكلما كانت عملية الحت المائي انتشاريّة، أو مساحيّة اتسع مجال تأثيرها، وانخفضت قدرتها، والعكس فيما يخص الجريانات الخطيّة المركّزة، حيث القدرة على النقل عالية ومساحة التأثير قليلة. أما عملية الحت الجليدي، فتعمل كجرافات تسحق وتدفع كل ما يواجهها. في حين تقوم عملية الترسيب برفع سوية المنخفضات من المنحدرات وتغيير ملامحها.
- **معدل إنتاج المواد السطحية أو غطاء التجوية:** يرتبط نشوء الريجوليت Regolith أو غطاء التجوية، بطبيعة المناخ وزاوية الانحدار وخصائص الغطاء النباتي والنشاط البشري. وقد أجريت دراسات حقلية (Langbein and Schumm 1958) لتقدير فعالية عملية الحت من خلال تقدير كمية الرواسب الناتجة عنها في البيئات المختلفة، فتبين أنها تكون على أشدها في الأسطح العارية، وأقل منها في المناطق العشبية، والأقل في الغابات. (Marston:2010). شكل رقم (٩-٨).



شكل رقم (٩-٨) اختلاف كميات الرواسب الصلبة بفعل الحت في أسطح مختلفة.

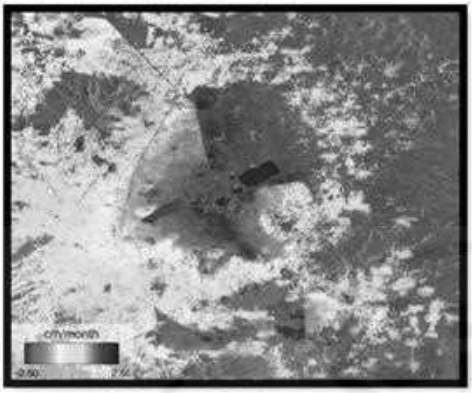
- **التغيرات في معدلات النقل فوق السفح:** إن تراكم المواد الناتجة عن تفتت الصخور بسبب انخفاض معدلات النقل، يقلل من زاوية الاستقرار، بل إن السفح قد يتحول إلى شبه سهل مع تعطل آليات الإزالة مقابل تعاظم نشاط عمليات التجوية الفيزيائية.
- **خصائص المواد السطحية:** ترتفع زوايا استقرار المواد كلما اتسع سطح الاحتكاك بينها وبين سطح المنحدر. وهو الشائع في المواد ذات الأشكال المسطحة (تكون المواد على شكل رقائق أو ألواح، وتكثر في الصخور الباطنية). أو مزواة في الصخور الباطنية والكلسية.
- **هندسة الطبقات الصخرية:** يتأثر استقرار المنطقة بتطبق صخورها، ونوعيتها، وميولها، ونظام الشقوق والكسور. فمثلاً لوحظ تراجع جبهة كويستا معلولا بسبب تقطعها بحزمة من الكسور الموازية لجبهتها، مما تسبب بانزلاقات وانهيارات قديمة، وما زال الخطر قائماً بفعل الكتل الآيلة للسقوط نحو الأديرة والكنائس التي بُنيت عند أقدام حدور الكويستا.



صورة رقم (١١-٨) خطر انهيار كتل واجهة كويستا معلولا، وتهديد الكنائس والأديرة التي بنيت عند أقدامها (تصوير المؤلف ٢٠٠٨).

- **الحركات الأرضية السريعة:** يأتي في مقدمتها الزلازل، التي تعمل على دفع المواد نحو أسفل المنحدرات، أو تسبب سقوطها من الجروف والقطاعات الصخرية شديدة الانحدار.
- **العامل المناخي** وعناصره: تؤدي دور المحرض المباشر وغير المباشر لحركة المواد السطحية على المنحدرات، فالهطل المطري الذي يتحول مباشرة إلى جريانات سطحية، والرياح، والجليد.. تسبب أكبر الأضرار مع توفر شروط أخرى كشدة الانحدار والقوام المختلط أو الناعم للترب.

- **العوامل الحيوية:** تعيق النباتات حركة المواد السطحية، بدءاً بجذورها التي تزيد من تماسك الترب، وسيقانها أو جذوعها التي تحتجز الحجارة والحصى خلفها. ولذلك لا بد من تحديد أنواعها وكثافاتها وفترات نموها.
- **النشاط البشري:** شهدت العلاقة بين الإنسان والمنحدرات تدهوراً واضحاً في بعض البلدان النامية. وذلك بسبب اتباع سياسات غير صحيحة في استخدامها، فإزالة الغابات والبناء في أماكن غير صالحة لذلك، والتفجيرات الخاصة بالمقالع والمناجم. إلا أن بعض التدخلات أثبتت نجاحها في التعامل مع المنحدرات، كتسويتها للزراعة أو العمران، وقد يهبط سطح الأرض بفعل التدخلات البشرية الخاطئة، فقد أدى الإفراط بسحب البترول من حقل سانتا كلارا في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، إلى هبوط ملحوظ لسطح الأرض، بلغ نحو أربعة أقدام بين عامي (١٩٦٠-١٩٦٧)م. ومثال ذلك ما حدث لمناطق من مدينة سان خوسيه في ولاية كاليفورنيا، حين هبط سطح الأرض لأكثر من (٣) أمتار في بعض أحيائها، بسبب سحب المياه الجوفية. وقد تكون الخسوف الأرضية من أخطر تداعيات التنمية الاقتصادية المتسارعة، التي تتطلب سحب المياه الجوفية بدون حسابات دقيقة لمستويات الخطر الناتج عن ذلك، ومثال عنها ما حدث في إقليم هستون – جالفستون على خليج المكسيك، حيث بلغ معدل الهبوط بين عامي (١٩٥٩-١٩٦٤)م، نحو (٧,٥) سم/ سنة. وتعد مدينة نيو مكسيكو من أكثر المدن التي تعاني ظاهرة الهبوط الأرضي الناتج عن سحب المياه الجوفية، فقد هبطت بعض أحيائها القديمة لأعماق راوحت بين (١٣- ٢٥) م، بمعدل سنوي راوح بين (٢٠-٣٠) سم/سنة، منذ عام (١٩٤٨)م. وهي مشكلة مستمرة حتى وقتنا الحاضر حسب ما تظهره الصور الفضائية، صورة رقم (١٢-٨). كما تسبب استخراج الغاز الطبيعي من مناطق تيجاتا اليابانية، بهبوط سطح الأرض نحو (١٥٠)سم. ولا تختلف النتائج في مناطق استخراج الفحم في بريطانيا عما سبق، ففي إقليم كنتربري سبّب استخراج الفحم بين عامي (١٩٣٣-١٩٥٠)م، هبوطاً بلغ نحو (٦٠)سم، وشكل منخفضات ملأتها المياه مشكلّة بحيرات ضحلة.(محسوب، أرباب: ١٩٩٨، الأخطار والكوارث الطبيعية، ص ١٥٥-١٥٩).



صورة رقم (١٢-٨) اختلاف معدلات هبوط سطح الأرض في مدينة نيو مكسيكو بين شهري تشرين الأول -أيلول من عام (٢٠١٤).

إن رصد ومتابعة حركة المواد السطحية يتطلب تحديد بعض **خصائص هذه الحركة**، ومنها:

١. توزعها المكاني: فقد يكون مبعثراً أو متصلاً، وقد يبدأ متباعداً على شكل مخاريط أنقاض، ويتطور ليصبح مستمراً على شكل جبهات.
٢. معدل السرعة: وتفيد في تحديد المسافة التي تقطعها المواد يومياً أو سنوياً.
٣. طبيعة الحركة: وفق ما سبق من أنماط، فتكون سريعة أو بطيئة، واسعة أو محدودة، دائمة أو فصلية أو فجائية.
٤. تكرار الحدث: فيكون بشكل دوري أو عشوائي.
٥. تسلسل الانهيارات: يحدث الانهيار دفعة واحدة أو بشكل متعاقب ومتداع، عبر سلسلة من الانهيارات أو الانزلاقات حسب تكرر العامل المسبب أو تركيب الانهيار.
٦. عمق الحركة: أو مداها الرأسي. فقد يراوح بين (٤٠-٦٠)سم في الترب المتميعة، ويصل لعشرة أمتار في التدفقات الطينية والانهيارات والانزلاقات.
٧. حجم المواد المتحركة ومساحتها وسمكها، وشكلها ونسبة تكورها أو تشظيها، ومدى تماسكها، ومحتواها من الماء والرطوبة.

رابعاً- الأضرار التي تنجم عن حركة المواد السطحية:

تسبب حركة المواد السطحية السريعة خسائر بالأرواح والممتلكات، وذلك لسرعة حدوثها، ويتعاظم خطرها مع زيادة حجم موادها، وعدم استقرار منحدراتها، و الهطل الغزير،

والاستخدام السيئ لسطح الأرض، ويدل الجدول رقم (٢-٨)، على حجم الخسائر بالأرواح، في بعض دول العالم:

ويرتبط معيار كارثيّة حركة المواد على المنحدرات بحجمها وتكراريتها، وفجائيتيها، ومستوى التطور الحضري والتقني والوعي السياسي- البيئي للدولة. وفي إيطاليا تسببت الانزلاقات عام (٢٠٠٤)م، بقتل (٥١٩٠) شخصاً، و(٨٨) شخصاً في عداد المفقودين، ومن الجرحى (٢٢١٦)، وتشريد أكثر من (١٦٠,٠٠٠) شخص.

جدول رقم (٢-٨) أنواع حركات المواد السطحية، وأعداد ضحاياها حسب الدول

العام	نوع العملية	الدولة	الوفيات
١٩١٩	تدفق طيني	إندونيسيا	٥١١٠
١٩٢٠	تدفق طيني (لوس)	الصين	١٨٠٠٠٠
١٩٤٩	انهيار جليدي	الاتحاد السوفيتي (سابقا)	١٢٠٠٠- ٢٠٠٠٠
١٩٦٢	انهيار صخري	البيرو	٤٠٠٠
١٩٧٠	انهيار جليدي	البيرو	٧٠٠٠٠
١٩٨٥	تدفق طيني	كولومبيا	٢٣٠٠٠
١٩٩٩	تدفق جليدي	كولومبيا	١٠٠٠٠

خامساً- الحلول المقترحة:

تهدف جميع الحلول المتعلقة بمخاطر المنحدرات ومشكلاتها إلى إعادتها إلى حالة التوازن والاستقرار، مما يعني أنها قادرة على الثبات في وجه أي حركة أو تغير يمارس عليها وفق حدود تستوجبها عمليات التنمية، وبالتالي فالأمر لا يعني عدم تحرك موادها، بقدر ما يقصد منه أن لا تسبب هذه الحركة ضرراً. ويتحدد الاستقرار من خلال التوازن بين قوى القص shear stress، وقوى مقاومة القص shear strength. حيث تؤدي زيادة الوزن أو التحميل loading والضغط الجانبي lateral pressure، إلى زيادة قوى القص والحركة، ويخفف منها وجود المياه في المسام وتوفر المواد العضوية والفراغات ضمن مكونات المواد.

ويسهم كل من الجيومورفولوجيين وعلماء الجيولوجيا الهندسيّة والمهندسين التقنيين، في العمل على الاستخدام الأمثل للمنحدرات، من خلال دراسة مكوناتها وعملياتها، وفق أساليب وطرق متعددة، منها:

١- تحليل الحركية analysiskinematic ، أي معرفة أسبابها وكيفيتها.

٢- تحليل التوازن الحدي limit equilibrium analysis، لمعرفة الحالة الحرجة التي تجاوزتها المواد فوق المنحدرات.

٣- محاكاة حركة المواد حاسوبياً: وتستند معظم برامج الحاسوب على تحليل استقرار المنحدر وفق مفهوم التوازن الحدي بوضع نماذج ثنائية و/أو ثلاثية الأبعاد.

يعتمد حل أي مشكلة على فهم أسبابها وإدراك آلية حدوثها، وقبل البدء بسرد أهم الحلول المتبعة لمواجهة مشكلات المنحدرات. لا بد من التأكيد أن ما يقدمه الجيومورفولوجيون من حلول، هو من وجهة نظر تتطلب تكاملاً مع اختصاصات أخرى. فكلما اجتمعت عوامل أكثر في الموقع، استدعى ذلك تنوع الخبرات والمؤسسات والجمعيات الأهلية.

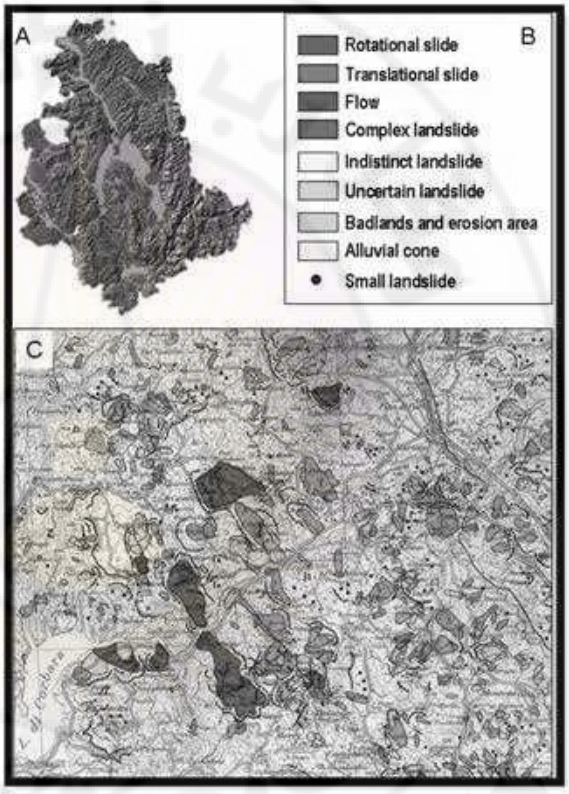
أ- استراتيجيات مواجهة مشكلات المنحدرات:

هناك إجراءات استراتيجية لا بد من وضعها والقيام بها، قبل الشروع بتطبيق الحلول المباشرة لمشكلات المنحدرات، ويمكن تحديدها بالآتي:

١- اتباع منهجية تعتمد على تعطيل آليات الخطر قبل حدوثه. أو ما يعرف بالإجراءات الاستباقية، ففي هونغ كونغ المعرضة للانهيارات الأرضية بشكل دائم، اعتمدت إدارة المخاطر سابقاً على منهجية رد الفعل بين عامي (١٩٦٠-١٩٧٠)م، ولكن في أواخر (١٩٧٠)م وبداية (١٩٨٠)م، شهدت تغييراً بالتركيز على نظم الإنذار والتدابير الوقائية الاستباقية.

٢- إجراء دراسة متكاملة ودقيقة للمنحدرات من حيث أشكالها وأبعادها وتطورها، وتحديد العمليات التي تحدث عليها، وتوزعها وفعاليتها وفترتيها وإمكانية تكرارها، وإعداد خرائط خاصة تبين مناطق الخطر، وأنواعه. وأخرى للمناطق الآمنة، ومستويات الأمان فيها، وتحديثها باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ونظم المعلومات الجغرافية، ويجب أن تكون هذه الخرائط موثوقة ومحدثة باستمرار. وفق ما يستجد من مظاهر على السطح.

وقد بينت الخرائط المحدثة لمنطقة أمبريا Umbria الإيطالية، زيادة في نسبة عدد الانزلاقات الأرضية قدرها (٥٧٠٪)عن الخرائط الأقدم، و(١٥١٪)من حجمها بالنسبة للمساحة الكلية للمنطقة. إلا أنه يجب التنبه هنا إلى أن هذه الزيادة ليست بالضرورة نتيجة استخدام تقنيات دقيقة في تحليل الصور الفضائية ورسم الخرائط، بل يمكن أن تكون زيادة فعلية لعدد الانزلاقات خلال الفارق الزمني بين الخرائط المعدة، شكل رقم (١٠/١١-٨).



الشكلان رقم (١٠/١١-٨) الأعلى هو خارطة انزلاقات لمنطقة أمبريا الإيطالية (٢٠٠٥). والأسفل خارطة توزع الانزلاقات لعام (١٩٨٩)م.

٣- اختيار الأماكن الأكثر أماناً من المنحدرات للاستخدام، وإن كانت التكاليف أكبر، كأن تنشأ الطرقات في جهة الطبقات الصخرية المائلة بعكس الطريق، وليس نحوه، وكذلك الأمر فيما يخص المباني. وقد تسببت الأمطار التي هطلت على جنوب غربي الصين، بمقتل سبعة أشخاص في بلدتين بمقاطعة قويتشو، وكانت سبباً في إحداث انهيارات في بلدتي لونغشينغ وتونغمين، صورة رقم (١٣-٨)، كما أثر استمرار الهطل في

محافظة سيشوي إلى إلحاق الضرر بنحو (١٧) ألف هكتار من الأراضي الزراعية، وتسبب بخسائر اقتصادية الفادحة.



صورة رقم (١٣-٨) انهيار أرضي في الصين (٢٠١٤/٨/١٩) لاحظ ميل الطبقات نحو الطريق.

٤- وضع شروط صارمة لرخص البناء وإنشاء البنى التحتية، التي تأخذ بالحسبان عوامل الأمان الجيومورفولوجي، ففي ولاية يوتا Utah الأمريكية، يعيش أصحاب المنازل المبنية على سفوح جبال ترانسفيرس Traverse على طول جبهتها الحادة المسماة وساتش Wasatch في مدينة سالت لايك Salt Lake شمالي الولاية، في خطر مؤكد بسبب الجهد الكبير الممارس على منحدراتها الحادة وغير الثابتة. وتقع العديد من الملكيات ومشاريع البنية التحتية والخدمية ضمن دائرة الخطر، حيث بنيت إما على/ أو بالقرب من رواسب غير مستقرة، وقد قُدّرت قيمة المباني والمنشآت المعرضة للخطر بنحو (٥٠٠) مليون دولار لعام (٢٠٠٧)م، (Nicoll: 2010).

إن استمرار إصدار تصاريح بناء الطرق والمنازل الجديدة، وفق المعايير الأمريكية في الولاية، التي تُلزم القاطنين بمسافة فاصلة بين منازلهم ومواقع الخطر. لا يساعد في حل المشكلات المؤكدة، وذلك لعدم اعتمادها على دراسة تفصيلية لبقية عوامل الخطر كالوعورة والتصدع والانحدار وحركة المياه السطحية والجوفية. وقد خلص تقرير هيئة المساحة الجيولوجية في الولاية إلى نتيجة خطيرة. مفادها أن الانهيارات الأرضية للرواسب الرباعية شمالي ولاية يوتا تبقى عادة بالقرب من عتبة عدم الاستقرار. وأشارت التحليلات الهندسية الجيولوجية إلى أن أي زيادة في مستويات المياه الجوفية يمكن أن تحدث المزيد من حركة المواد السطحية على المنحدرات، لذلك وصفت حدود الأمان في العديد من الانهيارات الأرضية بأنها مشروطة conditional أو مقيدة بظروف خاصة وحرجة.

وعلى الرغم من أن الدلائل الجيولوجية والجيومورفولوجيّة، تؤكد الاستقرار الحَرِج للمواد، إلا أن السياق التاريخي لسلوكها لا يبعث على الاطمئنان. فقد تكررت كوارثها في السنوات(١٩٨٣-١٩٨٤)(١٩٩٧-١٩٩٨) و(٢٠٠٥ - ٢٠٠٦). ويعد انزلاق Thistle الذي حدث في منطقة Spanish Fork Canyon في يوتا المركزية central Utah عام (١٩٨٣)م، أكثرها فداحة وضخامة على مستوى الولايات المتحدة الأمريكية. حيث بلغت قيمة الخسائر نحو (٢٠٠) مليون دولار، وبلغ حجم المواد المنزلقة (٢١×١٠٦) م٣. وقد دمر الانزلاق بلدة صغيرة، وتسبب في انهيار سد وطمر طريقين سريعين وسكة قطار. ولم تحدث خسائر بالأرواح لسرعة عمليات الإخلاء، تلاه انزلاق ليتل فالي (انزلاق الوادي الصغير) Little Valley Landslide، عام(٢٠٠٥)م، وسبب بخسائر قدّرت بحوالي (١٠) مليون دولار. مما يعني ضرورة تزويد المكاتب العقارية والجهات المسؤولة عن البيوع العقارية، بمعطيات كاملة ووافية عن المخاطر الطبيعية المحدقة بالمنازل والمنشآت قيد البيع. وإلزام أصحابها بإبلاغ المشترين عنها، وقد شُرّعت مثل هذه القوانين في ولايات أوريغون وواشنطن وكاليفورنيا الأمريكية.

٥- التمييز العِلميّ بين مفهوميّ القابلية susceptibility للخطر، والخطر hazard. لدى تقييم حركة المواد السطحية، ووضع معايير واضحة محلية وإقليمية للتفريق بينها، وإعداد خرائط خاصة بذلك، وقد نفذت خرائط حديثة لمنطقة أمبريا Umbria الإيطالية، حدد فيها (٤٧٤١٤) انزلاقاً، منها (١٥٦٣) من النوع الحطامي، و(١٣١) انهياراً صخرياً، كما أظهرت أنواع المنحدرات وارتباطها باحتمالية الانزلاق، فبلغ عدد السفوح الصخرية التي يمكن أن تكون مصدراً للانهيارات الصخرية (٧٦٠)، ونحو (٥٣٣) منحدراً حطامياً، وتوزع العديد من العناصر الجيومورفية المكونة لسطح الأرض كالمراوح الفيضية والخوانق النهرية، كما صُنفت منحدرات منطقة كولازون Collazzone الإيطالية في خرائط حسب استقرارها أو عدمه، فانتمى إلى الفئة الأولى (٥٣,٤%) منها، وإلى الثانية (٤٦,٦%). (Von & Guzzetti :2006).

٦- توثيق قاعدة البيانات عن العوامل والعمليات التي تؤثر في نشاط حركة المواد واستقرار المنحدرات، وذلك ضمن نظام معلومات جغرافي GIS خاص بها، وإعداد خرائط تعرف بخرائط الجرد الجيومورفولوجيّة geomorphological inventory map، وهي

خرائط من نوع خاص تبين أنواع حركة المواد السطحية وتوزعها المكاني وبعض خصائصها، وتأتي متممة لقاعدة البيانات.

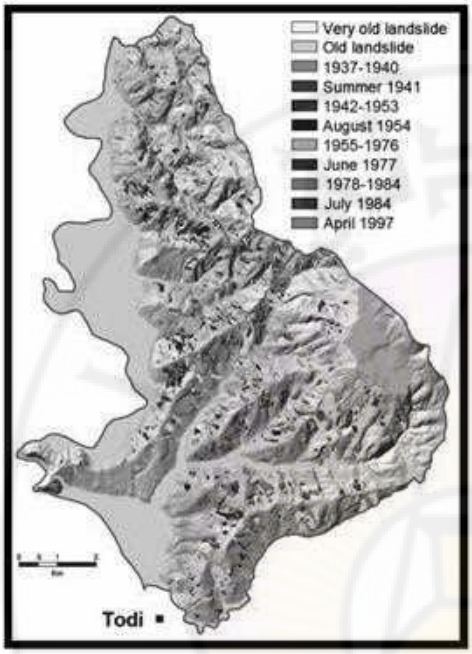
٧- تقييم المكونات الرئيسة للمخاطر من خلال جمع المعلومات والبيانات وتحليلها، والتنبؤ بحجم الخسائر الإنسانية والمادية المحتملة، والأفضل أن يتم ذلك بعد حدوث الانهيارات أو الانزلاقات الأرضية، للوقوف على حقيقة التغيرات التي أصابت سطح الأرض، وقد أثبتت التحقيقات الميدانية التي أجريت مباشرة على منطقة أمبريا الإيطالية بعد الذوبان السريع لثلوجها عام (١٩٩٧)م، أن عدد الانهيارات بلغ (٤٢٣٥)، وأن الأضرار الناجمة عنها طالت المباني والبنية التحتية في (٣٩) موقعاً، كما تأثرت زراعة القمح بشدة جراء تدمير الانهيارات لمساحات واسعة من حقولها.

٨- الصيانة الدائمة وترميم المنشآت وتقييم السبل المتبعة لحمايتها، بشكل دوري أو متقطع حسب وقوع الحوادث الجيومورفية أو أي محرض مناخي أو بنائي.

٩- رصد تغيرات استخدامات الأرض، وتحديد مدى تأثير ذلك في حدوث الانهيارات والانزلاقات والتدفقات الأرضية، أو أي ضرر ناتج عن حركة المواد السطحية. فقد تبين من خلال مقارنة (١٥٠) انهياراً في حوض سانتا كلارا Santa Clara بولاية كاليفورنيا، أن التحول باستخدامات الأرض من الغابات والحراج إلى المراعي رفع نسبة حدوث الانهيارات إلى ثلاثة أضعاف، فحرث الأراضي وقطع الغابات وزراعة النباتات الرعوية، يسببّ عدم استقرار المنحدرات وتأقلمها مع الغطاء النباتي الجديد.(Victoria :2011). إن متابعة تطور المنحدرات بالصور الفضائية والجوية والعمل الميداني والخرائط الموثّقة والدقيقة، ومطابقة قياسات أبعادها وأشكالها بشكل مستمر، وإعداد خرائط زمنية لتحديد تكرارية الانهيارات، يساعد في التوصل إلى مستويات عالية من التنبؤ الحاسوبي لتحديد المواقع الأشد خطورة، ويبين الشكل رقم (١٢-٨) خارطة أرشيفية لجرد الانهيارات الأرضية حسب توزعها المكاني والزمني في منطقة كولاتزوني Collazzone الإيطالية.

١٠-نشر الوعي بين السكان وتلاميذ المدارس وإجراء تجارب إخلاء سريع وتمرينات دورية لرجال الإطفاء والإسعاف والطوارئ، ومتابعة العمل على إقناع السكان بعدم الركون للخطر الكامن وراء الاستقرار المؤقت للمنحدرات النشطة، فعلى سبيل المثال أكدت دراسة إحصائية في إقليم جبل إيلجون Elgon شرق أوغندة، أن (٧٥%) من سكانه على وعي تام

بمخاطر منحدراته، إلا أن التغافل عنها، والتعايش معها، قد صرف نظر نحو (٨٤,٥%) من سكان المناطق الخطرة والبالغة نسبة مساحتها (١٥,٥%) من مساحة الإقليم. (Gumisiriza :2014).



شكل رقم (١٢-٨) خارطة الانهيارات الأرضية في منطقة كولاتزوني الإيطالية حسب فترات حدوثها (أعمارها).

١١-كما لا بد من الاهتمام بالقضايا الاجتماعية والسياسية التي تؤثر في، وإدارة المناطق الخطرة أو المعرضة للخطر، واتباع تخطيط إقليمي ومحلي آمن واقتصادي بذات الوقت.

١٢-تبني نهج تشاركي بين الجيومورفولوجيين وسكان المناطق من جهة، والجيومورفولوجيين والباحثين من الاختصاصات الأخرى، أضف إلى ضرورة مأسسة العمل ليصبح جماعياً تكاملياً، بين المراكز العلمية والبحثية والرسمية الوطنية والمجتمعية.

ب-الحلول المباشرة لمواجهة مخاطر المنحدرات:

١. تثبيت المنحدرات بزراعة نباتات مناسبة للمناخ، صورة رقم (١٤-٨). وليست فصلية، فلو كانت كذلك لتعرض المنحدر للانزلاق والحت خلال فصل الذبول، و يفضّل استخدام

حُصر نباتات عشبيّة طبيعيّة تستمر بنموها فور إكساء المنحدر بها، فقد يتعرض المنحدر للانزلاقات في حال حدث الهطل قبل نمو الأعشاب عليه. صورة رقم (١٥-٨).



صورة رقم (١٤-٨) تثبيت المنحدرات بالعشب.



صورة رقم (١٥-٨) تعرض المنحدر المثبت للانزلاق قبل نمو الأعشاب.

وقد أكد (Marston :2009. P213) وجود علاقة بين النباتات والمنحدرات أكثر تعقيداً مما كانت تعتبره الدراسات السابقة لـ (Schumm and Lichty (1965 و ما تلاها، والتي ركزت على تأثر النباتات بخصائص المنحدرات من ارتفاع وانحدار، ونوع الصخور وطبيعة حركة المواد السطحية، إلا أن الدراسات الحديثة أكدت أن تعقيد العلاقة يكمن في وجود وسيط هو التربة، ومتغيراتها العديدة، التي تظهرها معادلة الخسارة العامة للتربة The Universal Soil Loss Equation (USLE)، وتتخذ الصياغة التالية:

$$A = RKLSCP$$

حيث: A :خسارة التربة. (طن/ دونم/ قدم).

R : عامل الهطل والسيول.

K :عامل قابلية التربة للحت.

LS : عامل انحدار – طول المنحدر.

C : عامل إدارة المحاصيل.

P : عامل التآكل والحت.

ويمكن زراعة الأشجار على طول مسارات الانهيار المعروفة، فقد تسببت عملية إزالة الغابات بحالات انهيار في بعض الأماكن من النمسا خلال الـ (٢٠٠) سنة الأخيرة. فحظر قطع الأشجار على جوانب التلال، للحد من التعرض للانهيار.

٢-إكساء المنحدرات بجدران أسمنتية، صورة رقم (١٦-٨). أو تغطيتها بطبقة حصوية، صورة رقم (١٧-٨). وهي الطريقة القديمة التي واكبت تعديل منحدرات الأودية وحمايتها، ويمكن القول إن الطريقة الثانية أفضل كون الحصى غير المتماسك يمتلك خاصيّة مرونة الارتصاف والتجاوب مع الحركات البسيطة لعدم استقرار السفح، أما الإكساء بالإسمنت فمحفوف بمخاطر تشققها وتصدعها. فتصبح المشكلة مضاعفة في حال انهيار المنحدر. لذلك يتم فتح فجوات تسمح بخروج ماء التربة أو المنحدر،فيقل وزن المواد المحتجزة خلفها، وتشيع هذه الطريقة في جدران دمشق الحجرية، حتى يظن المرء أنها ينابيع ماء.



صورة رقم (١٦-٨) الإكساء بطبقة أسمنتية



صورة رقم (١٧-٨) تثبيت المنحدر بطبقة حصوية.

٣- بناء جدران استنادية خشبية تتناسب هندسياً مع طبيعة حركة المواد وخصائصها، على أن تتخذ الاحتياطات المخبريّة لاختبار قدرة الجدران على تحمل الضغط الناتج عن الحركة، حتى لا تتحول بذاتها إلى خطر أعظم، باعتبارها حواجز اصطناعية تكبح جماح قوة متراكمة لمواد متدافعة خلفها. وقد تبنى من الخشب كونه مادة مرنة تتحمل الضغوط،

إلا أن عمرها قصير لتأثر الخشب برطوبة التربة وضعف تماسكه. صورة رقم (١٨-٨).
كما حدث في أحد قطاعات جبل الهدا قرب مدينة الطائف، بعد هطل مطري شديد استمر لأسبوعين، تحرك على إثرها حطام كبير تجاوز الجدران المعدة لاحتجازه، وقطع الطريق العام. صورة رقم (١٩-٨).



صورة رقم (١٨-٨) الجدران الخشبية.



صورة رقم (١٩-٨) انهيارات صخرية في الطائف/ السعودية ٢٠١٤.

٤- إنشاء مجموعة من السدود الاعتراضية، التي تعرف بسدود الحطام debris dams لاصطياد الحطام من الأحجار والحصى و جذوع الأشجار..وقد طبقت هذه الأساليب في منطقة حوض لوس أنجلس في جنوب كاليفورنيا، حيث تتدفق تيارات كبيرة من قاعدة سانتا مونيكا وسان غابرييل، وجبال سان برناردينو مجتمعة في أودية السفح. ومن الحماية التي وفرها المكان تبعثر التجمعات البشرية، وتوفر عوائق طبيعية كالغابات.

ويجب الانتباه لدى تطبيق أساليب الاكساء الحجري والإسمنتي، أو بناء جدران اسمنتية حاجزة ومثبتة للسفوح غير المستقرة، إلى ضرورة السماح للمياه المتجمعة خلف هذه الإنشاءات بالانصراف عبرها، وإلا سببت هي بحد ذاتها مشكلة أخرى، كتجوية قواعد الجدران، ويزداد خطرها مع تشقق الجدران بفعل الضغط الذي حمله من السفوح خلفها. صور رقم (٢٠-٨).

٥- استخدام شبكات لتغطية المواد المتحركة، ويجب أن تكون مرنة تتحمل التمددات والتقلصات الناتجة عن ضغط حركة المواد، وانخفاض درجات الحرارة وارتفاعها. وأن تكون فتحاتها أصغر من متوسط حجم غالبية المواد. صورة رقم (٢١-٨).



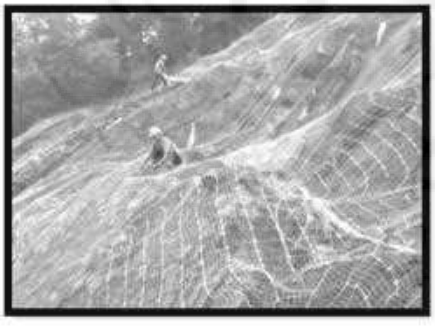
صورة رقم (٢٠-٨) تشقق الجدار الإسمنتي وتسرب المياه من فتحاته، وادي نهر بردى (تصوير المؤلف ٢٠٠٥).

٢- تسوية المنحدرات بتحويلها إلى مصاطب أو مدرجات، وهي من الطرق القديمة والشائعة لزراعة الأرز في مناطق اللوس الصينية، صورة رقم (٢٢-٨). كما يمكن تثبيتها بالإكساء الحجري المتدرج إذا كانت ضيقة والمنحدرات شديدة. صورة رقم (٢٣-٨).





صورة رقم (٢١-٨) مصاطب الأرز في الصين. **صورة رقم (٢٢-٨) جدار متدرج.**



صورة رقم (٢٣-٨) مد شبكات لتغليف المنحدرات غير المستقرة.

يمكن اعتماد نوع آخر من الشبكات، مصنوعة على شكل فجوات (كوات) تملأ بالتربة ثم تزرع بنباتات خاصة تناسب المناخ، وهي طريقة مبتكرة تدمج طريقة التثبيت بالنبات

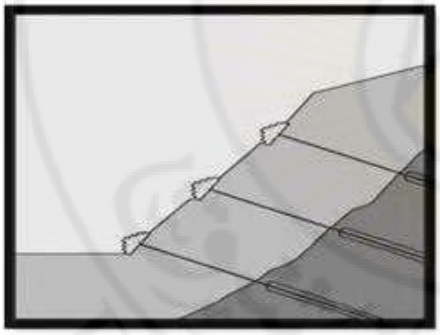
وبالشبكات، تطبق في المنحدرات الشديدة خاصة، وقد تثبيت المنحدرات بألواح خشبية متصالبة، فتتخذ شكل صناديق متعاقبة، ويمكن زراعتها لاحقاً، صورة صورتان رقم (٢٤/ ٢٥-٨).

صورتان رقم (٢٤/ ٢٥ -٨) الكوات والصناديق الخشبية.





٣-تثبت الكتل الصخرية بأوتاد حديدية أو خشبية أو بكتل أثقل وذات زوايا استقرار كبيرة تتحمل ما تحتجزه من مواد خلفها. ويجب متابعة هكذا أساليب كون تعرضها للانحناء والصدأ والتكسر والطمر أمور تبطل فاعليتها. شكل رقم (١٣-٨).



شكل رقم (١٣-٨) طريقة تثبيت طبقة سطحية غير مستقرة بأوتاد تربطها بالطبقة الصلبة المتينة أسفلها.

٤- إزالة الكتل الصخرية من مواضع الخطر إلى أخرى آمنة، والأفضل الاستفادة منها في عمليات إنشائية أو دفاعية ضد الخطر المحتمل، أو إزالة التجمعات المعرضة للخطر.

٥-السيطرة على حركة تدفق الحطام، إما بتوجيه مسارها عبر خنادق أو قنوات أو جدران أسمنتية بعيداً عن المناطق المراد حمايتها منه. أو تدعيمها بحقنها في مواضع مختارة بمواد تزيد من تماسكها كمادة الراتنج. صورة رقم (٢٦-٨). وحقن الفجوات بمواد أسمنتية مقاومة للتحلل، أو تدعيم أسقفها، وهي تجربة رائدة تم تطبيقها لدى إنشاء نفق سنغافورا، الذي اخترق مساره تكوينات حجر كلسي غنية بالمغاور.



صورة رقم (٢٦-٨) حقن مادة الراتنج أسفل المنازل المعرضة لخطر الانزلاقات الطينية.

٦- إن التدخل في إحداث خلل في الشروط الضرورية لتحريك المواد السطحية، سيؤدي إما إلى تعطيلها أو إبطائها، وقد يسبب في حالات أخرى خطراً أكبر. وقد تبين أن (٧٥%) من انهيارات إقليم إيلجون شرقي أوغندة، تعود لتغيرات في استخدامات الأرض. (Gumisiriza:2014. P 19). إلا أنه وبحالات نادرة، قد يفتعل الخبراء انهيارات فيما يعرف باصطناع الانهيارات artificially triggering avalanches للحد من تعاظم حجمها، وذلك باستخدام عبوات ناسفة أو القصف الجوي الدقيق.

دراسة حالة ١:

تقع بلدة معلولا في سورية، على حدور كويستا سميت باسمها. فوق الجناح الشرقي لطية سلسلة جبال القلمون الأولى. وقد اختير موقعها لأداء مهمة محددة بالإضافة إلى السكن، وهو العزلة والحماية من جيوش روما، فهي تسيطر على ما يقع دونها من أراض، تتصل بها عبر ممر خانقي ضيق. يعرف بخانق أو فج معلولا. وقد اتسعت البلدة على منحدرات جبل الشرقي والغربي حتى تجاوزت حدود الأمان في بعض المناطق، وقد وصف (غزوان سلوم:٢٠١١) الوضع الجيومورفولوجي للبلدة، على النحو الآتي:

١-ينتشر البناء والعمران فوق الحدور أسفل جرف الكويستا، الذي يراوح انحداره بين (٢٥-٣٠) درجة.

٢-يخلو قفا الكويستا من العمران سوى من دير مارجيريوس، يراوح انحداره بين (٧-٢٠) درجة.

٣-يتكون جرف الكويستا من الحجر الكلسي المتشقق، ويراوح ارتفاعه بين (١٠-٢٥) م.

٤-يبدأ الحدور محدباً ثم مستقيماً فمقعراً.

٥-تنتشر العديد من الكتل الصخرية المستقرة فوق الحدور. وهي ذات أشكال مسطحة ومكعبة، وأسطح تماس مع المنحدرات واسعة، كما تشكلت الكهوف في العديد من المواقع، وبخاصة منطقة الجرف، والقفا، ويظهر على حدور الكويستا مظاهر السيلان المائي المنبث (الانتشاري). والمجاري المائية قليلة العمق، تنبع من أسفل الجرف وتتجه نحو المناطق الزراعية عند أقدام الحدور. الشكل رقم (١٤-٨).

٦-تقع الأراضي الزراعية بقاع الوادي الجاف الذي تنصرف إليه مياه المجاري السيلية.

٧-تصنف المجاري المائية السطحية – السيلية ضمن فئة المجاري المتعرجة والمستقيمة.

ويبين الشكل رقم (١٥-٨) الأخطار الجيومورفولوجية في البلدة، وأسبابها على النحو الآتي:

أ- اختيار الأماكن الأسوأ للبناء: فمعظم المواقع المختارة للبناء الحديث هي أماكن خطيرة وغير آمنة. وتقع غالباً دون كتل صخرية ضخمة قابلة للحركة، أو فوق الكتل الصخرية المشققة والمجواة ، كما يؤدي نمط المنازل الحديث، أي البناء متعدد الطوابق دوراً سلبياً فيرفع مستوى الخطر.

ب-يتوافق انتشار الكتل السابقة مع وجود طبقة حصوية من الحجارة المزواة أسفل منها، فضلاً عن ندرة النباتات على المنحدرات. مما يعني غياب قوى المقاومة.

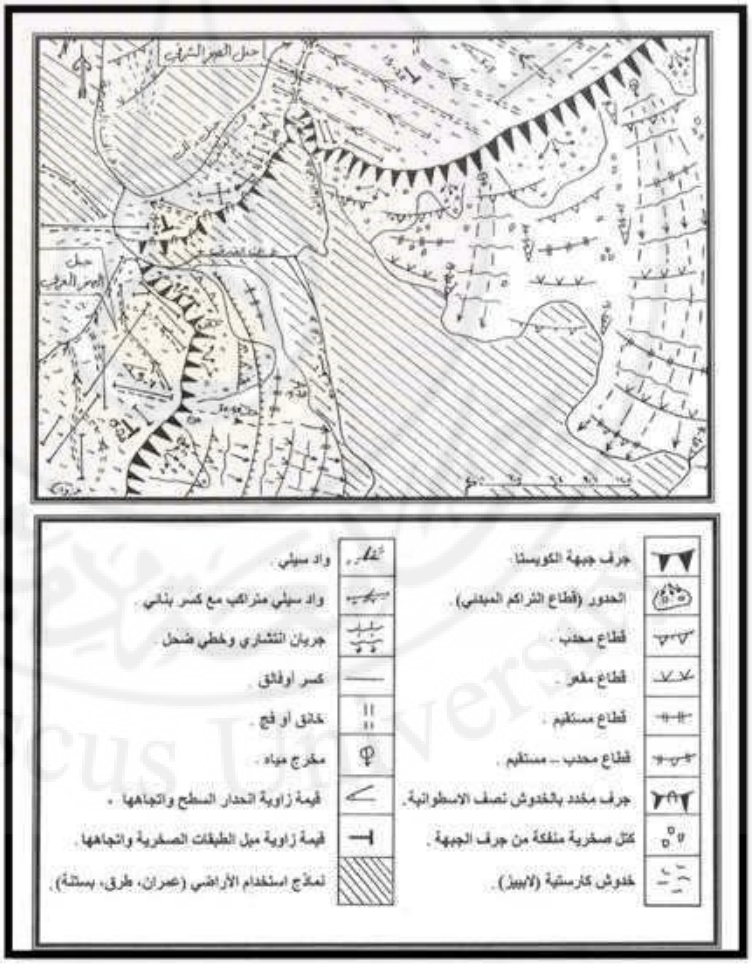
ت-تعد الكتل الصخرية الآيلة للسقوط أي التي مازالت ملتحمة بجزء بسيط من كتلتها مع الجرف الأساسي للكويستا من أخطر أنواع حركة الكتل الصخرية. وذلك لعدة أسباب. يأتي في مقدمتها ضخامتها. وإمكانية سقوطها بشكل رأسي، وانقلابها باتجاه البلدة لوجود نقورر في قواعدها يجعل من استقرارها على الحدور أمراً غير مؤكد. وأخيراً بناء العديد من المنازل بجوارها بوصفها من أجزاء الجرف الثابتة حسب الاعتقاد السائد بين الأهالي.

ث-تنبثق من قاعدة الكويستا مياه ينابيع موسمية من نطاق التماس بين الطبقة الصخرية القاسية العليا، وطبقة المارل المشكلة للحدور، يمكن أن تعد هذه المياه - في ظل توافر الغشاء الحصوي الجاف والحجارة المزواة - من المحرضات الخطيرة على حركة الكتل الصخرية باتجاه البلدة.

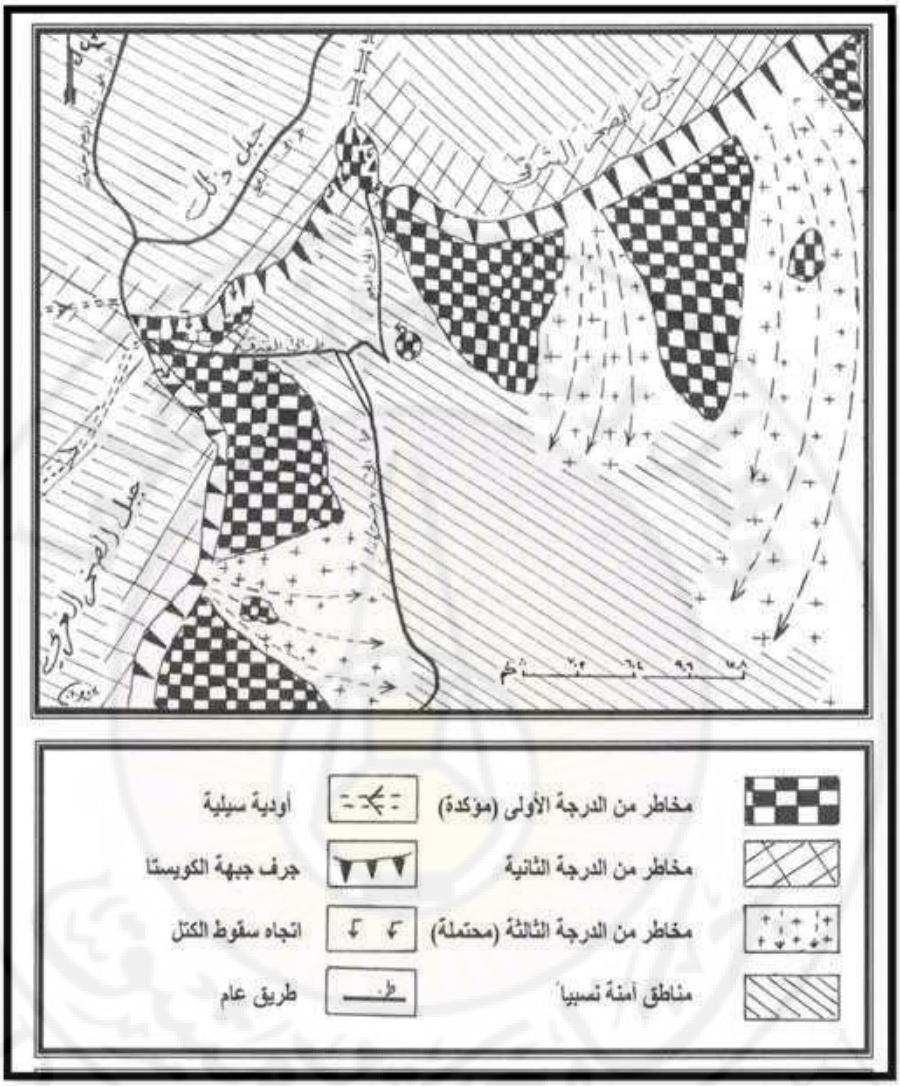
ج- يؤدي شكل المنحدرات المقعر والمستقيم دوراً خطيراً في زيادة سرعة المواد المتحركة. في حين تعمل الأقسام المحدبة على استقرار الكتل الصخرية، صورة رقم (٢٧-٨).



صورة رقم (٢٧-٨) منحدر الجبل الشرقي/ معلولا، لاحظ استقرار الكتل الصخرية في القطاع الأعلى المحدب.



شكل رقم (١٤-٨) الخارطة الجيومورفية لجزء من منحدرات كويستا معلولا.



شكل رقم (١٥-٨) مستويات الخطر في جزء من منحدرات كويستا معلولا.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل التاسع

الجيومورفولوجيا التطبيقية والتحضر.

Applied Geomorphology & urbanization

- مفهوم التحضر.
- أهمية الدراسات الجيومورفولوجيّة في عملية التحضر .
- تأثير التضاريس في التحضر وتطور المدن.
- تأثير العمليات الجيومورفولوجية في التحضر
- المخاطر الجيومورفولوجيّة على التحضر.
- استراتيجيات الحل والمواجهة.
- سبل مواجهة المشكلات الجيومورفولوجية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أولاً- التحضر:

التحضر ظاهرة عالمية، تجتاح معظم دول العالم، فقد توقعت منظمة الأمم المتحدة أن يبلغ التحضر بحلول عام(٢٠٥٠)م حوالي (٦٤%) من سكان بلدان العالم النامية، و(٨٦%) من سكان بلدان العالم المتقدمة، وهذا يعادل حوالي(٣) مليارات نسمة من قاطني المدن، مما يعني زيادة تمدد المدن والبلدات نحو مناطق لم يكن مخططاً لها أن تبلغها. فتصبح أكثر عرضة للمخاطر الطبيعية، وبخاصة مع اجتماع عوامل عدة، مثل: البيئة الطبيعية غير المستقرة، وكثافة السكان العالية، والبنية التحتية المتدهورة، وتوسع العمران العشوائي، والإدارة الخاطئة للمدن. ولعل أكثر المتغيرات تأثراً وتأثيراً بالتضاريس هي التي تصيب استخدامات الأرض، فتتحول الغابات إلى أراض زراعية أو حضريّة، وكذلك السهول الفيضية والمنحدرات، مما دعا المنظمة الدولية للجيومورفولوجيين (IOG)، التي عقدت مؤتمرها الأول في مانشستر عام (١٩٨٥)م، للتركيز بوجه خاص على التطبيقات الجيومورفولوجيّة في مجال تخطيط استخدام الأراضي (Prakasam & Biswas :2011)، والتي من ضمنها التأثير المتبادل بين الجيومورفولوجيا والتحضر.

يعتمد الإنسان في اختيار مواقع مدنه بالدرجة الأولى على توفر ثلاثة شروط تعزز استقرارها ونموها، وهي: الماء والتربة والأمان، لذلك ترتبط نشأة العديد من المدن بالتضاريس النهرية والجبلية، وفي كلتا الحالتين فإن علاقة التحضر بالجيومورفولوجيا علاقة أصيلة وجذرية، وإن كان البعض يدّعي أن الجيومورفولوجيا تتنحى لمصلحة التحضر، فإن هذا القول يصح في مدن تخلو من الأنهار أو تبتعد عن المنحدرات، ولا تعاني هبوط في أرضها، أو تجوية لمبانيها، أو من زحف الرمال نحوها، وهي حالة نادرة إن لم تكن مستحيلة، وعليه يمكن الجزم بأن للجيومورفولوجيا تأثيراً قوياً في عملية التحضر على الأقل في مراحلها الأولى، التي ينتقل فيها المنظور التضريسي إلى مشهد حضري صنعي.

من البدهي أن تكون العلاقة بين المخاطر الطبيعية والمشكلات الاجتماعية متبادلة بين تأثير وتأثر. فقد تسبب المخاطر الطبيعية انتشاراً للفقر والجريمة بعد وقوع الكارثة، كما تؤدي التدخلات البشرية دوراً رئيساً في إحداث المخاطر الطبيعية، كتسرب المياه الملوثة والحامضية ضمن الصخور الكلسية، مما يسرّع وينشط وتيرة التحلل الكارستي، وما ينتج عنه من خسوف وانهيارات، لذلك ولتحقيق هدف التنمية المستدامة للمدن، لا بد من إدارتها بشكل

سليم، بدءاً من تخطيطها وتنفيذ مخططاتها التنظيمية، وانتهاءً بحمايتها وصيانتها وتوسعها بشكل يكفل لساكنيها الأمان. مع التأكيد أن الإدارة الجيدة للمدن تهتم بجعل سكانها شركاء في التعامل مع المخاطر المحدقة بهم، كما هم شركاء في تحمل نتائجها.(Muțulescu & Ancuța: 2012. 495).

تتأثر مناطق الاستقرار البشري ومخططاتها التنظيمية بدرجات متفاوتة بالعوامل والعمليات الجيومورفولوجية. وخصائص المكان البيئية عموماً. ويمكن تحديد العلاقة بين المدن والمخاطر الطبيعية، بكيفية رد فعل المدن وجاهزيّة مؤسساتها لمواجهة المخاطر والكوارث الطبيعية. وهو ما يعرف بمعامل الضعف والمرونة urban vulnerability and resilience، حيث تصنف المدن ذات الاستعدادات المنخفضة بالضعيفة، وغالباً ما تكون مدناً قديمة تقع في مناطق نشطة زلزالياً، وقد استخدمت فيها مواد طينية أو خشبية. وهي شائعة في العالم القديم من آسيا وأفريقيا، أما المدن الحديثة فيفترض أن تبنى على أسس صحيحة تكفل لها الوقاية من خطر العوامل الطبيعية. وتشتهر مدن اليابان بمستوى أمان عال تجاه الزلازل وأمواج التسونامي. أما المرونة، فتعني تكيّف المدينة مع الخطر الذي تتعرض له، وقدرتها على تجاوز آثار وقوعه، أي تخطي مرحلة الكارثة مع الحد الأدنى من الخسائر في الأرواح والممتلكات. (Aroua & Berezowska-Azzag.:2011).

ثانياً – أهمية الدراسات الجيومورفولوجيّة في عملية التحضر:

يعتمد نشوء مدينة ما وتطويرها على الموقع الجغرافي وخصائصه، فعلى الرغم من أن المدينة ظاهرة بشرية – اقتصادية تنشأ على أسس سياسية واجتماعية واقتصادية وثقافية وبيئية مختلفة كجزء من النظام المكاني الهرمي hierarchical spatial system والانقسامات السياسية والجغرافية لكل بلد. إلا أن اختيار مواقعها يخضع لمعايير طبيعية في الدرجة الأولى وبخاصة المظاهر الطبيعية ذات التأثير الحاسم في اختيار الموقع وتوزيع مكونات المدينة والتنمية العمرانية الحضرية، وبالتالي فإن الخطوة الأهم في تخطيط التنمية الحضرية، هو تحديد شخصيّة الموقع، ومدى الترابط بين عناصره المكانية الثابتة والمتحركة، ففي الماضي، كان المخططون يعتبرون الوحدات الجيومورفولوجية والطبوغرافية ثابتة، وأن درجة التفاوت بينها قليلة نسبياً وغير قابلة للتغيير. إلا أنه بات معروفاً أن هذه الوحدات

متغيرة، وذات ديناميكيّة معقدة في كثير من الحالات. وأن عدم إدراكها على هذا النحو، سوف يخل بالتوازن المورفولوجي – الديناميكي القائم بين المظاهر والعمليات وتطورها، وأيضا قد يسبب أضراراً للمدن لا يمكن تلافيها أو تعويضها. والأخطر من ذلك أن تتسبب بالوصول إلى نقطة اللا–عودة، حيث يتجاوز فيها الضغط السكاني قدرة التحمل البيئي للمكان أو ما يعرف بقدرة القبول acceptance capacity – كزوال التربة بالحت والتآكل المستمر أو هلاك المَوَاطن الحيوية– وهي مرحلة يخرج فيها الحيز المكاني من مجال الاستخدام المربح أو المفيد. (Ahmadi & Others: 2013. Pp 79-82).

يضمن تحقيق التوازي بين مساريّ النمو السكاني من جهة، والتخطيط الحضري من جهة ثانية، والاستقرار البيئي – الذي يتضمن الجيومورفولوجيّ– من جهة ثالثة. تطوراً آمنا للمدن. إلاّ أن تسارع أحد هذه المكونات أو تدهوره هو الشائع في النمو العمراني للمدن، وقد شاع القول عن العلاقة بين التطور الديموغرافي والحضري في الدول النامية، بأن الأول ينمو بقفزات كالأرنب، والثاني يزحف بطيئاً كالسلحفاة. مما يعني حدوث مشكلات عمرانية حتمية وتوسعات نحو مناطق غير مهيأة لذلك. فتندفع طبقة الفقراء للإقامة في المناطق الهامشية الأقل تكلفة، والتي تعاني في كثير من الأحيان من مخاطر طبيعية متنوعة. وقد تعزز آليات المعالجة وطرق الحل حدوث المشكلات الطبيعية، فترفع من مستوى خطر الفيضانات والانهيارات والهبوط الأرضي، في حال كانت ضعيفة أو غير قادرة على مواجهتها. محولة إياها من خطر طبيعي إلى كارثة بشرية. وهي مسائل لا يمكن تفاديها إلا إذا مهدت الدراسات الجيومورفولوجية – مع غيرها– الطريق أمام بناء المدن وتمددها.

ومن الأسباب التي تقف وراء التوسع الحضري المفاجئ لتجمع سكاني ما، تحوله إلى عاصمة إدارية أو إقليمية، فيصبح مركز جذب ديموغرافي، وتتعاظم موجات الهجرة من الريف إليه، فيتوسع بشكل عشوائي ومتسارع نحو مناطق غير مؤهلة لذلك، فتضغط على المشهد التضريسي دون أي مراعاة لطبيعته ومدى استقراره. مثال ذلك ما حدث لمدينة بامندا Bamenda في الكاميرون. التي كانت عبارة عن سبع قرى صغيرة، اندمجت لتصبح عاصمة إقليم غرب المنطقة الشمالية. فتضاعف عدد سكانها بين عامي (١٩٧٦–١٩٨٠)م وبلغت ذروتها عام (٢٠١٠)م، حتى وصل تعدادهم عام (٢٠١٢) م إلى (٢) مليون نسمة. وانعكس ذلك على استخدامات الأرض فيها، فاستبدلت الغابات والمستنقعات والأراضي

الطبيعية بأحياء سكانية عشوائية في أغلبها. مما أضر بالموائل الحيوية، وجعل المدينة على تماس مباشر مع مشكلات طبيعية لم تكن لتبلغها لولا توسعها، كاقترابها من حافة بامندا Bamenda escarpment البركانية غير المستقرة. والمقطعة بالعديد من المجاري المائية لنهر ميزام Mezam وروافده. كما تقلصت مساحة الأراضي المحمية بالغطاء النباتي، فتفككت التربة وسَهُل حتها وانجرافها. (Kometa & Akoh: 2012. P 63).

إلاّ أن العلاقة بين المدينة ومحيطها لا تقف عند حد تأثرها به، بل إن للمدن تأثيراً في المحيط التضريسي لا يمكن تجاهله. فمثلاً لوحظ لدى تقييم التغيرات في استخدام الأرض في الولايات المتحدة الأمريكية. أن التحول من الاستخدامات الطبيعية إلى الحضرية أو شبه الحضرية هو الأسرع، ويكون جذرياً، بحيث تتغير المعالم الطبيعية وتتحول بالكامل إلى منظومة عمرانية، مما تسبب بضغوط بيئيّة متراكمة cumulative ecological stress وصلت في حالات كثيرة إلى حدود حرجة. (Limburg& Stainbrook: 2005). والسبب في ذلك اعتماد سياسات التخطيط المحلي Local planning، المبنية على أساس القرارات قصيرة الأجل. التي تسبب تدهوراً بيئياً على المستوى العام، مقابل غياب التخطيط الإقليمي regional planning، الذي يهدف إلى الحفاظ على توازن النظام البيئي، وسطح الأرض كجزء منه. وتكون الردود البيئية هرميّة تبدأ فيزيائية وكيميائية بوتيرة واضحة، وتنتهي بمشكلات حيوية، تتطلب فترة أطول من الزمن لتستعيد توازنها. حيث تتمتع هذه الأخيرة بمرونة وقدرة عالية على التغير والتكيف، إلا أنها شديدة الحساسية والهشاشة، وهو ما تفتقده معظم البيئات الجيومورفولوجية التي تستجيب للتغيرات بمستويات متصاعدة يصعب العودة عنها.

كل ما سبق وَضعَ الجيومورفولوجيين والمهندسين ومديري مؤسسات الموارد المائية وعلماء البيئة في قلق دائم من التحضر وتبعاته على عمليات الحت والترسيب، وتغير شكل المجاري المائية، وانخفاض معدل الرشح بسبب أسطح الإسفلت والأسمنت الكتيمة. الذي تسبب بارتفاع حجم التصريف المائي، وحدوث الفيضانات، في ظاهرة باتت تعرف بمتلازمة المجاري المائية – الحضرية urban stream syndrome. (Bledsoe: n d). فقد زاد معدل التدفق السطحي في كثير من مناطق التحضر في الولايات المتحدة الأمريكية ثلاثة

أضعاف بسبب التحضر، وارتفعت نسبة تكرارية الفيضانات صغيرة الحجم منها مقارنة مع الكبيرة، كما ارتفع حجم الرواسب في المجاري المائية لأحواض تشهد أراضيها عمليات بناء وإنشاءات هندسية في ولاية ويسكونسن نحو (١٠) مرات مقارنة بأحواض التصريف المائي في المناطق الريفية والحضرية، (Fitzpatrick & Others :2005). وقد أكدت دراسات أخرى ذلك، حيث زاد حجم تغذية الأنهار من الأحواض التي ترتفع فيها نسبة الأراضي الحضرية، بسبب زيادة ما يعرف بمعدل التوصيل rate of delivery – ويقصد به إيصال الرواسب إلى الأنهار الرئيسة عبر سبل صنعيّة– المرتبط باتساع شبكة الطرق، التي قامت بعمل المجاري المائية في إيصال المياه إلى الأنهار الرئيسة، في حين ارتفعت معدلات تغذية المياه الجوفية بالتسرب في المناطق الريفية التي يُمارس فيها نشاط الزراعة المروية. (Galster & Others 2006).

إن تسارع نمو المدن كتلك التي تنتشر على بعض دلتاوات أنهار قارة آسيا، كمدينة شينزينزيس Shenzhensez، التي قفز عدد السكان فيها من حوالي(٣٣٠,٠٠٠)نسمة في عام(١٩٧٩)م، إلى أكثر من سبعة ملايين نسمة عام(٢٠١٠)م، مما أدى إلى تجاوز الأنظمة النهرية لعتباتها الجيومورفية geomorphic thresholds، واضطراب السلوك اللا-خطي non-linear behavior للجريان المائي، كل ذلك زاد من الضغط على الأنظمة الهيدرولوجية للأنهار وبخاصة عند دلتاواتها، كونها تمثل جبهة صراع بين العمليات النهرية الترسيبية، والعمليات البحرية الحتية، لذلك فإن توازنها الجيومورفولوجي حساس لأي تعديلات بشرية فيها.

لذا يجب إيجاد التناغم والتوافق بين التخطيط الحضري Urban Planning والتخطيط الإنشائي Construction، والتخطيط الجيومورفولوجي، خلال المراحل الآتية :

١- **مرحلة التخطيط the planning stage**: هي أهم المراحل، حيث يبدأ تحويل المشهد الطبيعي إلى هندسي، يقوم فيها الجيومورفولوجي بعمليات تحرٍ موقعي ومسح حقلي، للكشف عن طبيعة تضاريس سطح الأرض، وإجراء القياسات الميدانية، وتصنيف المظاهر، وتحليل العمليات الجيومورفية المسيطرة على الموقع، وإعداد خرائط دقيقة وتفصيلية عنها وعن المناطق المفضلة للتوسع لاحقاً، وتبين اتجاه المنحدرات ونظام الصدوع والشقوق وميل

الطبقات، وخصائص المجاري المائية التي قد تمر بالتجمع أو من حوله. واختيار مواقع مطامر آمنة للمخلفات الصلبة الناتجة عن أعمال البناء أو نفايات المنازل، وتحديد أفضل السبل لصرف مياه الأمطار نحو المجاري المائية، دون التسبب بإحداث فيضانات أو حت شديد، بالإضافة إلى إبراز المقومات التضريسية للعمران من وجه نظر جغرافية – جيومورفية، تساعد في الاستخدام الأفضل لسطح الأرض، كالدور الذي يمكن أن تلعبه المجاري المائية في النقل والمواصلات أو تصريف المياه الناتجة عن الاستخدامات البشرية، أو اختيار المناطق الأكثر أماناً للطرقات والمنتجعات.

٢- **مرحلة التنفيذ The implementation stage**: يتابع فيها الجيومورفولوجي عمليات الإنشاء كاستشاري– فهي هندسيّة بحتة – مع مراقبة دقيقة لردود فعل سطح الأرض تجاه هذه العمليات، والتدخل في حال حدوث أي مشكلة جيومورفية، لتقديم الحلول المناسبة، أو البدائل المقترحة، وهي مرحلة تتم فيها التعديلات التي يجب أن تجرى على المخططات والخرائط بموجب ما يحدث من عمليات الإنشاء والتحضير الهندسي للموقع، حيث يمكن أن تبرز مشكلات عدة كالانزلاقات عند تجهيز المنحدرات نتيجة عمليات التفجير، مما يفقدها توازنها واستقرارها، كما يمكن أن تتكشف الحفر والبالعات الكارستية في حال كانت الطبقة الأم كلسية مجواة، كما يمكن أن تنهار ضفاف الأنهار في مواقع الضعف الصخري أو الطاقة الحتية العالية للنهر. ويستمر عمل الجيومورفولوجي بين مراقب ومتحكم في هذه المرحلة.

٣- **مرحلة المتابعة Follow-up stage**: تبدأ مع انتهاء العمليات الإنشائية، واكتمال التجمع العمراني والبدء بقيامه بوظائفه السكنية والخدمية، مما قد ينجم عنه مشكلات خاصة كتشقق الجدران أو زحف التربة على المنحدرات، نتيجة تكيف سطح الأرض مع تغير ضغط الأوزان نتيجة وسائط النقل والمواصلات، أو استكمال بعض المشاريع، كما يستمر دور الجيومورفولوجي ويتعاظم في حال اكتظاظ التجمع العمراني بالسكان، والبدء بالتوسع العمراني بموجب ما اقترحه من مناطق في المرحلة الأولى، وبذلك يكون قد أسهم في ضبط عمليات الزحف العشوائي نحو مناطق محتملة الخطر أو مؤكدة الخطورة.

يجب لفت الانتباه هنا إلى أهمية الإنفاق على إجراءات السلامة– مهما ارتفعت– كونها تحد من مخاطر أعظم قد تطال الأرواح فضلاً عن الممتلكات، وقد قدرت المبالغ المطلوبة لمعالجة التصاميم والمواقع وتحسين حالة المنحدرات غير المستقرة، خلال مرحلة البناء في

منطقة أليمدا Alamda في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، بنحو (٥) ملايين دولار، في حين قدرت الخسائر لاحقاً بـ (٥٥) بليون دولار خلال الفترة بين (١٩٧٠-٢٠٠٠)م. نتيجة مشكلات مثل الفيضانات والانزلاقات وانتفاخ التربة والصدوع النشطة.

ولقد بينت دراسة رصديّة لأحواض التصريف المائي في ولاية كاليفورنيا في الولايات المتحدة الأمريكية (Miller & Others :2005). أن هناك تغيرات في حجم المياه السطحية والرواسب وشكل القنوات واكب التوسع الحضري فيها، وذلك على مدى (٤١) عاماً، حيث تميزت بالمراحل التالية:

المرحلة الأولى (مدة عشر سنوات): شيدت خلالها المساكن والطرق وشبكات الصرف الصحي والبنية التحتية، وقد تسببت أعمال التهيئة الهندسية بتدمير الأفق السطحي للتربة وطالت الصخور الأم. مما رفع من معدل وصول الرواسب إلى المجاري المائية، وعلى الرغم من زيادة تصريف الفيضانات، إلا أن التغيرات في شكل القنوات المائية يكاد يكون معدوماً.

المرحلة الثانية (مدة عشر سنوات): استمرت أعمال البناء والإنشاء، وتغيرت معالم العديد من المواقع، التي خضعت بصورة خاصة إلى حت فوق المعدل الطبيعي خلال مواسم الأمطار وذوبان الثلوج. مع زيادة في حجم التدفقات المائية، وتوضع الرواسب فوق الضفاف وعلى جوانبها الداخلية، فضاق المجرى بما فيه من ماء وارتفع قاعه، ومع ارتفاع درجة حرارة المياه صيفاً. هلكت الأسماك وبيوضها لتغير درجة حرارة المياه، كما تعرض المجرى في بعض قطاعاته إلى التعمق، بسبب أخذ الحصى من أسرّة الأنهار.

المرحلة الثالثة (مدة عشر سنوات): اتضحت فيها تبعات التنمية الحضرية وتأثيرها. حيث اختفت بعض الروافد ضمن أنابيب أسمنتية، أو تغيرت أشكالها بسبب التعديلات الهندسيّة، وشهدت نهاية الفترة تقلصاً في مساحات المناطق المعدة للبناء. في حين استقرت حالة الأحياء القديمة والغطاء النباتي، مع ارتفاع معدلات التصريف المائي سنوياً. وأصبحت التدفقات التي يصل مستواها لما فوق الضفاف أكثر تكراراً، ومع انخفاض إنتاج الرواسب بسبب صلابة السطح الحضري، انصرف جزء من الطاقة الجيومورفية للمياه الجارية في عمليات الحت وتوسيع المجاري المائية.

المرحلة الرابعة (مدة عشر سنوات): توقفت أعمال البناء تقريباً، بسبب عدم وجود المزيد من المواقع المتاحة. وأصبح الغطاء النباتي الصنعي كاملاً تقريباً. وانخفض إنتاج الرواسب إلى أدنى مستوياته مقابل ارتفاع معدل الجريان السطحي إلى أعلى حد، فاتسعت القنوات المائية، وغيرت مواقعها بالهجرة الجانبية بسبب تآكل ضفافها، فتميزت بعدم الثبات في الأجزاء التي لم تُحمَ بالأشجار أو بالسواتر الإسمنتية أو الحجرية.

المرحلة الأخيرة (مدة مفتوحة): يكون فيها البناء الجديد محدوداً جداً، كما تخضع بعض أجزاء المجاري المائية لإعادة تأهيل لتستعيد طبيعيتها أو تصبح أكثر طبيعيّة. وتنخفض درجة حرارة المياه أكثر بسبب التظليل بالأشجار، وناقليّة الإسمنت والإسفلت الحرارية الجيدة. فتعود بعض الأسماك للحياة في المجاري المائية.

إن استعادة الأنهار لتوازنها الطبيعي بعد الاضطراب الذي تبديه تجاه عملية التحضر، يتطلب زمناً يتوافق مع طبيعة العلاقة بين متغيرات النظام الجيومورفي والهيدرولوجي لأحواض التصريف المائي من جهة، والنظام الحضري المتميز بسرعة تغيره من جهة أخرى. وقد استغرقت بعض المجاري المائية نحو (٢٠) عاماً لتتكيف مع التوسع الحضري في حوض ديس موينيس كريك Des Moines Creek جنوبي سياتل غربي الولايات المتحدة الأمريكية، التي بلغت نسبة مساحة الأراضي الحضرية فيه نحو (٤٠%) (WQPD 2004:)، إلا أن دراسات أخرى أجريت على أحواض نهرية جنوبي أونتاريو (McRae & D' Andrea 1999). أكدت أن استعادة الأحواض لحالة شبه التوازن بعد تعرضها للتعديلات الحضرية، خلال فترة زمنية راوحت بين (٥٠-٦٠)سنة. (Fitzgerald:2007).

يعكس **شكل المخطط التنظيمي** لأي مجمع حضري مدى تأثره بشروط الموقع الجغرافي والموضع المكاني، فيمكن أن تكون المخططات مركّزة Concentration في المناطق الجبلية والأودية والسواحل الضيقة، أو مبعثرة dispersed كما في السهول والمناطق المنبسطة، وهي مقارنة شديدة الواقعية والوضوح لدى مقارنة بلدة معلولا، ببلدات وقرى سهل الفرات في سورية، ويمكن أن تضيّق الجيومورفولوجيا الخناق على المدن والبلدات أو توسعه، فميناء دوبو Dobo الأندونيسي يقع في حيز صغير مثلثي الشكل، محصوراً بين البحر والغابات. صورة رقم (١-٩).



صورة رقم (١-٩) جزء من ميناء دوبو الاندونيسي.

إلا أن عمليات جيومورفية أمدت الميناء بعوامل استقراره، فالتيارات البحرية التي تتجه نحو رأس الساحل تحمل معها البلانكتون فتتوفر الثروة السمكية. وقد سببت عمليات الحت السفلي للأمواج انهيار جزء من الجرف الساحلي، وغوصه في البحر مشكلاً قاعاً مرتفعاً في مياه دافئة، فنمت عليه مستعمرات المرجان مضيفة عاملاً سياحياً للميناء.

تفرض الظروف الجغرافية نفسها على أدق تفاصيل المخططات الهندسية للمنازل والأحياء، وشكل العمران وخصائصه العامة من تركز وتشتت، ولما كانت المدن تبنى لأداء وظائف متعددة كالسكن والتجارة والصناعة والسياحة والدفاع العسكري. كان من الطبيعي أن تحدث تعديلات على جغرافيّة الموقع لتلائم الغاية التي نشأت لأجلها المدن، لذلك يكون اختيار مواقعها حاسماً في طبيعة المنافع الجيومورفولوجية للمكان أو المشكلات الجيومورفولوجية التي تواجه المدن والتجمعات السكانية، فمثلاً بنيت معظم المدن على ضفاف الأنهار حيث تؤمن مياه شربها، وامتدادها على أرض سهلية لا تتطلب عناء عملٍ في إنشاء المباني والطرقات والخدمات التحتية والظهير الزراعي. مما ينعكس على أسعار العقارات فتكون منخفضة، كما تتمتع بظهير زراعي يؤمن احتياجاتها، ويكفل النهر حمايتها من جهة محددة أو عدة جهات، ومن المدن ما يبنى لغايات محددة، فتنشأ في مواضع ذات شروط خاصة، كالمدن العسكرية المعروفة بمدن الحصون، التي تنتشر فوق الجبال أو المرتفعات المنعزلة المتحكمة بمحيطها السهلي المكشوف، فتتخذ نمط مدن القلاع كقلعة الحصن، التي تعد أفضل القلاع التاريخية وأكملها، وأكثرها حصانةً ومنعةً، وهي تشرف على طريق حمص – طرابلس لحماية القوافل التجارية في بلاد الشام، وأنشئت على جبل يرتفع

قرابة (٦٠٠)م فوق مستوى سطح البحر، على قمة جبل قاعدته من الصخور البازلتية، صورة رقم (٢-٩).



صورة رقم (٢-٩)
قلعة الحصن في سورية.

ومن المدن ما نشأ بسب تغير مناخي – جيومورفولوجي، مثل مدينة تامبيري tampere الفنلندية. التي بدأت كمرفأ عند مصب مجرى مائي، تشكل بدوره عن لسان جليدي في فترة البلايستوسين. ويستفاد من الجبال في الحماية والعزلة، لذلك ترتبط معظم القلاع القديمة ومناطق استقرار الأقليات بها، وينطبق هذا على العديد من المدن الإيطالية التي بنيت في فترات الاضطرابات السياسية التي أعقبت انهيار الإمبراطورية الرومانية، إلاّ أن معظم مواقعها تعاني خطر الحت السيلي و الانهيارات والانزلاقات والتدفقات الطينية.

ثالثاً-تأثير التضاريس في المدن وتطورها:

لا يمكن فصل العملية الجيومورفية عن شكل التضريس، والعوامل التي سببت كليهما، إلا أن تدخل الإنسان غالباً ما يكون ممكناً فيما يخص العملية والتضريس، أما على صعيد العوامل كالمناخ والجيولوجيا والترب، فيكون تأثيره فيها بعيد المدى، يستغرق فترات طويلة من الزمن حتى تبدأ نتائجه بالوضوح، كحالة التلوث الحيوي والدفيئة والتصحر، ويكون تأثير هذا التغير خطيراً في العمليات الجيومورفية، التي تتغير كماً ونوعاً استجابة لتغير الظروف المكانية.

ويمكن إيجاز ما توصلت إليه بعض أهم الأبحاث الجيومورفولوجية التي تعلقت بدراسة الآثار الجيومورفولوجية للتحضر على تيارات التدفق، (Bledsoe : D N). بما يلي:

١. إن لأنواع المجاري المائية ردوداً متغيرة تجاه التدخلات البشرية، ويمكن التنبؤ باتجاه استجابة الأنهار لعمليات التحضر، لكن ليس على المدى البعيد.

٢. ضرورة فهم نظم التدفق المائي (المؤقت والمستمر) لكل من المياه والرواسب. التي تؤثر وتتأثر باستخدامات الأراضي والبنية التحتية والصرف.

٣. تقييم فعالية المجرى المائي، ويشمل هذا زمن تأخر استجابته لأي عوامل، والتسلسل الزمني للأحداث الجيومورفية الفعالة. والسياق التاريخي للسلوك الهيدرولوجي.

٤. تتطلب إعادة استقرار المجاري المائية أحياناً بضعة عقود، بعد التغيرات في استخدام الأراضي ولكن لا يعني هذا عودة نوعية الموائل لما كانت عليه، وكذلك إمكانياتها الحيوية.

لقد بينت دراسة مقارنة على مدى واحد وأربعين عاماً لواديين في ولاية كاليفورنيا بين عامي(١٩٦١-٢٠٠١)م أحدهما يخضع لتطور حضري واسع، وآخر طبيعي لم يشهد أي تدخل بشري، أن المياه تملأ ضفاف الأول، بلغ تكرارها خلال فترة الرصد (١,٥) مرة، في حين بلغ تكرارها بالثاني (٠,٩)، كما بلغت التدفقات ذروتها في الأول مع اتساع رقعة الأراضي الحضرية. (Miller & Others: 2005).

ومن المخاطر التي أفرزها التحضر المستمر في معظم أنهار أوربا. تحول المجاري المائية من مجار مستقيمة Straight streams، أو مجاري منعطفة Meandering streams، إلى مجارٍ مضفرة، وهذه الأخيرة ذات حساسية عالية تجاه التدفقات المائية المفاجئة، التي تزود الأسرّة النهرية بكمية من الرواسب لا تتناسب وقدرتها على نقلها، فتتخلى عنها مشكلة حاجزاً في وجه التدفق التالي، الذي يبحث عن منطقة أخرى أقل انخفاضاً، وهكذا..فهي تغير مواقعها على الدوام، مما يتسبب بالعديد من المشكلات الجيومورفية – الهندسية، كما هي الحال جنوب شرقي فرنسا.(Bravard:1999. 291).

وقد حددت وزارة الزراعة الأمريكية مسافة نحو (٦٠) م، كمنطقة طبيعية عازلة مسايرة للمجاري النهرية في المناطق الحضرية – حرم النهر – وضمان استقرار بيئاتها الحيوية وطبيعتها الجيومورفية.وذلك في مناطق الغابات الرطبة.ويشمل هذا الإجراء كامل المجرى من المنبع إلى المصب، مع أخذ عينات من التربة والرواسب والأحياء لفحصها بشكل مستمر ودوري، لرصد أي تأثيرات للتحضر والعمران فيها. (Fitzpatrick & Others:2005).

وفي مقارنة أجراها (Woman 1967) بين تأثير استخدامات الأرض الغابيّة والزراعيّة والعمرانيّة في الحمولة النهرية، وقدرة المجاري المائية على الحت. تبين له أن الأنهار في

الأراضي المغطاة بالغابات تكون مستقرة ومتوازنة، وكميات الرواسب الناتجة عنها قليلة. في حين ارتفع معدل كمية الرواسب في الأراضي الزراعيّة إلى (٢٣٠ طن/كم٢) مع حدوث حالات إطماء وترسيب في المجاري المائية وعلى جوانبها، وذلك لزيادة وزن الحمولة على قدرة النقل في الأنهار. وفي المرحلة السابقة للعمران، التي تُزال فيها الغابات والزراعات، انخفض معدل الحت إلى (٧٥طن/كم٢) بسبب نمو الحشائش وبعض الحراج. ومع بدء مرحلة الإنشاءات الهندسية وعمليات الحفر وازدياد حركة الشاحنات. شهد معدل الحت ارتفاعاً خطيراً بلغ نحو (٨٠٠ طن /كم٢) خلال فترة وجيزة راوحت بين (١-٣) سنوات. ثم انخفض بعد اكتمال العمران، وتحول السطح الحضري إلى سطح كتيم من الإسمنت والإسفلت. (عبد الحميد كليو :١٩٨٥، ص ٢٥).

حدد (Kugler 1968) أربعة ضوابط لا بد من دراستها لدى اختيار مواقع المدن، وهي:

١- الوضع الجغرافي للمنطقة بشكل دقيق.
٢- التوزع التفصيلي لأشكال سطح الأرض بإعداد خرائط جيومورفية لها.
٣- تحديد خصائص السطح (الارتفاعات، والتقطع ، وزوايا الانحدار، والتضرس المحلي).
٤- حجم تضاريس سطح الأرض المتغيرة أو المتحركة في المنطقة (القنوات المائية، والكثبان الرملية، والجزر النهرية).

يمكن إضافة دور العمليات الجيومورفية وهي الأكثر أهمية برأينا، لما تتصف به من تغيرات آنية وحساسية عالية تجاه التغرات المكانية، ولا يمكن درء خطر ظاهرات سطح الأرض، و/ أو الاستفادة من تضاريسه، إلا بفهم العمليات المسؤولة عن نشوئها وتطورها.

تؤثر أشكال سطح الأرض في تحديد مواقع المدن وتطورها ومخططاتها التنظيمية. فزيادة تقطع السطح بالمجاري المائية يتطلب إنشاء الجسور، وأن تكون أساسات الأبنية مقاومة لما ينتج عن حركة المياه دونها، وعمليات التجوية والترطيب وارتفاع مستوى سطح الماء وانخفاضه، ويمكن الاستفادة من هذه المجاري كقنوات نقل نهرية أقل تكلفة، كما هي الحال في مدينة البندقية شمالي إيطاليا، صورة رقم (٣-٩)، بالإضافة إلى تحويل بعض هذه المجاري إلى قنوات صرف صحي للمياه المنزلية والصناعية لنقل مخلفات المدينة بعيداً عنها، مع الأخذ بالحسبان الحفاظ على النظام البيئي سليماً متوازناً.



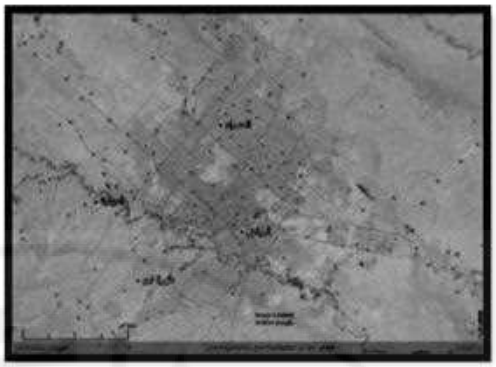
صورة رقم (٣-٩) مدينة البندقية وقنواتها المائية.

من أمثلة تحكم التضاريس بشكل المخططات التنظيمية للتجمعات السكانية، ما تفرضه المنحدرات الشديدة المحاذية للسهول الفيضية أو الساحلية الضيقة، على المدن والبلدات من امتداد طولي، وتركّز عمراني، وازدحام مروري، وارتفاع أسعار العقارات، ومثال عليها مدينة جنوه شمال غربي إيطاليا، حيث تقترب الجبال من البحر التيراني تاركة سهلاً فيضياً لا يزيد اتساعه في أقصاه على (٣) كم، بينما تمتد المدينة على مسافة (١٩) كم. ويلاحظ اتساق واضح بين مخططها التنظيمي ونمط طبوغرافية الموقع. حيث بنيت مباني الأحياء الداخلية على مدرجات المنحدرات المتجهة نحو البحر، كما امتدت المدينة نحو المراوح السيلية للأودية، ويتكرر هذه الحال في معظم السواحل الصخرية الضيقة للبحر المتوسط. صورة رقم (٤-٩).



صورة رقم (٤-٩) الامتداد الشريطي لمدينة جنوا الإيطالية.

وعلى العكس تماماً يلاحظ اتساع المباني في المناطق السهلية والهضبية المفتوحة، كمدن مدريد و الرياض وأربد، التي تتخذ مخططاتها العمرانية أشكالاً تناسب خصائص السطح المنبسط، فتمتد على شكل مستطيل أو شطرنجي. صورة رقم (٥-٩).



صورة رقم (٥-٩) امتداد مدينة الرياض المربع والتقسيم الشطرنجي لأحيائها.

وعلى الرغم مما توفره المناطق الجبلية من عامل الحماية، إلا أنها تحد من توسع العمران أفقياً، فيتجه رأسياً لتصبح المباني متعددة الطوابق، وغير واسعة، وذات تكاليف عالية. وتقدم مدينة معلولا في جبال القلمون السورية، أفضل الأمثلة عن ذلك، صورة رقم (٦-٩). وكذلك أحياء ركن الدين والمهاجرين فوق السفح الجنوبي الشرقي لجبل قاسيون في دمشق.



صورة رقم (٦-٩) منازل بلدة معلولا الجبلية.

وتوفر المناطق الجبلية سهولة صرف مياه الصرف الصحي، إلا أن صعوبات عدة تواجه البناء والخدمات، فترفع من قيمة العقارات، كتسوية المنحدرات، ومد شبكات المياه الصالحة للشرب، وإنشاء الطرقات في نطاقات ضيقة ومتعرجة. فضلاً عن احتمالات حدوث الانزلاقات والانهيارات في جبهات الجبال غير المستقرة، أو في حال اتجه ميل طبقاتها وانحداراتها نحو المنازل، أضف إلى ذلك مشكلة السيول، كحال حي الشيخ خالد بدمشق،

الذي تعرض لسيول عارمة جرفت السيارات ووضعتها فوق بعضها البعض. صورة رقم (٧-٩).



صورة رقم (٧-٩) سيل حي الشيخ خالد بدمشق في (٣/٢٠١٥).

وتعان المدن الواقعة بين الجبال والساحل خطر سيولها، كما هي الحال في مدينة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة (منى)، وقد أنشئت العديد من القنوات لصرف مياه السيول، إلا أنها فشلت في أداء مهمتها في بعض الفيضانات الاستثنائية. صور رقم (٨/٩/١٠-٩).





صورة رقم (٨-٩) السيول في منى (٢٠١٥)م. صورة رقم (٩-٩) قنوات صرف المياه في مكة المكرمة.



صورة رقم (١٠-٩) بلوغ مياه السيول إلى الحرم المكي.

رابعاً- تأثير العمليات الجيومورفولوجية في التحضر:

تخضع أحواض التصريف المائي-الحضرية لعوامل مناخية وجيولوجية متغيرة، وتدخلات بشرية مفرطة. لذلك يجب تحليل كل ما يتعلق بطبيعة العمليات الجيومورفية، من حيث نوعها وشدتها وتكراريتها ومساحة تأثيرها وفترة حدوثها أو دوامها، ولا يمكن بأي حال من الأحوال وضع حلول منطقية لأي مشكلة جيومورفولوجية، إلا بعد فهم حدوثها. ويؤدي المستوى التقني والحضاري والوعي البيئي للتجمع السكاني دوراً مهماً في تسخير بيئته التضريسية دون إحداث الضرر بها، حيث تتأثر البلدات والقرى في المناطق الريفية بمحيطها الجيومورفولوجي، وذلك لصغر حجمها وارتباطها اقتصادياً بهذا المحيط، وضعف إمكانياتها التقنية لمواجهة المخاطر الطبيعية. في حين تكون المدن قادرة أكثر على تسخير محيطها التضريسي، إلاّ أن حجم الضرر في المدن أكبر في حال وقوعه، لكثافة السكان وتراص المباني. ويجب التنبيه هنا إلى أن من العمليات الجيومورفية ما هو دائم ومنها ما هو مؤقت، فالفيضانات دورية ودائمة في حين أن السيول عرضية ومؤقتة، مما يستدعي فهماً دقيقاً لكل ما يتعلق بالعمليات الجيومورفية وتحديد ما يقف وراءها من عوامل، وإعداد مخططات خاصة وخرائط نوعية، واستخدام مواد بناء مناسبة.

ومن الشائع تعرض مدن السهول الفيضية للفيضانات الدورية في قطاعاتها الدنيا، وذلك لقربها الشديد من القنوات المائية، وانخفاض منسوبها الطبوغرافي عن الحد الأعلى لارتفاع مستوى مياه الأنهار، وعدم اتخاذ الإجراءات الهندسية المناسبة لدرء خطر الفيضانات، وتعكس الفيضانات بأحجامها وفتراتها وتكرارها خصائص نظام الهطل من جهة، والصفات الشكلية والبنيوية لقناة المجرى المائي من جهة أخرى، بحيث تحدث الفيضانات مع تجاوز كمية المياه الجارية فيه عن الحد الذي يمكن أن تستوعبه المجاري المائية، وهي ظاهرة شائعة في مدن نهر المسيسبي وبخاصة نيوأورليانز، ومدن أوربية مثل العاصمة روما، التي يضطر الكثير من سكانها القريبين من نهر تيبر للبحث عن ملجأ على أسقف منازلهم، حين يتجاوز منسوب الهطل (١٣٠) ملم، وتنصح السلطات الناس بعدم التوجه إلى روما، وتتأهب فرق الإنقاذ في منطقة فينيتو شمال شرقي البلاد، بسبب ارتفاع منسوب مياه الأنهار، وفي بعض الحالات تم إغلاق مدخل مدينة بيزا الشمالية، بسبب فيضان نهر أرنو، صورة رقم (١١-٩).



صورة رقم (١١-٩) فيضان نهر تيبر على أحياء روما.

ولقد تسببت الفيضانات بمقتل نحو (١٩٣) ألف إنسان بين عامي (١٩٤٧-١٩٨٠)م، تصدرت آسيا قارات العالم بنسبة زادت على (٨٨%) منهم، أغلبهم توفي في الهند والصين وباكستان، صورة رقم (١٢-٩)، وذلك لأسباب تتعلق بارتفاع الكثافة السكانية حول الأنهار، وغياب إدارة المناطق الحضرية – النهرية، وتردي أوضاع التجمعات السكانية من الناحية الخدمية والهندسية. فعلى طول المنطقة الساحلية في بنغلاديش، وبالتحديد عند دلتا الغانج- براهمابوترا، أودت الأعاصير التي ضربت الدلتا مسببة الفيضانات بين عامي (١٩٧٠)م و (١٩٩١)م بحياة (٣٠٠) ألف إنسان و(١٣٨) ألف إنسان على التوالي، وفي عام (٢٠٠٨) ضرب إعصار نرجس Nargs الساحل الجنوبي لميانمار، مسبباً فيضانات ساحلية شديدة رفعت منسوب مياه البحر لأربعة أمتار، فغمرت أكثر من (٥)كم٢ من أراضي دلتا إيراوادي، وفقد ما يقدر بين (١٣٠-١٤٦) ألف إنسان حياته، وقدرت الخسائر المادية بنحو (١٧) مليار دولار أمريكي.



صورة رقم (١٢-٩) فيضانات في إحدى مدن باكستان التاريخية.

وتسبب الهطل الموسمي الغزير عام(٢٠١١)م بإغراق الأجزاء الشمالية والوسطى من تايلاند، مما ترتب عليه فيضان نهر تشاوفرايا في مصبه عند بانكوك، وأودى بحياة (٣٤٠) شخصاً، وخسائر بنحو (١٠٠) مليار بات أي ما يعادل (٤) مليارات دولار أمريكي، تشمل

أضراراً فادحة في مركز التصنيع الرئيس في المنطقة، والمسؤول عن ما يقرب من(٥٠%) من الناتج المحلي الإجمالي في البلاد.

وقد اقترح (Jha & Others: 2012. pp 46-49) اثني عشر مبدأ للإدارة المتكاملة لمخاطر الفيضانات في المناطق الحضرية على النحو الآتي:

١- لكل فيضان أسلوب مختلف عن غيره: وبالتالي لا يوجد خطة إدارة موحدة للفيضانات.

٢- يجب تصميم إدارة قادرة على التعامل مع التغيرات والمستقبل المجهول.

٣- يتطلب التحضر السريع تحقيق التكامل بين إدارة مخاطر الفيضانات والتخطيط الحضري والقرار السياسي.

٤- تتطلب الاستراتيجية المتكاملة استخدام التدابير الصلبة وغير الصلبة وبمقاييس مناسبة للحصول على التوازن الصحيح.

٥- تحقق البنى الهندسية المستخدمة لمواجهة خطر الفيضانات نجاحاً في مناطق دون أخرى من الأحواض النهرية، فما يناسب منها المجاري العليا لا يناسب الدنيا.

٦- من المستحيل القضاء كليا على خطر الفيضانات، فكافة التدابير المطبقة تكون إما صالحة على المدى القريب أو البعيد لكنها ليست دائمة.

٧- من المهم النظر وفق مدى أبعد من المجال الاقتصادي لتطبيق تدابير الحماية من خطر الفيضانات، وذلك في المجالين الاجتماعي والبيئي، ففي الدول المتقدمة لا تؤخذ القرارات بناءً على المنفعة الاقتصادية فقط، بل يؤخذ بالحسبان العواقب الاجتماعية والبيئية للمشاريع الهندسية.

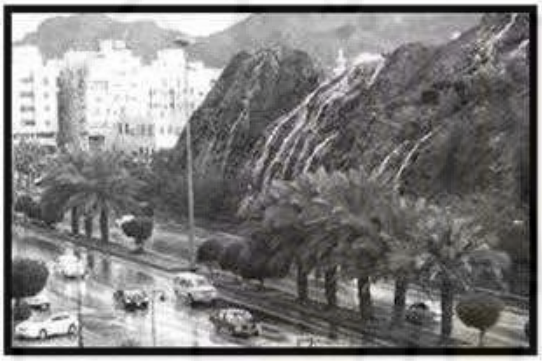
٨- وضوح المسؤولية عن بناء برامج الحماية من مخاطر الفيضانات وتشغيلها أو إدارتها. فغالبا ما تتداخل المسؤوليات بين السلطات الوطنية والإقليمية والبلدية والمجتمع المحلي، كما تختلف الملكيات وبالتالي المصالح، مما يتطلب تحديد جهة مسؤولة عن كل ذلك.

٩- يعتمد نجاح إدارة مخاطر الفيضانات على مدى التعاون بين الجهات المخططة والمنفذة من جهة، والمتضررين من الفيضانات أو من تدابير الحماية منها من جهة أخرى.

١٠- التواصل المستمر لرفع مستوى الوعي، وتعزيز التأهب، حيث ينزع السكان إلى نسيان أو تجاهل مخاطر الفيضانات بعد جيل أو جيلين من وقوع كارثة آخر فيضان.

١١- تجهيز خطة للتعافي بسرعة بعد الفيضانات، وإعادة بناء قدرات المجتمع، ويشمل هذا تخطيط الموارد البشرية والمالية المناسبة لتكون متاحة، واستخدام أفضل السبل لإنعاش مواقع الكارثة وتحصينها لتصبح مجتمعات أكثر أماناً.

ويمكن أن تقع الجبال ضمن المخطط التنظيمي للمدينة حين تحيط بها المباني وتنشأ فوق أقدامها الأحياء، فتمثل عقبات طبوغرافية تهدد بسيولها الطرقات والمباني، وهو حال العديد من مدن المملكة العربية السعودية، كمدينة مكة المكرمة والمدينة المنورة، صورة رقم (١٣-٩).



صورة رقم (١٣-٩) سيول جبال المدينة المنورة تهدد طرقاتها.

وقد أطلقت الجهات الدولية متمثلة بالوكالة الأمريكية للتنمية الدولية Agency for International Development (USAID)، ووزارة الآثار والسياحة المصرية إنذار الخطر عام (٢٠٠٩)م وتجدد عام (٢٠١٥)م (cairomedia@usaid.gov)، من تعرض تمثال أبو الهول لخطر ارتفاع المياه الجوفية في منطقة الجيزة، التي من الممكن أن تتسبب بتسرب الأملاح إلى الحجر الكلسي المكون للصخرة الأم التي نحت منها التمثال، وقد حددت مصادر المياه الجوفية بقنوات الصرف الصحي الرديئة وزحف العمران نحو قرية نزلة السمان ذات البنية التحتية المتدهورة أو المعدومة (Wells :2009).

خامساً- الأخطار الجيومورفولوجيّة التي تواجه التحضر:

يمكن إيجاز أهم المشكلات الجيومورفولوجية التي تعاني منها المدن، بما يلي:

١- **خطر هبوط سطح الأرض:** تتعرض بعض المدن كمدينة نيومكسيكو لهبوط مستمر بسبب سحب المياه الجوفية من خزانات تقع دونها، وقد بلغ معدل وسطي الهبوط في مركزها

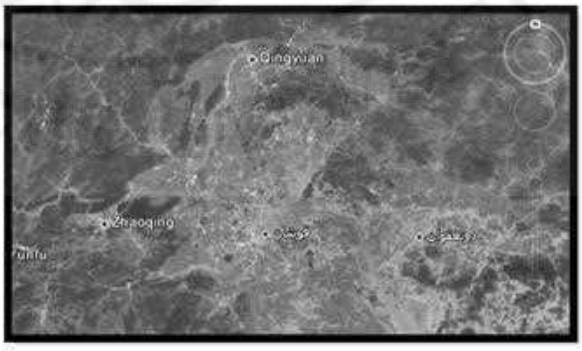
نحو (١٢)مم/سنة بين عامي (١٩٣٦-١٩٥٠)م، ولم يزد في الأطراف على (٠,٦)مم/سنة. كما زاد التقعر على المتر في حوض الدونباس الروسي، وضواحي موسكو بسبب استخراج الفحم من أعماق راوحت بين (٣٠٠-١٠٠٠)م. وأكدت الدراسات أن التقعر يبدأ عندما تنخفض نسبة الطبقة التي تعلو طبقة الفحم المستخرج عن (٣٠٠) مثل. أما مدينتا طوكيو وأوزاكا فقد بلغ معدل الهبوط في مركزيهما بين عامي (١٩٢٣-١٩٣٥)م نحو (١٨)سم/سنة. وكذلك الحال في لندن، التي بلغ هبوط سطح الأرض في بعض مواضعها نحو المترين كما في حديقة بايدن. وتسبب سحب النفط من باطن الأرض أسفل مدينة لونغ بيتش في كاليفورنيا، بخسف سطح الأرض نحو (٨,٨)م، مع حركة إزاحة جانبية بلغت (٣,٧)م، فتسبب ذلك بتكسر أنابيب المياه والصرف الصحي والغاز وسكك الحديد، مما اضطر الولاية لضخ نحو (١٠٠) ألف طن من المياه في التجاويف الباطنية لملء الفراغ، مع تكاليف تجاوزت الـ (١٠٠) مليون دولار، فتراجعت الأراضي المعرضة للهبوط من (٥٨)كم٢ إلى (٨)كم٢، وفي إيطاليا سببت مياه الأمطار المتسربة تحت كنيسة جيليتشيو Gellicchio في مقاطعة باسيليكتا Basilicata الإيطالية، تشقق جدرانها، فتحركت أساسات الكنيسة بسبب تشقق طبقة الحجر الرملي التي بنيت عليها، مع العلم أن البلدة إجمالاً بنيت في مناطق تصنف تبعاً لارتفاع كثافة مجاريها المائية ضمن الأراضي السيئة.(Verstappen:1983. P 152).

٢- **خطر التحلل الكارستي:** فمن المدن ما تعتمد على صرف قديم لمياه منازلها، التي تحتوي على نسب عالية من الأحماض، فتتعاظم قدرة مياهها على التحلل والإذابة، وقد لوحظ قطر مياه الصرف الصحي من أسقف مغاور جبل المقطم، حيث حولت مياه صرف أحد مشاريع الإسكان لشركة إيطالية عبر حفر ضمن الجبل، وذلك لتخفيض تكاليف المشروع، مما رفع من فرص التحلل وهبوط سطح الأرض. صورة رقم (١٤-٩). ويتجاوز خطر التحلل مسألة الهبوط السطحي في بعض المدن الأوربية، ليطال واجهات المباني، والمعالم التاريخية، والفنية والثقافية. التي بنيت أو نحتت من صخور كلسية أو جصية قابلة للتحلل والذوبان، فتشوهت وفقدت قيمتها الثقافية والتاريخية.



صورة رقم (١٤-٩) أحد كهوف جبل المقطم.

٣- **أخطار زيادة مساحات الأراضي الحضرية في الدلتاوات:** تصاب معظم الدلتاوات الكبرى التي تتعرض لاتساع استخدامات الأراضي الحضرية، بعدة مشكلات متداخلة ومتداعية، حيث ترتفع مستويات خطورة الفيضانات بسبب ارتفاع معدل الجريان السطحي، وهبوط سطح الأرض، وارتفاع مستوى سطح البحر، وانخفاض معدل تغذية المياه الجوفية لتحويل أجزاء كبيرة من سطح الدلتاوات إلى أسطح كتيمة، ومنها دلتا نهر بيرل (نهر اللؤلؤ) Pearl River Delta، ومدنها مثل: جوانغزيو Guangzhou، و هونغ كونغ، التي تعرضت لفيضانات عام (٢٠٠٨)م. مما يستدعي الحاجة لإدارة استباقية غير معتادة من خطر الفيضانات، فقد فشلت جميع الإجراءات الهندسية التقليدية في مواجهة هذه الأخطار. وقُدّر أن (٤٥,٤٧) مليون شخص قد تعرضوا لخطر الفيضانات في مجرى نهر بيرل حتى بداية شهر تشرين الثاني من عام (٢٠١٤)م، خلال موسم الفيضانات، حيث اجتاحت الفيضانات (٣١٥٦) بلدة، مما أدى إلى مقتل (٢٤٣) شخصاً، وانهيار أكثر من (١٦٠) ألف منزل، وخسائر اقتصادية بلغت قيمتها أكثر من (٤١) مليار يوان، أو ما يعادل (٥,٩٤) مليار دولار أمريكي.(Chan .K. Sh & Others: 2012.pp 44).صورة رقم (١٥-٩).



صورة رقم (١٥-٩) دلتا نهر بيرل (اللؤلؤ) جنوبي الصين.

٤- **خطر عمل المياه الجارية:** تتعرض المدن المقامة على ضفاف الأنهار أو على سفوح الجبال، لعمليات الحت المائي، مما يسبب انهيار الضفاف، وكل ما يبنى عليها، إن لم تتخذ الإجراءات الهندسية الدفاعية الضرورية لحمايتها، صورة رقم (١٦-٩).



صورة رقم (١٦-٩) تشقق وانزلاق ضفاف نهر الغانج، يسبب حت ٣١٩٠ هكتار سنوياً.

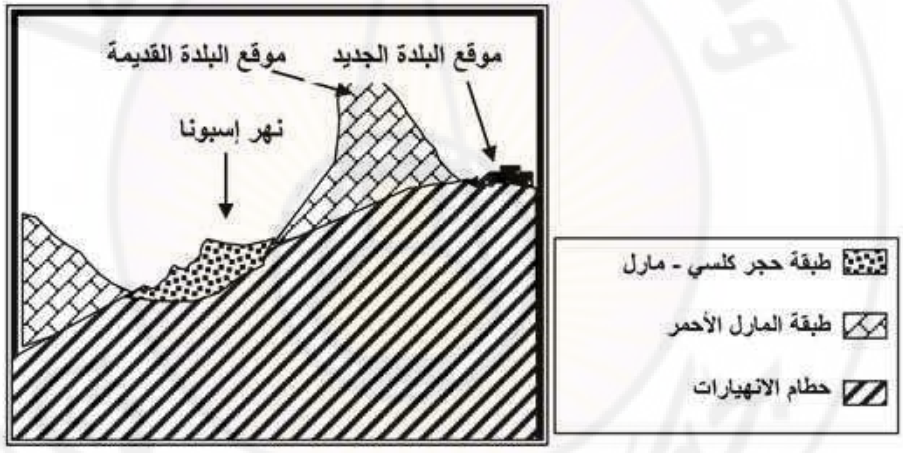
٥- **خطر العمل الريحي:** زحف الرمال ظاهرة تعاني منها أغلب التجمعات السكانية والمشاريع الاقتصادية في الصحاري. وتسبب اختفاء العديد من الواحات والقرى. كما تقطع الطرقات والمسالك في بعض أجزائها أو معظمها. وتتعرض العديد من الأوابد التاريخية لخطر الحت الريحي الاصطفائي الذي يشوه معالمها، فتنخفض قيمته التاريخة والفنية والثقافية. صورة رقم (١٧-٩).



صورة رقم (١٧-٩) زحف الرمال على مدرسة في بلدة أولاد سعيد شمال ولاية أدرار/ الجزائر.

٦- **مخاطر حركة مواد المنحدرات:** تفقد العديد من المنحدرات حالتها المستقرة بسبب عمليات التمهيد الهندسي. وتعد عمليات قطع أقدام الجبال أو حضيضها الصخري، من أخطرها. وذلك كون المنحدر يرتكز عليه في اتصاله مع محيطه المنبسط من سطح الأرض، ومع بتره أو قطعه يتم تحويله إلى جرف غير مستقر أو حر. يتعرض للدفع من القطاعات الأعلى من المنحدر. فتنهار أجزاء منه أثناء مرحلة التجهيز الإنشائي وبعدها. وبسبب تفاقم مشكلة المنحدرات وعدم استقرارها في بعض المناطق الجبلية النشطة

جيومورفولوجيا، أقترح نقل المراكز الحضرية فيها إلى مناطق أكثر أماناً. كما حدث في حالة بلدة بوغسيرجس Puigcergos، التي تقع في منطقة معقدة جيومورفولوجياً، على منحدرات تلية تعلو نحو (١٠٠)متر فوق نهر أشبونا Espona. تتكون الطبقة الصخرية التي بنيت عليها البلدة من تعاقب طبقات من الحجر الكلسي- المارل الأيوسينية. التي تقع دونها طبقة من المارل الأحمر الباليوسيني، وتميل كلتا الطبقتين بزوايا شديدة نحو الجنوب الغربي حيث تنشط عمليات الحت النهري الجانبي في طبقة المارل الدنيا. مما تسبب بحدوث تشققات وتصدعات في شوارع البلدة ومنازلها، فاضطر أهاليها لهجرها وبناء البلدة الجديدة في جهة الشمال الشرقي الأكثر أماناً من الناحية الجيومورفولوجية. شكل رقم (١-٩).



شكل رقم (١-٩) تغير موقع بلدة بوغسيرجس وتأثرها بالانهيارات والحت النهري.

ولا تقتصر العلاقة بين سطح الأرض والمدن، على تأثير الأولى في الثانية، بل تؤثر المدن أيضاً في العمليات الجيومورفية من حيث الكم والنوع. فقد أكد (Kotlov 1972) على أن أكثر من (٧٠%) من مشكلات المدن والأبنية في كندا، يعود لأسباب من صنع الإنسان، أو لعدم صلاحية الموقع للبناء. كما ذكر (Gug 1975) أمثلة عن أحواض التصريف المائي صغيرة المساحة، التي تبنى فوقها مدن كبيرة الحجم. فتسبب تناقصاً في الطاقة التسريبية بسبب الكتلة الأسمنتية والإسفلتية المغطية لسطح الأرض، مما يستدعي إنشاء قنوات صرف

مائي للفيضانات والسيول والحمولة بأنواعها، التي يجب أن يتناسب حجمها وشكلها مع خصائص الفيضانات والحمولة الرسوبية.

إن إحداث تغيرات جذرية في الأنظمة النهرية- وبالتالي البيئية – بسبب دواعي التحضر والعمران، ثم محاولة إعادة بناء النظام وترميمه، ليس بالأمر المتاح فعلياً، حيث تبقى الأنظمة الايكولوجية المصطنعة نسخة ناقصة وغير مطابقة لتعقيد الأنظمة الطبيعية، لكن يمكن إيجاد مقاربة بين البيئة المصطنعة والطبيعية، وذلك من خلال ما يعرف بالبيئة المضبوطة أو المُوَجّهة Controlled environment، التي تُنشأ لتحسين الأداء البيئي للمباني والقنوات المائية والمحميات الطبيعية – المصطنعة (أكرم العكام و إيناس العاني: ٢٠٠٩). وتساعد عمليات ترميم وإصلاح النظم البيئية من خلال إحداث ظروف مكانية جيومورفية ملائمة، على سلامة التخطيط الجيومورفولوجي – العمراني، فالهدف الأساسي للتدخل البشري في الطبيعة بعد تأمين احتياجاته منها، هو الحفاظ قدر المستطاع على توازنها البيئي، وذلك بتبني مفاهيم وطرق التكامل بين الأنظمة المصطنعة والأنظمة الطبيعية. فإما أن يتم السيطرة على البيئة الحضرية ضمن محيطها الجيومورفي، أو العكس. أي يكفل القائمون على عملية التحضر السيطرة على النظام الجيومورفي – البيئي دون الإفراط في إجهاده أو تدهوره، والأفضل دمج كلا الطريقتين والتوفيق بينهما في نهج شامل، فمعالجة مخلفات المدن قبل طرحها في الأنهار أو استخدامها في الري، يحافظ على الحدود الدنيا من التأثير السلبي للتحضر على الأنهار.

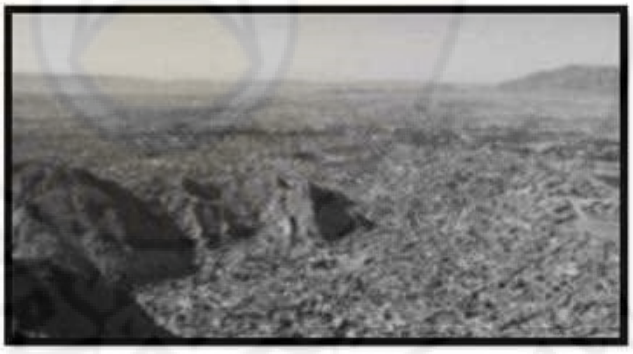
وتتنوع مشكلات المدن حسب محيطها الجيومورفي، فقد شيد أحد أحياء مدينة كويتاQuetta الباكستانية، التي بنيت عند أقدام أحد الجبال، صورة رقم (١٨/١٩-٩). فوق سطح أرض حصوية لمروحة فيضية، حيث تنشط ظاهرتا الفيضانات الغشائية السريعة، وتغير مواقع المجاري المائية المضفرة. كما بني جزء آخر فوق رواسب قاع الوادي الناعمة. أما مركز المدينة فبني فوق رواسب فيضية ذات مياه جوفية قريبة من السطح. وقد بينت الدراسات أن المنطقة المكونة من الرواسب الناعمة، تتأثر بشكل كبير بالهزات الأرضية، فتعمل على نقلها بشكل يحافظ على قوتها نسبياً مقارنة بالرواسب الخشنة، وكذلك الأمر في الرواسب الفيضية المشبعة بالماء، مقارنة بتلك الجافة في المروحة الفيضية. وقد لوحظ ذلك

خلال زلزال عام (١٩٣٥)م، حيث أصيب مركز المدينة بأضرار أكثر من محيطها، مما استدعى إعادة بنائها وفق مواصفات خاصة تتناسب مع الشروط والمعايير الجيومورفولوجية التي تناسب الوضع الجيولوجي للموقع.



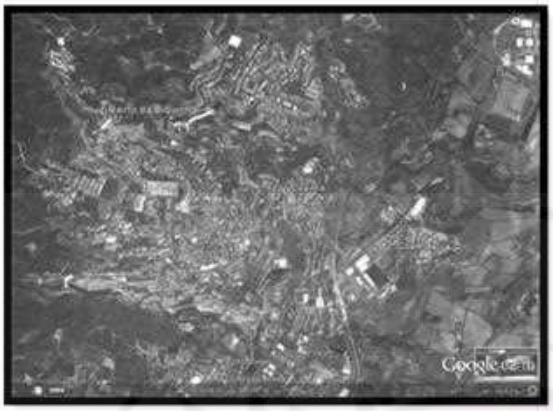
صورة رقم (٩-١٨) بلدة كويتا و ظهيرها الجبلي.

لذلك يتطلب حل مشكلات البلدة إنشاء شبكة قنوات وسدود تخزينية وتحويلية، لخزن المياه أو تحويلها للاستفادة منها زراعياً، في ظل مناخ شبه جاف يُدخل المنطقة في فترات جفاف متقطعة.



صورة رقم (٩-١٩) الجانب الشرقي من مدينة كويتا.

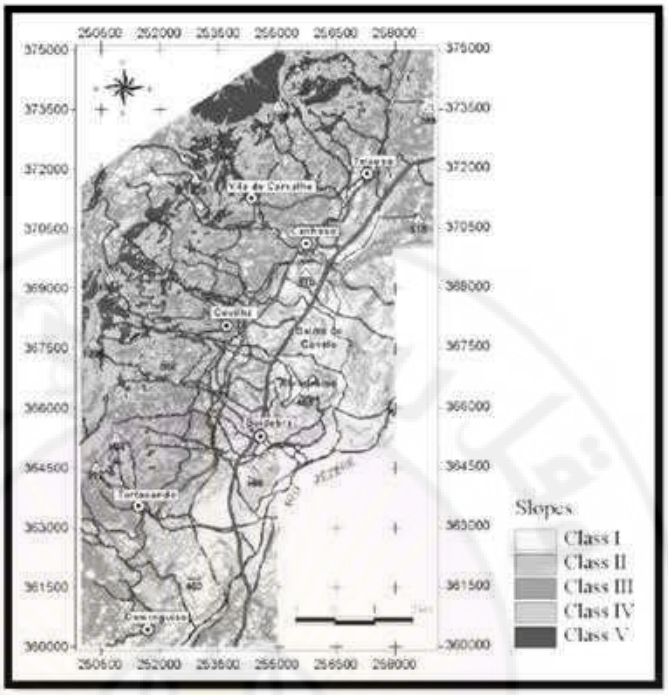
إن استخدام التقنيات الحديثة في حل المشكلات التضريسية - الحضرية، أمر يقلل من الجهد والمال والوقت، ومن التجارب العالمية الناجحة لاستخدامات نظم المعلومات الجغرافية، تلك الخرائط التي أعدت لدى دراسة تطوير وتوسيع بلدة كوفيلها Covilhã البرتغالية. صورة رقم (٩-٢٠). (Carvalho & Others: N. D).



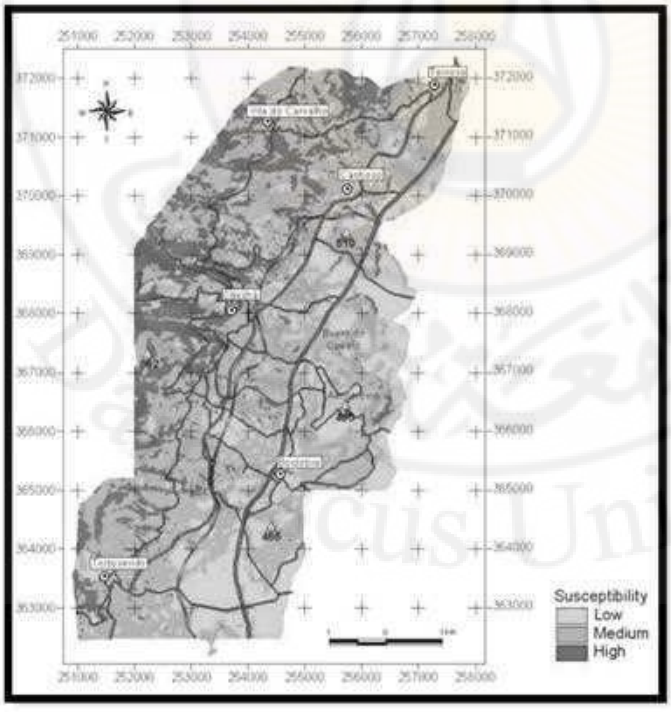
صورة رقم (٢٠-٩) بلدة كوفيلها البرتغالية، ونمط توزع أحيائها.

وقد عانت البلدة في العقود الماضية انزلاقات عديدة سببت خسائر مادية متكررة، وذلك بسبب الظروف الجيومورفولوجية للموقع، حيث بنيت البلدة فوق السفح الشمالي الشرقي لجبل إيستريلا Estrela الغرانيتي، الذي يتميز بقيم تضرس مرتفعة، تراوح بين (٩٠٠-١٩٠٠)م، وسفوح شديدة الانحدار، مخددة بأودية عميقة ترفد نهر زيزيري Zêzere. كما أن تاريخ سطح المنطقة ينبئ بتعرضها سابقاً لحركات بنائية عنيفة، وقد وُسعت البلدة بشكل يتوافق مع خطوط التسوية في العديد من أحيائها، مما ضمن لها الأمان من مخاطر الانزلاقات، وبينت الخرائط الجيومورفولوجية الدقيقة مقياس (١:١٠,٠٠٠)، وجود علاقة مكانية واضحة بين الانحدارات الشديدة والمستويات العالية لخطر الانزلاقات، حيث ميزت الخرائط الموضوعية ثلاثة مستويات. تنخفض تدريجياً بالاتجاه من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي، شكلان رقم (٢/٣-٩).

ويجب التأكيد في هذا المجال أن أولوية معالجة مخاطر المنحدرات، تنطلق من وجود خطر فعلي على التجمعات السكانية والاقتصادية، ولا يمكن تقدير ذلك إلا بالدراسات الحقلية والنظرية الجادة، المدعومة بقياسات دورية لحدود الجروف الصخرية، ومواقع الكتل المستقرة، وتحديدها بدقة ليزرياً، وإعداد خرائط دقيقة توضح توزعها والمسارات المحتملة لها في حال تحركها، وميل الطبقات وعلاقته بانحدار السطح، ونظام الكسور والشقوق والصدوع، وتوزع الغطاء النباتي وكثافته وفترات نموه.



شكل رقم (٢-٩)
قيم انحدار سفوح محيط بلدة كوفيلها البرتغالية.



شكل رقم (٣-٩)
مستويات خطر الانزلاقات الثلاثة (المنخفضة والمتوسطة والعالية) في محيط بلدة كوفيلها البرتغالية.

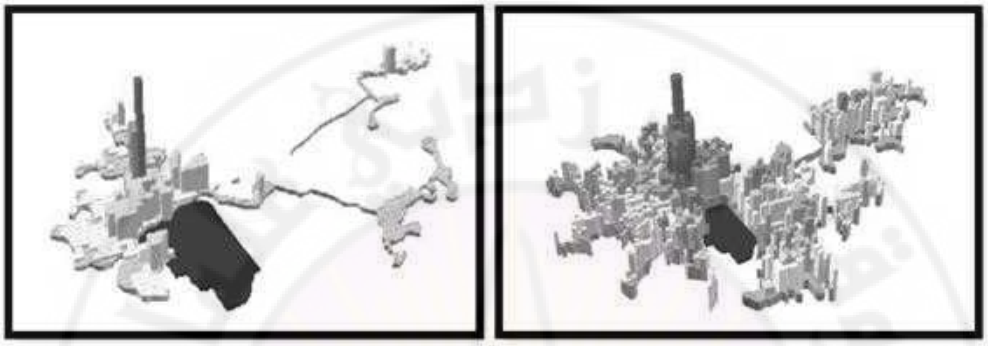
سادساً- استراتيجيات الحل والمواجهة :

تعد الدراسات الجيومورفية- الجغرافية المتكاملة ضرورية للتخطيط العمراني، فهي تأخذ بالحسبان مجمل الظروف المكانية على المستويين (المحلي والإقليمي)، والزمنية على (قديماً وحالياً ومستقبلاً)، وساعدت تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية من دقة العمل وجودته، وقد استخدمت هذه التقنيات لرصد تطور بلدة ساجار Sagar في هضبة الدكن الهندية، التي تحيط بها تلال فيندهيان vindhyan، وتحيط هي ببحيرة لاخا بانجارا Lakha Banjara، صورة رقم (٢١-٩). مما جعل الأراضي الزراعية محدودة جدا حول البلدة. كما أنها لا تحتوي على أية صناعات رئيسة، لذلك فإن معظم سكانها يعتمدون على العمل الزراعي وتوسيع رقعته على حساب الأراضي الطبيعية. كانت المناطق الحضرية من البلدة تشغل في عام (١٩٧٢)م ما نسبته (٧٧,٨٪)، في حين بلغت نسبة الأراضي الجبلية نحو (٢٢,٢٪)، أما في عام (٢٠١١) فبلغت النسبتان(٩٠,٥٪) و(٩,٥%) على التوالي. وقد توسع المخطط التنظيمي للبلدة عام (٢٠١١)م، فزادت زيادة الأراضي العمرانية نحو (٣٩٨٪) عما كانت عليه عام (١٩٧٢)م، في حين بلغت الزيادة في المنطقة الجبلية (١٨٢٪). وبالمقارنة بين المخططات، لوحظ تقلص شديد في مساحة الأراضي الزراعية الطبيعية لصالح الأراضي الحضرية، والعملية مستمرة منذ منتصف السبعينيات دون تخطيط سليم، شكلان (٤/٥-٩). وأظهرت دراسة الآثار الجيومورفولوجية على التوسع الحضري نجاح الأداة المساعدة لدمج صور الأقمار الصناعية لفترات متعاقبة، مع خريطة جيومورفولوجية تبين خصائص الأرض الحضرية، وأهمية ذلك في التخطيط الحضري الجديد، والنظر في عوامل مثل الموارد المائية، والأراضي المنحدرة واختيار منطقة العمران، لضمان توسع آمن للمدينة.



صورة فضائية رقم (٢١-٩) بلدة ساجار وهي تحيط ببحيرة ليخا بانجارا Lakha Banjara.

وفي دراسة مماثلة عن تقييم النتائج الجيومورفية للتوسع العمراني في مدينة جواليور Gwalior الهندية التاريخية بين عامي (١٩٧٢-٢٠١٣)م، التي تحيط بها مظاهر تضريسية، صنفت في أربع وحدات رئيسة، هي: شبه السهل، وشبه السهل المدفون buried pediplain ، والتلال المتخلفة residual hill ، وتلال التعرية denudational hill.



شكلان رقم (٤/٥-٩) مجسمان لبلدة ساجار الهندية عام (١٩٧٢)م على اليمين، و عام (٢٠١١)م على اليسار

ومن نتائجها أن البلدة القديمة التي بنيت بين تلال فيندهيان Vindhyan في الغرب و Bijawar في الجنوب الشرقي، وسهولها في جهة الشمال الشرقي، قد اتسعت بشكل عشوائي، وتبين من خلال مقارنة الخرائط والصور الجوية والصور الفضائية للفترة السابقة، أن مساحة التوسع بلغت نحو (٥٨)كم٢، منها قرابة (٥٠)كم٢ تم فوق المناطق شبه السهلية، والباقي في المنطقة التلية، وقد حسبت مساحة السهول التي تحولت إلى أراض عمرانية فبلغت (٣٣,٢)كم٢، في حين بلغت مساحة التلال المتحولة لأراض حضرية (٥,٦)كم٢، إلا أن التوجه نحو التلال يتم لتقلص مساحة الأراضي السهلية المتاحة، وقد استغلت منطقة التلال لبناء القلعة القديمة الشهيرة في البلدة لدواعٍ أمنية وعسكرية، ومن النتائج المهمة أن النمط العمراني الذي اختير للتلال هو المتعدد الطوابق، للاستفادة من المظهر الطبيعي المشرف على البلدة التاريخية. كما تأثرت حركة مياه النهرين اللذين يخترقان المدينة من شمالها إلى جنوبها، وهما نهرا مورار Morar و سورنريخا Swarnarekha، بما يعترضها من نفايات صلبة، وصرف الصحي، وأشجار مقتلعة من التلال.

من الدراسات العربية الناجحة، تلك التي أعدت عن مدينة مكة المكرمة، والتي جمعت بين الهندسة والجيومورفولوجيا، من خلال تكامل نظم المعلومات الجغرافية مع بيانات الاستشعار عن بعد. بهدف تقييم أخطار المنحدرات وعدم استقرارها، صورة رقم (٢٢-٩). فخرجت بخارطة دقيقة ومهمة، الشكل رقم (٦-٩)، (AL Solami. A & Others: 2006). ربطت بين الارتفاعات والانحدارات ضمن أربعة مستويات من الخطر، واستخدمت منهجية التحليل المكاني للتنبؤ بمناطق الانزلاقات الخطرة، وأشارت الملاحظات الميدانية إلى أن معظم الانهيارات الأرضية تقع في مناطق يزيد ارتفاعها على (٤٠٠)م.



صورة رقم (٢٢-٩) أحد المنحدرات الخطيرة، التي تجمعت منها مياه سيول مكة ١١/ ٢٠١٤م.

يمكن اتباع استراتيجية من ثلاث نقاط لمواجهة المشكلات التي تواجه المدن، وفي مقدمتها الفيضانات (Disaster Management Center :1986). وهي:

- التأهب لمواجهة الخطر بفرق متخصصة تؤمن عمليات التنظيم والإغاثة والإخلاء، ويواكبها عمليات رصد ومتابعة للعواصف المطيرة وكمية الأمطار ومنسوب المياه وحركة الأنقاض على السفوح، ومناسيب المياه الجوفية.
- اتخاذ إجراءات الوقاية التي تسبق حدوث الخطر الجيومورفولوجي: منعاً من وصوله لمرحلة الكارثة، ويعتمد نجاح هذه الخطوة على نوع الخطر وحجمه وخصائصه، وحجم المنطقة المعرضة للخطر، وخصائصها العمرانية والسكانية، والفترة المتاحة قبل حدوث المشكلة، ودقة عملية تقييم الخطر المحتمل.

- التخفيف من آثار الخطر والكارثة الطبيعية:هي فترة إعادة التأهيل والترميم والإعمار.

ولتحقيق ذلك يجب تأمين ما يلي في مركز إدارة الكارثة the Disaster Management Center (DMC) في الدول المعنية:

أ. توفر اختصاصات متعددة تتناول الحدث من حيث الوصف والتفسير والتحليل، ويكون معظمهم وفق ما يتطلبه نوع الخطر وأبعاده الاجتماعية والاقتصادية.

ب. تطوير العديد من المهارات والتقنيات المتعلقة بالإدارة.

ج. تحديد نطاقات عمل كل فرع من فروع العمل أو فرقه.

د. جمع البيانات وتنسيق المعطيات بين الفروع والخبراء.

هـ. دعم أصحاب القرار السياسي وإمكانية توفير بيئة عمل مناسبة.

ولسهولة التعامل مع الكوارث، يفضّل تحديد الأعمال حسب مراحلها، التي يمكن نميزها على النحو الآتي:

١. مرحلة ما قبل وقوع الكارثة: تستمر فيها عمليات المراقبة لأي مؤشر من مؤشرات الخطر، كتحول المياه في الأنابيب إلى وحلية، وانبعاث روائح البيض الفاسد الناتجة عن الكبريت فيها، أو غور مياه الآبار.

٢. مرحلة التحذير.

٣. مرحلة الطوارئ.

٤. مرحلة إعادة التأهيل.

٥. مرحلة الانتعاش.

٦. مرحلة إعادة الإعمار.

التكيف وسبل المواجهة:

حدد العلماء أربعة مستويات للتكيف مع الكوارث، وتتمثل بالآتي:

١- **المستوى الأول:** يخص من يقيم بشكل دائم في منطقة الخطر، بالرغم من إدراكه لذلك، ولا يتوفر من سبل المواجهة إلا الإخلاء والتحذير.

٢- **المستوى الثاني:** التعايش مع الأخطار في منطقة تعرضت للكوارث سابقاً، كالمناطق الزلزالية.

٣- **المستوى الثالث:** قيام سكان منطقة الخطر بإعادة توزع تجمعاتهم Redistribution، داخل منطقة الخطر، كمناطق الفيضانات.

٤- **المستوى الرابع:** التخطيط لهجرة السكان وإخلاء المنطقة نهائياً.

وتتنوع **أساليب التعامل مع الكوارث** الجيو- حضرية على النحو التالي:

١- التقليل من الخسائر: وهو الحد الأدنى من التعامل مع الكوارث، ويتم عن طريق تأمين المساعدات الاجتماعية، والحكومية، والدولية، ويعتمد هذا الأسلوب على التعامل مع النتائج.

٢- تقليل المخاطر ذاتها: كالسيطرة على البيئة، والتحكم بمناطق التعرض للكارثة، من خلال نظم الإنذار المبكر المتطورة، وتدعيم المنشآت وصيانتها، ويمكن أن يرتفع مستوى التدخل البشري إلى التحكم بأسباب الكارثة، فضلاً عن معالجة نتائجها.

٣- تطوير الجاهزية الاجتماعية: وهي أرقى الاستراتيجيات لمواجهة كارثة ما، وتهدف لتطوير أساليب الإخلاء، والطوارئ، واستخدام الأراضي، والقدرة على التنبؤ، ووضع خرائط دقيقة للمخاطر، وتنمية الوعي الاجتماعي عبر البرامج التربوية والإعلامية.

ويجب عدم الخلط بين مفهومي إدارة الكوارث Management of Hazards والإدارة البيئية Environmental Management، فالأولى مؤقتة حسب الحدث، تنتهي بانتهاء أسبابه ونتائجه، بينما الثانية دائمة ومستمرة، وقد تحول دون وقع الكثير من الكوارث، وتهدف إلى التنسيق بين مختلف المؤسسات المسؤولة عن البيئات الطبيعية والحفاظ عليها. (Downsand & Booth :2011.p 81)، والتدخل المناسب في حال تدهورها، ولا يعني هذا الحيلولة دون انتقال البيئات من نوع إلى آخر، وهو بحد ذاته استجابة طبيعية لتغيرات المناخ، أو توازن من نوع مختلف لتداعيات طبيعية لا تعني حتماً حدوث تدهور بيئي، كأن تتحول بيئة غابية إلى حراجية، أو شبه جافة إلى جافة، وبحيرات إلى سبخات.

سابعاً- الحلول المقترحة لمواجهة مشكلات المنحدرات:

١- إجراء دراسة جيومورفولوجية تفصيلية للموقع الجغرافي، والمحيط الجيومورفولوجي الذي تقع البلدة أو المدينة فيه. على أن تتكامل هذه الدراسة مع دراسات متنوعة بيئية وجيولوجية وهندسية، واختيار أفضل الأماكن لإقامتها و/أو توسعها. و إعداد خرائط دقيقة عما سبق من خطوات، وتحديثها كلما دعت الحاجة لذلك.

٢- تحديد مواقع البلدات الأفضل بالنسبة للأنهار، بترك مسافات مناسبة بعيداً عن مجاريها ومصاطبها وضفافها غير المستقرة، مع ضرورة وضع مخططات دقيقة لتعديل اتجاه المجاري المائية. والأفضل اختيار المواقع الفاصلة والمرتفعة بين الأودية والأنهار، التي لا تصلها مياه الفيضان والسيول، صورة رقم (٢٣-٩).

٣- إكساء الضفاف النهرية غير المستقرة، ومراقبة تبعات هذا الأجراء على القاع وتطوره، للحيلولة دون حدوث انهيارات وانزلاقات في الضفاف، وقد تتم عملية الإكساء لكامل المجرى فيتحول من مجرى طبيعي إلى قناة صنعية، مما يترتب عليه مخاطر قد لا تظهر على المدى القريب. صورة رقم (٢٤-٩).



صورة رقم (٢٣-٩) موقع بناء سليم جيومورفولوجيا، بين واديجورا وهراين، محافظة الداير /السعودية.



صورة رقم (٢٤-٩) إكساء حجري كامل للمجرى النهري.

٤- تجهيز المدن الواقعة على مسار السيول بقنوات أو مفيضات للسيول تتناسب مع حجم السيول وقوتها، على أن يراعى فيها عملية التنظيف المستمر والمراقبة الدائمة، وملحقات السلامة والطوارئ، والتنبه لضرورة أن تكون القناة قادرة ذاتياً على صرف مياه السيول وحمولتها أو مياه الفيضان وحمولتها، وألا تتسبب الأخيرة بنشوء حواجز أو اختناقات في فتحات العبارات فتطغى المياه على الجوانب وما يحيط بها من منازل وشوارع. صورتان رقم (٢٥/٢٦-٩).



صورة رقم (٢٥-٩) قناة صرف مياه فيضان ملوثة بالمخلفات الصناعية.



صور رقم (٢٦-٩) مفيض جدة

ويجب الانتباه إلى مسائل مهمة قبل إنشاء القنوات ضمن المدن: بحيث تكون أبعادها أكبر من أعلى احتمال للتصريف المائي والحمولة النهرية أو السيلية، وأن يؤخذ بالحسبان طبيعة هذه الحمولة وقدرة السيول التدميرية، وأن تجهز بقنوات تحويل لتخفيف الضغط عنها، وبدائل سريعة في حال انهيار أجزاء منها، وأن تجهز المباني والشوارع المسايرة لها بفتحات تعيد مياه الفيضان إلى القناة، مع إجراءات حماية مناسبة.

٥- اتباع سبل وطرائق مناسبة لحصاد مياه المدن باعتبارها مستجمعات مياه صنعية ممتازة تنخفض فيها كمية المياه المتسربة لكتامة سطحها – المكون من الإسفلت والاسمنت- من خلال تحويلها من الطرقات والأسطح إلى خزانات فردية بجوار كل منزل، أو تحويلها إلى منخفضات قريبة من التجمعات السكانية لإعادة استخدامها، أو توجيهها نحو بالعات وآبار طبيعية، أو صنعية لتغذية المياه الجوفية.

٦- اختيار الأماكن الآمنة للبناء فوق السفوح المستقرة وشبه المستقرة، مثال عن ذلك بلدتا جبعدين ومعلولا، اللتان بُنيتا على منحدرات جبال القلمون، إلا أن موقعهما مختلف جيومورفولوجياً، فقد بنيت بلدة جبعدين فوق ظهر (قفا) كويستا معلولا- يبرود، في حين بنيت معلولا في معظمها أسفل جبهة الكويستا المتداعية وعلى حدورها الغني بالكتل الصخرية المستقرة فوقه، صورتان رقم (٢٧/٢٨-٩).



صورة رقم (٢٧-٩) بلدة جبعدين وموقعها الآمن جيومورفياً.



صور رقم (٢٨-٩) بلدة معلولا التي بنيت اسفل جبهة الكويستا غير المستقرة.

٧-تجنب البناء فوق منحدر التراكم، أو فوق نطاقات الحضيض الصخري، باعتبارها قطاعات تجمع الحطام والمواد السطحية، وحماية المباني من الضغط الذي تمارسه هذه المواد في حال البناء فوقها، بجدران استنادية مناسبة.

٨- معالجة المنحدرات بالطرق التي ذكرت في الفصل السابق، قبل البدء بمشاريع البناء والإنشاء.

٩-الابتعاد عن المناطق الغنية بالتكهفات والمغاور، خشية انهيارها تحت وطأة وزن المباني وحركة وسائط النقل، أو معالجتها قبل الشروع بعمليات البناء.

١٠-بناء التجمعات السكنية بعيداً عن مسار الكثبان الرملية المتحركة. وتحويل مسار الرمال بعيداً عن المدن والقرى، بطرق هندسية أو عضوية (نباتية).

١١- نقل التجمعات السكانية - إن أمكن ذلك- بعيداً عن مسارات الكثبان الرملية المتنقلة والتي تتزود بالرمال من مناطق تكفل لها الحركة والزحف لفترات طويلة، حيث تصبح إجراءات الصيانة والحماية باهظة وتزيد على قيمة ومردود التجمعات، فالأفضل تغيير موقع القرى، وقد تهجر العديد من القرى لعدم قدرتها على مواجهة زحف الرمال، كما يشيع في السودان ومصر والكثير من القرى الفقيرة في أفريقيا.

١٢- حماية المدن الواقعة على السواحل الصخرية المعرضة للحت والتراجع، بالطرق اللازمة لحماية السواحل من الحت، كالجدران الإسمنتية والكتل الصخرية والإسمنتية، مع مراعاة المعايير والعمليات الجيومورفولوجية بذلك، بحيث لا يسبب توزع الكتل توجيه التيار البحري وانضغاطه نحو مناطق أخرى من ساحل المدينة أو البلدة، فيزداد فعله الحتي والتخريبي.

١٣-حماية القرى والمدن الواقعة في المناطق التي تتأثر بعمل الثلوج وحركتها من أخطارها، وذلك بتأمين مخططات مبنية على أسس السلامة العامة على المدى القريب والبعيد، أي تطبيق إجراءات الحماية من خطر الانهيالات الثلجية، وتأمين وصول المساعدات لهذه التجمعات في حال انعزالها عن محيطها بسبب التساقط الكثيف للثلوج.

دراسة حالة: جبل المقطم بالقاهرة

لخص (سمير سامي:١٩٩٧)، الحالة الجيومورفولوجية لهضبة المقطم، وشخّص مشكلاتها مع تحليل وتفسير معظم مظاهرها، وقد خرج بنتائج مهمة منها:

- أن اختيار موقع الأهرامات على الهضبة لم يتم وفق المعايير الجيومورفولوجية، بل لأسباب دينية، ولكن وفرت الهضبة شروطاً مناسبة لبناء الأهرامات، فسطحها مستو قليل التضرس، وهي بالمجمل مرتفعة عن السهل الفيضي بنحو (١٠٠)متر، ولا يزيد انحدارها العام على (٧) درجات.
- تخضع الهضبة للظروف المناخية الصحراوية، مما يرفع من وتيرة عمل التجوية الفيزيائية وعوامل التفكك..
- تنتشر فيها مظاهر عدة، ذات أصول كارستية وريحية ونهرية، كما توجد العديد من الكتل الصخرية المفككة بفعل التجوية الفيزيائية،

- حُددت أهم مشكلاتها الجيومورفولوجية: بتراجع معظم السفوح، وأخطرهما السفحان الشرقي والشمالي الشرقي نظراً لقربهما من الآثار، وخاصة هرم خوفو. صورتان رقم (٢٩/٣٠-٩). وتآكل الصخور الباطنية، وحت وتآكل الصخور السطحية، وتعرض قرية نزلة السمان للانهيارات.



صورة رقم (٢٩-٩) تقويض سفوح الهضبة بتراجعها من جهة الشرق.



صورة رقم (٣٠-٩) انهيار جرف نزلة السمان.

وقد أوصت الدراسة بالآتي:

أ. إكساء الجوانب المتراجعة وصيانتها بشكل دوري.

ب. ترميم الأجزاء المتآكلة من الأهرامات وأبو الهول. والمقابر المنحوتة وحماية الجوانب المعرضة للحت الريحي.

ج. إزالة الكتل الصخرية عند السفوح الشرقية والشمالية الشرقية للهضبة، لصعوبة إزالة المنازل، تجنباً لخطورة الانهيارات.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل العاشر

الجيومورفولوجيا التطبيقية والمشاريع الهندسية (السدود- الطرق – الجسور).

Applied Geomorphology and engineering projects (Dams - roads - bridges).

- الجيومورفولوجيا والسدود:

١. أنواع السدود.

٢. تأثير الشروط الجيومورفية في المواصفات الهندسية للسد

٣. الآثار الجيومورفولوجية لبناء السدود.

٤. مهام الجيومورفولوجيا التطبيقية فيما يخص السدود.

- الجيومورفولوجيا والطرق:

١. الطرقات والبيئات الجيومورفولوجية.

٢. المشكلات الجيومورفولوجية الناتجة عن الطرقات.

٣. الحلول والمقترحات لحماية الطرقات.

- الجيومورفولوجيا والجسور:

١. العوامل والعمليات الجيومورفولوجية المؤثرة في الجسور.

٢. المشكلات الجيومورفولوجية التي تواجه الجسور.

٣. سبل الحل والمعالجة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أولاً- الجيومورفولوجيا والسدود

إن تدخل الإنسان في النظام الجيومورفولوجي لأي منطقة أو إقليم، يجب أن يتم من خلال ما بات يعرف بالتصميم مع الطبيعة designing with nature، أي المنسجم معها. وينبغي أن يؤدي هذا النهج إلى استخدامات سطح أرض تأخذ بالحسبان الحفاظ على التوازن الجيومورفولوجي للنظم النهرية كأولوية بيئية، حيث يرتبط الغطاء الحيوي بالحاضن الجيومورفولوجي، لذلك لا بد من فهم آليات عمل النظم الجيومورفولوجيّة لتعزيز التخطيط المتكامل والإدارة الشاملة.

يعد منتصف القرن العشرين العصر الذهبي لبناء السدود متعددة الأغراض، الذي بدأ مع الانتهاء من تشييد سد هوفر (١٩٤٢)، حتى بلغ عددها حالياً نحو (٨٠٠,٠٠٠) سد في العالم، يعلو منها فوق (١٥)م ما يقارب (٤٠,٠٠٠) سد حتى عام (٢٠٠٦)م. (wikipedia. org). وشارك الجيومورفولوجيون في العديد من هذه المشاريع في الولايات المتحدة الأمريكية وأوربا، إلا أن مهمتهم اقتصرت على تحديد التأثير المتوقع للنهر في السد، وبعد نحو خمسة عقود أصبحت الدراسات الجيومورفولوجيّة معنيّة بتسليط الضوء على تأثير السد في النهر وحوضه، من خلال فهم العلاقة بين السدود ومحيطها التضريسي، فالعلاقة بينها شديدة التعقيد، فلا بد من تحديد الموازنة بين كل من قدرة النهر على حمل الرواسب، ونقلها، وكمية المياه والحمولة الداخلة إلى البحيرة والخارجة منها والعابرة للسد، وقدرة النهر على القيام بأعماله الجيومورفولوجية من حت وترسيب بحدها الطبيعي الأدنى، واستجابة الضفاف للحت والقاع لهذه الأعمال.(Brandt :2000). كما يتطلب الأمر الإشراف على جداول تدفق المياه بحمولتها في المجاري المائية، لتقييم تأثيرها في النظم الحيوية النهرية.فمثلاً تشرف اللجنة الاتحادية لتنظيم الطاقة Federal Energy Regulatory Commission (FERC) في الولايات المتحدة الأمريكية، على كافة المشاريع الكهرو-مائية. للنظر في الآثار المترتبة على بناء هذه المشاريع في الحياة البرية على قدم المساواة مع تأمين توليد الطاقة من جهة. والسيطرة على الفيضانات من جهة أخرى.

يساعد تصريف كميات محددة من مياه الأنهار في السيطرة على الفيضانات، واستعادة بيئة المصب- ولو جزئياً- لتوازنها الطبيعي، حيث تعمل الفيضانات الطبيعية على تنظيف الرواسب الطميّة منها أو إمدادها بها. وتحفيز نقل الرواسب الخشنة، وتسهيل غمر السهول

الفيضية وتجديد تربتها. وقد يضطر المهندسون بالسماح للفيضانات بالحدوث عند اضطرارهم لإزالة سد ما، لذلك يجب أن يشارك الجيومورفولوجي والجيولوجي و المهندس في تقييم حركة المياه والرواسب المتوقعة بعد عمليات التفجير. وهي مشكلات تتطلب حلولاً تضمن كبح جماح المياه والرواسب المحتجزة خلف السد، التي تمتلك بتحريرها طاقة جيومورفية عالية وقدرة عنيفة على التدمير.

تُبنى السدود عادة لأداء مهمة واحدة أو عدة مهام، أهمها: التخزين من أجل استخدامات الشرب والري والصناعة، ولتفادي خطر الفيضانات، وتنظيم تدفق مياه الأنهار، كما تساعد على حماية بيئات الثروة السمكية، وأداء أعمال ملاحية –تجارية تناسب حجمها وسعة بحيراتها ومتطلبات المراكز السكانية المحيطة بها أو المجاورة لها. ويعود أقدم سد معروف في التاريخ لعام (٣٠٠٠) ق.م، وهو سد جاوة في وادي راجل الواقع في منطقة جاوة في محافظة المفرق الأردنية، وتكثر أوابد السدود وبقاياها في بلاد مابين النهرين ومصر القديمة والصين والهند. ويعد سد مأرب أشهرها في الجزيرة العربية، الذي بدأ العمل به بين عامي (١٧٥٠ – ١٧٠٠) ق.م، وكان تصميمه ثلاثي الأبعاد بطول(٥٨٠)م، وارتفاع (٤)م،وقد استخدمت فيه الحجارة الكبيرة، وخضع لعدة تعديلات وإصلاحات آخرها ما قام به الحميريون عام (١١٥)ق.م، حيث زاد ارتفاعه ليصل إلى (١٤)م، مع خمس قنوات مفيض، واثنين من الأقفال، وقناة بطول (١٠٠٠)م،وفي عام (٣٢٥)م كان بإمكانه ري(١٠٠)كم٢ من الأراضي الزراعية، وكان لانهياره أكبر الأثر في انتشار القبائل العربية من جنوب شبه الجزيرة العربية إلى شمالها وشرقها.

يجب أن يتوفر في المواقع المختار لبناء السدود شروط خاصة. كاتساع الوادي ثم ضيقه، واستقرار منحدراته، ووفرة مياه النهر، ووجود شلالات عند موقع السد، وقساوة صخور الموقع وانعدام الشقوق والصدوع فيها. وكلما كانت خصائص الموقع مناسبة ساعدت على خفض تكاليف الإنشاء، وتقلل الجهد المبذول في تنفيذه، وإطالة عمر المشروع، في حين تتطلب المواقع التي لا تتوفر فيها معظم هذه الشروط بذل جهود كبيرة، وتطبيق تقنيات وطرق هندسية مبتكرة لتكييف المواقع وتهيئتها. لذلك لا بد من دراسات تفصيلية جيولوجيّة وجيومورفولوجيّة وهندسيّة وطبوغرافيّة وهيدرولوجيّة وحيويّة وجغرافيّة عن الموضع والموقع، وتدقيق ميداني متكامل، لدراسة المجال المحلي والإقليمي انطلاقاً من مكان إنشاء السد وحتى

أبعد الحدود المتوقعة لتأثيراته باتجاه المنابع والمصب. ويجب تأكيد أن حجم تأثير سلسلة من السدود على طول مجرى واحد، قد يسبب نتائج أكبر حجماً وأكثر خطراً من سد واحد كبير، فالسدود من المشاريع الهندسية التي تسبب تحولاً بيئياً يعكس حجمها والغاية منها. وأول هذه التغيرات في المشهد الجيومورفولوجي، هو إحلال بيئة بحيريّة بدل النهريّة السابقة. إلا أن آثارها الكارثيّة والتدميريّة كانت الأهم على الصعيد العلمي والعملي، ففي ولاية كاليفورنيا مثلاً تم إنشاء شعبة كاليفورنيا لسلامة السدود California Division of Safety of Dams (CDSD)، عقب انهيار سد سانت فرانسيس St. Francis، الذي بُني بالقرب من خانق سانت فرنسيس St. Francis عام (١٩٢٨)م، و ذلك بعد بنائه بعامين فقط، صورة رقم (١-١٠). وقد سبب وفاة (٥٠٠) شخص، وخسائر بنحو (٧٠) مليون دولار بسعر عام (٢٠٠٥)م، وذلك لإعادة النظر وفق مفاهيم علمية جديدة للتعامل مع الأنهار وشروط صارمة لإنشاء السدود.



صورة رقم (١-١٠) انهيار سد سانت فرانسيس، عام (١٩٢٨)م.

١- أنواع السدود:

يمكن تصنيف السدود حسب المعايير التالية:

أ. حسب شكلها: تتخذ بعض السدود شكلا قوسياً Arch dam، يناسب المناطق الضيقة من الأودية ذات الصخور المتينة، ويساعد شكله على توزيع الضغط الهيدروليكي على كامل السد. وقد تكون مستقيمة straight dam، تتطلب متانة في المواد وقدرة عالية على تحمل قوة الضغط الأفقي للمياه والرواسب. ويعتمد النوعان على الجاذبية في صرف مياه البحيرات عبر فتحات السد.

ب. حسب حجمها: يرتبط حجم السد بكمية المياه التي يمكن أن يحتجزها، والغرض منه، وقد وضعت اللجنة الدولية للسدودInternational Commission on Large Dams واختصارها (ICOLD) تصنيفاً لها حسب حجمها، حيث الكبيرة، هي كل سد يعلو فوق (١٥)م ويمتد لأكثر من (١٥٠) متراً. ويعد سد نوريك Nurek في طاجسكتان أكبرها على المستوى العالمي، صورة رقم (٢-١٠). بطول (٣٠٠٠)م. بينما تصنف السدود التي يقل ارتفاعها عن (١٠) ضمن فئة السدود الصغيرة. (ICID :1999-2000).



الصورة رقم (٢-١٠) سد نوريك.

ج. حسب استخداماتها: تستخدم السدود إما لخزن الماء، أو لتنظيم تصريف الأنهار، أو في الاستخدامات الزراعية، ولتوليد الطاقة الكهربائية، أو لأداء أكثر من وظيفة مما سبق، بالإضافة إلى الاستخدامات الترفيهية والسياحية والعلمية والبيئية وتخزين المياه الجوفية.

د. حسب مواد بنائها: تبنى السدود الحديثة من الأسمنت، والحجارة وهما نوعان من السدود التي يعتمد فيها على تثقيل وزنها كلما زاد حجم موادها وأبعادها، إلا أن السدود الحجرية صورة رقم (٣-١٠)،أكثر صموداً في وجه الزلازل، لما تتميز به من مرونة في ردود فعلها مقارنة بالسدود الأسمنتية.



صورة رقم (٣-١٠) سد غيثرايت Gathright القوسي في ولاية فرجينيا، مبني من الحجارة.

٢- تأثير الشروط الجيومورفية في المواصفات الهندسية للسد:

تتحكم بعض خصائص المجاري المائية وعملياتها الجيومورفية، بمواصفات السد الهندسية، وبنيته وشكله، وتكلفته، وعمره، ويمكن أن تتمثل هذه الضوابط الجيومورفية، (Harvey & Larsen: 2004). بما يلي:

١- يجب ألا يزيد حجم الفتحات من حجم السد على (٣٥%). ويمكن رفعها إلى (٥٠%) في حال كانت الأنهار ذات قدرة عالية على الترسيب.

٢- يتحدد طول السد باختيار أكثر المناطق ثباتاً بين ضفتي النهر، أي إنه يساوي عرض المجرى المائي في أكثر النقاط قوة ومتانة وثباتاً من القطاع العرضي للمجرى. وقد يزيد طول السد على عرض القناة لضرورات هندسية – جيومورفية لضمان وضع أكثر استقراراً. وكلما قصرت المسافة بين الضفتين قلت التكلفة شرط متانة الجوانب.

٣- درجة انحدار السد: لها دور كبير في مقاومة ضغط المياه ودفع كتلة جدار السد. ويفضل أن تكون عمودية على زاوية الجريان المائي و/أو خط الضفة bank line، أو أن تكون في موضع وسط بين التعامد عليهما. ومع أن البعض قلل من أهمية الزاوية في السدود النفوذة – ذات الفتحات – إلا أنهم أكدوا أهميتها في السدود الكتيمة، وقد حددت بنحو (٣٠) درجة لسدود المجاري العليا، التي تنخفض تدريجياً في السدود الأدنى ، لتصل إلى أدنى حد ممكن وهو (١-٣) درجات لسدود المجاري الدنيا، مع الإشارة إلى احتمال حدوث حت دوامي erosive roller أو تدفق غاطس plunging flow أمام السد مما يؤثر في بنيته واستقراره.

٤- يرتبط ارتفاع السد بارتفاع الضفاف عن القاع، الذي بدوره يتأثر بعمليات الترسيب أو الحت في حالات الفيضان. وتوصي الدراسات الهندسية بألا يتجاوز ارتفاع السد ارتفاع المصطبة العليا، وألا يقل عنها بأكثر من ثلاثة أقدام. ويجب أن تتميز الأقدام الثلاث الأخيرة من السدود الكتيمة بشدة قساوتها ومقاومتها، كونها تتحمل العبء الأكبر من عمليات الحت أثناء تفريغ السدود لتنظيفها من رواسبها، في حين تكون السدود النفوذة أخفض من مستويات التدفق التي تنقل حمولة حطامية كبيرة. إلا أنه يمكن تجاوز هذه الشروط حسب التكلفة المرصودة للمشروع. التي تزداد مع زيادة ارتفاع السد. وتكون لدواع بنيوية structural considerations في السدود النفوذة، ولزيادة حجم الصخور مع

زيادة الارتفاع في السدود الكتيمة. وعموماً تراوح نسبة ارتفاع السد إلى ارتفاع الضفة بين الثلث والثلثين.

٥- تصميم مقدمة السدود (الجذر): يجب أن تكون مصممة لتخفيف حدة الحت، وأن تتحمل ضغط كتلة الماء، ويفضل أن تبلغ ثلاثة أضعاف ارتفاع الضفة.

٦- تحديد مسار قناة المفيض: التي تستخدم لتصريف كميات المياه الزائدة، والتي قد تتسبب بانهيار السد، ويجب أن يتم اختيار بدايتها ونهايتها بعناية وحذر، بحيث لا تؤثر سلباً في جسم السد أو المجرى المائي.

٧- تدابير الحماية: يجب إكساء الضفاف الضعيفة من الحوضة و المجرى وسريره ببطانة وطريقة تكفل عدم تعرضها للحت. لضمان استقرار المنشأة.

تأثير ميل الطبقات في السدود والعمليات الجيومورفولوجية

تقف الأسباب الجيولوجية والتقنية وراء ثلثي حالات الكوارث الناتجة عن انهيار السدود، وبلغ عددها حتى عام (١٩٩٩)م نحو (٢٠٠) حالة. ويمكن تحديد العوامل الآتية :

أ. عدم إدراك العلاقة بين جدار السد من جهة، وصخور السرير النهري والضفاف من جهة أخرى، التي تقع عليها أساسات ومرتكزات (مناكب Abutments) السد.

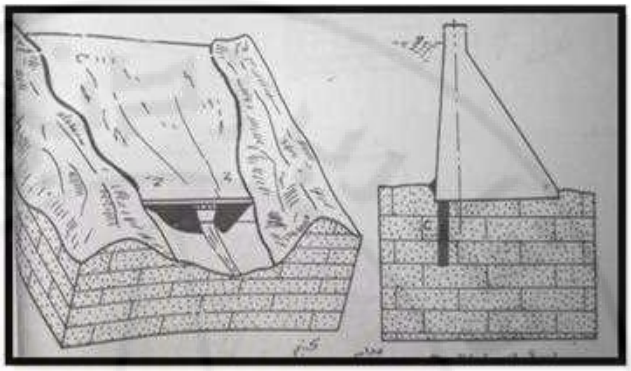
ب. تجاهل الخصائص البنيوية لصخور الوادي ومنحدراته، كالمسامية والصدوع، وتوضعها فوق صخور غنية بالتكهفات.

ج. الاستخفاف بالعمليات الجيومورفية مثل الارتشاح leakage والتسرب Infiltration، والحت المتراجع عند قناة تصريف المياه Spillway.

لذلك فإن وجود الجغرافي- الجيومورفولوجي العارف بآليات عمل الأنهار، أمر ضروري ضمن فريق التخطيط والتنفيذ والمتابعة والمشاركة بالإدارة والمراقبة لاحقاً. وعلى الرغم من كون ميل الطبقات الصخرية هو عامل جيولوجي، إلا أن له آثاراً جيومورفولوجيّة مهمة في السدود، يمكن إيضاحها على النحو الآتي (Narayanswami : 2000. P254-268):

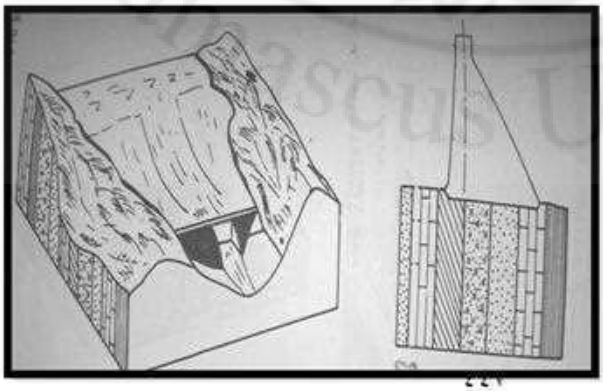
١- **السدود المبنية فوق طبقات أفقية:** ترتكز السدود وبحيراتها على سطح الطبقة الصخرية العليا، وتمارس ضغوطاً رأسية متعامدة عليها، وأخرى أفقية على جدار السد، ولذلك فإن استقراره منوط بمدى قساوة هذه الطبقات، ومتانتها، وسمكها، وفقرها بالشقوق

والصدوع، وعدم احتوائها على فراغات بين أسطح تطبقها، مما يسبب حالات خسف وانهيارات تهدد ثبات السد، أو قد تسرب المياه أسفل السد، لذلك يدعم بجدار كتيم ممتد أسفل منه موازيا لارتفاعه، وعموماً تساعد أفقية الطبقات على استقرار كل من السد وبحيرته، فهي من أفضل الشروط لبنائها.شكل رقم (١-١٠).

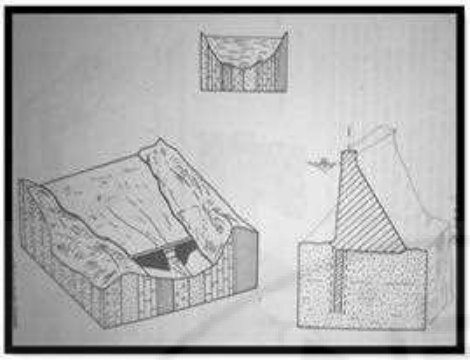


شكل رقم (١-١٠) السد فوق طبقات أفقية.

٢- **السدود المبنية فوق طبقات رأسية:** تمارس السدود ضغوطاً شاقولية على الطبقات الرأسية، وبالتالي فإن خطر أسطح التطبق في الأخيرة يوازي خطر الصدوع في الصخور الأفقية، شكل رقم (٢-١٠). فقد تتعمق الأنهار في هذه المستويات باعتبارها مناطق ضعف بنيوية، مسببة انهيار السد. لذلك يجب دعم السد بجدار إسمنتي يمتد أفقياً تحته يعزله عن الطبقات الصخرية. كما يمنع تسرب المياه بالرشح من السد، وقد تبنى السدود فوق طبقات رأسية بشكل موازٍ لها، شكل رقم (٣-١٠). وهي حالة أقل خطورة من سابقتها، حيث يتعمق النهر ضمن الطبقة الصخرية ذاتها، إلا أن خطر التسرب بين الأسطح البينية قائم. وتعالج المشكلة بجدار يمتد عميقاً موازياً لارتفاع السد.

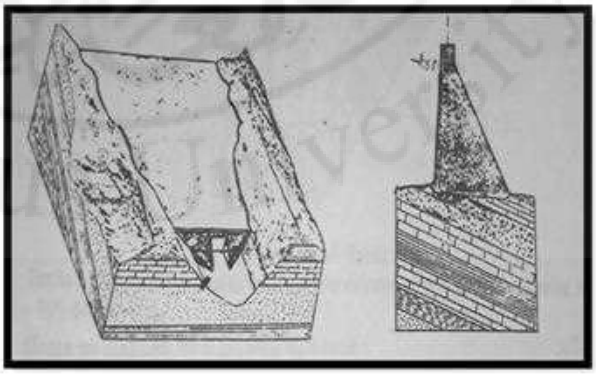


الشكل رقم (٢-١٠) السد فوق طبقات رأسية بشكل متعامد معها.



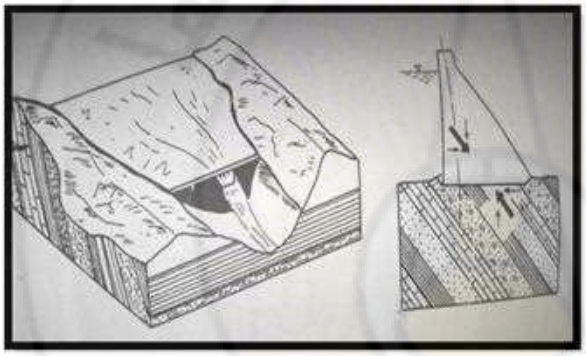
الشكل رقم (٣-١٠) السدود فوق طبقات رأسية مواز لها.

٣- **السدود المبنية فوق طبقات خفيفة الميل نحو المصب:** تميل الطبقات الصخرية في هذه الحالة نحو المجاري الدنيا. شرط ألا تتجاوز ميولها (٢٠) درجة. تضغط السدود بقوة رأسية على سطح الطبقات المنحدر أيضاً بذات اتجاه ميلها. فتتحول إلى ضغوط قص عليها. وكذلك الأمر فيما يخص كتلة الماء والرواسب في البحيرة، كما تضغط الأخيرة على جدار السد بقوة أفقية مائلة، وتكون المحصلة ضغطاً أكبر على جدار السد، شكل رقم (٤-١٠)، وتعاني سدود هذه الحالة مشكلة غاية في الخطورة. تتمثل بتعرض الطبقات الواقعة أمام قناة التصريف لحت رأسي متعمق- بلغ في سد ويلسون Wilson في ولاية تنسي الأمريكية نحو (١٠) أمتار- والذي يسبب بدوره حتاً تراجعياً نحو أسفل جدار السد، فيفرغ ما دونها بسبب انزلاق الطبقات مع ميلها نحو المجرى المائي. مما يؤدي في النهاية إلى تداعي السد من الأسفل واختراق المياه له وتدميره. وإذا لم يتم معالجة المشكلة، فيمكن أن تتسرب المياه من أسفل السد وجوانبه إذا كانت الطبقة السطحية منفذة، الأمر الذي يهدد ثبات السد.



الشكل رقم (٤-١٠) السد فوق طبقات تميل نحو المصب.

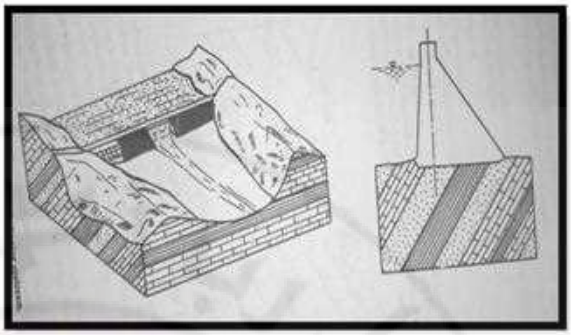
٤- **السدود المبنية فوق طبقات شديدة الميل نحو المجاري الدنيا:** يرتكز فيها السد على طبقات تميل نحو المجاري الدنيا بدرجة تزيد على (٢٠) درجة، شكل رقم (٥-١٠). وهي حالة تشبه السابقة، إلاّ أن ميل الطبقات يكون لمصلحة السد، حيث تحمل الطبقات السد وبحيرته وتقاوم ضغطهما، لتعاكس القوة الناتجة عن وزنه مع ميل الطبقات، وتواجه هذه الطبقات ضغوطاً كبيرة بفعل وزن مياه بحيرة السد ورواسبها، وفيما يخص تعمق المجرى بعد السد فيجب أن يكون بطيئاً نسبياً لمعاكسة ميل الطبقات له، ويبقى القلق مشروعاً من رشح المياه عبر أسطح التطبق، والتسبب بانزلاقات صخرية، وهي آلية تبدأ بتحويل الطبقات القابلة للتشبع بالمياه، إلى طبقات زلقة، لتتحرك الطبقات العليا فوقها تحت تأثير وزنها أو بفعل أي عامل محرك لها، مهددة استقرار جدار السد.



شكل رقم (٥-١٠) السد فوق طبقات شديدة الميل نحو المصب.

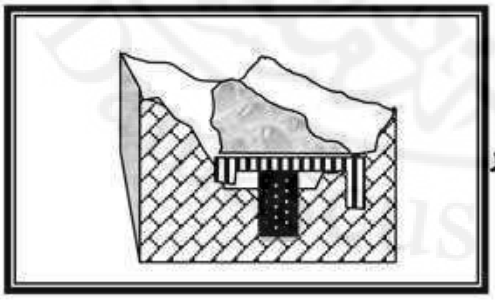
٥- **السدود المبنية فوق طبقات شديدة الميل نحو المنابع أو المجاري العليا:** يزيد فيها ميل الطبقات على (٢٠) درجة نحو المجاري العليا أي هي حالة معاكسة للحالتين السابقتين. شكل رقم (٦-١٠). تُحمل فيها البحيرة بمكوناتها من مياه ورواسب، وكذلك جدار السد، على طبقات صخرية تشكل بأسطحها البينيّة قواعد بنيوية جيدة، تتحمل القوى الممارسة عليها، برد فعل معاكس وآمن نسبياً، إلاّ أن الحت المتعمق للنهر ضمن الطبقات قد يكون أسرع من الحالة السابقة، لاتفاق الميل مع جهة حركة المياه، وتمثل أسطح التطبق بميولها الشديدة والمعاكسة لحركة المياه الجوفية، عائقاً يمنع رشح المياه من قاع البحيرة نحو أسفل السد أو من جوانبه. ولذلك يمكن تصنيف هذه الحالة بالأفضل لبناء السدود، إذا ما توفرت في الطبقات الصخرية صفات التماسك والقساوة والمتانة. وبذلك يعزز ميل الطبقات

ثبات السد ومقاومته للضغوط بمختلف اتجاهاتها، إلا أن مخاطر انزلاق طبقاتها وانهيارها على جوانب البحيرة أمر غير مستبعد في حال كانت ميولها نحوها.



الشكل رقم (٦-١٠) السد فوق طبقات تميل نحو المصب.

٦- **السدود المبنية فوق طبقات وحيدة الميل (جانبياً):** تحفر المجاري المائية أوديتها في طبقات وحيدة الميل، مما يعني ممارستها لعمليتي الحت الجانبي والرأسي بدفع طبقي متناسق مع ميل الطبقات. وبالتالي فإن عمليتي الحت النهري والساحلي – من قبل أمواج البحيرة- تؤدي إلى بتر الطبقات على طرفي الوادي و البحيرة، وتحرك المائلة منها نحوه لتنزلق باتجاهه. وحتى قبل انزلاقها فإنها تمارس ضغوطاً طبقيّة قصيّة على جدار السد، لذلك يجب تعزيز قدرته على مواجهتها بجدار رأس قاطع للطبقات، متعامد مع جسم السد. شكل رقم (٧-١٠). في حين يبقى الجانب الآخر أكثر أماناً لتعاكس ميل الطبقات مع اتجاه وزن الكتلة والطبقات الصخرية بفعل الجاذبية، إلاّ أنها معرضة للانهيار في حال تشكلت شرفات بفعل الحت الجانبي.



شكل رقم (٧-١٠) سد مبني ضمن طبقات وحيدة الميل، يشير السهم إلى جهة الضغط

٧- **السدود المبنية فوق الأودية- الصدعية:** تعد الأودية الصدعية من المناطق غير المفضلة لبناء السدود. لذلك يلجأ إليها المهندسون بحالات اضطرارية. وتتنوع مخاطرها

حسب نظام الصدوع فيها. ففي حال كانت خامدة وغير نشطة، انحصرت المشكلة بقدرتها على تسريب المياه وإمكانية تحركها تحت تأثير ذلك، كما تعد الصدوع بحد ذاتها خطوط ضعف سطحية، تتبعها المياه الجارية والجوفية، فتتعمق الأنهار السطحية فيها، وقد تشكل ممرات غائرة في نظام كارستي، مما يعني عدم استقرار الطبقات وأرضيات البحيرات. أما في حال كانت الصدوع نشطة، فإن بناء السدود بطرق تقليدية ضرب من الجنون، لما يمكن أن ينجم عنها من كوارث متسلسلة ومعقدة، فإن أي حركة اهتزازية لا يقدر السد على استيعابها، ستولد اهتزازات في جسمه، والكتلة المائية خلفه، والطبقات الحاضنة له. مما يعني ردود أفعال متباينة في طبيعتها بين القاسية والمرنة والسائلة، فيصبح السد كقنبلة مؤقتة انفجارها حتمي. وقد عانت خزانات وسدود نهر سان فرديناندو San Ferndando عام (١٩٧١)م من دمار وتدهور في حالتها الهندسية، سببت كوارث بيئية طويلة الأمد، بسبب طبيعة الصدوع حيث بُنيت.

٣- الآثار الجيومورفية للسدود:

إن أي تغير في جزء من مجرى مائي يستدعي ردود فعل من بقية أجزاء المجرى أو المجاري المنتهية إليه أو المتفرعة عنه، ويتخامد هذا الرد كلما ابتعدنا عن موقع التغير، ومن البدهي القول: إن هذه التغيرات تكون على المستوى الكمي والنوعي، أي إنها تشمل شكل المجرى المائي و منحدراته، والعمليات الجيومورفولوجية الناشطة عليه و به. وتختلف تأثيرات السدود بين الليل والنهار، وموسم الفيضانات والجفاف، فكمية الكهرباء المطلوبة في النهار أكبر من الليل، مما يعني السماح لكميات أكبر بالمرور عبر السد، بالتالي نحو المجاري المائية بعده، في حين ترتفع كمية المياه في مواسم الفيضانات لتخفيف الضغط على جدار السد، وتقل أو تنعدم في فصل الجفاف.

من التعديلات التي تحدثها السدود في المجاري المائية، تغيير أشكالها وخصائصها الهندسية، فتغير نمط المجاري المائية من مستقيمة أو متعرجة إلى مضفرة أمر شائع بعد السدود. حيث تنخفض نسبة الرسوبيات ويتعمق النهر ويضيق، وقد وجد شوم (Schumm 1963) علاقة بين نشوء المجاري المتعرجة، وانخفاض نسبة العرض إلى العمق، وزيادة نسبة الطين والغرين في محيط القنوات المائية، مما يعرض المنشآت والأراضي الزراعية

لخطر الحت والتعرية، باعتبار أن التعرج يقود إلى نشوء الأكواع النهرية، التي تصنف ضمن المظاهر المتنقلة بين جانبي السهل الفيضي. (Brandt:2000).

من حالات عدم توازن العمليات الجيومورفية في شبكة المجاري المائية بعد بناء السدود، ما يمكن أن تتعرض له نقاط التوافد مع المجرى الرئيس، فقبل بنائه يتعمق المجرى الرئيس وتتبعه في ذلك المجاري الرافده له، باعتباره مستوى أساس محلي لها، لكن مع انخفاض كميات التدفق في المجرى الرئيس، تتباطأ معدلات تعمقه، في حين تستمر الروافد بالتعمق فتزيل نقاط انقطاع الانحدار بينها وبين المجرى الرئيس. أو تتراجع نحو منابع الروافد بالحت الصاعد والرأسي، مما يؤثر على استقرار ضفافها وأسرّتها النهرية، التي تنهار فتتسع المجاري المائية، على حساب ما أحاط بالنهر من منشآت أراض زراعية.

ومن النتائج البنائية المهمة لملء السدود، حدوث اهتزازات أرضية، وهي صدى لردود فعل الصخور وطبقاتها على الضغط الرأسي والأفقي الذي نتج عن وزن الماء في حيز جيولوجي وطبوغرافي لم يكن متوازناً معه، وقد سجلت معدلات هبوط قيعان البحيرات الصناعية لبعض السدود أرقاماً عالية مثل بحيرة ميد Mead لسد هوفر (٢٠) سم بين عامي (١٩٥٠-١٩٦٣)م، وبين (٨-١٤) سم في بحيرة كوهينا Kohyna بالهند بين عامي (١٩٦٢-١٩٦٨)، وتختلف شدة الهزات الناتجة عن امتلاء البحيرات، حسب حجم البحيرة ووجود الشقوق في محيطها وطبيعة صخوره، وسرعة وصولها إلى مرحلة الامتلاء. وقد سجلت بعض البحيرات هزات زلزالية بلغت شدتها (٥) على مقياس ريختر، كما هي الحال في سد ماراثون Marathon اليوناني، الذي سجل هزات قوية بعد امتلاء بحيرته عام (١٩٣١)م، وتكرر الأمر مرتين عام (١٩٣٨)م، وكذلك الأمر في سد هوفر، الذي سجل منذ امتلاء بحيرته نحو (١٠٠) هزة خفيفة، بلغت أشدها عام (١٩٣٨)م نحو (٥) درجات، أما سد كوهينا- أكبر سدود ولاية ماهاروشترا Maharashtra الهندية- فقد أحدث خمس هزات زلزالية عام (١٩٦٧)م، بلغت أشدها قوة (٦,٣) درجة على مقياس ريختر، تسببت بمقتل (١٧٥) وجرح (١٥٠٠) آخرين، وقد يكون رد فعل الأرض على امتلاء البحيرات معقداً، ولا يقتصر على إحداث هزات زلزالية، فقد تسبب امتلاء بحيرة سد فاجونت Vajont في إيطاليا عام (١٩٦٣)م بهزات زلزالية سبّبت انزلاقات أرضية، أدت إلى هبوط ما يقارب (٣٠٠) مليون م٣ من الصخور في الخزان، فولد موجة عالية بلغ ارتفاعها (٧٠) متراً، تخطت السد

وهبطت من علوه البالغ (٢٥٠)م، دافعة نحو (٥٠) مليون م٣ من الماء عبر وادي بايفي Piave، فأغرقت قراه وأودت بحياة (٢٠٠٠) شخص. صورتان رقم (٤/٥-١٠).



صورة رقم (٤-١٠) انهيار سد Vajont (١٩٦٣)م .



صورة رقم (٥-١٠) موقع الانزلاق الأرضي عام (١٩٦٣)م.في جبال توك Toc .

حُددت أهم الآثار الجيومورفية للسدود على العمليات الجيومورفية حسب مواقعها، على النحو التالي:

١. الإرساب في المجاري العليا Upstream aggradation: ويتم أمام السد، حيث يقدّر حجم الرواسب التي تحتجزها سدود العالم بين (١٥-٢٠) مليار طن لعام (٢٠٠٦)م. في حين قدّر حجم المياه التي يحتجزها أكبر سدود العالم، وهو سد الخوانق الثلاث The Three Gorges Dam المبني على أحد الروافد العليا لنهر اليانغتسي في الصين، بنحو(٣٩)كم٣، وهو ما يعادل (٤,٣%) من إجمالي ما صرفه النهر من مياه بين عامي (١٩٥٠-٢٠٠٥) والمقدر بـ (٩٠٣)كم٣، في حين قُدر حجم الرواسب المحتجزة في بحيرته بنحو (١٧٢) مليون طن للفترة بين (٢٠٠٣-٢٠٠٨)م. وقد بينت دراسة مقارنة لحوضين متماثلين في كميات الرواسب في جنوب منطقة ساسكيتشيوان Saskatchewan الكندية، هما: حوض ليمس فورد Lemsford و حوض ساسكتون Sasktoon - وقد بُني على الأول سد غاردنير Gardiner - ارتفاع كميات الرواسب فيه من (١,٨) مليون طن قبل السد عام (١٩٦٢)م إلى (٦,٩) مليون بالمتوسط خلال الفترة الانتقالية من إنشائه بين (١٩٦٣-١٩٦٦)، وإلى (٧,٩) مليون طن بالمتوسط، للفترة التي تلت الانتهاء من

البناء بين (١٩٦٧-١٩٧٠)م، في حين ارتفعت كميات الرواسب في حوض ساسكتون من (١,٨) إلى (٣,٢) ثم انخفضت إلى (٠,٧) مليون طن خلال الفترات السابقة.

٢. حت المجاري الدنيا Downstream erosion: ويتم خلف السدود، راوحت معدلات الحت في عدد من أنهار الولايات المتحدة الأمريكية التي أنشئت عليها السدود، بين (١٠سم/سنة) في نهر أركنساس Arkansas و(٨٠سم/سنة) في نهر ساوث كندي South Canadian. وتختلف معدلات الحت خلف السدود حسب طبيعة الأنهار والاختلافات المحلية والإقليمية بينها، فقد راوحت بين (١,٥-٢) م لمسافة (١٦) كم خلف سد نهر ريد Red، وبين (٢-٣)م لمسافة (٣) كم خلف سد نهر ولف كريك Wolf Creek، غربي الولايات المتحدة الأمريكية.

٣. الحت الساحلي Coastal erosion لضفاف بحيرات السدود.

٤. تغير أشكال المصبات والسواحل: فمثلاً تأثرت بحيرات دلتا النيل، ومستوى المياه الجوفية ونوعيتها سلباً بعد بناء خزان أسوان عام (١٩٠٢)م، وتعليته الأولى سنة (١٩١٢)، والثانية (١٩٣٣)م، فتراجع ساحل الدلتا نحو اليابسة المصري قرابة كيلومترين، مع العلم أن خزان أسوان كان يحتجز نحو (١,٥) مليون طن فقط من طمي النيل، في حين أن السد العالي يحتجز ما نسبته (٨٨%) من كمية الرواسب التي كانت تصل إلى موقعه، والمقدرة بنحو (١٣٤) مليون طن. وقد سبق تحديد آثار ذلك في فصل السواحل.

ومنذ خمسينيات القرن الماضي، حاول العلماء إيجاد علاقة رياضية بين المتغيرات المسؤولة عن تغير شكل المجاري المائية وقدرة النهر على نقل الحمولة transport capacity (k)، ومنها معادلة (Lane 1955) وتتخذ الصيغة التالية:

$$LD \sim QS$$

حيث: L: الحمولة المنقولةtransported load.

D: حجم حبيبات مواد السرير النهري bed-material grain size.

Q: كمية الماء المنصرف water discharge.

S: الانحدار slope.

وقد رصدت تسع حالات حددت العلاقة بين كمية التصريف (Q) وقدرة النهر على النقل (k) والحمولة النهرية (L) مع نتائجها على النحو التالي:

١ – انخفاض التصريف، وزن الحمولة أقل من قدرة المياه الجارية على النقل:

لاحظ غريغوري وبارك (Gregory & Park 1974) أن انخفاض قمة التصريف قبل السد بنحو (٤٠%) قلّص قدرة النهر على الحت بنسبة (٥٤%) في المجاري الدنيا بعد خزان كلاثورثي Clathworthy على نهر تون Tone في بريطانيا، في حين تحتفظ الروافد بقدرتها على الحت والنقل لعدم تأثرها مباشرة بالسد، ومن طبيعة الحت النهري أنه تفاضلي، فيعمق النهر أخفض نقاط السرير، ومواقع تجمع الرواسب الناعمة فيه، في حين تنتشر النباتات على بقية المجرى وتنمو داخل سهله الفيضي، وتعمل كمصائد تتجمع خلفها الرواسب القادمة مع مياه الروافد في المجرى الرئيس قرب مواقع التوافد. وهي كميات يعجز الماء في المجرى الرئيس على نقلها، فتتشكل بذلك حواجز تليها منخفضات، في توزع جديد لسلسلة البرك والحواجز، مما ينعكس على طبيعة التدفق والعمليات الجيومورفية الناتجة عنه، فتنشط آليات الحت الجانبي ليتعرج المجرى، ثم تتشكل الأكواع النهرية، وينشط بذلك حت الجوانب وانهيارها شرط توفر تدفقات مائية تضمن ذلك.

٢ – انخفاض التصريف ويساوي وزن الحمولة مع قدرة المياه الجارية على النقل:

كما في الحالة الأولى فإن انخفاض الماء في المجرى الرئيس سيؤدي إلى زيادة معدلات الترسيب،وتناقص عمق السرير وعرضه لتجمع المياه في أخفض النقاط، ويرافق ذلك إنشاء مدرجات وسهول فيضية جديدة، ومع تساوي قدرة النهر مع حجم الحمولة، فلن تكون عمليتا الحت والتعرية فعّالتين، وسيصبح ترسيب الروافد أكثر انتشاراً مما كان عليه في الحالة الأولى، لعدم قدرة النهر الرئيس على إزالتها ونقلها. ويكتفي الماء الجاري بإعادة توزيع رواسب المجرى الرئيس و روافده، مع زيادة محدودة في اكتساب مياه النهر الرئيس مزيداً من الطاقة بعد نقاط التوافد لزيادة حجم المياه، إلا أن هذه القدرة تتناسب مع كمية الماء الجاري القادم من الروافد وحجم حمولتها.

٣ – انخفاض التصريف، ووزن الحمولة أكبر من قدرة المياه الجارية على النقل:

كما في الحالتين السابقتين وبسبب انخفاض كمية الماء الجاري، سيتعرض المجرى الرئيس لتناقص في معدل التعميق أو التعريض، وبما أن الحمولة أكبر من قوة الماء الجاري على حملها، فإن حالة من الإطماء aggradation ستسود في المجرى، مع حالة من الفرز تنظم عملية الترسيب بناء على حجم مكونات الحمولة، بحيث تترسب الخشنة منها وسط السرير، في حين تترسب الناعمة على جانبيه. مع توقع زيادة في معدل الترسيب من الروافد

وفي البرك pools، كما يمكن أن تشهد مناطق الحواجز riffles والمسارع rapids ترسيباً مع زيادة حجم الحمولة، إلا أن السماح للماء بالتدفق من الخزانات في حالات الفيضانات للتخفيف عن السدود، سيعيد للنهر قدرته الطبيعية على النقل وإزالة الرواسب من سريره، وهو ما يتم بين الحين والآخر في بعض أنهار الصين ذات السدود التنظيمية، أما في حالة التيارات المنخفضة والمتوسطة الشدة، التي تكون مشبعة saturated برواسب الفيضانات. فإنها تجنح لترسيب المواد الطمية الناعمة، مما يعني رفع سوية قاع السرير وتقليص الفارق بينه وبين ضفافه وسهله الفيضي، مما يرفع من خطورة الفيضانات اللاحقة.

٤- كمية تصريف منتظمة، وزن الحمولة أقل من قدرة المياه الجارية على النقل:

في حالة انخفاض كمية الحمولة فإن تغيراً بسيطاً يطال حجم المقطع العرضي للجريان، وعندما يمتلك الماء قوة نقل فائضة excess transport capacity يتغير شكل المقطع وربما موقعه، وفي حالة تفوقت على الحمولة، فإن تغيراً سيصيب القطاع العرضي للمجرى، وذلك وفق آليتين: تتم الأولى بعد الخزانات وتسبب تعمق المجرى، وتضيقه. مما يؤدي إلى حدوث العملية الثانية، وهي تعرض الضفاف للحت السفلي وتجويفها، مما يسبب انهيارها، وتوسع المجرى، وبالمقارنة مع الأنهار الطبيعية، فإن هناك نقصاً في عملية إعادة بناء السهول الفيضية floodplain rebuilding، بسبب القضاء على رواسب كل من السهول والضفاف بالحت، كما تتعرض الحواجز للحت والإزالة، ويتكون مع استمرار العملية ما يعرف برصيف الحت erosion pavement، الذي يسبب زيادة في وعورة السرير، وزيادة عمق المجرى.

٥- كمية تصريف منتظمة، وتساوي وزن الحمولة مع قدرة المياه الجارية على النقل:

على الرغم من أن تصريف المياه ونقل الرواسب وطاقة النهر، لا تزال ذاتها بعد بناء السدود، فإن كمية صغيرة من الماء تستطيع إحداث بعض التغيرات في المجرى، كالتدفقات النهرية التي تسبب تبلل الضفاف وتعزز فرص الحت، وبخاصة التغيرات السريعة التي ترافق تحرير كمية كبيرة من الخزانات خلف السدود، فيحدث ترنح عشوائي wander indiscriminately للمجرى من ضفة إلى أخرى، وبالتالي تعرض الضفتين للحت دون تعويض إرسابي مهم.

٦- كمية تصريف منتظمة، وزن الحمولة أكبر من قدرة المياه الجارية على النقل:

إن صرف كمية منتظمة من الماء مع ارتفاع كمية الحمولة فيها من الخزانات، يسبب حالة ترسيب عامة على طول المجرى. ويمكن أن يصل مستواه إلى ضفافه، مع رفع سوية قاعه. وتكون العملية انتقائية، حيث تنخفض كمية الرواسب وتزداد نعومتها، كلما اتجهت نحو المصب. وهو ما لوحظت في خزان كاش Cach في كوستاريكا، وخزان جيبدين Gebidem في سويسرا. ونهر ريو غراند Rio Grande في الولايات المتحدة الأمريكية. حيث يتم تحويل المياه لأغراض الري وإعادة توزيعها لاحقاً، وتكون محملة بالرواسب فيقل عرض القناة ويرتفع قاعها، وتصبح غير قادرة على استيعاب مياه الفيضانات الكبيرة، الأمر الذي يحدث ضرراً كبيراً عند الضفاف والمصب، وتكون النتائج من السد عكس ما أريد لها، وفي حالات أخرى قد يتسبب ضيق القناة، بتعمق المياه ضمن السرير، وانهيار الضفاف.

٧- زيادة في كمية التصريف، وزن الحمولة أقل من قدرة المياه الجارية على النقل:

إن طرح كميات كبيرة من الماء مع قلة في حجم الحمولة، سيرفع من قدرة الماء على الحت والنقل. مما يسفر عن زيادة في مساحة المقطع العرضي، نتيجة تآكل السرير وضفاف المجرى، وكذلك المصاطب القديمة ومناطق البرك ومواقع رواسب الروافد، كما تكسب الحواجز كميات طفيفة من الرواسب. أو قد تتعرض للحت حسب درجة النقص بالرواسب، وهي حالات شائعة في أنهار كندا. إلا أن زيادة التصريف المائي في المجرى لا يعد شرطاً أساسياً لزيادة قدرة النهر على توسيع مجراه، فقد تبين لدى دراسة مجرى نهر تير Ter أسفل خزان لياس Leighs في المملكة المتحدة. أن قدرة الماء على النقل تضاعفت، مما تسبب بزيادة عرض القناة النهرية، بعد زيادة في حجم التصريف المنخفض بلغت (١٠) أضعاف، أي إن تكرار التدفق المنخفض أعطى ذات نتيجة التدفقات الكبيرة قليلة الحدوث.

٨- زيادة في كمية التصريف، ويساوي وزن الحمولة مع قدرة المياه الجارية على النقل:

تحدث زيادة في مساحة القطاع العرضي للنهر مع تدفق كمية أكبر من الماء ضمن القناة، ويتوقع حدوث الحت في البرك والترسيب في الحواجز، مع عدم زيادة أو نقص في كمية الرواسب ضمن المجرى عموماً، وذلك لتساوي وزن الحمولة مع قدرة النهر على النقل،

أي إن ما ينتج عن الحت يتم نقلة وتوزيعه ضمن المجرى، فضلاً عن تحول السهل الفيضي إلى أنماط أخرى تتوافق مع الطاقات المكتسبة من التدفقات الكبيرة.

٩- زيادة في كمية التصريف مع وزن الحمولة أكبر من قدرة المياه الجارية على النقل:

ترتفع نسبة الحمولة في المياه بعد عملية التنظيف التي تخضع لها الخزانات، كإجراءات سلامة هندسية خلال فترات الفيضان، لتخفيف الضغط عن السدود، أو عند حدوث فيضانات مفاجئة تهدد ثبات السدود، مثل هذه التدفقات تزيد من مساحة المقطع العرضي، وكمية الرواسب، فيرتفع سطح السرير، إلا أن تجارب أجريت في الصين على نهر ويWei، أتت بنتائج معاكسة، حيث لم تتسبب التدفقات المفرطة في حجم حمولتها hyper-concentrated بأي ترسيب. وأكثر من ذلك فقد لاحظ كل من لونغ وكين (Long & Qian: 1986) أن بلوغ الحمولة حداً يزيد على (٤٠٠كغ/م٣) كما في النهر الأصفر Yellow River، سيحدث تغيرات في الخصائص الفيزيائية للجريان، ويسبب تدفقاً يحافظ على حمولته العالية، في حين أكدت وانغ (Wang. et al:1997) حدوث ترسيب في حالة التدفقات العالية الحمولة، مما يؤكد تعقيد العمليات الجيومورفية من جهة، وأهمية الدور الذي تلعبه الظروف المحلية في إعطاء نتائج مختلفة لشروط جيومورفية متماثلة.

ويمكن إيجاز **الآثار الجيومورفولوجية لبناء السدود** على النحو التالي:

١- تحويل جزء من المجرى النهري بكل مظاهره النهرية إلى بحيرة تمارس أعمالاً جيومورفولوجية خاصة بها من حت وضغط وإذابة لصخور قاعها وسواحلها. وبالتالي إحلال عمليات بحيرية في موقع السد بدل النهرية.

٢- سيادة عمل الترسيب النهري مع دخول النهر إلى البحيرة التي تمثل مستوى أساسه المحلي، وقد يمتد الترسيب إلى ما قبل ذلك بمسافات متفاوتة، فقد امتدت على مسافة (٨٨)كم بعيداً عن سد امبريال Imperial الذي أقيم على نهر كولورادو علم (١٩٣٨)م. وقد ملأت الرواسب الجزء الجنوبي من سد نهر سسكويهانا، أطول أنهار الساحل الشرقي في الولايات المتحدة الأمريكية، حتى شكلت جزراً زادت من قوة الدفع والضغط على جدار السد، وقامت في حالات أخرى بتشكيل سد طبيعي قبله. صورة رقم (٦-١٠).



صورة رقم (٦-١٠) الجزر الرسوبية قبل سد نهر سسكويهانا في شمال شرقي الولايات المتحدة الأمريكية.

٣- تعاظم وتيرة عمل الحت بعد فتحات التصريف المائي من السد، وتخامد هذا التأثير كلما بعُدت المسافة عن السد.

٤- تستمر العمليات الجيومورفية قبل بحيرة السد بالعمل وفق نمط شبه طبيعي، في حين تعمل وفق وتيرة منتظمة إن كانت الغاية من السد تنظيم جريان النهر، وصرف كميات متساوية من مياهه بعد السد، مما يسبب خللاً في منظومة العمل الجيومورفولوجي للحوض النهري في الحيز المكاني الذي تتناسب مداه مع حجم السد وبحيرته، ولكن الشائع هو تصريف كميات مختلفة من المياه، ويتحكم بذلك منسوب مياه البحيرة ومتطلبات مشاريع الري واحتياجات التجمعات السكانية والمشاريع الاقتصادية.

٥- انخفاض قدرة الأنهار على الحت بعد احتجاز المياه وحمولتها.

٦- تتعمق المجاري المائية ضمن أسرّتها، مخلفة مصاطب نهرية.

٧- إن احتجاز الحمولة الرسوبية يفقد المصبات نحو (٨٠%) من حمولة الأنهار. فقد وصل من حمولة نهر اليانغتسي Yangtze في الصين إلى مصبه، نحو (٩٠) مليون طن سنوياً للفترة بين (٢٠٠٣-٢٠٠٨)م، وهو ما يعادل (١٨%) من حمولته لعام (١٩٥٠)م - أي قبل بناء السد بأربعة عقود- ولهذا انعكاسات اقتصادية سلبية للمناطق الزراعية بحرمانها من تجدد تربتها، بالإضافة إلى حرمان المصبات مما توفره مياه الأنهار ورواسبها. (Bangqi & Others : 2009).

٨- تتعرض السواحل الدلتاوية للتراجع تحت وطأة حت أمواج البحار، بسبب انقطاع تغذيتها بالرواسب النهرية والماء.

٩- تنشأ الجزر الحصوية واللحقية والنباتية في بحيرة السد مع ارتفاع قاعها بالترسيب، أو انخفاض كمية الماء الوارد إليها، وينمو حجم هذه الجزر على حساب الطاقة التخزينية

للبحيرة. صورة رقم (٧-١٠). وتظهر هذه الجزر أو قواعدها في حال انخفاض منسوب المياه. صورة رقم (٨-١٠).



صورة رقم (٧-١٠) أحد سدود كاليفورنيا وهو بحالة الامتلاء.



صور رقم (٨-١٠) ذات السد خلال فترة الشح والجفاف لعام (٢٠١٤م).

١٠- تتعرض الركب والشلالات للغمر بمياه البحيرة، كما حدث لشلالات ميدان أكبس على نهر عفرين، التي اختفت تحت بحيرة ميدانكي الاصطناعية خلف سد السابع عشر من نيسان عام (٢٠٠٠)م. صورتان رقم (٩/١٠-١٠).



صورة رقم (٩-١٠) شلالات ميدان أكبس نهر عفرين في سورية، (١٩٩٥)م.



صورة رقم (١٠-١٠) بحيرة ميدانكي واختفاء الشلالات عام (٢٠٠٠)م.

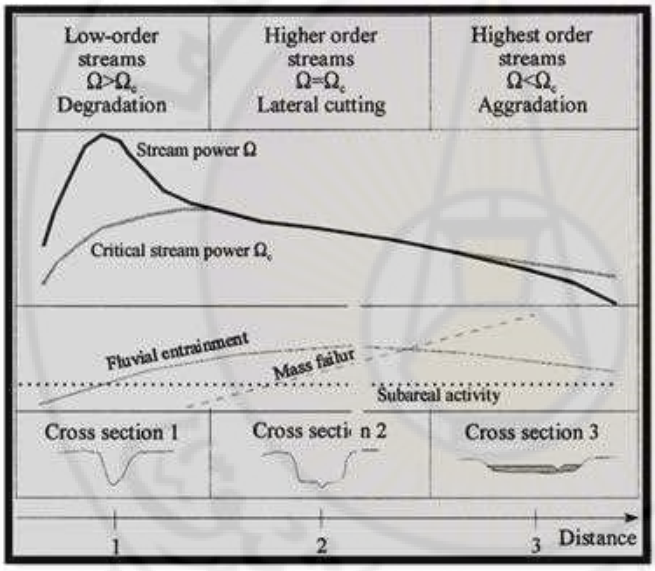
تبدي المجاري المائية استجاباتها خلال المراحل الأولى من بناء السد، في حين يبدأ الترسيب بعد بنائه وإغلاقه، وقد تكون النتائج قبل بناء السد معاكسة لتلك التي تحدث بعد

بنائه، فقد لاحظ (Davey 1987) عند بناء سد على نهر ثومسون Thomson في استراليا، زيادة واضحة في نقل الرسوبيات نحو المجاري الدنيا، وحدوث الترسيب مع الانتهاء من بناء السد، كما لاحظ كل من (Williams & Wolman 1984) النتائج الآتية:

- أن نصف الاتساع في عرض المجاري يمكن أن يحدث في الشهرين الأول والثاني التاليين لبناء السد.
- أن معظم الأنهار احتاجت إلى فترة راوحت بين (١,٥-٢) سنة لتظهر تكيفاً مع السد.
- حدث التدهور بفعل الحت خلال أول(١٠-١٥%) من فترة التكيف.
- أن أكبر كمية من الرواسب أزيلت، وتم ضبط المنحدر بسرعة بعد إغلاق السد.
- تضاءل حجم التعرية والحت مع مرور الوقت حيث يصبح السرير محمياً armored بطبقة من الرواسب الناعمة.
- إذا كان السرير لا يتكون فقط من المواد الناعمة، فإن التعمق لن يكون محدوداً وسيصبح المنحدر مسطحاً.
- وصلت معظم الأنهار إلى (٥٠%) من مقدار تعمقها خلال (٧)سنوات بعد إغلاق السد.
- هناك تباعد وتبعثر بين الفترات التي يتكيف فيها عمق المجرى، وعرضه مع السد، أي إن ذلك لا يتم بفترات متقاربة لكلا المتغيرين.
- قدرت الفترات القصوى التي تحتاجها المجاري لبلوغ نصف مقدار التغيرات في عرضها بين (١٠٠)و(٣٤٠) يوماً على التوالي.
- يتوقف التدهور عادة خلال عقود قليلة.

وتختلف الآثار المترتبة على بناء السدود في أحواض التصريف المائي من حوض لآخر، حسب الموقع والبيئة وتحرير المياه والرواسب. وتطال التغيرات كل ما يؤثر في شكل المجرى (العرض والعمق والانحدار ووعورة القاع أو تسطحه)، ويحدث التأثير على مستوى العمليات فيما يخص قدرة النهر على النقل والحت و الترسيب، أما عن طبيعة العلاقة بين شكل المقطع العرضي للمجرى المائي والعملية الجيومورفية، وموقع المجرى من الشبكة النهرية – أي رتبته التصنيفية – حسب بعده عن السد. فيلاحظ عند المجاري منخفضة الرتبة Low-order Stream في القطاع الأعلى من الحوض، سيادة عمليات التعرية والحت- الرأسية منها تحديداً- لتتغلب طاقة المجرى Stream Power (Ω) الفعلية، على طاقة

المجرى المعيارية (ΩStream Power Critical). فتتخذ المقاطع العرضية للوادي أو المجرى شكل حرف ٧، في حين تسود عملية الحت الجانبي في مناطق المجاري عالية الرتبة Higher Order Streams، في القطاعين الأوسط والأدنى، لتساوي طاقة المجرى مع الطاقة المعيارية، ويتشكل مقطع عرضي على شكل حرف U مع تعمق في الوسط. أما في مجاري الرتب الأعلى Highest Order Streams في القطاعات الدنيا، فتسود عملية الترسيب، لانخفاض طاقة المجرى عن الطاقة المعيارية للمجرى. ويتخذ المقطع العرضي المتسع مقطعاً مزدوجاً حيث يتعمق الماء الجاري القليل في أخفض النقاط، مشكلاً مجرى جديداً ضمن المجرى القديم. حسب الشكل رقم (٨-١٠).



شكل رقم (٨-١٠) ارتباط العملية الجيومورفية بالمقطع العرضي حسب ترتيب المجاري المائية.

٤- عمر السد والآثار الجيومورفولوجيَة الناتجة عن إزالته:

تتحكم عدة عوامل جيومورفولوجية وجيولوجية وهندسية في انتهاء مهمة السدود. ويرتبط ذلك بعلاقة عكسية مع معدل الترسيب داخل بحيرة السد، فمثلاً يقدر عمر سد الحفة في محافظة اللاذقية بين (٥٠-٦٠) عاماً، حيث بلغ سمك الطمي فيه نحو (٧) أمتار، مما يستدعي إزالة الطمي منه – فهو لأغراض الري والشرب – لكن بطرق هندسية مبتكرة تضمن سلامته وحمايته من الانهيار. ويمكن إطالة عمر السد باستخدام طمي بحيرته في تجديد ترب المنطقة واستصلاح الأراضي. في حين تقف عقبة نوع الرواسب الكلسية وتزايد نسبتها في سد

بلوران على نهر القنديل، حائلاً دون هكذا حلول. وقد قدر عمر سد النهضة في أثيوبيا بين (٢٥-٥٠) سنة بالرغم من طوله الممتد لنحو (١٠٠)كم ومتوسط عرض(١٠)كم، وذلك لارتفاع معدل الترسيب فيه، الذي يقدر بحوالي (٤٢٠) ألف م٣/سنوياً. ولما كانت التكاليف مرتفعة والمخاطر مؤكدة كلما كبر حجم السد، فإن الإدارة الشاملة والمتابعة الدقيقة لآليات عمل المجاري المائية وبحيرة السد وحالته الهندسية، هي من أهم إجراءات إنجاح هذه المشاريع.

ويمكن اعتماد عدة مؤشرات جيومورفية من خلال قياس متغيرات مثل سرعة جريان الماء وفعاليته الحتية، وحجم الرواسب وكمياتها، هجرة المجاري المائية، نمو المصبات أو تراجعها، كمعايير لتقييم نجاح السدود في أداء مهمها دون إلحاق الضرر بالتوازن الجيومورفولوجي - البيئي للحوض، والأمثلة على ذلك عديدة، منها ما أحدثته السدود من تغيرات مهمة وملموسة في جيومورفولوجيّة حوض سانتا كلارا Santa Clara، ومصبه على ساحل المحيط الهادي، ومنها:

١- ثبات مواقع المجاري المائية في سهل أوكسنارد Oxnard.
٢- تقييد هجرة المجاري المائية خلال أحداث التفريغ العالية داخل المجاري المائية النشطة.
٣- انخفاض معدلات نقل الرواسب نحو المصب مقارنة بمعدلاته السابقة. حيث قدر حجم الرواسب المحتجزة بنحو (٤٥%) من الحجم الكلي لرواسب الحوض قبل بناء سلسلة السدود.
٤- مازالت كمية من الرواسب تصل إلى الدلتا وتحافظ على حدودها، وتسهم في بناء الساحل، وعدم تراجع الدلتا تحت وطأة حت الأمواج البحرية.

جدير بالذكر أن عدم حدوث فيضانات كبرى- بعد بناء السدود- و تنظيم التدفقات المائية، قد لا يسبب انخفاضاً في تأثير الفعل الجيومورفي للماء على الضفاف. فقد أكدت تقارير متابعة تغيرات شكل المجاري المائية الدنيا لنهر كيمانو Kemano الكندي، أن زيادة في استقامته وعرضه قد بلغت حوالي ثلاثة أضعاف ما كانت عليه، بسبب متوسط التدفق المائي. لكن بدون زيادة مهمة في الفيضانات الكبرى. مما يعني أن التدفقات المتوسطة intermediate flows قادرة على إحداث تغيرات مهمة في شكل المجاري المائية. كما أن تصريف كمية كبيرة من مياه السدود قد يحرر كمية ضخمة من الرواسب، لكنها في أغلبها

ناعمة الحبيبات. (Brandt: 2000). لذلك فإن مراقبة تجمع الرواسب عند جدار السد، إجراء في غاية الأهمية، فهذه الكميات المحررة تقوم بأعمال جيومورفية تفوق ما كانت تقوم به الفيضانات الكبرى قبل بناء السد، لذلك لا بد من اتباع تقنيات مناسبة للسيطرة على عملية تصريف الماء، ومنها تقنية التحكم عن طريق الخوانق المزودة بصمامات sluicing، وقنوات تمكّن المسؤولين عن إدارة السد من تصريف كميات محددة من المياه والرواسب، تعادل الكميات التي تصرفها الأنهار الطبيعية.

إن شيخوخة السدود The aging of dams، والحاجة الماسة لإعادة التوازن البيئي لأحواض بعضها. دعا إلى تبني أفكار جريئة بإزالتها كبديل عملي لإدارة الأنظمة النهرية، وعلى الرغم من أن آثار بناء السدود باتت ملموسة، إلا أن تلك التي ستنتج عن إزالة السدود ما زالت قيد التقدير والتنبؤ، وذلك لندرة تطبيق هذا الإجراء عالمياً. وقد أثار احتمال نقل الرواسب المختزنة في بحيرات السدود، مخاوف العلماء من حدوث ترسيب مفرط في مناطق المصبات، مما أضطر بعض مراكز الأبحاث لوضع نماذج تحدد النتائج الكمية والنوعية المتوقعة من إزالة السدود. وقد صممت نماذج محاكاة، عرفت بنماذج تطور القنوات المحفورة Channel Evolution Models أو (CEMs)، (Martin : 2002). وتركز على مفاهيم العلاقة بين الحت في المجاري العليا، والترسيب في المجاري الدنيا، والدور الذي ستؤديه كل من أشكال هذه القنوات والعمليات الناجمة عنها خلال تطورها. وتحديد أهم التغيرات التي ستلحق بعرض القنوات وأعماقها وانحدارها. مع التركيز على عامل الزمن واقتران كل مرحلة تطورية بمظاهر معينة وعمليات خاصة. وقد اقترحت ست مراحل لتطور هذه القنوات:

١- ما قبل إزالة الخزان وتدمير السد.

٢- دراسة حالة الخزان بعد إزالة السد وقبل تفريغ الرواسب من موقعها.

٣- تشهد حالة تعرية سريعة لسرير النهر، وتبدأ الأنهار العليا بعملية تسطيح وتسوية flatten لانحدار قيعانها، وفي هذه المرحلة يتجاوز حت الضفاف حدوده الطبيعية.

٤- تتعرض المجاري لأكبر عملية توسيع بعد إزالة السد، بسبب حت الضفاف الشديد، مع بداية ظهور للنباتات، وتكيفها مع محيطها.

٥- يسود الإطماء aggradation في المجاري الدنيا، وتبدأ المجاري العليا بتأمين كميات مهمة من الرواسب للمجاري الدنيا. ويتسبب ذلك بتقليص الفارق بين الأسرة والضفاف، وينخفض معدل توسيعها تدريجياً. ويستمر الترسيب بمعدل ثابت، ويصاحب ذلك غالباً نمو نباتات فوق الرواسب.

٦- قد تستمر استجابة المجاري المائية لعدة عقود من الزمن، تبدأ بمرحلة من التوازن الحركي dynamic equilibrium بين مكونات النظام النهري ضمن دائرة التأثير الجيومورفي الإقليمية لإزالة السد وبحيرته، وفيها يستقر السرير وهو شرط أساسي لتحقيق استقرار الضفاف.

إلا أن تساؤلات عدة لا بد من طرحها قبل اتخاذ قرار إزالة السدود، لما لها من أهمية على الصعيد الجيومورفي والجيولوجي والبيئي والبشري، ومنها:

١- كيف يمكن إزالة السد دون التسبب بتداعيات جيومورفية خطيرة.

٢- ما الطريقة الأفضل لمعالجة مشكلة الرواسب المتراكمة خلف السد.

٣- هل البديل عن البحيرة الفارغة هو حفر قنوات صنعية تحاكي الطبيعيّة لوصل المجاري العليا بالدنيا، عبر قاع البحيرة المفرغة، وقد أُقترح أن تكون بعمق (١٠٠-١٠١)م دون مستوى الأساس السابق أي قاع البحيرة.

٤- ما النتائج المترتبة على المصبات حين تلقيها كميات غير اعتيادية من الرواسب في فترة محدودة.

٥- ما انعكاسات تفريغ البحيرات من مياهها ورواسبها على العمليات الجيومورفية للمجاري العليا والدنيا

٦- ما التغيرات الشكليّة التي ستبديها الأنظمة النهرية – بمجاريها وسهولها الفيضية ومنحدراتها- رداً على إزالة البحيرات الصنعيّة.

٧- ما تأثير إزالة السدود على استخدامات الأرض والموائل الحيوية المرتبطة بالأنهار، وما نتائج هذه التأثيرات على الأنهار كرد عكسي.

أهم النتائج الجيومورفية المباشرة لإزالة السدود

إن قرار إزالة أي سد هو إجراء اضطراري، قد يكون لدواعٍ بيئية أو هندسية، إلاّ إن له نتائج جيومورفولوجية مهمة، منها:

١- نشاط مفرط في العمليات الجيومورفية بسبب التغيير الكبير والفوري في مستوى الأساس المحلي، مقارنة مع المعدلات الطبيعية ومقاييس التغيير في الأنهار العادية.

٢- نشوء حالة فيضان تفوق كمية رواسبها معدلات الترسيب التي حدثت أثناء وجود السد.

٣- سينجم عن تفريغ البحيرات والخزانات من مياهها ورواسبها، تشكيل مستوى أساس منخفض، مما يسبب تعمقاً مفرطاً للمجاري المائية العليا لاحقاً بمستواها المحلي الجديد- المتمثل بالبحيرة المفرغة.

٤- تبدأ عملية الحت الرأسي بتعميق القناة بسبب انخفاض سريرها عن المياه القادمة إليها من الأنهار العليا. فقد تسببت إزالة سد واشنطن Washington على نهر كليروتر Clearwater في ولاية أيداهو Idaho بحفر القناة وتعميقها نحو متر خلال عام واحد.

٥- نشوء مقطع عرضي مزدوج في القطاعات العليا للمجاري، بسبب تعمق مياهها في أخفض نقاطها لتفريغ مستوى أساسها المحلي السابق المتمثل بالبحيرة، وبالتالي نشوء المصاطب النهرية. وتعرض الضفاف للتوسع بسبب تصريف كميات كبيرة من المياه بفترة قصيرة.

٦- نشوء العديد من مظاهر الترسيب، حيث تتسع الحواجز الرملية والسهول الفيضية، وتشهد الدلتاوات والمصبات حالة ترسيب عظمى تدفع بحدودها إلى الأمام نحو البحر، مما يعني حدوث تغيرات جيومورفية ساحلية جذرية تطال شكلها وعملياتها، وتغير مسارات تياراتها البحرية وخصائص أمواجها.

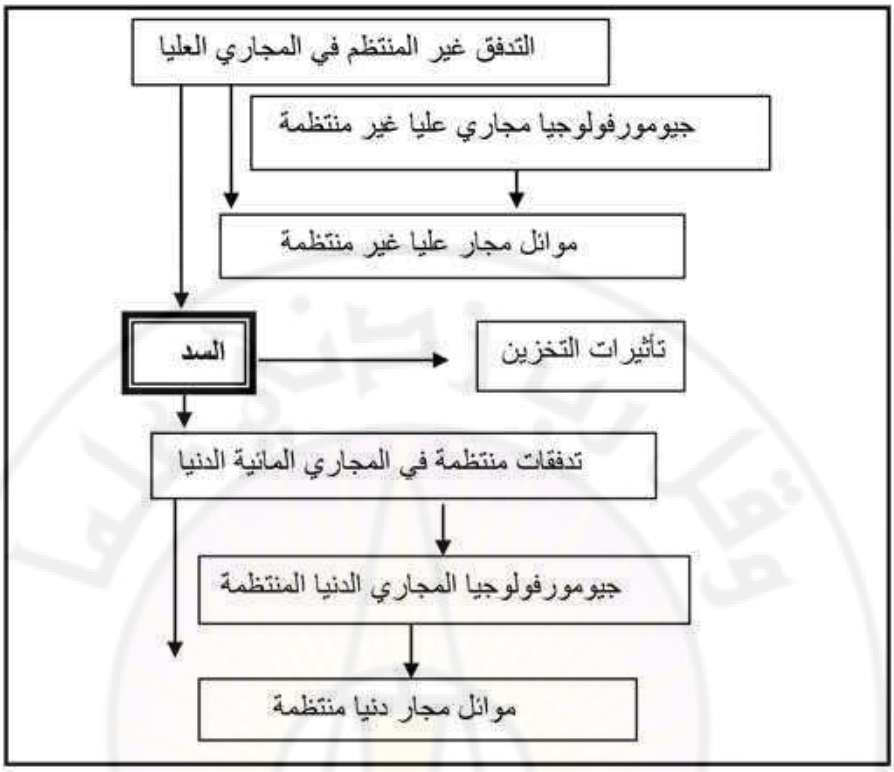
لقد أكد تقرير لجنة استشارية من مهندسي سد نهر كليميث Klamath في ولاية أوريغون الأمريكية. أن إزالة السد عملية تحتاج مع إتمام كافة الأعمال المتعلقة بها قرابة العامين، وقدر حجم التكلفة بنحو (٨٨) مليون دولار لعام (٢٠٠٦)م. مع تأكيد ضرورة إزالة السد في فترة الشح، حيث ينخفض مستوى الماء إلى أدنى حدوده، وكذلك التغذية بالرواسب، حيث قدر حجمها في الخزانات الأربعة للبحيرة بنحو (٢٦) مليون م٣، تمثل نسبة الطين والغرين فيها نحو (٧٨%) منها. مما يعني أن تدفق المياه سيكون خطيراً لثقل الرسوبيات وتراصها

وتماسكها لنعومة حبيباتها، الأمر الذي يستدعي ضرورة البدء بإزالتها من بحيرة السد قبل تفجير جداره. (GEC : 2006). إن إزالة السدود عملية تتطلب متابعة وحذراً عبر مراحلها يفوقان ما يتطلبه بناء السدود، ذلك لأنها تسفر عن عمليات جيومورفية سريعة وعنيفة، في حين تبدي السدود ردود فعل متدرجة وبطيئة نسبياً.

يمكن وصف الأنهار التي أقيمت عليها السدود التنظيمية بالأنهار المنتظمة أو المنضبطة، في حين توصف الأنهار التي لم تشهد بناء سدود عليها بالحرة أو الطبيعية، وينطبق ذات القول على الأجزاء من الأنهار قبل السدود وبعدها، وتعد المقارنة بين كلا النوعين، من حيث مظاهرها وآليات عملها، من أفضل السبل لتبيان التأثير الجيومورفي الفعلي للسدود على السلامة الجيومورفية للأنهار geomorphological integrity of river، وتبيان ما لحق بها من تعديلات وصلت إلى حد الإضرار بنظمها البيئية والحيوية والجيومورفولوجيّة. بالإضافة إلى تأثرها وتأثيرها باستخدامات الأرض. ويبين الشكل رقم (٩-١٠) التغيرات في النظم النهرية التي تم تنظيمها بالسدود.

بينت دراسات رصديّة أجريت على (٣٦) نهراً كبيراً من أنهار الولايات المتحدة الأمريكية، بنيت عليها سدود كبيرة - بعلو المترين فما فوق- في مواقع قبل السدود وبعدها،(William:2006). ما يلي:

- انخفاض قمة التصريف السنوي بنسبة reduce annual peak discharges (٦٧%)، وبلغت في بعض الحالات الفردية (٩٠%).
- تناقص الجريان الأعظمي السنوي annual maximum بنسبة (٦٠%).
- تناقص حد التصريف اليومي range of daily discharge بنسبة (٦٤%).
- زيادة عدد الانتكاسات reversals الناتجة عن التصريف بنسبة (٣٤%).
- تناقص المعدل اليومي للتعلية daily rates of ramping بنحو (٦٠%).
- تغير توقيت التدفقات العالية والمنخفضة، وتغيير توقيت التدفقات القصوى والدنيا السنوية.
- إحداث تغيرات إقليمية في الأنهار الكبرى.



شكل رقم (٩-١٠) مخطط التغيرات في النظم النهرية التي تم تنظيمها بالسدود.

عن : William L. G;(2006)

وقد لوحظ من خلال مقارنة الأنهار التي تعرضت للضبط بالسدود، والأخرى التي لم تتعرض لذلك، الآتي:

١- الأنهار المنتظمة لها (٣٢%) من القنوات منخفضة الجريان.

٢- لدى الأنهار المنتظمة (٥٠%) من قنوات الجريان الأعظمي الصغيرة.

٣- نخفاض مساحة السهول الفيضية بنسبة (٧٩%).

٤- تمتلك (٣,٥) أضعاف مساحة السهول الفيضية غير النشطة.

وبالتالي فقد تأثرت الأراضي الوظيفيّة functional surfaces أو الفعّالة جيومورفياً، التي تشمل قطاعات ومناطق متأثرة بشكل مباشر أو غير مباشر بالسدود، ولديها مدخلات ومخرجات من ماء ورواسب ومغذيات nutrients. كما تمتلك القدرة على الاحتفاظ بجزء من مدخلاتها وتخزينها، وتضم مجاري التدفق العالي والمنخفض، والحواجز العالية

والمنخفضة، والجزر النهرية، والسهول الفيضية النشطة active flood plains، والأسطح الهندسية أو المصطنعة، ومع قسمة مساحة هذه المناطق النشطة على طول مجاريها المائية، يمكن الحصول على ما يسمى بمؤشر التعقيد الجيومورفي Index geomorphic complexity لتحديد مدى التغير الذي أحدثه السد في الأنهار، والذي انخفض بنسبة (32%) في الروافد المنتظمة عما هو عليه في الأنهار غير المنتظمة.

وتظهر الصورتان الجويتان رقم (١٠-١٢/١١) لرافدي نهر ميرياس Marias في شمال ولاية مونتانا الأمريكية، انخفاضاً في مدى وتعقيد الموائل المتعلقة بالسدود. التقطت الصورة العليا عام (١٩٩١)م، لروافد عليا على بعد (٥,٧) كم من نبع نهر تيبر Tiber، وقطاع غير منتظم لتيار في منطقة نشطة، وأسطح معقدة الوظيفية. أما الصورة السفلى فالتقطت عام (١٩٩١)م لروافد عليا على بعد (٧,٢) كم من مصب النهر، تُظهر مناطق فيضان عادي مكونة من أسطح بسيطة وظيفياً، وقد بني عليه سد عام (١٩٥٦)م، مع قدرة تخزين لـ (١,٦) كم٣ من الماء.



صورتان رقم (١٠-١٢/١١) رافدان تعرض الأسفل منهما لتأثيرات بناء السد، في حين بقي الأعلى حراً.

إن تلازم العلاقة بين الجيومورفولوجيا والهيدرولوجيا لدى دراسة أثر السدود على مظاهر الأنظمة النهرية، تتضح من خلال تأثير التدفق السنوي الأعظمي والأصغري

maximum/minimum annual flow ratio. ونسبة الحمولة السنوية إلى الطاقة التخزينية للسدود reservoir capacity/annual watershed yield ratio، وانخفاض الجريان الأعظمي. التي تعد الأساس الإحصائي الهيدرولوجي لأي دراسة جيومورفولوجية جادة، مع وجوب استخدام قيم هذه المؤشرات في عمليتي التفسير والتحليل الجيومورفولوجي عند تقييم الأثر الجيومورفي للسدود في البيئات النهرية.

٥- مهام الجيومورفولوجيا التطبيقية فيما يخص السدود:

١. اختيار أكثر المواقع الجيومورفية ملاءمة لبناء السد، وهنا يجب التفريق بين مفهوم أن تكون المواقع مناسبة للسد، أو أنها مناسبة لبنائه، ومن هذه الشروط المكانية: توفر حويضة واسعة في جزء من قطاع الوادي، ومجرى أو واد ضيق، وحوض مائي مناسب لملء البحيرة.

٢. اختيار أفضل مواقع للسدود الحاجزة للرواسب في المناطق العليا من الحوض المائي التي تنتهي مياهها إلى البحيرة، لإطالة عمر السد.

٣. يجب تصميم أبعاد السدود، وكذلك المجاري المائية وأسرّتها، على أساس أكبر التدفقات المحتملة على الإطلاق- وليس وفق أكبر تدفقات حصلت - حتى تمتلك القدرة على مواجهة أعلى نشاط ممكن من الحت والترسيب، ويشهد تاريخ بعض السدود على ذلك، مثل سد سانت فرنسيس في الولايات المتحدة الأمريكية، الذي فشل في مواجهة فيضانات أعوام (١٩٢٨، ١٩٣٨، ١٩٦٩، و ٢٠٠٥)م.

٤. تحديد الخصائص الطبوغرافية للسطح من انحدار ووعورة، وغطاء نباتي وترب، والتركيز على انحدار المنخفض المرشح لموقع البحيرة، فانحدار قاعه نحو جدار السد، سيدفع بكتلة الماء نحوه، ويزيد من قوة الضغط عليه.

٥. تحديد مسارات قنوات تحويل المياه من المجاري المائية قبل موقع السد وتأمين تدفقها لما بعده، لتجفيف موقع السد والقيام بالأعمال الهندسية (التمهيدية والإنشائية والنهائية)، فما يصب في بحيرة سد الخوانق الثلاث يقدر بنحو (٤٠) مليون طن/سنة من المياه.

٦. دراسة خصائص القنوات المائية من عمق واتساع وانحدار ووعورة، والعمليات الجارية فيها من حت ونقل وترسيب، مع الاهتمام بخصائص نقاط انقطاع الانحدار أو المسارع، حيث يشتد فعل الحت التراجعي والرأسي عندها، الأمر الذي قد يسبب عدم استقرار السد وبحيرته.

٧. تحديد مواقع البحيرات في المناطق الواسعة من الأودية، وذلك حسب وظيفة السد، فإن كانت الغاية منه تجميعية تطلب ذلك حويضات واسعة، وإن كانت الغاية منه تنظيميّة، فإن المحدد الأهم للمواقع هو حجم التصريف لكل حويضة، وتكون الأولوية للحويضات التي تسبب خسائر أكبر أو تعطي مياهاً أكثر، وإن كانت الغاية منه لتوليد الكهرباء، تختار مواقع الشلالات أو الركب ونقاط الانقطاع في القطاع الطولي، وتبقى هذه الشروط قابلة للتعديل والتغير حسب إمكانيات المواقع وضرورات إنشاء السد في مواقع قد تتطلب تعديلات ترفع من تكاليف المشروع.

٨. دراسة سفوح المرتفعات المحيطة بالبحيرة من حيث استقرارها، ومتانة صخورها، وأشكالها إن كانت مقعرة أو محدبة، فالأولى تزيد من حجم المياه خلف السد عكس الثانية، كما يجب متابعة تداعيات ما بعد نشوء البحيرة، فقد حدث نحو (٩٧) انهياراً أرضياً بعد الانتهاء من بناء سد الخوانق الثلاث في الصين.

٩. تقدير حجم التصريف المائي للحوض النهري ككل. والتركيز على الموازنة المائية للمنطقة قبل موقع السد. وتحديد سنوات ما يعرف بالتصريف المهيمن dominant discharge، وهو أكبر كمية تصريف على الإطلاق، وفيها يتحمل السد أعلى ضغوط محتملة، وأكبر كمية من التخزين الرسوبي، وهي فترات من تاريخ الترسيب تميز الأحواض المائية في المناخات شبه الجافة. حيث قُدّر أن (٥٠%) من حجم رواسب نهر سانتا كلارا في ولاية كاليفورنيا، ترسبت خلال أول ثلاث سنوات من بدء عمله. في حين لم يزد حجم الترسيب السنوي لبقية سنوات القياس على (١٠%) من حجم الترسيب.

١٠. دراسة معدل هجرة المجاري النهرية – بخاصة في مواقع المنعطفات والأكواع – لتفادي خطر تغير مواقعها على السد وبحيرته.

١١. تقدير حجم الرواسب المحتجزة خلف السدود. لتقييم قدرة المجاري المائية على الحت، وتقدير أعمار السدود حسب قدرتها التخزينية، كما يمكن مقارنة معدل إنتاج الرواسب

باعتباره مؤشراً مهماً عن قدرة المجاري المائية على الحت، بمعدل نهوض سطح الأرض. لتقدير طبيعة التوازن البنائي – الجيومورفي لسطح الأرض في أحواض التصريف المائي، وقد اعتمدت مثل هذه المنهجية لدى دراسة حوض سانتا كلارا، الذي ينتج سنوياً نحو (٨,٢) مليون طن، أو ما قدره (٢,٠٠٠) طن/كم٢/سنة في المتوسط لكامل الحوض، إلا أن ما بُني عليه من سدود مثل سد بيريو Piru وكاستايك Castaic وسد خانق بوكيوت Bouquet. يحتجز نحو ثلث رواسب الحوض. ولا يبقى منها محرراً ضمن المجاري المائية إلا (٥,١) مليون طن/ سنة. (Victoria:2011).

١٢. وضع تصورات باستخدام المحاكاة الحاسوبية لمجمل التغيرات التي يمكن أن تحدث في موقع السد، وما قبله وبعده. فالمجاري المائية قبل السد ستلقي برواسبها في بحيرته، مما يستدعي تغيرات في أعماقها وأبعادها ومستوى قاعها ونمو الجزر الرملية فيها. كما أن للبحيرة عملها الجيومورفولوجي الخاص، وللمجرى بعد مخرج السد عمل مختلف وإيقاع متباين جيومورفولوجياً، ولا بد من الإحاطة بالمجال الأوسع لتأثيرات السدود، بدءاً من خطوط تقسيم المياه حتى المصبات. وما يترتب على انقطاع المياه من ارتباك في آلية عمل المنظومة الجيومورفولوجية من تعطل، أو إفراط في حال السماح لكميات أكبر بالمرور من السد، مما يعني حدوث حت عنيف عند بوابته .صورة رقم (١٣-١٠).



صورة رقم (١٣-١٠) سد جوري في فنزويلا، يلاحظ قوة خروج المياه من بوابته.

١٣. وضع خرائط جيومورفولوجية دقيقة لموقع السد، والحوض النهري، باستخدام الصور الفضائية والتحسين الهندسي والعمل الميداني، وذلك قبل البدء بالمشروع وبعد ذلك.

١٤. لا بد أن يتم عمل الجيومورفولوجي بالتناغم مع بقية الأعمال في كافة التخصصات، لتبادل المعلومات ومتابعة المشروع عبر مراحله.

١٥. يتطلب عمل الجيومورفولوجي – الجغرافي إدراكاً للتوازن المكاني بين عناصر الموقع والموضع الجغرافي في منطقة بناء السد. مما يعني ضرورة امتلاكه لرؤية واسعة، تساعده على تقديم حلولٍ مرنة وديناميكية لمعظم المشكلات التي تعترض المشروع.

إن التعامل هندسياً مع أحواض التصريف المائي يستدعي تطبيق استراتيجيات تأخذ بالحسبان سلامة بيئاتها، (Gilvear :1999. P 231)، وتشمل:

١- متابعة العمليات التي تحدث عند المصب والسهل الفيضي، وتأثيرها على المقطع العرضي والطولي للنهر، وتعقيد النظام النهري المتعرض للتغير الواسع في استخدام أراضيه. مع تأكيد حساسية النظم الجيومورفولوجيّة تجاه الاضطرابات البيئية. وما تبديه من تغيير عند تجاوزها لعتباتها الحدية، وفق حركة أنظمتها الطبيعية .

٢- وضع معادلات ونماذج رياضية وحاسوبية وتطويرها لتعطي نتائج دقيقة بهدف التنبؤ بالسلوك الجيومورفولوجي للأنهار، وحجم رواسب الفيضانات واستقرار الضفاف وعمليات نقل رواسب السرير أو التعمق ضمنه.

٣- تطبيق الأساليب الهندسية- البيئية، المحققة لشروط التوازن البيئي- الجيومورفي. وتحديد مواقعها بعناية ضمن الحوض النهري، وإخضاعها لمراقبة طويلة الأمد.

٤- تأكيد أهمية فهم التاريخ النهرية والتسلسل الزمني، والتركيز على أهمية كل من التضاريس والمناخ القديم وعمليات الترسيب النشطة، كمؤشرات لمستويات استقرار المناظر الطبيعية. والاستفادة من ذلك بتحديد أطر هجرتها وتغير مواقعها ومعدل ترسيبها وحتها، وتواتر الفيضانات.

٥- التعامل وفق أسلوب متناغم مع عمل الطبيعة، الذي يمكن وصفه بالمعقد والمتداعي، فأي تغير فيها يحدد مستويات حساسية النظام البيئي، فما لحق المواطن الطبيعية لأسماك السلمون في نهري الراين والمسيسبي من أضرار، نتج عن حجز الحصى اللازم لتجديد قاع النهر الذي تضع بيضها فيه، بالإضافة إلى ترسيب المواد الناعمة فوق الحصى، وسببت تغيرات في محتوى الأكسجين المذاب، ودرجات الحرارة.

ثانياً – الجيومورفولوجيا والطرقات

تعد الطرقات شرايين التواصل بين أنماط استخدامات الأرض بكافة أشكالها، فهي عنصر مهم من عناصر البنية الخدمية، التي يجب أن تتوفر حيث ينتشر العمران والنشاط البشري، فمثلاً شهدت إيطاليا ثورة ديموغرافية بين عامي (١٧٠٠-٢٠٠٤)م حيث زاد عدد سكانها من (١٣) مليون نسمة إلى (٥٧) مليون نسمة. وقد واكب ذلك اتساع رقعة العمران وامتداد كبير للطرقات، فقد زاد طولها إلى (١٠٠,٠٠٠) كم بين عامي (١٩٥٠-١٩٩٠)م فقط.(von & Guzzetti: 2006. P2). لذلك تعد الطرق من أهم العناصر الواجب توفرها لنمو الدول وتطورها. كونها تؤمن الاتصال البري بين مناطق الإنتاج و مراكز الاستهلاك. ولذلك فإن توزعها الجغرافي الجيد، يعني امتلاكها خاصيّة المرونة المرورية بين أرجاء الدولة. وهي من المظاهر الاقتصادية التي ترتبط جودتها وتكاليفها ارتباطاً وثيقاً بطبيعة سطح الأرض والمستوى التقني والاقتصادي للدولة، وتختلف العوامل الجيومورفية المؤثرة فيها بتنوع البيئات الجغرافية التي تمر بها. إلاّ أن جميع الطرق تشترك بشروط واجبة التوفر، كالأمان وسرعة الوصول ومرونة الحركة. وهي ضوابط توجّه كامل العمليات الهندسية على سطح الأرض، وتحدد الخيارات الأفضل للاستفادة مما يقدمه السطح من تسهيلات أو حل ما يتصف به من معوقات. ويمكن تحديد مدى إسهام الجيومورفولوجي في مراحل إنشاء الطرق،(Hart 1985. P 175:). على النحو الآتي:

١-مرحلة الاستكشاف the reconnaissance stage: يقوم الجيومورفولوجي بدراسة تضاريس المنطقة التي يمر بها الطريق. ووضع خرائط تفصيلية عنها.

٢- مرحلة التحقق والتحري الميداني the investigation stage: يتم فيها تحديد أهم الخصائص الجيومورفولوجيّة للبيئة الطبيعية التي يمر بها الطريق، وتقييم مساره، واقتراح التعديلات المطلوبة عليه، وإعداد الخرائط التفصيلية للمشهد التضريسي. مع التركيز على أنواع المخاطر الجيومورفولوجية وتوزعها، والاستفادة مما يقدمه سطح الأرض من ميزات تقلل من تكاليف الإنشاء، كالمواقع المسطحة والمتينة أو المستقرة من سطح الأرض. كما يمكن إجراء عمليات سبر وحفر مقاطع للتحقق من عدم وجود فجوات وكهوف أسفل الطريق.

٣- مرحلة الإنشاء the construction stage: يتضاءل فيها دور الجيومورفولوجي لحساب دور المهندسين. إلا في حالات طارئة، كأن تواجه عملية التمهيد والحفر مشكلات جيومورفولوجية كالحفر والخسوف والانهيارات بسبب ثقل آليات الدحل و المد.

٤- مرحلة الصيانة the maintenance stage: يقتصر دور الجيومورفولوجي على حل مشكلات الطرق بعد استخدامها. فقد ينتج عن الحركة المستمرة والأوزان المختلفة للآليات، حُفر وانهيارات وتشققات، تسبب تدهور حالة الطريق، وتعزز دور بعض العمليات مثل الغسل والتجوية بأنواعها من إذابة وتميؤ وأكسدة للطبقة التحتية بفعل تسرب الماء، والتشقق الحراري للطبقة العليا، أو تعرض الطريق لسيل جارف فاق عمله ما كان متوقعاً خلال مرحلة الإنشاء، فلم تستطع الإجراءات الوقائية تحمله.

لقد نالت تأثيرات الطرقات في معدل الحت النهري اهتماماً خاصاً، لما تحدثه من تغيرات بيئيّة وجيومورفيّة مهمة، فقد قام فريدريكسون (Fredrikson 1965) بدراسة ثلاثة أحواض نهرية صغيرة في ولاية أوريغون الأمريكية، بهدف تقييم أثر إنشاء الطرقات في كمية الحمولة النهرية، حيث أزيل من الحوض الأول كامل غطائه النباتي، ولم يشق فيه أي طريق. وترك الغطاء النباتي كما هو في الحوض الثاني. في حين أزيلت بعض أجزاء الغابات مع شق الطرقات في الحوض الثالث. فبلغ معدل الحت وكمية الرواسب (العالقة والقاعية) في الحوض الأول نحو (٦,٦طن/كم٢)، وفي الحوض الثاني (٢طن/كم٢)، بينما بلغت في الحوض الثالث نحو (١٤٨ طن/كم٢). مما يبرهن على الأثر الخطير لشق الطرقات في أحواض التصريف النهري، فهي تمثل مسالك إجبارية -صنعية- للمياه الجارية. إلاّ أنها تختلف عن الأنهار بغياب عناصرها الطبيعية (القناة والسرير والضفاف والنباتات..) التي تقيد اتساع المجرى وتحد من تعمقه، في حين أن الطرقات تشق دون حمايتها من التوسع الجانبي، مما يرفع من فرص حدوث الانهيارات الجانبية من المنحدرات التي فقدت استقرارها بفعل عمليتي الحفر والقطع البشري. كما تسبب في بعض مواقعها خسوفات أرضية. فزادت كمية الحمولة في مياهها الجارية. ولما كانت شبكة المجاري المائية الطبيعية في أي حوض، هي انعكاس للتوازن بين التضريس والعملية الجيومورفولوجية، وبالتالي فإن شق طرقات في فيها يعني أن سبلا مائيّة جديدة -صنعية- قد أتيحت لنقل المياه الجارية وحمولتها، وبالتالي فإن حدوث خلل في توازن الحوض أمر حتمي، حيث تتعرض مناطق كانت مستقرة لأعمال

الحفر والتمهيد والتخفيض أو الرفع، مما يفقدها تماسكها ويجعلها عرضة للحت، وقد بينت الدراسة أن معدل تركيز الرواسب بلغ (٢٢) جزء من المليون في الحوض الثاني – الذي لم يتدخل فيه الإنسان– لكنها ارتفعت من (٢٠٠) جزء في المليون إلى (٧٠٠) جزء في المليون في الحوض الثالث الذي شهد مد الطرقات وإزالة أجزاء من الغابات. وفي دراسة مماثلة أجريت على نهر سكوتScott تبين أن (١١,٨) كم٢ من مساحة الحوض، والتي شهدت مد طرقات ودروب، زودت الحوض بنسبة (٨٥%) من رواسبه الكلية.(عبد الحميد كليو: ١٩٨٥).

١ – العوامل والعمليات الجيومورفولوجية المؤثرة في الطرق حسب البيئات الجغرافية

أ- في البيئات النهرية:

يمكن حصر العوامل الجيومورفولوجية المتحكمة بالطرقات وفق القطاعات المكونة للحوض النهري، على النحو الآتي:

١- القطاعات العليا: غالباً ما تكون هضبيّة وجبليّة، لذلك تتطلب جهداً أكبر لتسويتها وتهيئتها لمد الطرقات، وتكثر المخاطر الجيومورفية التي تؤثر فيها، وتحد من أمانها، وترفع من تكاليفها، ويمكن ملاحظة نوعين من الطرق في القطاعات العليا من أحواض التصريف النهري، الأولى استغلت الأودية الجافة مسلكاً ممهداً، إلا أنها تتعرض في حالات الفيضانات العارمة للتدمير، في حين جعلت الثانية من خطوط تقسيم المياه المواقع الأفضل للابتعاد عن خطر الحت التراجعي الذي ينشط في هذه المناطق، ويسبب انهيار أجزاء من الطرق. صورة رقم (١٤-١٠)، كما تتعرض الطرقات لخطر الحت التراجعي والجانبي وبخاصة في المنحدرات النشطة التي يتوفر بها هطل غزير وانحدارات شديدة وطبقات صخرية طرية. صورة رقم (١٥-١٠).



صورة رقم (١٤-١٠) انهيار جزء من طريق في مناطق نهرية نشطة /سويسرا.



صورة رقم (١٥-١٠) تعرض جزء من طريق جبلي لخطر تراجع المسيلات النهرية.

٢- القطاعات الوسطى: تتعرض فيها الطرقات لخطر الحت الجانبي، وبخاصة في مناطق الأكواع النهرية. التي تسبب انهيار الطرقات وكسوتها الحجرية وتدهور حالتها الفنية، صورة رقم (١٦-١٠). وربما إيقاف استخدامها لحين إصلاحها.



صورة رقم (١٦-١٠) تعرض الكسوة الحجرية للانهيارات بسبب الحت النهري الجانبي.

وتوفر السهول الفيضية باستوائها أفضل الظروف الجغرافية لمد الطرقات، وانخفاض التكاليف وتقليل الجهد والمال، كانبساط السطح وقلة وعورته وانصراف مياهها عن طريق القنوات الصنعيّة أو شبكات الصرف، إلا أن خطر التعرض للفيضانات والرواسب من المشكلات الشائعة في هذه المناطق.

٣- القطاعات الدنيا: تتعرض الطرقات في مناطق الدلتاوات للعديد من المشكلات الجيومورفولوجيّة، كالحت الجانبي للمجاري المضفرة، والإغراق بماء الفيضانات، وتغيرات مستوى المياه الجوفية، والتجوية لارتفاع نسبة الملوحة في المياه الجوفية، ويشتد عنف العمليات الجيومورفولوجية للمياه ضمن الأودية السيليّة في المراوح الفيضية، لفجائيتها وعنفها، وخضوع الطريق لفترات طويلة لتأثير العمليات الجيومورفولوجية الأخرى، كالتجوية

والرياح والتملح. وعلى الرغم من كون عمل السيول مؤقتاً. إلا أنه أشد تدميراً لما تتميز به من عنف. وهي من المشكلات الشائعة في المملكة السعودية. صور رقم (١٠-١٨/١٧).



صورة رقم (١٠-١٧) رواسب سيلية فوق طريق البيضاء -يلملم/ مكة المكرمة.



صورة رقم (١٠-١٨) تدمير جزء من طريق الداير في منطقة جازان/السعودية (٢٠١٣)م.

ب - في البيئات الساحلية:

تختلف مقومات ومشكلات مد الطرقات في البيئات الساحلية حسب طبيعة الساحل، فالسواحل السهلية المنخفضة، تقدم أراض منبسطة تربط بين المدن والموانئ، والسواحل الصخرية التي تتطلب أعمالاً هندسية تمهيدية ترفع من تكاليف الطرق.

وتعمل الأمواج على حت الطرقات وتآكلها جانبياً، صورة رقم (١٠-١٩). وبالتالي يمكن أن يكون خطرها مستمراً حسب الشروط المكانية التي تضمن استمرار حركة الرمال فوق الطرق، أو موسمياً، أو طارئاً حسب موسم الرياح وازدياد نشاط الأمواج. أما في السواحل الصخرية العالية، فإن تعرضها الدائم لفعل الحت ينسف قواعدها، مشكلاً الكهوف والشرفات، التي تنهار أسقفها مع الوقت مسببة قضم أجزاء من الطرق الساحلية. صورة رقم (١٠-٢٠).



صورة رقم (١٠-١٩) تآكل طريق منخفضة في بحر الشمال بفعل الحت.



صورة رقم (٢٠-١٠) انهيار طريق ساحلي بسبب حت الأمواج/ نيوزيلاندا.

وتتأثر الطرقات بما يطال المنحدرات من انزلاقات بسبب حت الأمواج لأقدامها، فتنهار الطرقات من أسفلها، صور رقم (٢١-١٠).



صورة رقم (٢١-١٠) انهيار طريق بفعل حت الأمواج.

ج – في البيئات الصحراوية:

تمتد الطرقات في الصحاري لمسافات طويلة، وذلك لتباعد التجمعات السكانية التي نشأت حول الواحات أو بالقرب من حقول النفط والغاز، مما يجعلها عرضة في قطاعات طويلة منها لخطر العمليات الجيومورفية الشائعة في الصحاري. ولعل أخطرها فعل التجوية الحرارية، التي تسبب تمدد الإسفلت نهاراً وتقلصه ليلاً. فتتشقق طبقة الإسفلت، وتصبح سهلة الحت والإزالة بفعل السيول لاحقاً، صورة رقم (٢٢-١٠). والحت الريحي، كما تعد الكثبان الرملية المتحركة من أخطر المظاهر الجيومورفولوجية تأثيراً في الطرقات، لذلك يجب دراسة مساراتها ومعدل حركتها، وأحجامها، ونطاقات تحركها. صورة رقم (٢٣-١٠).



صورة رقم (٢٢-١٠) كثيب رملي هلالي يقطع طريقاً صحراوياً/ السعودية.



صورة رقم (٢٣-١٠) سيول تبوك تقطع الطرقات.

د- في المناطق الجبلية :

تعد الجبال من العوائق الطبيعية التي تعترض مسار الطرق، وتمثل تحدياً هندسياً - جيومورفولوجياً لما تتطلبه من أعمال تمهيدية وصيانة مستمرة. فغالباً ما يكون الحيز المتاح للطرق ضيقاً وغير آمن ولا يسمح بأي التفافات أو ازدواج في الاتجاه، وتكون حالته الفنية تبعاً للمستوى الاقتصادي والتقني للدولة، فمعظم الطرق الجبلية في إيطاليا مثلاً، تحمل مواصفات عالية من الأمان، وتقدم وظائف إضافية متعددة كالسياحة والرياضة. في حين تتدهور حالة الطرقات في مواقع كثيرة من جبال الهند وباكستان وأفغانستان والصين، ولا يسمح الانحدار الشديد وحركة المواد فوق السفوح بتوسيع الطرقات أو تدعيمها. صور رقم (٢٤/٢٥/٢٦-١٠). وتؤثر حركة المركبات وأوزانها ونوعها وكثافة المرور والأحوال المناخية في استقرار المنحدرات، وتتعاظم المشكلات في حال كانت ميول الطبقات المتشققة باتجاه الطريق، أو استحال تثبيت المواد بالأساليب التي تم التعرف عليها سابقاً في فصل المنحدرات.

ومن الشائع أن تشق الطرق بشكل حلزوني للوصول إلى قمم الجبال المنعزلة والتلال المخروطية ذات السفوح شديدة الانحدار. صورة رقم (٢٧-١٠). أو على شكل زكزاك في المنحدرات الشديدة الواسعة.



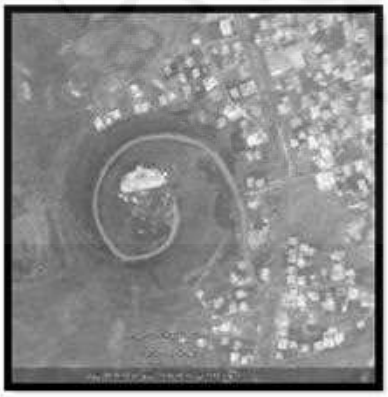
صورة رقم (٢٤-١٠) طريق بين ساليرون Salerno و سورينتو Sorrento في إيطاليا.



صورة رقم (٢٥-١٠) ممر روتانغ / الهند.



صور رقم (٢٦-١٠) ممر زوجي Zojie في الهند، ويلاحظ منها خطورة المجاري المتعمقة وشدة انحدار السفح.



صورة فضائية رقم (٢٧-١٠) طريق حلزوني في تل القلعة شهبا/ سورية.

وقد تتعقد مشكلات المناطق الجبلية بتنوعها، حيث تعاني مناطق جبال فيفا في منطقة جازان في المملكة العربية السعودية، أخطار الانهيارات الصخرية على الطرق والممتلكات– وكذلك حال كثير من طرقات المملكة – بسبب الأمطار الغزيرة والفجائية وعدم توفر شبكات صرف مياه، صور رقم (٢٨/٢٩–١٠)، وكذلك تؤثر ميول الطبقات في ارتفاع احتمال انهيار الكتل الصخرية مباشرة نحو الطرق. صورة رقم (٣٠–١٠).





صورة رقم (٢٨–١٠) السيول شرقي مكة وخطرها على الطريق السريع.

صورة رقم (٢٩–١٠) انهيار جبل الهدى على الطريق بين مكة والطائف (٢٠١٣/٥).



صورة رقم (٣٠–١٠) انهيار كتل صخرية من طبقات تميل نحو طريق الشلف/ السعودية.

ومن مشكلات الطرق في المناطق الجبلية – الغابية، انحراف السيول نحو الطرق باعتبارها المسارات الأخفض، ولا تكون محمية بجدران استنادية، أو حين يكون التدفق سيلياً حطامياً.

هـ- مناطق الكارست:

سبق تحديد خصوصية المناطق الكارستية، التي تخضع لعمليتي التحلل والإذابة، ولعل أخطر ما في بعض مظاهرها أنها تتم تحت سطح الأرض، ولا يمكن اكتشاف مواقعها إلا بطرق معينة من السبر، ومع تجاهل المهندسين لتحديد مواقعها وأحجامها ومستوياتها، واستمرار حركة المرور فوق الطرقات، وارتفاع قدرة المياه المتسربة الحامضية عبر شقوق الإسفلت، تزداد قدرتها على الحل، ومع الوقت تنهار أسقف الكهوف، مشكلّة حفر وانهيارات خطيرة. صورة رقم (٣١-١٠).



صورة رقم (٣١-١٠) انهيال أسقف مغاور أسفل طريق في استراليا.

إن شيوع مشكلات التحلل الصخري وخطورة ذلك على البنى التحتية في المملكة المتحدة، دفع هيئة المساحة الجيولوجية البريطانية the British Geological Survey (BGS)، لوضع مؤشر يفيد في تحديد مدى قابلية الأرض للاستخدام في ظل احتمال تعرضها للهبوط وتلوث مياهها الجوفية بسبب المياه الراشحة من الطرق والسكك الحديدية. ويُحسب من خلال بناء قاعدة بيانات ومعلومات جيولوجيّة وهندسيّة وجيومورفولوجيّة موسعة، ويتم توجيه مسار الطريق وفق خرائط جيومورفولوجيّة هندسية دقيقة. كما هي الحال في منطقتي شيشاير ومانشستر. (Anthony & Others ; 2011).

و- في البيئات القطبية والصقيعية:

تتعرض الطرقات في هذه البيئات لأحوال مناخية قاسية ومتطرفة، فتشكل الصقيع فوق الطرقات يجعل من سطحها أملسَ زلقاً، إلاّ أن الانهيارات الثلجية تعد العدو الأكبر للطرقات، ففي حال حدوثها تعمل على قطع الطرق أو إزالة أجزاء منها بالحت، و/أو قطعها بما تراكمه

فوقها من صخور وجلاميد وأشجار مقتلعة. ومن المشكلات الموسمية في المناطق القطبية، تعرض الطرق لغمر المياه الناتجة عن ذوبان الثلوج في فترة الصيف.

٢ - الحلول المقترحة:

تتطلب الحلول المقترحة تكاملاً وتنسيقاً مع بقية المعنيين من مؤسسات علمية وحكومية، ويمكن اتباع استراتيجية عامة لدى الإسهام في عملية التخطيط للطرق، تشمل الخطوات التالية:

١- إعداد دراسة جيومورفولوجية عن طبيعة التضاريس التي تمتد فوقها الطرق أو ضمنها.

٢- دراسة طبيعة العمليات الجيومورفية التي تؤثر في مسار الطرق وخصائصها المكانية والزمنية.

٣- إعداد خرائط نوعية دقيقة عن مسارات الطرق، وتحديثها بشكل دوري أو بعد كل تغير جيومورفولوجي مهم يؤثر فيها. وتحديد أفضل المناطق لمسار الطريق، التي تحقق أهداف: الاتصال الآمن والسريع والتكلفة المنخفضة. وتكون الأولوية للمواقع الآمنة، وإن طالت مسافاتها، وارتفعت تكلفتها، لكنها توفر فيما بعد تكاليف الصيانة والإصلاح وتطيل عمر الطريق.

٤- اقتراح البدائل الأكثر تناغماً مع طبيعة التضاريس، كالأنفاق والجسور.

٥- تحديد أنواع الأخطار الجيومورفية التي تهدد الطرق وتقييم حجم خطرها ومستوياته.

٦- اقتراح الحلول الجيومورفولوجية المناسبة، والتأكد من أن أيّاً من الحلول لن يفضي إلى مشكلات أكبر من التي وضعت لحلها.

٧- نشر الشاخصات المرورية التحذيرية على الطرقات، مع تبيان نوعية الخطر المؤكد أو المحتمل، ليتمكن السائق من اتخاذ التدابير المناسبة قبل دخوله منطقة الخطر.

أما عن الحلول الخاصة بمشكلات الطرقات حسب البيئات سابقة الذكر فمنها:

١- شق الطرقات وفق نمط حلزوني أو ملتو لتسلق المنحدرات شديدة الانحدار، صورة رقم (٣٢-١٠).

٢- إبعاد الطرقات عن الجروف والقطاعات غير المستقرة، وترك مسافات آمنة عن المنحدرات المجرّفة بفعل عمليات الإنشاء والتمهيد، وهي مسافة تسمح للمواد المتحركة

فوق المنحدرات بالتجمع بعيداً عن الطريق، ويفضل دعم هذا الإجراء بأسيجة معدنية أو شجرية على أطراف الطرق لمنع وصول هذه المواد إلى الطريق.



صورة رقم (٣٢- ١٠) طريق ملتوٍ مدعم بجدر حجرية في جبال الصين.

٣- تثبيت الضفاف النهرية الضعيفة بتطبيق تقنيات طويلة الأجل، كالتي أوصت بها أبحاث الجيومورفولوجيا الهندسية engineering geomorphology التي أجريت على أنهار جنوب شرقي فرنسا، مثل زراعة غطاء نباتي بدلاً من الهياكل الإسمنتية. (Bravard & Others: 1999)، ويمكن اعتماد أساليب صلبة مزدوجة، كالشبكات المعدنية والهياكل الحديدية لإبعاد خطر المياه الجارية وحمولتها الحصوية والحجرية عن الطريق. صورة رقم (٣٣-١٠).



صورة رقم (٣٣-١٠) طريق محمي بالشبكات والهياكل المعدنية.

٤- توجيه حركة التيارات المائية بعيداً عن الضفاف التي بنيت فوقها الطرق، والمعرضة للحت الجانبي. بتعديل مساراتها نحو منتصف المجرى دون أن يتسبب ذلك بتنشيط الحت الرأسي على حساب الحت الجانبي. وتثبيت ضفاف الأكواع النهرية بالتحديد.

٥- إبعاد الطرقات عن الضفاف المعرضة للفيضانات النهرية بشكل دائم، أو رفع سوية الطرقات فوق أعلى مستوى محتمل للفيضانات.

٦- تزويد الطرقات بقنوات صرف جانبية تتناسب مع أكبر كمية هطل متوقعة، مع ضرورة التنبه إلى صيانتها بشكل دوري لمنع انسدادها بما تحمله مياه الأنهار من مواد طينية وعضوية.

٧- إنشاء عبّارات وفتحات تسمح بمرور مياه السيول وحمولتها تحت الطرقات. ويجب أن يراعى لدى إنشائها المقدرة على استيعاب أكبر كمية مياه تصريف متوقعة، مع القدرة على تحمل الطاقة التخريبية للمواد السيليّة. صورة رقم (٣٤-١٠).



صورة رقم (٣٤-١٠) فتحة -عبّارة- لإمرار مياه السيول.

٨-إبعاد مسارات الطرق عن تأثير الترسيب البحري، أو الحت الموجي، إن سمحت خصائص المكان بذلك. وبناء سدود وحواجز بين الطرق والسواحل المنخفضة، لدرء خطر أمواج التسونامي، ويجب أن تكون السدود ذات مواصفات من العلو والمتانة، بحيث تكون قادرة على صد هجمات الأمواج المدية.

٩- بناء حواجز أو أسيجة نباتية أو مصائد للرمال، تعمل على حجزها أو إبعادها عن الطرقات. صورة رقم (٣٥-١٠).



صور رقم (٣٥-١٠) طريق صحراء تاريم المحاط بأسيجة نباتية.

١٠- حقن مظاهر التحلل الكارستي أو حت الأمواج في الجروف الساحلية والمناطق الكارستية بمواد غير قابلة للتحلل و/أو مقاومة لفعل الأمواج الحتي. وعدم استخدام مواد قابلة للتحلل في الطبقات الحصوية الدنيا للحدّ من خطورة تعرضها للتحلل بفعل المياه المتسربة عبر شقوق الإسفلت. مما يخلف فراغات بين الحصى ويقلل من تماسك الطبقة، فيُحدث حفراً في الطريق.

١١- استخدام الشبكات المعدنية لحجز المواد بعيداً عن الطريق، أو تغليف المنحدرات بشبكات ذات فتحات تكون قادرة على منع المواد من تجاوزها، وعدم تحولها إلى مصدر للخطر المضاعف، مع الحذر من ابتكار طرق غير مجدية لمجرد أنها جديدة، مثل إكساء المنحدرات بالحجارة أو تغليفها بطبقة من الإسمنت، مما يجعلها عرضة للتفتت بفعل حركة المواد دونها. وهي ظاهرة رصدت في مواقع عدة على يمين طريق دمشق – دُمّر البلد.

١٢- اختيار الجانب الأكثر أماناً من التضاريس ذات الطبقات الصخرية وحيدة الميل، كما يمكن حفر الأنفاق لاختراق المنحدرات الصخرية الحادة. صورة رقم (٣٦-١٠).



صورة رقم (٣٦-١٠) نفق في أحد الطرق الجبلية/ إيطاليا.

١٣- إبعاد الطرقات عن مناطق الانهيارات الثلجية، أو حمايتها بزراعة أشجار مناسبة في هذه القطاعات، مع ضرورة تأمين وسائل نقل بديلة لمنع انعزال التجمعات السكانية و السياحية أو الرياضية في حال حدوث انقطاع للطرق، وهي حالات متكررة في جبال الألب.

ثالثاً- الجيومورفولوجيا والجسور

الجسور مشاريع هندسية اضطرارية. تلجأ إليها الدول لتخطي عوائق منخفضة كالأودية والأنهار والمنخفضات البنائية. لذلك يجب أن يراعى فيها طبيعة العمليات الجيومورفية السائدة في الموقع، فمتطلبات الجسور فوق الأنهار دائمة الجريان، غير تلك التي يجب أن تتوفر في جسور الأودية الجافة. فلكل نموذج عمليات خاصة به، إلا أنه لا بد من توفر بعض الشروط أو إيجادها أو التأقلم معها في الموقع. وهي:

١- استقرار جوانب منحدرات الوادي أو المجرى النهري، التي ستبنى عليها مرتكزات الجسر abutments، بحيث يحدد ميل طبقاتها ونظام شقوقها وطبيعة حركة موادها السطحية.

٢- متانة قاع النهر أو الوادي، حيث تثبت القواعد الإسمنتية، أو تبنى أساسات للقواعد بعمق معين ضمن الرواسب اللحقية بشكل يحقق استقرار الجسر وعدم انهياره.

٣- أن تكون المنطقة مستقرة بنائياً، أو ذات نشاط زلزالي يمكن للجسور تحمله.

٤- يفضل اختيار أضيق قطاعات الوادي أو المجرى، لتقليل التكاليف واختصار الزمن، وهو شرط يمكن تجاوزه في ظل التقنيات العالية والحديثة.

ومن الجوانب الجيومورفولوجية الواجب مراعاتها في هذا الشأن:

أ. إجراء دراسة جيومورفولوجية دقيقة عن الموقع المختار لتشييد الجسر، وهذا يعني المظاهر الجيومورفية للقطاع الطولي والعرضي وشكل الوادي.

ب. دراسة العمليات الجيومورفية السائدة في الموقع، أي في قاع النهر وجوانبه، من حيث أنواعها وشدتها ومعدلاتها وتكراريتها.

ج. تحديد المخاطر التي تهدد الجسر، واقتراح أفضل السبل لمعالجتها والحد منها، كمشكلة ميل الطبقات نحو الوادي، حيث إن محصلة قوة الجاذبية والقوى الضاغطة فوق المرتكزات وتأثير قوى حركة المركبات، تتجه جميعها نحو سرير النهر مع ميل الطبقات، مما يعني انهيارات وانزلاقات مسبب عدم استقرار الجسر، شكل رقم (١٠-١٠). (Narayanswami :2000).



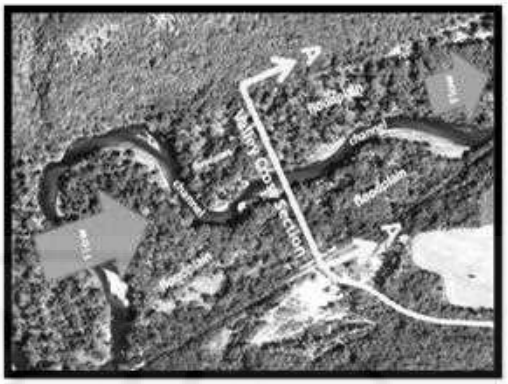
شكل رقم (١٠-١٠) أثر ميل الطبقات والحت النهري على استقرار مرتكزات الجسر.

د. حماية الضفاف المعرضة للحت عند الأكواع النهرية، ويكفل هذا الإجراء منع حدوث أمرين، الأول: تراجع الضفة، والثاني تغيير المجرى لموقعه بالهجرة الجانبية مبتعداً عن موقع الجسر. صورة رقم (٣٧-١٠).



صورة رقم (٣٧-١٠) إكساء ضفاف الأكواع النهرية أسفل جسور نهر وايت ووتر White water، جنوب شرقي مدينة مينسوتا الأمريكية

هـ. تتيح دراسة الحيز المكاني لهجرة الأنهار الجانبية، ويقصد به السهل الفيضي، تحديد المسافة التي يجب أن تصل إليها أطراف الجسر لتبقى بعيداً عن خطر الحت الجانبي. شكل رقم (١١-١٠). مع ضرورة التركيز على المتغيرات الأهم المتحكمة بحركة المجاري المائية نحو المصب وشكل قنواتها، هي (العرض، والعمق، والسرعة، والمنحدر، وحجم الرواسب، وحجم الرواسب، وخشونة القاع، ومعدل التصريف)، وتحديد العلاقة بين التصريف النهري وعرض المجرى، وهو الأهم بين المتغيرات السابقة بالنسبة للجسور.



شكل رقم (١١-١٠) مخطط امتداد الجسر (A-A) على جانبي السهل الفيضي.

و. ضرورة تثبيت المنحدرات التي يصل الجسر بينها، بعد تحديد خصائصها البنيوية والبنائية، كميل الطبقات ونظام الشقوق، وزوايا استقرار المواد السطحية، ويتم ذلك بالطرق المتعددة لتثبيت المنحدرات، كما ينطبق ذلك على المنحدرات الصنعيّة التي يرتكز عليها الجسر، صورتان رقم (٣٨/٣٩-١٠).



صورة رقم (٣٨-١٠) تثبيت منحدرات ارتكاز الجسور بالإكساء الحجري.



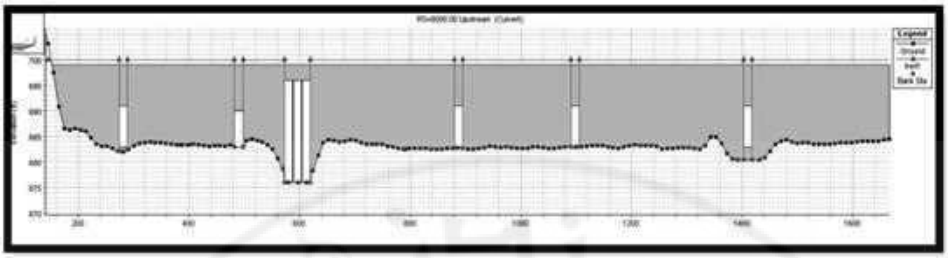
صورة رقم (٣٩-١٠) تثبيت منحدرات ارتكاز الجسور بالتعشيب.

ز. دراسة القاع والانتباه لما يلي:

١. تحديد أخفض نقاط القاع حيث سرعات التيار أعلى ما تكون، بسبب مرور كمية أكبر من المياه الجارية فوقها، مما يعني ضرورة زيادة عدد الدعائم، وتثبيتها جيداً وحماية قواعدها.

٢. يجب أن يراعى عند تحديد المسافة بين الأعمدة عدم تحولها إلى مصائد للحمولة النهرية، فتشكل جداراً حاجزاً، مما يسبب ضغطاً مضافاً على قواعد الجسر. ويبين الشكل رقم (١٢-١٠)، توزع أعمدة الجسر حسب حفر ومنخفضات القطاع العرضي.

شكل رقم (١٢-١٠) توزع الدعائم حسب خصائص القطاع العرضي لمجرى مائي.



٣. حماية الدعائم Piers من عملية الحت المائي. وذلك إما باستخدام مواد مقاومة للحت المائي كالبازلت أو الغرانيت، أو بناء القواعد بشكل يقلل من جبهة تصادمها مع الماء. كأن تكون زورقيّة أو مدببة من جهة التدفق. بحيث يبتعد عنها الماء نحو وسط المسافة بين الأعمدة.

٤. التأكد من عدم تعرض القاع عند القواعد لفعل الحت الرأسي، الذي من شأنه أن يتسبب بانهيار الجسر. وضرورة إيجاد حلول مناسبة في حال بلغ معدل الحت الرأسي حد الخطورة، كبناء قواعد منضدة. والتحكم بالعوامل التي تسبب الحت الرأسي، كتخفيض معدل انحدار القناة أو توسيعها. صورة رقم (٤٠-١٠).



صورة رقم (٤٠-١٠) تقويض قواعد الجسور بالحت النهري.

ح. دراسة تاريخ الفيضانات وخصائصها في الموقع المختار لبناء الجسر، وقد اختير موقع لأحد الجسور في حوض نهر وايت ووتر White water جنوب شرق ولاية مينيسوتا، دون العودة إلى تاريخه الخطير، فقد تكررت فيضاناته (٢٠) مرة عام (١٩٢٠)م، و(٢٨) عام (١٩٣١)م، وشهد فيضاناً كبيراً عام (٢٠٠٧)م، مما تسبب بانجرافه وتدميره مراراً (Zytkovicz & Murtada: 2013).

ط. يجب أن يرتفع الجسر إلى مستوى يزيد علواً فوق أعلى مستوى متوقع من الفيضانات، لتجنب وصول المياه وحمولتها من الرمال والحصى وحطام الأشجار إليه.

ي. ضرورة خلو الموقع من التكهفات والتجاويف، التي تسبب انهيارات وخسوفاً تهدد استقرار الجسر، ودراسة خصائصها إن وجدت – من حيث التوزع والأحجام وسمك الأسقف وقدرتها على التحمل ونظام شقوقها ومعدل تحللها.

وأخيراً يجب القول إن الجيومورفولوجية التطبيقية انطلقت من مبدأ المراقبة لما تبديه التضاريس من ردود فعل تجاه التدخلات البشرية، وحينها استمرت ثورة المشاريع الهندسية بدفع العمليات الجيومورفولوجية نحو نقطة حرجة من تطور المشهد الأرضي، ففي كثير من الحالات تم تجاهل دور العمليات الجيومورفولوجية وتضاريس سطح الأرض، أو التقليل من أهميتها وتأثيرها في المشاريع الهندسية- العمرانية، بل إن رؤية قديمة سادت سابقاً بأن الهندسة قادرة على السيطرة على الطبيعة. ومع وضوح نتائج هذه المشاريع على الصعيد الجيومورفولوجي- الجغرافي، وحدوث كوارث طبيعية ذات أسباب بشرية، أو أخطار ذات أصل جيومورفولوجي، أصبح لا بد من تغيير طريقة التعامل مع تضاريس سطح الأرض، وعدم تنحيته من الحسابات الهندسية، واتباع نهج إدارة مختلف يعتمد على مفهوم التكيف مع الطبيعة Adapte to natuure لا إخضاعها.

الفصل الحادي عشر الخرائط الجيومورفولوجية

١. مفهوم الخريطة الجيومورفولوجية وتعريفها.

٢. أنواع الخرائط الجيومورفولوجية وتصنيفها.

٣. تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية.

٤. مراحل تطور الخرائط الجيومورفولوجية وأساليب استعمالها.

٥. إعداد الخريطة الجيومورفولوجية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

تحتاج دراسة أشكال سطح الأرض وبنيتها وتطورها إلى أشكال توضيحية تضم الرسوم البيانية والصور والخرائط، ولذلك استخدم الجيومورفولوجيون طرقاً وأساليب عدة من أجل ذلك مثل الأشكال المجسمة والمخططات البيانية وأنواعاً مختلفة من الصور الملتقطة من الأرض أو الصور الجوية والفضائية الملتقطة من الطائرات والأقمار الصناعية، وإحدى هذه الطرق وأكثرها أهمية خرائط أشكال سطح الأرض أو ما يعرف بالخرائط الجيومورفولوجية.

وتعتبر الخرائط الجيومورفولوجية إنتاجاً حديثاً يعود لمطلع القرن السابق نتيجة لجهود العديد من الجيومورفولوجيين خاصة في الدول الأوربية (Demek, 1982) وتطورت طرق وأساليب إعدادها واستعمالها حتى أصبحت أداة أساسية ورئيسة في الدراسات والأبحاث الجيومورفولوجية العملية والتطبيقية والتحليلية أو في علم أشكال سطح الأرض (الجيومورفولوجيا morphology) بشكل عام، وهو العلم الذي يختص بدراسة عدة جوانب تتعلق بتضاريس سطح الأرض أهمها:

١- دراسة أشكال التضاريس Morphology.

٢- قياس أبعاد التضاريس وانحداراتها Morphometery.

٣- دراسة منشأ أو أصول التضاريس Morphogenesis.

٤- البحث في أعمار التضاريس أو تتابعها الزمني أو تحديد أزمان تشكلها Morphochronlogy.

٥- دراسة عوامل تشكل المظاهر التضاريسية الراهنة لسطح الأرض والعوامل المتوقع أن تساهم في تشكلها في المستقبل، وهذه الدراسة تعرف بعلم أشكال سطح الأرض الحركي أو الديناميكي Morph dynamic.

وعلى ضوء ما تقدم يمكن توضيح مفهوم الخريطة الجيومورفولوجية وتعريفها كما يلي:

مفهوم الخريطة الجيومورفولوجية وتعريفها:

تعد الخرائط الجيومورفولوجية خرائط خاصة أو موضوعية Special or Thematic Maps لأنها تختص بتمثيل ظاهرة واحدة هي تضاريس سطح الأرض، ولكنها واسعة المحتوى بسبب التنوع الكبير للمظاهر الجيومورفولوجية لسطح الأرض من ناحية، وبسبب تعدد الجوانب التي تهتم بها الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية والعملية والتحليلية ويجب

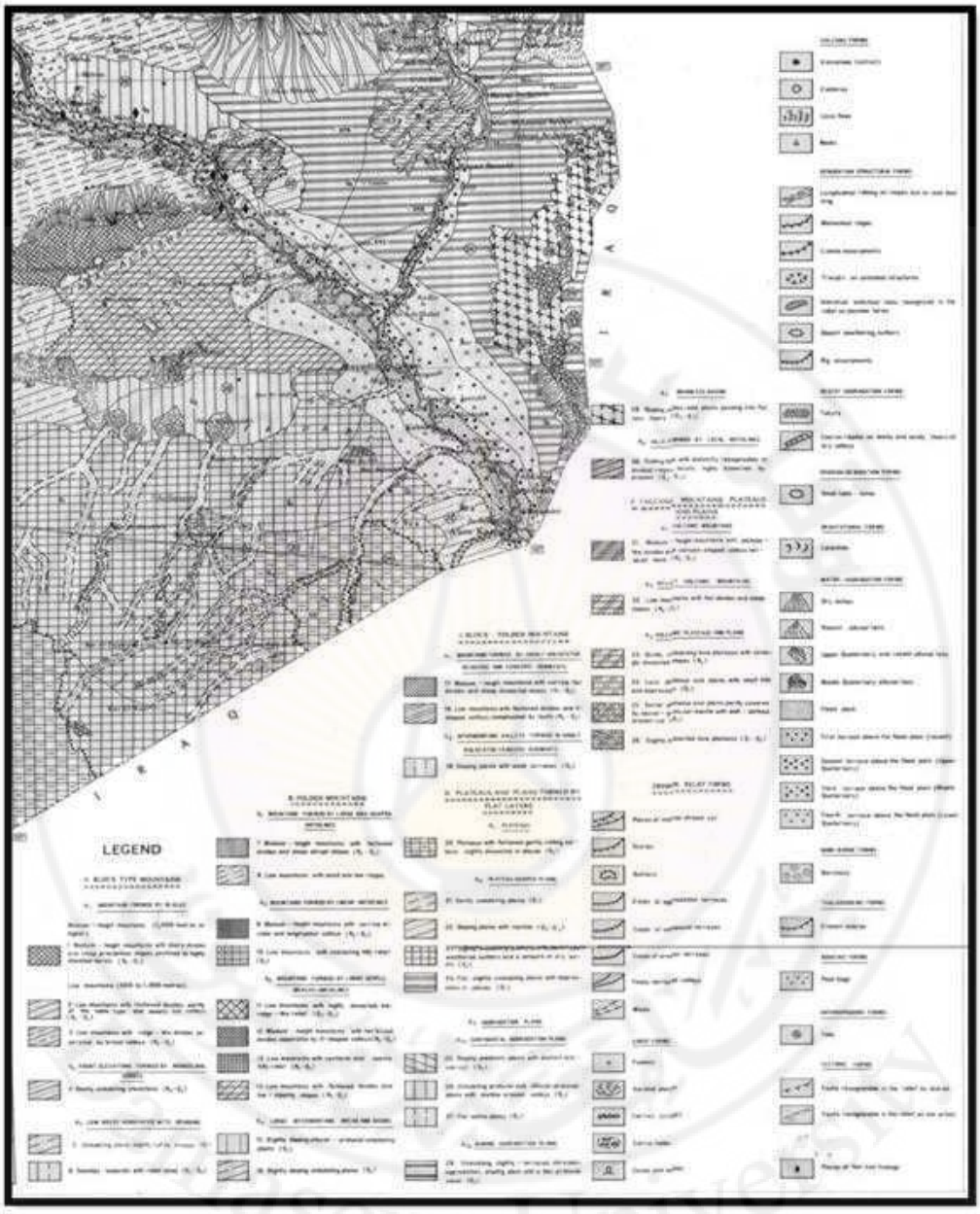
أن تمثل على الخرائط من ناحية أخرى، وهي الجوانب الخمسة التي ذكرت أنفاً، وتشمل أشكال التضاريس وقياس أبعادها وانحداراتها ومنشأها وأزمان تشكلها والعوامل التي شكلتها، وهذا ما جعل تمثيل المظاهر الجيومورفولوجية على الخرائط أمراً معقداً وصعباً، وقد استغرق ابتكار المصطلحات والرموز والأساليب الخرائطية المناسبة لتمثيلها وقتاً طويلاً وجهداً كبيراً خاصة من قبل الجيومورفولوجيين في الدول الأوربية خلال الأربعين سنة الأخيرة، وقد زاد في تعقيد هذا الأمر وصعوبته تعدد المدارس الجيومورفولوجية واختلاف وجهات نظر الجيومورفولوجيين وتعدد آرائهم حول محتوى الخريطة الجيومورفولوجية والتفاصيل التي يجب أن تمثلها، وطريقة تصنيف المظاهر الجيومورفولوجية وأساليب تمثيلها برموز وألوان مناسبة على الخريطة بحيث توضح الآتي:

١. أشكال التضاريس.
٢. أبعاد التضاريس وانحداراتها.
٣. منشأ أو أصول التضاريس.
٤. تحديد الأزمان الجيولوجية التي تشكلت خلالها التضاريس.
٥. العوامل الخارجية والباطنية التي ساهمت في تشكيل التضاريس، والعوامل التي يتوقع أن تؤثر في تشكليها في المستقبل.

وغالبا يتم تصنيف المظاهر الجيومورفولوجية عند تمثيلها على الخرائط في وحدات رئيسية حسب بنيتها وطبيعتها السائدة وحسب عوامل وأزمان تشكلها وحسب طبيعة تضاريس منطقة الخريطة، وتضم كل وحدة رئيسية عدة مجموعات أو أنماط من المظاهر الجيومورفولوجية التي يشمل كل منها عددا من الأشكال والمظاهر مصنفة حسب أحجامها أو أبعادها أو أشكالها أو خصائصها البنيوية وأزمان تشكلها، فعلى سبيل المثال يمكن تقسيم منطقة الخريطة إلى أقسام رئيسة حسب طبيعة تضاريسها السائدة، فمثلاً يمكن تقسيمها إلى منطقتين رئيسيتين تشمل منطقة الجبال والتلال، ومنطقة الهضاب والنجود والسهول وتصنف المظاهر الجيومورفولوجية في كل منطقة إلى أنماط يشمل كل نمط منها المظاهر الجيومورفولوجية المتشابهة في (خصائصها وعوامل تشكلها البنيوية الخاصة مثل الارتفاع والانحدار والتخدد والتقطع والامتداد) وغيرها من الخصائص. شكل (١-١١).

ويمكن تقسيم تضاريس منطقة الخريطة في وحدات أو أنماط جيومورفولوجية رئيسية مثل:

- جبال التوائية Folded Mountains.
- جبال كتلية Block Mountains.
- جبال كتلية – التوائية Block- Folded Mountains.
- هضاب وسهول Plateaus and plains.
- جبال وهضاب وسهول بركانية Volcanic Mountains, Plateaus and plains. أشكال تضاريسية حتية Erosion relief Forms.
- أشكال كارستية Karst Forms– أشكال تعرية بنيوية Denudation Structural Forms.
- أشكال بركانية Volcanic Forms.
- أشكال تعرية بنيوية Denudation Structural Forms.
- أشكال تعرية – حتية Denudation Forms Erosion-.
- أشكال الحت الصحراوي Desert Aggradations' Forms .
- أشكال الحت المائي Water – Aggradations' Forms.
- أشكال الترسيب الريحي Wind Forms.
- أشكال الحت والترسيب البحري Thalassiging forms.
- أشكال حيوية Biogenic Forms.
- أشكال انثروبوجينية Anthropogenicأو أشكال جيومورفولوجية بشرية Anthrop geomorphology Forms.
- أشكال تكتو نية Tectonic Forms.



شكل رقم (١-١١) خريطة جيومورفولوجية للجزء الشرقي من سورية مقتطعة من خريطة سورية الجيومورفولوجية التي أعدها ك. ميرزاييف عام١٩٦٠ خلال المسح الجيولوجي للأراضي السورية. الخريطة الأصلية بمقياس ١/١٠٠٠٠٠٠.

وتصنف الأشكال الجيومورفولوجية في كل وحدة حسب الأشكال أو العوامل البنيوية التي شكلتها، وحسب ارتفاعها وأزمان تشكلها وخصائصها وصفاتها الشكلية، فمثلاً تصنف الجبال الالتوائية إلى:

١- جبال التوائية كبيرة محدبة صندوقية الشكل تتفرع إلى:

- جبال عالية ومتوسطة الارتفاع بأجزاء مسطحة ومنحدرات فجائية تشكلت في النيوجين والرباعي (N-Q).
- جبال منخفضة بسلاسل صغيرة (زمن التشكل).

٢- جبال التوائية خطية الشكل تتفرع إلى: جبال عالية ومتوسطة الارتفاع، وجبال منخفضة وتوضيح صفاتها وخصائصها الجيومورفولوجية مثل التقطع والتخدد، وأشكال أوديتها ومظهرها العام (تلالية متموجة، أودية طولانية) وتحدي زمن تشكلها.

٣- جبال التوائية محدبة كبيرة متفرعة يمكن تصنيفها في مجموعات أنماط حسب ارتفاعها وصفاتها وزمن تشكلها.

٤- أحواض ومناطق جبلية بينية كبيرة Large- Intermountain Areas and Basins تصنف مثلا إلى سهول متموجة طمبية – حصوية لطيفة الميل، وسهول متموجة لطيفة الانحدار.

ويمكن تصنيف الجبال الكتلية، والجبال الالتوائية –الكتلية في مجموعات فرعية بالاعتماد على خصائصها الجيومورفولوجية وارتفاعها وأزمان تشكلها، فتصنف الجبال الكتلية إلى جبال عالية (أكثر من ١٠٠٠م) ومنخفضة (٥٠٠-١٠٠٠م)، ومرتفعات جبهية تشكلت بنجود صدعيةHorsts وحيدة الميل، ومناطق أغوار صدعية منخفضة Grapens، و يتفرع كل منها إلى عدد من الأقسام الثانوية تتمايز بخصائصها الجيومورفولوجية مثل التخدد والتقطع وأعماق الأودية وميل سطوحها أو تموجها أو انبساطها.

ويمكن تصنيف الجبال والنجود البركانية بنفس الطريقة وحسب خصائصها إلى جبال بركانية مرتفعة ومتوسطة الارتفاع، ونجود وسهول وحمم بركانية مع تحديد مواقع البراكين والفوهات البركانية والمداخن والاتجاه الذي سلكته الحمم البركانية.

ويمكن تصنيف أشكال التضاريس الحتية مثل مواقع الحت النهري الشديد، والجروف، والصخور المنعزلة، والأودية، والمصاطب النهرية الحتية والمركبة. ويمكن تصنيف المظاهر

الكارستية إلى كهوف، وبالوعات،ومواقع الحت الكارستي، والمغائر والجروف الكارستية. ويمكن تمييز أشكال التعرية البنيوية Denduational structural Forms مثل التورق الطولاني بسبب طباقية الصخور، وسلاسل أحادية الميل، وجروف الضلوع، وصخور التجوية الصحراوية، والأشكال الناتجة عن تأثير الجاذبية والثقالة مثل انزلاق الأراضي.

ويمكن تمييز الأشكال الناجمة عن الإرساب المائي Water Aggradation مثل الدلتات، والمراوح الطمية، والسهول الفيضية والمصاطب النهرية وتحديد أزمان تشكلها، ويمكن تحديد الأشكال الريحية مثل الكثبان الرملية، والأشكال الناتجة عن الحت والإرساب البحري Thalassogenic Forms مثل الجروف والبلاجات والشواطئ الرملية، والأشكال الانثربوجينية مثل التلال، والأشكال البيوجينية Biogenic Forms مثل توضعات البيتPeat Bogs بالإضافة إلى الأشكال الناتجة عن الحركات التكتونية مثل الصدوع.

وبسبب المعلومات والتفاصيل التي تحتاجها الخرائط الجيومورفولوجية يتم إعدادها بالتزامن مع أعمال المسح الجيولوجي الشامل لأراضي منطقة الخريطة التي تمكن من الحصول على هذه المعلومات، بالإضافة إلى جمع الأدوات الصوانية والحجرية التي خلفها الإنسان القديم للاستفادة منها في تحديد أزمان نشوء الأشكال الجيومورفولوجية أو تتابعها الزمني. وترفق الخريطة الجيومورفولوجية عادة بمذكرة توضيحية Explanatory Notes تتضمن شرحاً وافياً للمظاهر في منطقة الخريطة وأنواعها وأشكالها وأزمان تشكلها، وأسس تصنيفها والعوامل الطبيعية الباطنية والخارجية والعوامل البشرية التي ساهمت في تشكلها. وعلى ضوء ما تقدم يمكن صياغة تعريف مناسب للخريطة الجيومورفولوجية.

تعريف الخريطة الجيومورفولوجية:

هي "خريطة تمثل المظاهر الجيومورفولوجية أو أشكال التضاريس وخصائصها الشكلية والبنيوية والكمية والزمنية في منطقة الخريطة مصنفة في وحدات وأنماط ومجموعات جيومورفولوجية حسب بنيتها وطبيعة نشأتها والعوامل التي ساهمت في تكوينها وتوضح أبعادها وانتشارها وأزمان تشكلها، وترفق مع مذكرة توضيحية تتضمن شرحاً لأنواع المظاهر الجيومورفولوجية في منطقتها تعكس وجهة نظر الجيومورفولوجيين الذين أعدوا الخريطة"الذين ينتمون غالباً إلى مدرسة جيومورفولوجية معينة مثل المدرسة البريطانية أو الفرنسية أو الروسية أو الألمانية أو الأمريكية أو يتأثرون بآرائها وتوجهاتها العلمية في الجيومورفولوجيا.

ويمكن أيضاً اعتبار الخريطة الجيومورفولوجية بأنها تمثيل بياني بالرموز والألوان لأشكال التضاريس السطحية وتحت السطحية (Dykes, 2006) وتستخدم فيه طرق وأساليب خاصة لتمثيل مظاهر السطح وتحليلها، وتعد أداة أساسية في إدارة الأراضي وتضاريسها، وإدارة المخاطر الجيومورفولوجية، وتوفر بيانات أساسية للدراسات التطبيقية وللأبحاث والعلوم البيئية كعلم البيئة الحيوي وعلم التربة والغابات. (Cook& Doormkamp,1990).

أنواع الخرائط الجيومورفولوجية وتصنيفها:

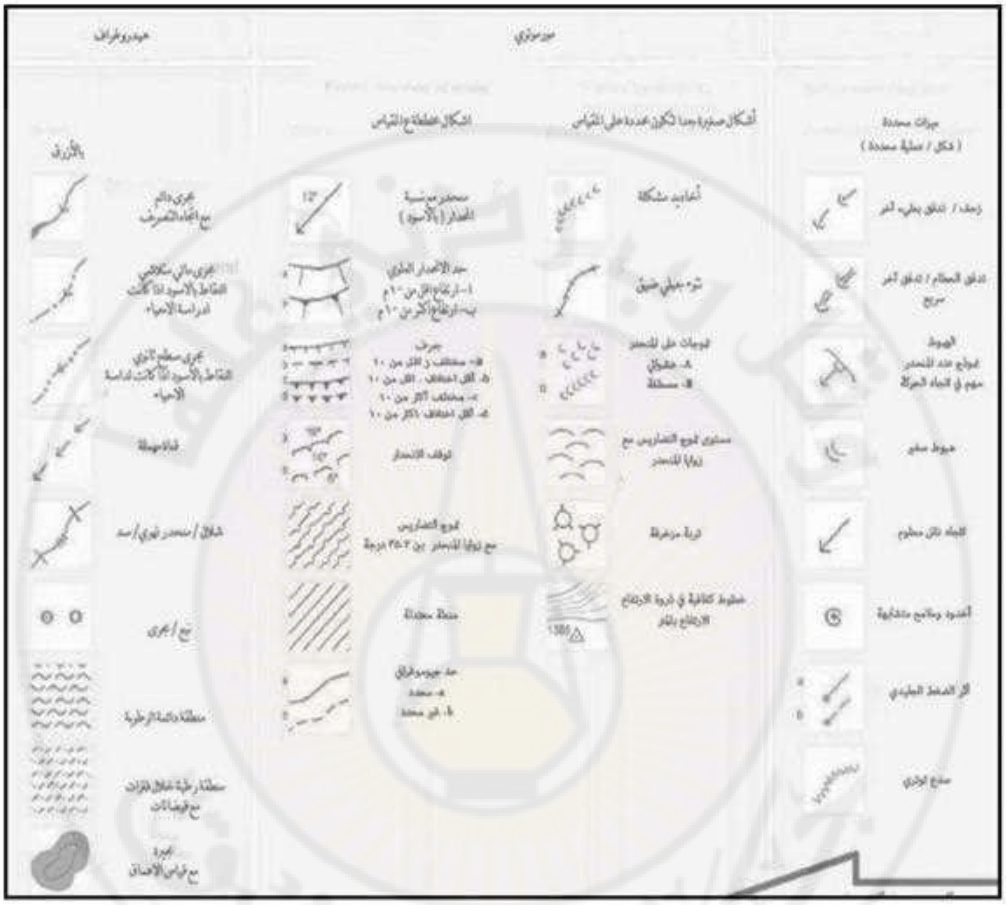
تعد الخرائط الجيومورفولوجية من الخرائط الموضوعية Thematic Mapsالخاصة لأنها تختص بعرض موضوع واحد أو تمثيل ظاهرة واحدة هي المظاهر الجيومورفولوجية أو أشكال تضار يس سطح الأرض في منطقة الخريطة،أو تمثل بعض هده المظاهر حسب هدف الخريطة أو الغرض الذي أعدت من أجله، فقد تعد لاستخدامها في حل مشكلات علمية أو مشكلات اقتصادية فتستخدم على سبيل المثال في التنقيب عن بعض التوضعات المعدنية، فيوضع مخططات إنشاء الطرق، وتشييد المنشآت المائية مثل السدود والخزانات وغيرها، وفي دراسة تأثير المناخ في تشكيل تضاريس سطح الأرض بأنماط مميزه والمقارنة بين أشكال التضاريس.

وكذلك تعد الخرائط الجيومورفولوجية لقيعان البحر والمحيطات بمقاييس صغيرة وتكون تفاصيلها قليلة بسبب المعرفة المحدودة بطبوغرافية قيعان البحار والمحيطات والعمليات التي شكلتها.

وتمثل المظاهر الجيومورفولوجية وتفاصيلها على الخرائط باستعمال نظم مختلفة متداخلة ومتراكبة من الألوان والرموز المساحية والخطية والنقطية لتمثيل توزع أنواع المظاهر الجيومورفولوجية وخصائصها الكمية وأزمان تشكلها في العصور الجيولوجية المختلفة.ويوضح الشكلان(٣/٢ -١١) نماذج من الرموز المستخدمة في الخرائط الجيومورفولوجية لتمثيل المظاهر المائية والتضاريسية وعمليات وأزمان تشكلها.

أما بالنسبة للألوان، فتستخدم منها نماذج متعددة لتوضيح عمليات نشوء الأشكال الجيومورفولوجية وتكونها، فعلى سبيل المثال يستخدم اللون الأحمر للعمليات الباطنية، واللون البني الداكن للعمليات الحركية أو البنائية، واللون البرتقالي لعمليات التجوية والنحت والترسيب الريحي، ودرجات اللون الأخضر للعمليات النهرية والبحرية والبحيرية، ودرجات اللون

البنفسجي للعمليات الجليدية والجمودية، واللون الأسود للأشكال الصنعية، واللون البني الفاتح للأشكال البيوجينية.



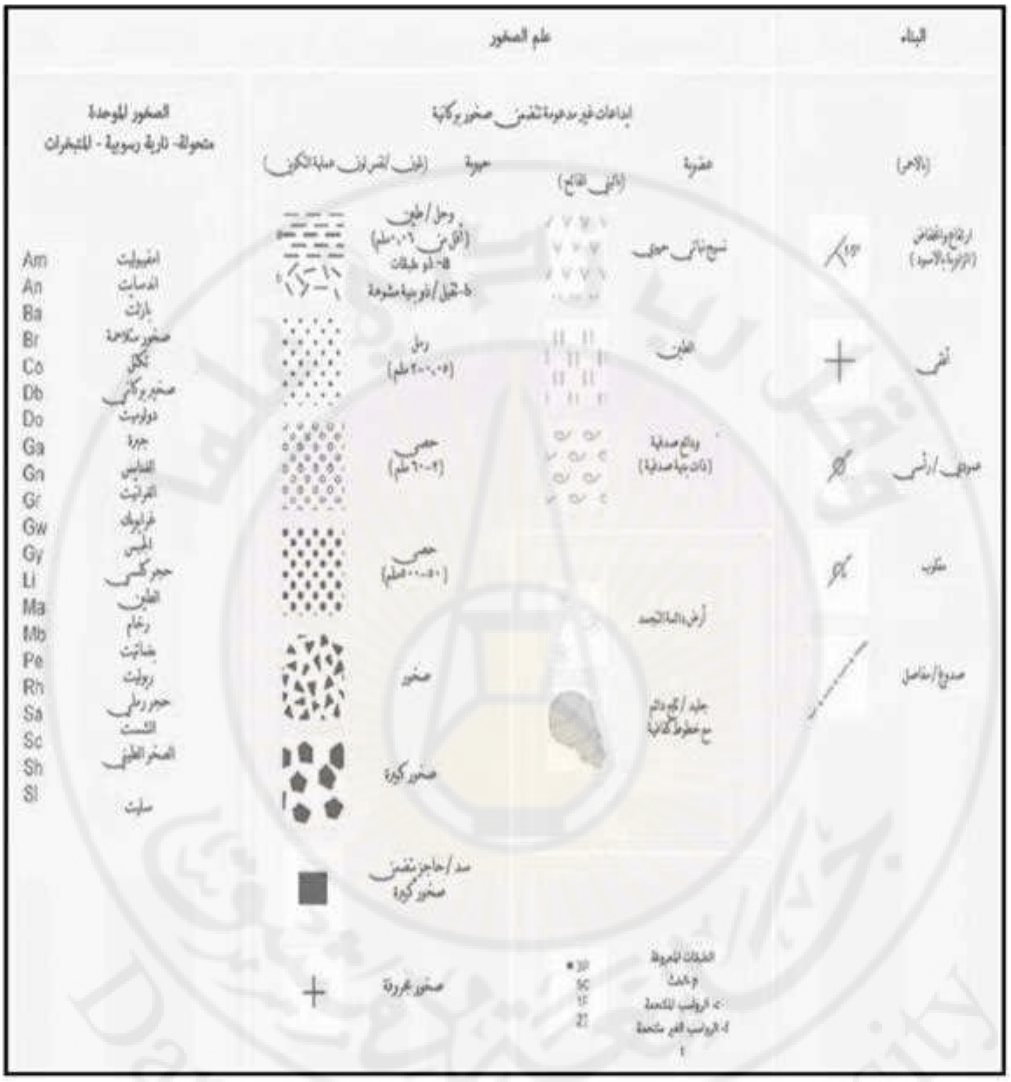
شكل رقم (٢-١١) نماذج من الرموز المستخدمة لتمثيل المظاهر الجيومورفولوجية والمانية وخصائصها النوعية والكمية على الخرائط الجيومورفولوجية.

وخصائصها الليثوغرافية والبنيوية على الخرائط الجيومورفولوجية

وبالاستناد إلى ذلك يمكن تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية حسب عدة أسس تشمل:

- محتوى الخريطة من المظاهر والتفاصيل.
- مقياس رسم الخريطة.
- مجال استخدام الخريطة أو الغرض الذي أعدت من أجله.

- طبيعة المعلومات والطرق والأساليب الفنية والعلمية التي استخدمت في رسمها.



شكل رقم (٣-١١) نماذج من الرموز المستخدمة في تمثيل أنواع التكوينات الصخرية

١- تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية حسب محتواها أو موضوعاتها:

يمكن تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية حسب محتواها إلى:

- خرائط قارية تمثل المظاهر الجيومورفولوجية للأراضي اليابسة.

- خرائط جيومورفولوجية للمناطق المائية وتشمل الخرائط التي تمثل المظاهر تحت سطح الماء في قيعان البحار والمحيطات والعمليات التي شكلتها.

٢-تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية حسب مقدار تفاصيلها ودرجة التعميم فيها إلى:

- خرائط تركيبية Synthetic maps تمثل عليها الوحدات الجيومورفولوجية الرئيسة بالألوان وتشكل خلفية الخريطة، وتضاف فوقها رموز نقطية وخطية ومساحية متنوعة بالتظليل بنماذج متعددة (الشكلان رقم -٣ورقم٤) لتمثيل أنواع الصخور (متحولة، نارية، رسوبية، كيميائية) وبعض خصائصها الليثوغرافية مثل (الرمال، والغضار، وحصى، وجلاميد وكتل صخرية كبيرة)، ومنشأها(عضوية، توضعات، جمودية، جليدية.....الخ)، وتمثيل الخصائص البنيوية والمورفومترية للأشكال الجيومورفولوجية مثل المنحدرات والجروف وارتفاعها، والمناطق المعتدلة الانحدار، والأخاديد والنتوءات الجبلية، وتموجات السطح.....الخ) بالإضافة إلى مظاهر أخرى مثل انجراف التربة أو زحفها، وانهيالات حطام الصخور والمناطق المنزلقة والهابطة وغيرها.
- خرائط تحليلية Analytical Maps تمثل عليها عناصر التضاريس أو أشكال سطح الأرض التي تنتمي إلى زمن تشكل واحد أو منشأ واحد مثل خرائط تضاريس الحقب الرابع، وترسم المظاهر التضاريسية عليها مع أبعادها باستخدام رموز نقطية وخطية، وتوضح عليها ارتفاعات التضاريس بنقط المناسيب وخطوط الارتفاع المتساوي. ويمكن على هذا النوع من الخرائط توضيح أزمان تشكل التضاريس أو أعمارها بدرجات لونية معينة، ويخصص لكل نمط تضاريسي لون خاص، كما يمكن التمييز بين التضاريس البنيوية والتضاريس الحتية.

٣-تصنيف الخرائط الجيومورفولوجية حسب مقاييس رسمها، وتشمل الأصناف التالية:

- خرائط تفصيلية تراوح مقاييس رسمها بين (١/ ٥٠٠٠) و(١/٥٠٠٠٠).
- خرائط متوسطة المقياس، تراوح مقاييس رسمها بين (١/١٠٠٠٠٠) و(١/١٠٠٠٠٠٠).

- خرائط صغيرة المقياس، مقاييس رسمها أصغر من (١/١٠٠٠٠٠٠) مثل (١/ ٢٠٠٠٠٠٠) و(١/٣٠٠٠٠٠)و(١/٤٠٠٠٠٠٠).

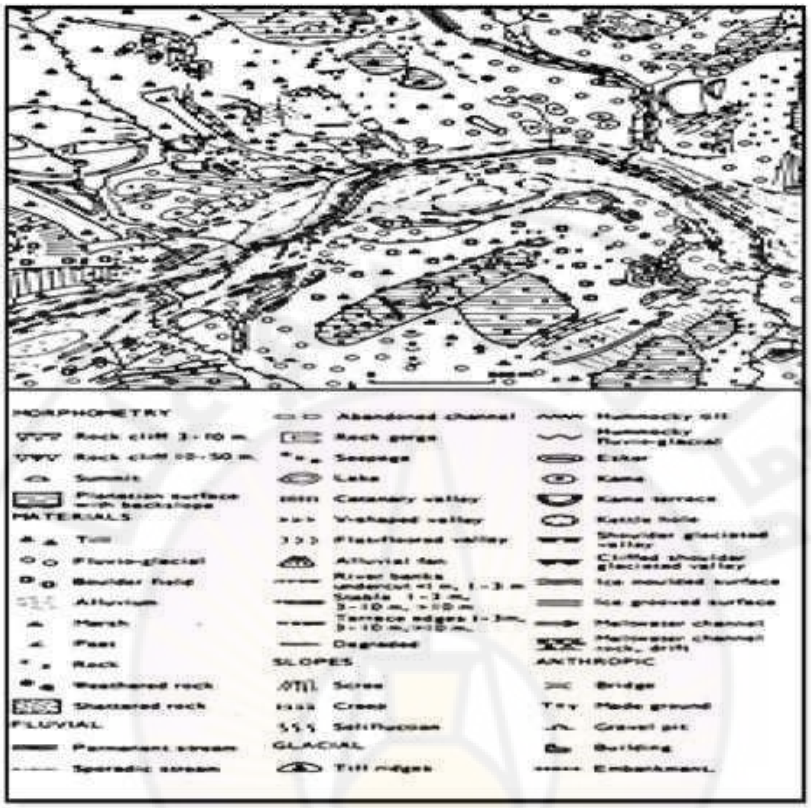
وتختلف هذه الخرائط في مقدار تعميم تفاصيل المظاهر الجيومورفولوجية حسب مقاييس رسمها فالخرائط كبيرة المقياس أكثر تفاصيل من الخرائط المتوسطة والصغيرة المقياس بشكل عام، فمثلاً على خريطة أو مخطط مقياس رسمه (١/٥٠٠٠) كل (١)سم يمثل مسافة حقيقية (٥٠)م ، وكل (١) سم٢ يمثل منطقة مساحتها (٢٥٠٠)م٢، وعلى خريطة مقياس رسمها (١/٥٠٠٠٠) كل (١) سم يمثل (٥٠٠)م، وكل (١)سم يمثل(٢) منطقة مساحتها (٢٥٠٠٠٠)م٢ أو (٠.٢٥)كم٢ ، بينما على خريطة مقياسها (١/ ١٠٠٠٠٠٠) يمثل (١)سم يمثل (١٠)كم، وكل (١)سم٢ يمثل منطقة مساحتها (١٠٠)كم٢ ، ومن هذا تتضح ضرورة اختصار وتعميم Abstraction and Generalization تفاصيل الخريطة كلما صغر مقياس رسمها، وهذا يعني أن الخرائط الجيومورفولوجية الصغيرة المقياس تمثل مساحات واسعة قد تكون دولة بكاملها بتفاصيل قليلة وتقتصر على تمثيل الوحدات الرئيسة مع تفاصيل قليلة، وبالمقابل تمثل الخرائط الكبيرة والمتوسطة المقياس مساحات أصغر ولكن بتفاصيل أكثر .شكل رقم (٤-١١).

وتجدر الإشارة إلى أن مقاييس الخرائط التي تستخدم في أعمال المسح الحقلية، وإعداد الخرائط بشكل عام، والخرائط الجيومورفولوجية بشكل خاص تكون أكبر من مقاييس الخرائط النهائية، وذلك لتوقيع مظاهر وتفاصيل أكثر، وتكون مقاييس الخرائط الحقلية غالباً بين (١/٣٠٠٠) و(١/٢٥٠٠٠). ويوضح الشكل التالي أنموذجا للخرائط الجيومورفولوجية التفصيلية.

فوائد الخرائط الجيومورفولوجية:

تعد الخرائط الجيومورفولوجية لتلبية احتياجات نطاق واسع من مستخدميها للاستفادة منها في عدة مجالات ولإيجاد حلول للعديد من المشكلات العلمية والاقتصادية أهمها:

١- دراسة أشكال سطح الأرض وأصولها وخصائصها وأزمان تشكلها والعوامل التي ساهمت في نشوئها.



شكل رقم (٤-١١) نموذج للخرائط الجيومورفولوجية التفصيلية لوادي دي الأعلى في اسكتلندا نشرت عام ١٩٧٤م.

٢- التعرف على المشهد العام للأراضي والأقاليم والاستفادة منها في إدارة الأراضي وتحديد مصادر المخاطر الجيومورفولوجية، وتخطيط الطرق السريعة وإنشائها.

٣- الدراسات والأبحاث البيئية بشكل عام، وفي علم التربة والغابات بشكل خاص.

٤- البحث والتنقيب عن بعض أنواع معينة من التوضعات المعدنية.

٥- دراسة دور المناخ في تشكيل تضاريس سطح الأرض.

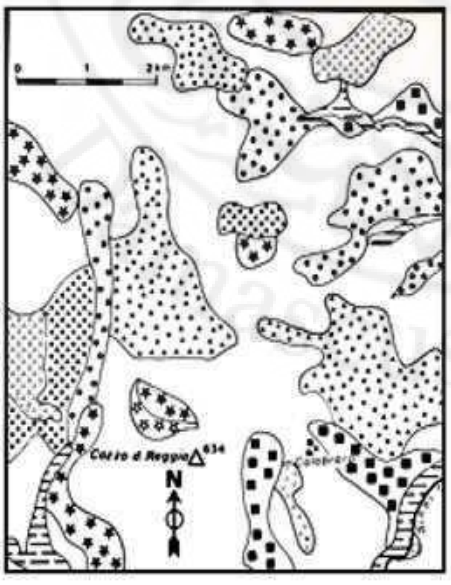
٦- توفر صورة دقيقة للقوى الحركية لتشكل التضاريس تمكن من تصور التضاريس وتطورها، يستفاد منها في دراسة عمليات نشوء التضاريس وتحولها.

٧- تسهل الدراسات التي تهدف إلى المقارنة بين أشكال التضاريس، والربط فيما بينها، وتمكن من المقارنة بين أشكال التضاريس في مناطق متماثلة التركيب الجيولوجي وتخضع لظروف مناخية مختلفة.

٨- تفيد كخرائط أساسية تستخدم في إعداد خرائط خاصة أخرى يستفاد منها في المراحل المختلفة لإدارة البيئة، مثل خرائط الاستقرار الجيومورفولوجي، شكل رقم (٥ -١١) الذي يتأثر بخصائص الصخور وعوامل التعرية، ومنها الخرائط التي تم إعدادها لمناطق في شمال إيطاليا وجنوبها، ولمناطق في شرقي نيجيريا لاستخدامها في تخطيط استخدام الأرض في المناطق الحساسة. (Panizza,197).

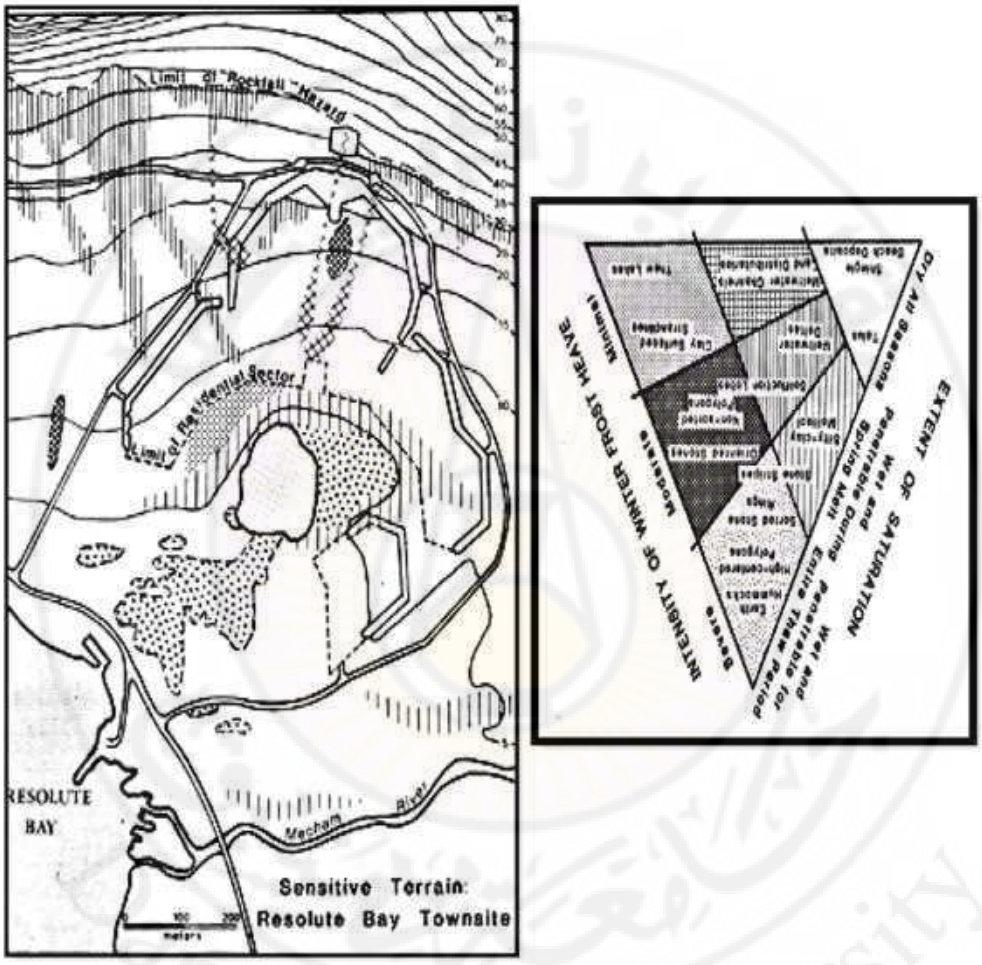
٩- تعتبر إحدى أدوات البحث العلمي التحليلي المتطورة لتمثيل أشكال مظاهر سطح الأرض المعقد وتوضيح عوامله الحركية أو الديناميكية مثل تمثيل عناصر التضاريس أو تمثيل الأسطح الأولية التي لها نفس الأصل أو المنشأ وتشكلت في زمن واحد مثل خرائط الحقب الرابع.

١٠- لها قيمة علمية في الجيومورفولوجيا النظرية، وتعد أساساً لرسم الخرائط الجيومورفولوجية التطبيقية التي تختص بتوضيح جوانب معينة من مظاهر سطح الأرض لاستخدامها في الدراسات الجيومورفولوجية التطبيقية مثل خرائط المخاطر الجيومورفولوجية التي تمثل المظاهر التي تشكل مصادر للخطورة وأبعادها وتكرارها(Dramis,2011).



شكل رقم (٥ -١١) جزء من خريطة الاستقرار الجيومورفولوجي لمنطقة سان جورجيو وكولوبرارو في جنوبي ايطاليا (Panizza ,1978)

والخرائط التي نشرت لمنطقة خليج رزولت Resolute Bay في شمالي غرب كندا لاستخدامها في تخطيط استخدام الأرض واختيار المواقع المناسبة للنشاط البشري في المناطق الحساسة (Rosenfeld,1976) شكلان رقم (٦/٧ -١١).



الشكلان رقم (٦/٧-١١) خريطة الأراضي الحساسة لموقع مدينة في خليج رزولت توضح الخصائص الجيومورفولوجية لأشكال التضاريس التي شكلتها الجموديات، واستعملت الخريطة لتخطيط استخدام الأرض لموقع مدينة جديدة. الرموز وضحت بالشكل البياني المثلث، نشرت الخريطة عام ١٩٧٧م.

وعلى ضوء هذه الفوائد يمكن القول إن الخريطة الجيومورفولوجية تشكل مخزناً مرئياً للمعلومات،وتعد إحدى الأدوات الأساسية في التخطيط البيئي وإعداد مشاريع التنمية والتطوير خاصة في مجال السياحة والدراسات الميدانية التحليلية المتعلقة بالجوانب البيئية، وتوفر معلومات قيمة لتنظيم الأبحاث والدراسات الجيومورفولوجية، وتفيد في تخطيط الأراضي وتشييد المنشآت المائية مثل السدود والخزانات.

هذا بالإضافة إلى الفوائد العديدة التي يمكن الحصول عليها من المعلومات التي تتوافر نتيجة لأعمال المسح الجيومورفولوجي وبرامج إعداد الخرائط، وتساهم في تعزيز الدراسات الجيومورفولوجية وتوثيقها منها على سبيل المثال:

- توسيع قاعدة البيانات Data Base وتوضيح المصطلحات الجيومورفولوجية وتحسينها.
- تعزيز دراسات القوى التشكيلية أو الحركية (المورفوديناميكية) خاصة في المناطق شديدة التطور من الناحية الجيومورفولوجية.
- تنسيق المفاهيم الجيومورفولوجية وتوحيدها في إطار شامل على مستوى العالم، كما حدث عند إعداد الخريطة الجيومورفولوجية لقارة أوربا بمقياس (١/٢٥٠٠٠٠٠) بالاتفاق مع الاتحاد الجغرافي العالمي، وذلك للاستفادة منها في تنسيق الأبحاث والدراسات والمفاهيم والمناهج الجيومورفولوجية بين العاملين والمختصين في مجال علم الجيومورفولوجيا وخاصة في الجوانب التطبيقية.
- وبهذا يمكن القول إن الخرائط الجيومورفولوجية تقدم خدمات قيمة بما توفره من معلومات مهمة ويمكن اعتبارها مخزن معلومات مرئياً Visual information store ويجب أن تكون أحد العناصر الأساسية في تخطيط مشاريع التنمية والتطوير.

مراحل تطور الخرائط الجيومورفولوجية وأساليب استعمالها:

تعتبر الخرائط الجيومورفولوجية، كما ذكر سابقاً، ثمرة جهود حديثة للعديد من الجيومورفولوجيين لتطوير طريقة التمثيل البياني للمظاهر الجيومورفولوجية، وبمكن تمييز عدة مراحل في تطورها تشمل:

- المرحلة الأولى خلال القرن التاسع عشر كانت دراسة أشكال سطح الأرض خلالها تعتمد على المنهج الوصفي كتابة وكانت ترفق برسوم وأشكال بيانية لتوضيح العمليات

والأشكال الجيومورفولوجية، التي يمكن اعتبارها صوراً نموذجية أكثر من كونها تحليلاً كمياً لأشكال سطح الأرض، وكان الهدف منها شرح أفكار الباحث والنتائج التي توصل إليها. وقد استخدم هذه الطريقة العديد من الجيومورفولوجيين في كندا والولايات المتحدة الأمريكية وبعض الدول الأوربية مثل غاسيز A. Gassiz الذي وضح القوة الحتية للجليد في جبال الألب،وجون ويسكي J. Wesky Powell لشرح تأثير قوة المياه في نحت الخانق العظيم Grand Canyon، وفرديناند هايدن F. Hyden لشرح دور النشاط البركاني في تشكيل مظاهر السطح في منطقة يللوستون، وجلبرت G. Gilbert لشرح دور أشكال السطح في التوازن الحركي أو الديناميكي في جبل هنري بكندا، و ويليام ديفيس W. Davis لشرح مفهوم الدورة الحتية الذي أحدث تغييراً جذرياً في علم الجيومورفولوجيا.

وبشكل عام اقتصر دور الرسوم والأشكال البيانية التي شاع استخدامها خلال هذه المرحلة على توضيح العمليات الجيومورفولوجية وشرح أفكار الباحثين وتبسيطها.

- المرحلة الثانية في أواخر القرن التاسع عشر، وامتدت حتى الحرب العالمية الثانية وأهم ما ميزها استخدام الصور الجوية الملتقطة من المناطيد لمشاهد طبيعية عامة في مناطقها، ومن المحتمل أن البرت هيم A. Heim في عام (١٨٩٩)م كان أول من استخدم الصور الجوية في البحث الجغرافي بنشر صور لمشاهد التقطت من منطاد لمناطق في جبال الألب، واستخدمت الصور فيما بعد لدراسة الأراضي وإعداد خرائط لمواقع المعارك، وبحلول عام (١٩٢٠)م تطور التصوير إلى مستوى ملحوظ وأصبح مفيدا للأبحاث والدراسات الجيومورفولوجية.

ركزت الأبحاث الجيومورفولوجية خلال هذه الفترة حتى قبيل الحرب العالمية الثانية على دراسة مواقع وعوامل معينة أكثر من الاهتمام بدراسة أشكال سطح الأرض على مستوى إقليمي شامل مع بعض الاستثناءات التي شهدت ظهور بعض الخرائط الجيومورفولوجية، مثل الخرائط التي نشرها سيجرفيد باسرج S. Passarge في عام(١٩١٤)م، وبعض الخرائط لمناطق محلية نشرت في أوربا، وخرائط أخرى نشرها رويس Raisz ولوبك Lobek وآخرون في الولايات المتحدة الأمريكية، وجميع هذه الخرائط ليست خرائط جيومورفولوجية بحتة، ولكنها مابين الخرائط الطبوغرافية والخرائط الجيومورفولوجية، بالإضافة إلى بعض الخرائط لمناطق محدودة في الاتحاد السوفيتي (روسيا حالياً) واليابان، وجميعها كانت

محدودة الاستعمال بسبب الاختلافات فيما بينها وفي محتواها وطرق إعدادها والمصطلحات المستخدمة فيها لتمثيل المظاهر الجيومورفولوجية.

- المرحلة الثالثة بدأت مع الحرب العالمية الثانية وشكلت مرحلة أساسية للجيومورفولوجية عملياً وتقنياً شانها في ذلك شأن العلوم الأخرى، فقد شهدت هذه المرحلة تطوراً كبيراً في استخدام الصور الجوية وتفسيرها للحصول على المعلومات الضرورية لمجريات الحرب ساعد على ذلك توافر أفضل معدات التصوير والأفلام وأدوات التفسير البصري للصور الجوية خاصة أجهزة الإبصار المجسم Stereoscopic Vision ، وقد زادت هذه التطورات من إمكانية استخدام الصور الجوية في دراسة مظاهر أشكال سطح الأرض وترافقت مع استخدام تقنيات وأساليب التحليل الكمي، التي تطورت في العلوم الأخرى، في الأبحاث الجيومورفولوجية ، وتوجه اهتمام الجيومورفولوجيين خاصة في أوربا إلى التحليل الإقليمي الشامل لأشكال سطح الأرض ومحاولة التعرف على العوامل التي شكلتها في الماضي وعلاقتها بالعوامل الطبيعية الحالية كالنبات والمياه والمناخ، وبالعوامل البشرية مثل التطور الحضاري للسكان، ونتيجة لذلك ظهرت صياغة جديدة في منهج علم الجيومورفولوجيا بسبب تعقد المشهد العام لسطح الأرض، وبحث الجيومورفولوجيون عن طرق وأساليب علمية موضوعية لتمثيل العوامل والأشكال المعقدة لسطح الأرض خاصة أن طرق التمثيل البياني التي استخدمت في الخرائط الطبوغرافية لم توفر المعلومات اللازمة للدراسات التفصيلية لأشكال السطح (Wski,1982) ولذلك اهتموا بإعداد خرائط جيومورفولوجية تفصيلية وأصبح علم الجيومورفولوجيا علماً طبيعياً تحليليا لسطح الأرض (Feirbridgw,1968) وأصبحت الخرائط الجيومورفولوجية في دول عديدة طريقة البحث الرئيسة في علم الجيومورفولوجيا الذي تمحور حول المفاهيم الخمسة الأساسية التي ذكرت سابقاً، وشملت دراسة أشكال سطح الأرض، وقياس أبعادها، ومحاولة التعرف على أصولها وأزمان تشكلها، والعمليات التي أدت إلى تشكل المظاهر الحالية والعمليات التي قد تؤثر عليها في المستقبل، ولكن هذه الخرائط التي نشرت في دول عديدة ظلت محدودة الاستعمال وفي نطاق الدول التي ظهرت فيها.

وبسبب صعوبة ابتكار رموز ومصطلحات مناسبة ومتفق عليها لتمثيل المفاهيم والمظاهر الجيومورفولوجية استغرق ظهور الخرائط الجيومورفولوجية وانتشارها وقتاً طويلاً

وجهداً كبيراً رغم إجماع آراء الجيومورفولوجيين على أهميتها وضرورتها لتعزيز مكانة علم الجيومورفولوجيا التطبيقية ولذلك لم تلق الاهتمام الكافي حتى انعقاد المؤتمر الثامن عشر للاتحاد الجغرافي العالمي IGU في مدينة ريودي جانيرو في البرازيل عام ١٩٥٦م حيث تلقت دعماً واعترافاً دولياً بأهميتها على المستوى العالمي، وبعد عامين خلال انعقاد المؤتمر في مدينة استوكهلم شكلت لجنة خاصة للاهتمام بإعداد الخرائط الجيومورفولوجية وحددت مهامها في الآتي:

١- وضع نظام موحد لإعداد الخرائط الجيومورفولوجية.

٢- توضيح أشكال التضاريس وخصائصها.

٣- توضيح أهمية الخرائط الجيومورفولوجية في التخطيط الإقليمي والاقتصادي وفي تخطيط استخدام الأرض.

وقد أصدرت هذه اللجنة بعد اجتماعها في كراكو ببولندا عام (١٩٦٢)م بحضور ممثلين عن خمس عشرة دولة عدة توصيات لإعداد الخرائط الجيومورفولوجية شملت:

١- ضرورة إجراء المسح الحقلي واستخدام الصور الجوية.

٢- إعداد الخرائط بمقاييس تراوح بين (١/١٠٠٠٠) و(١/١٠٠٠٠٠) تسمح بتمثيل أشكال التضاريس وخصائصها.

٣- إعداد خرائط جيومورفولوجية تشمل مظاهر السطح وأبعادها وقياس انحداراتها، وتوضح أصولها وأزمان تشكلها وتطورها.

٤- استخدام الرموز والألوان المناسبة في الخرائط وترتيبها لتوضيح الترتيب الزمني لمظاهر سطح الأرض ومنشأها وتطورها.

٥- وضع سلم زمني يوضح تطور أشكال سطح الأرض.

٦-توضيح طبيعة الصخور على الخرائط.

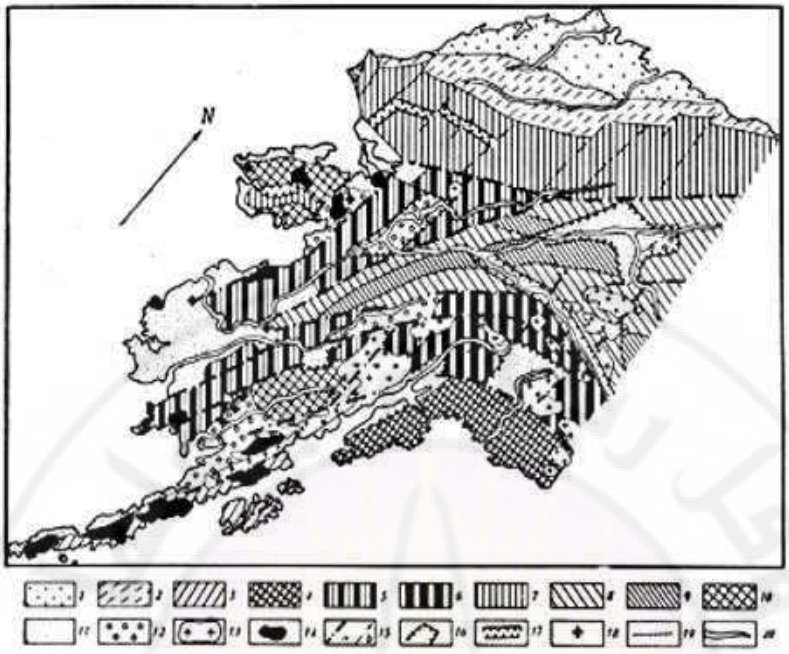
٧-اعتبار الخرائط الجيومورفولوجية أدوات أساسية لتطوير علم الجيومورفولوجيا في المستقبل.

تابعت اللجنة أعمالها واجتماعاتها بانتظام خلال الفترة (١٩٦٠- ١٩٦٨)م وحولت في مؤتمر الاتحاد الجغرافي الدولي في نيودلهي عام (١٩٦٨)م إلى هيئة المسح الجيومورفولوجي والخرائط الجيومورفولوجية CGSM وأصبحت مسؤولة عن تطوير أساليب

إعداد الخرائط الجيومورفولوجية وأوصت باستخدام الرموز الاصطلاحية المعتمدة في الخريطة الجيومورفولوجية لأوربا بمقياس (١/٢٥٠٠٠٠٠) التي نشرت أول لوحاتها عام (١٩٨٤)م. وقد تم اختيار الرموز بالتعاون بين العديد من الجيومورفولوجيين من الدول الأوربية ونشرت عام (Bashnina,1971)، ونشر في عام (١٩٧٢)م كتيب يتضمن أساليب إعداد الخرائط الجيومورفولوجية وتعريف كل مصطلح فيه،وقد اشترك في تأليفه عشرون من المختصين في الجيومورفولوجيا (Demek,1977). وبالرغم من تعاون أعضاء الهيئة بقيت جوانب عدة لم يتم التوافق عليها بسبب وجهات النظر الإقليمية الخاصة ببلد كل منهم، ولهذا السبب زاد عدد المصطلحات وتعددت مناهج وطرق وأساليب التمثيل البياني المقترحة، والقليل منها كان يناسب متطلبات إعداد الخرائط الجيومورفولوجية عامة.

ولكن يمكن القول بشكل عام إنه منذ عام (١٩٧٠)م تزايدت الأهمية العملية للخرائط الجيومورفولوجية وساد فهم أفضل لتضافر العوامل الباطنية والخارجية في تشكيل التضاريس، ونتيجة لذلك ظهرت نظريات جديدة للحركات التكتونية العالمية، وتطورت أساليب دراسة الأرض من الفضاء، وتم التركيز على الجيومورفولوجيا البيئية Ecological Geomorphology بسبب التفهم الصحيح لمظهر الأرض والنشاط البشري.

واستخدمت طرق وأساليب جديدة بفضل التصوير الجوي من الطائرات والأقمار الصناعية وأجهز الرادار، وترافق ذلك مع تطور أجهزة الحاسب الآلي وبرامجه الخاصة لتخزين المعلومات ومعالجتها وتحليلها وعرضها على شكل خرائط وأشكال بيانية، ورغم هذا التطور اللافت ظلت مشكلات كثيرة عالقة تتعلق بمحتوى الخرائط وطرق إعدادها، ومقياس الرسم المناسب خاصة للخرائط صغيرة المقياس التي تمثل المظاهر الجيومورفولوجية في مناطق أو أقاليم واسعة.شكل رقم (٨-١١).



شكل رقم (٨-١١) خريطة ألاسكا الجيومورفولوجية رسمت من الصور الفضائية (١٩٨١) بمقياس ١/٥٠٠٠٠٠٠ في الاتحاد السوفيتي (روسيا حالياً).

التضاريس البنيوية: الأرصفة القارية: 1- سهول رسوبية للرصيف كبيرة العمق 2- سهول حتية لطبقات متناظرة الميل ومتقطعة . نطاقات جبلية لإلتواءات سطحية: 3- كتل وسلاسل التوائية كتلية 4- سلاسل التوائية- كتلية- قوسية وسلاسل كتلية وكتل أحادية الميل. نطاقات جبلية انهدامية: 5- كتل وسلاسل كتلية التوائية على صخور من الحياة الوسيطة 6- سلاسل التوائية-كتلية-قوسية وسلاسل كتلية متداخلة(مضطجعة) وكتل على صخور الحياة الوسيطة-7 - سلاسل كتلية-قوسية وسلاسل وحيدة الميل كتلية وكتل على صخور الحياة القديمة. 8 - أراض مرتفعة وكتل متوسطة صدعية 9- سلاسل في الأراضي المرتفعة (هورست معقدة)، 10- أراض مرتفعة مجزأة بحركات كتلية مختلفة. سهول لأغوار وأحواض بينية: 11- سهول رسوبية 12- سهول حتية/ رسوبية. أشكال تضاريسية تكتونية وبركانية المنشأ: 13- سلاسل وكتل تشكلت بتطور كتل صدعية مرتفعة (هورست) واندساسات صخور نارية 14 - سلاسل وكتل من صخور بركانية. صدوع قاعدية عميقة:15a- حدود المنطقة الصدعية العميقة 15b- صدوع قاعدية عميقة أنشأت تضاريس بنيوية كتلية. أشكال تضاريسية صغيرة وأشكال منفردة:16- منخفضات تشكلت من أغوار 17- منخفضات صدعية 18- كتل صدعية مرتفعة (هورست) تشكلت من اندساس صخور نارية 19- جروف حتية 20- أودية نهرية رئيسية.

الأسس النظرية لإعداد الخرائط الجيومورفولوجية. Geomorophlogical Mapping Theory ومراحل تطورها:

تتصف الأسس النظرية للخرائط الجيومورفولوجية بتعددها، وتنوعها، واختلافها بين أقطار دول العالم، وهذا التعدد والتنوع والاختلاف سبب عدم انتشار استخدام الخرائط الجيومورفولوجية وتطورها إلى أواخر خمسينيات القرن الماضي، ويعود ذلك إلى عدة أسباب أهمها:

١- اتباع مناهج وطرق متعددة في الدول المختلفة لإعداد الخرائط الجيومورفولوجية بسبب اختلاف وجهات النظر بين الجيومورفولوجيين حول أشكال سطح الأرض في هذه الدول.

٢- تعدد اهتمامات الجيومورفولوجيين وتنوعها، فعلى سبيل المثال تركز اهتمام الجيومورفولوجيين في الولايات المتحدة على دراسة مظاهر خاصة وإعداد الخرائط لعوامل معينة في تشكيل مظاهر السطح وابتعادهم عن تطوير الدراسات الجيومورفولوجية الشاملة بسبب تدني الاهتمام بالجغرافيا بشكل عام، ولذلك كان إعداد أغلبية الخرائط الجيومورفولوجية من قبل الدول الأوربية حتى الوقت الحاضر.

٣- اختلاف وجهات النظر في تحديد أسس تحليل مظاهر أشكال سطح الأرض، ففي بعض الدول الأوربية مثل فرنسا وتشيكيا وهنغاريا اختار الجيومورفولوجيون الوحدة البنيوية الصخرية Litho logical Structural Unites كعنصر أساسي في تحليل أشكال سطح الأرض، فاعتبر الجيومورفولوجيون في بولندا وروسيا ورومانيا وألمانيا أشكال المظاهر كوحدة أساسية لتصنيف مظاهر أشكال سطح الأرض وتصنيفها ودراستها، وقد اعتمد على وجهة نظرهم في الكتيب الخاص بإعداد الخرائط الجيومورفولوجية والمصطلحات المستخدمة فبالخريطة الجيومورفولوجية العالمية لأوربا بمقياس (١/٢٥٠٠٠٠٠)، وفي بريطانيا طور الجيومورفولوجيون نظاماً تجريبياً Empirical System اعتمد على تصنيف أشكال سطح الأرض في مجموعات تشمل: المنحدرات Slopes، مسطحات Flats، وكذلك هناك مناهج وأنظمة مشابهة استخدمها بعض الجيومورفولوجيين في بلجيكا وكندا وقالوا بإمكانية قياس أبعاد جميع أشكال سطح الأرض وإعطائها قيماً كمية وإغفال أصولها وتطورها، وحاول بعض الجيومورفولوجيين خاصة في استراليا تطوير بعض المناهج والمداخل لإعداد الخرائط

الجيومورفولوجية بهدف مسح الموارد الطبيعية، فقد طور قسم أبحاث الأرض والمسح الإقليمي التابع لمنظمة الأبحاث الصناعية والعلمية في دول الكومنولث (LCSIRO)*نظاماً بالاعتماد على مفهوم الوحدات والأنظمة الأرضية للتوصل إلى تقسم وظيفي وأساسي للمظهر العام لسطح الأرض. (C. Stewart, 1968)*، وتم الاتفاق على مفهوم الوحدة الأرضية وتعريفها بأنها منطقة سادت فيها ظروف وعوامل طبيعية متماثلة لنشوء مظاهر التضاريس وتشكلها، وتسود فيها حالياً مظاهر طبوغرافية وظروف طبيعية متشابهة أو متماثلة تشمل التضاريس والتربة والمناخ والنبات الطبيعي.أما النظام الأرضي فهو عبارة عن تجميع الوحدات الأرضية المترابطة بمنشئها وبمظاهرها الجيومورفولوجية، وقد أفاد تبني هذا المفهوم للنظام الأرضي بتسريع أعمال المسح الجيومورفولوجي الأولية أو الاستطلاعية للمناطق الشاسعة بالاعتماد على معلومات تم الحصول عليها من الصور الجوية واستعملت لإعداد خرائط لمناطق واسعة في استراليا وغويانا الجديدة. (Mabbutt& Stewart 1963).

٤- وجود اختلافات في الآراء ووجهات النظر المتعلقة بتبني نظام موحد لمصطلحات ورموز الخرائط الجيومورفولوجية على مستوى العالم حتى الوقت الحاضر رغم تطوير نظام للمصطلحات والرموز الدولية، أو ما يعرف بالدليل الموحد للخرائط الجيومورفولوجية الذي استخدم في خريطة أوربا الجيومورفولوجية بمقياس (١/٢٥٠٠٠٠٠)، التي نشرت أول لوحاتها، واعتبر خطوة متقدمة في تطوير الخرائط الجيومورفولوجية ، ونال تأييداً شبه عالمي.

وعلى الرغم من هذه الاختلافات العديدة في الآراء ووجهات النظر هناك اتفاق حول ضرورة تصنيف الأراضي وتبني مفهوم وتعريف أكثر بساطة للوحدة الأرضية التي تعد إحدى الأسس المهمة لإعداد الخريطة الجيومورفولوجية.

مفهوم الوحدات الجيومورفية وتعريفها:

Geomorphic Units and Their Definition

يبدأ إعداد الخريطة الجيومورفولوجية بتحديد الوحدات الجيومورفية الأساسية التي تؤلف المشهد العام لسطح الأرض في منطقة الخريطة، ويعد تحديد هذه الوحدات وطبيعتها

وخصائصها أمراً أساسياً في إعداد أي خريطة جيومورفولوجية وإجراء أي بحث جيومورفولوجي.

ولا يوجد اتفاق واحد بين الجيومورفولوجيين على مفهوم للوحدة الجيومورفولوجية يناسب جميع أنواع الخرائط الجيومورفولوجية ومقاييس رسمها، وقد عرف بعض الجيومورفولوجيين الوحدة الجيومورفية بأنها شكل أو نمط أرضي متجانس من حيث نشأته ونتج عن عوامل جيومورفية بنائية وغير بنائية، وقد رحبت غالبية الجيومورفولوجيين بالموافقة على هذا التعريف رغم الاختلافات الكبيرة حول الخصائص الوصفية لأشكال أو أنماط الأرض المتجانسة، واختلاف أصول نشأتها خاصة أن معظم أشكال سطح الأرض تعود خصائصها إلى عمليات سابقة مختلفة ومتعددة (Wright,1973) وتأثرت جميع مكوناتها الصخرية أو الجيولوجية وبالظروف المناخية وتطورت أشكالها مع مرور الزمن.

وظهرت عدة مناهج أو نماذج لتصنيف الوحدات الجيومورفية ودراستها شملت الآتي:

١- نموذج عناصر أشكال التضاريسLand forms elements model ويتم التركيز فيه على انحدارات المظاهر وقياس أبعادها لتصنيفها في وحدات جيومورفية أساسية باستخدام مصطلحات هندسية تتفرع إلى أقسام تفصيلية حسب درجة انحدارها ومساحاتها ((Sevigenr, 1965)

٢- نموذج أنماط أشكال مظاهر الأرض Land pattern model ويعتمد على أن الوحدات الجيومورفية تتألف من عناصر بسيطة تتكرر فيها بشكل شبه منتظم بأنماط قابلة للتمييز .

٣- النموذج النمطي Type model وتشكل فيه الوحدات الجيومورفية بنيات شكلية Morpho-structures أساسية لتصنيف مظاهر أشكال سطح الأرض مثل الجبال الإلتوائية، والجبال الكتلية، والجبال الالتوائية- الكتلية (Bashenina, 1978) واتبع هذا المنهج في بعض الدول مثل تشيكيا وبولندا وروسيا، وهو المنهج أو النموذج الذي استخدم في تصنيف المظاهر الجيومورفية في خريطة سورية الجيومورفولوجية بمقياس (١/١٠٠٠٠٠٠) التي أنشأها ك. ميرزاييف عام (١٩٦٠)م.

٤- نماذج أخرى تختلف عن النماذج السابقة طورتها بعض الدول لاستخدامها في تصنيف المظاهر الجيومورفية في خرائط أراضيها.

ويلاحظ بشكل عام إن الاختلافات في مفهوم الوحدات الجيومورفية وطرق تصنيفها ارتبط بمسائل إقليمية خاصة بكل دولة أو عدة دول من ناحية وبمقاييس الخرائط من ناحية ثانية، واختيار المفهوم المناسب للوحدة الجيومورفية توقف على عمق التحليل الجيومورفولوجي من ناحية ثالثة.

ويمكن اعتبار تصنيف مظاهر أشكال سطح الأرض أو المظاهر الجيومورفولوجية في وحدات متجانسة وترتيبها بشكل يتناسب مع مقياس رسم الخريطة وحسب الغرض الذي أعدت من أجله أبسط أسس التصنيف وأكثرها وضوحاً.

يتضح مما سبق درجة تعقد موضوع علم الجيومورفولوجيا أو أشكال سطح الأرض، وله مناهج عدة تستخدم في التحليل الجيومورفولوجي، ويحتاج لإعداد خرائط بمقاييس مختلفة تصنف فيها مظاهر السطح إلى وحدات جيومورفية وفق نماذج معينة حسب طبيعتها وخصائصها وعلاقاتها فيما بينها وحسب مقاييس هذه الخرائط. ومازالت هناك حتى الوقت الحاضر اختلافات كثيرة في مفهوم الوحدات الجيومورفية وطرق تحديدها، وعلى الرغم من وجود هذه الاختلافات يتفق جميع الجيومورفولوجيين على مفهوم تجانس الوحدة الجيومورفية وإمكانية تعريفها بتعابير ومصطلحات توضح بنيتها وطريقة نشوئها.

طرق وأساليب إعداد الخرائط الجيومورفولوجية:

يمكن اعتبار الخريطة الجيومورفولوجية رسماً أو ملخصاً بيانياً يمثل المشهد العام لسطح الأرض، ويوضح أشكاله السطحية وتحت السطحية،ويسهل تمثيل هذه المظاهر وتحليلها، ولا غنى عنها في الأبحاث الجيومورفولوجية، ويفضل إعدادها في بداية هذه الأبحاث لكونها أداة أساسية في التحليل الجيومورفولوجي.

ويمكن إعداد الخرائط الجيومورفولوجية باتباع عدة طرق وأساليب علمية وتقنية أعمها:

١- المسح الحقلي لإعداد الخريطة Field Mapping بالملاحظة المباشرة في الحقل الذي يشكل منطقة الخريطة.

٢- إعداد خرائط جيومورفولوجية رقمية Digital Mapping باستخدام معلومات رقميةDigital Dataمن مصادر أساسية تشمل الصور الجوية والصور الفضائية والنماذج الرقمية DEMs.

إعداد الخرائط الجيومورفولوجية بالمسح الحقلي:

بالرغم من تطور التحليل الدقيق للمعلومات الرقمية وانتشاره السريع باستخدام الصور الجوية والمرئيات الفضائية عن مظاهر سطح الأرض مازال الانطباع البصري أو المرئي الذي يتم الحصول عليه من الملاحظة المباشرة خلال المسح الحقلي يلقى قبولا ملحوظاً، ويمكن من الحصول على معلومات وتفاصيل لا يمكن إدراكها أو ملاحظتها أو فهمها وتحليلها بأساليب أخرى إطلاقاً أو بصعوبة، لأن المسح الحقلي بالملاحظة المباشرة يمكن من الوصول إلى النواحي التالية:

- فهم طبيعة المشهد العام لمنطقة الخريطة وأشكال تضاريسها.
- يسهل عملية التقييم والتحليل الجيومورفولوجي لأن الخرائطي أو الجيومورفولوجي الذي يتولى إعداد الخريطة يتمكن من التآلف مع طبيعة مشهد منطقة الخريطة وفهمه بشكل أفضل. (Cooke & Doorkamp, 1990)
- بناء نموذج ذهني Mental model لمشهد منطقة الخريطة يمكن أن يساعد في عملية تفسير وتحليل المظاهر الجيومورفولوجية فيما بعد.

ويتطلب إنتاج خرائط جيومورفولوجية جيدة ومفيدة بالمسح الحقلي الآتي:

- التحديد الواضح للهدف من الخريطة أو الغرض الذي ستعد من أجله.
- تحديد الموضوعات التي سوف يتم التركيز عليها وتعتبر محتوى الخريطة.
- تنفيذ إجراءات إعداد الخريطة، وتشمل:
  - خطوات الإعداد قبل إجراء المسح الحقلي.
  - القيام بالمسح الحقلي.
  - إنتاج الخريطة النهائية.

وفيما يلي تفصيل للخطوات والأعمال التي يجب القيام بها في كل مرحلة:

أولاً: الأعمال التي يجب تنفيذها قبل المسح الحقلي، وتشمل:

- تحديد منطقة الخريطة.

- تحديد الهدف من الخريطة.
- الحصول على الصور الجوية والفضائية المتوافرة لمنطقة الخريطة.
- الحصول على خرائط التربة والخرائط الجيولوجية والطبوغرافية لمنطقة الخريطة، وتوحيد مقاييس رسمها بالتكبير أو التصغير
- إعداد خريطة أساس أولية Base Map لاستخدامها خلال المسح الحقلي لرصد أشكال التضاريس وتوقيعها عليها، ويكون مقياس رسمها عادة أكبر من الخريطة النهائية لتوقيع ما أمكن من التفاصيل، وعادة يتم اختيار مقياس هذه الخريطة على ضوء مقياس الخريطة النهائية، فعلى سبيل المثال إذا كانت الخريطة النهائية ستنشر بمقياس بين (١/٥٠٠٠) و (١/٥٠٠٠٠) يكون مقياس الخريطة الحقلية أكبر ويراوح بين (١/٣٠٠٠) و (١/٢٥٠٠٠).
- إعداد خريطة أولية تبين توزيع أنماط الأشكال أو الوحدات الجيومورفية الرئيسة بالاعتماد على معطيات الاستشعار عن بعد (الصور الجوية والفضائية).
- انشاء خريطة أولية بمقياس رسم مناسب لاستعمالها في إعداد الخرائط الحقلية.
- تصميم نظام للرموز والمصطلحات التي ستستخدم في توقيع المظاهر الجيومورفولوجية على الخرائط الحقلية.
- توفير أجهزة الاتصال وأجهزة تحديد المواقع العالمية GPS.
- الحصول على إذن من الجهات المختصة لدخول منطقة الخريطة وإجراء المسح الميداني فيها.
- تخمين أو تقدير المخاطر المترتبة على الأعمال التي يتم القيام بها.
- معرفة أحوال الطقس السائدة في منطقة الخريطة خلال فترة المسح الحقلي.

ثانياً: الأعمال خلال المسح الحقلي:

١. إعداد الخرائط الحقلية بالاعتماد على الخرائط الأولية وتوقيع أشكال التضاريس عليها باستخدام نظام الرموز خلال التجوال في المنطقة.
٢. استخدام جهاز تحديد المواقع العالمي GPS لتحديد خطوط السير في المنطقة.
٣. تسجيل الملاحظات وبعض الشروح المتعلقة بالأشكال الجيومورفولوجية في المنطقة.

٤. جمع الأدوات الصوانية وبقايا المستحاثات في حال وجودها في المنطقة للاستفادة منها في تحديد أعمار الأشكال الجيومورفولوجية أو تتابعها الزمني، وتحديد مواقعها بوساطة جهاز GPS وتدوين بعض الملاحظات عنها.

٥. التقاط الصور وتوثيقها وتحديد مواقعها بواسطة جهاز GPS وعدم الاعتماد على الذاكرة.

٦. الانتباه للنواحي الصحية والأمنية وتحديد المواقع الخطرة.

ثالثاً: إجراءات إعداد الخريطة ونشرها بعد الانتهاء من أعمال المسح الميداني، وتشمل:

- إدخال بيانات جهاز GPS في الحاسوب مع قاعد البيانات التي يجب أن تكون قد أعدت باستخدام نظام المعلومات الجغرافية GIS.
- مقارنة الخرائط الحقلية بالخرائط التي تم إعدادها بالاعتماد على الصور الجوية والفضائية للتأكد من دقتها وصحتها.
- إدخال الصور إلى الحاسب وربطها بالملاحظات والشروح الحقلية المتعلقة بها.
- البدء بمعالجة البيانات وتحليلها وترتيبها وتصنيفها تمهيدا لإخراج الخريطة النهائية بعد إنجاز الآتي:

١- اختيار نظام لتصنيف الأشكال أو الأنماط والوحدات الجيومورفولوجية حسب الهدف من الخريطة وحسب مقياس رسمها والتفاصيل المطلوبة.

٢- اختيار الرموز ونظام الألوان الذي سيستخدم في الخريطة.

٣- إنتاج الخريطة النهائية باستخدام برنامج نظام المعلومات الجغرافية GIS أو أي برنامج للرسم بياني، ومراعاة قواعد التصميم الخرائطي بإنتاج الخريطة خاصة اختصار التفاصيل وتعميمها بشكل يتناسب مع مقياس رسم الخريطة، وخاصة الخرائط الجيومورفولوجية الصغيرة والمتوسطة المقياس التي تكون غالباً بين مقياس (١/١٠٠٠٠٠) و(١/١٠٠٠٠٠٠).

٤- كتابة مذكرة إيضاحية ترفق مع الخريطة تبين أنواع الأشكال الجيومورفولوجية وخصائصها في منطقة الخريطة.

ويجب أن تشكل المذكرة الإيضاحية معلومات عن الخصائص الجغرافية لمنطقة الخريطة مثل موقعها ومساحتها وطرق الوصول إليها ومصادر الخريطة وتاريخ إنشائها.

ويبين أيضاً إذا تم التخطيط لإنشاء مخيم لإجراء أعمال المسح الميداني، وذكر الأعمال الأخرى التي تم القيام بها لإعداد الخريطة مثل تفسير الصور الجوية وتحليلها، واستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي Dems وإنشاء خريطة الأساس والخريطة الأولية (مسودة) من الصور الجوية التي تبين أشكال سطح الأرض الرئيسة في منطقة الخريطة، واستخدامها في توقيع حدود هذه الأشكال بدقة وتعديلها، وإضافة التفاصيل، وإنشاء الخرائط الحقلية وطريقة جمع المعلومات، وإنشاء قاعدة بيانات Data Base للخرائط الحقلية. (Dramis, et al .2011)

وتجدر الإشارة إلى أن أعمال المسح الحقلية تتم باستعمال خريطة طبوغرافية توضع على لوحة صغيرة خفيفة الوزن وتوضع فوق الخريطة ورقة شفافة، ويستفاد من الخريطة الطبوغرافية فيتحديد المواقع، ويمكن الاستعانة بالصور الجوية بنفس مقياس الخريطة، ويستخدم جهاز تحديد المواقع العالمي GPS لتحديد نقط حدود المظاهر وخطوط السير، ويفضل استعمال المناظير في المناطق الجبلية والوعرة لمشاهدة المناطق التي لا يمكن الوصول إليها.ويتم توقيع المظاهر الجيومورفولوجية خلال المسح الحقلي على الخرائط الطبوغرافية باستخدام نظام للرموز معد ومطبوع مسبقاً.

وفي حالة استخدام المعدات الرقمية مثل الهاتف الخليوي والحاسوب في المسح الحقلي يجب أن تكون الخريطة الطبوغرافية والصور الجوية والفضائية ونموذج الارتفاعات الرقمي مخزنة على الجهاز الحقلي، ولتحديد المظاهر بدقة يجب وصل جهاز تحديد المواقع بالحاسوب. ويتطلب استخدام الحاسوب لإعداد خرائط جيومورفولوجية رقمية إعداد قاعدة بيانات جيومورفولوجية Geomorphological Geo data Base بالاستعانة بنظام المعلومات الجغرافية قبل البدء بأعمال المسح الحقلي، تشمل الآتي:

محتويات قاعدة البيانات الجيومورفولوجية في الحاسب الآلي:

الشرائح Layers

محتوى الشريحة نوع الشريحة

❖ طبقات الصخور

-أنواع الصخور مساحية

-البنية/مظاهر خطية خطية شرائح جيولوجية

-البنية/ مظاهر نقطية نقطية

❖ المظاهر الجيومورفولوجية:

- وحدات العناصر الأولية أو الأساسيةمساحية
- مظاهر خطية منعزلة أو منفصلة نقطية شرائح جيومورفولوجية
- مظاهر نقطية منعزلة نقطية

❖ **المظاهر المائية**

- مظاهر مائية مساحية مساحية
- مظاهر مائية خطية خطية شرائح مائية
- مظاهر مائية نقطية نقطية

❖ **صور جوية عمودية مساحية**

❖ **الارتفاعات خطية**

❖ **الارتفاعات نقطية**

❖ **الأسماء الجغرافية كتابة**

❖ **طبقية الصخور نقطية**

❖ **طبقية الصخور جدول**

❖ **نموذج الارتفاع الرقمي** (Gustavsson et al,2008)

الأعمال والإجراءات الحقلية لإعداد الخريطة الجيومورفولوجية Mapping Procedure

يفضل تنظيم موقع أو مخيم لإقامة المشاركين في أعمال المسح الميداني مزود بالتجهيزات والمعدات اللازمة، ويتم وضع خطوات العمل كما يلي:

١- استطلاع منطقة الخريطة للحصول على مشهد عام لها بالاستعانة بالخريطة الطبوغرافية والصور الجوية، وتقدير الزمن اللازم لإعداد الخريطة الجيومورفولوجية الحقلية.

٢- تحديد الطرق والمسارات والممرات في منطقة الخريطة بشكل يتناسب مع الخريطة الأولية لمنطقة الخريطة.

٣- تحديد مناطق انقطاع الانحدارات، وتعديل الخريطة الأولية.

٤- عدم الإفراط في توقيع التفاصيل على لوحة الخريطة الحقلية، ويمكن تجنب الإفراط باستعمال عدة لوحات من الورق الشفاف بحيث تخصص ورقة لكل طبقة من المعلومات، مثلاً ورقة لأشكال التضاريس، ورقة لنوع العمليات الجيومورفولوجية، ورقة للمواد التي يتألف منها سطح المنطقة،بالإضافة إلى شرح يتعلق بأشكال التضاريس وتركيب مواد سطح المنطقة الذي يمكن تحديده بالملاحظ المباشرة أو عن طريق أخذ عينات حقلية، وذلك للتعرف على أنماط أو نماذج مواده.

ويعتمد إنجاز الخريطة بسرعة على خبرة المساح أو الراصد، والظروف الطبيعية السائدة في منطقتها، ومن المعروف أن إعداد خرائط المناطق الجبلية يستغرق وقتاً أكبر بسبب وعورتها رغم أن الجبال والتلال غالباً تمكن من الحصول على مشاهد عامة لمنطقة الخرائط أكثر من الأراضي المسطحة والمستوية التي يجب السير خلالها لرؤية جميع المظاهر. وبشكل عام يستطيع الخرائطي الخبير مسح منطقة مساحتها ٢-٣كم٢ يومياً حسب الظروف السائدة في المنطقة ودرجة وعورة أو تعقد سطحها.

إعداد الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية: Digital Mapping

يعتبر إعداد الخرائط في الحقل أمراً غير عملي خاصة في الوقت الحاضر مع انتشار التقنيات الرقمية وتطورها السريع واللافت، فلذلك من الشائع استخدام مصادر المعلومات الرقمية Digital Data sources لإعداد الخرائط في إطار برامج نظم

المعلومات الجغرافية GIS ، وتشمل هذه المصادر الصور الجوية والصور الفضائية والنماذج الرقمية للتضاريس Dems .

ويجب الحرص عند اختيار مصادر المعلومات لإعداد الخريطة بحيث يكون مقياسها مناسباً وتوفر تغطية كاملة لمنطقة الخريطة. ويمكن للخرائطي أو الجيومورفولوجي أن ينجز خريطته ١- يدوياً Manual ، أو ٢- آلياً Automated أو بطريقة نصف أو شبه آلية Semi- Automated .

إعداد الخارطة يدوياً:

تعتمد الأساليب اليدوية لإعداد الخريطة الجيومورفولوجية على خبرة الخرائطي ومهارته في الملاحظة المباشرة لأشكال التضاريس والتعرف عليها وتوقيعها على الخرائط الحقلية أو على الصور الجوية والمرئيات الفضائية، والأساليب التي تستخدم تكون بسيطة وسريعة وتعطي غالباً نتائج دقيقة، ويعتمد تمثيل مظاهر التضاريس على الصور الجوية أو المرئيات الفضائية على:

- شكل التضاريس
- مصادر المعلومات (المسح الحقلي).
- طريقة معالجة الصور واستعمالها (التفسير البصري Vision Interpretation)
- الأساليب التقنية والفنية المستخدمة في الصور بغرض تسهيل استخدامها وتفسيرها، واستخلاص المعلومات منها مثل استخدام الألوان غير الحقيقية False Color لتوضيح بعض المظاهر وتحديدها بسهولة، واستخدام حزم أو مجالات طيفية Spectral Bands في التقاطها، والأساليب المستخدمة في تنقيتها (Smith and wise, 2007) واستعمال مخططات للمقارنة للتعرف على أشكال التضاريس .

وبشكل عام توجد ثلاثةضوابط رئيسة لتمثيل أشكال التضاريس على الصور الجوية والمرئيات الفضائية تشمل:

- الحجم النسبي لأشكال التضاريس بالنسبة للقدرة التمييزية للصورة أو ما يعرف بالتحليل المكاني Spatial Resolution، ويقصد بذلك الحد الأدنى لأبعاد الشكل التضاريسي الذي يمكن تمييزه على الصورة ويتوقف ذلك على أبعاد خلايا Pixels الصورة فقد تكون (٥م، ١٠م، ٣٠م.....٨٠م فأكثر) .

- زاوية أو سمت ارتفاع الشمس في منطقة الصورة عند التقاطها، ويفضل استخدام الصور الملتقطة بزاوية أقل من (٢٠ °) بالنسبة لارتفاع الشمس للاستفادة من الظلال للتعرف على أشكال التضاريس.

- امتداد أشكال التضاريس واختلاف ظلالها ونسيجها على الصورة، وهما أمران يساعدان على المقارنة بين أشكال التضاريس والتعرف على أنواعها، فعلى سبيل المثال يمكن تمييز أشكال التضاريس ذات الامتداد الخطي بسهولة أكثر من المظاهر الأخرى.

هذا بالإضافة إلى الاستفادة من تطبيق نماذج الارتفاعات الرقمية للحصول على معلومات عن الارتفاعات المطلقة للتضاريس تستخدم في تصوير أشكال التضاريس وتوضيحها واستعمالها في إعداد الخرائط يدوياً (Smith&clark ,2005)، ويتم تطبيق المعالجة بنموذج الارتفاع الرقمي بإخضاع منطقة الخريطة لمعايير جيومورفولوجية معينة لسطح الأرض.(Hengi & Reuterk ; 2008)،

وأكثر الطرق استعمالاً في الخرائط الجيومورفولوجية اليدوية هي تظليل التضاريس Relief Shading بتقليد الصورة الفضائية بوضع مصدر للضوء بزاوية معينة ثم تظليل الأشكال الجيومورفولوجية حسب شدة انحدارها ، ويوضح الشكلان التاليان رقم (١١-a٦) و (١١-b٦) تأثير طريقة تظليل التضاريس في توضيح أشكال التضاريس وميولها وانحداراتها على الصور الفضائية.

وتجدر الإشارة إلى أن الخرائطي أو الجيومورفولوجي الذي ليس لدية خبرة ودراية في تفسير الصور الجوية والفضائية سيكون من الصعب عليه تحديد أشكال التضاريس على هذه الصور .

وتعد طريقة تحديد الانحدارات على الصور الفضائية لتمييز أشكال التضاريس هي الطريقة الأكثر شيوعاً بسبب سهولة تحديدها وقياسها، بالإضافة إلى طريقتين أخريين هما : المقارنة بين أشكال التضاريس على مستوى محلي، والاستفادة من توزع التضاريس بشكل منفصل أو منعزل.

ويستخدم مفهوم الارتفاع النسبي لأشكال التضاريس في طريقة المقارنة لتمييزها مكانياً عن بعضها البعض وخاصة الأشكال المتجاورة، ويمكن تطبيق هذه الطريقة بإجراء مقارنات معيارية على امتداد خطوط معينة في إقليم محدد الحجم. أما بالنسبة للطريقة

الأخرى – انعزال التضاريس– فتأخذ منهجاً مختلفاً يعتمد على المفهوم الاصطلاحي للتضاريس وهو أن مظاهر سطح الأرض تتألف من عناصر مختلفة الارتفاع يتلاصق أو يتصل بعضها ببعض في أعلاها وهذا يحدث على نطاق واسع، فإذا تم استبعاد التضاريس الكبيرة أو ذات الامتداد الإقليمي الواسع يمكن استخلاص المعلومات عن الأشكال الباقية ذات المقياس أو الامتداد الصغير، وهذه الأشكال غالباً تضم مظاهر مهمة يمكن أن تشمل المظاهر الأنثربوجينية Anthropogenic Features.

الإعداد شبه الآلي Semi-Automated Mapping للخرائط الجيومورفولوجية.

يقصد بالإعداد الآلي والنصف آلي للخرائط استخدام التقنيات الآلية والنصف آلية لإنتاج الخرائط الجيومورفولوجية وغيرها من أنواع الخرائط الأخرى، ويتم بهذه الطريقة معالجة البيانات المدخلة إلى الحاسب الآلي كمياً باستخدام اللوغاريتمات لتمييز أشكال التضاريس، وهذه الطريقة مرغوبة كثيراً لإمكانية استعمالها بشكل متكرر آلياً،وفوائدها العديدة، ولكن يوجه لها انتقاد أساسي بسبب تدني مستوى دقة نتائجها عند مقارنتها بنتائج الطرق اليدوية، ولذلك تبقى هذه الطريقة موضوعاً حيوياً للبحث في المستقبل.

في هذه الطريقة يتم تفسير الصورة الفضائية باستخدام تقنيات خاصة لتحديد مظاهر تضاريس السطح في منطقة الصورة، وتشمل هذه التقنيات انعكاسات الأشعة بموجات مختلفة الطول من مظاهر السطح تعرف بالبصمات الطيفية للمظاهر يتم تحديدها على ضوء معايير أرضية لسطح المنطقة Land surface parameters ومعالجتها باستعمال تقنيات التصنيف المراقب أو غير المراقب Supervised or Unsupervised Techniques (Lillesand et al,2008). تقنيات التصنيف المراقب تتطلب تفاعل الخرائطي الذي يقوم بإعداد الخريطة، وتشمل عدة طرق أو أساليب مثل: التصنيف الموضوعي أو الشكليObject Classification، والتحليل العنقودي Cluster Analysisعلى شكل مجموعات (مثل الاحتمال الأكبر أو الأقصى)، والتحليل التدريجي Regression Analysis بالتسلسل. أما التقنيات غير المراقبة فتشمل التصنيف الشكلي أو الموضوعي، والتصنيف العنقودي، والكشف الآلي لأشكال مظاهر السطح (Blaschke,2010)، ومن المحتمل أن يكون التصنيف الشكلي أو الموضوعي أفضل الأساليب وأكثرها استخداماً.

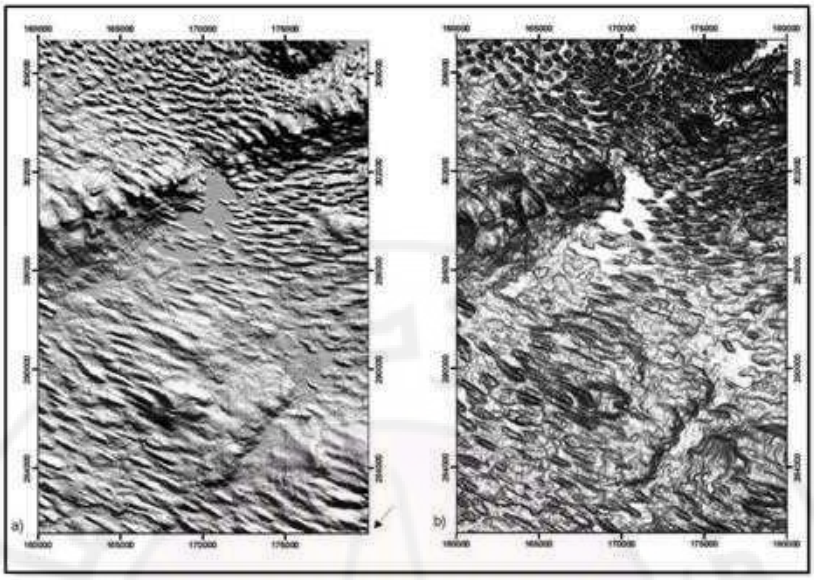
التصنيف الموضوعي أو الشكلي يعتمد على أساس رئيسي يعتبر أشكال التضاريس تجمعات من الخلايا Conglomeration of Pixels، وتتم فيه معالجة الصورة الفضائية بمرحلتين تبدأ باستعمال المعايير الجيومورفولوجية المدخلة إلى الحاسوب لتقسيم خلايا الصورة إلى مجموعات باستعمال لوغاريتم متعدد المقاييس Multi-Scale Algorithm، وبعد اكتمال مجموعة من قواعد التصنيف يتم تطبيق التصنيف على أشكال تجمعات الخلايا لتقسيمها حسب أحجامها وأشكالها، وبواسطتها يتم تحديد أشكال التضاريس آلياً، وتجدر الإشارة إلى أن هناك تطورات حديثة في التقنيات الآلية تتعلق بحجم تجمعات الخلايا لاستنتاج معيار قياسي لتحديد أشكال التضاريس.(Anders et al, 2011)

ويلاحظ أن اختبار تقنيات إعداد الخرائط الجيومورفولوجية باستعمال الصور الفضائية عملية صعبة وتحتاج إلى معرفة مدى صحة تحديد الأشكال الجيومورفولوجية المنفردة، وغالباً تستخدم لهذا الغرض قاعدة بيانات دقيقة التحليل المكاني، أو يتم إعداد خرائط يدوية بقواعد مراقبة صارمة، ويتبع بإعدادها طريقة مختلفة، ووضع أشكال تضاريسية مركبة في المشهد العام لسطح المنطقة، يوفر معلومات مسبقة عن أشكال التضاريس الحالية تسمح باختبار واضح لطريقة إعداد الخريطة الجيومورفولوجية ومعرفة مدى دقتها. شكل رقم (٩-١١).

الإخراج الرقمي للخريطة الجيومورفولوجية:

The Digital Output of The Geomorphological map

تعد الخرائط الجيومورفولوجية أحد أنواع خرائط التوزيعات الخاصة أو الخرائط الموضوعية تستخدم فيها أنظمة ترميز معقدة لتمثيل المظاهر الجيومورفولوجية عليها، والمشكلة الأساسية في هذا النوع من الخرائط هي تمثيل مشهد الأرض الثلاثي الأبعاد بجميع عناصره (الطول، العرض، الارتفاع) على سطح الخرائط ذات البعدين، ولمعالجة هذه المشكلة تستخدم في الخريطة الجيومورفولوجية أنواع عديدة ومختلفة من عناصر التصميم الخرائطي تضم أنواعاً مختلفة من الرموز والألوان التي يجب ترتيبها وتركيبها بحرص لتساهم في إنتاج خريطة قابلة للقراءة وتعبر بوضوح عن محتواها.



الشكل رقم (٩-١١a-b) يوضح تأثير تظليل التضاريس على الصور الفضائية بإبراز الأشكال الجيومورفولوجية الجليدية خاصة من استخدام نموذج ارتفاع رقمي عالي دقة التمييز، الصورة (a) توضح التضاريس والميل بدرجات تظليل قليلة الدكانة، الصورة (b لنفس المنطقة توضح المنحدرات الشديدة بتظليل أكثر دكانة.

وقبل الشروع بتصميم الخريطة الجيومورفولوجية، أو أي خريطة أخرى، يجب معرفة الآتي:

١- الهدف من الخريطة أو الغرض الذي أعدت من أجله، وهو الذي يحدد المحتوى أو الموضوع الرئيسي للخريطة.

٢- الجهة التي تتولى مسؤولية إنتاج الخريطة أو الإشراف عليها.

٣- مجال استخدام الخريطة، والأشخاص الذين سيستخدمونها.

٤- مكان استخدام الخريطة (في المكتب، في الحقل .....).

ويجب الحصول على هذه المعلومات لأن استعمالات الخريطة الجيومورفولوجية متعددة ومتنوعة،فعلى سبيل المثال يمكن استعمالها كخريطة توضيحية بسيطة ترفق مع تقرير صحفي عن موقع منطقة الخريطة، أو مع تقرير هندسي، وقد تكون خريطة متخصصة تستخدم للتحليل الأنظمة الأرضية لتخطيط إدارة الأراضي، أو تقييم المخاطر الطبيعية.

ويجب أيضاً الأخذ بعين الاعتبار الشكل النهائي لنشر الخريطة الذي يتعلق بنواح عديدة أهمها:

- هل الخريطة ستكون ورقية أم الكترونية تنشر على الشابكة (الانترنت).
- هل ستكون خريطة متعددة الألوان، أو خريطة بلونين (أسود وابيض).
- هل الخريطة سترفق مع تقرير صحفي أو تقرير علمي، أو ضمن كتاب أو لوحة مستقلة.

وتؤثر جميع هذه النواحي بشدة على طريقة توليف معلومات الخريطة وترتيبها، وعلى اختيار الرموز والألوان المستخدمة فيها، وعلى كيفية تراكب عناصر الخريطة وتداخلها وهذا يعني أن هذه النواحي تؤثر بشكل كبير في الشكل النهائي للخريطة، وفي مدى تحقيقها لهدفها وتلبيتها للغرض الذي أعدت من أجله، لأن نقل المعلومات بوساطة الخرائط يختلف عن الأنواع الأخرى من وسائل الاتصال البشري، فالخرائط وثائق مرئية تنقل المعلومات بأنظمة بيانية تشمل الرموز والألوان تختلف عن اللغات المنطوقة أو المكتوبة، وتنقل المعلومات والتفاصيل عن المظاهر التي تمثلها بنظرة واحدة شاملة للخريطة، فلذلك تجب العناية بمظهر وتركيب العناصر البيانية للخريطة، بالإضافة إلى أن جميع معلومات الخريطة يجب أن ترجع مكانياً لتحديد مواقعها بدقة باستخدام نظام الإحداثيات الجغرافية (درجات العرض وخطوط الطول).

وتجدر الإشارة إلى أن خريطة الأساس في إعداد معظم الخرائط الجيومورفولوجية تكون خريطة طبوغرافية لمنطقة الخريطة تشمل:

١. خطوط الارتفاع المتساوي (الكنتور) لتمثيل ارتفاعات سطح الأرض.
٢. الخطوط العامة الرئيسة لشبكة التصريف المائي والبنية التحتية.
٣. مراكز العمران التي تشمل المدن والقرى.
٤. خطوط الإحداثيات الجغرافية.

ويجب الانتباه إلى طريقة تمثيل المظاهر الخطية مثل الأنهار والطرق على الخرائط الجيومورفولوجية لأنها ترتبط بمقياس رسم الخريطة، فعلى سبيل المثال يمكن رسم النهر على خريطة صغيرة المقياس (١/١٠٠٠٠٠٠) برمز خطي أزرق اللون ولكن على خريطة أكبر مقياساً يمكن رسم النهر برمز مساحي وخاصة عند مصبه حيث يزداد عرضه إلى عشرات

الأمتار ويمكن تحديد عرضه حسب مقياس رسم الخريطة. وينطبق الأمر ذاته على طريقة رسم المظاهر الجيومورفولوجية برموز نقطية منفردة أو برموز خطية منفصلة أو دمجها برموز مساحية حسب مقياس رسم الخريطة وضرورة تعميم تفاصيل الخريطة واختصارها كلما صغر مقياس رسمها.

وقد وضعت لجنة المسح وإعداد الخرائط الجيومورفولوجية (SGSM) التابعة للاتحاد الجغرافي الدولي بعض الخطوات الإرشادية لإنشاء الخرائط الجيومورفولوجية.

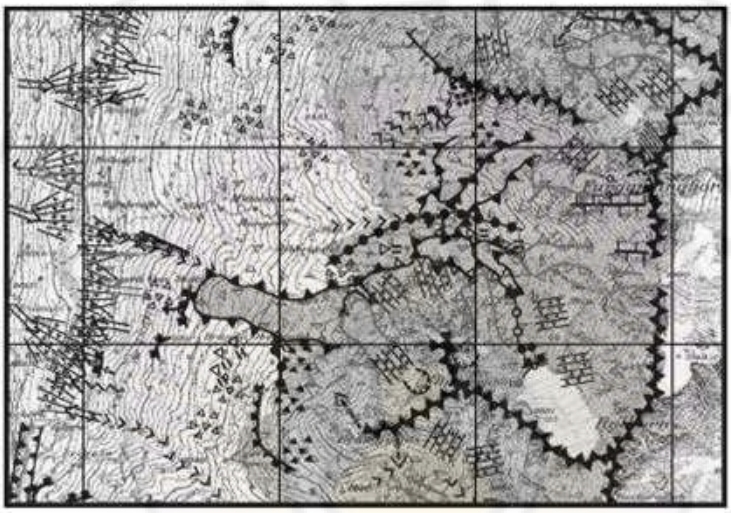
أنظمة الرموز والمصطلحات الجيومورفولوجية:

Geomorphological Legend Systems

تم نشر العديد من أنظمة الرموز والمصطلحات الجيومورفولوجية منذ البدء في إعداد الخرائط الجيومورفولوجية منذ عام١٩١٤، وقد انعكس على هذه الأنظمة الانطباعات والمفاهيم المختلفة في الهيئات العلمية في أوربا والولايات المتحد الأمريكية بالنسبة لطرق تمثيل مظاهر التضاريس حسب أهداف الخرائط التي تم إعدادها وحسب موضوعاتها أو حسب الأغراض الرئيسة التي أعدت من أجلها، ولذلك استخدمت رموز وألوان شديدة الاختلاف.وبشكل عام فإن الصفة الغالبة للخرائط الجيومورفولوجية وأنظمتها الاصطلاحية هي الاختلاف والتباين فيما بينها لدرجة كبيرة يمتد معها هذا الاختلاف إلى الخرائط المتماثلة في موضوعاتها أو التي تمثل جانباً واحداً من أشكال التضاريس، وتزداد شقة هذا الاختلاف لأن معظم الخرائط المورفولوجية والتحليلية الشائعة تضم الكثير من المعلومات والتفاصيل لتضاريس سطح الأرض مثل عوامل وأزمان تشكلها وخصائصها الصخرية (الليتولوجية) (Knight et al : 2011) وتحتاج إلى رموز ومصطلحات كثيرة. وقد طورت العديد من الدول أنظمة خاصة لخرائطها الجيومورفولوجية تتناسب مع احتياجاتها، ففي الخرائط الجيومورفولوجية البريطانية على سبيل المثال يركز على توضيح أشكال التضاريس والانقطاعات الرئيسة أو المهمة في الانحدارات، ولذلك تم تطوير أنظمة من الرموز والمصطلحات خاصة تسمح بتمثيل هذه الخصائص.هذا بالإضافة إلى تطوير العديد من أنظمة الرموز والمصطلحات لاستخدامها في إنشاء الخرائط الجيومورفولوجية الرقمية ببرامج الرسم البياني وبرنامج نظم المعلومات الجغرافية GIS ويتم رسمها آلياً، وتتصف هذه الرموز

بتعقدها، الشكل رقم (١٠-١١) يبين بعض نماذج الرموز المستخدمة في برنامج نظام المعلومات الجغرافية لإعداد الخرائط الجيومورفولوجية.

ومنها على سبيل المثال الرموز التي صممت لاستخدامها في إعداد الخرائط الجيومورفولوجية لمناطق الجبال العالية، كما في الشكل (١١-١١) الذي يمثل خريطة جيومورفولوجية لمنطقة كفرتال هوتورن Kafertal Hohe Tauern بجبال الألب في النمسا أعدت باستخدام رموز خرائط الجبال العالية

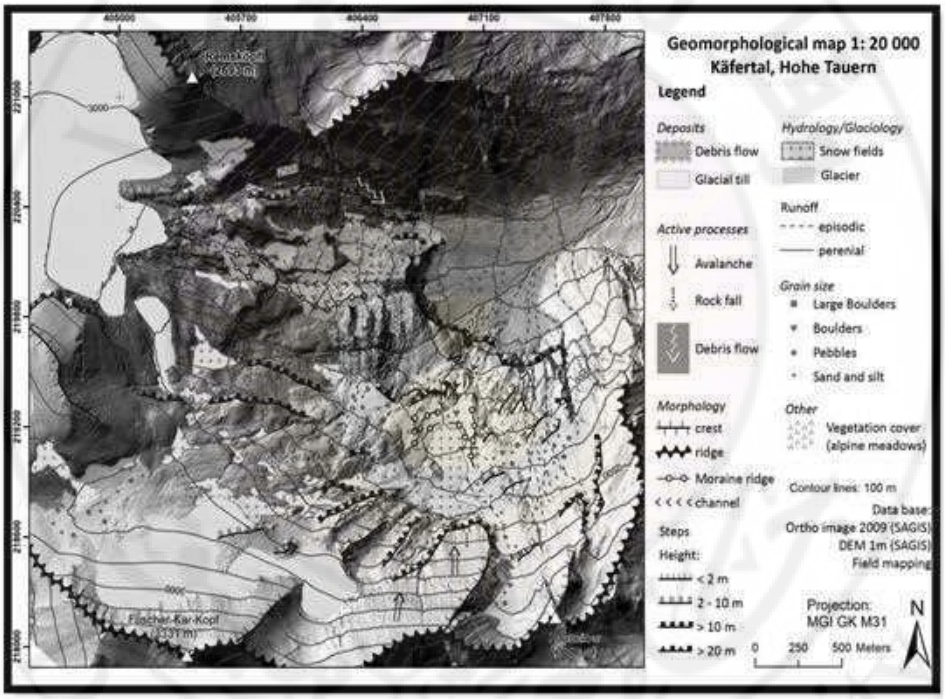


شكل رقم (١٠-١١) خريطة تبين بعض نماذج الرموز المستخدمة في برنامج ArcGIS ويلاحظ درجة تعقد الرموز وعدم إمكانية رسمها يدوياًوقد صممت هذه الرموز لاستخدامها لخرائط بمقياس ١/٢٥٠٠٠من قبل برنامج أبحاث الخرائط الجيومورفولوجية في المانيا عام (١٩٨٠)م.

خرائط الشابكة (الانترنت) الجيومورفولوجية On line Geomorphological Maps:

أتاح الإعداد الرقمي للخرائط الجيومورفولوجية باستخدام برامج أنظمة المعلومات الجغرافية إمكانية النشر الالكتروني لهذه الخرائط بأشكال متعددة شملت نشرها بشكل مبسط كشرائح مساحية Raster و شرائح خطية Vector يمكن تطبيقها باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية للحصول على خريطة شاملة، وتحتوي كل شريحة معلومات أو أشكال تضاريسية معينة، ويمكن إرسال الخرائط والشرائح بصيغ معيارية KML/ KM2 باستخدام خادم الشابكة Web) (Web Server GIS Software لنشر الخريطة الكترونيا (Smith

et al, 2013) ويمكن في الوقت الحاضر نشر الخرائط بصيغة وثائق أو مخطوطات قابلة للنقل Portable Document Format(PDF)، وتطور نشرها كخرائط مرجعة مكانياً Geo PDF يمكن استخدامها في قياس المسافات والمساحات وتحديد المواقع بدقة، وتقوم بعض الإدارات في دول مختلفة بنشر هذه الخرائط مثل إدارة المساحة الأمريكية (USGS) ، وهيئة الخدمات الهيدروغرافية (AHS) في استراليا التي تنشر أيضاً خرائط تفاعلية باستخدام صيغة (Geo PDF).



شكل رقم (١١-١١) خريطة جيومورفولوجية لمنطقة كفرتال- هو- تورن في جبال الألب النمساوية باستخدام رموز الجبال المرتفعة كنموذج يوضح تعقد بعض رموز الخرائط الجيومورفولوجية (رموز اوتو ٢٠٠٨) وعدم إمكانية رسمها يدوياً ويقتصر استعمالها ببرنامج Esri/ Arc GIS .

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

رقم الشكل	موضوع الشكل	الصفحة
١ -١	الخسائر المادية الناتجة عن الكوارث الطبيعية بين (١٩٨٠-٢٠١١)م	٢٤
٢-١	مجسم لحركات المعطف وما ينتج عنها من أذرع طاقة.	٤٤
٢-٢	أنواع الحدود بين الصفائح	٤٧
٢-٣	أنواع الموجات الزلزالية.	٤٨
٢-٤	توزع الزلازل بين عامي (١٩٦٣-١٩٩٨)م.	٥١
٢-٥	تصنيف قوة الزلازل في العالم	٥١
٢-٦	زلازل منطقة البحر المتوسط	٥٢
٢-٧	مركز زلزال سومطره، ومجال تأثيره.	٥٧
٢-٨	حركة الاندساس عن خندق سوندا، والحركة الجانبية المتعاكسة.	٥٨
٢-٩	التوزع الجغرافي لقوة زلزال المحيط الهادئ.	٥٨
٢-١٠	موقع زلزال سيندال (٢٠١١)م.	٦١
٢-١١	خارطة احتماليّة التعرض للزلازل في الولايات المتحدة الأمريكية	٦٥
٢-١٢	موقع بركان تامو ماسيف.	٦٩
٢-١٣	مجسم يبين أبعاد بركان توما ماسيف الدرعي.	٦٩
٢-١٤	عناصر البركان ومكوناته	٧١
٢-١٥	نماذج الانفجارات البركانية وأشكال براكينها.	٧٧
٢-١٦	مجسم لبركان ترسي من براكين هاواي.	٧٨
٢-١٧	تصنيف البراكين حسب أشكالها وبنيتها العامة	٨١
٢-١٨	مؤشر انفجارية البراكين، أو شدتها.	٩١
٢-١٩	توزيع محطات الرصد الحراري في كالديرا الوادي الطويل/ كاليفورنيا.	٩٨
٢-٢٠	ثوران بركان إيوافيالايوكولفي ١٧/ أبريل/٢٠١٠	١٠٠
٢-٢١	كيفية انتشار أمواج تسونامي عقب انفجار بركان استرومبولي	١٠٤
٢-٢٢	توزع البراكين	١٠٤
٢-٢٣	نقطة هاواي الحارة	١٠٦
٢-٢٤	أحزمة الخطر حسب طبيعة المادة، لانفجار بركان يلوستون المتوقع	١٠٨
٣-١	كيفية نشوء الكتل الصخرية الدائرية	١٢٣

٣-٢	أنواع قوى الضغط واتجاه الكسور الناتجة عنها	١٢٨
٤-١	مجسم ثلاثي الأبعاد لكهف Jenolan في الجبال الزرقاء/ نيوزلندا	١٥٢
٤-٢	يظهر الآفاق الثلاثة للوحدة الكارستية	١٥٥
٤-٣	أنواع الجوبات حسب نشأتها	١٥٧
٤-٤	تطور الكهوف وعلاقتها بتغيرات منسوب مياه الأنهار المجاورة.	١٦٣
٤-٥	خريطة كهف مالونجولي وسط أستراليا.	١٦٣
٤-٦	تظهر مخططاً ثلاثي الأبعاد لكهف ليشيوغيولا/ نيومكسيكو.	١٦٣
٤-٧	بعض أهم تضاريس النظام الكارستي	١٦٦
٤-٨	العلاقة بين المجاري المائية السطحية والضمنية في كهف مارتن.	١٦٨
٤-٩	عمليات مرافقة لتسرب المياه عبر الشقوق في منطقة غابية.	١٦٩
٤-١٠	مجسم ثلاثي الأبعاد يظهر درجات الحرارة في كهف لاسكيو.	١٧٥
٤-١١	كيفية وصول الملوثات السطحية نحو المياه الجوفية	١٧٥
٤-١٢	الطرق الهندسية لبناء الأبراج فوق الحجر الكلسي/ ماليزيا.	١٨٢
٤-١٣	منطقة ريبون الكارستية في المملكة المتحدة	١٨٢
٤-١٤	حوض تغذية نبع جعيتا	١٩١
٤-١٥	نطاق احتمال خطر انهيار سقف مغارة جعيتا.	١٩٣
٤-١٦	نطاق احتمال خطر انهيار سقف مغارة جعيتا.	١٩٣
٤-١٧	المسار المقترح لأنبوب الصرف الصحي حول مغارة جعيتا.	١٩٣
٥-١	تغير مجرى نهر الفرات خلال الفترة بين(١٩٤٥-١٩٦١)م.	٢٠٨
٥-٢	قطاع عرضي لبلدة Puigcergos / شمال أسبانيا.	٢٠٩
٥-٣	توزع الألسنة الموجهة لتيار المجرى بعيداً عن ضفة الحت.	٢٢٩
٥-٤	خارطة جيومورفية لجزء من المنطقة التي تظهرها الصورة الفضائية	٢٣٦
٥-٥	العلاقة بين أهم خصائص أحواض التصريف المائي وتصريفها.	٢٤٦
٦-١	تذبذب مستوى سطح البحر خلال الزمن الرابع	٢٢٥
٦-٢	زيادة نسبة غاز CO_2 فوق بركان مونولوا	٢٥٧
٦-٣	ارتفاع مستوى سطح البحر بين عامي (١٨٧٠-٢٠٠٩)م	٢٥٨
٦-٤	مستويات الحت على طول ساحل الولايات المتحدة الأمريكية.	٢٧٥

٦-٥	المظاهر السطحية الساحلية	٢٧٦
٦-٦	تصنيف الدول العربية حسب المتضرر من التغيرات المناخية.	٢٨٦
٧-١	توزع الصحاري في العالم	٣١٠
٧-٢	العلاقة بين اتجاه الرياح وشكل الكثبان الرملية.	٣١٧
٧-٣	عناصر الكثيب الرملي وزواياه	٣١٨
٧-٤	التيارات الريحية، وعدم تناظر الكثيب الهلالي.	٣١٩
٧-٥	التيارات الريحية ووصف لحركة الرمال.	٣١٩
٧-٦	مسار القناة المائية المقترحة عبر صحاري أفريقيا	٣٢٩
٧-٧	التصميم الهندسي لإحدى الفجارات	٣٤٦
٧-٨	المناطق المهددة بفيضانات وادي قاش/ السودان	٣٥٠
٨-١	خارطة مخاطر المنحدرات في مدينة ماتشوبيتشو.	٣٥٧
٨-٢	توزع الانهيارات الأرضية في منطقة Bojnord شمالي إيران.	٣٦٩
٨-٣	عناصر الانزلاق الطيني Earth flow.	٣٧١
٨-٦/٥/٤	أشكال أرقام (٤/٥/٦-٨) مراحل التساقط الصخري	٣٧٣
٨-٧	مقطع جيولوجي لبلدة Tendruy شمالي أسبانيا.	٣٧٣
٨-٨	أنواع حركة المواد على المنحدرات	٣٧٥
٨-٩	اختلاف كميات الرواسب الصلبة بفعل الحت في أسطح مختلفة	٣٧٨
٨-١١/١٠	خارطة انزلاقات لمنطقة أمبريا الإيطالية لعامي (١٩٨٩- ٢٠٠٥).	٣٨٤
٨-١٢	خارطة الانهيارات الأرضية في منطقة كولاتزوني/ إيطاليا.	٣٨٨
٨-١٣	طريقة تثبيت طبقة سطحية غير مستقرة بأوتاد ربط.	٣٩٣
٨-١٤	الخارطة الجيومورفية لجزء من منحدرات كويستا معلولا.	٣٩٦
٨-١٥	مستويات الخطر في جزء من منحدرات كويستا معلولا	٣٩٧
٩-١	تغير موقع بلدة بوغسيرجس وتأثرها بالانهيارات والحت النهري	٤٢٣
٩-٢	قيم انحدار سفوح محيط بلدة كوفيلها البرتغالية.	٤٢٧
٩-٣	مستويات خطر الانزلاقات الثلاثة في محيط بلدة كوفيلها البرتغالية.	٤٢٧
٩-٤	مجسم لبلدة ساجار الهندية عام (١٩٧٢)م.	٤٢٩
٩-٥	مجسم لبلدة ساجار الهندية عام (٢٠١١)م	٤٢٩

١٠-١	السد فوق طبقات أفقية	٤٤٧
١٠-٢	السد فوق طبقات رأسية بشكل متعامد معها.	٤٤٧
١٠-٣	السدود فوق طبقات رأسية مواز لها.	٤٤٨
١٠-٤	السد فوق طبقات تميل نحو المصب.	٤٤٨
١٠-٥	السد فوق طبقات شديدة الميل نحو المصب.	٤٤٩
١٠-٦	السد فوق طبقات تميل نحو المصب.	٤٥٠
١٠-٧	سد مبني ضمن طبقات وحيدة الميل.	٤٥٠
١٠-٨	ارتباط العملية الجيومورفية بترتيب المجاري المائية	٤٦٢
١٠-٩	مخطط التغيرات في النظم النهرية التي تم تنظيمها بالسدود.	٤٦٨
١٠-١٠	أثر ميل الطبقات والحت النهري على استقرار مرتكزات الجسر	٤٨٩
١٠-١١	مخطط امتداد الجسر (A-A) على جانبي السهل الفيضي.	٤٩٠
١٠-١٢	توزع الدعائم حسب خصائص القطاع العرضي لمجرى مائي	٤٩١
١١-١	خريطة جيومورفولوجية للجزء الشرقي من سورية /مير ا زييف 1960	٤٩٨
١١-٢	نماذج من الرموز المستخدمة لتمثيل المظاهر الجيومورفولوجية	٥٠٢
١١-٣	نماذج الرموز المستخدمة في تمثيل أنواع التكوينات الصخرية.	٥٠٣
١١-٤	نموذج للخرائط الجيومورفولوجية التفصيلية لوادي دي/ اسكتلندا.	٥٠٦
١١-٥	جزء من خريطة الاستقرار الجيومورفولوجي لمنطقة سان جورجيو	٥٠٧
١١-٧/٦	خريطة الأراضي الحساسة لموقع مدينة في خليج رزولت	٥٠٨
١١-٨	خريطة ألاسكا الجيومورفولوجية (5000000:1) في الاتحاد السوفيتي السابق	٥٠٨
١١-٩	تأثير تظليل التضاريس على الصور الفضائية.	٥٢٩
١١-١٠	خريطة تبين بعض نماذج الرموز المتخدمة في برنامج Arc GIS	٥٣٢
١١-١١	خريطة جيومورفلوجية لمنطقة كفرتال- في جبال الألب النمساوية	٥٣٣

رقم الجدول	موضوع الجدول	الصفحة
١ – ١	تصنيف هارت لأهم المخاطر الجيومورفولوجيّة	٢٦
١ – ٢	مستويات الأخطار الطبيعية حسب معايير بريانت ١٩٩١.	٣١-٣٢
٢-١	مقياس ريختر لقياس الزلازل	٤٩
٢-٢	أشهر زلازل التاريخ ومواقعها وتاريخها وعدد ضحاياها.	٥٣
٢-٣	أشهر شقوق الزلازل وخصائصها	٥٥
٢-٤	تركيب الغازات البركانية	٨٤
٢-٥	التصنيف الحجمي للمواد البركانية الصلبة	٨٩
٢-٦	أكثر الثورانات البركانية كارثيّة	٩٢
٢-٧	أنواع المخاطر البركانية وأمثلة عنها مع عدد ضحاياها	٩٣
٣-١	درجة التجوية في المنازل (تصنيف وصفي)	١٣٨
٣-٢	مستويات حالة الأبنية (تصنيف وصفي	١٣٨
٣-٣	خصائص مواد البناء حسب أنواعها الصخرية	١٣٩
٥-١	تصنيف فيضانات نهر هان	٢١٣
٥-٢	عدد المتضررين من الفيضانات الكبرى (١٩٠٠- ٢٠١٤)م	٢٣٧
٥-٣	نتائج دراسة بورخان Burkhan	٢٤٨
٨-١	تصنيف يونغ للمنحدرات.	٣٥٨
٨-٢	أنواع حركات المواد السطحية، وأعداد ضحاياها حسب الدول	٣٨٢

رقم الصورة	موضوع الصورة	الصفحة
٢-١	جزء مدمر من إحدى قرى إيران بعد زلزال ٢٠١٣م	٥٦
٢-٢	اختفاء جزء من ساحل جزيرة سومطرة بفعل أمواج تسونامي	٥٩
٢-٣	وصول موجة التسونامي إلى سواحل سومطرة	٥٩
٢-٤	السهول الساحلية الطينية بعد انحسار الموجة.	٦٠
٢-٥	تسيل للتربة في منطقة كوتو Koto في طوكيو	٦٢
٢-٦	فيضانات التسونامي التي غمرت مطارسينداي Sendai	٦٢
٢-٧	غمر منطقة مرفأ سينداي ودخان حرائق النفط المتسرب	٦٣
٢-٨	دمار الطرق والمنازل بسبب زلزال ميناتو Minato	٦٣
٢-٩	سقوط المباني الطابقية على بعضها، إثر زلزال عام (٢٠١٦)	٦٥
٢-١٠	ثوران بركان باركوتين عام (١٩٤٣)م	٦٩
٢-١١	بركان باركوتين عام (١٩٩٧)م	٦٩
٢-١٢	الجدار البازلتي بريك نايف Breadknife في أستراليا	٧٢
٢-١٣	جدار هيدريان الروماني	٧٣
٢-١٤	قلعة سانت ميشيل دي أيجولا، بنيت عام (٩٦٩)م/ فرنسا	٧٣
٢-١٥	نافورة ستروكيور Strokkur بأيسلندا.	٧٤
٢-١٦	فقاعة على سطح إحدى برك الطين في أيسلندا.	٧٥
٢-١٧	قناة مهل متدفق	٧٦
٢-١٨	جزء من كهف عريقة في محافظة السويداء/سورية	٧٦
٢-١٩	تبين إحدى جزر البراكين الترسية.	٧٨
٢-٢٠	بركان فيزوف	٨٠
٢-٢١	بعض قتلى مدينة بومبي بعد ثوران بركان فيزوف (٧٩)م.	٨٠
٢-٢٢	بركان جمري	٨٢
٢-٢٣	كيفية أخذ عينات من غازات منافذ بركان	٨٣
٢-٢٤	غازات ثاني أكسيد الكبريت، وترسباته صفراء اللون	٨٣
٢-٢٥	المهل اللزج حامضي التركيب بطيء الحركة	٨٦
٢-٢٦	تصلب القشرة الخارجية للمهل	٨٦

٢-٢٧	مجرى مهلي، كيلوا	٨٧
٢-٢٨	المهل السائل قلوي التركيب/هاواي	٨٧
٢-٢٩	بحيرة نياراغونغو	٨٨
٢-٣٠	تصلب سطح بحيرة مهل كيلوا	٨٨
٢-٣١	محطة وقود في منطقة Kalapana / هاواي	٩٤
٢-٣٢	محطة الوقود بعد تدفق المهل	٩٤
٢-٣٣	مهل بركان كيلوا يهدد المنازل	٩٥
٢-٣٤	انهيار المنازل بسبب الحمم الصلبة	٩٥
٢-٣٥	تقدم اللابة نحو الطرق وقطعها، وإذابة الإسفلت تحتها.	٩٥
٢-٣٦	إحدى تدفقات جبل نيفادو دل روز في كولومبيا	٩٦
٢-٣٧	الرماد البركاني والسحب إثر ثورة بركان أونزين (١٩٩١)م	٩٧
٢-٣٨	احتراق الغابات عقب ثورة بركان لا سوفريير (١٩٠٢)	٩٨
٢-٣٩	السحب المتوهجة خلال ثوران بركان مورابي جاوة/ إندونيسيا	٩٨
٢-٤٠	سحب الرماد التي شكلها بركان أيسلندا عام (٢٠١١)م	٩٩
٢-٤١	دمار لحق بإحدى قرى بركان جبل ميرابي إندونيسيا	٩٩
٢-٤٢	بحيرة نيوس (١٩٨٦)م	١٠١
٢-٤٣	بدء تصاعد عمود الدخان من بركان Echichon	١٠١
٢-٤٤	جزيرة فانواتو ودخان بحيرتها النشطة	١٠٢
٢-٤٥	غازات بحيرة أمباي في جزيرة فانواتو	١٠٢
٢-٤٦	لمدينة سانت بيير بعد ثوران بركان بيلي عام (١٩٠٢)م	١٠٣
٢-٤٧	فوهة بركان سانت هيلين وموقع الانهيار فيها	١٠٣
٢-٤٨	لاهار بركان ميرابي (٢٠١٠)م، والسد الذي بني لمواجهته	١٠٩
٢-٤٩	جزء من منتزه تونغاريرو Tongariro تجمع المخاطر الثلاثة	١١٠
٢-٥٠	مروحة فيضية لبركانية سانت فنسنت/ الكاريبي	١١١
٢-٥١	جزيرة سيورتسي قرب سواحل أيسلندا، نشأت عام (١٩٦٣)م	١١١
٢-٥٢	بحيرة مسعدة في الجولان السوري المحتل	١١٢
٢-٥٣	بقايا قلعة صلخد، على مسلة بركان صلخد	١١٢

٢-٥٤	حمامات العلاج الطبيعي ببرك الكبريت / تركيا	١١٣
٢-٥٥	مصانع توليد الطاقة من بحيرات المياه الحارة في أيسلندا	١١٣
٢-٥٦	نافورة ستروكور Strokkur في أيسلندا	١١٤
٢-٥٧	سياحة البراكين بالقرب من لابة بركان كيلوا في هاواي	١١٤
٣-١	مسلة فرعونية في واشنطن ١٨٨١	١٢٠
٣-٢	مسلة فرعونية في واشنطن ٢٠٠٥	١٢٠
٣-٣	مسلة فرعونية في أسيوط	١٢٠
٣-٤	تشوه تمثال Rhein-Ruhr في Reckinghusen / ألمانيا	١٢٠
٣-٥	ميلان برج كنيسة Suurhusen / ساكسونيا السفلى/ ألمانيا	١٢١
٣-٦	قبة غرانيتية في متنزه غيراوين الوطني/ أستراليا	١٢٢
٣-٧	كيفية نشوء الكتل الصخرية الدائرية	١٢٣
٣-٨	برج الشيطان شمال شرق ولاية وايومنغ الأمريكية	١٢٤
٣-٩	شقوق عمودية في منطقة كاسواي غاينت / أيرلندا	١٢٤
٣-١٠	تأثير تجوية التجمد والانفكاك في نشوء كسور الصقيع	١٢٥
٣-١١	المضلعات الطينية على سطح خبزة	١٢٦
٣-١٢	جدار طيني تعرض للتشقق، وظهور آثار عملية التقبب	١٢٦
٣-١٣	تكشف الهيكل الخشبي للجدار بعد انهيار الطبقة الطينية	١٢٧
٣-١٤	الجذب السياحي في منطقة كبادوكيا/ تركيا	١٢٧
٣-١٥	مظهر قرص العسل على واجهة صخرية	١٢٩
٣-١٦	قرص العسل في واجهة جدار.	١٢٩
٣-١٧	تآكل حجارة البناء، وبقاء اللُحمة بين التجاويف.	١٣٠
٣-١٨	ظاهرة الدهان الصحراوي	١٣٠
٣-١٩	مبنى قديم في سويسرا	١٣٠
٣-٢١/٢٠	جزء من جدار متدهور بفعل التجوية	١٣٧
٣-٢٢	تراجع جزء من جدار وانكشاف هيكله الداخلي	١٤٠
٣-٢٣	فقد طبقة من جدار بازلتي – كلسي	١٤٠
٣-٢٤	تدهور طبقة الإكساء الخارجي وتفتتها في جدار حجري	١٤٠

٣-٢٥	تخرش جزء من جدار	١٤٠
٣-٢٦	الحفر في حجر بازلتي	١٤١
٣-٢٧	زهرات ملحية تغطي المادة اللاحمة	١٤١
٣-٢٨	تكسر حجر بناء بالتجوية الفيزيائية	١٤١
٣-٢٩	نشوء رقائق على سطح حجر بناء	١٤١
٣-٣١/٣٠	سبخة Salar de Uyuni بعد هطل الأمطار	١٤٤
٣-٣٢	سطح سبخة Salar de Uyuni الجاف	١٤٥
٣-٣٣	تجميع الملح في سبخة Salar de Uyuni بعد تشكله	١٤٥
٤-١	مدخل كهف Gaping Gill في Yorkshire في بريطانيا	١٥٠
٤-٢	الأخاديد ذات الجوانب الحادة	١٥٦
٤-٣	آفين مغارة كروبيرا	١٥٦
٤-٤	جوبة تحلل	١٥٧
٤-٥	جوبة انهيار	١٥٧
٤-٦	مظاهر كارستية: الجوبات والأوفالا / وادي كارديناك	١٥٨
٤-٧	بوليه دابارسكو (البوسنة والهرسنك) في فصل المطر	١٥٨
٤-٨	بوليه دابارسكو في فصل الجفاف	١٥٨
٤-٩	مجرى مائي يختفي في بالعة، كولومبيا البريطانية	١٥٩
٤-١٠	شلال بوترا جورج على ارتفاع (٢٥٥) متر / لبنان	١٦٠
٤-١١	جسر ويولنغ Wulong الطبيعي جنوبي الصين.	١٦٠
٤-١٢	الغابات الحجرية في شيلين في الصين	١٦١
٤-١٣	كهف أوردا Orda	١٦٢
٤-١٤	صواعد ونوازل وأعمدة في مغارة كارلسباد/ نيومكسيكو	١٦٥
٤-١٥	اتصال إحدى النوازل مع إحدى صواعد لتشكيل عمود كلسي.	١٦٥
٤-١٦	كهوف جاياجو Guyaju المسكونة في الصين.	١٧٢
٤-١٧	إحدى حجرات كهوف مونتيزرما المعدلة هندسيا	١٧٣
٤-١٨	اللوحات الجدارية في كهف لاسكو/ فرنسا.	١٧٣
٤-١٩	لاحظ الغواصين في أسفل كهف سون دونج.	١٧٤

٤-٢٠	كهوف باتو في ماليزيا	١٧٥
٤-٢١	جزء من كهف سراج الليل/ نيوزيلاند	١٧٧
٤-٢٢	انسداد أحد مداخل كهف Amarnath cave بالجليد/ هيمالايا	١٧٩
٤-٢٣	بئر كروبيرا في أبخازيا	١٨٠
٤-٢٤	سبعون بالعة وحفرة كارستية في طريق فونتويل/ بريطانيا	١٨٥
٤-٢٥	الحفرة الغائرة في غواتيمالا	١٨٦
٤-٢٦	حفرة إذابة في أحد شوارع كوالا لومبور (٢/ يوليو/٢٠١٤)م.	١٨٦
٤-٢٧	تظهر المنصات المقرنصة، والإضاءة المميزة.	١٩٠
٤-٢٨	أحد السلالم في مغارة جعيتا.	١٩١
٤-٢٩	القوارب في مغارة جعيتا	١٩١
٤-٣٠	أحد الممرات المسيجة في الطابق الأعلى من المغارة.	١٩٢
٥-١	جزء من فج معلولا	٢٣٠
٥-٢	مصب نهر ميندهول / الساحل الغربي لألاسكا.	٢٠٤
٥-٣	جزء من شلال نياغارا، وفي مقدمتها الكتل الصخرية.	٢٠٦
٥-٤	المنشآت السياحية والخدمية على حافة شلالات نياغارا.	٢٠٦
٥-٥	الأكواع النهرية في قطاع من مجرى الفرات	٢٠٨
٥-٦	كوع نهري في مجرى نهر الكولورادو	٢٠٩
٥-٧	نشوء دلتا نهر كويسنيل بسبب زيادة حجم الرواسب	٢١٢
٥-٨	أراض سيئة شديدة التخدد	٢١٧
٥-٩	انهيار أحد المنازل بسبب الحت الجانبي للنهر	٢١٨
٥-١٠	دلتا نهر إلوا قبل إزالة السد تماما عام (٢٠١٤)م	٢٢٢
٥-١١	دلتا نهر إلوا عام (٢٠١٥)م	٢٢٢
٥-١٢	جزيرة توتي وسط الخرطوم الكبرى	٢٢٣
٥-١٣	تثبيت الضفاف بالإكساء الحجري والنبات.	٢٢٨
٥-١٤	تحويل مجرى طبيعي إلى صنعي بالإكساء الكامل.	٢٢٨
٥-١٥	تثبيت الضفاف بالشبكات	٢٢٨
٥-١٦	جزء من نهر يانغون وما يحيط به/ ميانمار	٢٣٦

٦-١	طبقات صخرية مائلة عكس اتجاه البحر	٢٦٣
٦-٢	تجريف قنوات النقل في دلتا الميكونغ. بطريقة التجريف الآلي	٢٦٦
٦-٣	تجريف قناة نهر النيجر بطريق ضخ الرمال منها.	٢٦٦
٦-٤	التعدين المحموم وغير المنضبط في شواطئ سيراليون	٢٦٧
٦-٥	جزء من مدينة شرم الشيخ السياحية جنوبي سيناء.	٢٦٧
٦-٦	جزء من الساحل النرويجي.	٢٦٨
٦-٧	جزء من ساحل جزيرة هاواي، بين كاهولوي وهانا	٢٦٨
٦-٨	مرجان الحفرة الزرقاء في جزر Belize / غواتيمالا	٢٦٩
٦-٩	سواحل المانغروف	٢٦٩
٦-١٠	امتداد جزر أقليم الفريز لاند شمالي هولندا	٢٧١
٦-١١	حاجز جزيرة تيرشخيلينج	٢٧٢
٦-١٢	تراجع سواحل نورفولك بين عامي (١٩٩٦-٢٠١٢)	٢٧٢
٦-١٤/١٣	جزء من ساحل متنزة كارلين / كاليفورنيا	٢٧٣
٦-١٥	تراجع الشواطئ في الساحل الغربي للولايات المتحدة الأمريكية	٢٧٤
٦-١٦	مصطبة للساحل المرفوع في كاليفورنيا.	٢٧٧
٦-١٧	ثقب نيكاليل النافر للمياه، في شمال غربي جزيرة هاواي	٢٧٨
٦-١٨	مغارة الرخام/ تشيلي	٢٧٨
٦-١٩	قوس بحري.	٢٧٩
٦-٢٠	صخرة الروشة أمام ساحل بيروت	٢٧٩
٦-٢٢/٢١	مسلة على اليمين وجزيرة ماسحة مع ثقب مائي على اليسار	٢٨٠
٦-٢٥/٢٤/٢٣	أشكال اللسان الرملي (السهمي- المعقوف- المخلبيّ)	٢٨١
٦-٢٦	حاجز رملي في نهاية تشكله.	٢٨٢
٦-٢٧	تومبولو مزدوج/ أسبانيا	٢٨٢
٦-٢٨	تومبولو منفرد	٢٨٢
٦-٢٩	انزلاقات صخرية بسبب حت الأمواج لقاعدة الجدار الساحلي.	٢٨٣
٦-٣٠	شرفة منزل معلقة بسبب تراجع الجدار الساحلي	٢٨٣
٦-٣١	اقتطاع أجزاء من طريق ساحلي بفعل الحت.	٢٨٤

٦-٣٢	تراجع جزء من الشاطئ الرملي في جزيرة أنغولا	٢٨٤
٦-٣٣	التدمير الذي لحق بحزام الكثبان الرملية في جزيرة أنغويلا	٢٨٥
٦-٣٤	الجزر الاصطناعية على ساحل الإمارات العربية المتحدة	٢٨٧
٦-٣٥	المناطق المعرضة لارتفاع مستوى سطح البحر في الإمارات	٢٨٨
٦-٣٦	تومبولو رابط لجزيرة ساحلية	٢٩١
٦-٣٧	إكساء حجري لساحل جنوب لشبونة / البرتغال.	٣٠١
٦-٣٨	الكتل الأسمنتية لحماية السواحل من الحت الموجي.	٣٠١
٦-٣٩	مصدات أمواج أمام شاطئ نورفولك Norfolk في بريطانيا	٣٠٢
٦-٤٠	حجرات رواسب شاطئ ميرامار *Miramar*، الأرجنتين	٣٠٣
٦-٤١	حجرات شاطئ ميرامار	٣٠٣
٦-٤٢	دعم السواحل بطريقة الرش بالرمال/ نيجيريا	٣٠٣
٧-١	تشكل الحفر الأسطوانية بفعل الحت في تمثال أبو الهول	٣١٥
٧-٢	ظاهرة أقراص العسل	٣١٥
٧-٣	كثبان هلالية تهاجم مدينة دوحاني غولمان الأثرية شرقي إيران	٣١٧
٧-٤	كثبان رملية خطية تشرف على نواكشط عاصمة موريتانيا	٣٢٠
٧-٥	كثبان رملية تحصر بينها بحيرات في حال التساقط المطري	٣٢١
٧-٦	تعرض الطرق في منخفض الخارجة لزحف الرمال	٣٢١
٧-٧	تعرض سكك الحديد في منخفض الخارجة لزحف الرمال	٣٢١
٧-٨	عاصفة رملية على منشآت عسكرية أمريكية في العراق	٣٢٢
٧-٩	زحف الرمال على مدينة كولمانسكوب جنوبي ناميبيا	٣٢٣
٧-١٠	تمثال أبو الهول مدفوناً بالرمال حتى منكبيه عام (١٩١٠)م.	٣٢٤
٧-١١	تمثال أبو الهول حالياً.	٣٢٤
٧-١٢	رش الكثبان الرملية بالنفط لتثبيتها، شركة أرامكو السعودية	٣٢٦
٧-١٣	تأهيل المراعي في مشروع جبل بشري في بادية دير الزرو.	٣٢٨
٧-١٤	خنادق في بادية الشام، مشروع جبل البشري.	٣٢٨
٧-١٥	رفع السكة الحديدية عن مستوى سطح الأرض، خط شنغهاي	٣٢٩
٧-١٦	السيول فوق ركب وسقطات أحد أودية أثيوبيا	٣٣١

٧-١٧	مروحة فيضية في صحراء تاكلامكان، في زينغ انج	٣٣٢
٧-١٨	سيول أملج التي دمرت السدالسعودية	٣٣٣
٧-١٩	تدمير أحد الطرق في وادي وتير بسيناء مصر٢٠٠٨	٣٣٦
٧-٢٠	تجاوز الفيضانات لجسر في عدن	٣٣٦
٧-٢١	انقلاب سيارة بعبورها أحد سيول المملكة العربية السعودية	٣٣٧
٧-٢٢	سيل وادي زرود يخترق مدينة لقيروان	٣٣٧
٧-٢٣	انهيار جزء من طريق صحراوي يقطع وادي زرود	٣٣٧
٧-٢٤	انهيار جسر بفعل الحت السفلي للسيول	٣٣٩
٧-٢٥	مواقع السدود المبنية على مخارج الأودية في مدينة جدة	٣٣٩
٧-٢٦	بعض الأضرار التي نجمت عن فيضانات سيول جدة ٢٠٠٩م	٣٣٩
٧-٢٧	مفيض جدة، وعدم قدرته على تصريف مياه الأمطار.	٣٤٠
٧-٢٨	انهيار جسر في ولاية كاليفورنيا	٣٤٠
٧-٢٩	سد حصوي في سلطنة عمان(٢٠١١)	٣٤١
٧-٣٠	سد حجري معترض لأحد المجاري السيلية	٣٤٣
٧-٣١	بركة اصطناعية. الأردن	٣٤٣
٧-٣٢	بركة صنعية في النيجر	٣٤٣
٧-٣٣	خزان حصاد مياه مع مصيدة حجارة ورمال عند مدخله	٣٤٤
٧-٣٤	يبين التصميم الهندسي لإحدى الفجارات	٣٤٧
٨-١	الحافة شديدة الانحدار والجرف الخلفي لمدينة ماتشو بيتشو	٣٥٦
٨-٢	السفح الجنوبي الشرقي لجبل قاسيون	٣٥٩
٨-٣	انحناء جذوع الأشجار	٣٦٤
٨-٤	التدفقات الطينية في منطقة لا كونشيتا، كاليفورنيا	٣٦٦
٨-٦/٥	تدفقات لاهار بركان Tongariro/ شمالي نيوزيلاند	٣٦٦
٨-٧	بركان tall في البيرو. نجم عن زلزال قوي في عام (١٩٧٠)م	٣٦٧
٨-٨	مبانٍ مدمرة إثر انهيال غالتور، ٢٣/شباط/١٩٩٩م	٣٦٧
٨-٩	انزلاق طيني بالقرب من بلدة أوسو/سياتل	٣٧١
٨-١٠	انزلاق فال بولا في إقليم Sondrio الإيطالي (١٩٨٥)م	٣٧٢

٨-١١	استقرار الكتل الصخرية على منحدر الجبل الغربي/ معلولا	٣٧٩
٨-١٢	اختلاف معدلات هبوط سطح الأرض في مدينة نيو مكسيكو	٣٨١
٨-١٣	انهيار أرضي في الصين (٢٠١٤/٨/١٩)	٣٨٥
٨-١٤	تثبيت المنحدرات بالعشب	٣٨٩
٨-١٥	تعرض المنحدر المثبت للانزلاق، قبل نمو الأعشاب	٣٨٩
٨-١٦	الإكساء بطبقة أسمنتية	٣٩٠
٨-١٧	تثبيت المنحدر بطبقة حصوية	٣٩٠
٨-١٨	جدران خشبية استنادية لحجز المصاطب الزراعية	٣٩١
٨-١٩	انهيارات صخرية في جبل الهدا، الطائف (٢٠١٤)م	٣٩١
٨-٢٠	تشقق الجدار الإسمنتي وتسرب المياه منه، وادي نهر بردى	٣٩٢
٨-٢١	مصاطب الأرز في الصين	٣٩٢
٨-٢٢	جدار متدرج	٣٩٢
٨-٢٤/٢٣	مد شبكات لتغليف المنحدرات غير المستقرة	٣٩٣
٨-٢٥	الكوات والصناديق الخشبية	٣٩٣
٨-٢٦	حقن مادة الراتنج أسفل المنازل .	٣٩٤
٨-٢٧	استقرار الكتل الصخرية فوق سفح جبل معلولا المحدب	٣٩٦
٩-١	جزء من ميناء دوبو الاندونيسي	٤٠٩
٩-٢	قلعة الحصن في سورية	٤١٠
٩-٣	مدينة البندقية وقنواتها المائية	٤١٣
٩-٤	الامتداد الشريطي لمدينة جنوا الإيطالية	٤١٣
٩-٥	امتداد مدينة الرياض المربع والتقسيم الشطرنجي لأحيائها	٤١٤
٩-٦	منازل بلدة معلولا الجبلية	٤١٤
٩-٧	سيل حي الشيخ خالد بدمشق في (٣/٢٠١٥)	٤١٥
٩-٨	السيول في منى (٢٠١٥)م	٤١٥
٩-٩	قنوات الصرف في مكة المكرمة	٤١٥
٩-١٠	بلوغ مياه السيول إلى الحرم المكي	٤١٥
٩-١١	فيضان نهر تيبر على أحياء روما	٤١٧

٩-١٢	فيضانات في إحدى مدن باكستان التاريخية	٤١٧
٩-١٣	سيول جبال المدينة المنورة تهدد طرقاتها	٤١٩
٩-١٤	أحد كهوف جبل المقطم	٤٢١
٩-١٥	دلتا نهر بيرل (اللؤلؤ) جنوبي الصين	٤٢١
٩-١٦	تشقق وانزلاق ضفاف نهر الغانج	٤٢٢
٩-١٧	زحف الرمال على مدرسة في بلدة أولاد سعيد/ الجزائر	٤٢٢
٩-١٨	بلدة كويتاوظهيرها الجبلي	٤٢٥
٩-١٩	الجانب الشرقي من مدينة كويتا	٤٢٥
٩-٢٠	بلدة كوفيلها البرتغالية، ونمط توزع أحيائها	٤٢٦
٩-٢١	بلدة ساجار وهي تحيط ببحيرة ليخا بانجارا	٤٢٨
٩-٢٢	المنحدرات الخطرة / مكة (١١/ ٢٠١٤)م	٤٣٠
٩-٢٣	بناء سليم جيومورفولوجيا بين وادي جورا وهراين/ السعودية	٤٣٣
٩-٢٤	إكساء حجري كامل للمجرى النهري	٤٣٣
٩-٢٥	قناة صرف مياه فيضان مع حولة من مخلفات الصناعية	٤٣٤
٩-٢٦	جزء من مشروع عملاق لحماية مدينة جدة من السيول	٤٣٥
٩-٢٧	بلدة جبعدين وموقعها الآمن جيومورفياً	٤٣٥
٩-٢٨	جانب من بلدة معلولا فوق حدور غير المستقر	٤٣٥
٩-٢٩	تقويض سفوح الهضبة بتراجعها من جهة الشرق	٤٣٧
٩-٣٠	انهيار جرف نزلة السمان	٤٣٧
١٠-١	انهيار سد سانت فرانسيس، عام (١٩٢٨)م	٤٤٣
١٠-٢	سد نوريك	٤٤٤
١٠-٣	سد غيثرايت القوسي في ولاية فرجينيا، مبني من الحجارة	٤٤٤
١٠-٤	انهيار سد Vajont (١٩٦٣)م	٤٥٣
١٠-٥	موقع الانزلاق الأرضي في جبال توك Toc عام (٢٠٠٥)م	٤٥٣
١٠-٦	الجزر قبل سد نهر سسكويهانا / الولايات المتحدة الأمريكية.	٤٥٩
١٠-٧	أحد سدود كاليفورنيا وهو بحالة الامتلاء	٤٥٩
١٠-٨	ذات السد خلال فترة الشح والجفاف لعام (٢٠١٤م).	٤٦٠

١٠-٩	شلالات ميدان أكبس نهر عفرين/ سورية، (١٩٩٥)م	٤٦٠
١٠-١٠	بحيرة ميدانكي	٤٦٠
١٠-١٢/١١	رافدان تعرض الأسفل منهما لتأثيرات بناء السد	٤٦٩
١٠-١٣	سد جوري في فنزويلا، يلاحظ قوة خروج المياه من بوابته.	٤٧٢
١٠-١٤	انهيار جزء من طريق في مناطق نهرية نشطة /سويسرا.	٤٧٦
١٠-١٥	تعرض جزء من طريق جبلي لخطر تراجع المسيلات النهرية	٤٧٧
١٠-١٦	تعرض الكسوة الحجرية للانهيارات بالحت النهري الجانبي	٤٧٧
١٠-١٧	رواسب السيول تقطع طريق البيضاء – يلملم، محافظة مكة	٤٧٨
١٠-١٨	تدمير جزء من طريق الدایر في منطقة جازان/ السعودية	٤٧٨
١٠-١٩	تآكل طريق منخفضة في بحر الشمال بفعل الحت	٤٧٨
١٠-٢٠	انهيار طريق ساحلي بسبب حت الأمواج/ نيوزيلاندا	٤٧٩
١٠-٢١	انهيار طريق بفعل حت الأمواج	٤٧٩
١٠-٢٢	كثيب رملي هلالي يقطع طريقاً صحراوياً/ السعودية	٤٨٠
١٠-٢٣	سيول تبوك تقطع الطرقات	٤٨٠
١٠-٢٤	طريق بين ساليرون و سورينتو في إيطاليا	٤٨١
١٠-٢٥	ممر روتانغ / الهند	٤٨١
١٠-٢٦	ممر زوجي Zojie في الهند	٤٨١
١٠-٢٧	طريق حلزوني في تل القلعة شهبا/ سورية	٤٨١
١٠-٢٨	السيول شرقي مكة وخطرها على الطريق السريع	٤٨٢
١٠-٢٩	انهيار جبل الهدى على الطريق بين مكة والطائف	٤٨٢
١٠-٣٠	انهيار كتل صخرية من طبقات تميل نحو طريق/ السعودية	٤٨٢
١٠-٣١	انهيال أسقف مغاور أسفل طريق في استراليا	٤٨٣
١٠-٣٢	طريق ملتوي مدعم بجدر حجرية في جبال الصين	٤٨٥
١٠-٣٣	طريق محمي بالشبكات والهياكل المعدنية	٤٨٥
١٠-٣٤	فتحة –عبّارة– لإمرار مياه السيول.	٤٨٦
١٠-٣٥	طريق صحراء تاريم المحاط بأسيجة نباتية	٤٨٦
١٠-٣٦	نفق في أحد الطرق الجبلية/ إيطاليا	٤٨٧

١٠-٣٧	إكساء ضفاف أكواع نهر وايت ووتر /جنوب شرقي مينسوتا	٤٨٧
١٠-٣٨	تثبيت منحدرات ارتكاز الجسور بالإكساء الحجري.	٤٩٠
١٠-٣٩	تثبيت منحدرات ارتكاز الجسور بالتعشيب	٤٩٠
١٠-٤٠	تقويض قواعد الجسور بالحت النهري.	٤٩١

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أهم المصطلحات العلمية التي وردت في الكتاب	
A	
Barchan الكثبان الهلالية (البارخان)	Bars الحواجز
Active Volcano بركان نشط	Alluvial Fans المراوح الفيضية
Alluvial terraces المصاطب اللحقية	angle of repose زاوية الاستقرار
Apex Fans رأس المروحة	Applied Geomorphology الجيومورفولوجيا التطبيقية
Arches أقواس بحرية	Ash Volcanoes براكين الرماد
Avalanches الانهيالات الثلجية	Aven البئر الطبيعي
B	
Bays الخلجان	Beaches الشواطئ
Blowhole الثقوب النافرة	Bridges Karst الجسور الكارستية
C	
Caldera الكالديرا	Capillary Condensation الخاصة الشعرية
Carven مغارة	Catastrophe الكوارث
Catchment منطقة تجمع الماء	Caver كهف
centric Volcano بركان مركزي	Chamber of Magma حجرة الصهارة
Cinder cones مخاريط الجمر	Cinders الجمرات
Coast ساحل	Collapse الانهيالات
Caldera الكالديرا	Capillary Condensation الخاصة الشعرية
Carven مغارة	Catastrophe الكوارث
Catchment منطقة تجمع الماء	Caver كهف
Centric Volcano بركان مركزي	Chamber of Magma حجرة الصهارة
Cinder cones مخاريط الجمر	Cinders الجمرات
Coast ساحل	Collapse الانهيالات
Compressional waves أمواج متضاغطة	Cone karst مخاريط كارسية
Constructive boundary حد بانٍ	Continental drift الفالق القاري
Convergent boundary حد المتقاربة	Coral reefs سواحل المرجان
Crater فوهة بركانية	Creep of earth زحف التربة
crumbs تفتت	
D	
Dams السدود	debris flow تدفق الحطام

الصخري	
Deflation التذرية الريحية	Decline of slope تخفيض المنحدر
Divergent boundary حد متباين	Delta الدلتا
Disaster Management إدارة الكارثة	Desert varnish دهان صحراوي
Downstream erosion حت المجاري الدنيا	Dormant Volcano بركان هادئ
Drainage basins حوض تصريف مائي	Doline الجوبة
Dunes كثبان	Drainage density كثافة التصريف المائي
Dyke الحاجز أو لسد البازلتي	
E	
Elongating dunes الكثبان الطولية	Ecological Geomorphology الجيومورفولوجيا الحيوية
Environmental Management الإدارة البيئية	Engineering Geomorphology الجيومورفولوجيا الهندسية
erosive roller حت دوامي	Epicenter مركز الزلزال السطحي
Extinct Volcano بركان خامد	Exfoliation التقشر البصلي
F	
Flash flood الفيضانات الخاطفة	Faulting الصدوع
Flood الفيضانات	Flats المسطحات الأرضية
Folding الطي والالتواء	Fluvial الفيضي
Fumaroles النافورات الغازية	Frequency of stream تكرارية المجاري المائية
	Fume clouds السحب الدخانية
G	
Geomorphologic Processes العمليات الجيومورفولوجية	Geomorphic Units الوحدات الجيومورفية
Geyser نافورة الماء الساخن	Geomorphology علم أشكال تضاريس سطح الأرض
	Grabens أغوار
H	
Hazards المخاطر	Hard Engineering الهندسة القاسية (الصلبة)
Headland الرأس البحري	Head ward Erosion الحت الصاعد
Horsts نجود	Honeycomb قرص العسل
	Hot spots بقعة (نقطة) ساخنة

I	
Infiltration Capacity الطاقة التسريبية (التشربية)	Incandescent vents الفوهات المتوهجة
	Insolation weathering التجوية بالأشعة
K	
Kinetic energy الطاقة الحركية	Karst الكارست
L	
Land pattern model نموذج أشكال الأر ض	Lahar تدفق طيني بركاني
Landslides الانز لاقات الأرضية	Landscape المظهر الأرضي
lateral Erosion الحت الجانبي	Lapies الخدوش
Lava المهل (اللابة)	Lava lakes بحيرات المهل
Limestone Pavement رصيف الحجر الكلسي	leakage ارتشاح الماء
Liner flow الجريان الخطي	Linear Dunes الكثبان الخطية
Loos الأغشية الغبارية	Longitudinal Waves أمواج طولية
	Lost Rivers الأنهار المفقود
M	
Management of Hazards إدارة الكوارث	Magma الصهارة
Meandering streams مجاري منعطفة	Marian Terraces المصاطب البحرية
Morphogenesis دراسة نشأة التضاريس	Mid-Atlantic Ridges حواف (تلال) وسط المحيط
mountain fronts الواجهات الجبلية	Morphometery قياس التضاريس
	Mud pools برك الطين
N	
	nuées ardente السحب المتوهجة
P	
Permeability نفاذية الصخر	Pediplain شبه السهل
plunging flow تدفق غاطس	Phenomena Hydrothermal ظاهرة حرارية- مائية
Porosity مسامية الصخر	Pools البرك
R	
Regolith غطاء التجوية	Regional geomorphology الجيومورفولوجيا الإقليمية
River Capture الأسر النهري	Residual hill التلال المتخلفة

Rolling دحرجة	
S	
Salinization التملح	Sand Drift التدفق الرملي
Sand sheets الأغشية الرملية	Scoria Volcanoes براكين السكوريا
Sea currents التيارات البحرية	Seismology علم الزالازل
Self- organization التنظيم الذاتي	Sheet flow الجريان الغطائي (المنبث)
Sills النضد البازلتية	Siltation قفز الرمال
Slip face وجه الانزلاق	Slopes المنحدرات (السفوح)
Soft engineering الهندسة المرنة	Solfataras نافورات الكبريت
Spits حبل رملي	Splinters تشظي
Stacks رواشن	Stalactites النوازل
Stalagmites الصواعد	Stars dunes الكثبان النجمية
Startavolcanoes Volcanoبركان طبقي	Stone- forest الغابات الحجرية
Straight streams مجاري مستقيمة	Stream order رتبة المجرى
Streams braided المجاري المانية المفاجئة (الخاطفة)	Subsidence الهبوط
Surface Waves أمواج سطحية	Suspension تعلق الرمال
T	
Tectonic landforms أشكال الأرض البنائية	Tectonic Plate صفيحة (لوح) بنائية
Tectonic processes العمليات البنائية	Tefra المواد البركانية الصلبة المفتتة
tensile stresses قوى الشد	Thermal energy طاقة حرارية
Tides المد والجزر	Tiling الإمالة
Tombolo حبال رابطة	Transform boundary حد الانتقال
Transported load الحمولة المنقولة	Transversal Waves أمواج انتقالية
Transverse dunes الكثبان العرضية	Tsunami أمواج سونامي
Tubes lava أنابيب اللابة	
U	
Uplift النهوض	Upstream aggradation الارساب في المجاري العليا
Uvala الأوفالا	
V	
Vent فوهة بركانية	Vertical Erosion الحت الرأسي

Volcanic Broccia بريشا بركانية	Visual information store مخزن معلومات مرئية
Volcanic Bombs قنابل بركانية	Volcanic Ashes رماد بركاني
Volcanic Necks المسلة البركانية	Volcanic Dust غبار بركاني
W	
Wave-cut platform العتبة الحتية	Water harvesting حصاد المياه
Weathering التجوية	Waves الأمواج
	Windward face وجه مقتبل الريح
Y	
	Yardange اليارادانغ

Damascus University

المراجع:

١. إبراهيم عبيدو، (١٩٨٢): الجيولوجيا الهندسية والخرائط الجيولوجية، ط٦، منشأة المعارف، الإسكندرية.

٢. أحمد صالح (١٩٨٩): الأخطار الطبيعية على القطاع الشرقي من طريق نويبع –النفق الدولية، دراسة جيومورفولوجية، المجلة الجغرافية العربية،العدد21 القاهرة.

٣. أحمد صالح سالم (١٩٨١)م: الخصائص الجيمورفية لنهر السهل الفيضي، مع دراسة عن النيل في مصر الوسطى، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٣٢.

٤. أحمد صالح سالم (١٩٩٩): السيول في الصحاري، نظرياً وعملياً، دار الكتاب الحديث، القاهرة.

٥. إدريس علي سلمان الودعاني، (٢٠١٤): مخاطر السيول فى منطقة جازان جنوب غربي المملكة العربية السعودية(منظور جيومورفولوجي)، مجلة جامعة جازان – فرع العلوم الإنسانية المجلد٣ العدد١صفر ١٤٣٥هـ.

٦. أكرم العكام ، إيناس العاني (٢٠٠٩): أثر الأنطقة الأيكولوجية في التخطيط والتصميم الحضري لمدن العراق، مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية المجلد الخامس والعشرون – العدد الأول، دمشق.

٧. ب و. سباركس (١٩٦٠): الجيومورفولوجيا، ترجمة ليلى عثمان، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.

٨. بهجت إبراهيم (٢٠١٢): دراسة تغيرات طاقة الأمواج البحرية في منطقة المنارة– طرطوس (سورية)، أبحاث اليرموك، سلسلة العلوم الأساسية والهندسية، المجلد ٢١/ العدد١.

٩. جمال الدين الديناصوري، (١٩٧١): الجغرافيا التطبيقية، طرق التطبيق وإنجازاته، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.

١٠.جمال حمدان (١٩٦٧): شخصية مصر، دراسة في عبقرية المكان، مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب، طباعة (٢٠٠١)م مكتبة الأسرة، مهرجان القراء للجميع، ص ٤٠.

١١.جودة التركماني، (٢٠٠٥): الجغرافيا التطبيقية، أسس ومجالات وتطبيقات، القاهرة.

١٢. جودة حسنين جودة (٢٠٠٣): الجيومورفولوجيا، علم أشكال سطح الأرض، مع تطبيق بأبحاث في جيومورفولوجيا العالم العربي، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

١٣. جودة، حسنين جودة ، وآخرون (١٩٩١) : وسائل التحليل الجيومورفولوجي، ط١، منشورات جامعة عين شمس، القاهرة.

١٤.جودي. أ. س، ولكنسون. ج (١٩٨٠): بيئة الصحاري الدافئة، ترجمة علي البنا، وحدة البحث والترجمة، قسم الجغرافيا بجامعة الكويت، الجمعية الجغرافية الكويتية، ط١، الكويت.

١٥.حسن سيد أبو العينين (١٩٩٥): أصول الجيومورفولوجيا، دراسة الأشكال التضاريسية لسطح الأرض، ط١١، مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية.

١٦.حسين عيدان محمد (٢٠١٠): الكثبان الرملية، رئاسة مجلس الوزراء، الهيئة العامة لإدارة وتنمية البادية، دمشق.

١٧.خلف حسين الدليمي (٢٠٠١): الجيومورفولوجيا التطبيقية، ط١، الأهلية للنشر والتوزيع، عمان، الأردن.

١٨.خلف حسين الدليمي (٢٠٠٩): الكوارث الطبيعية والحد من آثارها، ط١، دار صفاء، عمان.

١٩.سرفللي . ب(٢٠٠٤): تهديدات الزلازل الصامتة، مجلة العلوم الأمريكية، المجلد ٢٠- العدد ٢.

٢٠.سميح عودة، (١٩٩٨): تطور الحت النهري الناجم عن الفعاليات البشرية قرب مصبات أودية الساحل الشرقي للبحر الميت، مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية، الجلد (١٤)، العدد الأول، دمشق.

٢١.سمير سامي محمود، (١٩٩٧): هضبة الأهرام، أشكالها الأرضية ومشكلاتها، الجمعية الجغرافية المصرية، سلسلة البحوث الجغرافية / العدد الثاني/ القاهرة.

٢٢.سميرة الحصري (١٩٩٨): الجيولوجيا الفيزيائية، ط٢، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

٢٣.شاهر جمال آغا (٢٠٠٤): المرجع في هيدرولوجية البحر المتوسط (الكتلة المائية)، منشورات جامعة دمشق، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، دمشق.

٢٤.صابر أمين الدسوقي (١٩٩٨): بعض أساليب مواجهة أخطار السيول في مصر والاستفادة من مياهها في التنمية– المؤتمر السنوي الثالث لإدارة الأزمات والكوارث –أكتوبر.
٢٥.صابر أمين دسوقي (٢٠٠٤): دراسات في جيومورفولوجية الأراضي المصرية، الجزء الأول، منشأة المعارف، الإسكندرية.
٢٦.صيام، نعمان (١٩٧٤): الخرائط السورية – نشأتها وتطورها، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، القاهرة.
٢٧.طه محمد جاد (١٩٨٤): تحليل الخريطة الكنتورية باهتمام جمرفلوجي، ط٢، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
٢٨.الطيب بومعزة، هشام لسكع، (٢٠٠٩): دور نظم المعلومات الجغرافية في دراسة و تتبع تطور السواحل البحرية حالة الساحل المتوسطي الشرقي بالمغرب، جامعة الحسن الثاني المحمدية –الدار البيضاء مختبر الجيومتيك و الاستشعار البعدي و الكارطوغرافيا، ص ص ٢-١٥.
٢٩.عادل عبد السلام (٢٠٠٠): أشكال الأرض، علم أشكال الأرض، ط٤، منشورات جامعة دمشق، دمشق.
٣٠.عبد الحفيظ محمد سعيد سقا (٢٠٠٢): خصائص استدارة وتكور حبيبات الرمل في المنطقة الغربية بالمملكة العربية السعودية، دراسة جيومورفولوجية لبعض الأشكال الترسيبية، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جامعية ٢٦٠، الكويت، ص٣.
٣١.عبد الحميد أحمد كليو (٢٠٠٠): الكدوات في منخفض الواحات البحرية، دراسة جيومورفولوجية، الجمعية الجغرافية الكويتية، رسائل جامعية ٢٤٠، الكويت.
٣٢.عبد الحميد كليو (١٩٨٥): الإنسان كعامل جيمورفولوجي، دوره في العمليات الجيمورفولوجية النهرية، الجمعية الجغرافية الكويتية، العدد ٨٠، الكويت.
٣٣.عبد العزيز عبد القادر حسين(١٩٩٩): معجم المصطلحات الجيولوجية، مركز النشر العلمي، جامعة المليك عبد العزيز، جدة.

٣٤.عبد الملك بن عبد الرحمن آل الشيخ، (٢٠٠٦)م: حصاد مياه الأمطار والسيول وأهميته للموارد المائية في المملكة العربية السعودية، كلية علوم الأغذية والزراعة – جامعة الملك سعود – الرياض – السعودية، المؤتمر الدولي الثاني للموارد المائية والبيئة الجافة.

٣٥.عصام وداعة الله، ومحمد يونس، وهشام جلال، (٢٠١٢): التغير في استخدامات الأرض الحضرية وأثره على فيضان نهر القاش بمدينة كسلا، مجلة جامعة كسلا، العدد الأول، أبريل.

٣٦.علي عنانزة، (٢٠٠٦):محاضرات في مقرر الجيومورفولوجيا، جامعة البحرين – كلية الآداب، شعبة الجغرافيا التطبيقية ونظم المعلومات الجغرافية.

٣٧.علي غليس ناهي السعيدي (٢٠٠٩): المفهوم والمنظومة الجغرافية لظاهرة التصحر، مجلة ميسان للدراسات الأكاديمية المجلد الثامن العدد الخامس عشر كانون الأول، ١٦٦-١٨٨. ISSN – 1994 – 697X misanjournal@yahoo.com .

٣٨.علي كريم محمد (٢٠١٠): دراسة التصحر والكثبان الرملية في جنوب سهل الرافدين باستعمال التحسس النائي ونظم المعلومات الجغرافية، مجلة جامعة بابل العلوم الإنسانية/ المجلد ١٨/ العدد٣.

٣٩.علي موسى (٢٠١٦): مشكلات الطبيعة الراهنة، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

٤٠.عماد الدين الموصلي (١٩٨٨): أشكال الأرض العامة، الجيومورفولوجيا العامة، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

٤١.عمر الحكيم (١٩٦٥): تمهيد في علم الجغرافيا، التضاريس، مطبعة الإنشاءات بدمشق، دمشق.

٤٢.غزوان سلوم، (٢٠١١): مخاطر أشكال سطح الأرض في بلدة معلولا،مجلة جامعة دمشق، المجلد– 27 العدد الثالث +الرابع.

٤٣.فؤاد العجل (٢٠١٥): علم المغاور، الموسوعة العربية، المجلد التاسع عشر، ص ١٤٣، دمشق. http://www.arab-ency.com/ar.

٤٤.فاتنة الشعال، أمين طربوش (٢٠١٥): مبادئ الجيولوجيا (الجيولوجيا الحركية)، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

٤٥.كونزاليس .F. I (١٩٩٩): تسونامي، مجلة العلوم الأمريكية، المجلد ١٥- العددان ٨-٩.

٤٦.محمد أحمد حسن هيكل، عبد الجليل عبد الحميد هويدي (٢٠٠٨): أساسيات الجيولوجيا الفيزيائية،مكتبة الدار العربية للكتاب، القاهرة.

٤٧.محمد صبري محسوب(١٩٩٠): ظاهرة الهبوط السطحي للأرض :أسبابها البشرية وآثارها الجغرافية، المجلة الجغرافية العربية، العدد٢٢، القاهرة.

٤٨.محمد صبري محسوب، محمد إبراهيم أرباب (١٩٩٨): الأخطار والكوارث الطبيعية، الحدث والمواجهة، معالجة جغرافية، دار الفكر العربي، القاهرة.

٤٩.محمد صبري محسوب(١٩٩٨): جغرافية مصر الطبيعية، الجوانب الجيومورفولوجية، دار الفكر العربي، القاهرة.

٥٠.محمد صبري محسوب (٢٠٠١): جيومورفولوجية الأشكال الأرضية، دار الفكر العربي، القاهرة.

٥١.محمد صبري محسوب(٢٠٠١):الأطلس الجيومورفولوجي، معالجة تحليلية للشكل والعملية، ط١ ، دار الفكر العربي،القاهرة.

٥٢.محمد صبري محسوب (٢٠٠٤): الأراضي الجافة، خصائصها الطبيعية ومشكلاتها البيئية، مكتبة الإسراء، القاهرة.

٥٣.محمد عبد الغني مشرف (١٩٩٧): أسس علم الرسوبيات، ط٢، جامعة الملك سعود، النشر للطباعة، الرياض، ص ص ٤٠-٤٥.

٥٤.محمد فائد حاج حسن (١٩٩٤): محاضرات غير منشورة في الجيومورفولوجيا التطبيقية والميدانية، قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة دمشق.

٥٥.محمد فائد حاج حسن (١٩٩٦): أسس الجيومورفولوجيا المناخية، منشورات جامعة دمشق، دمشق.

٥٦.محمد محمود إبراهيم الديب (٢٠٠٢): الجغرافيا السياسية، منظور معاصر، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.

٥٧.مريم عيسى (٢٠١٥): العلاقة بين الجريان النهري والهطل في حوض العاصي، مجلة جامعة دمشق– المجلد – 31 العدد الثالث، دمشق.

٥٨.ن لافرامبواز و س.أسيفيدو (٢٠١٤): الإنسان في مواجهة الطبيعة الأم، صندوق النقد الدولي.

٥٩. نعمان صيام (١٩٧٤): الخرائط السورية – نشأتها وتطورها، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، القاهرة.

٦٠.هيثم ناعس(١٩٩٧): أثر العوامل الطبيعية في الطرق ووسائط النقل بالسيارات بين قرية جديدة الوادي ومركز التكية في منطقة وادي بردى، مجلة جامعة دمشق للآداب والعلوم الإنسانية التربوية،المجلد 13 ،العدد4 ،دمشق.

٦١.يحيى محمد شيخ أبو الخير : (١٩٨٤): زحف الرمال بمنطقة الإحساء، وحدة البحث العلمي، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الكويت.

الرسائل الجامعية

١- أشرف أبو الفتوح حسن، (٢٠٠٢): الكثبان الرملية المتاخمة للسهل الفيضي فيم بين جنوب وادي الريان وديروط في الصحراء الغربية، مصر ، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة عين شمس، القاهرة.

٢- محمود خضر(١٩٩٧): الأخطار الجيومورفولوجية الرئيسة في مصر مع التركيز على السيول في بعض مناطق وادي النيل، رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافية، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، جامعة عين شمس،القاهرة.

المراجع الأجنبية:

1. Abrahams. A.D & Parsons .A.J ;(1994): Geomorphology of desert Environments, Chapman & Hali, London. 321-380.
2. Ahmadi. A, khosravi. S . moarefy .A, mikaeili. P, rashidbeigi. E; (2013): An assessment of the Role of Geomorphologic knowledge in urban planning and sustainable development (Case Study: Qom city), World of Sciences Journal; [03] ISSN 2307-3071. www.engineerspress.com.
3. AL Farsi.KH .KH ;(2011): Salinity intrusion: Periodical monitoring results in the Sultanate of Oman. Ministry of Regional Municipalities and Water Resources, P.O. Box 2575 Ruwi, P C 112 Ruwi, Sultanate of Oman, in Thomas. R.P; (ed): Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC 2010), Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. FAO.
4. AL Solami . A & AL Barakati .G & SHabbir A. S. S & AL Bahloul .S & AL Tunsi. B ;(2006): Engineering geological mapping of the holy city of Makkah Al Mukarramah, Saudi Arabia, IAEG Paper number 552 © The Geological Society of London.
5. Al-Amoush. H; (2010): Integration of Vertical Electrical Sounding and Aeromagnetic Data Using GIS Techniques to Assess the Potential of Unsaturated Zone and Natural Basalt Caves for Groundwater Artificial Recharge in NE-Jordan, Jordan Journal of Civil Engineering, Volume 4, No. 4, Al-al-Bayt University, Jordan.
6. Alan Pickaver, Rob Steijn, Maria Ferreira, Patrycja Czerniak and Erik Devilee; (2010): integrated coastal Zone Management participation practices in Europe European Union, Luxembourg.
7. Alexander .D; (2009): Natural Hazards. Encyclopedia of Life Support. Geography. Vol.1. Cranfield University. U K.
8. Amirahmadi. A , Aliabadi .K , Biongh. M; (2014) :Evaluation of Changes In Sand Dunes In Southwest Of Sabzevar By Satellite Images, international Journal of scientific &technology research Vol 3, ISSUE 10, October ISSN 2277-8616– 120 .IJSTR.
9. Anders NS, Seijmonsbergen AC, Bouten W. 2011. Segmentation optimization and stratied object based analysis for

semi-automated Geomorphological mapping Remote Sensing of Environment.

10. Anders NS, Seijmonsbergen AC, Bouten W. 2011. Segmentation optimization and stratied object based analysis for semi-automated Geomorphological mapping Remote Sensing of Environment.

11. Anthony H. Cooper, Andrew R. Farrant and Simon J. Price ;(2011): The use of karst geomorphology for planning, hazard avoidance and development in Great Britain. British Geological Survey, Nottingham, NG12 5GG. ahc@bgs.ac.uk.

12. Aroua .N & Berezowska-Azzag. E; (2011): Urban Vulnerability and Resiliency Variability over Water related RISKS in Algiers. A Case Study from AL-HARRASH Municipality, 5th International Conference on Flood Management (ICFM5), 27-29 September, Tokyo-Japan.

13. Arzani . N; (2010): Water Harvesting and Urban Centers in Dry land Alluvial Megafans: Environmental Issues and Examples from Central Iran. International Journal of Environmental Science and Development, Vol.1, No.5, December, ISSN: 0264.

14. Avenue , S.V ;(2011): Geomorphic Assessment of the Santa Clara River Watershed, Synthesis of the Lower and Upper Watershed Studies Ventura and Los Angeles Counties, California, Los Angeles County Department of Public Works, Los Angeles, CA 90017.

15. Badescu. V, Cathcart. R.B , Bolonkin. A.A; (2008): Sand Dune Fixation; A Solar-Powred Sahara Sea water, Land Degrad. Develop, Published online in Wiley Inter Science (www.interscience.wiley.com) DOI: 10.1002/ldr.864.

16. Bakhshipouri .Z & Omar. H & Yousof. Z.B.M & Ghiasi. V; (2009):An Overview of Subsurface Karst Features Associated with Geological Studies in Malaysia, University Putra Malaysia 43400 Serdang, Selangor, Malaysia. EJGE. Vol. 14, Bund.

17. Bangqi Hu , Zuosheng Yang, Houjie Wang, Xiaoxia Sun, Naishuang Bi, and Guogang Li;(2009): Sedimentation in the Three Gorges Dam and the future trend of Changjiang (Yangtze River) sediment flux to the sea, Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 2253–2264, www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/2253/© Author(s) 2009. This work is distributed under the Creative Commons Attribution 3.0 License.

18. Bardintzeff. J. M , Mc Birney. A ;(2000) : Volcanology, 2ed, Jon and Bartlett publishers, Boston.
19. Barsch D. Liedtk H. 1980. Principles, scientific value and practical applicability of the Geomorphological map of the Federal Republic of Germany at the scale of 1/25000 and 1/100000.
20. Barsch D. Liedtk H; (1980): Principles, scientific value and practical applicability of the Geomorphological map of the Federal Republic of Germany at the scale of 1/25000 and 1/100000.
21. Blaschek T. 2010. Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing.
22. Blaschek T; (2010): Object based image analysis for remote sensing. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote Sensing.
23. Bledsoe .B .P; (n d):framework for Risk -Based Assessment of Stream Response to urbanization, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1320, USA, E. mail: bbledsoe@engr.colostate.edu.
24. Bledsoe. B.P; (2006): framework for Risk-Based assessment of Stream response to urbanization, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523-1320, USA, E.mail: bbledsoe@engr.colostate.edu.
25. Bolt, B.M & Horn ,W .L & Macdonald ,G.A & Scott, R .F ;(1975):Geological Hazards, Springer- Verlag, New York.
26. Brandt. S .A;(2000): Classification of geomorphological effects downstream of dams, Catena 40 . 375–401, Institute of Geography, University of Copenhagen, Ø ster Voldgade 10, DK-1350 Copenhagen, Denmark Received 18 May 1998; received in revised form 3 January; accepted 6 March. www.elsevier.comrlocatercatena.
27. Bravard. J. P & Landon .N & Peiry, .J.L & Pie´gay. H;(1999): Principles of engineering geomorphology for managing channel erosion and bed load transport, examples from French rivers, Received 12 March 1997; received in revised form 3 May 1997; accepted 16 May 1997, Elsevier Science.
28. Brinkmann. R & Parise. M ; (2012): Karst Environment: problems, Management, Human impacts, and Sustainability an introduction to the special issue ,Journal of Cave and Karst Studies, August 2012 N 135, Washington.

29. Bruno. G.C & Others; (2011):A vision for managing natural disaster risk, World Economic Forum USA. www.weforum.org.
30. Burbank. D. W , Anderson. R.S ;(2001): Tectonic Geomorphology, Commerce Place, Massachusetts.
31. Burton, I.R & Kates, W & White, G.F ; (1978): The Environments as Hazard. Oxford University Press, New York.
32. Caan. G.M & Peterson. M .L & Seligman .D; (2008) :World's major rivers An introduction to international water law with case studies, Colorado River Commission of Nevada, 555 E. Washington Avenue, Suite 3100, Las Vegas, Nevada.
33. Cardell. C, Benavente. D , Rodríguez- Gordillo. J; (2008): Weathering of limestone building material by mixed sulfate solutions. Characterization of stone microstructure, reaction products and decay forms, A Department of Mineralogy and Petrology, Faculty of Science, University of Granada, Avd. Fuentenueva s/n, 18002 Granada, Spain.
34. Caribbean Environment Programme :(1998): manual for Sand Dun management in the wider Caribbean, United Nations Environment Programme, UNEP. Natural Resource Management Unit of the Organization of the Eastern Caribbean States. University of Puerto Rico.
35. Carvalho .R.J .A , Gomes. L.M.F, Cavaleiro. V.M.P; (N. D) : Assessing geological hazards for planning the urban expansion of the town of Covilhã (Portugal). New University of Lisbon.
36. Cat. N. N & Tien. Ph .H & Sam .D.D ; (2005): Status of Coastal erosion of Vietnam and Proposed Measures for protection, http://www.fao.org/forestry/pdf
37. Ceryan. S ;(2012): Weathering Indices for Assessment of Weathering Effect and Classification of Weathered Rocks: A Case Study from NE Turkey, Geology Engineering Department ,Balikesir University, Balikesir. www.intechopen.com.
38. Chan .K. Sh & Mitchell .G & Adekola .O & Mc Donald .A;(2012): Flood Risk in Asia's Urban Mega-deltas: Drivers, Impacts and Response, National Institute of Urban Affairs (NIUA) SAGE Publications, Los Angeles, London, Environment and Urbanization ASIA, 3, 1.pp 41–61.
39. Cleaver. K & Mordasini .M; (2013):Water Harvesting Guidelines to Good Practice, International Fund for Agricultural

Development (IFAD), ISBN 978-3-905835-35-9, Geographica Bernensia, Bern.
40. Colwell RN. 1983. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. Washington.
41. Colwell RN. 1983. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry. Washington.
42. Cooke RU. Doornkamp J.C ;(1990): Geomorphology of environmental management , A New introduction. Clarendon Press: Oxford.
43. Cooke RU. Doornkamp JC. 1990 Geomorphology of environmental management , A New introduction. Clarendon Press: Oxford.
44. Cooke, R.U & Bunsden, D & Doornkamp, J & Jones, P ;(1985): Urban Geomorphology, in Dry land, London.
45. Cooke, R.U & Warn, A & Goudie, A; (1993): Desert Geomorphology. London.
46. Cooper, A.H., Gutiérrez, F., (2013): Dealing with gypsum karst problems: hazards, environmental issues, and planning. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), Treatise on Geomorphology. Academic Press, San Diego, CA, vol. 6, Karst Geomorphology.
47. Cordingley, S. P. and Petherick, C. E., 2006, Vegetation Management Plan Tennyson Dune Reserve, Urban Forest Biodiversity Program, Adelaide.
48. Crooks. S; (2004): The effect of sea-level rise on coastal geomorphology, School of Environmental Sciences, University of East, Ibis , (Suppl.1), 18–20.Anglia, Norwich NR4 7TJ, UK
49. Curran. J.H & Mc Teague. M. L ; (2011): Geomorphology and Bank Erosion of the Matanuska River, South-central Alaska, Alaska Scientific Investigations Report–5214. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
50. Dean. R.G & Dalrymple. R. A; (2002): Coastal Processes with Engineering Application, Cambridge University PRESS, Cambridge.
51. DeDecker. J : (2015); Evaluation of Lava tube formation mechanisms using three-dimensional mapping and viscosity modeling. 2nd International Planetary Caves Conference. Colorado School of Mines, Department of Geology . and Geological

Engineering, 1516 Illinois Street, Golden, Colorado 80401, email:jdedecke@mymail.mines.edu.
52. Demek . 1982. Guide to Medium scale Geomorphological mapping. Stuttgart.
53. Demek .J; (1982): Guide to Medium scale Geomorphological mapping. Stuttgart.
54. Demek, J & Embleton, C ;(1978): Guide to Medium- Scale (Geomorphology Mappung), E schweizerbart Sche Veriagsbuchhandlung, Stuttgart.
55. Disaster Management Center ; (1986): Natural Hazards: Causes and Effects Study Guide and Course Text. University of Wisconsin – Madison.
56. Doehne. E ;(2002): Salt Weathering, A Selective Review, Geological Society Special Publication, Natural Stone, Weathering Phenomena, Conservation Strategies and Case Studies. Vol 205.
57. Downs. P.W & Booth. D.P; (2011): Geomorphology in Environmental Management. 5621-Gregory-Chap05.indd 81.
58. Downsand .P .W & Booth. D. B ; (2011): Geomorphology in Environmental Management. 5621-Gregory-Chap05. Indd .
59. Dramis F, Guida D, Cestan A. 2011. Nature and Aims 0f Geomorphological Mapping, In Geomorphological Mapping Methods and Applications. London.
60. Dramis F, Guida D, Cestan A. 2011. Nature and Aims 0f Geomorphological Mapping, In Geomorphological Mapping Methods and Applications. London.
61. Drive. H; (2016): Fluvial Geomorphology and Stream Crossing Assessments, Concord, New Hampshire 03301, Environmental Servicer. Co- Geo- 10.
62. Dykes AP. 2008. Geomorphological maps of Irish peat landslides created using hand-held GPS. Journal of Maps.
63. Dykes AP. 2008. Geomorphological maps of Irish peat landslides created using hand-held GPS. Journal of Maps.
64. E G U ;(2014): Simulating and Forecasting Flooding Events in the City of Jeddah, Saudi Arabia, Geophysical Research Abstracts.

Vol. 16, -16377-2, 2014 EGU General Assembly 2014 © Author(s) 2014. CC Attribution 3.0 License.
65. Effatand .H, Hegazy M.N.; (2009): Risk and Vulnerability Mapping of Sand Dunes, a Prerequisite for Land use Planning in the Egyptian Deserts",National Authority for Remote Sensing and Space Sciences (NARSS)Email: haeffat@yahoo.com.
66. El Raey M ;(2010): Impact of Sea Level Rise on the Arab Region. University of Alexandria and Regional Center for Disaster Risk Reduction Arab Academy of Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria.
67. El Raey, M ;(2010): Impact of Sea Level Rise on the Arab Region. University of Alexandria and Regional Center for Disaster Risk Reduction Arab Academy of Science, Technology and Maritime Transport, Alexandria.
68. Eliot .M; (2016): Coastal sediments, beaches and other soft shores. Information Manual 8, Published by the National Climate Change Adaptation Research Facility ISBN: 978-0-9946053-7-5.
69. Eliot. M;(2013): Application of Geomorphic Frameworks to Sea-level Rise Impact Assessment, Damara WA Pty Ltd, Report 193-01-Rev 0, Linalool, Western Australia.
70. El-Magd. I.A &Hassan. O &Arafat. S; (2013): Quantification of Sand Dune Movements in the South Western Part of Egypt, Using Remotely Sensed Data and GIS, Journal of Geographic Information System, 5, 498-508. p 498.
71. Epting. J & Romanov. D & Huggenberger. P & Kaufmann. G; (2009): Integrating field and numerical modeling methods for applied urban karst hydrogeology. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 1163–1184, www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/1163/2009 / © Author(s) 2009. This work is distributed under .the Creative Commons Attribution 3.0 License. Published by Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union.
72. European Environment Agency, (EEA) ;(2013): Balancing the future of Europe's coasts — knowledge base for integrated management. ISSN 1725-9177.
73. Fitzgerald. E. P;(2007): linking urbanization to Stream Geomorphology and Biotic integrity in the Lake Champlain Basin, Vermont, The University of Vermont, Specializing in Natural Resources.

74. Fitzpatrick. F & Others; (2005): Effects of Urbanization on the Geomorphology, Habitat, Hydrology, and Fish Index of Biotic Integrity of Streams in the Chicago Area, Illinois and Wisconsin, American Fisheries Society Symposium 47:87–115, Wisconsin. USA.
75. Ford. D & Williams. P; (2007): Karst Hydrogeology and Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd. Chichester . England.
76. Ford. T.D (ed) (1983); Limestones and Caves of Wales, CAMBRIDGE university press, Cambridge.
77. Fourth international conference on Geomorphology ; (1999): Italy; Scope and development of applied Geomorphology; (1997): Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Qual.III, T.3.
78. FWFA ; (2010): Understanding the risks, empowering communities, building resilience The national flood and coastal erosion risk management strategy for England Presented to Parliament pursuant to Section 7 of the Flood and Water Management Act. London.
79. Gadóanyi.P;(2010): Formation, types and morphology of basalt lava caves. Ph D thesis's. University of Pécs. Faculty of Natural Sciences. Doctoral School of Earth Sciences. Pécs.
80. Galster. J .C & (Others); (2006): Effects of urbanization on watershed hydrology: The scaling of discharge with drainage area, Geological Society of America, Williams, Bethlehem, Pennsylvania 18015, USA.
81. Gathard Engineering consulting ;(2006): Klamath River Dam and Sediment Investigation ,Seattle, 40031st Ave NW . Washington.
82. Geomorphology GLG362/598: Field exercise: Factor of Safety Calculation for slope stability. http://www.public.asu.edu/~arrows/geomorph/factor_of_safety.
83. Gilbert, G.K (1907): Rate of Recession of Niagara Falls, Washington government printing Office, Bulletin No. 306. P 25.
84. Gilvear .D .J (1999): Fluvial geomorphology and river engineering: future roles utilizing a fluvial hydro-systems framework, Department of Environmental Science, University of Stirling, Scotland, FK9 4LA, *UK*. Received 1 May 1997; received in revised form 30 June 1997; accepted 15 July 1997, Geomorphology 31.

85. Goudie. A.S (ed) (2004); Encyclopedia of Geomorphology, Routledge, New York.
86. Gregory. K .J & Willing.D.E; (1973): Drainage Form and Processes, Geomorphology Approach, Edward Amold, London
87. Grimes. K;(1995): Lava caves and channels at Mount Eccles, Victoria. Text and diagrams of a paper in Baddeley, G (Ed) Vulcon Precedings (20th Australian Speleological Federation Conference, 1995) , Victorian Speleological Association Inc., Melbourne., pp 15-22.
88. Gumisiriza. T.L; (2014): Effects of Geomorphic Processes and Land Use Activities on Slope Stability in Mount Elgonregion, Eastern Uganda, A thesis submitted in fulfillment of the Degree of Doctor of Philosophy in the School of Humanity and Social Sciences of Kenyatta University.
89. Gustavsson .M, Seijmonsbergen .A.C, Kolstrup .E ; (2008): Structure and contents of a new Geomorphological GIS database linked to a Geomorphological map- with an example from Liden, central Sweden. Stockholm.
90. Gustavsson M, Seijmonsbergen AC, Kolstrup E. 2008. Structure and contents of a new Geomorphological GIS database linked to a Geomorphological map- with an example from Liden, central Sweden. Stockholm.
91. Hagget. R.J; (2003): Fundamentals of Geomorphology, Roitledge, London.
92. Hails. J.R (ed) (1978); Applied Geomorphology, Elsevier Scienting publishing company, Amsterdam.
93. Halles. J. R (ed); (1977): Applied Geomorphology, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
94. Halliday. W; (1963): Caves of Washington. Washington Department of Conservation Division of Mines and Geology Information Circular NO. 40. Washington.
95. Harris.B ;(2001): the Weathering of Limestobe and the effects of Airborne Pollution.A Discussion Paper for the Air Quality Working Group of the Bradford-on-Avon Preservation Trust. April.
96. Hart, M.G ;(1986):Geomorphology Pure and Applied, George Allen & unwin, London .

97. Harvey. M & Larsen. F.W;(2004): Channel and sediment transport dynamics near River Mile 193, Sacramento River, Geologic and Geomorphic setting . Bob Musketeer, Mussetter Engineering, Inc, Yantao Cui, Hydraulic Engineer Report for Ducks Unlimited.
98. Hengi T. Reuter HI. 2008. Geomorphometry Concepts Software, applications. Elsevier. London.
99. Hengi T. Reuter HI. 2008. Geomorphometry Concepts Software, applications. Elsevier. London.
100. Hon. k & Johnson.J&Gansecki.Ch; (2008): Field interpretation of active Volcanoes. A Handbook for viewing lava. With contributions from Terry Reveira, Hawai'i Volcanoes National Park, and the USGS Hawaiian Volcano Observatory. Geology Department, University of Hawai'i at Hilo. Hilo, HI.
101. Horton. R; (1945): EROSIONAL Development of Streams and their Drainage Basins; Hydrophysical approach to Quantitative Morphology Geological Society of America Bulletin 1945;56 ;275-370.
102. Hosny. M.M & Abdel moaty. M.S; (2009): assessment the Hazard of Sand Dune movement son the irrigation canals, Toshkaproject, Thirteenth International Water Technology Conference, IWTC 13 2009, Hurghada, Egypt 311.
103. Im -Erb .R, Neawsuparb. K, Sukchan.S, Srinarong. S, Sombatpanit. S ;(2010): Effect of climate and land use change to increase salinity impact in North-east Thailand, Bangkok, Thailand, in Thomas. R.P;(2011), (ed): Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC2010), Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. FAO.
104. International Commission on Irrigation and Drainage (ICID);(1999-2000): Role of Dams for Drainage Control. Position paper. *www.icid.org/dam_pdf.*
105. Iqbal .M. M, Goheer .A. G, Khan .A. M ;(2011): Facing the food challenge under climate change threats to land resources through increased salinization. Global Change Impact Studies Centre (GCISC), National Centre for Physics (NCP) Complex, Quaid-e-Azam University Campus, Islamabad-44000, Pakistan. in Thomas. R.P;(2011), (ed): Proceedings of the Global Forum on Salinization

and Climate Change (GFSCC2010), Food and agriculture organization of the United Nations. Rome. FAO.
106. IUCN ;(2011): Potential Priorities for the Recognition of Desert Landscapes and Geomorphological Sites on the World Heritage List, World Heritage Desert Landscapes, IUCN World Heritage Programme, Gland, Switzerland.
107. Jha. A. K , Bloch. R, Lamond. J ;(2012): Cities and Flooding A Guide to Integrated Urban, Flood Risk Management for the 21st Century, the world Bank, International Bank for Reconstruction and Development/ International Development Association or The World Bank, 1818 H Street NW, Washington DC 20433. Internet: www.worldbank.org .
108. Jiménez E.H, Carvajal E.Y, Calero A.A and A. Romero L.G; (2011): Salt-affected soils and climate change in the Valle del Cauca, Colombia, in Thomas. R.P;(2011), (ed): Proceedings of the Global Forum on Salinization and Climate Change (GFSCC2010),Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. FAO.
109. John Alan Glennon. J. A; (2001): Application of Morphometric Relationships to active Flow Network within the Mammoth Cave Watershed. The Faculty of the Department of Geography and Geology, eastern Kentucky University , Bowling Green, Kentucky. Land. L ;(2013): Caves in New Mexico and the Southwest, lite geology fall, issue 34. New Mexico Bureauof Geology & Mineral Resources A division of New Mexico Tech.
110. Ka Shun Chan. F & Mitchell .G & Adekola.O & Mc Donald. A;(2012): Flood Risk in Asia's Urban Mega-deltas: Drivers, Impacts and Response, National Institute of Urban Affairs (NIUA) SAGE Publications, Los Angeles, London, Environment and Urbanization ASIA, 3, 1 : 41–61.
111. Kamh. G. M. E; (2011): Salt weathering, bio-deterioration and rate of weathering of dimensional sandstone in ancient buildings of Aachen City, Germany, Geology Department, Faculty of Science, Menoufiya University, Egypt. E-mail: g_kamh2000@yahoo.com.
112. Keller. E.A , Pinter . N ; (2002): Earthquakes , Uplift, Landscape, Prentice Hall. New Jersey.
113. Kenneth. P & Samantha .S & Simon .B ; (2007): Sand dune processes and management for flood and coastal defence. Joint Defra / EA Flood and Coastal Erosion Risk Management R&D Programme.

R&D Technical Report FD1302/TR. Department for Environment. London.
114. Kidd ,R ;(2001): Coastal Dune management , A Manual of Coastal Dune Management and Rehabilitation Techniques, Department of Land and Water Conservation, Coastal Unit, DLWC, Newcastle.
115. Knight J, Mitchell W, Rose J. 2011. Geomorphological Field Mapping Methods and applications London.
116. Knight J, Mitchell W, Rose J. 2011. Geomorphological Field Mapping Methods and applications London.
117. Kometa. S.S & Akoh. N.R ;(2012): The Hydro-geomorphological Implications of Urbanization in Bamenda, Cameroon, Journal of Sustainable Development; Vol. 5, No. 6, ISSN 1913-9063 E-ISSN 1913-9071, Published by Canadian Center of Science and Education.
118. Kunreuther. H , Michel-Kerjan.E ; (2012): NATURAL DISASTERS. Center for Risk Management and Decision Processes. The Wharton School, University of Pennsylvania . Revised version for Copenhagen Consensus.
119. Lancaster. N ;(2009): Aeolian features and processes. Division of Earth and Ecosystem Sciences, Desert Research Institute, Reno, Nevada 89512, USA.
120. Lancaster. N; (2008): Desert dune dynamics and development: insights from luminescence dating, Boreas, Vol. 37, pp. 559–573.
121. Landry. C.E (2011-2012): Coastal Erosion as a Natural Resource Management Problem: The State of Economic Science and Policy, Center for Natural Hazards Research Center for Sustainable Tourism, East Carolina University.
122. Leopold & Langbein; (1962): the Concept n Entropy in Landscape Evolution, in king, C, A, M (ed) (1976): Landforms and Geomorphology Concepts History, Dowden & Ross. Inc. Pennsylvania.
123. Leopold .L.B & Miller .J .P ; (1956): Ephermal Stream-Hydraulic Factors and relation to the Drainage Net, U S Geol, Survey, Prof.
124. Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. 2008. Remote Sensing and image interpretation. New York.

125. Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J; (2008): Remote Sensing and image interpretation. New York.
126. Limburg, K & Stainbrook. K.M ;(2005): Urbanization Consequences: Case Studies in the Hudson River Watershed, Fisheries Society Symposium. Expected publication. Hall, Syracuse, NY 13210, New York.
127. Lwina, A & Khaingb, M, M; (2012): Yangon River Geomorphology identification andits Environmental Impacts analyses by optical and RADAR Sensing Techniques. International Archives of the Photogrammetric, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B8, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September, Melbourne, Australia.
128. Management and Rehabilitation Techniques, Department of Land and Water Conservation, Coastal Unit, DLWC, Newcastle.
129. Mangimeli. J; (2007): White Sands, National Monument, Geology of Sand duneshttps://cms.imr.nps.gov/whsa/naturescience/upload/Sand.
130. Margaret A. Palmer, David D. Hart, J. David Allan, E. Bernhardt;(2003): Bridging engineering, ecological, and geomorphic science to enhance riverine restoration: local and national efforts, Proceedings of A National Symposium on Urban and Rural Stream Protection and Restoration, EWRI World Water and Environmental Congress, Philadelphia.
131. Marston. R.A ; (2010): Geomorphology and vegetation on hillslopes: Interactions, dependencies, and feedback loops. Geomorphology 116 (2010) 206–217. journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph.
132. Martin W. D& Emily H. S & Harbor .M .J; (2002): Geomorphic analogies for Assessing probable channel Response to Damremovail, journal of the American Water Resources association , Vol. 38, NO. 6 .American Water Resources association.
133. Martin. R; (2006): Facts and trends water, Copyright © World Business council sustainable development (WBCSD), August 2005. Reprint March.
134. Maynard , T . Smith, N . Vincenti, A;(2012): Geomorphology and changing flood risk in the UK, University of Cambridge

Programme for Sustainability Leadership. www.lloyds.com/emergingrisks.
135. Mehta .D, Yadav. S.M, Waikhom. S;(2013): Geomorphic Channel Design and Analysis Using HECRAS Hydraulic Design Functions. Volume : 2 Issue : 4 April 2013 • ISSN No 2277 – 8160.
136. Miller .A & Huppman .R & Leopold. L .B; (2005): Geomorphic effects of Urbanization in forty –one years of observation, Reprinted From: Proceedings of the American Philosophical Society Volume 149 Number 3 September. California. USA.
137. Ministry of Energy and Water (M o E W), Water Establishment Beirut and Mount Lebanon (WEBML),Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR), Hannover, Germany; (2013): Delineation of the Groundwater Catchment for Jeita Spring using Tracer Tests, Mapping of GW Vulnerability and Delineation of GW Protection Zones 4th Beirut Water Week.
138. Mirzaev K. M ;(1962): Explanatory notes of Geomorphological map of Syria scale 1/500000, Moscow
139. Mirzaev K. M. 1960. Geomorphological map of Syria scale 1/1000000, Moscow.
140. Mirzaev K. M. 1962. Explanatory notes of Geomorphological map of Syria scale 1/500000, Moscow
141. Mirzaev K. M: (1960): Geomorphological map of Syria scale 1/1000000, Moscow.
142. Misak. R.F & Draz. M.Y; (1997): Sand drift control of selected coastal and desert dunes in Egypt: case studies, Journal of Arid Environments vole 35.
143. Miyamoto. H , Haruyama. J , Kobayashi .T, Suzuki. K, Okada. T, Nishibori.T, Showman. A.P, Lorenz .R, Mogi .K, Crown .D.A, Rodriguez. J. A. P, Rokugawa. Sh, Tokunaga . T, Masumoto .K; (2005): Mapping the structure and depth of lava tubes using ground penetrating radar, Geophysical research letters, Vol. 32, L21316.
144. Mohamed. M .M & Elmoustafa. A.M ;(2013): Flash Flood Risk Assessment Using Morphological Parameters in Sinai Peninsula, Irrigation and Hydraulic Department, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egypt.

145. Montgomery. R. L & Keys. H; (1993): Volcanic Hazard management Tongariro National Park, Department of Conservation, Private Bag, Mt Ruapehu, and Turangi, Department of Conservation, Wellington ,New Zealand.
146. Morisawa. M ;(1962): Quantitative Geomorphology of some Watershed in the Appalachian Plateau. Geol. Soc. Amer. Vole 73.
147. Muțulescu. C & Ancuța .C; (2012): assessment of urban risk in the city of Timișoara (Romania), International Journal of Energy and Environment, Issue 5, Volume 6, p 496- West University of Timișoara, Romania.
148. Narayanswami. B.S.S; (2000): Engineering Geology, DHANPAT RAI & CO.LTD. Delhi. P 228.
149. National Institute for Coastal and Marine Management of the Netherlands (RIKZ); (2004): Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability, Part IV – A guide to coastal erosion management practices in Europe :Lessons Learned, Final version – May 22, EUCC – The Coastal Union, IGN France International.
150. National Parks Service, (1996); Little Desert National Park, Management Plan, department of natural , resource sand Environment, Victoria.
151. Natural Disasters and desertification: United Nations Environment Programme. postconflict.unep.ch/publications/ Sudan/03.
152. Newson .M & Hanwell. J; (1982): Systematic Geography. Macmillan Education. Limited .
153. Nicoll. K;(2010): Geomorphic and hazard vulnerability assessment of recent residential developments on landslide-prone terrain: The case of the Traverse Mountains, Utah, USA, Journal of Geography and Regional Planning Vol. 3(6), pp. 126-141, June ,Available online at http://www.academicjournals.org/jgrp .ISSN 2070-1845 ©2010 Academic Journals.
154. Niesing .H ;(Ed s). 2005: EUROSION: Coastal erosion measures, knowledge and results acquired through 60 studies. National Institute for Coastal and Marine Management, Public Works and Water Management, Ministry of Transport, PO Box 20907, 2500

EX The Hague, The Netherlands. E-mail: H.niesing@rikz.rws.minvenw.nl.
155. Olhoeft. G.R, Sinex. D. B, Sander .K. A, Lagmanson .M. M, Stillman. D. E, Lewis. S, Clark. B. T, Wallin. E. L, Kauahikaua .J. P; (2000) :hot and cold lava tube characterization with Ground penetrating radar. Department of Geophysics, Colorado School of Mines Golden, CO 80401 , Hawaiian Volcano Observatory, U.S. Geological Survey, USA.
156. Ollier. C ;(1984): Weathering, Sec edition, Longman Group Limited, New York..
157. Otto .J.C; (2008): Symbols for Geomorphological mapping in high mountains for Arc Gis. Swiss.
158. Otto JC. 2008 Symbols for Geomorphological mapping in high mountains for Arc Gis. Swiss.

159. Passaro. S, Milano. G, D'Isanto. C, Ruggieri .s, Tonielli . R, Bruno. P. P, Sprovieri .M, Marsella. E; (2009): DTM-based morphometry of the Palinuro seamount (Eastern Tyrrhenian Sea): Geomorphological and volcano logical implications. Geomor-03111; No of Pages 12 journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph.
160. Pelletier. J.D & Others; (2005): An integrated approach to flood hazard assessment on alluvial fans using numerical modeling, field mapping, and remote sensing, Geological Society of America, Colorado.
161. Penck, W; (1953): Morphological Analysis of Land Form. Macmillan & Co. Limited, London.
162. Philip. G & Attial. O.E.A & Draz. M.Y. El Banna. M.S; (2004): dynamics of Sand Dunes movement and their Environmental impacts on there clamation are a in NW Sinal , EGYPT. Proceeding of the 7th Conf. Geology of Sinai for Development. Ismailia, pp. 169-180.
163. Phillips. D.A ;(2011): Analysis of Potential Sand Dune Impacts on Railway Tracks and Methods of Mitigation , Senior Consultant / Principal ,Duncan.Phillips@rwdi.com.
164. Pirazzoli. P.A; (1996): Sea - Level changes, the last 20.000 years. JHON WILEY & SONS, New York.
165. Prakasam.C , Biswas. B; (2011): Evaluation of Geomorphic Resources: Past and Present Studies - A review, International Journal

of Geomatic sand Geosciences. Vol 1, No 4. © Copyright All rights reserved Integrated Publishing services, Research article, ISSN 0976 – 4380.
166. Provin. T & Pitt. J.L :(2013) :Managing Soil Salinity, E-603-12,The Texas A&M University System. Texas.
167. Provin. T & Pitt. J.L ;(2013):Managing Soil Salinity, E-603-12,The Texas A&M University System. Texas.
168. Psuty. N. P & Silveira. T.M; (2011): Tracking Coastal Geomorphological Change: an application of protocols to collect geotemporal data sets at the national level in the US, Journal of Coastal Research. SI 64 1253 - 1257 ICS (Proceedings) Poland ISSN 0749-0208. USA.
169. Republic if Lebanon Council for Development and Reconstruction CDR Beirut, Federal Republic of Germany Federal Institute for Geosciences and Natural Resources BGR. Hannover; (2008): Protection of Jeita Spring ADVISORY SERVICE DOCUMENT NO. 4 Preliminary Assessment of Jeita Cave Stability.
170. Richard. G & Julien. P; (2003): A. Reservoir Effects of Stream Channels Dam Impacts on and Restoration of an Alluvial River – Rio Grande, New Mexico. International Journal of Sediment Research, Vol. 18, No. 2, pp. 89-96.
171. Sassa. K & Canuti. P (eds.); (2009): Landslides – Disaster Risk Reduction, Monitoring, Geomorphological Evolution and Slope Stability of Inca Citadel of Machu Picchu: Results from Italian Interfrasi project_ Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
172. Schumm. A :(1977): the Fluvial System. John Wiley & Sons. New York.
173. Schweitzer .F;(2009): engineering Geomorphological mapping in loess Regions of hungary, Director, Doctor of Geographical Science, university professor Geographical Research Institute HAS, H-1112 Budapest, Budaörsi út 45. http://lazarus.elte.hu/hun/digkonyv/sc/sc13/47ferenc_schweitzer.
174. Shane J. Cronin & Others (2004): Participatory methods of incorporating scientific with traditional knowledge for volcanic hazard management on Ambae Island, Vanuatu, Bull Volcanol , Palmerstone North, New Zealand,66:652–668
175. Sinha .R.K & Bhatia .S & Vishnoi .R;(2004) :Desertification control and rangeland managemen in the Thar desert of India, Indira

Gandhi Centre for Human Ecology, Environment and Population Studies, Rajasthan University, Jaipur-30 (INDIA). Rala Report NO. 200.
176. Small, R.J; (1978): The Study of Landforms, Cambridge University Press, Cambridge.
177. Smith .M. J (et al); (2013): Geovisualisation in Treatise on Geomorphology, San Diego.
178. Smith .M.J & Wise. S.M; (2007): Problems of bais in mapping linear landforms from satellite imagery. London.
179. Smith M.J & Clark .C.D ;(2005): Methods for the visualisation of digital elevation models for landforms mapping. London.
180. Smith MJ, Clark CD. 2005. Methods for the visualisation of digital elevation models for landforms mapping. London.
181. Smith MJ, et al. 2013. Geovisualisation in Treatise on Geomorphology, San Diego.
182. Smith MJ, Wise SM. 2007. Problems of bais in mapping linear landforms from satellite imagery. London.
183. Sparavigna. A.C; (2011): Moving sand dunes, Dipartimento di Fisica Politecnico di Torino, https://arxiv.org/ftp/arxiv/1112/1112.5572.pdf.
184. Stirm. Ph & Thornton. T; (2014): A Quantitative Analysis of Stabilizing Beach Vegetation and Reef Structures. Oxbridge Academy of the Palm Beaches .Fort Lauderdale and Jupiter, Florida. S., Ph.D.: (561) 962-9672.
185. Stokes. T, Griffiths. P, Ramsey. C ; (2011): Karst Geomorphology, Hydrology, and Management, chapter 11.https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/docs/lmh/Lmh66/LMH66_ch11.pdf.
186. Strahler. A; (1952): Dynamic Basis of Geomorphology, Geol. Soc. Amer Bull. Vol 63. Pp 923-925.
187. Stul. T, Gozzard. J.R, Eliot. I.G and Eliot .M.J ;(2015) Coastal Sediment Cells for the Vlamingh Region between Cape Naturaliste and Moore River, Western Australia. Report prepared by Seashore Engineering Pty Ltd and Geological Survey of Western Australia for the Western Australian Department of Transport, Fremantle.

188. Swanston. D.N & Howes .D. E ; (N D) :Slope movement processes and characteristics, U.S. Department of Agriculture Pacific Northwest Forest and Range Experiment Station Forestry Science Laboratory Juneau, Alaska, Recreational Fisheries Branch B.C. Ministry of Environment Victoria, British Columbia.

189. Teimouri. M & Graee. M.M ;(2012) : Evaluation of AHP and Frequency Ratio Methods in Landslide Hazard Zoning (Case Study: Bojnord Urban Watershed, Iran), Intl. Res. J. Appl. Basic. Sci. Vol., 3 (9), 1978-1984, , Iran. .teimouri@yahoo.com.

190. Thiebes. B , Bell. R , Glade . T , Jäger. S , Anderson . M & Holcombe. L ; (2013): A Web GIS decision-support system for slope stability based on limit-equilibrium modeling, Contents lists available at Sci Verse Science Direct ,Engineering Geology, journal homepage: www.elsevier.com/locate/enggeo.

191. Thierry.P , Neri. M , Cozannet. G. Le , Jousset . P , Costa. A; (2015); Preface Approaches and methods to improve risk management in volcanic areas, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 15, 197–201, 2015. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net

192. Trewin. L & Lech. M.E; (2013): Weathering, erosion, landforms and regolith, 2nd Edition, ING Geoscience to Australia's most important challenges, Department of Resources, Energy and Tourism, Minister for Resources and Energy. www.ga.gov.au.

193. U.S. Geological Survey & U.S. Department of the Interior, (1999): Hydrology, Geomorphology, and Flood Profiles of the Mendenhall River, Juneau, Alaska, Water-Resources Investigations Report 99-4150, Prepared in cooperation with the Alaska department of Fish and Game and Cityand Borough of Juneau

194. U.S. Geological Survey; (2004-2008): Understanding Volcano Hazards and Preventing Volcanic Disasters. A Science Strategy for the Volcano Hazards Program.

195. U.S. HELP PRESERVE BASE OF SPHINX BY LOWERING GROUNDWATER. cairomedia@usaid.gov

196. UNEP; (2006):Tourism and Deserts, A Practical Guide to Managing the Social and Environmental Impacts in the Desert Recreation Sector, Production and Consumption Branch, 39-43 quai André Citroën, 75739 Paris Cedex 15, France. unep.tie@unep.frwww.unep.fr/pc.

197. van der Wal, D;(1996): The development of a digital terrain model for the geomorphological engineering of the 'rolling' fore dune of Terschelling, the Netherlands, Landscape and Environmental Research Group, University of Amsterdam; Nieuwe Prinsengracht 130, 1018 VZ, Journal of Coastal Conservation 2: 55-62, © EUCC; Opulus Press Uppsala. Printed in Sweden.
198. van Rijn .L.C ;(2005): Estuarine and Coastal sedimentation problems, International Journal of Sediment Research, Vol. 20, No. 1, p. 39-51. Delft Hydraulics and University of Utrecht, The Netherlands. Email: leo.vanrijn@wldelft.nl.
199. Van Rijn. L.C ;(2010): Concepts and Science for Coastal Erosion Management Specific Targeted Research Project Thematic priority: Forecasting and developing innovative policies for sustainability in the medium and long term. Revision status final Coordinator: Deters, the Netherlands Project Contract No: 044122. Project website: www.conscience-eu.net.
200. Verstappen, H. TH ;(1983): Applied Geomorphology. Geomorphological Surveys for Environmental Development. Elseevier. Oxford.
201. Victoria ,S. A ;(2011): Geomorphic Assessment of the Santa Clara River Watershed, Synthesis of the Lower and Upper Watershed Studies Ventura and Los Angeles Counties, California, Los Angeles County Department of Public Works.
202. Vit Vilimek, . V & Spikova. J ; (2009): Natural Hazardsand Risks: the viewfrom .the Junctionof Natural and Social Sciences Geografie – SBORNIK ČESKE GEOGRAFICKE SPOLEČNOSTI ,ROK • ČISLO 4 • ROČNIK 114.
203. Von, V & Guzzetti , F; (2006): Landslide Hazard and Risk assessment, concepts, methods and tools for the detection and Mapping of Landslides, for Landslide susceptibility zonation and Hazard assessment, and for Landslide Risk Evaluation Perugia, Italy, Erscheinungsjahr.
204. W Q P D. (2004): Water Quality Program Development Services' Section Original printed on recycled paper. Proposed Flow Control Standard for Highly Urbanized Drainage Basins . November.
205. Waele. J. D & Gutiérrez. F & Parise. M & Plan. L ; (2011): Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review,

Geomorphology 134 , 1–8, Elsevier B.V. All rights reserved, journal homepage: www.elsevier.com/locate/geomorph.
206. Waterfall .P . H; (2006): Harvest ingrain water for Landscape USE, Extension Agent, University of Arizona, Cooperative Extension/Low 4 Program, The University of Arizona, Tucson, AZ 85721.
207. Wells. M; (2009): YSI Level Scouts® Monitor Groundwater Levels to Help Protect the Great Sphinx, Application Note, environmental@ysi.com.
208. William L.G ;(2006): Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers, Department of Geography, University of South Carolina, Columbia, SC, 29208, USA Received 20 July 2005; received in revised form 6 June 2006; accepted 6 June 2006. Available online 4 August. Geomorphology 79 (2006) 336–360. www.elsevier.com/locate/geomorph.
209. Yan Li X & Contreras S & Solé-Benet A & Cantón Y & Domingo F & Lazaro R & Lin H & Wesemael B V & Puigdefabregas J; (2011): Controls of infiltration–runoff processes in Mediterranean karst rangelands in SE Spain, Contents lists available at ScienceDirect, , journal homepage: www.elsevier.com/locate/catena, Catena.
210. Young, A & Young, D.M; (1974): Slope Development, Ma McMillan, London.
211. Young, A; (1970): Slope Profile analysis: the system ob best units, in: Institute of British Geographers; (1971): SLOPE, Form and Process, no 3, jan, London.
212. Young, A; (1972): Slopes, Oliver & Boyd, Edinburg.
213. Zorn, M., Komac, B ;(2011): Applied Landslide Geomorphology - some Examples from Slovenia, Hrvatski geografski glasnik 73(2).17.
214. Zytkovicz. K & Murtada. S; (2013): reducing Localized Impacts to RIVER SYSTEMS through proper Geomorphic sizing of on -Channel and Flood plain openings at Road/River Intersections, Minnesota DNR, Stream Habitat Program, Land Use Unit.

مواقع على الشابكة

1. http://classof1.com/homework_answers/geography/geomorphology .
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Caving
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Dam.
4. http://en.wikipedia.org/wiki/Environmental_impact_of_reservoirs.(10-5-2015).
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Geomorphology.
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Jeita_Grotto.
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Niagara_Falls.
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Plate_tectonics.
9. http://malaysiabrowser.blogspot.com/2010/06/sinkhole-in-downtown-guatemala-city.html.
10. http://www. The green gazette. ca/ industry – water –the -heart- of –the - problem-at-mount –polley –mine /
11. http://www.imf.org/external/arabic/pubs/ft/fandd/2014/03/index.htm.
12. http://www.unocha.org/what-we-do/coordination-tools/undac/overview.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

اللجنة العلمية:

أ.د عادل عبد السلام.

أ.د أمين طربوش.

أ.د ناظم عيسى.

المدقق اللغوي:

أ.د . نايف شقير

حقوق الطبع والترجمة والنشر
محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية