



مشكلات الطبيعة الراهنة



منشورات جامعة دمشق
كلية الآداب والعلوم الإنسانية

مشكلات الطبيعة الراهنة

الدكتور علي حسن موسى
أستاذ في قسم الجغرافية

١٤٣٦ - ١٤٣٧ هـ -

٢٠١٥ - ٢٠١٦ م

جامعة دمشق

المحتويات

المقدمة:	١٣
الباب الأول: الكوارث الأرضية	١٥
الفصل الأول: الزلازل	١٧
١ - ما الزلزال؟	١٩
٢ - أسباب الزلازل.	٢٠
٣ - الأمواج الزلزالية.	٢٥
٤ - مقاييس الشدة الزلزالية.	٢٨
٥ - المناطق الزلزالية في العالم.	٣١
٦ - الآثار الزلزالية.	٣٢
٧ - التنبؤ بالزلازل.	٣٦
٨ - نماذج عن الكوارث الزلزالية في العالم.	٣٩
الفصل الثاني: البراكين	٥١
١ - ما البركان؟	٥٣
٢ - ما الذي يحدد طبيعة الانفجاعات البركانية وشدها؟	٥٣
٣ - مقياس الانفجاعات البركانية.	٥٦
٤ - نماذج عن الانفجاعات البركانية.	٥٩
٥ - ما يصاحب الانفجاعات البركانية وما ينتج عنها؟	٦٤
٦ - المناطق البركانية في العالم.	٧١
٧ - مخاطر البراكين.	٧٢
٨ - نماذج من كوارث الانفجاعات البركانية.	٧٦

٩ - إمكانية التنبؤ بالبراكين والتخفيف من مخاطرها. ٨٧.....

- الفصل الثالث: الانزلاقات الأرضية والانهيالات الثلجية. ٨٩.....

أولاً: الانزلاقات الأرضية. ٩١.....

١ - الانهيارات الصخرية. ٩١.....

٢ - تدفق الفتات الصخري. ٩٤.....

٣ - زحف التربة. ٩٤.....

٤ - التدفق الطيني. ٩٦.....

٥ - نماذج من الانزلاقات الأرضية. ٩٧.....

ثانياً: الانهيالات الثلجية. ١٠٠.....

١ - ما الانهيار الثلجي؟ ١٠١.....

٢ - نماذج من الانهيالات الثلجية. ١٠٢.....

٣ - ضحايا الانهيالات الثلجية. ١٠٥.....

ثالثاً: أساليب التخفيف والوقاية من مخاطر الانزلاقات

والانهيالات. ١٠٨.....

- الباب الثاني: المشكلات المائية. ١١١.....

- الفصل الأول: التسونامي. ١١٣.....

١ - ما التسونامي؟ ١١٥.....

٢ - أسباب التسونامي. ١١٦.....

٣ - مقياس شدة التسونامي. ١٢٠.....

٤ - مناطق التسونامي. ١٢١.....

٥ - أهم أحداث التسونامي. ١٢٣.....

٦ - أساليب وطرق الوقاية والحد من مخاطر التسونامي. ١٣٠.....

- الفصل الثاني - النينو (El Nino) وآثاره البيئية ١٣٣

- ١ - ما النينو؟ ١٣٥
- ٢ - آلية تشكل النينو؟ ١٣٨
- ٣ - دورية النينو وعمره الزمني. ١٤٠
- ٤ - الآثار العامة للنينو. ١٤٣
- ٥ - من الأمثلة عن النينو (نينو ١٩٩٧-١٩٩٨). ١٥٢
- ٦ - النينا (La Nina) ١٥٧

- الفصل الثالث: الفيضانات والسيول ١٥٩

- ١ - ما الفيضان؟ وما السيل؟ ١٦١
- ٢ - أنواع الفيضانات وأسبابها؟ ١٦١
- ٣ - آثار الفيضانات. ١٧١
- ٤ - أهم الفيضانات الكارثية في العالم. ١٧٢
- ٥ - التنبؤ بالفيضانات والتحذير منها. ١٧٩
- ٦ - طرق الوقاية من الفيضانات والحد من مخاطرها. ١٨١

- الباب الثالث: المشكلات المناخية ١٨٥

- الفصل الأول: موجات البرد والحر ١٨٧

أولاً- موجات البرد الفارس ١٨٩

- ١ - ما المقصود بموجة البرد؟ ١٨٩
- ٢ - آليات حدوث موجات البرد. ١٩٠
- ٣ - آثار ومخاطر موجات البرد الصيفية. ١٩٤
- ٤ - مكافحة الصقيع والحد من مخاطره. ١٩٩

ثانياً- موجات الحر ٢٠٠

٢٠٢.....	١ - تحديد موجة الحر.
٢٠٤.....	٢ - أسباب الموجات الحرارية.
٢٠٩.....	٣ - آثار ومخاطر الموجات الحرارية.
٢١١.....	٤ - أشهر الموجات الحرارية.
٢١٥.....	- الفصل الثاني: الأعاصير
٢١٧.....	أولاً- الأعاصير المدارية.
٢٢٩.....	ثانياً- أعاصير التورنادو.
٢٣٩.....	- الفصل الثالث: العواصف
٢٤١.....	١ - العواصف الريحية والترابية.
٢٤١.....	١-١ - العواصف الريحية.
٢٤٤.....	٢-١ - العواصف الترابية.
٢٤٨.....	٢ - العواصف المطرية.
٢٥٠.....	٣ - العواصف الثلجية والجليدية.
٢٥٤.....	٤ - عواصف البرد.
٢٥٦.....	٥ - العواصف الجبهية.
٢٦٧.....	- الفصل الرابع: الصواعق
٢٦٩.....	١ - آلية تشكل سحب العواصف الرعدية.
٢٧٢.....	٢ - بنية العاصفة الرعدية.
٢٧٣.....	٣ - كهربائية سحب العواصف الرعدية.
٢٧٥.....	٤ - آلية الصاعقة.
٢٧٩.....	٥ - آثار الصاعقة.
٢٨٩.....	٦ - الوقاية من الصاعقة وطرق مكافحتها والحد من مخاطرها.

- الباب الرابع: الكوارث البيئية..... ٢٩٣

- الفصل الأول: التصحر..... ٢٩٥

- ١ - ما التصحر؟..... ٢٩٧
- ٢ - درجات التصحر..... ٢٩٩
- ٣ - أسباب التصحر..... ٣٠٢
- ٣-١ - الأسباب الطبيعية (التصحر)..... ٣٠٢
- ٣-٢ - الأسباب البشرية (التصحير)..... ٣٠٦
- ٤ - نتائج التصحر..... ٣١٤
- ٤-١ - نتائج طبيعية..... ٣١٤
- ٤-٢ - نتائج اقتصادية واجتماعية..... ٣١٧
- ٥ - أساليب مكافحة التصحر والحد من مخاطره..... ٣١٩
- ٦ - انموذج من الجفاف التصحيري..... ٣٢٣

- الفصل الثاني: الحرائق البرية..... ٣٢٧

- ١ - ما الحريق؟..... ٣٢٩
- ٢ - أسباب الحرائق..... ٣٢٩
- ٣ - الآثار البيئية للحرائق..... ٣٣٥
- ٤ - مقياس خطورة الحرائق..... ٣٣٦
- ٥ - نماذج من كوارث الحرائق في العالم..... ٣٣٧
- ٦ - طرق مكافحة الحرائق..... ٣٤٤

- الفصل الثالث: الهطل والتكاثف الحامضي..... ٣٤٥

أولاً- الأمطار الحامضية:..... ٣٤٧

- ١ - ما الأمطار الحامضية؟..... ٣٤٧

٢ - تشكل الأمطار الحامضية.....	٣٤٨
٣ - التوزيع الجغرافي للأمطار الحامضية.....	٣٥١
٤ - الآثار المترتبة عن الأمطار الحامضية.....	٣٥٢
٥ - إجراءات الحد من آثار الأمطار الحامضية.....	٣٥٦
ثانياً - الضباب الحامضي.....	٣٥٧
ثالثاً - الضبخان.....	٣٥٩
- الفصل الرابع: تآكل الأوزون الجوي.....	٣٦٧
١ - مناطق وجود الأوزون.....	٣٦٩
٢ - مصادر الأوزون الجوي.....	٣٧٠
٣ - قوى وآليات تخریب الأوزون الجوي وتآكله.....	٣٧٢
٤ - ثقب الأوزون.....	٣٧٦
٥ - الآثار المناخية والحيوية للأوزون الجوي.....	٣٧٨
٦ - إجراءات الحد من تآكل الأوزون الجوي.....	٣٨١
- الفصل الخامس: الاحتباس الحراري.....	٣٨٥
١ - الموازنة الإشعاعية والاحتباس الحراري.....	٣٨٧
٢ - الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي.....	٣٨٩
٣ - مركبات الاحتباس الحراري.....	٣٩١
٤ - التسخين الجوي والاحتباس الحراري.....	٣٩٩
٥ - مخاطر الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي.....	٤٠٢
٦ - طرق مواجهة الاحتباس الحراري والحد من مخاطره.....	٤٠٥
٦-١ - الطرق الوقائية.....	٤٠٦
٦-٢ - الطرق العلاجية.....	٤٠٦

٤٠٨ - ٣-٦ - المؤتمرات الدولية في مواجهة الاحتباس الحراري ...

- الباب الخامس: المشكلات الكونية ٤١٣

الفصل الأول: المذنبات وآثارها البيئية. ٤١٥

١ - ما المذنب؟ ٤١٧

٢ - بنية المذنب..... ٤١٨

٣ - حركة المذنبات..... ٤١٩

٤ - آليات تأثير المذنبات على الأرض..... ٤٢٠

٥ - نماذج لأشهر المذنبات على الأرض..... ٤٢٢

٦ - نماذج عن الارتطامات المذنبية بالأرض..... ٤٢٨

- الفصل الثاني: الضربات النيزكية للأرض..... ٤٣٩

١ - طبيعة النيازك..... ٤٤١

٢ - مصدر النيازك وحركاتها..... ٤٤٤

٣ - الآثار الناتجة عن النيازك..... ٤٤٦

٤ - نماذج عن الضربات النيزكية للأرض..... ٤٥١

- الفصل الثالث: العواصف الشمسية ٤٥٧

١ - ما العاصفة الشمسية؟ وما أنواعها؟ ٤٥٩

١-١ - ما العاصفة الشمسية؟ ٤٥٩

١-٢ - أنواع العواصف الشمسية..... ٤٦٠

٢ - نشأة العواصف الشمسية..... ٤٦١

٢-١ - مدى ارتباط العواصف الشمسية بالبقع الشمسية.. ٤٦١

٢-٢ - هل لبقية مظاهر النشاط الشمسي علاقة بنشاط

العواصف الشمسية؟ ٤٦٣

٤٦٦.....	٢-٣ - مدة الانبثاقات العاصفية.
٤٦٧.....	٣ - بنية العواصف الشمسية وتركيبها:
٤٧٠.....	٤ - آثار العواصف الشمسية
٤٧٩.....	٥ - نماذج من العواصف الشمسية.
٤٨٢.....	٦ - رصد العواصف الشمسية وإمكانية التنبؤ بها والحماية منها.
٤٨٧.....	- أهم المصطلحات العلمية.
٥٠١.....	- فهرس الأشكال
٥١١.....	- فهرس الجداول
٥١٣.....	- المراجع.

المقدمة

لم تكن الطبيعة يوماً بالأم الرؤوم، الحنونة على أبنائها دائماً. فكانت تتراوح بين الهدوء بما فيه من محبة والغضب القاتل. ولم يكن أم-ام الإنسان سوى الاستسلام والتسليم لما هو فيه بالمكان والزمان، لأنه غير قادر على العيش خارج نطاقها بما فيها من أساسيات الحياة التي اختار الانسحاب منها، وبخاصة الهواء والماء والتربة. وعالمنا الأرضي كسائر العوالم الأخرى مفتوح على غيره من العوالم الكونية، لذا كان وما يزال يتعرض لغزو وضرب مدح أحياناً مما يأتيه من تلك العوالم - وبخاصة القريبة منه - كما أن الإنسان بأنشطته المختلفة لم يكن بمنأى عن أحداث الطبيعة.

وللطبيعة بعناصرها كافة وجهان؛ أحدهما إيجابي، هو الذي أسهم في وجود الحياة، وفي تطورها وازدهارها، والآخر سلبي كارثي تفوح منه رائحة القتل والتدمير. فأنى وجد الإنسان لا مهرب له من ضربات الطبيعة المؤذية؛ أسواء كان على السواحل وضياف الأنهار، أم في السهول والهضاب والجبال، أم في أطراف الصحارى ومناطق الوفرة المائية والثلوج المتراكمة. وحتى عالمه الحي من نباتات وحيوانات لم تكن بمنأى عن إيذاعات الطبيعة. إلا أن هذا لا يعرض القوى المؤثرة في الأرض لا وجه ظاهري لها سوى الوجه الكارثي؛ كما في الزلازل والبراكين والصدمات النيزكية والمذنبية.... وغير ذلك.

وأعظم الكوارث الطبيعية، هي من نتاج الزلازل والفيضانات والسيول والأعاصير. ونظرة عامة عما نتج عنها نتبين عظم كارثيتها: فالكوارث الطبيعية قتلت منذ مطلع القرن العشرين (١٩٠٠) حتى عام (٢٠١٤) نحو (٣٠) مليون شخص، وتضرر منها ربع سكان الأرض بشكل مباشر أو غير مباشر، وأحدثت خسائر مادية في الممتلكات تجاوزت خلال الفترة السابقة التريلين دولار.

ولاسيما أنها اتخذت منحى متزايداً، لتزايد أعداد السكان، وتركزهم في الأمـاكن الأكثر عرضة للكوارث، وهذا ما تجلى بشكل واضح في القارة الآسيوية التي تكبدت نحو نصف الخسائر الكارثية سواء في الأرواح أو الممتلكات، وكالتـالزلازل والفيضانات الأبرز.

وحاولنا في هذا الكتاب تسليط الضوء على أهم المشكلات الطبيعية الراهنة بما يكشف عن الوجه الكارثي لأهم العناصر الطبيعية والقوى المؤثرة في عالمنا الأرضي؛ ابتداء من الكوارث الأرضية المفاجئة للإنسان مـن زلازل وبـراكين وانهيارات صخرية وانهيارات ثلجية وانزلاقات أرضية، مروراً بالكوارث المائية من فيضانات مدمرة وأمواج تسونامي مائية... وسـواها. وليـست الكـوارث المناخية بأقل كارثية؛ أسواء موجات الصفيح القاتلة أم موجات الحـر المهلكة، بجانب كارثية الأعاصير والعواصف بأنواعها المختلفة.

والإنسان شريك للطبيعة ومهم في زيادة كارثية بعض عناصرها، بما أحدثه من تغير في خصائصها، حتى لبات ما تعرف بالكوارث البيئية طـاهرة جلية في بفاع عدة من العالم متمثلة بالدرجة الأولى بطاهرة الاحتباس الحراري، والأمطار الحامضية والضبخان، والحرائق وتآكل الأوزون الجوي، والتـصحر. ورغم قلة الكوارث الناتجة عن قوى كونية، لابد من أن تؤخذ بالحسبان لأهميـة بعضها، كما في العواصف الشمسية والضرربات النيزكية والمذنبية.

وعموماً فقد تناولنا في كتابنا هذا (مشكلات الطبيعة الراهنة) الكـوارث الطبيعية كافة؛ محللين إياها، مظهرين طبيعتها وأبعادها، وآلية تأثيرها ومخاطرها، ونماذج عنها. آملين أن تتحقق الفائدة العلمية المرجوة منه لطلبة السنة الرابعة بشعبتها الطبيعية، وللطلاب والباحثين كافة.

أ.د. علي حسن موسى

دمشق في ٢٠١٥/٣/٨

الباب الأول

الكوارث الأرضية

الفصل الأول: الزلازل

الفصل الثاني: البراكين

الفصل الثالث: الانزلاقات الأرضية والانهيالات الثلجية

الفصل الأول

الزلازل

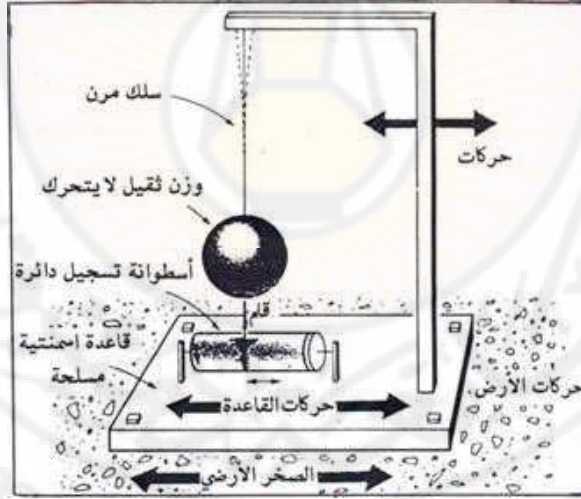
- ١ - ما الزلزال؟
- ٢ - أسباب الزلازل
- ٣ - الأمواج الزلزالية
- ٤ - مقياس الشدة الزلزالية
- ٥ - المناطق الزلزالية في العالم
- ٦ - الآثار الزلزالية
- ٧ - التنبؤ بالزلازل
- ٨ - نماذج عن الكوارث الزلزالية في العالم

١ - ما الزلزال؟

الزلزال؛ هو ما يعرف شعبياً باسم الهزة. وهذه التسمية صحيحة عموماً. لأن الزلزال، هو اهتزاز (ارتجاج، تماوج، حركة ارتجاجية) مفاجئ في قشرة الأرض، ينتج بفعل التحرر السريع للطاقة (التوتر، الجهد) المتجمعة في الصخور.

ويتم الشعور بالزلزال، وكأن الأرض ترتجف مهتزة من تحتنا، حتى لنجد أن كل شيء يرتجف عندما يكون الزلزال شديداً؛ من أدوات منزلية، وأشجار، وسيارات وأعمدة، إلخ.

وقد يكون الزلزال شديداً بحيث يشعر به الإنسان، أو يكون ضعيفاً لا تسجله سوى أجهزة الرصد الزلزالية المعروفة بالسيسموغراف (Seismograph)؛ شكل (١).



شكل (١) جهاز قياس الزلازل (السيسموغراف)

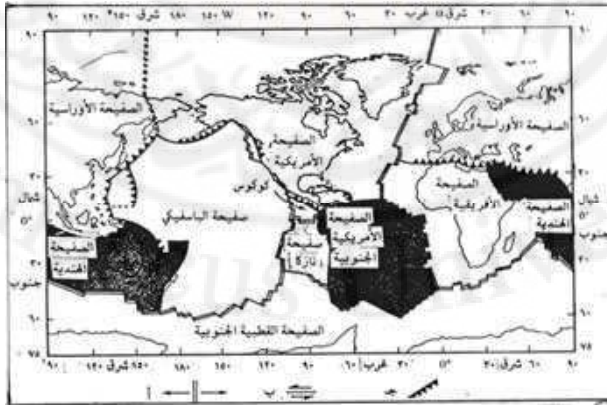
ويحدث سنوياً نحو (١٥٠) ألف زلزال يتم الشعور بها. غير أن أكثر من مليون زلزال يحدث سنوياً دون إمكانية الشعور بها، ولكن أجهزة الرصد الزلزالي يمكنها تسجيلها.

٢- أسباب الزلازل:

هناك عدة أسباب لحدوث الزلازل على اختلاف شداتها. وتنحصر هــ ذلك الأسباب في الآتي:

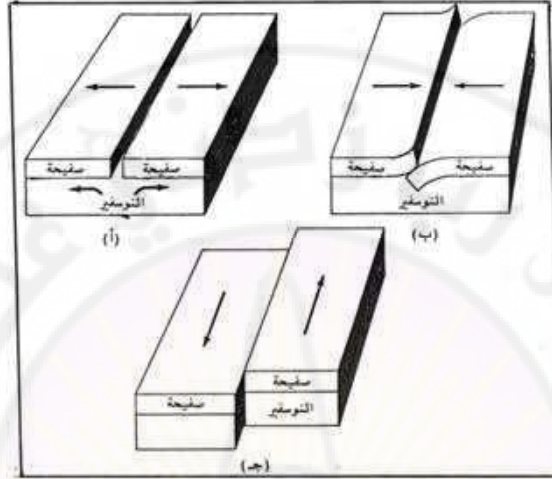
٢-١ - حركة الصفائح (القواعد) البنيوية (الصفائح التكتونية):

إن الجزء العلوي من الكرة الأرضية -يابسه وماءه- المتمثل بالـشرة الصخرية (طبقتي السيل والسيما) وبالجزء العلوي الصخري من طبقة المانتيل، والمعروفين معاً بالغلاف الأرضي الصخري (الليزوسفير Lithosphere) الجـاثم فوق الطبقة المنصهرة جزئياً من المانتيل العلوي الأدنى المعروفة بالإنثوسـفير (Asthenosphere)، يتركب من قطع كبرى كقطع الشطرنج، منفصلة بعضها عن بعض بخطوط انقطاع صدعية هي ما تدعى باسم الصفائح (القواعد)، الموضحة في الشكل (٢). والصفائح الكبرى الرئيسية، هي: الباسفيكية، الهندو ألسـترالية، الأمريكية الشمالية، الأمريكية الجنوبية الإفريقية والقطبية الجنوبية يجاذب عـدد من الصفائح البنيوية، الصغرى كما في: النازكية (Nazc) الكاربية، الفلبينية، العربية، وصفيحة كوكوس (cocos).



شكل (٢) الصفائح البنيوية التي تنقسم إليها الكرة الأرضية

هذه الصفائح ليست مستقرة وثابتة دائماً، وإنما في حالة حركة أحياناً ويتسارع مختلف، بحيث يميز بين ثلاثة نماذج للحركات الصفائحية - شكل (٣) - هي:



شكل (٣) نماذج حركات الصفائح البنيوية

أ - الحركات المتباعدة: وهي التي تأخذ فيها الصفائح حركات تباعدية بعضها عن بعض في اتجاهين مختلفين، مما يتولد عنها فجوة، تـ شكل موطنـاً لاندفاع الصخور المنصهرة نحو سطح الأرض بـ شكل اندفاعات بركانية، مصحوبة عموماً بزلزال.

ومثل هذه الحركات يشهدها المحيط الأطلسي، حيث تمتد في وسطه الحافة الفاصلة بين الصفيحتين الأوراسية والإفريقية شرقاً، والصفيحتين الأمـريكيةتين غرباً، وتوجد مثل تلك الحركات في قاع البحر الأحمر وخليج عدن.

ب - الحركات المتقاربة: تتحرك الصفائح في هذا النوع من الحركات باتجاه بعضها بعضاً متقاربة من بعضها، لتتلاقى معاً وتتصادم، وليـ ضغط بعضها على البعض، بحيث يكون أمام الصفيحتين المتصادمتين - حسب بينهما وكثافتهما - أحد خيارين، وهما:

١- غوص (هبوط) أو انزلاق لإحدى الصفيحتين تحت الأخرى؛ وذلك عند تكون الصفيحتان من سماكتين مختلفتين وكثافتين متباينتين.

٢- تلاحم صفائحي (Collision): ففي حال كانت الصفيحتان من كثافة واحدة- كأن تكونا قاريتين- فإنهما تتضاغطان بعضهما، ويحدث عندئذ ارتفاع (نهوض) في منطقة التلاحم والاصطدام. وكذلك في حال كانت إحدى الصفيحتين ذات كثافة منخفضة بشكل معتبر مما يسمح لهما الغوص ضده من الإثنوسفير مسببة في ارتفاع الصفيحة القارية الأخرى نحو الأعلى، والنتيجة سلاسل جبلية، وأفضل مثال، هو التلاحم التصادمي القاري للصفيحتين القاريتين المتقاربتين (الصفيحة الهندوأسترالية والصفيحة الآوراسية) واللتين أنتجتا جبال هيمالايا.

ومنطقة التلاحم التصادمي يعترها التشويه، مع نشاط زلزالي كبير، وبؤر زلزالية متوسطة العمق عموماً، كما هو الحال في زلزال عام (١٨٩٧) الكبير في آسام شمالي الهند. ومن الزلازل التي تنتمي إلى هذا النوع، نذكر أيضاً زلزال ولاية جوجارات الهندية عام (٢٠٠١) الذي نجم عنه مقتل (٢٠) ألف شخص، وأضرار كبيرة في الممتلكات، وتدمير نحو (٤٠٠) ألف منزل.

ج- حركات انتقال جانبية (Transform): وهي حركات أفقية أو رأسية- تتم بين صفيحتين متجاورتين ومتماستين حدودهما مع بعضهما، سواء باتجاهين مختلفين، أو باتجاهين متوافقين، دون أن تكسب أو تخسر إحداها مادة في العملية. ولكن يمكن أن ينتج عن ذلك تخريب وكشط وتكسر في منطقة التحرك التماسي، مترافق مع زلازل عنيفة وبراكين نشطة.

وأبرز الأمثلة عن تلك الحركات، هو: صدع سان أندرياس في كاليفورنيا الفاصل بين الصفيحة الباسيفيكية إلى الغرب منه التي تتحرك شمالاً بجمع- دل

(٦سم/سنة)، والصفحة الأمريكية الشمالية إلى الشرق منه والتي تتحرك في الاتجاه نفسه. ومدن لوس أنجلوس وسان فرانسيسكو اللتين تقعان الآن على الجانبين المتعاكسين لصدع سان أندرياس؛ فإذا ما استمر معدل الحركة بالاتجاه نفسه لعشرة ملايين سنة من الآن، فإن لوس أنجلوس ستصبح ضاحية لسان فرانسيسكو. وبعد (٤٠) مليون سنة من الآن ستبتلع لوس أنجلوس في أخدود ألوشيان. ومن الأمثلة أيضاً عن الحركات الأفقية؛ صدع شمال الأناضول في تركيا مولدة الحركة على طوله زلزال إزميت (Izmit) عام (١٩٩٩) الذي أدى إلى مقتل أكثر من (١٧٠٠) شخص.

د- الزلازل الصفائحية (Intraplate Earthquakes): تحدث الزلازل الكبرى من حين إلى آخر ضمن داخلية الصفائح البنيوية بعيداً عن أطرافها. والزلازل الصفائحية ليست متكررة الحدوث كثيراً- فهي أشبه بالنادرة- ولكن حجمها وقوتها كبيران. ففي عام (١٨١١-١٨١٢م) حدثت ثلاثة زلازل كبرى من القدر الثامن على مقياس ريختر، وعرفت معاً بـ زلازل نيومديرد (New Madrid) لتهدد حدود ولايات ميسوري وأركنساس وتينيسي وكنيتوكي، وليشعر بها سكان أمريكا الشمالية من كندا حتى خليج المكسيك. ومن حسن الحظ أن المنطقة التي حدثت فيها الزلازل لم تكن ذلك الحين قد اكتظت بالسكان، وإذا لم تحدث خسائر في الأرواح، كما كانت الخسائر ضئيلة في الممتلكات. غير أنه حدث تغير في المعالم الطبيعية للمنطقة، إذ ارتفعت أجزاء منها، وانخفضت أخرى، وغمرت المياه غابة وأغرققتها، وتكونت بحيرة (يلفوت) في ولاية تينيسي، كما غاصت جزر في المسيسيبي وتوقضت ضفافه.

ومثال آخر عن الزلازل الصفائحية، هو الزلزال الذي خرب مدينة شارلستون في ولاية كارولينا الجنوبية في مساء يوم (٣١) آب عام (١٨٨٦)،

وكان زلزالاً شديداً بقوة (٧,٣) على مقياس ريختر. ويعد الزلزال الأشد دقة الذي حدث في شرقي جبال الآبلاش.

وتعرف الزلازل الناتجة عن الحركات السابقة باسم الزلازل البنائية (الزلازل التكتونية)، وهي الأعنف والأخطر والأكثر حدوثاً.

٢-٢ - البراكين:

تصاحب بعض البراكين وخاصة ذات الاندفاعات الضخمة بحدوث زلازل. وتتميز المراكز الباطنية للزلازل المصاحبة للاندفاعات البركانية بأنها قريبة من سطح الأرض، ومدى انتشار موجاتها محدود الأبعاد وقوتها ضعيفة عموماً.

فالاندفاع البركاني (باندلتي - سان) في اليابان عام (١٨٨٨) لم يحدث سوى هزة خفيفة انتشرت في مساحة من الأرض تعادل (٥٠/١) من المساحة التي هزها زلزال عام (١٨٩١) في المنطقة نفسها. ومن أشهر الزلازل البركانية، تلك التي صاحبت بركان كراكاتو الأندونيسي عام (١٨٨٣)، وبراكين ماونا لوا وكيلويا في جزر هاواي.

٣-٢ - الانهيارات الأرضية:

يمكن أن تسبب الانهيارات الأرضية في حدوث زلازل، إلا أنها قليلة عموماً وضعيفة. فقد تحدث في مناطق المغائر الضمنية والمناجم، بفعل حدوث انهيار في المنجم أو في سقف المغارة. وقد حدثت اهتزازات من هذا النوع في كندا وإفريقية الجنوبية.

كما يمكن أن تحدث الزلازل من جراء انزلاقات أرضية ضخمة، كحال الانزلاق الأرضي الذي حدث في (٢٥) نيسان عام (١٩٧٤) على طول نهري مانتارو في البيرو، وأنتج أمواجاً زلزالية ضعيفة إلى متوسطة الشدة، وكان حجم

الانزلاق بحدود (١٠×١,٦ متر مكعب)، وترتب عليه مقتل (٤٥٠) شخصاً. وكذلك زلزال إيسوي (Usoy) الذي حدث في جبال البامير في الاتحاد السوفيتي عام (١٩٩١) بفعل انزلاقات أرضية.

٢-٤ - التفجيرات تحت الأرضية:

وتتمثل هذه التفجيرات بالتفجيرات النووية، أو بتفجير مواد كيميائية، تحت الأرض. ومثال عن ذلك تجربة التفجيرات النووية التي دعت باسم (بوكسار Boxcar) في صحراء نيفادا الأمريكية يوم (٢٦) نيسان على (١٩٦٨) التي كانت طاقتها تكافئ لطاقة تفجير (١٢٠٠) ألف طن من مادة (ت.ن.ت). وقد شعر بالهزة التي نتجت من ذلك سكان مدينة (لاس فيجاس) التي تبعد (٥٠ كم) عن مكان التفجير، واستمرت الهزة مدة (١٠-١٢) دقيقة.

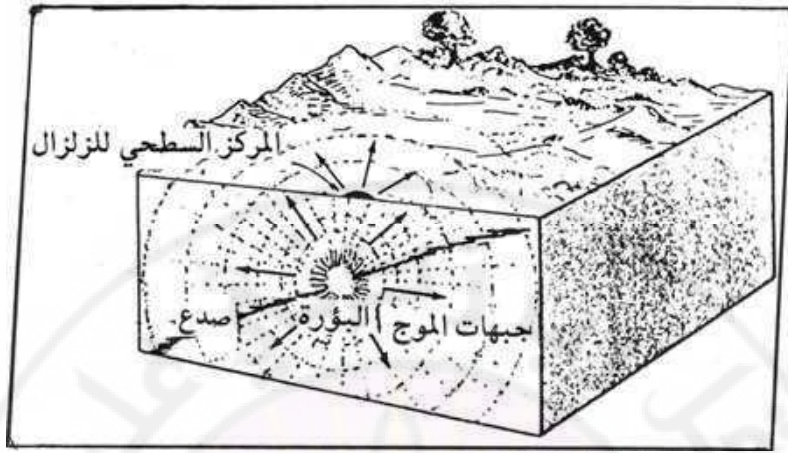
٢-٥ - التحولات الجوفية:

في حال حدوث تحولات في الصخور الجوفية على أعماق كبيرة (٢٥٠-٧٠٠ كم)، كأن يحدث تبلور في الصخور، بما يمكن أن يسبب في حدوث زلازل.

٣ - الأمواج الزلزالية:

إن المركز الداخلي الذي ينشأ فيه الزلزال يعرف بالبؤرة (Focus) أو بالمركز الجوفي (Hypocentre) ويقع عمومًا تحت سطح القشرة بعدة كيلومترات، وقد يصل عمقه إلى مئات الكيلومترات.

وفوق هذه البؤرة مباشرة عند سطح القشرة يوجد مركز انتشار الموجات الزلزالية أفقياً، ويعرف بالمركز السطحي للزلزال (Epicentere) شكل (٤).



شكل (٤) البؤرة الزلزالية الداخلية والسطحية

واعتماد على عمق البؤرة الداخلية للزلازل، صنف الزلازل إلى ثلاث أنواع:

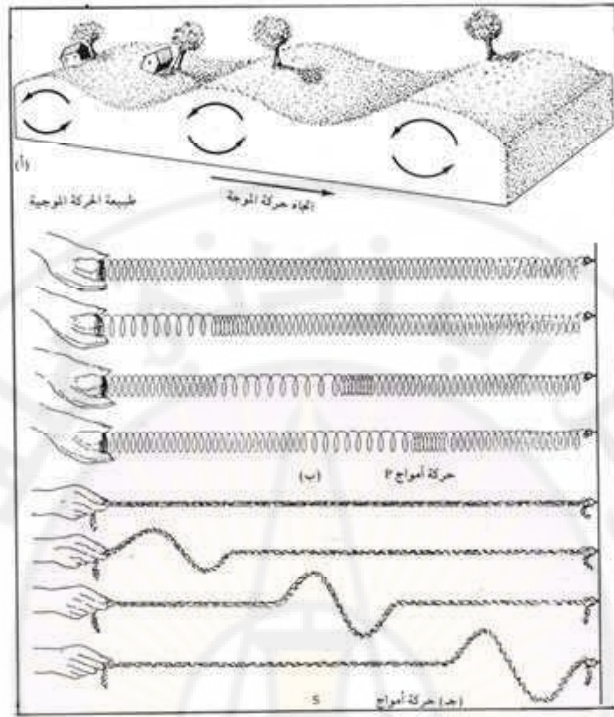
١- زلازل ضحلة؛ وهي قريبة من السطح بعمق يتراوح بين ٠-٥٠ كم.

٢- زلازل متوسطة العمق؛ ويقع مركزها الداخلي على عمق يتراوح بين (٥٠-٢٥٠ كم).

٣- زلازل عميقة؛ ويقع مركزها الداخلي على عمق يتراوح بين (٢٥٠-٧٥٠ كم). ودون هذا العمق لا تحدث زلازل.

وعموماً فإن الزلازل المتوسطة العمق والعميقة لا تحدث أضراراً سطحية كبيرة.

ومن مركز الزلازل تنبثق الأمواج الاهتزازية، التي تكون إما عميقة وهي أمواج مباشرة، وأما منطلقة من المركز السطحي. لذا هناك نوعان من الموجات الزلزالية حسب مكان انبثاقها وانتشارها - شكل (٥) :-



شكل (٥) نماذج الأمواج الزلزالية والحركة المميزة لها

٣-١ - أمواج مباشرة؛

وهي الأمواج المنطلقة من المركز الداخلي والمرتحلة ضد من داخلية الأرض، وهي على نوعين:

أ- أمواج طولية: وتعرف بأمواج (P) أو الأمواج الرئيسية. وهي أمواج تضاغطية، سريعة جداً، تشبه الأمواج الصوتية. وذبذباتها ق-صيرة، وس-رعته تتراوح بين (٥,٥-١٣,٨ كم/ثا). وهي أسرع الأمواج الزلزالية، وبالتالي فهي أول من يصل إلى سطح الأرض. وتنتقل في الأجسام الصلبة والسائلة والغازية.

ب- أمواج مستعرضة أو عرضية؛ وهي م-ا تع-رف ب-أمواج (S)، أو الأمواج الثانوية... وهي أمواج اهتزازية، تنتقل بسرعة تتراوح بين (٢,٢-

٧,٣ كم/ثا، وبشكل متعارض مع اتجاه انتشار الموجات الطولية. وهي لا تنتقل سوى في الأجسام الصلبة.

٣-٢- الأمواج السطحية؛

وهي الأمواج التخريبية عموماً المرافقة للزلازل. وتجتاز الطبقات الصخرية العليا لقشرة الأرض منتشرة من المركز السطح للزلازل، متحركة في مجال متعرج - على سطح الأرض أو قريباً جداً منه - بسرعة تتراوح بين (٤ - ٤,٤ كم/ثا)، ولذا، فإنها تصل إلى مكان من سطح الأرض في وقت متأخر عن غيرها من الموجات. وهي تتحرك في مسار دائري تقريباً مشابهة لحركة الماء في الأمواج المحيطية العالية.

٤ - مقياس الشدة الزلزالية:

هناك مقياسان للشدة الزلزالية، هما:

٤-١ - مقياس ريختر (Richter, 1949):

ويعتمد على الآثار التي يحدثها الزلازل على حركة الأرض والأضـرار التي يسببها، انطلاقاً من كمية الطاقة المنطلقة من الزلازل - كما هي مسجلة بواسطة مسجل الزلازل - . ويستعمل هذا المقياس بشكل واسع للتعبير عن درجة شدة (قوة) الزلازل.

ومقياس ريختر هو مقياس أقدار (سعات Magnitude). كما أنه مقياس لوغاريتمي ذلك أن تزايد في العدد درجة واحدة يعني تضاعف في حركة الأرض (١٠ مرات)، وانطلاق طاقة أكبر بـ (٣٠) مرة. فزلازل من القدر (٦,٥) يطلق طاقة أكبر بنحو (٣٠) مرة من زلازل من القدر (٥,٥)، وأكبر بنحو (٩٠٠) مرة من زلازل من القدر (٣,٥).

مرة من زلزال من القدر (٤,٥). و زلزال من القدر (٨,٥) يطلق طاقة أكبر بنحو بليون مرة من الطاقة التي يطلقها زلزال صغير يشعر به الإنسان. ولقد سجلت زلازل ضخمة قاربت أقدارها من (١٠). في حين لا يشعر الإنسان عموماً بالزلازل ذات القدر دون (٢,٥). والجدول التالي (١) يبين أقدار الزلازل وتأثيراتها وفقاً لمقياس ريختر.

أقدار ريختر	تأثيرات الزلازل
٢,٥ وما دون	عموماً لا يشعر بها الإنسان غير أنها تسجل
٤,٥	ضرر محلي
٦,٠	يمكن أن تكون مدمرة في المناطق المأهولة بالسكان.
٧,٠	زلازل رئيسية. أضرارها كبيرة جداً. تحدث بمعدل عشرة كل سنة.
أكبر من ٨	زلازل شديدة. تحدث بمعدل مرة واحدة كل (٥-١٠) سنوات. ينتج عنها تدمير شامل في المناطق الأهلة.

٤-٢- مقياس ميركالي المعدل (Mercalli scale):

ويقوم هذا المقياس على مدى تأثير الزلازل على الأجسام الأرضية، ويتألف من (١٢) درجة شدة، تبدأ من الدرجة (١) التي لا تتسبب بأية أضرار، ولا يتم الشعور بها من قبل الناس، ولا يمكن كشف الزلازل إلا بواسطة مسجلات الزلازل، وحتى درجة الشدة (١٢) وهي تمثل أعنف الزلازل، وتسبب تدميراً كلياً لما يقع في مجال تأثيره. وبينما تعتمد قيم الشدات الزلزالية ما بين (١-٥) على إحساس الناس بالهزات الأرضية، فإن القيم الأعلى (٦-١٢) تعتمد على مقدار الأضرار في البناء، وتأثيرات تمزقات الصدوع.

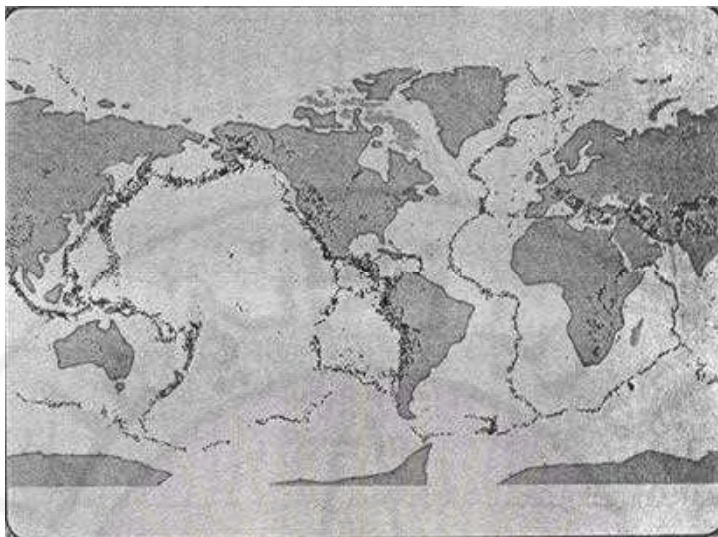
والجدول التالي (٢) يبين درجات مقياس الشدة الزلزالية وفقاً لمقياس ميركالي (Giuseppe Mercalli) المعدل

درجة الشدة	التأثير
١	لا يشعر بها سوى عدد قليل جداً وتحت ظروف خاصة.
٢	يشعر بها عدد قليل من الأشخاص وهم في وضع السكون، خاصة في الطوابق العليا من الأبنية. كما يمكن أن تتأرجح الأجراس الخفيفة المعلقة.
٣	يشعر بها تماماً داخل الأبنية، وخاصة الطوابق العليا، ولكن أشد خاص كثيرون لا يتحققون من الزلزال. تتأرجح بعض السيارات الواقفة. ارتجاج النوافذ والأبواب. يمكن تقدير مدة بقاء الهزة.
٤	يشعر بها معظم الأشخاص الموجودين داخل الأبنية وفي ساعات النهار، وعدد قليل من الموجودين خارج الأبنية، في الليل يوقظ بعض الأشخاص النائمين. ترتج الأبواب والنوافذ، والأطباق. إحساس يشبه الطرق على الأبنية. تتأرجح السيارات الواقفة بشكل واضح.
٥	يشعر بها تقريباً كافة الأشخاص، ومعظم النائمين يتم إيقاظهم. تنكسر بعض الأطباق والنوافذ. تسقط بعض طلاءات الجدران. يمكن أن تتوقف الساعات البندولية.
٦	يشعر بها جميع الناس. يتحرك الأثاث. تتحطم الجدران. يتساقط طلاء الجدران.
٧	جميع الناس يهربون خارج منازلهم. الأضرار تختلف حسب تصميم الأبنية، فهي لا تذكر في الأبنية القوية. متوسطة إلى خفيفة في الأبنية

	الضعيفة. يشعر بها في السيارات المتحركة. سقوط ض- فاف الأنه-ار الشديدة الانحدار.
٨	تدمير بسيط في الأبنية القوية والمصممة جيداً. تهدم كبير في الأبنية الضعيفة. سقوط النصب التذكارية والجدران. انقلاب الأثاث الثقيل. قذف الرمل والطين بكميات قليلة. تغيرات في مستوى مياه الآبار. الشعور بالرعب والخوف من قبل الأشخاص الذين يقودون سيارات.
٩	أضرار معتبرة في الأبنية القوية، وتدمير شامل للأبنية العادية. تكسر الأنابيب الموجودة تحت الأرض. تشقق الأرض.
١٠	تدمير شامل للأبنية الضعيفة. كما أن الأبنية الطابقية غالباً ما يصيبها التهدم. تشقق الأرض بكثرة. تنحني السكك الحديدية. تحدث انهيارات وانزلاقات أرضية.
١١	أبنية قليلة جداً تستطيع الصمود. تتهدم الجسور. تشققات واسعة في الأرض. تتحطم جميع أنابيب الخدمات العامة الموجودة تحت الأرض. تدهور وانزلاق في الأرض الرخوة. حدوث التواءات كبيرة في السكك الحديدية.
١٢	تدمير عام وشامل. يمكن مشاهدة الموجات الزلزالية على سطح الأرض. تقذف الأشياء في الهواء.

٥ - المناطق الزلزالية في العالم:

يرتبط حدوث الزلازل بمناطق عدم الاستقرار من القشرة الأرضية التي توجد على طول الحدود الفاصلة بين الصفائح البنائية، وحيث تكثر الصدوع والبراكين؛ ولذا يمكن تحديد أهم المناطق الزلزالية بالآتي - شكل (٦) - :



شكل (٦) التوزيع العالمي للزلازل

- ١ - منطقة حلقة النار (حزام حلقة النار) حول المحيط الهادى، التي يتشكل فيها نحو (٦٨%) من زلازل العالم.
- ٢ - منطقة الالتواءات الألبية: والتي تمتد من جبل طارق فشمال البحر المتوسط مروراً بجبال الألب...طوروس... إلى زاغروس... هيمالايا، انتهاءً بجنوب شرقي آسيا. ويتشكل فيها نحو (٢١%) من زلازل العالم.
- ٣ - منطقة الأخاديد الصدعية العظمى؛ كما في الأخدود الأفريقي العظيم.
- ٤ - منطقة الضعف الفشري في المحيط الأطلسي؛ حيث الجزر البركانية المبعثرة.

٦ - الآثار الزلزالية:

تختلف الآثار الناجمة عن الزلازل، باختلاف درجة شدة الزلزال، ومكان حدوثه، وطبيعة المنطقة المحيطة ببؤرة الزلزال - من حيث التكوينات الصخرية

والوضعية البنيوية - التي تحدد درجة سرعة انتشار الموجات الزلزالية وم - دى إمكانية حدوث تصدعات جانبية، وزلازل ثانوية مرافقة للزلازل الرئيسي.

ومن أهم الآثار الزلزالية التخريبية والتدميرية، نذكر

٦-١ - حدوث انزلاقات أرضية:

تترافق الزلازل عموماً بانزلاقات أرضية فوق بؤرة الزلزال وقريباً م - ن مركزه السطحي، وتكون انزلاقات إما عمودية (رأسية) أو أفقية، أو مختلطة. فلقد ترافق زلزال كاليفورنيا (١٨٧٤) الذي تعرض له وادي أوي - ن (Owens) بتشكيل جرف صدعي (انزياح شاقولي) بارتفاع وصل إلى سبعة أمتار. كما ترافق زلزال (١٧ آب عام ١٩٥٩م) في ولاية مونتانا الأمريكية - عند بحيرة هبجن (hebggen) - بانزلاقات شاقولية نحو (٦,٥م). وأيضاً زلزال ميندو - آواري في اليابان عام (١٨٩١م). بينما كان الانزياح أفقياً في زلزال سان فرانسيسكو عام (١٩٠٦) بمقدار نحو (٦,٥م).

ويترتب على الانزلاقات حدوث تشويش في الشبكة المائية، وتحطم ط - رق المواصلات وتقطعها، وتخريب الجسور وتدميرها، وانهيار في المنشآت العمرانية.

٦-٢ - حدوث انهيارات أرضية، وانزلاقات، وتشقق في الأرض:

مما تترافق به الزلازل حدوث انهيارات أرضية (صد - خرية وس - واه) ضخمة، تولد سدوداً مائية إذا ما توضع في وادٍ أو نهر، مما يؤدي إلى تغريق للأراض الزراعية، وحدث تدمير المنشآت العمرانية، وتخريب في ط - رق المواصلات. ومعظم الانهيارات تحدث في المناطق الجبلية. ومن الأمثلة عنها انهيارات البيرو في (٣١) أيار عام (١٩٧٠) نتيجة الزلزال العنيف الذي ضرب أراضيها بقوة ثمانى درجات.

كما ينتج عن الزلازل انزلاقات أرضية يفوق خطرها خطر الانهيارات، وهذا ما تسبب به زلزال (مينو- آواري) الذي ضرب مقاطعتي (مينو وآواري) في اليابان (يوم ٢٨ تشرين أول عام ١٨٩١)، الذي نتج عنه نحو (١٠,٠٠٠) انزلاق أرض. كما أحدثت الانزلاقات التي سببها زلزال آلاسكا (١٩٦٤)، أضراراً جسيمة في المنشآت العمرانية.

٦-٣- تداعي المنشآت العمرانية:

ينجم عن الزلازل القوية التي تزيد شدتها على ست درجات، تداع وانهار في المنشآت العمرانية - (شكل ٧) -، خاصة المناطق التي لم تصمم المباني فيها لمقاومة الزلازل. والأمثلة عن ذلك كثيرة، نذكر: زلزال أرمينيا عام (١٩٨٨) الذي دمر مدينة (سبيتان) بكاملها ومعظم مدينة لينينكان، وأجزاء من مدينة كيروفان.



شكل (٧-ب) بناء على وشك التداعي من أساسه بسبب زلزال نيجلنا الياباني (يوم ٦٦ حزيران عام ١٩٦٤)



شكل (٧-أ) صورة لامرأة أرمينية نجت مع أطفالها من الزلزال

وزلزال رومانيا (٤ آذار عام ١٩٧٧) الذي تسبب في انهيار معظم الأبنية القديمة في العاصمة بوخارست، وتصعد بعض أبنيتها الحديثة. كما طال الدمار مدينة الأصنام في الجزائر بزلزال عام (١٩٥٤)، ومدينة أغ-ادير بـالمغرب بزلزال عام (١٩٦٠).

٦-٤ - تدمير البنى التحتية:

إن حدوث التداعي في الأبنية ضمن المدن، يرافقه تحطم في أنابيب المياه وانقطاعها، وفي خطوط نقل الطاقة الكهربائية، وخطوط الاتصالات. كما يـنجم عن الزلازل تحطم الجسور، والأنفاق، وتقطع الطرق، وتحطم السدود، وما ينتج عنها من تدفق مائي وطوفانات مدمرة.

٦-٥ - اندلاع الحرائق:

في المدن التي تتعرض للزلازل، فإن جزءاً كبيراً من الدمار والـضحايا البشرية ينتج عن الحرائق التي تحدث نتيجة التحطم في الموصلات الكهربائية، وبفعل اشتعال أنابيب الغاز... وغير ذلك. والزلازل الذي ضرب طوكيو وـ عام (١٩٢٣) كانت الحرائق التي نتجت عنه هي السبب في الدمار الكبير؛ فالزلازل والحرائق معاً قتلوا نحو (٢٠٠) ألف شخص، ودمرت (٣٦٠) ألف منزل.

وفي عام (١٩٩٥)، فإن الحرائق التي سببها زلزال كوبي في اليابان كانت السبب الرئيسي في الأضرار التي لحقت بمدينة كوبي. ونحو مليون من البيوت الخشبية في طوكيو أمت عليها النيران. وكذلك الحال في الحرائق التي توالـدت من زلزال ليشبونه بالبرتغال (عام ١٧٥٥)، وزلزال فرانسييسكو (١٩٠٦) الذي كان معظم التخريب الذي أصاب المدينة بسبب الحرائق التي اندلعت، ولم يتمكن رجال الأطفال من السيطرة عليها، لتحطم مياه الأنابيب، وعدم تمكنهم الحصول بأي طريقة على المياه اللازمة لذلك، وبلغ عدد الضحايا نحو (٧٠٠) شخص.

٦-٦ - تشكل أمواج تسونامي:

إن الزلازل التي تحدث بعيداً عن سواحل البحار في أعماق المحيطات ليست هي السبب المباشر في التدمير الذي تتعرض له مناطق اليابسة القريبة من السواحل، ولكن التدمير والضحايا سببها ما يتولد عن تلك الزلازل من أمواج بحرية مائية ضخمة هي ما تعرف باسم التسونامي، التي ترتحل مئات بل آلاف الكيلومترات، في البحار والمحيطات لتلحق الخراب على طول السواحل التي تتعرض لها، بفعل ارتفاع الماء الموجي على الشواطئ لأكثر من عشرة أمتار، وقد يصل إلى نحو (٣٠) متراً، مندفعاً بعيداً في اليابسة مغرقاً الأراضي الزراعية، ومنزلاً الخراب والدمار في المنشآت العمرانية والتجمعات البشرية. وعموماً، فإن التسونامي الناتجة عن الزلازل البحرية، تلحق خسائر في الأرواح والممتلكات، تفوق ما ينتج عن الكثير من الزلازل القارية.

٦-٧ - حدوث اندفاعات بركانية:

تصاحب العديد من الزلازل بالاندفاعات بركانية، وهذا ما نتج عن زلزال شيلي عام (١٩٦٠)، حيث اندفع بركان بويهوي (puyehue) في (٢٤) أيار، أي بعد حدوث الزلزال بنحو يومين.

٧ - التنبؤ بالزلازل:

رغم التقدم العلمي والتطور التقني، واختراع أجهزة لقياس الشدة الزلزالية، ومعرفة الكثير عن آلية حدوث الزلازل بأنواعها المختلفة وشدة تأثيراتها المتباينة، ما زالت البشرية تفتقد إلى الوسائل والأدوات والطرائق التي تمكنها من التنبؤ عن حدوث زلزال هنا أو هناك، وإمكانية كشف حدوثه قبل دقائق أو ساعات. إنه الكارثة التي لا نندرنها عن وقوعها في أماكن انطلاقتها.

ومع عدم وجود أية أجهزة أو سواها للكشف الدقيق ع-ن مت-ى ومك-ان حدوث الزلازل، إلا أن هناك بعض المؤشرات التي تتقدم حدوث الزلازل، وتدل بالتالي عليها، نذكر منها:

١ - **حدوث تشوهات في وسط الأرض،** في المناطق القريبة من الب-ؤرة الزلزالية، متمثلة في تماوجات في سطح الأرض (ارتفاع في بع-ض الأم-اكن وهبوط في أماكن أخرى).

٢ - **الهزات الأولية (Microearthquak)؛** من المعروف أن الزلازل الأعنف والمدمرة يسبقها عدد من الهزات الخفيفة، قد يصل عددها إلى عدة مئ-ات ف-ي الساعة الواحدة قبل بعض الزلازل الكبيرة.

٣ - **تغيير المجال الكهربائي الجوي** في منطقة الزلازل قبل حدوثه؛ بفعل انطلاق جزيئات الهواء والجسيمات المشحونة إيجابياً الموجودة ف-ي م-سارات القشرة الأرضية نتيجة للضغط الشديد الذي تتعرض له الصخور.

٤ - **التغيير في المغناطيسية الأرضية:** إذ أن لكل ص-خر م-ن ص-خور القشرة الأرضية مغناطيسية معينة تتغير مع تغيّر الضغط الواقع علي-ه، حي-ث تزداد عموماً نتيجة الضغط الشديد الذي تتعرض ل-ه الصخور ف-ي منطقة الزلازل، مما يقود إلى تغيير في المجال المغناطيسي الأرضي في تلك المنطقة.

٥ - **السلوك الشاذ لبعض الحيوانات:** لقد بات مسلماً به أن بعض أن-واع الحيوانات تمتلك وسائل إحساس خاصة تحس بحدوث ال-زلازل قبل وقوعه-ا بوقت قصير. لذا يهتم في المناطق الزلزالية بمراقبة تصرفات تلك الحيوانات داخل البيوت أو الحظائر أو الطبيعة أو في حدائق الحيوانات. شكل (٨).



شكل (٨) تنبه الحيوانات للزلازل قبل حدوثها

ومن المعروف أن الأبقار والكلاب والقطط والخيول... وغيرها، يعترها اضطراب قبل وقوع الزلازل ببضع ساعات. وأكثر الحيوانات اضطرابات تلك التي تعيش تحت سطح الأرض كالثعابين والفئران وسواهما التي تعترها حالة من الهياج، إذ إنها تخرج من جحورها بسرعة وهي في حالة خوف شديد، ويفسر تصرفها هذا بظهور أمواج كهرومغناطيسية قبل الزلازل تستقبلها هذه الحيوانات فتؤثر في جهازها العصبي فتتفعل بشدة، وتهرب بعيداً عن الوجهة التي أتت منها تلك الأمواج. وهذا دليل على أن تلك الحيوانات تمتلك حساً تفوق الحاسة السادسة للإنسان.

ومما يدل على ما تقدم، أن زلزال تسونامي المحيط الهندي الشرقي في يوم (٢٦) كانون الأول عام (٢٠٠٤م) الذي أودى بحياة نحو (٢٠٠) ألف إنسان، لم ينتج عنه مقتل أي حيوان من حيوانات المنطقة التي تأثرت بالزلزال، بما في ذلك الحيوانات الثديية الضخمة، كالفيلة.. وما شاكلها.

ليس هذا فحسب، بل إن الحيوانات المائية تتحسس للموجات الزلزالية بسرعة أكثر من سرعة إحساس الإنسان بها، وهذا ما يبدو منعكساً على حركاتها، إذ تبدو في حالة اضطراب وهيجان، وتترأى التماسيح والدلافين

والحيتان في حركة ارتفاع فوق الماء وهبوط تحته، مع أصوات تصدر عنه-أ. كما أن الأسماك بالقرب من الشواطئ تُبدي حركة غير طبيعية.

٦- حدوث تغيرات في مستوى سطح البحر؛ إذ إن الماء لمرونته أكثر

استجابة للموجات الزلزالية من اليابس، لذا تنتاب سطحه تغيرات في مستوى سطحه بشكل موجي، يتوافق نسبياً مع الموجات الزلزالية السطحية. لذا فبملاحظة تلك الاضطرابات في سطح الماء (بحار، محيطات) في يوم هادئ، فإن هذا قد يكون مؤشراً على وقوع زلزال، أو أن أمواجه تقترب منا.

٨- نماذج عن الكوارث الزلزالية في العالم:

ليس هناك ما هو أشد وأكثر خراباً ودماراً من الزلازل، التي تثير الرعب بـ مجرد الحديث عنها، وبخاصة ما كان منها بقوة (٧) درجات وما فوق على مقياس ريختر. ولا يذكر زلزالٌ قوي ضرب هذه المنطقة أو تلك إلا والدمار قرينه.

وإذا ما توقفنا عند عام (١٩٧٦) كمثال، وجدنا أن الخسائر في الأرواح فقط نتيجة الزلازل كانت بحدود (٧٠٠) ألف شخص، ما عدا الجرحى. والخسائر في الممتلكات كانت بعشرات بلايين من الدولارات. ولفد توزعت ضحايا عام (١٩٧٦)؛ كالآتي: (٢٧) ألف شخص قتلوا يوم (٤) شباط في غواتيمالا، و(٩٠٠) شخص قتلوا في إيطاليا بزلزال (٩) أيار، و(٦٥٠) ألف شخص قتلوا في الصين من زلزال إقليم تانغشان في (٢٨) تموز، و(٦٠٠) قتيل في أيرلان الغربية (النصف الغربي من جزيرة غينيا الجديدة) من زلزال يوم (٢٥) حزيران، و(٢٠٠٠) شخص قتلوا في الفلبين بسبب تسونامي زلزال (١٦) آب، و(٤٠٠٠) قتيل في تركستان من الزلزال الذي حدث قرب مدينة مواردية في يوم (٢٤) تشرين الثاني.

وليس عام (١٩٧٦) فقط المشهور بكوارثه الزلزالية، فهناك أعوام أخرى حدثت فيها زلازل ذات كارثية كبرى: ففي (٢٣) كانون الثاني عام (١٥٥٦)

ضرب إقليم شانسى في الصين زلزالٌ بقوة (٨,١) درجة، تسبب في مقتل نحو (٨٣٠) ألف شخص. كما أن زلزال مسينا في إيطاليا في (٢٨) كانون الأول عام (١٩٠٨) تسبب في مقتل نحو (١٣٠) ألف شخص.

وفيما يلي نماذج لبعض الزلازل المشهورة:

١ - زلزال الشيلي (١٩٦٠):

من أعنف الزلازل التي حدثت وسجلتها أجهزة الرصد الزلزالية هــ و زلزال الشيلي في (٢٢) أيار عام (١٩٦٠)، الذي بلغت شدته (٩,٥) على مقياس ريختر. وتوافق هذا الحدث مع وجود صدع كبير بطول (٨٠٠ كم). والهزة الكبرى تلاها عدة هزات أضعفها في يوم (٢١) أيار عام (١٩٦٠)، محدثة أضراراً جسيمة في الممتلكات في مدينة كونسبسيون المركز الصناعي الرئيسي في الشيلي وما يجاورها. وقد حددت بؤرة الزلزال عند تقاطع خط عرض (٣٩,٥) جنوباً مع خط طول (٧٤,٥) غرباً، ومكان عمق البؤرة نحو (٣٣) كم، بالقرب من ساحل الشيلي.

ولقد تولد عن الزلزال أمواج تسونامي وصل ارتفاعها إلى ما يقارب مـ (٣٠م)، لتضرب سواحل الشيلي والبيرو، وتصل حتى هاواي واليابان، حيث كانت تأثيراتها على طول خط الساحل في المحيط الهادي.

وكانت المدت الشيلية (فالديفيا وبيرتومونز) الأكثر معاناة من الزلزال وما نتج عنه، بسبب قربهما من مركز الزلزال. ونحو ربع الطاقة الزلزالية العالمية التي انطلقت بين عامي (١٩٠٤ و١٩٨٦) انطلقت في هذا الزلزال الضخم، الذي نتج عن الحركة باتجاه الشرق لصفيحة نازكا الباسفيكية الشرقية تحت الصفيحة الأمريكية الجنوبية الأسمك والأثقل.

وعلى الرغم من الخسائر الجسيمة في الأرواح (٥٧٠٠ شخصاً)، كانت أول مما يمكن لها أن تحدث بسبب التحذيرات التي أعقبت الهزات الصغيرة الأولى، لترك معظم السكان منازلهم عند الهزات الأولى. وبلغت قيمة الخسائر في الممتلكات نحو (٥٥٠) مليون دولار. بالإضافة إلى تدمير العديد من المدن والقرى.

ولقد تغير المنظر العام في الشيلي، بسبب كمية الطاقة الكبيرة التي انطلقت من الزلازل، وما نتج عنها من انزلاقات أرضية ضخمة، وتدفقات كتلية للفتات والصخور على المنحدرات الجبلية للأنديز. وكانت بعض الانزلاقات الأرضية ضخمة، عملت على تغيير مجرى بعض الأنهار الرئيسية، وخلقت سدوداً حجزت المياه مكونة بحيرات. كما أن الأرض على طول الساحل الشيلي - وبوجه خاص في ميناء المدينة بيورتومونت (Puerto Montt) - هبطت كنتيجة لحركة الأرض خلال الزلازل، وطغت مياه المحيط على المدن الساحلية. ولقد أعقب الزلزال أيضاً اندفاع بركان بويهوي (puyehue) في (٢٤) أيار.

٢- زلزال تانغشان الكبير (Great Tangshan):

من الزلازل الشديدة التي شهدتها العصر الحديث، الذي ضرب مدينة تانغشان الواقعة في شمال الصين في (٢٨) تم - وز - عام (١٩٧٦). فالضغط الإقليمية التي نتجت من التصادم الغوصي لصفحة شبه القارة الهندية مع الصفحة الآوراسية، تسببت في حدوث عدة صدوع في المنطقة، إحداها بعمق (١٠) كم تحت المدينة.

وكان الزلزال بقوة (٧,٨) درجة على مقياس ريختر، وحدث الساعة الثالثة واثنين وأربعين دقيقة صباحاً، عندما كان معظم الناس نياماً في بيوتهم، متسبباً في انهيار نحو (٩٣%) من بيوت المدينة، وتداعي نحو (٧٨%) من

الأبنية الصناعية. وقتل من الزلازل أكثر من ربع مليون من سكان المدينة، وهذا ما يعادل ربع سكان المدينة.

٣- زلزال هانشين الكبير (Great Hanshin):

في اليوم السابع عشر من شهر كانون الثاني عام (١٩٩٥) ضرب زلزال ضخم المدينة اليابانية الصناعية كوبي (Kobe) في وسط جزيرة هونشو-ش-كل (٩) -، مسبباً خراباً ودماراً كبيرين، قدرت قيمة الأضرار الناتجة عنه بنحو (١٣٠) بليون دولار أمريكي. ودعي هذا الزلزال بزلزال هانشين الكبير، كونه الزلزال الأقوى الذي ضرب اليابان من زلزال كانتو الكبير عام (١٩٣٢).



شكل (٩) زلزال هانشين الكبير في اليابان في منطقة كوبي

وقد حدث الزلزال خلال ساعات الصباح الباكر، ومعظم الناس نيام، وكان من القدر (٨ و٦). ونتج عنه مقتل (٥٥٠٠) شخص، وتضرر منه أو دمر (٦٤٠) ألف منزل. ومع أن زلزال هانشين كان أقصى عنف خلال نحو (٢٠) ثانية. إلا أن عمقه كان ضحلاً (٢٠ كم)، وهذا ما ترتب عليه خسائر كبيرة.

وكان التخريب والتدمير على أشده في الأجزاء الوسطى من مدينة كوبي، وأجزاء من أوساكا (Osaka) المجاورة.

وإنه لمن المدهش، أن الزلزال شعر به بـ شكل كبير ـ ر سـ كان العاصمة اليابانية طوكيو التي تبعد عن مركزه نحو (٤٥٠ كم).

ورغم أن كوبي لا تعد مركزاً للنشاط الزلزالي، إلا أن الصدوع النشطة في منطقتها جعلتها عرضة لحدوث الزلازل، خاصة، وأنه تحت مدينة كوبي يوجد صدع حركته أفقية، وبلغ معدل انزياحه الأفقي خـ لال الزلـ زال نحو (١٣٠ سم)، وهو أول من الانزياح في صدع كانتو بزلزال كانتو الكبير السابق لزلزال كوبي بنحو (٧٢) سنة.

وتعزى إحدى أسباب الخسائر الجـ سيمـ في كـ وبـ، كونها منطقة التكنولوجيا الحديثة، والصناعة المتطورة، وعقدة مواصلات بين غربي اليابان وشمالها الشرقي.

٤ - زلزال كاليفورنيا (صدع سان أندرياس):

يمثل صدع سان أندرياس في كاليفورنيا الحد الرئيسي بين الـ صفيحتين الباسيفيكية والأمريكية الشمالية - شكل (١٠) - . فالصفيحة الباسيفيكية تتحرك باتجاه الشمال الغربي وبمعدل نحو (٦ سم/سنة)، وتعتري هذه الحركة قفـ زات مفاجئة، كالتى كانت السبب في زلزال سان فرانسيسكو الكبير في (١٨) نـ ـ سان عام (١٩٠٦)، وبلغت شدته (٨,٣) على مقياس ريختر، والذي تسبب في اشتعال حرائق مدمرة أدت إلى مقتل نحو (٣٠٠٠) شخص، وتدمير الجزء الرئيسي من المدينة الخشبية الرئيسية. وشكل هذا الزلزال مفتاحاً لدراسة الزلـ زال في الولايات المتحدة.

ومن زلازل كاليفورنيا الشديدة، نذكر منها أيضاً: زلزال لومابريتا (Loma



شكل (١٠) منطقة زلزال
كاليفورنيا (صدع سان اندرياس)

prieta) الذي تعرضت له مدينة سان فرانسيسكو وضواحيها، مساء يوم (١٧) تشرين الأول م - ن عام (١٩٨٩)، واستمر لمدة (٢٠) ثانية، وبلغت قوته (٦,٩) درجة حسب مقياس ريختر. وكان مركز الزلزال إلى الشمال الغربي م - ن سان فرانسيسكو بنحو (١٦٠ كم) في منطقة بحرية. وشعر الناس به في دائرة قطرها نحو (٨٠٠) كم. محدثاً خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات؛ فقد تسبب في مقتل (٢٧٢) شخصاً - معظمهم كان نتيجة انهيار جانب من طريق أو كلابند المعلق الذي طوله أكثر من (١,٥) كم - لدمر السيارات بمن فيها -، وجرح نحو (١٤٠٠) شخص. وبلغ حجم الخسائر المادية أكثر من بليون دولار.

وفي (١٧) كانون الثاني عام (١٩٩٤) ضرب جنوبي ولاية كاليفورنيا - أيضاً - زلزالٌ عنيفٌ أشد قوة من زلزال عام (١٩٨٩)، حيث

بلغت قوته (٨) درجات وعرف بزلزال نورثريدج (Nothridge)، متسبباً في مقتل (٦١) شخصاً، وخسائر في الممتلكات بلغت (٤٤) بليون دولار، وبقاء نحو (٢٠) ألف شخص دون مأوى. كما تعرضت الطرقات، وأنابيب الغاز، ووسائل نقل الطاقة إلى أضرار جسيمة.

وعموماً فإن نحو (٢٥٠) زلزالاً ضرب ولاية كاليفورنيا من بداية القرن العشرين، بجاذب عشرات الهزات الخفيفة. وكان أعنفها زلزال عام (١٩٠٦).

٥ - زلزال السلفادور (٢٠٠١):

في (٣١) كانون الثاني عام (٢٠٠١) حدث زلزال بقوة (٧,٦) درجة على مقياس ريختر، بعيداً عن ساحل السلفادور بنحو (١٠٠) كم، إلى الجنوب الشرقي من العاصمة سان سلفادور، نتيجة غوص صفائح ولقد شعر به سكان مدينة مكسيكو، وكذلك سكان نيكاراغوا، وهندوراس، وأجزاء من كوستاريكا، وبما. وفي السلفادور، قتل الزلزال نحو (٧٠٠) شخص، وتسبب في أذى أكثر من (٢٥٠٠) شخص، ونزوح أكثر من (٤٥٠) ألف شخص من بيوتهم التي تضررت من الزلزال. وكانت ضاحية لاس كوليناس في مدينة سان سلفادور هي الأكثر معاناة، لما تعرضت إليه من انزلاقات أرضية أودت بحياة (٢٦٥) شخصاً، وتركت (٢٨٥) شخصاً اعتبروا في عداد المفقودين.

٦ - زلزال الصين (٢٠٠٨-٢٠١٤):

لقد تعرضت مقاطعة سيتشوان الصينية إلى عدة زلازل مدمرة خلال الفترة (٢٠٠٨-٢٠١٤):

ففي عام (٢٠٠٨) ضرب زلزالاً بقوة (٨) درجات منطقة وينتشوان مسبباً في مقتل نحو (٨٠) ألف شخص.

وفي (٢٠) نيسان من عام (٢٠١٣) ضرب منطقة لو-شيان في مقاطعة سيتشوان زلزالاً بقوة (٧) درجات أسفر عن مقتل (١٩٦) شخصاً. كما أنه في شهر أيار عام (٢٠١٤) تعرضت سيتشوان لزلزال بقوة (٧,٩)، خلف وراءه نحو (٩٠) ألف قتيل، معظمهم من جراء انهيار مدارس وغيرها من المباني المشادة بشكل سيء.

وفي صباح يوم السبت (٥) نيسان من عام (٢٠١٤) ضرب زلزال مقاطعة يونان في جنوبي الصين، وكان بقوة (٥,٣) درجة. وتسبب في إصابة

نحو (٢١) شخصاً. وحدث أضرار في نحو (٢٧٠٠) مذ-زل، تع-رض (٧٥) منزلاً منها للانهيار، بالإضافة إلى هجر نحو (٢٠) ألف شخص لمنزلهم.

٧- زلازل أخرى:

بالإضافة إلى الزلازل الكبرى سابقة الذكر، هناك مئات، بل آلاف من الزلازل التي ضربت الأرض عبر تاريخها، وكان بعضها شديد التدمير، نذكر أمثلة عنها:

- في عام (١٧٥١م) ضرب المنطقة الوسطى الغربية من سورية زلـ بقوة نحو (٧,٢) درجة على مقياس ريختر، ودمر مدينة أفاميا التاريخية، والعديد من القلاع والحصون. وقتل نحو (٢٠) ألف شخص.

- وفي (٥) أيلول عام (١٨٢٢م) ضرب زلزال شمالي سـ-ورية (حـ-ب ومحيطها)، وأدى إلى مقتل نحو (٢٢) ألف شخص.

- وفي (١) تشرين الثاني عام (١٧٥٥) ضرب الأجـ-راء الغربية مـ-ن البرتغال زلزالاً شديد (زلزال ليشبونة) أودى بحياة نحو (٧٠) ألف شخص، معظمهم من التسونامي البحري الضخم.

- وفي منتصف ليل (٢٩) شباط عام (١٩٦٠) ضرب مدينة أغـ-ادير المغربية زلزالاً بقوة (٧,٥) درجة ملحقاً الخراب والدمار فيها، ومتسبباً في مقتل قرابة (٢٠) ألف شخص.

- وفي شهر تشرين الأول عام (١٩٥٤) ضرب مدينة الأصنام (زلـ-زال الأصنام) الجزائرية في الشمال الجزائري زلزالاً، كان مركزه على مقربة منها، وقد بلغت قوته (٨) درجات، مدمراً المدينة تـ-دميراً كاملاً. وتـ-صل آثاره التدميرية حتى العاصمة الجزائر، مودياً بحياة نحو (١٤٠٠) شخص وإصابة (١٤) ألف آخرين بجروح. شكل (١١).



شكل (١١) مواقع المدن الزلزالية في الجزائر

- وفي (٧) كانون الأول عام (١٩٨٨) تعرضت أرمينيا إلى زلزال مدمر، قاربت شدته من (١٠) درجات، متسبباً في مقتل أكثر من (٥٥) ألف شخص، بجانب عشرات آلاف الجرحى. وتضرر أكثر من (١,٦) مليون شخص، وبقاء نحو نصف مليون دون مأوى. وحدث تدمير كبير في كل ما طاله.



الزلازل، لتدمر مدينة (سبيتاك) بكاملها التي لم يبق من سكانها (٢٠٠٠ نسمة) أحداً سوى عدة مئات، ويطال التدمير أيضاً مدينة لينينكان بصورة شبه كاملة، وتدمر جزء من مدينة كيروفكان، ولتصل آثار الزلازل حتى مدينة يريفان. شكل (١٢).

شكل (١٢) المنطقة التي نكبت بزلزال أرمينيا في شهر كانون الأول عام (١٩٨٨)

وفي يوم (٢٥) نيسان عام (٢٠١٥) ويحدود الساعة الخامسة بالتوقيت المحلي

- ضرب نيبال زلزالاً مدمراً، بقوة (٧,٩) درجات على مقياس ريختر، وكدان مركزه إلى الشمال الغربي من العاصمة (كاتماندو) بنحو (٤٧) كم، وهو الأعنف والأكثر تدميراً تتعرض له المنطقة منذ نحو (٨٠) سنة مضت.

حيث كانت الخسائر جسيمة في الأرواح والممتلكات، فلفد بلغ عدد القتلى نحو (٨٥٠٠) شخصاً، وأصيب أكثر من (١٥) ألف أخرى بأذى. وتسبب في دمار كبير في المنازل والطرق والجسور، وأدى إلى انقطاع الاتصالات الهاتفية وخطوط الكهرباء في العاصمة، ومناطق أخرى كثيرة. كما دمر الانهيار الثلجي الذي أحدثه قرية (لانغتاغ) الواقعة شمال العاصمة بنحو (٦٠) كم، وطالت الخسائر الأرواح والممتلكات الدول المجاورة (الهند والصين....).

وقد رت الأمم المتحدة أن أكثر من ثمانية ملايين شخص تضرروا من جراء كارثة مدمرة، مع خسائر مادية بأكثر من بليون دولار..

يضاف إلى ما تقدم أعداد كبيرة من الزلازل التي ألحقت الموت والخراب والدمار في مناطق مختلفة من العالم. إذ يقدر أن عدد الزلازل ذات الأقدار (٦) درجات وما فوق بنحو (١٢٢٢) زلزالاً.

والجدول التالي (٣) يبين بعض الزلازل المدمرة التي ضربت مناطق مختلفة من العالم، منذ منتصف القرن العشرين.

الموقع	الدولة	الشدة	التاريخ	عدد القتلى	عدد الجرحى
جبلان - زانجان	إيران	٧,٣	١ تموز ١٩٩٠	٤٠,٠٠٠	٦٠٥,٠٠٠
لينينكان، كيروفكان، سبيتاك	أرمينيا	٦,٩	٧ كانون الأول، ١٩٨٨	٥٥,٠٠٠	١,٦٤٢,٠٠٠
مدينة غواتيمالا	غواتيمالا	٧,٥	٤ شباط، ١٩٧٦	٢٣,٠٠٠	٤,٩٩٣,٠٠٠
ولاية جوارات	الهند	٧,٩	٢٦ كانون الثاني ٢٠٠١	٢٠,٠٠٥	١٦,٠٦٦,٨١٢
مقاطعة خراسان	إيران	٧,٧	١٦ أيلول ١٩٧٨	٢٠,٠٠٠	٤٠,٠٠٠

١٣٥٨,٩٥٣	١٧,١٢٧	١٧ آب، ١٩٩٩	٧,٤	تركيا	إزميت
٤٠,٠٠٠	١٠,٠٠٠	١٦ تموز، ١٩٩٠	٧,٧	الفلبين	لوزون
١٩٥,٥٦٦	٩٧٨٢	٢٣ أيلول، ١٩٩٣	٦,٤	الهند	ولاية ماهاراشترا
١٣٠,٢٠٤	٨,٧٧٦	١٩ أيلول، ١٩٨٥	٨,١	المكسيك	مدينة مكسيكو، ميشواكان، جاليسكو
١٨١,٣٨٤	٦,٠٠٠	١٦ آب، ١٩٧٦	٨,٠	الفلبين	خليج مورو، سولو
١,٨٣٦,٨٩٦	٥,٥٠٢	١٧ كانون الثاني ١٩٩٥	٧,٢	اليابان	كوبي

الفصل الثاني

البراكين

- ١ - ما البركان؟
- ٢ - ما الذي يحدد طبيعته الاندفاعات البركانية وشدتها؟
- ٣ - مقياس الاندفاعات البركانية
- ٤ - نماذج الاندفاعات البركانية
- ٥ - ما يصاحب الاندفاعات البركانية وما ينتج عنها؟
- ٦ - المناطق البركانية في العالم
- ٧ - مخاطر البراكين
- ٨ - نماذج من كوارث الاندفاعات البركانية
- ٩ - إمكانية التنبؤ بالبراكين والتخفيف من مخاطرها

١ - ما البركان (Volcano)؟

البركان، هو بمثابة مواد صهيرية لزجة / سائلة، تعـرف بالماغما (Magma) في جوف الأرض، وتدعى اللافا (Lava) عند بلوغها سطح الأرض وانتشارها وتراكمها عليه بعد تبردها.

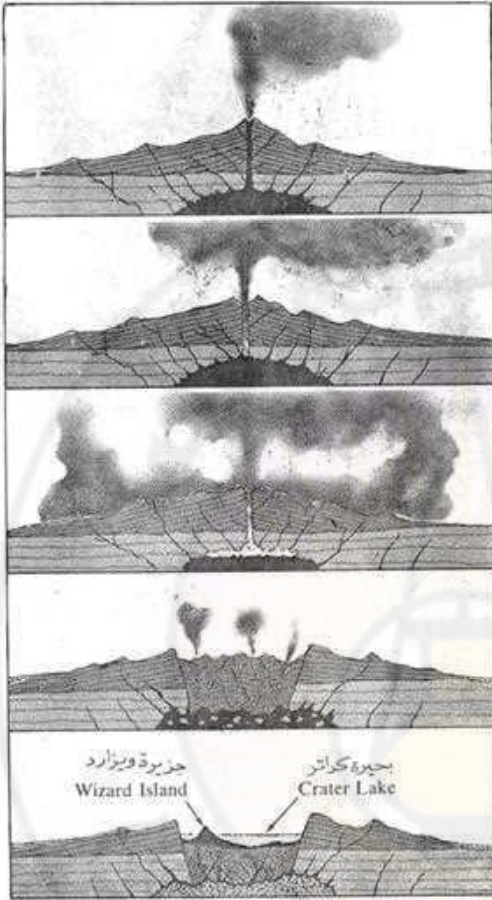
والمادة الصهيرية تندفع إلى سطح الأرض عبر أماكن ضعف في قشرة الأرض، متخذة منها منافذ لها للأعلى عبر ما يدعى بالقناة أو المدخنة، التي هي بمثابة الطريق الموصل للماغما إلى السطح. وتدعى الفتحة الخارجية للقناة على السطح التي تندفق منها الماغما باسم الفوهة البركانية (Crater)، والواسعة منها تعرف باسم الكالديرا (Caldera)، التي تمتلأ بعضها بالماء من هطول الأمطار متخذة شكل بحيرات، كبحيرة كراتر في الولايات المتحدة، وبحيرة توبا في شمال غرب سومطرة بإندونيسيا. كما يمكن أن تحدث اندفاعات بركانية عن تـكـون الفوهات مشكلة مخاريط وسطها، متخذة شكل جزيرة وسط ماء البحيرة، كـجزيرة ويزارد (wizard) في بحيرة أوريغون بالولايات المتحدة - شكل (١٣) -.

٢ - ما الذي يحدد طبيعة الاندفاعات البركانية وشدها:

إن الماغما بصورتها الأولية هي بمثابة طبقة لزجة في المانتيل العلوي للأرض المعروف بالآثنوسفير (Asthenosphere). ودرجة الحرارة والضغط كفيلا يجعل صخور المانتيل في حالة من الانصهار الجزئي. والذي يحدد طبيعة الاندفاعات البركانية وشدها ما يلي:

٢-١ - لزوجة الماغما:

وهي التي تحدد عموماً طبيعة الانصهار النارية (صخور الماغما)، واختلاف نسبة السيليكا (SiO_2) في تلك الصخور هي السبب في تباين لزوجتها.



شكل (١٣)

مراحل نشأة بحيرة كراتر البركانية
في ولاية أوريغون الأمريكية

فالماغما التي نسبة السيليكا فيها (٥٠%) فما دون تكون شديدة الزوجية، وهي تشبه البازات (صخور بازلتية). ومنها تتكون براكين جزرهاواي، وخاصة بركان كيلوا. ونتيجة للزوجتها فإنها تنطلق من فوهة البركان بهدوء. ولقد بلغت سرعة الالفا المتدفقة على السفوح المنحدرة من ج-زرهاواي نحو (١٠ كم/ساعة).

أما الماغما التي تتراوح فيها نسبة السيليكا بين (٥٠-٧٠%)، كما في صخور الأنديزيت والديوريت، فإن الاندفاع البركاني يكون فيها متوسط الشدة،

وهذا هو حال الانفدفاعات التي شكلت تلال سوفوير مونتسيرات (Montserrats Soufriere) البركانية.

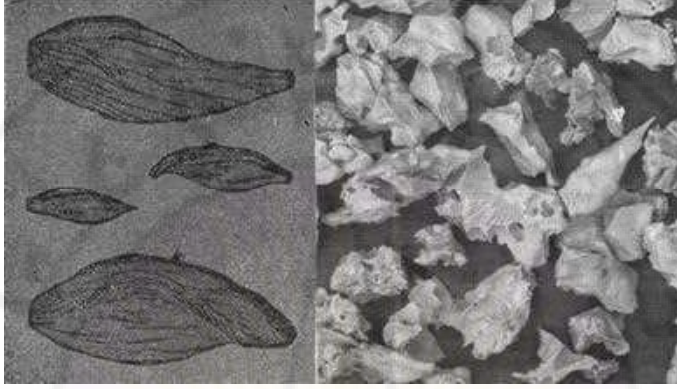
وفي حال تجاوزت نسبة السيليكا في الصخر الماغماتي ذ.سبة (٧٠%)، كما في صخور الريوليت (Rhyolitic Magma) والغرانيت، فإنها تذ.دفع بة.وة انفجار كبيرة خارج السطح. ومثل هذا الانفدفاع الانفجاري ح.دث من ذ.نحو (٧٣٥٠٠) سنة مضت في جزيرة سومطرة الأندونيسية، وأدى إلى ف.تج فوهة.ة كبيرة بطول نحو (١٠٠كم) عرفت بفوهة توبا (Toba).

٢-٢-كمية الغازات المنحلة:

ترتبط كمية الغازات المنحلة في صخور الماغما بدرجة لزوجتها. فكلما كانت أعلى لزوجة كانت كمية الغازات أكبر. وحالما تقترب الماغما البازلتية من سطح الأرض تأخذ الغازات المنحلة فيها بالتححرر والخروج بسهولة، مما ي.نجم عنه ثقبو تننتشر على سطح اللافا، وتعرف كتل اللافا الصلبة التي تحتوي على مثل تلك الثقبو بالسكوريا (Scoria).

وفي الماغما اللزجة (متوسطة وشديدة اللزوجة)، لا ي.سمح المركب.ب الأنديزيتي أو الريوليتي إلا لقدر قليل من الغازات بالتححرر، وهذا ما يؤدي إلى حدوث ضغط داخلي ينجم عنه اندفداع عنيف. وتقوم تلك الغازات المندفعة بتفتيت الصخور في قشرة الأرض في منطقة فوهة البركان، قاذفة إياها إلى أعلى بعد تفاعلها بالمواد اللافية، ويعرف الفتات الصخري المنطلق م.ع الغ.ازات باسم الفتات البركاني (بيروكلاستيك pyroclastics)، والاندفداع البركاني باسم اند.دفاع بيروكلاستيك. والفتات (Tephre) الناتج والمنطلق خارجاً من ذلك الانفدفاع يسقط عائداً إلى الأرض ليتراكم حول الفوهة مشكلاً مخروطاً بركانياً.

وتعرف الدقائق الصلبة التي يتراوح حجمها من حجم الغبار الذئاعم إلى حجم حبات الرمل باسم الرماد البركاني (Volcanic Ash). أما الأكبر من ذلك فتدعى الفنايل البركانية (Volcanic Bombe) والكتل البركانية. شكل (١٤).



شكل (١٤) الفنايل والكتل البركانية ومقذوفات بأشكال مختلفة

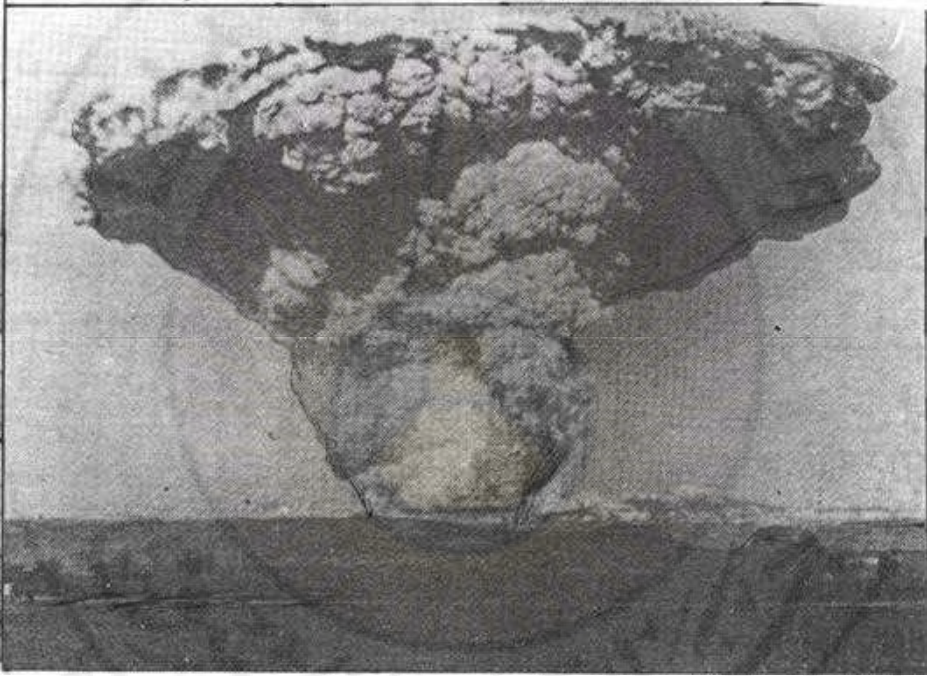
ويمكن أن ينتشر الفتات البركاني لارتفاعات عالية. وتنتقل بعيداً عن مصدرها بالرياح، وبخاصة الغبار الناعم الذي يمكنه أن يبلغ الأجزاء العليا من طبقة التروبوسفير، وأحياناً طبقة الستراتوسفير، مترافقاً بانخفاض في درجة حرارة سطح الأرض.

كما ينتج عن الغازات والرماد المنطلق من البراكين تشكل سحباً بركانية (Afiery Clouds) تعرف بالسحب المتوهجة (Nuees Ardentes) التي تتحرك بسرعة تصل إلى (١٦٠ كم/ساعة) باتجاه المنحدر البركاني، مسببة في كثير من الأحيان كبرى. شكل (١٥).

٣ - مقياس الاندفاعات البركانية:

تستخدم قرينة الاندفاع (الانفجار) البركاني (VEI) كمؤشر عن الحجم الكلي للمادة المنطلقة، وارتفاع عمود الاندفاع (الانفجار). وهي تتشبه بمقياس

ريختر للشدة الزلزالية. ومقياس (VEI) مفتوح النهاية، ويتضمن تحديد العـدد الذي يتزايد مع تزايد الانفجار. ويبدأ المقياس بالصفر (٠) للبراكين الهادئة، وذات الاندفاعات السيلية (الجريان الأفقي)، كما في براكين هاواي، وإيـسلندا، حتى أكبر من الرقم (٨) كما في أكبر الاندفاعات البركانية حتى الآن في توبا-ويلستون.



شكل (١٥) الغيوم البركانية المنوهجة

ومقياس (VEI)؛ هو مقياس لوغاريتمي، يشير إلى أن كل نقطة على المقياس تعني اندفاعاً أقوى من سابقه بعشر مرات. وكمثال: فإن بركان تامبورا (١٨١٥) ذا القوة (٧) أكبر قوة بعشر مرات من اندفاع بركان جبل بيناتوب (جزيرة لوزون بالفلبين)، وأقوى بـ (١٠٠) مرة من بركان جبل سانت هيلانة (ولاية واشنطن) في عام (١٩٨٠).

والجدول التالي (٤) يبين أنواع الانفجاعات البركانية حسب شدتها.

نموذج الانفجاعات	فريضة الانفجاعات البركاني (VEI)	معدل الانفجاعات (كغ/ثا)	حجم المنطق (م ^٣)	ارتفاع عمود الانفجاعات (كم)	مدة دوام الانفجاعات (ساعة)	انطلاق إلى ستراتوسفير / تروپوسفير	الصفات النوعية
هاواي	صفر لا يوجد انفجار	٢١٠-٣١٠	دون ٤١٠	١,٥-٠,٨	دون ١	لا شيء/مهمل	سيلي
	صغيراً	٢١٠-٤١٠	٤١٠-٦١٠	٢,٨-١,٥	دون ١	لا شيء / أصغري	لطيف
سترومبولي	متوسط ٢	٤١٠-٥١٠	٦١٠-٧١٠	٥,٥-٢,٨	١,٦	لا شيء/متوسط	انفجاري
فولكاني	٣ متوسط كبير	٤١٠-٥١٠	٦١٠-٧١٠	-٥,٥ ١٠,٥	١ - ١٢	محتمل/كبير	قوي
	٤ كبير	٦١٠-٧١٠	٨١٠-٩١٠	-١٠,٥ ١٧	١٢-١	غير محدد/كبير	عنيف
بيليني وف- - - وق بيليني	٥ كبير جداً	٧١٠-٨١٠	٩١٠-١٠١٠	٢٨-١٧	١٢-٦	هام/كبير	جائع
	٦ كبير جداً	٨١٠-٩١٠	١٠١٠-١١١٠	٢٨-٤٧	أكبر من ١٢	هام/كبير	غاضب
	٧ كبير جداً	أكبر من ٩١٠	١١٠-١٢١٠	أكبر من ٤٧	أكبر من ١٢	هام /كبير	ضخم
	٨ كبير جداً	-	أكبر من ١٢١٠	-	أكبر من ١٢	هام/كبير	مروع/ رهيب/ هائل

٤ - نماذج الاندفاعات البركانية:

تختلف الاندفاعات البركانية في نوعية مركباتها، وشدها، وآلية اندفاعها، وطريقة توضع مركباتها، مما جعلها تبدو في الطبيعة متنوعة الشكل والتكوين. ويميز عموماً بين عدة من النمـاذج البركانيـة، حـسب أسـلوب الانـدفاع البركاني:

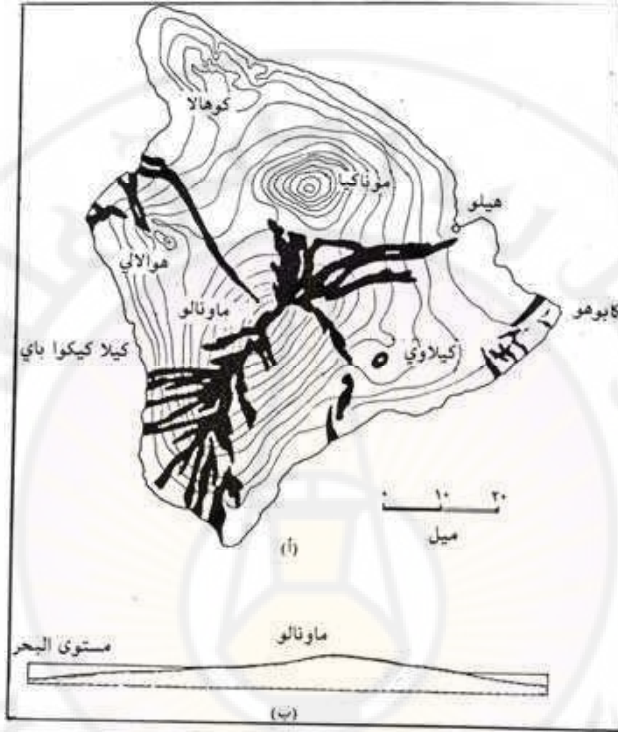
٤-١ - النموذج الايسلندي:

اندفاعات بركانية، غالباً ما يتم من خلال شق في السطح. وتكون هــذ الاندفاعات هادئة، تندفع من شق طويل أكثر مما هو من فوهة (Vent) مركزية. وتتدفق اللافا بهيئة صفائح كبيرة على جانبي الشق مرتحلة عـشرات الكيلـومترات. وتبردها تتخذ شكل هضبة مسطحة. ومن الأمثلة عنها: هـضبة نهـر كولومبيا في شمال غربي الولايات المتحدة. وطراب (Traps) الدكن في الهند الغربية. وكذلك المناطق البازلتية في سيبيريا التي تغطي آلاف الكيلـومترات المربعة، والتي تشكلت من اندفاعات حدثت منذ نحو أكثر من (٦٠) مليون سنة.

٤-٢ - النموذج الهاوائي:

في هذا النموذج من البراكين؛ فإن اللافا البركانية المندفعة مـن الفتحة تكون على درجة كبيرة من السيولة، تنساب على جوانبها منتشرة لمسافات طويلة. ويتوالي انسكاب اللافا بتشكيل هضبة واسعة الامتداد، انحدارها على الأطراف قليل جداً، كما أن انحدارها عند القمة لا يزيد على (١٠) درجات. وكمية الغازات القليلة وسيولة الماغما، يجعلان قوة الاندفاع ضئيلة. ويتخذ هـذا النوع من البراكين شكل درع أو هضبة لذا دعت أيضاً بالبراكين الدرعية أو

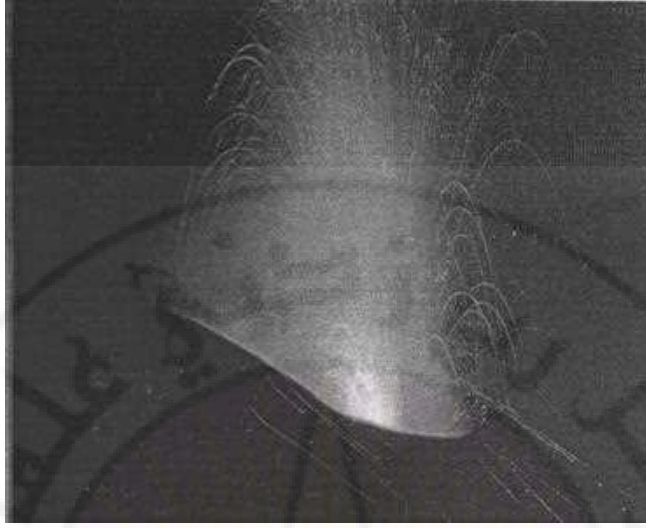
الهضبية. ومن الأمثلة عنها: براكين هاواي، وخالصة بركاني ماوناو (Mauna Loa)، وكيلاوا (kilauea). شكل (١٦).



شكل (١٦) خريطة لجزيرة هاواي ببراكينها الخمسة المكونة للجزيرة

٤-٣- النموذج السترومبولي:

استمد النموذج السترومبولي للاندفاعات البركانية تسميته من الجزيرة البركانية السترومبولي الواقعة في أقصى شمال جزر ليباري الإيطالية، بعيداً إلى الشمال الشرقي من ساحل صقلية جنوب إيطاليا. وبراكينها صخرية، فتاتية. واندفاعاته تتم كل بضعة دقائق، مطلقة أعمدة من اللهب والناري المختلط بقطر من الالفا البازلتية، متخذة شكل السحابة البيضاء، التي تحتوي على كميات قليلة من الرماد البركاني. شكل (١٧).



شكل (١٧) ثورة بركان سترومبولي في الليل

ويكاد يكون النموذج السترومبولي فريداً بين براكين العالم في اندفاعه الدائم لنحو (٢٥٠٠) سنة. ويبدو أن المادة المنطلقة منه تتدحرج على محيطه أكثر مما تسقط منهارة من قمته، ليتوقف ذلك شاطئه عند ما تستطع الضغط المتراكمة طرد الفتات من القمة.

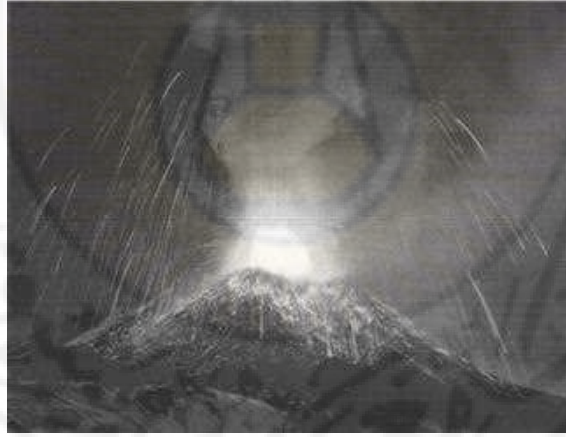
٤-٤- النموذج البيليني (Peleean):

وينسب إلى بركان جبل بيليه في جزيرة المارتينيك في البحر الكاريبي. حيث كانت ثورة ذلك البركان في عام (١٩٠٢) الذي يصنف ضمن النوع الانفجاري، وكانت مادته الأولى تتكون من الماغما اللزجة الغنية بالغازات. ففي صباح يوم الثامن من شهر آيار عام (١٩٠٢) حدث انفجار مروع في الجبل البركاني، وانطلقت سحابة حارة محرقة يشع من داخلها وميض أحمر فاتم، منحدره تلك السحابة على سفح الجبل، لتطبق في طرفه عين على مدينة سان بيريه (St Pierre).

٤-٥ - النموذج الفولكاني:

أو ما يدعى بالنموذج المطاطي. وتم نسبة هذا النموذج إلى جزيرة فولكانو المجاورة لسترومبولي في جزر ليباري الإيطالية. وفيه يكون الانفجار البركاني عنيفاً للغاية. وعادة ما ينبجم عن تراكم للغازات التي تندفع محدثة صوتاً ثاقباً، وزئيراً شديداً عند انطلاقها من القناة. ويتضمن الانطلاق عموماً كتلاً كبيرة من الصخور القشرية أكثر من مادة الماغما السائلة، ويصل حجم بعض تلك القطر -ع إلى حجم السيارة، ويتم حملها لمسافة مئات الأمتار.

ومن الأمثلة عن هذا النموذج: ثورة برك -ان بـ -اريكوتين Paricutin فـ في الوسط الغربي من المكسيك، وقمة لاسن في كاليفورنيا الشمالية، وبركان إتنا في صقلية، وتلال سوفيرير في مونتسيرات. شكل (١٨).



شكل (١٨) ثورة بركان إتنا في صقلية

٤-٦ - النموذج البليني (plinian):

أو ما يدعى بالنموذج الفيزوفي. وهو من أكثر النماذج طاقة في الارتفاع. ونسبت براكين هذا النموذج إلى الحاكم الروماني (بليني) الذي حكم خلال الفترة (٦٢- ١١٤ ب م). وفي عهده حدث ارتفاع بركان فيروف الشهير عـ ام (٧٩م)

الذي دمر المدن الرومانية: بومبي وهيركولانيوم. وتنطلق الاندفاعات البلينية كعمود ضخمة من الرماد الذي يمتد لارتفاع (٣٠-٤٠ م) وأكثر - أي حتى الستراتوسفير - إذ إنه ينتشر بشكل شجرة صنوبر تشبه المظلة التي تنهار منها أمطار مستمرة من الرماد المتساقط. وعادة؛ فإن عمود الاندفاع لا يستطيع الاستمرار لوزنه، لذا فإن الرماد والفتات سيسقط مرتدداً إلى السطح، حيث تتدفق البيروكلاست منسكبة على حواف البركان.

ومن أحدث الاندفاعات البلينية: الاندفاع الذي حدث في عام (١٩٨٠) في جبل سانت هيلانة بولاية واشنطن. واندفاع بركان جبل بيناتوبو في لوزان بالفلبين عام (١٩٩١). شكل (١٩).



شكل (١٩) ثورة بركان جبل سانت هيلانة (أ) و ثورة بركان بيناتوبو (ب) في ١٢ حزيران عام (١٩٩١) في (٢٢) تموز عام (١٩٨٠)

ولو حاولنا وضع النماذج السابقة ضمن تصنيف قرينه الانفجار البركاني؛ لكثرت الاندفاعات الايسلندية والهاوائية في الدرجة (٠)، والسترومبولية بين (١-٣)، والمطاوية والبيلية بين (٢-٥). وتحتل البلينية نهاية أو قمة المقياس بدرجة (٥-٧) والقمة المتطرفة (٨).

كما تصنف البراكين حسب نشاطها إلى ثلاثة أنواع، هي:

١ - براكين نشطة:

وهي البراكين التي لا تزال تندفع منها ما يشير إلى نشاطها، م-ن: دخان وغازات وصهير. وتكون نشطة جداً في بعض الأحيان، وتضعف في أحيان أخرى. ومن البراكين النشطة، نذكر: بركاني مونالوا، وكيلاوا في جزر ه-اواي. وبركان ميرابي في أندونيسيا.

٢ - براكين ساكنة (خامدة):

وهي تتصف بالهدوء الحذر، فلا يظهر فيها ما يشير إلى حالات نشاط، ولكنها قابلة للثورة والاندفاع في أي وقت تتوفر فيه ظروف الثوران. ومن البراكين الساكنة، نذكر بركان فيروف في إيطاليا.

٣ - براكين هامة (منطفئة):

وهي براكين استنفذت كل مقومات النشاط، والثورة، لنفاد ما فيها م-ن صخور وغازات.

وكمثال عن البراكين الهامة: بركان تامبورا في أندونيسيا.

٥ - ما يصاحب الاندفاعات البركانية، وما ينتج عنها:

تختلف المواد المنبثقة خلال الاندفاعات البركانية، التي تتباين حجمياً وتركيبياً ونوعاً، من: مواد صخرية سائلة (شديدة اللزوجة) إلى قط-ع صخرية وفتات صخري، وغازات مختلفة... إلخ. وتندفع بشدات متباينة محدثة آثاراً بيئية كبرى. وتتمثل عموماً في الآتي:

٥-١ - الطفوح والقبب البركانية (Lava Flows and Domes):

وهي مادة الصهير البركاني السائلة التي تتدفق على جانبي الفوهة أو الشق، مناسبة على جوانبه. وتعتمد في ذلك على لزوجتها التي هي انعكاس

لتركيبها الكيميائي. فاللافا البازلتية المنخفضة نسبة السيليكا، تتح-رك ب-سرعة (٢٠-٥٠ كم/ساعة)، كجداول، أو تنتشر كصفائح رقيقة لع-دة كيل-و مت-رات. وكمثال؛ ففي عام (١٩٨٣) تدفق الصهير البركاني البازلتي من بركان كيلوا في هاواي، مسافة كبيرة، مدمرة نحو (٢٠٠) منزلاً. كما أن اندفاع اللافا المتك-رر من بركان جبل إتنا في صقلية، خلال العقود الثلاثة الأخيرة من القرن العشرين، تسبب في أضرار كبيرة في الطرقات والممتلك-ات، وغم-رت م-ساحات م-ن الأراضي الزراعية، وهددت عدة مدن وقرى.

وبالمقابل؛ فإن التدفقات ذات النسبة المرتفعة من السيليكا كما ف-ي لافا-الأنديزيت والديزيت- تتجه للتجمع والتراكم بسماكة كبرى، ومرتحة-ة الم-سافة قصيرة من الفوهة، لتشكل تلالاً ضخمة، كما في تلال س-وفيرير ف-ي جزير-ة مونتسيرات الكاريبية، المكونة من لافا إنديزيتية، التي أخذ ب-النمو والظهور ويشكل واضح في أواخر عام (١٩٩٥). وكذلك حال جبل سانت هيلانة ف-ي ولاية واشنطن الأمريكية، الذي تعاطم حجم-ه ب-ين ع-امي (١٩٨٠ - ١٩٨٦) ليرتفع عدة مئات الأمتار، ويفطر زاد على الكيلومتر.

٥-٢- الفتات البركاني (Tephra):

هي بمثابة قطع صخرية منصهرة وصلبة (Tephra) وغ-ازات بركانية-ة تندفع بقوة شديدة إلى الجو. وعادة ما تسقط القطع الصخرية الأكبر (الفتاب-ل والكتل) مرتدة إلى السطح ضمن مدى عدة كيلومترات من الفوهة.

ويتكون معظم الفتات من جسيمات دقيقة (قطرها أقل م-ن ٢-م م) م-ن الزجاج المعدني والمعادن والصخور، لتشكل فيما يعرف بالرماد (Ash). وترتفع تلك الجسيمات عالياً في الجو خلال الاندفاعات الضخمة، على هيئة أعمدة كتلية

لعلو نحو (٢٠ كم) في أول من (٣٠) دقيقة، متخذة شكل سحابة اندفاعية، مشكلة تهديداً خطيراً للطائرات.

ويمكن لسحب الاندفاعات البركانية، أن تنشر لمئات الكيلومترات من ساقه بالرياح العلوية، والناتج في النهاية سقوط الرماد فوق مساحات كبيرة. فالرماد الذي انطلق في (١٨) أيار عام (١٩٨٠) بانفجار بركان سانت هيلانة-كمثال- سقطت مواده على مساحة أكثر من (٥٠) ألف كم^٢، وفي الولايات المتحدة الغربية. كما أن بركان تلمبورا الأندونيسي (عام ١٨١٥) أطلق كميات كبيرة من الفتات، انتشرت على مساحة تقارب من (٢,٥) مليون كم^٢.

ويمكن للرماد البركاني أن يتراكم سماكة تصل إلى (١٥) سم خلال عشرين دقائق، وتصل السماكة إلى متر في ساعة. مما قد ينجم عنه حدوث تحطم وفي خطوط نقل الطاقة والهاتف. وأضرار في المحاصيل الزراعية، وفي مياه الشرب مع مشاكل صحية للإنسان والحيوان. وكذلك مخاطر على سفوف الأبنية الضعيفة.

٥-٣- الغازات البركانية:

تطلق البراكين أثناء ثوراتها كميات كبيرة من الغازات. وحتى عندما يكون البركان غير ثائر (هادئاً)، فإن الشقوق الأرضية تسمح للغازات من الخروج إلى السطح عبر فتحات صغيرة تدعى المداخن (Fumavoles). فالماغما تحتوي على كميات مختلفة من الغازات المنحلة التي تكوّن محتجزة فيها بالضغط المحكم. وعندما يخفف الضغط وفي مناطق الضغط المنخفض الذي والتصدعات، تبدأ الغازات بالخروج.

وتتراكب الغازات البركانية من بخار الماء بالدرجة الأولى بنسبة تزيد على (٧٠%) وقد تصل في بعض البراكين إلى (٩٠%)، وثاني أكسيد الكربون

(١٥%)، وكبريتات الهيدروجين والهيدروجين، والنيتروجين (الآزوت)، والفلورين، والكلورين، وأول أكسيد الكربون.

ويعد غاز الفلورين من الغازات السامة بتركيزات عالية؛ وهذا ما حدث في أعقاب اندفاع بركان لاكي عام (١٧٨٣) في آيسلندا الجنوبية، إذ أدى الفلورين السام إلى مقتل (٧٥%) من أغنامها وخیولها ونصف ماشيتها، كما تسبب في موت (٢٠%) من سكان آيسلندا.

ومن الانفداعات الجائحية (Cataclysmic)، التي حدثت في (١٥) حزيران عام (١٩٩١)، ممثلة باندفاع بركان جبل بيناتوبو (Mount Pinatubo) في جزيرة لوزون بالفلبين الذي أطلق كميات ضخمة (نحو ١٥ مليون طن) من غاز ثنائي أكسيد الكبريت (SO_2) وصلت إلى طبقة الستراتوسفير، والذي يتفاعل مع الماء الجوي شكل هباءة (Aerosol) من حمض الكبريت - بصورة طبقة سديمية - ولستين تاليتين تمكنت الرياح الستراتوسفيرية من نشر تلك الهباءة حول الأرض، مؤدية إلى عكس نسبة من الأشعة الشمسية، مما ترتب عليه انخفاض في درجة الحرارة بحدود درجة مئوية.

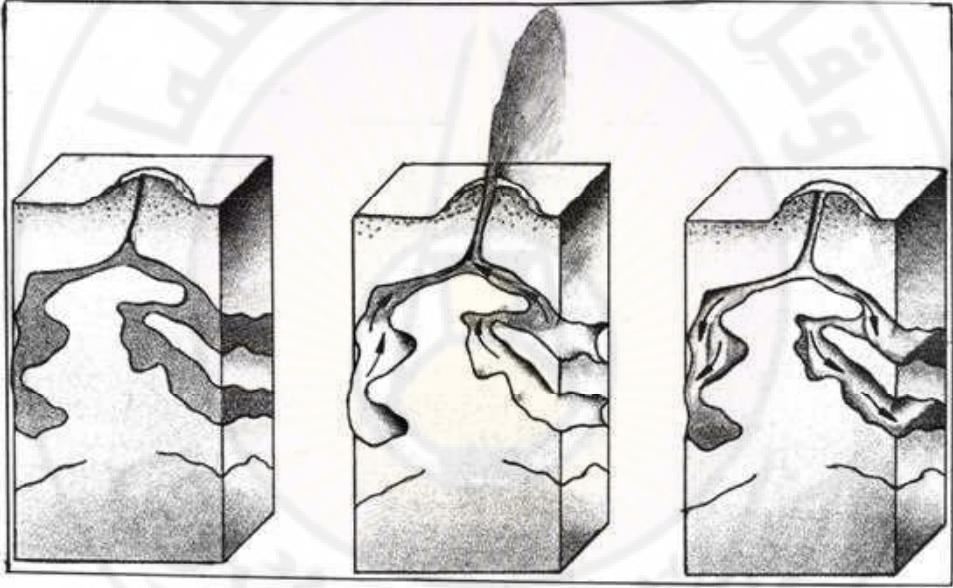
كما أن مركبات الكلورين والنيتروجين يبلوغيها طبقة الستراتوسفير أسهمت بتخريب غاز الأوزون فيها.

٥-٤ - الجيزير والخزانات الجوفية الحرارية:

الجيزير (Geyser): عبارة عن اندفاع مياه حارة جداً، تتسخن بفعل الماغما، وانطلقت عن شكل نافورات على فترات - بشكل متقطع - مرتفعاً المياه فيها إلى علو عشرات الأمتار.

وتتشكل الجيزير، عندما يتسخن الماء الجوفي في خزانات تحت السطح. فعند قاع تلك الخزانات تكون المياه خاضعة لضغط كبير - بسبب وزن المياه -

الكبير الذي يعلوه، لترتفع درجة حرارة الماء إلى أكثر من 100°C دون حدوث الغليان، وقد تصل درجة حرارة المياه إلى أكثر من 200°C دون أن تغلي. ويؤدي التسخين الشديد إلى تمدد المياه، ناجماً عن ذلك تدفق بعض منها خارجاً عند القمة، لينتج عن ذلك التدفق نقصان في قيمة الضغط وانخفاض في درجة غليان الماء، مما يؤدي إلى تحول الماء بسرعة إلى بخار من دفعاً بشدة خارج الفوهة، فيما يعرف بالجيرير. شكل (٢٠).



شكل (٢٠) الجيرير

ومن الأمثلة عن الجيريرات في العالم: جيرير حديقة جبل لاسن الوطنية شمالي سان فرانسيسكو في كاليفورنيا الشمالية. وجيرير حديقة يلليستون الوطنية في مونتانا بولاية آيواه وويومنج. وأيضاً جيرير لاردريلا و (Larderello) في توسكاني شمال شرق إيطاليا. وجيرير ويراكي (Wairakei) في أويس-ط الجزيرة الشمالية من نيوزيلندا.

أما الخزانات الجوفية الحرارية (Geothermal Reservoirs)؛ فتتـشكل عندما يكون مصدر التسخين (الماغما) قريباً نسبياً من السطح، لترتفع درجة حرارة المياه بالتماس معه، مشكلاً نموذجاً من تلك الخزانات: إحداهما نظام بخاري، والآخر نظام مائي حار.

0-0 - تدفق القطع الصخرية (Pyroclaste Flows):

هي تلك القطع من الصخور والرماد والغاز المنحدرة على جوانب البركان خلال الاندفاعات العنيفة، أو عندما تكون إحدى جوانب المخروط البركاني شديدة الانحدار، مما يجعل اللافاتنهار وتتجزأ متكسرة إلى أجزاء تنحدر نحو الأسفل.

ويتدفق البيروكلاست بدرجة حرارة (٦٠٠-٩٠٠°م). ويمكن أن تصل سرعته إلى ما يزيد على (١٠٠٠) كم/سا. وتتحكم في وجهته وسرعته المظاهر الطبوغرافية، وشكل المنحدر الذي تتبعه، ودرجة غناها بالغازات.

ولتدفق البيروكلاست آثار تدميرية، إذ يمكنه أن يأتي على كل ما يقع في طريقه. وهذه الظاهرة قضت في عام (١٩٨٢) على آلاف الأحياء على أطراف الشيسون جنوبي المكسيك، ودمرت مدينة بلايموت في جزيرة مونتسير عام (١٩٩٧)، محترقاً حتى الموت (١٩) مزارعاً. وفي (١٨) أيار عام (١٩٨٠) وخلال انفجار بركان سانت هيلانة، انساحت كميات ضخمة من البيروكلاست، لتغطي غالباً على امتداد أكثر من (٢٠) كم من البركان. وكذلك ما نجم عن بيروكلاستات بركان فيزوف الشهير في ثورته عام (٧٩م) الذي قتل (٢٠٠٠) شخص في مدينة بومبي، ونحو (٤٠٠٠) شخص في اندفاعه الأصغر عام (١٦٣١م). وهناك نحو (٦٠٠) ألف شخص يقطنون حالياً في منطقة الخطر حول فيروف.

٦-٥ - الانزلاقات الأرضية البركانية (Volcano Landslides):

الانزلاقات الأرضية، أو الانهيار الفتلي الصخري، هو عبارة عن حركة سريعة للمادة الصخرية على جوانب التلال البركانية، تكون مختاطة أيضاً بالثلج أو الجليد. ويتراوح مدى حجم المواد المنزلقة من القطر - ع الفتاتية - الصخرية الصغيرة التي تتحرك ببطء على جوانب البركان، إلى الكتل الصخرية الكبيرة التي تمثل انهياراً للكمة بكاملها أو لجانب من البركان.

والبراكين الشديدة الانحدار ذات قابلية للانزلاقات أكثر من غيرها، خاصة في البراكين الطبقيّة. وتتعاظم تلك الانزلاقات في حال - زلزال - زامن الاندفاعات البركانية مع هطول أمطار غزيرة، أو حدوث زلزال شديد، مما يسبب في تقطع المواد الصخرية وتحريكها نحو أسفل المنحدر.

ويمكن ذكر - على الأقل - خمسة انزلاقات أرضية كبرى على جوانب جبل رينيه البركاني بولاية واشنطن، خلال ال - (٦٠٠٠) سنة ماضية. أمّا أكبر انزلاق أرضي في التاريخ هو ما شهده جبل سانت هيلانة عند ثورة البركان في (١٨) أيار، ١٩٨٠.

وتحدث على الأقل نحو أربعة انزلاقات أرضية بركانية كل قرن، وتكون تدميرية، خاصة إذا ما سقطت في الماء، مولدة أمواج بحر ضخمة (تسونامي). ففي عام (١٧٩٢)، حدث إنهار ضخم من بركان أونزين (Unzen) في منطقة ناغازاكي اليابانية، نتج عنه تسونامي تسبب في مقتل أكثر من (١٤٠٠) شخص من سكان القرى الساحلية المجاورة. وفي عام (١٨٨٨م)، فإن جزءاً من بركان جزيرة ريتير (Ritter) الواقعة في مضيق دامبير (Dampier) بعيداً عن الساحل الشرقي لنيوغيانيا، انهار إلى ماء البحر، ليخلق أمواج تسونامي ضخمة ذهب ضحيتها نحو (٣٠٠٠) شخص، ودمرت قرى بالقرب من الجزيرة، كما - في أومبوي، ونيويريتاين.

٥-٧ - التدفقات الطينية (Lahars):

تدعى التدفقات الطينية، أو تدفقات الفتات الصخري، المتشكلة على جوانب البركان باسم لاهار. وتتألف تلك التدفقات من الطين وقطع صخرية صلبة غير الماء، والتي يمكنها الاندفاع هابطة حتى قاع الأودية، والأفنية المائية، وبسرعة تتراوح بين (٣٥-٧٥) كم/ساعة. وتحتوي بعض التدفقات على كميات كبيرة من الفتات الصخري (٦٠-٩٠% من الوزن) وتتحرك بسرعة كحركة الأنهار.

وتتشكل هذه التدفقات بسرعتها وضغط حملاتها وقوة كافية لقتل الأشجار وتدمير المنازل. وتاريخياً، هناك العديد من الأمثلة عن مخاطرها! فالتدفقات الضخمة فوق منحدرات جبل رينيه بولاية واشنطن وصلت إلى مسافة لا تتعدى سوى (٣٥ كم) عن مدينتي سياتل وتاكوما.

٦ - المناطق البركانية في العالم:

إن توزع البراكين في العالم ليس عشوائياً، فهي متركزة في مناطق محددة، هي التي يوجد فيها فائض من الماغما داخل الأرض يسهل تصريفها إلى خارجه. ويتوافق وجود معظم البراكين ونشاطها مع حافات الصفائح التكتونية. كما أن بعض الاندفاعات البركانية تحدث فوق البقع الساخنة الموجودة داخل الصفيحة. فحد الصفائح في حركاتها تشكل المكان الأمثل للنشاط البركاني والزلالي، سواء أكانت حركات الصفائح في تقارب أو تباعد، أو توازي.

ومن أكثر المناطق في العالم نشاطاً في براكينها هي منطقة حلقة النار، وهي المنطقة المتحلقة حول المحيط الهادي في غربي الأمريكيتين وشرقي آسيا بجزرهما؛ حين تتجاوز سلاسل الجبال الضخمة في شرق الهادي مع أخاديد محيطية كبيرة العمق، وفي غربي الهادي تنتشر العديد من الجزر ذات البراكين

الوفيرة (كمشتكا، كوريل، اليابان، الفلبين، بورنيو، نيوزيلندا) والتي يحاذيها أيضاً عدد من الأخاديد المحيطية العميقة.

كما تكثر البراكين في المنطقة الواقعة بين الصفحة الأوراسية وكل من الصفحة الهندية والإيرانية والأسترالية عبر منطقة حزام اللات-وئات الألبية. وكذلك في مناطق الصدعات الكبرى في العالم، كما في منطقة الصدع الإفريقي- الآسيوي. شكل (٢١).



شكل (٢١) توزيع مناطق البراكين والزلازل في العالم

٧- مخاطر البراكين:

إن مخاطر الانفجارات البركانية وآثارها التدميرية كبيرة. وهناك أكثر من قوة في ذلك، منها:

١- ما يحدثه الصهير البركاني السائل - اللزج، بحرارته العالية، وهو يتدفق على جوانب الفوهة أو فتحة التدفق، منساحاً مع الانحدار العام للأرض، حيث تصل درجة حرارته إلى نحو (١٠٠٠°م)، ليؤتي ذلك الصهير على كل ما يقع في طريقة من منشآت، ومن أحياء وتصل آثاره إلى عدة كيلومترات. شكل (٢٢).



شكل (٢٢) الصهير البركاني يأخذ في طريقه سيارات عند اندفاعه من بركان مونز كيلاو في (٧) تشرين الثاني عام (١٩٨٨)

٢- ما ينتج عن المقذوفات البركانية الصلبة، وخاصة القنابل البركانية والكتل والفتاتات الصلبة الكبيرة نسبياً، التي تتساقط بعيداً عن فوهة البركان بقوة، وبحرارة لاهبة، محدثة دماراً للأجسام التي تتساقط فوقها، كما حدث في مدينة سان بيريه عام (١٩٠٢).

٣- ما يسببه الرماد البركاني والغازات المنطلقة التي تتخذ شكل عموداً يمتد إلى ارتفاعات عالية، قد يصل حتى طبقة الستراتوسفير، متولداً عنها آثار عدة، منها:
أ- ترسبه متراكماً قريباً من فوهة البركان، مودياً بحياة البشر والحيوانات، حتى النباتات. وهذا ما تعرضت له مدينة بومبي في (٢٤) آب عام (٧٩م) حيث دفن نحو (٢٠) ألف شخص من سكانها أحياء بالرماد البركاني (بركان فيروف) بطبقة تراوحت سماكتها بين (٥-٨) م.

ب- بقاء دقائقه الناعمة فترة في الجو لتشكل سحابة ضخمة تغطي مساحات شاسعة من الأرض، لتحجب أشعته الشمس، وتعمل على انخفاض درجة الحرارة بشكل ملحوظ، وهذا ما أعقب ثورة بركان كراكاتوا في أندونيسيا عام (١٨٨٣).

ج- ما تسهم به الغازات المنطلقة من آثار حيوية، وآثار على الأح- وال الجوية من ارتفاع حرارة وأمطار حامضية وحدوث تآكل في الأوزون الج- وي في حال بلغت الغازات أواسط طبقة الستراتوسفير لما تتضمنه تلك الغازات من مركبات الفلورين والكلورين وأكاسيد الآزوت ذات التأثير في الأوزون.

ع- فيما يترافق مع الثوران البركاني من زلازل، قد تحدث أثناء الثوران وقبله وبعده. وليس شرطاً أن يصاحب كل بركان زلزال.

والزلازل البركانية عموماً ضعيفة الشدة، وسطحية إذ لا يتج-اوز عم-ق مركزها الداخلي (١٠كم). ومن أشهر الزلازل البركانية هي التي ص-احبت بركان كراكاتوا (١٨٨٣)، وبراكين (مونا لوا وكيلاوا) في هاواي.

٥- حدوث أمواج التسونامي؛ التي تنتج عن بعض البراكين التي تحدث في قاع البحار أو المحيطات، والتي تؤثر في السواحل القريبة منها. وهذا أيضاً ما أحدثه بركان كراكاتوا....

ومما يزيد من مخاطر البراكين، وخاصة الخامة منها (النائمة) هو انتشار مئات التجمعات البشرية على جوانبها لخصوبة تربتها، إذ يقدر أن أكث-ر من (٥٠٠) مليون شخص يعيشون الآن في مناطق الخطر حول البراكين النشطة والكامن نشاطها. والكثير من المناطق والدول تقع في دائرة الخط-ر (إيطاليا، اليابان، ساحل الولايات المتحدة الغربي، المكسيك، أمريكا-الوسطى، ج-زر الكاريبي، الفلبين، أندونيسيا).

وأعداد السكان في تزايد حول البراكين، وخاصة الخامة أو المتوق-ع خمودها، ويختار الناس منحدرات البركان كونه ذا مناخ أفضل، وتربة أخصب، ومنظر أجمل، أما مناطق البراكين الثائرة فلا تشكل مكاناً يجذب السكان لأنها أكثر خطورة، رغم أنها أقل في خطورتها من الفيضانات والزلازل.

وعموماً، فإن أكثر من (٢٥٠) ألف إنسان قتلوا بسبب الانفجارات البركانية منذ بداية القرن الثامن عشر. وفي القرن العشرين بلغ عدد ضحايا البراكين نحو (١٠٠) ألف شخص. وفي أي عقد من الزمن فإن الملايين يتأثروا بالنشاط البركاني.

والجدول التالي (٥) يبين أهم البراكين التي تسببت في خسائر في الأرواح في العالم.

الدولة	اسم البركان	التاريخ	عدد القتلى
المارتينيك	جبل بيليه	٨ أيار ١٩٠٢	٣٠,٠٠٠
كولومبيا	نيفادو ديل روير	١٣ تشرين ثاني ١٩٨٥	٢٢٨٠٠
غواتيمالا	سانتاماريا	٢٤ تشرين الأول ١٩٠٢	٦٠٠٠
أندونيسيا	جبل كيلاو	١٩٠٩	٥٥٠٠
أندونيسيا	جبل كيلاو	١٩١٩ أيار	٥٠٠٠
غواتيمالا	سانتاغيتو	١٩٢٩	٥٠٠٠
بايوانيوغينيا	جبل لامينغتون	٢١ كانون الثاني ١٩٥١	٣٠٠٠
كاميرون	نيوس (Nyos)	٢١ آب ١٩٨٦	١٧٤٦
أندونيسيا	جبل أجونج	٣ كانون الثاني ١٩٦٣	١٥٨٤
سانت فينسنت و غرنادينس	جبل سوفريير	٧ أيار ١٩٠٢	١٥٦٥
أندونيسيا	جبل ميرابي	١٩٣٠	١٣٦٩
فلبين	جبل تالا (tala)	٣١ كانون الثاني ١٩١١	١٣٣٥
أندونيسيا	جبل ميرابي	١٣ كانون الأول ١٩١٣	١٣٠٠
أندونيسيا	جبل ميرابي	١٩٥١	١٣٠٠

٨ - نماذج من كوارث الاندفاعات البركانية:

لا تكاد تمر سنة دون ثورة بركان في منطقة من المناطق البركانية - في العالم، وبخاصة في دائرة حزام النار، وما تزال مئات البراكين المعروفة - في العالم في حالة استعداد وتأهب للثورة متى سنحت الفرصة لها. وشهد تاريخ البشرية ثوران بركانية ضخمة، تركت آثاراً كبرى في الجانب الحي من البيئة، بما نجم عنها من ضحايا بشرية، ونفوق في الحيوانات، وحرائق، وتدمير للمنشآت.

ومن الحوادث البركانية الشهيرة، نذكر النماذج التالية:

٨-١ - ثورات بركان فيزوف في إيطاليا:

بركان فيزوف، قديم العهد. مركب في تكوينه، يحوي على عدة طبقات متعاقبة من اللافا والمذذوفات الصخرية، وفيه العديد من المنافذ الجانبية، بجانب فوهته الرئيسة عند قمته، يبلغ ارتفاعه (١٣٧٨) متراً فوق مستوى سطح البحر، تم بناؤه على مراحل، وتجددت ثورته عدة مرات، ولم يخمد ويسكن حتى الآن. فثورته محتملة الحدوث في أي يوم - قد تمر مئات السنين دون ثورته، وقد لا تنفضي سوى بعض السنين أو حتى الأيام لثورته. يقع قريباً من مدينة نابولي، حيث يطل عليها من الجنوب الشرقي.

ما إن اقترب وقت طهيرة يوم الرابع والعشرين من شهر آب عام (٧٩) م، حتى انبعثت من فوهة (فيزوف) سحابة من الغازات، واهتزت الأرض ثانية - بعد أن كانت قد اهتزت هزات متكررة خلال أيام عديدة - ليعقبها دوي انفجار - ضخم، ولتأخذ الأحجار الملتهبة بالتساقط على مدينة (بومبي) والقرى المجاورة، وليمتلأ الهواء برائحة الكبريت الخائفة، ولتشب الحرائق في كل مكان. وليستمر

تساقط الرماد البركاني وقطع الحجارة الملتهبة عدة أيام (ثمانية أيام بلياليها)، وليذهب ضحية ذلك مجموع قاطنيها البالغين بحدود (٢٠) ألف نسمة ماء-دا قرابة الألفين تمكنوا من الهرب والنجاة. وهكذا دفنت مدينة (يومبي) تحت طبقة من الرماد والحجارة البركانية بسماكة تراوحت بين (٥-٨) أمتار. أما مدينة (هرقلنيوم) فقد ابتلعها سيل الالفا المتدفق، وغطاها وأحرقها الرماد المتساقط، وذهب معظم سكانها ضحايا ذلك، لتندثر هذه المدينة وسابقتها، وليذهب سكانها بعد مئات السنين أين كانت (يومبي) أو (هرقلنيوم)، ولم يعرفوا عنهم شيئاً حتى النصف الأول من القرن الثامن عشر.

وبعد عام (٧٩) م، انفجر بركان (فيزوف) عدة مرات. فقد بقي سالكاً طيلة مدة تقرب من (٥٠٠) سنة بين (١١٣٩-١٦٣١م)، ثم انفجر انفجاراً هائلاً، فدمر الكثير من المدن والقرى. ومن ثم حتى عام (١٩٠٦م) ظل (فيزوف) حياً، وأحدث انفجارات عديدة أول عنفاً. وفي عام (١٩٠٦) انفجر بعنف مرة أخرى وسقط جزء من قمة الجبل في الفوهة مما أدى إلى فيضان من الحمم، وهي في درجة الغليان، وتدفقت على المناطق المجاورة. ولما انتهى هذا الانفجار كان شكل (فيزوف) قد تغير. ثم حدث انفجار آخر كبير في عام (١٩٤٤م).

٨-٢- ثورة بركان (كراكاتوا) الأندونيسي عام (١٨٨٣) م:

إنه مكان منعزل في جزيرة (كراكاتوا) الصغيرة الواقعة في م-صنق (صوندا) بين جزيرتي (جاوة وسومطرة). وقبل ثورة الكبري في عام (١٨٨٣م) بقي نحو (٢٠٠) سنة خامداً هادئاً لا حراك فيه. ولكن في يوم الأحد (٢٠) أيار عام (١٨٨٣م) انفجر البركان، كما ينفجر المرجل عند ما يرتفع البخار داخله ارتفاعاً زائداً على الحد، محدثاً أصواتاً عالية أمكن سماعها على بعد (١٦٠) كم استمرت نحو الساعة من الزمن، لتكسى السماء خلالها ف-وق

(كراكاتوا) بسحب من الرماد والغازات بارتفاع وصل حتى (١١) كم، وليرتحل ذلك الرماد بعيداً عشرات بل مئات الكيلومترات (نحو ٤٠٠ كم) ليتساقط بعـض منها هناك. ولم تكن هذه هي الثورة الكبرى، فثورة البركان المتفجرة حدثت في مساء السادس والعشرين وصباح السابع والعشرين من آب، إذا انطلقت عـدة تفجيرات عنيفة، كان منها أربعة في غاية العنف.

وعند وقوع الانفجار الثالث العنيف، اندفع الرماد البركاني من (كراكـاتوا) مرتفعاً عالياً في الجو حتى بلغ ارتفاع (٥٠) كم، واستمرت الجزيئات الدقيقة عالقة في الجو ياف بها الهواء حول الأرض، وبعد مضي ثلاثة عشر يوماً عادت سحابة الأتربة البركانية إلى المكان الذي بدأت منه، بعد أن دارت بها الرياح العلوية عدة دورات. وانقضى علان قبل أن تسقط آخر ذرات الرماد البركاني، من (كراكاتوا) إلى الأرض. وقد حجبت سحابة الرماد الضخمة التي صعدت إلى طبقات الجو العليا قدرّاً كبيراً من أشعة الشمس، مما ترتب عليها هبوط ملحوظ في درجة الحرارة. وكان منظر الغروب في جميع أنحاء العالم أحمر كالدم بسبب تلك الدقائق الترابية من الرماد. ولقد قدر حجم الرماد الذي قذف به (كراكاتوا) إلى الجو بنحو (٤,٥) كيلو مترات مكعبة. بينما حجم ما قذف به البركان من رماد وخفان (Ash and pumice) بحدود (١٦) كيلو متراً مكعباً.

وما كان البحر حول (جاوة وسومطرا) ليحميهما من البركان الثائر. فـما كاد الناس يفيقون من صدمة أصوات الانفجارات المرعبة حتى اندفعت نحو وشواطئ الجزيرتين موجة عاتية من الماء. مرتفعاً فيها الماء في بعض الأماكن إلى علو (٣٥) متراً. ولم يكن هناك أمام الناس متسع من الوقت للهرب ولا ملجأ يلجئون إليه، فخلال دقائق معدودات كان البحر قد توغل بعيداً فوق يابس الجزيرتين فانهارت المدن والقرى، وتحطمت الموانئ والسفن، وقبل أن يرتد

الماء إلى البحر ثانية، كانت المياه قد ابتلعت (٣٦) ألف من السكان ماتوا جميعاً غرقاً. وبعد ذلك بأيام قليلة هدا البركان نهائياً. وأبحر العلماء إلى (كراكاتو) التي كانت مساحتها زهاء (٢٣٠ كم) فوجدوا أن معظمها قد ابتلعه اليم واختفى تحت سطح الماء.

٨-٣ - ثورة بركان جبل (لامنغتون) في جزيرة (غينيا الجديدة) عام

(١٩٥١) م:

لقد حدث ثوران بركاني مروع، عندما ثار جبل (لامنغتون) في أوائل عام (١٩٥١م)، وقتل ألفي شخص. ويقع بركان (لامنغتون) في جزيرة غينيا الجديدة على بعد (١٣٠) كم إلى الشمال الشرقي من ميناء مورسبي (خط عرض ٩ جنوباً تقريباً، وطول ١٤٨ شرق غرينتش تقريباً). وهو بركان قديم، كان السكان يظنون أنه خامد عديم الضرر، ولكن في أواخر عام (١٩٥٠ م) أخذ البركان يتحرك للثورة، فقد اهتزت الأرض بزازال تلو زازال، ولينبعث بعد ذلك عمود رقيق من الدخان، وعندما اشتدت الاهتزازات عنفاً، وازداد تصاعد البخار أدرك بعض الناس خطورة ما يمكن حدوثه فهاجروا تاركين أمتعتهم، غير أن كثيرين بقوا حيث هم قريبون من ثورة البركان. وفي صباح (٢١) كانون الثاني كان الثوران الرئيسي والعنيف للبركان، إذ جال الجبل بسحابة كثيفة من الرماد الملتهب. وقد محيت بلدة (هيجاتورا) التي تقع على بعد (١٥) كم من البركان من الوجود، أما بلدة (سانجارا) التي تبعد عن (هيجاتورا) نحو (٢) كم، فلم ينج من أهلها سوى أشخاص قلائل. ومن الواضح أن الألفي شخص الذي صدهم البركان لم يكن بسبب الصهير البركاني، وإنما حدثت الكارثة بسبب الغازات الحارة الملتهبة وبسبب الرماد البركاني. ولقد ذكر من شاهد الانفجار أن السحابة

السوداء الملتهبة من الرماد والغازات انبثقت مرتفعة إلى مـ.سافة (١١) كم أو أكثر لتندفع بعدها متساوقة على سفوح الجبل لتضرب البلدتين السابقتي الـ ذكر، وما وقع في طريقها.

٨-٤ - ثورة بركان (باريكوتين) في المكسيك:

بعد ظهر يوم (٢٠) شباط (الساعة الرابعة بعد الظهر) في عام (١٩٤٣م) وعلى بعد (٣٢٠) كم غربي مدينة مكسيكو، تمت ولادة بركان جديد، هو بركان (باريكوتين). وقد حدث الاندفاع البركاني في حقل للذرة يمتلكه فـ.لاح اسـ.مه (بوليدو ديونيسيويو P-Dionisio) فيما كان هذا الفلاح وزوجته (باولا Paula) يحرق الأرض ليحضرها للزراعة، شاهدا بداية هذا الحدث العظيم، حيث أحس الرجل بحرارة غير عادية للأرض تحت قدميه العاريتين - وخاصة فـ.ي تـ.ك البقعة المنخفضة من الأرض - كما رأى دخاناً يتصاعد من شق ظهره فـ.ي الأرض. وفجأة دوت فرقعة كبيرة من أعماق الأرض، واهتزت الأرض بشدة تحت قدميه، وقد سمع بدوي الفرقعة، وشعر بالاهتزاز أهالي قرية (باريكوتين) الواقعة على بعد (٣) كم من أرض الفلاح، ليدب الرعب والخوف فيهم. وبينما كان الفلاح يرقب ذلك عن قرب انشقت الأرض شقاً أكبر من سابقه، وأخذ الدخان يتصاعد أيضاً نحو الأعلى مع بعض القطع الصخرية. فما كان أمام الفلاح وقتئذٍ إلا الهرب، مخبراً أهالي مدينة (سان جوان) بذلك، وأهالي قرية (باريكوتين) الذين ذهبوا مسرعين لمشاهدة الحدث. وخلال ساعات الليل، كادت قطع الصخر المتألقة تبدو وكأنها شعل نارية في السماء. وفي صباح اليوم التالي (٢١ شباط) كان المخروط قد نما وارتفع حتى (٤٠م)، وبعد خمسة أيام وصل ارتفاعه إلى أكثر من (١٠٠م) - شكل (٢٣) -.



شكل (٢٣) ثورة بركان باريكوتين في المكسيك

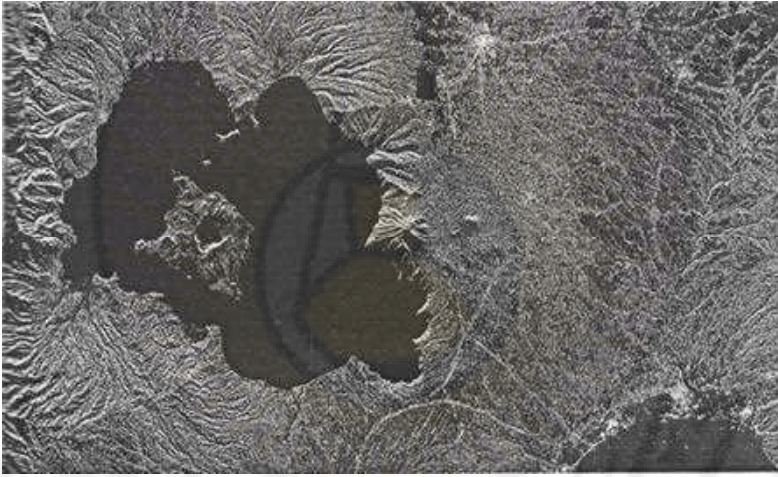
وفي الوقت نفسه استمرت الاندفاعات العنيفة تنقذ بالـ شطايا الـ صخرية الملتهبة إلى علو (١٠٠٠م) فوق حافة الفوهة، بينما كانت القطع الأكبر تتساقط قريباً من الفوهة، ويتدحرج بعض منها فوق سفح المخروط. وقد بدت تلك الشطايا والقطع المخروط بديعاً، بينما تتساقط الرماد الأدق فوق مساحة أكبر بكثير ليحرق ويغطي أخيراً قرية (باريكوتين) - التي عرفت هــ ذا البركان باسمها - . وخلال سنتين كان ارتفاع المخروط قد وصل إلى (٤٠٠) م.

وفي حزيران عام (١٩٤٤م)، تدفقت الحمم البركانية بسماكة (١٠) أمتار متحركة نحو مدينة (سان جوان) التي هجرها سكانها على وجه السرعة قبل أن تغطي الحمم مدينتهم، ولم ينج من تلك الحمم سوى أبراج الكنيسة.

وبعد تسع سنوات (في أول شهر آذار عام ١٩٥٢م) توقف النشاط هــ ذا البركان بسرعة كما بدأ، بعد أن دفن تحت حممه ومقذوفاته نحو عشرين قرية. وما زال خامداً حتى الآن.

٨-٥ - ثورات بركان تال (ta'al):

بركان تال؛ أحد البراكين الفلبينية، الذي يقع في جزيرة لوزون. ويتألف حالياً من فوهة بركانية وسطى تشغلها بحيرة مساحتها نحو (٢٦) كم^٢، تتوسطها جزيرة بركانية (Volcano Island) - شكل (٢٤) - .



شكل (٢٤) بركان تال وبحيرته في لوزون بالفلبين

وتال؛ واحد من العلامات الأرضية الهامة في الفلبين، ويدعى فيها بالبركان القاتل (Killer Volcano). وتشكل جوانبه أراضي زراعية؛ يـ زرع فيها الأرز والذرة وقصب السكر، وتربى الماشية بكثرة. كما أن البحيرة غنية بأسماكها. ولقد تعرض بركان تال إلى (٣٢) ثورة منذ اندفاعه الأول عام (١٧٥٢م)، وكانت اندفاعاته الماضية عفيفة، عملت على إطلاق كميات كبيرة من الرماد والفتات والحصى والغازات. وفي عام (١٩١١)، انفجر بركان تال بعنف شديد،

وسمع صوت الانفجار لمسافة (١٨٠) كم بعيداً عنه، متسبباً في مقتل نحو (١٣٠٠) شخص، وإصابة أكثر من (٢٠٠) شخص آخرين. ولقد بقي البركان بعددها خامداً حتى عام (١٩٦٥) عندما ثار من جديد، وفتح فوهته الجديدة على الجانب الجنوبي الغربي من الفوهة الرئيسية، وقتل عدة مئات من الأشخاص.

وزيارة اليوم إلى (تال) يشاهد الإنسان ما لا يمكن توقعه من استعمار واستغلال لكافة أطرافه وجوانب بحيرته، فأقيمت المساكن والفنادق والمناشآت السياحية، وغدت كثافة السكان كبيرة.

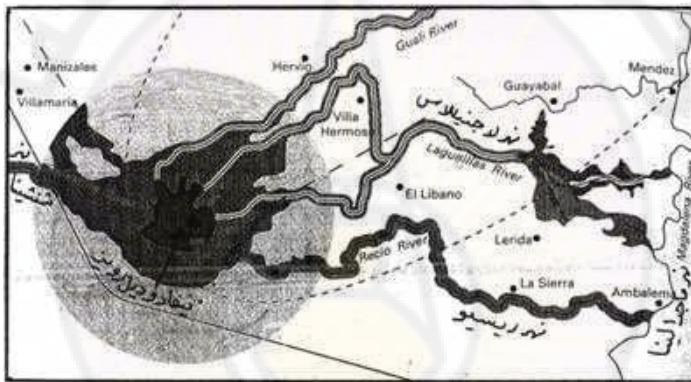
ولكن الوضع في منطقة البركان ليس مطمئناً، فهناك بعض المؤشرات من خلال حدوث اهتزازات خفيفة في أوائل التسعينات من القرن الماضي، من أن الماغما يمكن أن تعيد تراكمها عند أعماق ضحلة، متهيئةً لثورة بركانية جديدة.

٨-٦ - ثورة بركان نيفادو ديل رويز (Nevado del Ruiz)

تدفقات طينية كبرى عزيت إلى اندفاعات بركانية هي الأكثر كارثية في التاريخ الحديث، عندما تدفق الفتات الصخري الحار الذي عمل على صهر الثلج والجليد المغطي لبركان نيفادوديل رويز، الواقع في الوسط الغربي من كولومبيا إلى الغرب من العاصمة بوغوتا بنحو (١٥٠) كم، وعلى ارتفاع (٥٣٩٩) متراً.

ففي كانون الثاني من عام (١٩٨٥) حدثت تغيرات في سلوك البركان، حيث أخذ باطلاق طبقات دقيقة من الرماد من قمته، وتزايد مع ذلك النشاط الزلزالي الذي كان إشارة وتحذيراً لما سيحدث. وفي شهر أيلول (١٩٨٥) بدأت أولاً التدفقات الطينية التي ارتحلت لمسافة (٢٧ كم) بسرعة (١٠ - ٣٠ كم/ساعة). ولتزايد بعدها النشاط البركاني؛ حيث حدث في (١٣) تشرين الثاني (١٩٨٥) انفجار ضخم مطلق كميات كبيرة من الفتات الصخري شديد السخونة، مؤدياً إلى صهر الجليد والثلج المغطي لقمة البركان لينتج عنه طوفان للماء المحمل بالطين

والفتات الصخري الذي وصل إلى مدينة أرميرو (Armero) خلال ساعيتين غامراً إياها بجدار من الطين بلغ ارتفاعه (٤٠) متراً، وليقضي على (٢٢٨٠٠) شخص من سكانها وليصاب نحو (١٠,٠٠٠) شخص آخريين، مع تدمير المحاصيل الزراعية. وعلى الجانب الغربي وصل السيل الطيني إلى بلدة شينشينا (chinchina) مؤدياً إلى مقتل (٢٠٠٠) شخص، وإصابة (٥٦٣) شخصاً بجروح، وقرر إجمالي الخسائر المادية من هذه الكارثة بنحو (٤٠٠) مليون دولار أمريكي - شكل (٢٥) - .



شكل (٢٥) بركان نيفادوبيل رويز في بوليفيا

٨-٧- ثورة بركان آيسلندا (٢٠١٠):

تعد ثورة بركان آيسلندا التي بدأت في (١٤) نيسان (٢٠١٠) من أعنف الثورات البركانية الحديثة التي حدثت في الستين سنة السابقة له، ومن أكثرها تأثيراً في الجو الأرضي - شكل (٢٦) - .

ولقد استمر البركان في ثورة مستمرة خلال الأربعة أيام الأولى (١٤-١٧ نيسان)، ومستمر بعد ذلك بشكل متقطع حتى أواخر شهر أيار. ليطلق في ثورته الأولى إلى الجو كميات كبيرة من المفذوفات، بلغت نحو (٥٠) مليون طن من الرماد البركاني، ونحو (٣٠) مليون طن من المركبات الغازية المختلفة.

(ثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وأكاسيد الآزوت، وكبريتات الهيدروجين، وبخار الماء، وغاز الفلورين.. وغير ذلك)، وتبلغ تلك المقذوفات في ارتفاعها أعلى طبقة التروسفير، وتتصل الدقائق الناعمة من الرماد البركاني، والمركبات الغازية، حتى أواسط طبقة الستراتوسفير. ونتيجة لسيادة رياح غربية علوية شديدة السرعة في أعالي التروسفير (٢٠٠-٢٥٠ كم/ساعة) فقد انتشرت السحب الغازية ودقائق الرماد البركاني لتغلف الكرة الأرضية خلال ثمانية أيام، ولتنتشر فوق معظم الكرة الشمالي (٢٠-٧٠ شمالاً)، ويليغ بعضها في امتداد طولاني العروض شبه المدارية، حيث بلغت سحابة رمادية منطقة شرقي البحر المتوسط في يوم (١٦) نيسان، وكذلك في يوم (١٧) نيسان، تحولت إلى سحب عواصف رعدية أسفرت عن هطول يرد بكميات وفيرة. كما بلغ الغبار البركاني (الرماد) حوض البحر المتوسط الغربي، في (١١) أيار، مجللاً سماء المغرب بصورة سحابة داكنة. وشهدت أيضاً أواسط القارة الآسيوية ترسباً مباشراً لكميات من الرماد، وليختلط بعضه مع قطرات المطر التي هطلت كأمتار طينية، ولتسود عموماً حالة من السديمية.



شكل (٣٦) غورة بركان آيسلندا عام (٢٠١٠)

وكانت آثار البركان كبيرة على الأحوال الجوية خلال الصيف التالي
لبداية ثورته، متمثلة تلك الآثار في الآتي:

١ - انخفاض ملحوظ في درجة الحرارة في الع-روض شبه المدارية،
والوسطى، بحدود (٢-٣°م) ووصل الانخفاض إلى (٥°م) دون المعدل، منعكساً
ذلك على نشاط حركة الرياح الغربية التي صوّحت بطقس م-ضطرب غ-ائم
وماطر.

٢- ترسب كميات كبيرة من الرماد البركاني في المناطق القريبة من
البركان- كما في غربي وشمال غربي أوروبا-، وحتى في أواسط آسيا. مما أثر
في النباتات الخضراء من خلال نقص في عملية التمثيل اليخ-ضوري، بجانب
تعرض البعض من الأشخاص إلى مشاكل صحية في الجهاز التنفسي.

٣- هطول أمطار حام-ضية، نتيجة تفاعل (SO₂) وأكاسيد الآزوت،
والفلور، مع بخار الماء، مما أثر سلباً على الحياة النباتية والحيوانية المائية.

٤- حدوث تآكل في غاز الأوزون الجوي في طبقة الاستراتوسفير التي
بلغتها كميات كبيرة من غاز الفلور- وأكاسيد الآزوت- نظراً لشراهة هذا الغاز
في التفاعل مع غاز الأوزون (O₃) وهذا ما سمح لازدياد نسبة الأشعة فوق
البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض، مع ما لهذه الأشعة آثار س-لبية على
الأحياء الأرضية.

وننتج عن سحب الرماد البركاني الكثيفة التي غطت أوروبا الغربية
والشمالية إلغاء مئات الرحلات الجوية في مطارات بريطانيا وهولندا والن-رويج
والسويد.. وغيرها. كما علق آلاف السياح الأجانب (نحو ١٧ ألف س-ائح) في
مصر نتيجة توقف الملاحة البحرية في أوروبا لعدة أيام. وقدرت الخسائر المادية
التي تكبدتها شركات الطيران بخاصة في القارة الأوروبية بنحو (٢) بليون

دولار، على مدى أسبوع من اليوم التالي لثورة البركان. بجانب الخسائر غير المباشرة التي تكبدها عشرات الألوف من الذين أُجِبات رحلات سفرهم سواء في أوروبا أم غيرها.

٨-٨ - ثورة بركان جبل أونتاكى باليابان:

في يوم السبت (٢٧ أيلول عام ٢٠١٤) ثار بركان جبل أونتاكى وسط جزيرة هونشو اليابانية، متسبباً في مقتل (٤٨) شخصاً وتضرر نحو (٦٩٠) شخصاً. وكان هذا البركان قد ثار أيضاً في عام (٢٠٠٧) ولكن دون وقوع ضحايا.

٩ - إمكانية التنبؤ بالبراكين والتخفيف من مخاطرها:

هناك أكثر من (١٥٠٠) بركان اندفعت في الـ (١٠,٠٠٠) سنة مضت، تصنف كبراكين نشطة. يضاف إليها العدد نفسه تقريباً من البراكين التي توصف بالخامدة، وليست منطفئة.

ويمكن الاستدلال والتنبؤ بحدوث اندفاع بركاني، من خلال عدة دلائل ومؤشرات منها:

- ١- حدوث تقبب (انتفاخ) في قشرة الأرض.
- ٢- خروج مجموعة كبيرة من النمل (Swarms) خارج مخابئها نحو السطح، قد يكون بسبب تسخن مخابئها لاقتراب الماغما منها.
- ٣- الشعور بارتفاع حرارة ملحوظ لسطح قشرة الأرض، مما يعد مؤشراً على أن الحمم النارية غدت قريبة من السطح، مما يدل على قرب الاندفاع البركاني.
- ٤- انطلاق غازات حارة من قشرة الأرض، يمكن الاستدلال عليها من رائحتها الكريهة، أو من مقاييس التلوث الجوي.

٥- الزلازل؛ مؤشر على إمكانية حدوث اندفاعات بركانية في المنطقة القريبة من مركز الزلزال، لما تعانيه عندئذ من خلال في قشرة الأرض. وعموماً يسبق الزلازل حدوث الثورات البركانية بفترة زمنية ما بين عدة ساعات إلى عدة سنوات.

٦- التغير في صفات وسلوك الينابيع الحارة والعيانة والفوهات والبحيرات البركانية.

٧- التغير في قوة واتجاهات المجالات المغناطيسية للأرض.

٨- صور الأقمار الصناعية.

ومن الطرق المتبعة للتخفيف من مخاطرها:

١- إقامة أجهزة إنذار سريعة، لتبليغ سكان المناطق القريبة بحدوث اندفاع بركاني للابتعاد عن الخطر بالتوجه إلى مناطق بعيدة.

٢- استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، لمتابعة تطورات البركانية، وتحديد أكثر الأماكن خطورة.

٣- استخدام الطائرات في مكافحة بعض الآثار المتولدة من الاندفاع البركاني؛ كما في ردم مجاري الصهر البركاني برمي بعض الكتل الصخرية أمام الصهير للحد من سرعته أو تغيير اتجاه جريانه، أو منع تكون سدود على مجاري الأنهار، بقصف تلك السدود وتدميرها لمنع تكون بحيرات خلفها.

٤- النصح باستخدام بدلات وكمامات خاصة لمواجهة الغازات السامة والغيبار البركاني.

الفصل الثالث

الانزلاقات الأرضية والانهيالات الثلجية

أولاً- الانزلاقات الأرضية

١ - الانهيارات الصخرية

٢- تدفق الفتات الصخري

٣- زحف التربة

٤- التدفق الطيني

٥ - نماذج من الانزلاقات الأرضية

ثانياً- الانهيالات الثلجية:

١ - ما الانهيار الثلجي؟

٢- نماذج من الانهيالات الثلجية

٣- ضحايا الانهيالات الثلجية

ثالثاً- أساليب التخفيف والوقاية من مخاطر الانزلاقات والانهيالات

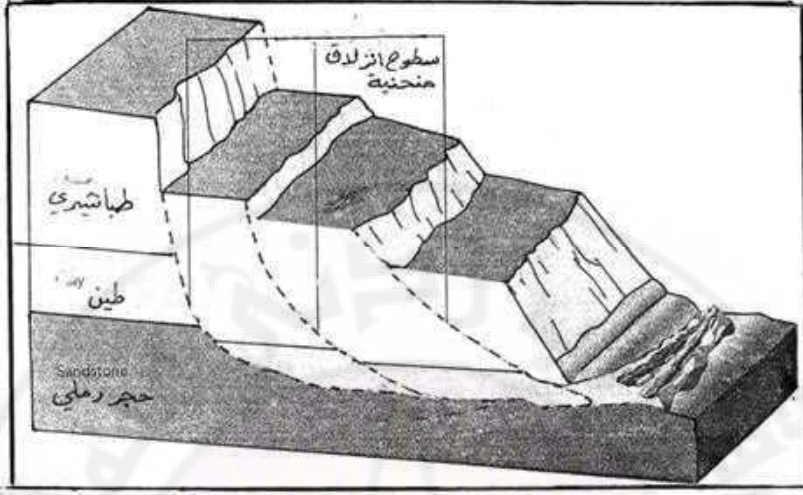
أولاً- الانزلاقات الأرضية (Landslides):

الانزلاقات الأرضية، هي ظواهر أرضية عالمية، إذ يندر أن تخلو أراض دولة من مظهر من مظاهرها؛ سواء كانت بهيئة حركات كتل صخرية، أم فتاتاً صخرياً أو تدفقات ترابية وطينية. ورغم أن ضحاياها من البشري-سوا من الكثرة، إلا أن الخسائر المادية التي تحدثها سنوياً تقدر ببلايين الدولارات. وتنقسم الانزلاقات الأرضية إلى أربع مجموعات تبعاً لحجم المادة وآلية حدوثها، وهي الآتية:

١ - الانهيارات الصخرية (Rock Falls):

المقصود بالانهيارات الصخرية؛ سقوط كتل صخرية كبيرة على منحدر جبلي نحو المناطق الأخفض، كأن يكون وادياً أو بحيرة، أو مقدمة جبل لاستمرار سهل، أو حوضه جبلية. حيث تكثر الانهيارات الصخرية في المناطق الجبلية والتلية - بل تكاد تكون حكراً عليها-. إذ تندفع أحياناً كتل صخرية ضخمة الحجم والوزن نحو الأسفل بسرعة تتعلق بحجم الكتلة وشدة الانحدار السفح الجبلي. وقد يسقط جزء كامل من سفح شديد الانحدار محدثاً أضراراً مدمرة، ومدمراً كل ما يصادفه في طريقه أو يقع تحته.

وهناك نوعان من السقوط، فإما أن يكون سقوطاً حراً في حال كان السفح ذا انحدار شديد جداً (زاوية الانحدار تزيد على ٧٠ درجة)، أو فيمالة إذا كانت الحافة العليا للمنحدر (السفح) قائمة وذات بروز وإطلالة حرة مباشرة على المنخفض وترتكز على مواد هشة. وإما أن يكون السقوط (الانهيار) غير مباشر؛ بحيث تتدحرج الكتل الصخرية على المنحدر، وقد تنقطع إلى قطيع أصغر أثناء انحدارها - شكل (٢٧) -.



شكل (٢٧) يتدحرج الكتل الصخرية على المنحدرات

وتختلف أحجام الكتل الصخرية المنهارة (الساقطة)؛ من حجم البيضة بوزن بضعة مئات الغرامات، إلى وزن بضعة كيلو غرامات، ولتصل في الكتل الضخمة إلى بضعة أطنان، وأحياناً إلى عشرات الأطنان، بل وعشرات ملايين الأطنان، وإذا يجب التمييز في الانهيارات الصخرية بين نوعين حسب حجم الصخور المنهارة:

١- الكتل الصخرية الضخمة ذات الأوزان التي تتجاوز عشرة كيلو غرامات ولتصل إلى بضعة أطنان، وحتى ملايين الأطنان أحياناً. وهي الأكثر خطورة وتدميراً وكارثية.

٢- الفتات الصخري؛ الذي يتدحرج على المنحدرات الجبلية، بأحجام مختلفة، يغلب عليها الأحجام الصغيرة. لأنه يتدحرج الكتل الكبيرة نوعاً ما ذات الأوزان بضعة كيلو غرامات، فإنها قد تتحطم وتتفتت إلى قطع صغيرة من حجم الحصى وما فوق. وهي أقل خطورة من سابقتها.

ويتحكم في الانهيارات الصخرية عدة عوامل، تتمثل في الآتي:

١ - شدة انحدار المنحدر؛ إذ يجب أن يزيد الانحدار على (٥٠) حتى يمكن حدوث الانهيار الصخري. وكلما كان الانحدار أكبر، كان الكتل المنهارة أسرع وأشد خطورة.

٢ - وجود تشققات وفواصل في الصخور؛ التي يزداد اتساعها وعمقها بفعل هطول الأمطار والثلوج، ومن خلال عمليات تعاوب التجاذب والتخريب من الجليد، بما يتولد عن ذلك من عمليات تجوية وتعرية. ويـنجم عن العمليات السابقة حدوث تقطع في الصخور، وازدياد في عدم استقرارها، وانفصال للقطع الفلقة غير المستقرة باتجاه انحدار المنحدر.

٣ - الزلازل؛ في حال توفر العاملين سابقين الذكر، فإن حدوث زلزال سيؤدي إلى اهتزاز قشرة الأرض بشدة، بما يتولد عنه انهيارات بعضها فجائي، والآخر بتسارع كبير. وتعد الزلازل عاملاً مسبباً لإحداث التشققات والفواصل في الصخور.

وفي سلاسل جبال القفقاس، فإن زلزال عام (١٣٠٠م) أدى إلى انهيار جزء من جبل كياباز (Kiapas) الذي يبلغ ارتفاعه (٢٩٨٠م). وكانت الصخور مؤلفة من الكلاس المتشق، وقدّر حجم الصخور المنهارة بنحو (٢٠٠٠) م^٣، وكونت لسانين صخريين ضمن الأودية وبامتداد نحو (٩,٦) كم.

كما أدى زلزال (١٦ شباط عام ١٩٧٨) إلى انهيار صخري كبير في جبال البامير، مكوناً سدّاً صخرياً في وادي نهر بارتانغ (paratang) بلغ طوله (٥٠م) وارتفاعه (٧٠٠م)، وبلغ حجم الصخور المنهارة والمجروفة (٥) ملايين م^٣.

٤ - البراكين؛ التي هي واحدة من مظاهر السطح التي تكثر على جوانبها مظاهر مختلفة من الانهيارات الصخرية والتدفق الفتاتي، سواء في فترة

الانذافات البركانية - كما ذكرنا ذلك في حينه - ، أو في فترة الخمود البركاني نتيجة لعوامل عدة تتعلق: بانحدار سطح البركان، والتفتت الصخري على جوانبه، والهطول المطري والثلجي الذي يساعد على الانزلاقات والتدفقات الفتاتية والطينية.

٢- تدفق الفتات الصخري (Debris Flow):

كما ذكرنا أن الفتات الصخري هو قطع صخرية صغيرة، ذاتية التشكل فوق المنحدرات والسفوح الجبلية بفعل عوامل التجوية والتعرية. وقد يكون مصدرها البراكين خلال ثوراتها من خلال ما تطلق من فتات بمثابة رماد بركاني، يتساقط على جوانب البركان.

ويبدأ الفتات الصخري بالتحرك فوق سطوح المنحدرات ذات الانحدار الكافي الذي لا يقل عموماً عن (٥٠) درجة. ومما يساعد عليه؛ بالإضافة إلى قوة الثقالة، هي الأمطار الغزيرة والثلوج التي تجعله أول استقراراً على قواعده الصخرية المبللة، وبخاصة إذا ما حدث صقيع شديد يؤدي إلى تجمد المياه عند قاعدته، لتصبح قواعده لزجة مصقولة تعمل على تسريع التدفقات الصخرية.

ولتدفق الفتات الصخري آثار كبيرة على كل ما يقع في طريقه، كما له مخاطره على مناطق سقوطه وتراكمه عند نهايته، - (شكل ٢٨) -، حيث يؤدي إلى قطع طرق المواصلات، وتهدم منشآت عمرانية أو غيرها، وكذلك يؤدي تراكمه في الأودية إلى تشكل بحيرات مائية.

٣- زحف التربة (Soil creep):

تمثل التربة الجزء المتفتت العلوي من الغلاف الصخري الخاضع مباشرة وغير مباشرة لتأثيرات الغلاف الجوي. وتتكون بشكل عام من (٥٠%) م- واد

معدينية وعضوية، والباقي هواء يملأ فراغاتها وماء يوجد ض-منها. وتت-راوح أحجام حبيبات التربة من أقل من أعشار المليمتر في التربة الطينية والغرينية-ة (Silt) إلى بضعة المليمترات في التربة الرملية.



شكل (٢٨) تدفق الفتات الصخري

ويحدث زحف التربة وانزلاقها ببطء على جوانب المنح-درات الجبلية-ة والتلية، بتأثير عامل الثقالة، ويكون في معظم الأحيان غير مح-سوس، يستدل عليه من بعض الظواهر الناتجة عنه (انحداء أعم-دة اله-اتف والأش-جار، والأسوار، وانتفاخ سطح المنحدر نتيجة لتراكم التربة أمام عوائق على المنحدر كان تكون صخرة أو سواها، انطواء الأرض الخضراء أسفل المنطقة الزاحفة-ة تربتها، ووجود صفوف من الحصى في التربة السفلى).

ويتحكم في زحف التربة مجموعة من العوامل منها: درجة الانحدار، وطبيعة السطح، وتركيب التربة وقوامها، وكثافة الغطاء النباتي، ووفرة الهطول المطري الذي تختلط مياهه بها، والاستخدامات البشرية لها من حراثة عمودية-ة على خطوط الانحدار، وتربية حيوانات تعمل بتحريكها فوقها إلى إح-داث قل-ق فيها، وانتشار الحيوانات الجحرية.

ع - التدفق الطيني (Mudflow):

تسمى هذه الظاهرة في بعض الأحيان بالانهيار السريع، التي تحدث فوق السفوح متوسطة إلى ضعيفة الانحدار (دون ٥٠ درجة)، حيث الرواسب الطينية الهشة ذات السماكة الكبيرة المرتكزة على طبقات صلبة. فعندما تتسارع سرعة التدفق التكوينية الطينية بالماء، يقل تماسكها ويزداد ثقلها، حيث تعمل لملامستها ونفاذيتها على تسرب المياه خلالها، فتتحرك باتجاه أسفل المنحدر بسرعة، لأن المياه تقلل من احتكاك الطبقة الطينية بالصخرية التي تحتها. كما يؤدي تسرع الطين بالماء إلى تكوين مجاري مائية - طينية صغيرة، سرعان ما تتحول إلى كبيرة وسريعة، تعمل على جرف كميات كبيرة من الأتربة نحو الأسفل، والتي تزيد من عملية الانجراف بتأثير سرعة الجريان، واحتكاك المواد المجروفة بقاء وجوانب المجرى، وتكون على أشدها فوق السفوح الخالية من النباتات الطبيعية. وتعد ظاهرة التدفق الطيني من أخطر العمليات التي تتعرض لها السفوح، لأنها تنتقل لمسافة كبيرة بعيداً عن السفوح التي حدثت فوقها، لذا فإنها تؤدي إلى تدمير ما يعترضها من عمران ومشاريع وزراعات.

وقد ينتج عن العمليات المتكررة التي تتعرض لها بعض السفوح على نطاق واسع إلى تكون الدالات المروحية (الفرشات) عند إقدامها، والتي تعد من أكثر مراكز النشاط البشري، رغم تعرض بعضها فيما بعد لتشكلها إلى مخاطر التدفق الطيني.

ومن أبرز الأمثلة عن التدفقات الطينية: تدفق سلاومجوليون (Slumgullion) في منطقة هينسدال (Hinsdal) جنوب غربي ولاية كولورادو الأمريكية الذي تحرك لمسافة عشرة كيلو مترات إلى الأسفل من ارتفاع

(٨٠٠م)، على سطح درجة انحداره دون (١٠) درجات متسبباً في خلق بحيرة فورك (Fork) السدية فيما بين (٨٠٠-٩٠٠) سنة مضت.

٥ - نماذج من الانزلاقات الأرضية:

لا تمر سنة دون حدوث عشرات، إن لم يكن مئات، من الانزلاقات الأرضية. وفيما يلي نماذج ممثلة عنها:

١ - في الرابع من شهر أيلول عام (١٦١٨) حدث انهيار صخري مفاجئ في وادي شيا فينا الإيطالي، تسبب في مقتل أكثر من (٢٤٠٠) شخص.

٢ - في (١١) أيلول عام (١٨٨١) حدثت عدة انهيارات صخرية من جبل (بلاتنبركوبف) على وادي (سبرنف) الواقعة مدينة (إلم) السومرية في أحضانه، متسببة في مقتل نحو (١٥٠) شخصاً، وإصابة (٢٠٠) آخرين.

٣ - في عام (١٩٠٣) انهارت كتلة صخرية من الحجر الكلسي بلغ وزنها نحو (٨٢) مليون طن، لتسقط على مدينة فرانك (frank) في البردة الجنوبية الغربية بكندا بسرعة سقوط بلغت (١٠٠) متر في الثانية. وفي خلال دقيقة كانت المدينة قد دمرت وأزيات ولم يعد لها وجود.

٤ - في (١٠) كانون الثاني عام (١٩٦٢) انهارت كتلة ضخمة من الصخور والجليد من الواجهة الغربية لجبل نيفادوس هواسكاران (Neva dos Huascaran) في جبال البيرو الأنديزية مزدفعة بسرعة نحو الأودية النهرية مشكلة جداراً من الفتات الصخري بارتفاع (١٠-١٥)م، منهجاً على مدينة رانراهيركا (Ranara hirca) مودياً بحياة نحو (٢٠٠٠) شخص.

وفي ٣١ أيار عام (١٩٧٠) حدث زلزال بقوة (٧,٩) درجة على مقياس ريختر في المحيط الهادي على بعد من (هواسكاران) نحو (١٣٥/كم)، مؤدياً إلى

اهتزاز الأرض وارتجاجها لنحو (٤٥) ثانية، وانهيار جزء من المنحدر الغربي محدثاً انفجاراً مدوياً، فاذفاً نحو مئة مليون متر مكعب من الصخور الجبلية، بسرعة تراوحت بين (٢٨٠-٣٣٥ كم/ساعة) لتسقط مسافة (٤ كم) خلال ثلاث أو أربع دقائق، ولتدمر مدينة يونجاي (yungay) وليقتل (١٨) ألف شخص وضوا تحت الانقراض الصخرية التي بلغت سماكتها (٣٠) متراً.

٥- حدث في شهر تشرين الأول عام (١٩٦٣) انهيار صخري في شمالي إيطاليا من حافة جبل نوك الواقع إلى الشمال من مدينة البندقية، وتم الانسقوط على سد مائي كبير (سد فابونز) مدمراً إياه، ومتدفقة مياهه بقوة مزيلة قارية (فابونز) الواقعة في طريقها، وقتل نحو (٤٠٠٠) شخص.

٦- أدى استمرار هطول الأمطار الغزيرة خلال الفترة (١٨-٢٦) كانون الثاني من عام (١٩٦٩) في جنوبي كاليفورنيا، إلى حدوث سلسلة من الانهيارات الصخرية الجبلية ذهب ضحيتها أكثر من مئة شخص وتسببت في أضرار قدرت قيمتها بنحو (٦٠) مليون دولار.

٧- وفي (٢٥) نيسان عام (١٩٧٤) تسبب الأمطار الغزيرة في وسط البيرو التي تزامنت مع عدة هزات أرضية إلى انهيار ثلاث كتل صخرية جبلية ضخمة إلى وادي نهر (مانتارو) لتغلقه بسد خاف وراءه بحيرة طولها نحو (١٢) كم، على ارتفاع نحو (٢٠٠) م فوق المستوى الطبيعي لسرير النهر، ولتطغي المياه فوق حواف السد الركامي لاستمرار هطول الأمطار، مدمرة البيوت في مجرى الوادي والمزروعات، ومزهقة أرواح أكثر من ألف شخص.

٨- في (١٤) كانون الأول عام (١٩٩٣) حدث انهيار للحافة الجبلية في جبل المقطم بالقاهرة - في منطقة الدوبقة - وطال الانهيار المباني والأشخاص، حيث قتل (٥٠) شخصاً، وأصيب العديدون بجراح.

٩- وفي عام (٢٠٠٢) عانت نيبال خـلال فتـرة الأمـطار الموسـمية الصيفية، من حدوث انزلاقات أرضية ضخمة - من جبال هيمالايا - تسببت فـي مقتل (٥٠٠) شخص في (٤٧) مركزاً بشرياً، وفقدان عدد كبير من الحيوانات، وخسائر في الممتلكات.

ولم يكن سبب تلك الخسائر، ضخامة الانزلاقات وإنما قرب القـرى مـن التلال والجبال، والتدني النوعي في مواصفات المساكن ذلك أن نحو (٩٢%) من السكان يعيشون في الأراضي المنخفضة، عند مـقدمات التلال والجبال، الأكثر عرضة للانزلاقات الأرضية التي تحركها الأمطار، وإلـها الهـزات الأرضية.

١٠- ومن الانزلاقات الأرضية التي حدثت في عام (٢٠١٤) نذكر:

أ- في (٢٣) آذار عام (٢٠١٤) حدثت انزلاقات طينية كبيرة اجتاحت شمال مدينة سياتل في الولايات المتحدة، بسبب تشبع التربة بمياه الأمطار الغزيرة التي هطلت خلال الأسبوع السابق للانزلاقات مودية بحياة (٣) أشخاص وجرح ثمانية.

ب- وفي يوم (٢) أيار عام (٢٠١٤) حدثت انزلاقات أرضية في أعقاب أمطار غزيرة في شمال شرقي أفغانستان دفنت تحتها قرية (هوبوباريك) فـي ولاية بدخشان ودمرت أكثر من ثلث منازلها، وقتلت أكثر من (١٠٠٠) شخص. ج- وفي يوم (٥) أيلول، تسبب انزلاق أرضي في ولاية جامو وكشمير شمال الهند إلى مقتل (١٤) شخص.

د- كما تسبب الانزلاقات الطينية في سيريلاانكا في يوم (٢٩) تشرين الأول بعد أمطار موسمية غزيرة في مقتل نحو (٢٠٠) شخص، معظمهم مـن منطقة بادولا.

والجدول التالي (٦) يبين أهم كوارث الانزلاقات الأرضية في القرن العشرين

عدد القتلى	التاريخ	الدولة	الموقع
١٨٠٠٠	١٣ حزيران ١٩٠٧	البورو	يونجاي
١٢٠٠٠	١٩٤٩	طاجكستان	خايت
١٠,٠٠٠	١٣ كانون الأول ١٩١٦	اوربا	-
٥,٠٠٠	كانون الأول، ١٩٤١	بيرو	هواراز
٢٨٠٠	٢٠ أيلول، ١٩٧٣	هندوراس	كولوما
٢,٠٠٠	١٠ كانون ثاني، ١٩٦٢	بيرو	رانراهيركا
١,١٨٩	٩ تشرين أول ١٩٦٣	إيطاليا	لونغارون
١٠,٠٠	١ تشرين أول ١٩٦٨	الهند	بيهار، بنغال
٦٤٠	٢٧ أيلول، ١٩٨٧	كولومبيا	فيللاتينا، ميدلين
٦٠٠	١٨ آذار، ١٩٧١	بيرو	شونجار
٥٠٠	٢٣ آذار، ١٩٣٤	الصين	غوانغزهو/ غوانغشو
٥٠٠	١٨ أيلول، ١٩٤٨	الهند	آسام

ثانياً - الانهيارات الثلجية (Avalanches):

تعد الانهيارات الثلجية بكافة أنواعها، أحد المظاهر الطبيعية المرعبة في المناطق الجبلية، فهي قادرة على كنس ما يقع في طريقها. وتكتسب أهمية خاصة في هذه الأيام، مع ازدياد جماهيرية رياضة التزلج على الجليد في أعالي الجبال وازدياد المناطق الجبلية الثلجية للتنعم بالمنتجعات الثلجية.

١ - ما الانهيار الثلجي؟

الانهيالات؛ هي عبارة عن سقوط كتل من الثلج - مختلطة أحياناً بم - واد أخرى من الجليد والتربة والفتات الصخري - باتجاه المناطق الأخفض، من على جوانب الجبال وقممها. وتترافق الانهيالات الثلجية عادة مع رياح شديدة تعم - ل على اقتلاع الأشجار على طول الحافات الجبلية.

وفوق خط الثلج الدائم، حيث يكون هناك فائضاً من الثلج يزيد عن الفاو - د منه بالتبخر والذوبان، فإن الثلج الفائض المتراكم عادة ما يتضاعف ليتحول إلى جليد. وعند وصوله إلى سماكة كافية (٣٠ - ٦٠ م) فإن الضغط على طبقاته السفلى يفقدها صلابتها ويحولها إلى كتلة لينة (مرنة) تتحرك هبطاً ببطء على المنحدرات إلى الارتفاعات الأخفض في شكل جليديات. أو يسقط الجليد بسرعة منهاراً للأسفل. ويكون معدل الهبوط أكثر سرعة مع ازدياد انحدار المنحدرات الجبلية. ومن ثم أكثر تأثيراً على الناس والممتلكات كلما كان أكثر عنفاً على المنحدرات الأشد انحداراً.

والتأثير الفلق للأساس القاعدي للكتل الثلجية، يكون بسبب إم - ا الأمطار الربيعية، أو رياح الفوهن الحارة والجافة عموماً التي تسبب في ذوبان الثلج بسرعة، مما يؤدي إلى حدوث تقطع وانزلاق في الثلج والجليد المتراكم على جوانب الجبال وقممها.

وربما يؤدي الرعد أو صوت مدفعية... وغيرها من الأصوات القوية إلى حدوث انهيار ثلجي. بجانب ما للزلازل من دور كبير في ذلك.

وقد يكون الانهيار - الذي ي - دعى أحياناً (الموت الأب - يض) - شديداً الخطورة، وذلك عندما تكون كميات الثلج والجليد المنهالة كبيرة جداً إلى درجة

استثنائية، مما يجعلها تدمر قرى بأكملها، مؤدية إلى خسائر بشرية وأضرار في الممتلكات، وهناك العديد من الأمثلة الشاهدة على ذلك.

٢- نماذج الانهيارات الثلجية:

يحدث انهيار الثلج عادة بشكل متكرر فوق المنحدرات التي يتراوح انحدارها بين (٢٥-٤٠) درجة، على الرغم من إمكانية حدوثها أحياناً في انحدارات أخفض (حتى ١٥ درجة) وأكبر (حتى ٦٠ درجة). وتحت وفوق هذين الحدين لا يمكن حدوث الانهيار الثلجي. ففي حال الزوايا المنخفضة للانحدار؛ فإن دور الجاذبية (الثقالة) يكون قليلاً لا يساعد على حدوث الانهيارات بينما في الزوايا الأعلى (أكبر من ٦٠) فإنه لا تتاح الفرصة للثلج للتراكم بكميات وسماكات مناسبة للانهيار.

وهناك أربعة نماذج من الانهيارات الثلجية، هي:

٢-١ - الانهيارات الذرورية/ المسحوفية (انهيارات البودرة powder):

وهذا النموذج من الانهيارات يبدأ من نقطة منفردة علوية، ويتدرج جبات الثلج يتراكم عليها الثلج وهي متحركة نحو الأسفل فوق المنحدر لتزداد حجمها إلى أن تغدو على هيئة كرات ثلجية. -شكل (٢٩ أ) -.

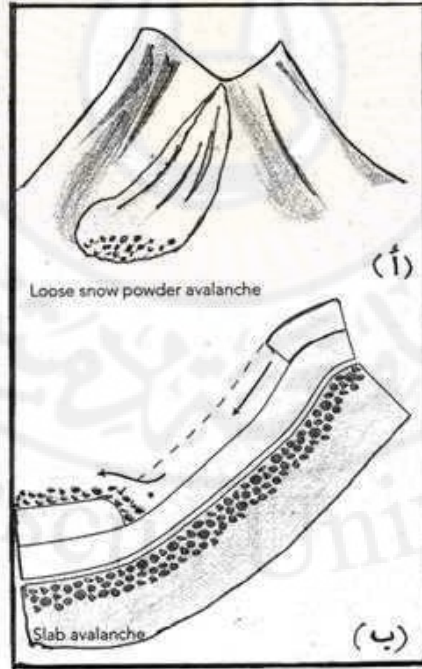
وغالباً ما تتشكل مثل تلك الكرات فوق السطوح الناعمة بعد هطول المطر أو تشكل الصقيع. فالثلج الحديث السقوط يكون خفيفاً جداً ويخالطه الهواء، مشكلاً به ذلك البودرة. ويبدأ الثلج بالتحرك بشكل لוחي (شرائحي)، وهو ينمو بسرعة ويتجمع الثلج عليه، حيث يرتحل بسرعة تقارب من (١٠٠ - ٣٠٠) كم/ساعة.

وفي جبهة الانهيار، يمكن لموجة من الكرات الثلجية المتشكلة والمنهالة، أن تحدث تأثيراً تخريبياً لما يقع في مواجهتها. كما أن استنشاق الثلج يمكن أن

يتسبب في حالة اختناق، غالباً ما يكون سبباً رئيسياً للموت في هذا النموذج م-ن الانهيارات.

٢-٢- الانهيارات اللوحية (الشرائحية Slab Avalanche):

إنه النموذج الأكثر انتشاراً في الانهيارات الشتوية، والذي يترافق عموماً م-ع الثلج الجديد السقوط فوق المنحدرات الواقعة في مواجهة الرياح. ف-اللوحي الجليدي يتشكل بتماس طبقة الثلج السطحية التي نمت وتحولت إلى طبقة جليدية، م-ن بخ-ار الحبيبات الثلجية الذي ترسب على صورة بلورات جليدية. ومع التحول الثلجي به-ذه الآلية إلى جليد تنمو بلورات الجليد، لتتخذ شكل طبقة لوحية فوق طبقة الصقيع الت-ي دونها، مما يجعلها تنزلق فوق المنحدر نحو الأسفل. ومن الممكن للوح الجليدي أثناء انسياحه فوق المنحدر أن يقطع إلى قطع صغيرة. شكل (٢٩ ب).



شكل (٢٩) الانهيارات الذرية المسحوفية (أ) والانهيارات اللوحية (ب)

ويمثل الانهيار اللوحي أخطر أنواع الانهيارات، بسبب صلابته، وانسحابه بالرياح الشديدة (أكثر من 50 كم/ساعة) وبخاصة في درجات الحرارة المنخفضة.

٣-٢ - الانهيارات الرطبة:

هي انهيارات تحدث في أعقاب موجة حر، أو خلال موسم الذوبان الثلجي في الربيع. ففي مثل هاتين الحالتين، يصبح الثلج ثقيلًا، ويبدأ بالتحول إلى ماء، لتتغير عندها كثافته من نحو (350) كغ/سم³ إلى (500) كغ/سم³. وعلى الرغم من أن الانهيارات الرطبة متكررة الحدوث، إلا أنها صغيرة عموماً، وليست بذات أهمية معتبرة. ومن الممكن التنبؤ بحداثتها بسهولة لارتباطها بأحوال الطقس المسببة لتشكّلها؛ فالشفوق في الثلج، وظهور كرات كبيرة من الثلج المتدحرج نحو الأسفل تشكل علامات دالة عليها.

٤-٢ - الانهيارات الثلجية الحطامية:

وهي خليط من الثلج والفتات الصخري (Debris). فهبط واطال ثلج فوق الأجزاء العليا من المنحدرات وانهياله منساحاً نحو الأسفل، يحمّل معه في طريقه الفتات الصخري الموجود على المنحدرات الذي ينتج عن عوامل التجوية الفيزيائية وسواها.

وتتخذ الانهيارات الثلجية الحطامية في هبوطها أحد طريقين؛ فلما أن تتبع مساراً خطياً عبر أفنية محفورة مسبقاً في سطح المنحدر - هي عموماً أودية -؛ ولما أن تنساح مساحياً هابطة على جوانب الجبال، وسواها من المرتفعات (تلال، مخاريط بركانية) ..

٣- ضحايا الانهيارات الثلجية:

الموت هو أول ما ينجم عن الانهيارات الثلجية، الذي يحدث بطرق متعددة، سواء بشكل مباشر أم غير مباشر.

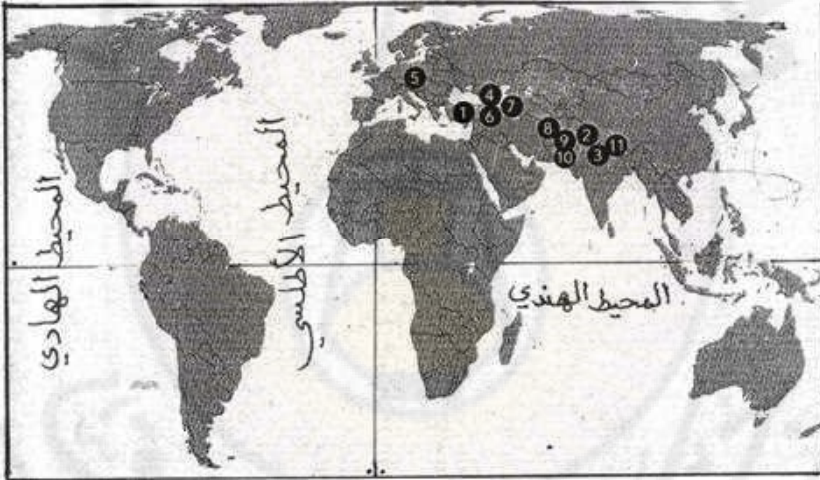
وفي كل سنة؛ فإن الانهيارات تؤثر على نسبة مئوية قليلة من ملايين البشر الذين يستمتعون بثلوج الشتاء، من خلال المنتجعات الشتوية، وممارسة رياضة التزلج، وتساق الجبال.. وغير ذلك. وأحياناً، فإن انهيارات ضخمة قد تسقط على المدن والقرى في المناطق الجبلية، لتدمر وتقتل وتشرد.

وبالمقارنة مع كوارث طبيعية أخرى، فإن ضحايا الانهيارات الثلجية قليلة عموماً؛ فالمعدل السنوي للقتلى نحو (٣٥) في النمسا، و(١٤) في فرنسا، وكذلك (١٤) في اليابان و(٢٥) في كل من سويسرا وإيطاليا، و(١٤) شخصاً في الولايات المتحدة.

والجدول التالي (٧) يبين أهم أحداث الانهيارات الثلجية في العالم وضحاياها من البشر، في القرن العشرين والموضحة في الشكل (٣٠).

الموقع	الدولة	التاريخ	عدد القتلى
سيرناك، سيرت، باتمان بنغلاديش، ديار بكر، هالكاري، تونسلي	تركيا	١٩٩٢ شباط،	٢٦١
جامو وكشمير، لاداغ	الهند	١٥ آذار، ١٩٨٨	٢٥٠
كشمير	الهند	١٧ كانون الثاني، ١٩٩٥	٢٥٠
جبال القوقاز	روسيا	٢٨ كانون الثاني، ١٩٩٣	٢٣٩
بلونس، وادي لانجين	النمسا	١٢ كانون الثاني، ١٩٥٤	٢٠٠

أوزنغلي	تركيا	١٨ كانون الثاني، ١٩٩٣	١٣٥
قرب كارمادون (شمال أوستيا - آلتيا	روسيا	٢٠ أيلول، ٢٠٠٢	١١١
منطقة سالانغ	افغانستان	آذار، ١٩٩٣	١٠٠
مزار شريف	افغانستان	٢٧ آذار، ١٩٩٧	١٠٠
فوبان (وادي آستور)	باكستان	١١ آذار، ١٩٨٣	٩٥
ماناغ، باننشاتار	نيبال	١١ تشرين الثاني، ١٩٩٥	٩٥



شكل (٣٠) خريطة لمواقع أهم الانهيارات الثلجية

ومن النماذج الكارثية للانهيالات الثلجية، نذكر:

١ - انهيار ليوكربار (١٧١٨):

تعرضت بلدة (ليوكربار) في سويسرا إلى انهيار ثلجي مدمراً في الـ سابع عشر من شهر كانون الثاني عام (١٧١٨)، حيث تدرجت أطنان من الـ ثلج - دون سابق إنذار - فوق البلدة فهدمت جميع أبنيتها، وبلغ عدد القتلى (٥٥) شخصاً.

٢- انهيار سان جيرفي، ولافايت (١٨٩٢):

في (١٢) تموز عام (١٨٩٢) انمحت قريتا (س-ان جيرفي، لافايت-ت) المنتجعان السياحيان في سويسرا، وقتل فيهما (١٤٠) شخصاً، ودمرت جميع مساكنهما، بسبب انهيار جمودية عليهما من فوق السفح الغربي لجبل مون بلان، بوزن عدة أطنان من الثلج والجليد والحطام.

٣- انهيار ولنغتون (١٩١٠):

وقع أكثر الانهيارات الثلجية كارثية في الولايات المتحدة في جبال الكاسكيد، في الأول من شهر آذار عام (١٩١٠)، في أعقاب هطول ثلوج غزيرة- وهب- وب رياح حارة-، فوق منطقة أتلنت حرائق الغابات فيها الأشجار وكل ما غطى سطح أرضها في الخريف السابق (١٩٠٩). ففي صباح ذلك اليوم (ال-ساعة الواحدة وعشرين دقيقة) انفصلت من سفح الجبل بلاطة من الثلج سملكتها نحو (٦) أمتار، وتحركت بعرض (١,١ كم) وبجهة نحو (٨,٠ كم)، لتهوي بالتج-اه بلا-دة ولنغت-ون وتسقط على قطار متوقف وجرافة ثلج وبرج ماء وعشرات الأشخاص، لتقتل-ذف بهم إلى وهددة عميقة، وليذهب ضحيتها (٩٦) شخصاً.

٤- انهيار ستوررات (١٩٦٥):

عند أسفل جبل غراندوك في كولومبيا البريطانية بكندا دفن أحد-د من-اجم النحاس (لي دو ككامب) في العاشرة إلا ثلاث دقائق من صباح (١٨) شباط عام (١٩٦٥) جراء انهيار جليدي من جبل مجاور، متسبباً في مقتل (٢٧) شخصاً.

٥- وفي (٢٧-٢٨) كانون الثاني عام (١٩٧٠) انهالت كتل ثلجية-ة م-ن جبال البورز في شمال شرقي ايران، فوق طريق عام، فجرفت (١٥٠) آلية إلى الوادي، وقتلت (٤٣) شخصاً، وأصيب مئة شخص.

٦- وفي (٢٤) شباط عام (١٩٧٠)، انهالت كتل ثلجية ضخمة فوق قرية (ريكنغ) السويسرية ومعسكراً للجيش، فقتلت ثلاثين شخصاً.

٧- وفي آيسلندا؛ أدى انهيار ثلجي وجليدي فوق بلدة (نيسكاوي-ستادور) إلى مقتل (١٢) شخصاً في يوم (٢٠) كانون الأول عام (١٩٧٤).

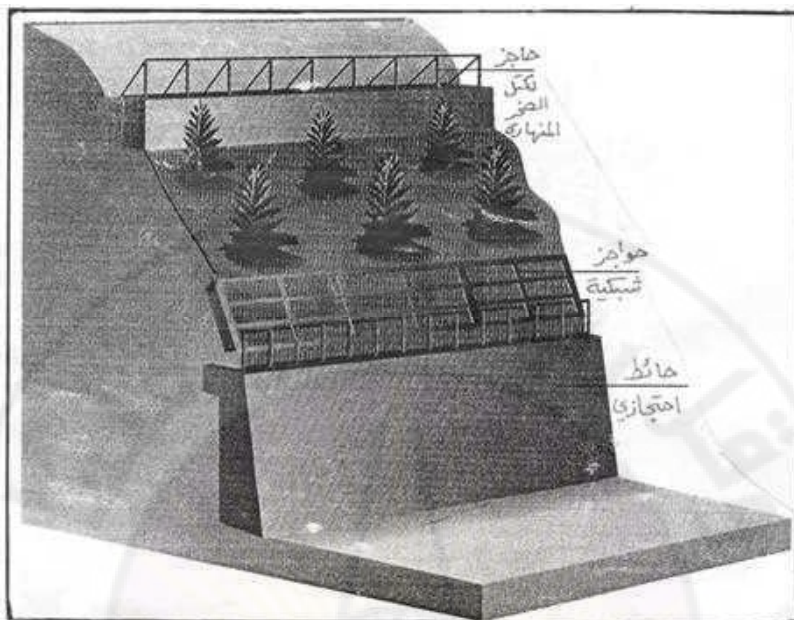
٨- وفي أوائل شهر نيسان عام (١٩٧٥) دفت انهيارات ثلجية ضخمة قرى وطرقات وخطوط سكك حديدية في جبال الألب، أسفرت عن مقتل (١٣) سويسرياً، و(١٢) إيطالياً، و(١٥) نمساوياً.

ثالثاً- أساليب التخفيف والوقاية من مخاطر الانزلاقات والانهيارات:

فيما يتعلق بالانزلاقات الأرضية؛ فإنه لمن الصعوبة الوقوف في وجه الانهيارات الصخرية الحرة أو شبه الحرة لضخامة كتلتها الصخرية. أما بالنسبة للانهيارات الصخرية ذات القطع الصغيرة نسبياً، وللتدفقات الصخرية الفتاتية أو الطينية، فيمكن التخفيف منها- وحتى إعاقة أو وقف تقدمها- نحو الأسفل بإقامة جدران إسمنتية استنادية أو شباك حديدية لحجز الكتل الصخرية الكبرى، وكذلك بزراعة الأشجار. شكل (٣١).

أما بالنسبة لوسائل التخفيف من مخاطر الانهيارات الثلجية ف-يمكن أيضاً اللجوء إلى إقامة حواجز من الشباك الحديدية المختلفة اتساع منافذها، وعلى صفوف متباعدة عن بعضها، بمسافة من المدن والمنشآت المعرضة لاحتمالات وقوعها في طريقها- شكل (٣٢) -.

وكذلك إقامة جدران اعتراضية اسمنتية، خاصة في حال احتمال تعرض المنطقة إلى عواصف ريحية ثلجية (بلي-زارد)، بجانب زراعة الأشجار كمصدات، تخفف من تقدم الثلج إن لم تعيق تقدمه.



شكل (٣١) الوقاية من الانهيارات الصخرية والانزلاقات



شكل (٣٢) أساليب الوقاية من الانهيارات الثلجية

ومن أفضل طرق الوقاية الابتعاد عن مناطق خطر الانهيار-الثلجية؛
سواء بالنسبة لرواد المناطق الجبلية لممارسة رياضة التزلج، أو لإقامة أي
منشأة.



الباب الثاني

المشكلات المائية

الفصل الأول: التسونامي

الفصل الثاني: النينو (EL Neno) وآثاره البيئية

الفصل الثالث: الفيضانات والسيول

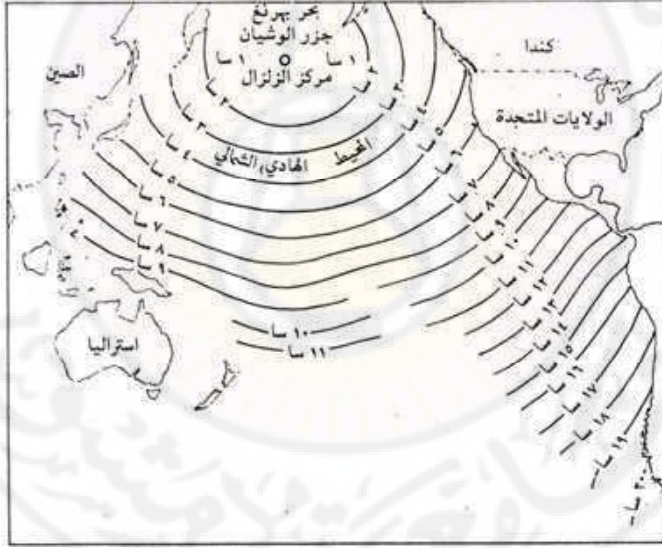
الفصل الأول

التسونامي (Tsunami)

- ١ - ما التسونامي؟
- ٢ - أسباب التسونامي
- ٣ - مقياس شدة التسونامي
- ٤ - مناطق التسونامي
- ٥ - أهم أحداث التسونامي
- ٦ - أساليب وطرق الوقاية والحد من مخاطر التسونامي

١ - ما التسونامي؟

التسونامي؛ أمواج مائية، تعد الأعنف والأكثر تدميراً للمناطق الساحلية التي تتعرض لها، وهي ليست كالأمواج العادية (Waves) التي تنتج عن حركة الرياح، وليست كالطغيان المائي الموجي الذي تسببه الأعاصير المدارية عند بلوغها السواحل، والذي يطلق عليه تجاوزاً في بعض الأحيان تسمية التسونامي. وتعرف التسونامي عموماً باسم أمواج البحر الزلزالية، التي تنطلق من مركز الزلزال على هيئة أمواج متخذة شكل دوائر في عرض المحيط - شكل (٣٣) - .



شكل (٣٣) الأمواج التسونامية، وأزمنة انتقالها بعيداً عن جزر ألوشيان بسرعة (٧٥٠ كم/ساعة) عند حدوث زلزال آلاسكا عام (١٩٦٤)

والتسونامي؛ مصطلح ياباني مركب من كلمتين، هما: تسو (Tsu) وتعني ميناء، ونامي (Nami) وتعني موجة. وكثيراً ما يطلق عليها تسمية أمواج مدمية (Tidal Waves)، وهي تسمية غير دقيقة، لأن تشكّل الأمواج المدمية ليس

مرتبطاً بعمليات المد البحري المعروفة والتي تعود أسبابها إلى قوة جذب القمر - ر والشمس للمياه البحرية والمحيطية.

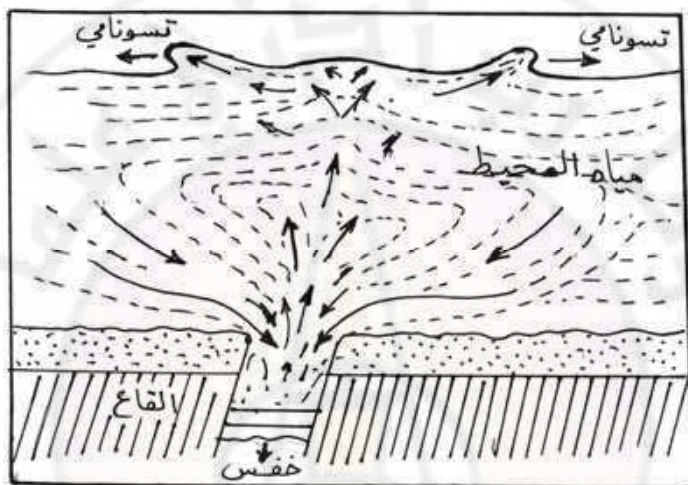
٢- أسباب التسونامي:

يعود تشكّل التسونامي إلى حدوث انزياحات ضخمة في قاع المحيطات والبحار، سببها: إما حدوث زلزال في قاعها (Seaquakes) وهو الأعـم، وإمـا حدوث اندفاعات بركانية ضخمة تحت بحرية، أو بسبب حدوث انزلاقات أرضية (Landslides).

وتعد **تسونامي الزلازل**، هي الأهم والأخطـر، والأكثر اقتراناً بهـ. ذه الظاهرة. ففي حال حدوث زلزال مركزه في قاع محيط أو بحر، مقترناً بتصدع في ذاك القاع وتحرك عنيف فيه، مع حدوث فجوة (خفس) شاقولية مفاجئة فـي القاع، تعمل هذه الفجوة على انزياح المياه بكمية كبيرة مندفعة تجاهها، مترتباً على ذلك حدوث انخفاض مفاجئ في مستوى سطح البحر. وبما أن الماء غير قابل للانضغاط، فإنه يندفع من الفجوة التي تضغط فيها منتشراً خارجها بزاوية عمودية على محور الخفس - شكل (٣٤) -، وعلى شكل حركة موجية دائرية، متلاحقة في الاتجاهات كافة، وبمدى موجي (طول موجة) كبير، وبسرعة موجية عالية تتراوح بين (٧٠٠ - ١١٠٠) كم/ساعة، وطاقة حركية شديدة.

وإذا كانت الأمواج الناتجة عن الرياح تميل للتكسر على الشاطئ، وفترة الموجة (الزمن بين مرور قمتي موجة على نقطة ما) عموماً بضعة ثوانٍ وطولها بضعة عشرات الأمتار، فإنه في الأمواج التسونامية الناتجة عن الزلازل؛ فإن فترة موجتها تختلف من (٢٠) دقيقة إلى عدة ساعات، وطول الموجة يمكن أن يصل إلى مئات الكيلومترات. ويعتمد كل من الطول والسرعة على عمق المياه، ففي أواسط المحيط الهادي، حيث يصل عمق المياه إلى (٥ كم) وأكثر، فإن

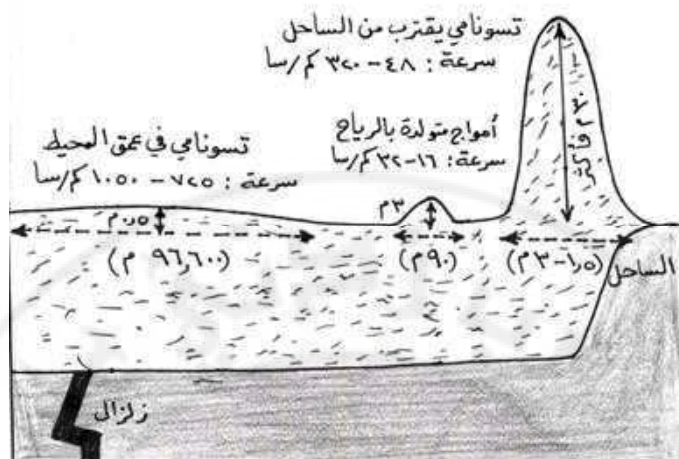
أمواج التسونامي ترتحل بسرعة تبلغ نحو (٧٠٠) كم/ساعة، وارتفاعها يمكن أن يبلغ متراً ومترين، أو حتى عشرات السنتيمترات. وطول الموجة الكبيرة وارتفاعها المنخفض وفترتها الطويلة، توضح كيف أن السفن التي تمخر في عرض المحيط لا تشعر عندها بأمواج التسونامي.



شكل (٣٤) آلية تشكّل التسونامي

وأسطول صيد السمك الياباني الذي كان بعيداً عن السواحل، خلال تسونامي سانريكو (١٨٩٦) لم يشعر بأي شيء غير عادي كأنه حدث، إلى أن عاد الأسطول إلى البلاد ليجد الأجساد البشرية عائمة في مياه الميناء.

وباقتراب التسونامي من خط الساحل، فإن سرعته تشبه كل الأمواج، بأنها تتناقص، بسبب قاع البحر المنحدر للأعلى، وطول أمواجه تتضاغط - أي تقل طولاً -، وكمية الطاقة الكبيرة المختزنة في الأمواج الطويلة، تتحول إلى زيادة في ارتفاع الأمواج، وتعاطم في اضطراب الموج. وهكذا، فإن قمة الموجة ترتفع في المياه الضحلة - لتصل في بعض الحالات إلى (٣٠م) فأكثر -، ولتضرب الأمواج التسونامية عندها الساحل بقوة كبيرة. شكل (٣٥).



شكل (٣٥) تطور أمواج التسونامي الزلزالية بالامتداد عن مركز الزلزال باتجاه الساحل

وتتشكل الخلجان والثغرات البحرية ومصبات الأنهار الأمـاكن الأكثر ملائمة للتعرض للتسونامي. وتعمل تلك الأشكال القمعية من مراكز الخلجان الصغيرة على تضخيم (زيادة) في الطاقة والقوة للتسونامي، إذ إن الحائط الواسع من مياه البحر يكون بوزن يبلغ بلايين الأطنان التي تتحطم على خط المياه الساحلي مع قوة تخریب وتدمير هائلة.

ويمكن تحديد سرعة أمواج التسونامي، اعتماداً على العلاقة التالية:

$$\sqrt{\text{ع} \times \text{ث}} = \text{لسر}$$

حيث: $\text{سر} = \text{سرعة موجة التسونامي}$.

ث = تسارع قوة الثقالة.

ع = عمق الماء في مكان الخفس الزلزالي في قاع المحيط.

وعلى افتراض حدوث زلزال في قاع المحيط عند عمق (30.0م)، وأن

تسارع الثقالة (٨,٩ م/ثا^٢)، فإن:

$$188 \text{ م/ثا} = 671 \text{ كم/سا} = \sqrt{34300} = \sqrt{3500 \times 9.8} =$$

أما طول الموجة التسونامية (ط) في عرض المحيط، فتصل إلى مئات الكيلومترات، ويمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\text{ط} = \text{ف} \times \text{سر}$$

حيث: ف = فترة الموجة سر = سرعة الموجة

ويمكن أن تصل فترة الموجة إلى ساعة أو أكثر (0,5 - ١,5 ساعة)، وإذا فإن البواخر التي تمخر في عرض المحيط، لا تشعر بأمواج التسونامي.

وفي حال حدوث إحدى الأمواج الضخمة التي تضرب خط الساحل، فإن الناس ينفون هناك مندهشين، وهم يشاهدون مستوى الماء يرتفع بشكل كبير فوق المستوى المدي العالي المعروف، ثم يتراجع فجأة إلى ما دون مستوى أخفض مد، وهذا الارتفاع الهائل في مستوى المياه مع السرعة الكبيرة لانتقال المياه التي تضرب خط الساحل، والانحسار المفاجئ للمياه، هي من سمات التسونامي الذي ينجم عنه آثار كارثية في المناطق الساحلية التي تتعرض له.

ففي عام (١٨٩٦م) عندما ضرب تسونامي ساحل سانريكو (Sanriku) في شمال شرقي جزيرة هونشو اليابانية، على بعد نحو (٤٠٠ كم) شمالي طوكيو، كان أول ما شعر به الناس هو صوت وشيش (Hissing)، وكأنه يمتص (يبتلع) خلف حد المد المنخفض. وما هي إلا لحظات صمت غريبة، حتى أعقبها زئير شديد، وعودة إلى الاندفاع بسرعة للماء، والارتفاع إلى نحو (٢٥م)، وهيجان كبير، متسبباً في مقتل نحو (٣٠) ألف شخص، وتخریب قرى بكاملها، وهذا ما حدث في الساعة الأولى من حدوث الزلزال تحت قاع المحيط إلى الشمال الشرقي من سانريكو، على بعد نحو (٧٠٠ كم)، حيث كانت سرعة الحركة الموجية التسونامية بحدود (٧٥٠ كم/ساعة).

٣ - مقياس شدة التسونامي:

مع أن قمة التسونامي فوق مستوى البحر تشكّل مقياساً لـ شدة التسونامي - والتي يمكنها أن تزيد على (١٠م) في معظم حالات التسونامي، لتصل أحياناً إلى (٤٠م) - إلا أن هناك عوامل أخرى هامة، تساعد على زيادة التدمير في التسونامي، لا تتمثل فقط في ارتفاع الموجة - حيث كلما كان الموج أكثر ارتفاعاً، كانت الأضرار أكبر -، وإنما في الأمواج التسونامية المتعاقبة، التي ليس بالضرورة أن تكون الموجة الأكبر هي الأولى. لأن الموجة اللاحقة تزداد ضخماً وقوة، مع الأمواج اللاحقة المتكسرة، التي تضعف في أوائها، وتزداد قوة فيما بعد.

والجدول التالي (٨) يبين مقياس شدة التسونامي:

الدرجة	الارتفاع الأعظمي للموج (م)	النوع	الآثار التسونامية	التردد في المحيط الهادي
١	٠,٥	ضعيف جداً	أمواج ضعيفة، لا أهمية لها، ولا يمكن قياسها سوى في حال وجود أجهزة قياس.	مرة واحدة كل أربعة أشهر
٢	١,٠	ضعيف	أمواج ذات أهمية للناس الذين يعيشون على طول الساحل.	مرة كل أربعة أشهر
٣	٢	كبير نوعاً ما	طغيان بسيط على الساحل، حمل المراكب بعيداً عن الساحل، أضرار طفيفة في المنشآت، انعكاس في مجرى الأنهار في مصباتها لمسافة قصيرة.	مرة كل ثمانية أشهر
٤	٤	كبير	طغيان مائي ملحوظ لعمق ما بعيداً عن خط الساحل. تخريب السدود والحوالز. أضرار كثيرة في المنشآت الخفيفة، وقليلة في المنشآت الصلبة. انجراف المراكب والسفن الصغيرة تجاه الداخل أو البحر.	مرة كل سنة

مرة كل ثلاث سنوات	طغيان مائي عام على الساحل لعمق كبير - ر نسبياً. أضرار في أرصفة الموانئ والمنشآت الأخرى. تدمير للمنشآت الخفيفة. تغريق للأراضي الزراعية، وطفه وللأسماك والحيوانات المائية الأخرى في وقت اليابسة. أضرار في المراكب والسفن - صاحبة للأمواج بصوت زئير شديد.	كبير جداً	٨	٥
مرة كل عشر سنوات	تدمير كلي أو جزئي للمنشآت الضعيفة ولمسافة من خط الساحل. طغيان بعمق كبير من الساحل. أضرار في السفن الكبيرة. اقتلاع الأشجار من جذورها أو تكسرها بفعل الأمواج. خسائر جسيمة.	مدمر	١٦	٦ فأكثر

عن (Soloviev, 1978)

٤ - مناطق التسونامي:

تكاد تكون كافة سواحل المحيطات والبحار الكبرى، التي تحدث فيها زلازل قاعية، معرضة للأمواج التسونامية، بنسب تتوافق مع عدد الزلازل وشدها.

٤-١ - المحيط الهادي:

التسونامي ظاهرة عامة في المحيط الهادي، بسبب كثرة حدوث الزلازل في أطراف هذا المحيط المدعوة بحزام النار، فمعظم أطرافه معرضة لهجوم التسونامي، وهي غير محصنة منه، كما في: اليابان، هاواي، ألاسكا، أندونيسيا، ساحل الهادي من أمريكا الجنوبية. إذ تقدر نسبة التسونامي بنحو (٨٠%) من حوادث التسونامي العالمية.

والمناطق الأكثر تعرضاً للتسونامي والأشد تضرراً منه، مذ ذكر: جزر هاواي، غير المحصنة من تلك الأمواج، لوقوعها في قلب المحيط الهادي، والتي

تتلقى ضربات التسونامي المحلية، والقادمة من عرض المحيط، إذ إنها تتعـرض لضربات نحو (٨٥%) من التسونامي المتولدة في حوض المحيط الهادي. كما أن اليابان ذات حظ سيئ مع التسونامي، لما تتلقاه من ضربات موجعة ومدمرة منه؛ ففي خلال (١٢٠٠) سنة مضت، فإن أكثر من (٧٠) تسونامي، حصدوا حياة مـا يزيد على (١٠٠) ألف ياباني. وهذا العدد من القتل يمكن في الحقيقة أن يكون فقد من تسونامي عام (١٧٠٣) الذي تولد في مكان ما في المحيط الهـادي الـشرقي. ويعد الساحل الشرقي لجزيرة هونشو اليابانية غير محـصن مـن التـسونامي، فتسونامي بارتفاع موجي (١٠) م يمكن أن يؤدي على خسائر جسيمة.

٤-٢- المحيط الأطلسي:

بالمقارنة مع المحيط الهادي، فإن تسونامي الأطلسي قليلة جداً لا تتعدى (٢%) من حوادث التسونامي المسجلة. وهناك اثنان مميزان من تسونامي الأطلسي يجدر التوقف عندهما، هما: التسونامي الذي نتج عن زلزال عام (١٧٥٥) بعيداً عن ساحل البرتغال، والتسونامي الآخر، هو الذي نتج عن زلزال بعيد عن الساحل في منطقة غراند بانكس (Grand Banks) شمال شرق كندا في عام (١٩٢٩)، وكـان حجم التدمير الذي أحدثه كبيراً، (ارتفاع موجه نحو ١٠م)، حيث تسبب في مقتل نحو (٣٠) شخصاً على ساحل نيوفونلاند، بجانب خسائر في الممتلكات.

٤-٣- البحر المتوسط:

بالعودة إلى التاريخ الحضاري الطويل لحوض البحر المتوسط، فإن شرقي البحر المتوسط شهد أكثر حوادث التسونامي أهمية، فمنذ عـام (٤٥٠) قبل الميلاد، فإن أكثر من (٢٥٠) زلزالاً، أحدث نحو (٨٠) تسونامي، كان منها (٢٥%) تدميراً. وأحد تلك التسونامي، هو الذي حدث في عـام (١٦٤٠) قبل

الميلاد، نتيجة اندفاع بركاني ضخّم في جزيرة كريك (Greek) في س-انتوريني، وبلغت أمواج التسونامي الناتجة عنه الساحل الشمالي لجزيرة كريت.

٤-٤ - البحر الكاريبي:

للبحر الكاريبي نصيب ملحوظ من التسونامي المتولّدة من زلازل الأطلسي إلى الشرق منه، وبخاصة الأجزاء الشمالية والشرقية من الجزر الواقعة فيها، التي تتعرض لآثاره التدميرية، وهذا ما عانتة م-ن ت-سونامي زلازل (١٨٦٧، ١٩١٨، و١٩٤٦)، التي ضربت البحر الكاريبي، وتسببت في مقتل العديدين. فتسونامي زلزال عام (١٨٦٧) تسبب في مقتل (١٢) شخصاً، وتدمير العديد من المراكب والممتلكات. أما أمواج التسونامي التي أحدثها زلزال ع-ام (١٩١٨)، فقتلت أكثر من (١٠٠) شخص، وتسببت في أضرار بالغة في الممتلكات.

٥ - أهم أحداث التسونامي:

تتعرض السواحل البحرية في بعض القارات إلى أمواج تسونامي مدمرة، محدثة كوارث إنسانية بما ينتج عنها م-ن ض-حايا ب-شرية، وأخ-رى بيئية واقتصادية، بما تحدثه من خراب في الأراضي وتدمير في المنشآت. وسنستعرض فيما يلي نماذج من أحداث التسونامي الكارثية.

٥-١ - تسونامي لشبونة (البرتغال) عام (١٧٥٥):

في اليوم الأول من شهر تشرين الثاني عام (١٧٥٥م) حدث زلزال لشبونة الشهير في قاع خليج بسكاي غير البعيد عن لشبونة، وكان بة-وة (٨,٥) على مقياس ريختر. ونتج عنه تدفق مياه عنيف بلغ ارتفاع مستواه الموجي الأعظمي (٢٦م)، متولّداً عن انزياح مفاجئ في قاع البحر مقابلة ساحل البرتغال. وتوغّل الماء إلى عمق نحو (١٥كم) ضمن اليابسة.

ولقد أعذب الموجة التسونامية الأولى ثلاث موجات أخرى، ونج عنها ما
مقتل نحو (٦٢) ألف شخص، معظمهم في لشبونة، التي اكتسح المـوج الـسفن
التي كانت في الميناء ولجأ إليها الناس طلباً للنجاة من الزلزال وموجة التسونامي
الأولى.

كما ارتفع موج التسونامي على طول الساحل الأوروبي، إلى ما يفـارب
من (١٠م)، وبعيداً غرباً حتى جزر الهند الصغرى في الكاريبي، وبلغ ارتفاع
الموج (١-٦م) في جزر المارتينيك وباربادوس. أما على الشاطئ الإفريقي
فوصل إلى (٦م) في مدينة طنجة، وإلى (٥م) عند جزيرة ماديرا.

٥-٢- تسونامي كاراكاتوا (١٨٨٣):

من أهم ما نتج عن بركان كاراكاتوا وأعقبه، تولّد أمواج مائية ضخمة
(تسونامي) بارتفاع وصل إلى أكثر من (١٥م)، لتغرق المدن والقرى، وتقتل
نحو (٣٦) ألف شخص. وكانت قوة (طاقة) الأمواج كبيرة، بحيث توغّلت إلى
عمق (٢,٥كم) بعيداً عن الساحل.

فما كاد الناس يفيقون من صدمة الانفجارات البركانية المرعبة التي حدثت
في جزيرة كاراكاتوا الأندونيسية الواقعة بين جزيرتي جاوا وسومطرة، حتى
اندفعت نحو شواطئ الجزيرتين أمواج عاتية من الماء، بلغ ارتفاع الموجة
العظمى نحو (٣٥م)، ولم يكن أمام الناس متسع من الوقت للهروب، ولا ملجأ
يلتجؤون إليه، فخلال دقائق معدودات كان الموج العاتى يضرب يابس الجزيرتين،
ليغرق المدن والقرى، وليحطم الموانئ والسفن، وليذهب غرقاً الآلاف.

ولقد عبرت أمواج التسونامي المحيط الهادي، لتبلغ رأس هورن أوف
جنوب أمريكا الجنوبية (مسافة نحو ١٣٠٠٠كم).

٥-٣- تسونامي جزيرة فلوريس الاندونيسية (١٩٩٢):

في يوم (١٢) كانون الأول من عام (١٩٩٢) ضرب زلزال بقوة (٧,٨) درجة على مقياس ريختر، الساحل الشمالي الغربي من جزيرة فلوريس الاندونيسية الواقعة إلى الشرق من جاكرتا بنحو (١٨٠ كم)، متسبباً في حدوث أمواج تسونامي ذهب ضحيتها أكثر من (٢٠٠٠) شخص، وإصابة أكثر من (٥٠٠) شخص بأذى، وبقاء نحو (٩٠) ألف شخص دون مأوى، بجانب تدمير نحو (٣٠) ألف منزل ومنشأة عمرانية.

ولقد وصل ارتفاع الموج المدي التسونامي إلى (٢٦,٢ م) عند قرية ريانجكروكو (Riangkroko) الصغيرة، التي تبعد شرقاً (١٠٠ كم) عن المركز السطحي للزلزال، كما تسببت الأمواج العاتية في حدوث حركات ساحلية كبيرة، وتعرض التركيبات المرجانية للضرر من الحث، وتخلتف الأمواج وراءها توضعات رملية بسماكة أكثر من متر.

٥-٤ - تسونامي نيكاراغوا (١٩٩٢):

في الأول من شهر أيلول عام (١٩٩٢) حدث زلزال بقوة (٧) درجات في المحيط الهادي، إلى الجنوب الغربي من العاصمة النيكاراغوية ماناغوا بنحو (١٢٠ كم)، وبلغ ارتفاع الموج (٨-١٥ م)، الذي ضرب (٢٦) مدينة وقرية على طول (٢٥٠) كم من الساحل الباسفيكي النيكاراغوي، مركزاً عند مدينة إيل ترانسييتو (El Transito). ولقد توغلت مياه التسونامي إلى نحو (١ كم) داخل اليابس، مخلفة وراءها أكثر من (١٠٠) قتيل، وتاركة نحو (١٠) آلاف من السكان دون مأوى.

وكانت ضربة التسونامي في ساعات المساء الأولى، عندما كانت مراكب الصيادين في موانئها. وأحدث التسونامي أضراراً كبيرة في المنشآت السياحية،

وفي منشآت الميناء. بجانب أضرار بيئية كبيرة، ذلك أن قوة الموج والملوحة خربت النباتات وأحواض الأسماك، والسلاحف.

٥-٥ - تسونامي بابوا نيو غينيا (١٩٩٨):

إنه أحد كوارث التسونامي الضخمة في القرن العشرين، هــ و ذاك الـذي ضرب في (١٧) تموز عام (١٩٩٨) الساحل الشمالي من جزيرة بابوا نيو غينيا - شكل (٣٦) -، نتيجة زلزال بقوة (٧) درجات على مقياس ريختر، تـصاحب بانزلاق أرضي تحت بحري في أخدود غينيا الجديدة، على طول الحد الصفائحي الفاصل بين الصفيحة الباسيفيكية والصفيحة الأسترالية.



شكل (٣٦) تسونامي جزيرة بابوا نيو غينيا (١٩٩٠)

والناتج عن التسونامي مقتل (٢١٨٠) شخصاً، الذي يعد الثالث في عـدد القتلى بين تسونامي القرن العشرين، حيث بلغ ارتفاع المد الموجهي أكثـر مـن (١٧م) على خط من الساحل بطول (٢٥) كم، وتبلغ سرعة التـدفق المـوجهي (١٥ - ٢٠) م/ثا.

والسبب الرئيسي للخسائر الكبيرة في الأرواح هو قـرب الزلـزال مـن الساحل، إذ إن أمواج التسونامي لم تأخذ سوى (٣٠) دقيقة لبلـوغ الساحل.

وكانت معظم طاقة التسونامي متركزة في شريط من الساحل بطول (٤٠-٦٠ كم)، وجزء من الأمواج ارتد بواسطة اللاغونات الضحلة المياه.

وما إن ارتدت الموجة التسونامية الأولى، حتى أعقبتها موجة -ان أخرى-ان بفاصل دقيقتين، ولقد حاول البايويون مقاومة المياه المتدفقة بأدوات أولية.

وبتقدم الموجة الأولى ثم انسحابها، ظن الناس بأن كل شيء انتهى، ليتقدموا إلى الشاطئ بحثاً عن الأسماك... وسواها، لتأتيهم الموجة -ان الثانية والثالثة الأعظم، ولتأخذ العديدين قتلى. بالإضافة إلى ما أحدثته التسونامي من تخریب وتدمير في المنشآت والتجمعات البشرية في الساحل الذي تعرض له.

شكل (٣٧).



شكل (٣٧)

أم وولدها بين أنقاض قرية ضربها ودمرها تسونامي (غينيا الجديدة) في (٢١) تموز عام (١٩٩٨)

٦-٥ - تسونامي المحيط الهندي (٢٠٠٤):

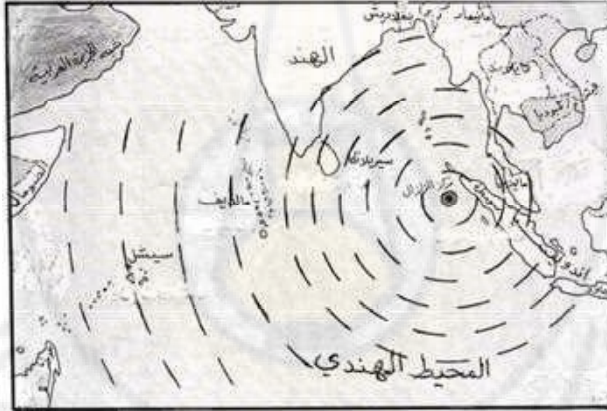
أو ما يعرف بتسونامي جنوب شرقي آسيا، الذي نتج من زلزال بقوة (٩) درجات على مقياس ريختر، حدث في قاع المحيط الهندي -جزء- وار جزية.

سومطرة الأندونيسية في يوم الأحد (٢٦) كانون الأول م- ن ع-ام (٢٠٠٤)، معرضة سواحل أندونيسيا، وماليزيا، وسريلانكا، وتايلاند، ومانمار، والهند، إلى مخاطرها الكبيرة، وتصل غرباً حتى الصومال وكينيا بعد نحو (٤٨) ساعة من الزلزال.

وقد ارتفع مستوى المد المائي الطغياني إلى أكثر من (١٦) متراً، ليصل أقصاه إلى (٣٠) متراً، وكان من نتائجه من القتل نحو (٣٥٠) ألف شخص، منهم نحو (٤٠) ألف قتيل في سريلانكا، و(٢٧٠) ألف قتيل في أندونيسيا، و(٢٥) ألف قتيل في الهند معظمهم من جزر اندمان ونيكوبار، و(٣) آلاف قتيل في تايلاند، ونحو (٣٠٠) قتيل في ماليزيا، ووصل القتل إلى الصومال التي تبعد عن مركز الزلزال نحو (٢٥٠٠) كم، ووصلتها الأمواج صباح يوم الثلاثاء (٢٨/١٢/٢٠٠٤)، حيث غمرت المياه قرى بأكملها، مودية بحياة نحو (١٠٠) شخص. وكان من القتل ما لا يقل عن (٤٠) سائح أجنبي. يضاف إلى ما تم دم ما لا يقل عن (١٠٠) ألف مصاب نقلوا إلى المشافي، وأكثر من مليون م-شرد. والخسائر المادية كانت بعشرات مليارات الدولارات.

إن الزلزال الذي أحدث تسونامي المحيط الهندي صباح يوم (٢٦) كانون الأول (٢٠٠٤)، كانت بؤرته في أقصى شرق المحيط الهندي إلى الغرب م- ن شمال جزيرة سومطرة الأندونيسية بنحو (٢٠٠كم)، وعلى عمق دون قاع المحيط بنحو (٤٠) كم، حيث البؤرة العميقة وفوقها عند قاع المحيط، البؤرة السطحية. وحدث الزلزال في منطقة خط الانقطاع الصخري الفاصل بين الصفيحتين الصخريتين البنيويتين الأوراسية القارية الشمالية، والهندية المحيطية الجنوبية، اللتين تتحركان بصورة تصادمية وبشكل زاوي، ناتجاً عن ذلك التصادم تهشمات وانزلاق للصفيحة الهندية تحت الأوراسية، متولداً عن ذلك

هبوط في منطقة الانزلاق نحو (٢٠٠م)، وارتفاع في الطرف الجنوبي للصفحة الأوراسية، ناتجاً عن ذلك تدفق للمياه في البداية نحو منطقة الخف-س، ليعقبه انتفاخ مائي مدي، ومد بحري محيطي. وقد نجم عن الاهتزازات العنيفة في قاع المحيط، تولد أمواج بحرية طغت بسرعة - خلال بضعة دقائق إلى نحو نصف ساعة - على السواحل الشمالية الغربية من جزيرة سومطرة بإقليمها (اتشي) أكثر المناطق تعرضاً للمد المائي الزلالي، والأكثر رخسائراً في الأرواح والممتلكات، وكذلك ماليزيا وجزر المالديف وسنغافورة. ووصل المد المائي تباعاً إلى الهند وسيريلانكا. شكل (٣٨).



شكل (٣٨) تسونامي المحيط الهندي عام (٢٠٠٤).

وبعد مضي نحو (٤٨) ساعة من الزلزال وصل المد المائي بأمواجه ذات الارتفاع نحو (٣) م إلى سواحل أفريقية الشرقية، وأضغف إلى السواحل الجنوبية من شبه الجزيرة العربية، ذلك أن الأمواج البحرية الزلزالية كانت تنتقل بسرعة نحو (١٦٦) م/ثا، بما يكافئ نحو (٦٠٠) كم/ساعة.

ولقد بلغ عدد موجات التسونامي خمس موجات متلاحقة بارتفاعات متفاوتة (٢، ٤، ٨، ١٦، ٣٠م)، حيث كان المد الأعظمي الخامس هو الأقصى

(٣٠م). ولهذا فإن العديد من الخسائر في الأرواح، كان بسبب الجهل بحقيقة التسونامي المرافقة للزلازل الأعظم الرئيسي منها، ولعدد أمواج التسونامي التي أوائلها إنذارات للطغيان الموجي الأعظم. ولقد حدث الزلازل والتسونامي والقمر عموماً بدرجة، والمد الناتج عنه في أعظمه.

والجدول التالي (٩) يبين بعض أحداث التسونامي في القرن العشرين، غير سابقة الذكر.

الموقع	الدولة	التاريخ	ارتفاع الموج الأعظمي (م)	الشدة	عدد القتلى
خليج مورو	الفلبين	١٩٧٦/٨/١٦	٥,٠	٢,٥	٨٠٠٠
سانريكو	اليابان	١٩٣٣/٣/٢	٢٩,٣	٣,٥	٣٠٠٠
توكايدو	اليابان	١٩٢٣/٩/١	١٢,١	٣,٠	٢١٤٤
نانكايدو	اليابان	١٩٤٦/١٢/٢٠	٦,٦	٢,٠	١٩٩٧
شيلي الوسطى والجنوبية		١٩٦٠/٥/٢٢	٢٥,٠	٤,٠	١٢٦٠
أخدود ريوكيو	اليابان	١٩٤٤/١٢/٧	٢٠,٠	٢,٥	٩٩٨
مضيق ماركاسار	أندونيسيا	١٩٦٩/٢/٢٣	٤,٠	٢,٠	٦٠٠
جزيرة لومبلين	أندونيسيا	١٩٧٩/٧/١٨	١٠,٠	٢,٣	٥٤٠
خليج آلاسكا	آلاسكا	١٩٦٤/٣/٢٧	٧,٠	٢,٠	١١٩

٦ - أساليب وطرق الوقاية والحد من مخاطر التسونامي:

هناك بعض الإجراءات الوقائية التي يمكن اتخاذها في سبيل التخفيف من آثار أمواج التسونامي خاصة، والأمواج الأخرى عامة، ومنها:

١ - **زراعة الأشجار؛** للمساعدة على تكسير الأمواج، وتبييد طاقتها، كمـا في أشجار الكازورينا (Casuarina)، وهي أفضل مـن أشـجـار جـوز الهنـد (Coconut).

٢ - **إقامة أعمدة حديدية، أو إسمنتية؛** لتعمل كمصدات ضد الأمـواج التسونامية في المناطق المحتمل التعرض لها.

٣ - **ومن الطرق المتبعة، هــي الإنـذـارات والتدـويرات؛** مـن أمـواج التسونامي الزلزالية، والتي تعد ذات فعالية في هذا المجال، وفي عصر التقنيات الحديثة من وسائل اتصال وتواصل ورصد. خلاصة في حال كون مركز الزلزال بعيداً وسط المحيط، بحيث تكون المسافة كبيرة والزمن كبير لتصل الأمواج، مما يتيح الفرصة لاتخاذ الاحتياطات اللازمة للحد من المخاطر.

كما يجب عدم الاقتراب من ساحل البحر في حال انتهاء موجة التسونامي الأولى حتى الثانية والثالثة، لأن هناك احتمالاً لأن تكون هناك موجة رابعة أو خامسة، فتكون الأكبر والأكثر كارثية.

الفصل الثاني

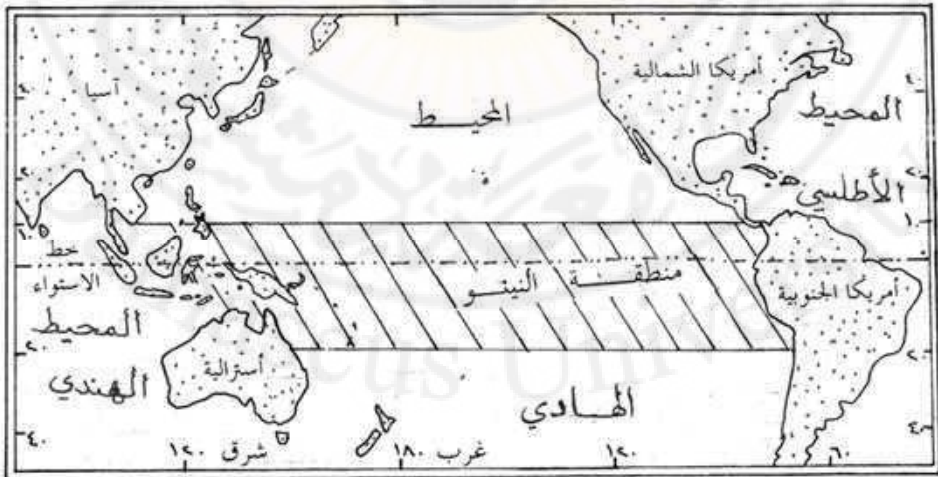
النينو (EL Nino) وآثاره البيئية

- ١ - ما النينو؟
- ٢ - آلية تشكل النينو
- ٣ - دورية النينو وعمره الزمني
- ٤ - الآثار العامة للنينو
- ٥ - من الأمثلة عن النينو (نينو ١٩٩٧-١٩٩٨)
- ٦ - النينا (La Nina)

١ - ما النينو؟

النينو: هو تيار مائي حار، درجة حرارته أعلى من درجة حرارة المياه في الأحوال الاعتيادية بنحو (١ - ٥°م)، وقد تزيد في بعض الأحيان لتصل إلى نحو (٧°م) فأكثر.

ويكاد يكون منحصراً في المنطقة الاستوائية - المدارية الجنوبية فيما بين خطي عرض (٥) شمالاً حتى (١٥) جنوباً مع تمده في بعض الأحيان نحو (٥) درجات على الطرفين (١٠ شمالاً و ٢٠ جنوباً)، باتساع يتراوح بين (١٠,٠٠٠ - ١٥,٠٠٠ كم). ممتداً من منطقة تولده في شمال أستراليا عند خط ط - ول (١٨٠) غرباً - شرقاً، متجهاً شرقاً حتى السواحل الشمالية الغربية من القارة الأمريكية الجنوبية في كل من الإكوادور والبيرو وأحياناً شمالي الشيلي (خط ط - ول ٨٠ غرباً)، وذلك على امتداد نحو (١٠٠) خط ط - ول بم - ايك - افئ م - سافة نح - و (١١٠٠٠ كم). شكل (٣٩).

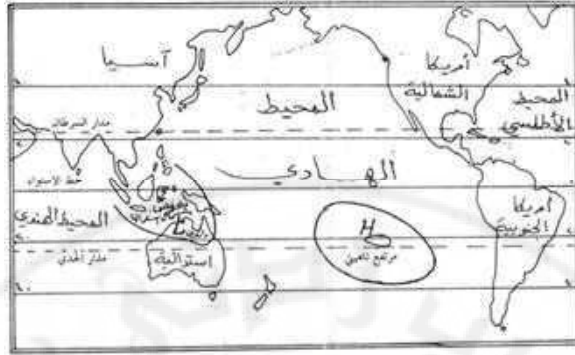


شكل (٣٩) مناطق تردد النينو

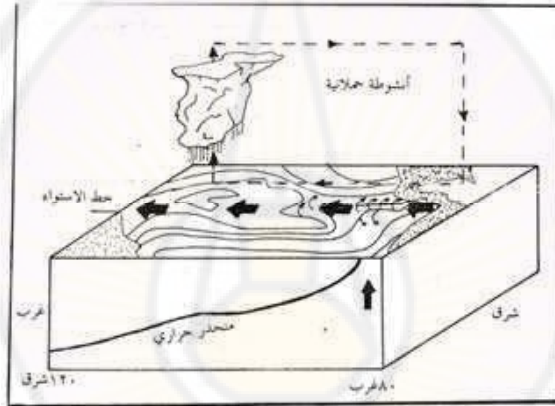
وبسبب كون بدايته في دوراته المتكررة تتكـ ونـ حـ ول أعيـاد المـ يـ لاد
(Christmas) لذلك أطلق عليه اسم النينو (El Nino) التي تعني بالإسبانية الطفلـ ل
الصغير (النونو) والتي تشير إلى طفل المسيح (Christ Child).

وظاهرة النينو، مرتبطة عموماً بما بات معروفاً باسم ظاهرة الإينسو (El ENSO)، وهو مصطلح مركب من مصطلحين هما النينو (El Nino) والذبذبة الجنوبية (SO)، وبالتالي، فإنه لا يمكن الحديث عن أحدهما دون الآخر.

وتشير الذبذبة الجنوبية (Southern Oscillation)، إلى التذبذبات الدورية في أحوال الضغط الجوي المتباعدة ما بين غربي المحيط الهادي الاسـتـوائيـ المداري، وبين شرقيه، وتحديدأ بين شمالي أستراليا (مركز داروين) في الغرب، وبين تاهيتي وامتدادأ شمالأ شرقأ في الشرق، وما يصحبهما من انعكـاس فـي وجهة الرياح وانسياق المياه معهما - شكل (٤٠) - . فعندما يكون الضغط مرتفعأ فوق تاهيتي ومنخفضأ فوق شمال أستراليا، فتكون الحركة الهوائية شـرقية (تجاريات جنوبية شرقية) وجهتها غربأ، ليسود عندها وضع عـادي أو حالة النينا، والمصحوبة عندها بمياه باردة عند السواحل الشرقية من الهادي، هي من نتاج انتقال المياه الحارة جنوبأ، وتقدم تيار البيرو البارد من الجـنـوب، بجـانـب نشاط في حركة صعود للمياه الباردة العميقة - شكل (٤١) - . أما في الفترات التي ينعكس فيها الضغط بامتلاء منخفض شمال أستراليا وارتفاع الضغط الاسـطـحي فيه نسبياً، وضعف مرتفع تاهيتي وانخفاض الضغط نسبياً فيه، ومن ثم ضدـعـف التجاريات أو تلاشيها - ليسود عندها وضع عادي - ومن ثم انعكـاسـها لتـصبح الرياح غربية تدفع المياه وتسوقها معها شرقأ لتسود عندها ظروف النينو - شكل (٤٢) - بلوغأ الساحل الأمريكي، مما يؤدي إلى تلاشي المياه الباردة وإحـلال الحارة بدلأ منها، وانفـطـاع حركات التصعيد للمياه الباردة من الأعماق.

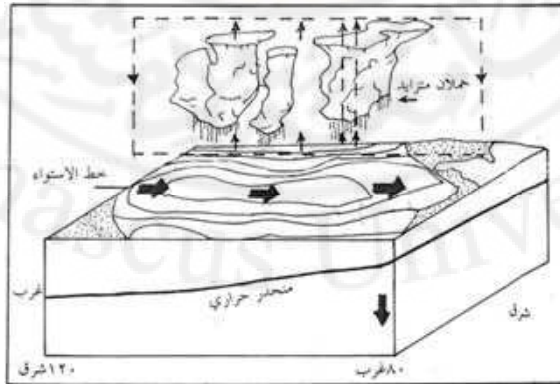


شكل (٤٠) الوضع العادي للضغط في المحيط الهادي المنخذ مقياساً للاندخبة الجنوبية



شكل (٤١)

الوضع العادي لمياه المحيط الهادي والمصاحب بصعود المياه الباردة إلى السطح عند ساحل الهادي الشرقي

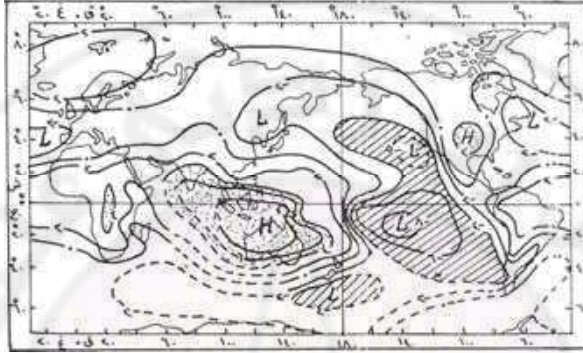


شكل (٤٢) الوضع غير العادي (النينوي) لمياه المحيط الهادي

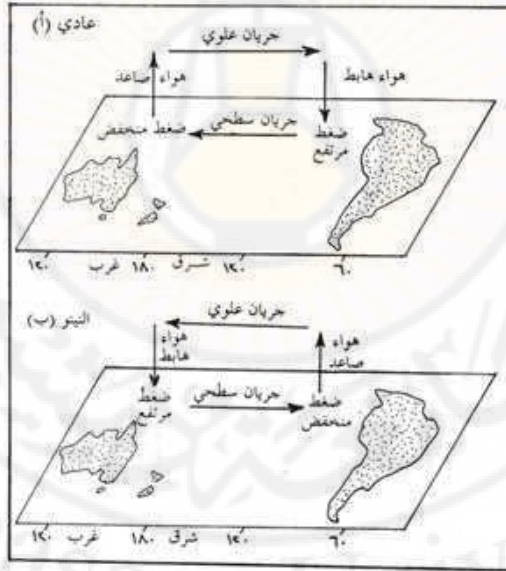
٢- آلية تشكل النينو:

انطلاقاً من الذنبية الجنوبية للأحوال الجوية- المحيطية عند سطح المحيط الهادي المداري- الاستوائي، بما يمكن من تحديد آلية تشكل النينو- وما يعاكسه (النينا) - . ففي بعض السنوات يحدث تبالين في الحرارة والضغط الج-وي بـين شرقي المحيط الهادي وغربيه في العروض المدارية- الاستوائية، حيث تغـدو درجة حرارة سطح المياه في المحيط الهادي الشرقي- بامتداد نحو ١٥ درجة عرضية أو أكثر- ما بين (٢١-٢٦ م) مصحوبة بضغط جوي سطحي مرتفع، مع هطول قليل أو معدوم، مقابل درجة حرارة سطحية لمياه المحيط في جزئـه الغربي وبخاصة في شمال أستراليا، بحدود (٢٩ م) مترافقة بـضغط جـوي سطحي منخفض، مع حركة صعود هوائي وهطول غزير، وهذا ما يقود بالهواء للتحرك غرباً-من الضغط المرتفع إلى المنخفض- بصورة رياح تجارية شرقية-جنوبية- شرقية، تعمل بالضغط على المياه في الهادي ودفعها وسحبها معها- غرباً، ناتجاً عن ذلك ارتفاع في مستوى المياه في الهادي المداري- الاستوائي الغربي في شمال أستراليا، وانخفاض في مستوى المياه في الهادي الشرقي- التي غدت مياهها باردة بتقدم لتيار البيرو، والصعود للمياه الباردة من الأعماق- متولداً عن ذلك انحدار في سطح المياه وجهته نحو الشرق، مـع ترافـق ذلـك بارتفاع في الضغط الجوي فوق المياه المتراكمة المرتفعة المنسوب، وانخفاض نسبي في الضغط غربي سواحل الأكوادور والبيرو- (شكل ٤٣) والناتج مـن انحداري المياه السطحية والضغط نحو الشرق تدفقاً للمياه مـن الغرب نحو الشرق معاكسة لوجهة التيار الاستوائي المائي الجنوبي السابقة، مـع حركة هوائية أيضاً غربية- شرقية، هي جزء من الغربيات الاستوائية المعروفة، مـع تعاظم في ارتفاع درجة حرارة سطح المياه في الأجزاء الوسطى والشرقية مـن المحيط الهادي في العروض الاستوائية- المدارية الجنوبية، متخذة الحركة

المائية صورة حركة مائية أفقية دائنة، كتيار مائي حار، هو ما يع-رف بتي-ار النينو- الذي تتراوح درجة حرارة سطح مياهه بين (١-٥ °م)* ولت-صل ف-ي بعض دوراته إلى (٧°) فأكثر. شكل (٤٤).



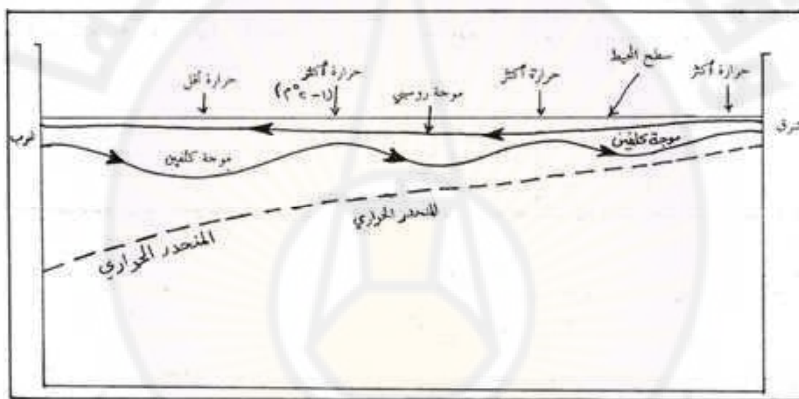
شكل (٤٣) توزيعات الضغط في المحيط الهادي الاستوائي خلال حدوث النينو



شكل (٤٤) دورة وولكر

* يعتبر البعض بداية النينو مع تجاوز درجة حرارة سطح الماء معدل أكثر من (٠,٥°)، إلا أنه يكون ضعيفاً جداً فيما بين (٠,٥ - ١°م).

ففي ظروف النينو، يحدث تخادم في الرياح الشرقية في الهادي المداري، لتصبح غربية. ومع هذا الانقلاب في حركة الرياح، وفي الدفع والسحب لمياه سطح المحيط، يأخذ مستوى المحيط بالعودة بالاتجاه الأفقي بطريقة انتقال موجية محيطية داخلية، أطلق عليها تسمية موجة كلفن (Kelvin Wave). وهذا الانتشار الموجي يبدأ في الهادي الغربي مع تغير حقل الرياح، بالحركة تجاه الشرق على طول خط الاستواء - وإلى الجنوب منه - بسرعة بضعة أمتار في الثانية، لتبلغ سواحل أمريكا الجنوبية خلال بضعة أسابيع (٨-١٢) أسبوعاً، شكل (٤٥).



شكل (٤٥) أمواج كلفن وروسبي وحرارة سطح المحيط

ويعتقد علماء المحيطات، أن وصول موجة أو أكثر من أمواج كلفن تحت السطحية البطيئة الحركة في الهادي الشرقي، سيترافق مع هبوط في المنحدر الحراري، وتخلد أو توقف في آبار التصعيد المائي من الأسفل إلى السطح للمياه الباردة، والنتج عموماً عن ارتفاع في درجة حرارة سطح الماء، وسيادة أحوال النينو.

٣- دورية النينو وعمره الزمني:

يتبع النينو في سيادته وانتشاره دورية متكررة غير منتظمة في مواعيدها حتى في درجة استمراريته، فهي تتراوح بين (٣-٥) سنوات، بمتوسط لها نحو

(٤) سنوات. ولقد قام بعض العلماء بتاريخ أحداث النينو-و الهام-ة منذ ع-ام (١٨٧١)، ليعود بها البعض الآخر إلى عام (١٧٢٦). وإذا ما انطلقنا من ع-ام (١٨٧١)، ليتم تسجيل دورات النينو التالية:

١٨٧٣، ١٨٧٧ - ١٨٧٨، ١٨٨٠ - ١٨٨١، ١٨٨٤ - ١٨٨٥، ١٨٨٨ - ١٨٨٩، ١٨٨٩ - ١٨٩٩، ١٨٧٩ - ١٩٠٠، ١٩٠٢، ١٩٠٥ - ١٩٠٦، ١٩١١ - ١٩١٢، ١٩١٤ - ١٩١٥، ١٩١٨ - ١٩١٩، ١٩٢٣، ١٩٢٥، ١٩٢٦، ١٩٣٠ - ١٩٣١، ١٩٣٦، ١٩٤٠ - ١٩٤١، ١٩٤٤، ١٩٤٦، ١٩٤٨، ١٩٥١، ١٩٥٧ - ١٩٥٨، ١٩٦٣، ١٩٦٥ - ١٩٦٦، ١٩٦٩، ١٩٧٢ - ١٩٧٣، ١٩٧٧ - ١٩٧٨، ١٩٨٢ - ١٩٨٣، ١٩٨٦ - ١٩٨٧، ١٩٩١ - ١٩٩٢، ١٩٩٧ - ١٩٩٨، ٢٠٠٢ - ٢٠٠٣، ٢٠٠٦ - ٢٠٠٧، ٢٠٠٩ - ٢٠١٠، ٢٠١٤ - ٢٠١٥.

ويتراوح عمر النينو (مدة استمراريته) بين ستة شهور حتى (١٤) ش-هراً في دوراته الطويلة-كدورة عام (١٩٤٠) التي بدأت في نهاية ع-ام (١٩٣٩) واستمرت حتى عام (١٩٤١) ممتدة بذلك على ثلاث س-نوات- بحيث تـبـدأ طلائعه الأولى مع بداية السنة الميلادية، ولتتعاظم قوته، ويصبح النينو في قمته خلال شهور (آذار ونيسان وأيار)، التي يغدو والشذوذ الحراري فيها إيجابياً فوق معظم الهادي المداري الشرقي مع امتداده الأكبر بعيداً عن ساحل البي-رو، وفي حزمة ممتدة إلى المنطقة الاستوائية في الهادي الغربي. وبالإضافة إلى الأعظمي الحراري في الهادي الشرقي، هناك أعظمي حراري آخر في الهادي الم-داري الاستوائي الأوسط، مع فاصل بينهما أبعد نسبياً. وفي هذه الفترة تضعف الرياح التجارية بشكل كبير فوق الهادي الاستوائي الأوسط.

وخلال الفترة التالية لقمة النينو (آب - ت-شرين الاول)، يـكـون الشذوذ الحراري الإيجابي لسطح المياه قد غطى الهادي الاستوائي كله م-ن الساحل

الأمريكي حتى شمال أستراليا، ولكنه أضعف من الفترة السابقة، مع ارتفاع المياه الحارة بعيداً عن ساحل البيرو، لتنتشر في المحيط المفتوح ضمن حزمة إلى الجنوب أو قرب الهادي الاستوائي الشرقي، منفصلاً عنه مجال حراري أعظم في الهادي الاستوائي الأوسط. وتتميز الرياح التجارية في هذه المرحلة بضعف ملحوظ في الهادي الأوسط والغربي.

وتختلف دورات النينو، ليس فقط في أطوالها، وإنما أيضاً في مدى انتشارها، وفي شداتها التي هي انعكاس لمستوى الارتفاع الحراري لسطح المياه.

ويمكن تقسيم دورات النينو حسب أطوالها إلى ثلاث مجموعات: دورات قصيرة المدة (٦-٨ أشهر)، كما في دورة (١٩٥١)، ودورة (٢٠٠٤-٢٠٠٥). ودورات متوسطة المدة (٨-١٠ أشهر)، كما في دورة (١٩٦٣-١٩٦٤)، ودورة (٢٠٠٩-٢٠١٠). ودورات طويلة المدة (أكثر من ١٠ أشهر)، كما في دورة (١٩٣٩-١٩٤١)، ودورة (١٩٨٢-١٩٨٣)، ودورة (١٩٩١-١٩٩٢)، ودورة (١٩٩٧-١٩٩٨).

وعلى ضوء ارتفاع حرارة المياه فوق معدلاتها، تقسم دورات النينو إلى ثلاثة أنواع: دورات ضعيفة الشدة ($0.5 - 1^{\circ}\text{C}$ فوق المعدل)، كما في نينو-٥ و (١٩٥٣-١٩٥٤)، ونينو (١٩٧٦-١٩٧٧). ودورات متوسطة الشدة ($1 - 2^{\circ}\text{C}$ فوق المعدل)، كما في نينو (١٩٥٧-١٩٥٨)، ونينو (١٩٦٨-١٩٦٩)، ونينو-٥ (٢٠٠٩-٢٠١٠). ودورات شديدة (أكثر من 2°C فوق المعدل)، كما في نينو-٥ (١٩٧٣-١٩٧٢)، ونينو (١٩٨٢-١٩٨٣)، ونينو (١٩٩٧-١٩٩٨).

وإذا كان هناك نينو في المحيط الهادي الاستوائي- المداري؟ أفليس هناك نينو في الأطلسي الاستوائي- المداري؟ أو حتى في المحيط الهندي؟

فلانطلاقاً من آلية نينو الهادي، التي يوجد ما يماثلها تقريباً في المحيط الأطلسي الاستوائي- المداري الجنوبي، هناك نينو يحدث في الأطلسي- يعرف بنينو أطلسي- بين ساحل البرازيل وخليج غينيا. إلا أنه نظراً لـ صر المسافة الفاصلة بينهما (نحو ٤٠ درجات طولية) قياساً بمسافة نينو الهادي (١٠٠ درجة طولية فأكثر)، فإن دورة نينو الأطلسي أقصر (٢-٣ سنة)، وشدة أضعف (درجة حرارة ١-٢°م فوق المعدل)، وبالتالي فإن تأثيراته الفردية على الأحوال الجوية أقل، إلا في السنوات التي تقترن فيها دورة نينو الأطلسي مع دورة نينو الهادي، لتتعاظم عندها تأثيرات النينو بشكل عام.

أما في المحيط الهندي فليس هناك ما يدل على وجود تيار نينو، لانه- دام إحدى مقومات تشكله، وهي بلوغ تيار مائي بارد المنطقة القريبة من خط الاستواء- كما في سواحل أمريكا الجنوبية وأفريقية- التي تسهم في إحداث دورة الإينسو المعروفة في المحيط الهادي.

٤ - الآثار العامة للنينو:

لا يقتصر تأثير النينو المناخي في حركة الجو في المنطقة المدارية فقط، بل يتعداها إلى العروض المتوسطة، كما أن له آثاراً واضحة في تركيز (CO_2) وفي تشكل العواصف والأعاصير، وقلة الأمطار في منطقة ووفرته في أخرى، وارتفاع الحرارة وانخفاضها... إلخ.

١ - الآثار المناخية:

بما أن المنطقة المدارية بيابستها ومائها. وبما تملك من فائض طاقة وبخاصة البحار والمحيطات، هي المحرك الرئيسي للجو الأرضي، فإن أية تغيرات كبرى في المخزون الحراري المحيطي وفي درجة حرارة سطح الماء بمساحات كبرى سيترك آثاره في تغيرات المناخ الواسعة فيها.

أ - الآثار في حركة الجو:

إن النينو بالتساعه على أكثر من عشر درجات عرضية ويط - ول امتداد على نحو (١٠٠) درجة طولية، متجاوزاً بذلك ربع محيط الأرض، وبارتفاع درجة حرارته التي تتجاوز في بعض الدورات الخمس درجات مئوية - فوق معدلها العام، يخلق حالة عدم استقرار شديدة في مجال وجوده، يدل عليها حركة الصعود الكبيرة للهواء الرطب الجاثم فوقه، مثيراً بذلك حركة هوائية أفقية ضخمة في أعالي طبقة التروبوسفير تتحرك في اتجاهات عدة، مغذية حركة الهبوط الجوي في مناطق تشكل الضغط المرتفع شبه المداري، مؤدياً ذلك إلى تعاضده عند السطح، وهذا ما ينعكس على قوة الرياح المنبثقة منه سواء بالتجاه العريض الأخفض (التجاريات) أم باتجاه العروض الأعلى (غربيات العروض الوسطى). وهو ما يظهر واضحاً خلال الفترة التالية للنينو؛ بحيث تتأخر نتائجها في الحركة الجوية عن ذروتها بضعة شهور.

وهكذا نجد أن من نتائج النينو في العروض المدارية تنشطها للحركة الجوية؛ ومن ثم زيادة فعالية الرياح التجارية في تحريك المياه ودفعها غرباً في فترة النينا التي تشكل مرحلة فاصلة ما بين حادثتي نينو. يلي ذلك تراكم فاعل للمياه في غرب الهادي، ومن ثم تشكل النواة الأولى لبداية نينو. وفيما يشبه الدورة الذاتية التي يحركها النينو نفسه، والتي يشار إليها بما اصطلح عليه تسمية التغذية الاسترجاعية.

ولا يقتصر تأثير النينو على حركة الجوبين المداري، وإنما يتعدى ذلك إلى العروض الوسطى عند المستويات العلوية والسطحية. إذ ينجم عن النينو كما أشرنا سابقاً تزايد في انتقال الهواء والطاقة في المستوى العلوي من طبقة التروبوسفير إلى حزام الضغط المرتفع شبه المداري (خط عرض ٣٠° ووسطياً)

مؤدياً ذلك إلى تعاضمه في المستويات العليا والدنيا، مترتباً عليه تدرج كبير في الضغوط باتجاه القطبين، وبالتالي ازدياد في سرعة الرياح الغربية العلوية وفي حركتها النطاقية، فينعكس ذلك على طبيعة الحركة الموجية العلوية؛ من حيث سعة الموجات وطولها، والمعروفة عموماً بـأمواج روسبي (Rossby Waves) المرافقة للتيار النفاث (Jet Stream) القطبي، بما لها من دور في توجيه المنخفضات الجبهية السطحية، وفي تشكيلها، مما تظهر آثار واضحة في أحداث الطقس في العروض الوسطى، كاستجابة مباشرة أو غير مباشرة للنمو، وتمثل عموماً بشدة الاضطراب الجوي في العروض بين (٤٠-٦٠) درجة شمالاً وجنوباً، وباضطراب أقل في العروض شبه المدارية، التي يزداد في أجوائها العليا حركة التيار النفاث شبه المداري مع فترة النينو.

ب - الآثار في تركيز (CO₂):

يشكل المحيط الهادي الاستوائي الشرقي مصدراً من مصادر ثاني أكسيد الكربون (CO₂) الجوي. ويكون الكربون في حالة تبادل بين الجو والمحيط بنسب تختلف باختلاف الضغط الجزئي لـ (CO₂) أي (pCO₂)^{*} في الجو والمحيط. ففي الهادي الشرقي، يكون العامل المسيطر على (Pco₂) هو التصعيد المائي إلى السطح للمياه الباردة الغنية بالكربون من تحت طبقة المنحدر الحراري. أما العوامل المتحكم في (pCO₂) في المحيط الهادي الغربي فهم درجة الحرارة والملوحة اللتان تؤثران في قابلية انحلال (CO₂) في المياه، بفاعلية قليلة جداً لهما في مناطق التصعيد المائي الباردة الغنية بالكربون، بينما تكون القدرة الانحلالية لـ (CO₂) كبيرة في المياه الحارة.

* حيث (p) ضغط ثاني أكسيد الكربون المتوافق مع درجة تركيزه.

وعندما يتقدم النينو، فإن المنحدر الحراري في الشرق يتعمق وتنقطع المياه الباردة عن السطح، وبالتالي فإن التسرب الغازي من (CO_2) إلى الجو يتوقف. وفي الغرب يبدي (PCO_2) تغيراً مع تغيرات الملوحة، غير أن تلك الاختلافات لا تؤدي إلى تغيرات هامة في التسرب الغازي من (CO_2) إلى الجو. وإذا ما تساوت العوامل الأخرى، فإن كمية (CO_2) في الجو ستتأقصر خلال فترة النينو.

وعلى كل حال، فإن التغير في درجات الحرارة والهطول على سطح الأرض الناتج عن النينو - من خلال ترافقه بموجات حر وجفاف وحرائق وفي بعض المناطق - سيؤثر على تركيز (CO_2) في الجو؛ وذلك لوجود ارتباط بين الاختلاف في (SOI) و(CO_2) الجوي.

وفي خلال حادثة نينو (١٩٨٢-١٩٨٣)، حدث نقص رئيسي في تدفق (CO_2) من المحيط إلى الجو؛ أي من المحيط الهادي الاستوائي. وقدر النقص بنحو (٠,٦) جيجا طن من الكربون. والنقص في انتقال (CO_2) إلى الجو كان مرده إلى النقص الكبير في التصعيد المائي الاستوائي للمياه الأبدية - رد الأعمق المتميزة بتشبعها الكبير بـ (CO_2).

إن (pCO_2) في سطح المحيط الهادي الاستوائي الغربي ليس خاضعاً للتصعيد المائي، لأن المنحدر الحراري يكون بعيداً عن السطح، والمياه الغنية بالكربون غير قادرة على الوصول إلى السطح بالتصعيد. ومن ثم فإن (pCO_2) لسطح المحيط يكون له تقريباً القيمة الجوية نفسها، وبالتالي فإن التهرب الغازي من (CO_2) يكون قليلاً جداً. وعلى الرغم من أن التغير في (pCO_2) يرتبط بالتغير في الملوحة، إلا أن التغير الحراري البسيط جداً في الهادي الغربي سيصاحبه اختلافات طفيفة في (pCO_2). حيث ينقص تدفق ثاني أكسيد الكربون من المحيط إلى الجو كثيراً في فترة النينو. ولقد أشار بعض العلماء، إلى أن الزيادة الرئيسية في (CO_2) الجوي عند

نهاية النينو مصدرها الغلاف الحيوي الأرضي، وسببها الجفاف والحرائق في آسيا الجنوبية الشرقية المترافقة مع فشل الموسميات، وهذا ما يعاكس الشذوذ السلبي في فترة النينو بفعل تدني نسبة التدفق المحيطي والحيوي.

ولقد عزيت الشذوذات الإيجابية في (CO_2) خلال الفترة الحارة في الهادي المداري (١٩٩١-١٩٩٤) إلى اندفاع جبل بيناتوبو البركاني (حزيران ١٩٩١)، وما تلاه من تبريد في الجو بسبب سحابة الأيروسول البركانية الستراتوسفيرية.

جـ - الآثار في تشكل العواصف والأعاصير:

إنه لمن المعتقد أن أحوال النينو تشكل عاملاً يحد من تطوّر العواصف المدارية والهوريكان في المحيط الأطلسي، ولكن أعداد العواصف والأعاصير المدارية تتزايد فوق المحيط الهادي الشرقي والأوسط.

غير أن النينا (مرحلة البرودة) في الهادي المداري تكون ملائمة لتشكل الأعاصير المدارية (الهوريكان) وتطورها.

د - الآثار في الحرارة والهطول:

لقد أكدت دراسة العلماء لأحداث النينو المتكررة خلال هذا القرن ترافقهـا بشذوذات ملحوظة في درجات الحرارة والأمطار، مما يمكننا تلخيصه بـ الآتي- شكل (٤٦) - :

- حدوث انزياح باتجاه الشرق لنشاط العواصف الرعدية؛ من أندونيسيا إلى أواسط الهادي، مترافقاً عادة بحالات من الجفاف غير العادية في أسـتـرالـية الشمالية وأندونيسيا والفلبين.

- حالات جفاف غير عادية في إفريقيا الجنوبية والشرقية والبرازيل الشمالية.

كما تعاني عدة مناطق من أمريكا الشمالية شذوذاً في درجة الحرارة بصورة موجات مرتفعة من الحرارة، كما في شمال شرق الولايات المتحدة وشرقي كندا، وشمال غرب الولايات المتحدة وغربي كندا. وكذلك الحال في جنوب شرقي البرازيل.

٢- الآثار الحيوية العامة:

تتميز سواحل أمريكا الجنوبية الغربية بمياه المحيط الهادي الشرقي الباردة، وذلك بين الإكوادور وشمال الشيلي، بتوفر بيئة بحرية ملائمة لازدهار حياة حيوانية كبرى. حيث ينشط عند هذه السواحل تأثير التيار المائي البارد القادم من الجنوب المعروف باسم تيار البيرو (تيار همبولدت) الذي تزيده برودة حركة المياه التصاعدية الساحلية (Upwelling Waters) الغنية بالمواد المغذية والبلانكتون مما يسمح بقيام حياة حيوانية زاخرة بمجموعات كبيرة ومتنوعة من الأسماك وغيرها. وهذا الساحل كان واحداً من أكثر مناطق العالم وفرة في أسماك ومصائده السمكية. وقد وفر هذا البيئة الملائمة منذ عصور قديمة لعشرات الملايين من طيور الغوانو (Guano) التي اتخذت من الجزر الصغيرة المقابلة لساحل البيرو مأوى لها، ومن الأسماك الوفيرة غذاء لها. وتؤوضات هذه الطيور بالغة الأهمية، لكونها توفر أهم موارد الأسمدة العضوية التي بقيت فترة مصدراً مهماً من مصادر الدخل القومي في البيرو قبل أن تنضب بسبب سوء استغلالها. كما أن الكثير من هذه الطيور هجرت مواطنها أو اهلكت بسبب منافسة الإنسان لها على غذائها من الأسماك، حيث يقدر أن كل مليون طير من الغوانو يتطلب (٢٠٠) طن من السمك يومياً، لتعطي نحو (١٠٠٠) طن من سماد الغوانو سنوياً.

وتشكل الثروة البحرية من الأسماك والغضر وفيات عماد اقتصاد الدول المطلة على المحيط الهادي وخاصة البيرو التي يزيد إنتاجها من الأسماك وفي بعض السنوات على عشرة ملايين طن.

غير أن الوضع السابق يتعرض إلى الخلل في السنوات التي يتقـدم فيها تيار النينو الحار من الشمال متحركاً جنوباً بـضع درجات عرضية، بعد اصطدامه بالساحل الأمريكي عاكساً آثاره على الأوضاع الاقتصادية في البيرو والإكوادور؛ حيث ينجم عن حرارة المياه الزائدة وتراجع التيار البارد، وغياب آبار التصعيد المائي، تناقص كبير في كمية المغذيات والبلانكتون في المحيط العلوي وحتى فقدان لها. وهذا الوضع يؤدي إلى هلاك في الأسماك، منعكساً ذلك على السلسلة الغذائية بكاملها؛ من طيور بحرية تموت بأعداد كبيرة... نتيجتها كارثة بيئية بحرية.

والآثار البيئية لهذا التيار الحار غير العادي لا يتوقف عند العتبة المتوازنة البيئي البحري لمياه سواحل القارة الأمريكية الجنوبية؛ بل يتعدى ذلك إلى اليلابس في مناطق عدة من العالم، قريبة منه وبعيدة عنه، حيث يزداد الهطول في مناطق إلى درجة تحول كمياتها الكبيرة الغزيرة إلى فيضانات مدمرة للتربة وللمحاصيل الزراعية، وفي مناطق أخرى يتعاطم الجفاف وتتدهور البيئة الحيوية، وفي أخرى ترتفع الحرارة زيادة عن المعدل مقترنة بالجفاف والحرائق المدمرة.

وأستراليا وحدها تكبدت خسائر من نينو (١٩٨٢-١٩٨٣) في مواردها الزراعية والحيوانية بلغت نحو (٢,٥) بليون دولار. وفي الفترة نفسها وصلت الخسائر في الولايات المتحدة إلى أكثر من بليون دولار. وتشير التقديرات إلى أن حجم الخسائر المادية في العالم تجاوز (١٣) بليون دولار أمريكي، في موسم نينو (١٩٨٢-١٩٨٣)، وترافق ذلك مع خسائر في الأرواح بلغت نحو (٢٠٠٠)

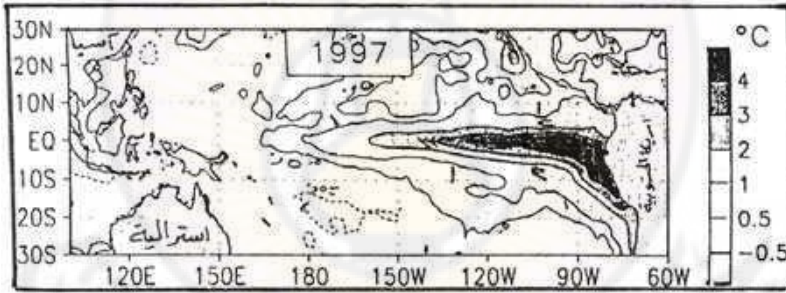
شخص من الفيضانات، والحرائق والانزلاقات الأرضية-التي قتلت نحو (٦٠٠) شخصاً في البيرو والأكوادور-، والارتفاع الحراري.... وغير ذلك.

والجدول التالي (١٠) يبين الخسائر المادية التي عرّيت لنيز- و (١٩٨٢- ١٩٨٣م) في مناطق مختلفة من العالم.

المنطقة	الخسائر (مليون دولار)
١ - الفيضانات:	
ولايات الخليج الأمريكية	١٢٧٠
الإكوادور وشمال البيرو	٦٥٠
بوليفيا	٣٠٠
كوبا	١٧٠
٢ - الأعاصير المدارية:	
هاواي	٢٣٠
تاهايتي	٥٠
٣ - الجفاف والحرائق	
أستراليا	٢٥٠٠
أفريقية الجنوبية	١٠٠٠
المكسيك وأمريكا الوسطى	٦٠٠
أندونيسيا	٥٠٠
الفلبين	٤٥٠
جنوب البيرو وغربي بوليفيا	٢٤٠
جنوب الهند وسريلانكا	١٥

٥ - من الأمثلة عن النينو؛ نينو (١٩٩٧-١٩٩٨):

إن النينو (١٩٩٧-١٩٩٨) واحد من أقوى ظواهر النينو المسجلة. فقد تطور بسرعة وارتفعت درجة حرارته أكثر من المعدل في أية ظاهرة سابقة. وكان الظهور السريع لهذا التيار في المحيط الهادي المداري الأوسط والشرقي في شهري نيسان وأيار عام (١٩٩٧). وخلال النصف الثاني من السنة أصبح أقوى من مثيله في عالمي (١٩٨٢-١٩٨٣)، مع شذوذ إيجابي في درجة حرارة سطح المياه عبر الهادي الأوسط والشرقي تجاوز (٢-٥°م) فوق المعدل، بل فقد تجاوزت المعدل بأكثر من (٥°م) قرب جزر غالاباغوس (Galapagos) وعلى طول ساحل البيرو الشمالية. شكل (٤٧).

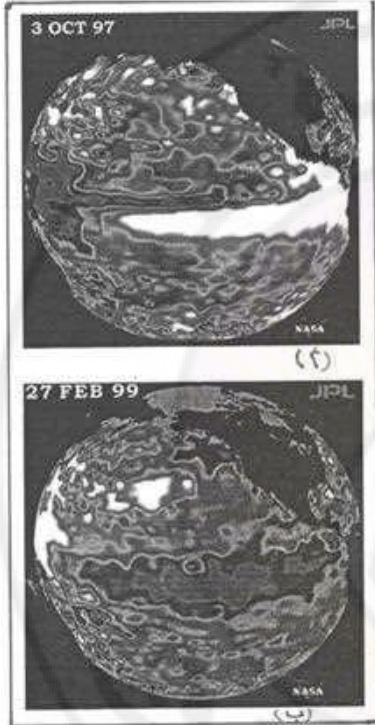


شكل (٤٧) لانحراف درجة الحرارة عن معدلها في نينو عام (١٩٩٧)

ولقد ارتفعت درجة حرارة سطح المياه إلى أكثر من (٢٨°م) في الأجزاء الوسطى والوسطى الشرقية من المحيط الهادي منذ بداية شهر أيار (١٩٩٧)، لتختفي مياه المحيط الباردة العادية خلال الفترة (من حزيران إلى تشرين الأول). وكان التأثير التسخيني للنينو العامل الرئيسي الذي يعزى إليه تسجيل درجات حرارة مرتفعة في العالم في عام (١٩٩٧). حيث قدر أن متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية بيايسها ومائها كان أكبر بنحو (٠,٤٤°م) من المعدل.

القياسي خلال الفترة (١٩٦١-١٩٩٠). وتجاوز متوسط حرارة ع-ام (١٩٩٧) السنة الدافئة السابقة (١٩٩٥) بنحو (٣٨,٠°م).

وفي منتصف شهر كانون الثاني عام (١٩٩٨)، كان حجم ج-وض مي-اه



النينو الحارة تذ-أقصى بذ-سبة (٤٠%) ع-ن أعظميه في أول شهر تشرين الثاني ع-ام (١٩٩٧)، ومع ذلك فإن مساحة سطحه ف-ي المحيط الهادي بقيت تق-ارب (١,٥-مرة) مساحة الولايات المتحدة الأميركية. والطاقة المختزنة في هذا المحيط الحار كانت كافية لإحداث تأثيرات كبرى على نم-اذج المناخ العالمي حتى منتصف عام (١٩٩٨).

ولقد استمر النينو حتى شهر آب من عام (١٩٩٨)، لتعود بعدها مياه المحيط إلى وضعها الطبيعي، ولتبدأ بعدها الظاهرة المعاكسة التي سماها العلماء (النينو). شكل (٤٨).

شكل (٤٨)

مقارنة حالة نينو (٣ تشرين الأول عام ١٩٩٧)

مع حالة نينا (٢٧ شباط عام ١٩٩٩)

ومن أهم الآثار المناخية الإقليمية التي عزيت إلى نينو (١٩٩٧-١٩٩٨)،

نذكر:

في أستراليا: سيطرة جفاف شديد على معظم أستراليا منذ شهر حزيران، ترافق مع حرائق كبيرة في الغطاء النباتي لاقتران الجفاف ب-الحرارة الشديدة،

وبخاصة خلال الفترة (من أيار إلى تشرين أول). وقد عانت مناطق عديدة نقصاً في الأمطار تراوح بين (٤٠٠ - ٥٠٠) مم في الأشهر العديدة التالية لحزيران.

- في إفريقيا: عانت الأجزاء الجنوبية من إفريقيا الغربية من جفاف شديد منذ شهر تموز (١٩٩٧) مثلما حدث خلال نينو (١٩٨٢ - ١٩٨٣).

وفي إفريقيا الجنوبية تأخرت بداية فصل الأمطار في معظم أجزائها. أما إفريقيا الشرقية، فقد تلقت في الجزء الأول من شهر تشرين الثاني أمطاراً غزيرة غير اعتيادية على طول الساحل، تجاوزت المعدل بكثير، إذ هطل في كينيا أمطار تجاوزت المعدل بنحو (١٠٠ سم).

- في أورية الوسطى: ليس هناك ما يؤكد بلوغ تأثيرات النينو والقيارة الأوربية. كما أنه لا يوجد دليل على أن الأمطار الغزيرة والفيضانات المدمرة التي حدثت في شهر تموز لها علاقة بالنينو.

- العواصف المدارية ونشاط الهوريكان: لقد اختفت العواصف المدارية الأطلسية والنشاط الهوريكاني في الأطلسي بعد شهر تموز (١٩٩٧)، مع تفرط الظروف الملائمة للنشاط الهوريكاني فوق الهادي الشمالي الشرقي، التي ربطت بالرياح الغربية العالية القوية الممتدة من الهادي الشمالي الشرقي إلى منطقة الساحل الجنوبي الغربي من إفريقيا، الذي له علاقة بالنينو.

- أمريكا الوسطى: عانت من جفافاً غير عادي خلال الفترة من حزيران إلى تشرين الأول عام (١٩٩٧).

- شمالي أمريكا الجنوبية: تعرضت لجفاف شاذ، تجاوزها شتاءً شاملاً شاملاً رافاً إلى إفريقيا الغربية شمالي خليج غينيا.

- جنوبي أمريكا الجنوبية: إن معظم أواسط وجنوبي أمريكا الجنوبية كان أرطب من المعتاد خلال (حزيران - تشرين الأول). كما أن غالبية الجزر

الأوسط من القارة شهد ارتفاعاً في درجة الحرارة أكثر من معدلها العام بـ ١٠ درجات. ومعظم أجزاء الشيلي الوسطى تلقي كمية أمطار في يوم واحد بـ ١٠٠ مرة من معدلها السنوي. ومثل هذه الأحوال الجوية نتجت عن زيادة ارتباط النينو بريح التيار النفاث والعواصف عبر الهادي الأوسط والجنوبي الشرقي، وقد امتدت هذه العواصف بشكل ملحوظ شرقاً إلى القارة.

- الإكوادور والبيرو: حدثت أمطار غزيرة وفيضانات ضخمة في الأجزاء الساحلية والوسطى من الإكوادور، والأجزاء الشمالية الغربية والساحلية من البيرو، وبخاصة في شهري تشرين الثاني وكانون الأول عام (١٩٩٧) حتى شهر شباط عام (١٩٩٨).

- أمريكا الشمالية: عرفت أمريكا الشمالية أكثر آثار النينو شديدة خلال الشتاء وأوائل الربيع. وبدأت آثار التيار الحار أبكر من المعتاد، وأثر على القارة بطرق عدة. فاستمرار مياه المحيط دافئة أكثر من المعتاد عند الساحل الغربي تسبب في ظهور أنواع حيوانية بحرية غير مألوفة على طول الساحل من شبه جزيرة باجا (Baja) إلى شمال غرب الهادي. كما تدهنت أعداد العواصف المدارية والهوريكان التي تضرب السواحل الشرقية وسواحل الخليج من الولايات المتحدة، لتتصير في إعصار واحد (إعصار داني Danny) الذي ضرب شبه جزيرة فلوريدا في شهر تموز (١٩٩٧). وفي شهر تشرين الأول (١٩٩٧) ضرب إعصار بولين (Pauline) جنوب غرب المكسيك محدثاً تدميراً كبيراً في منتجع أكابولكو السياحي على المحيط الهادي.

وبصورة عامة فإن الأجزاء الجنوبية والغربية والجنوبية الشرقية من الولايات المتحدة، تلقت أمطاراً غزيرة خلال الفترة من تموز (١٩٩٧) إلى شباط (١٩٩٨). ليسود الجفاف والحرارة المرتفعة شمال شرقي الولايات المتحدة، حيث تدهنت الأمطار إلى نحو (٥٥ - ٧٠%) من معدلها العام.

- أندونيسيا والفلبين: حل بهما جفاف شديد. فالجفاف في أندونيسيا امتد من أيار إلى كانون الأول (١٩٩٧) مترافقاً بحرائق في الغابات خلال الفترة (من أيار إلى تشرين الأول)، ولقد تجاوز العجز في المياه (٤٠٠) مم. وشهدت أيضاً الفلبين جفافاً خلال الفترة من تشرين الأول (١٩٩٧) إلى آذار (١٩٩٨) موسم سيادة الموسميات الشمالية الشرقية.

وفي بروني (Brunei) ساد جفاف شديد، وحرائق غابات كبيرة، ليحل في ساعات الصباح جو ضبخاني.

- في آسيا: كان الجو رطباً مطيراً في الهند خلال الفترتين (من أيار إلى أيلول) و(تشرين الثاني وكانون الأول). وكذلك في شرقي الهند الصينية وأقصى جنوبي الصين. غير أن أواسط الصين وشمالها عانت من جفاف صيفي شديد، وارتفاع شاذ في درجة الحرارة وصلت إلى (٤٢°م) في منغوليا، ترافق بحرائق، ونقص في المياه. وامتد الجفاف حتى اليابان.

وفي هونغ كونغ سادت أجواء رطبة تكلات بهطول نحو (٣٣٤٠ مم) من المطر في عام (١٩٩٧)، لتجعل منها سنة رطبة، تفوقت على الرقم المطري الذي صاحب حادثة نينو (١٩٨٢-١٩٨٣). ولقد تعرض بحر الصين الجنوبي إلى سبعة أعاصير مدارية عام (١٩٩٧)، قوة خمسة منها كانت دون المعدل.

كما ترافق نينو (١٩٩٧-١٩٩٨) بآثار حيوية جمّة؛ لم يتوقف عند الآثار غير المباشرة التي أحدثتها الفيضانات في منطقة، والجفاف والحرائق في منطقة أخرى، وإنما شمل الحياة المائية في الأجزاء من المحيط التي تعرضت مياهها لارتفاع السطحية للارتفاع الحراري، وبخاصة مياه سواحل الإكوادور والبيرو، لانه نقص الكبير في الأسماك الذي حدث بموت بعضها، وهجرة بعضها الآخر.

وبنهاية نينو (١٩٩٧ - ١٩٩٨)، ثم إحصاء الخسائر التي تسبب بها؛ فكانت في الأرواح نحو (٢١٠٠) شخص، وفي الممتلكات نحو (٣٣) بليون دولار أمريكي.

٦ - النينا (El Nina):

النينيا، أو كما يطلق عليها تسمية (لانيينا La Nina)، بمعنى أنها ظاهرة معاكسة للنينو، أي لا نينوية، وهي تعني بالإنجليزية الطفلة الصغيرة (Girl child). وتمثل النينا، حركة انقلابية في دورة الأينسو، وهي تتخذ صفة شبه دورية متكررة في منظومة حركة الجو - المحيط في المنطقة المدارية من المحيط الهادي. وهي معاكسة في خصائصها وفي مؤثراتها للنينو. فهي عبارة عن مياه باردة غير اعتيادية تسود في أواسط وشرقي المحيط الهادي، تتميز بانخفاض درجة حرارة سطح المياه بين (٠,٥ - ٣°م) دون معدلها العام. ومن ثم فإن النينا، هي جزء من دورة الأينسو (ENSO)، كما أن النينو جزء آخر من دورة الأينسو. وبين فترات النينو والنينيا، فترة عادية تمثل الاحوال الطبيعية للمياه بحرارتها الاعتيادية التي تتراوح بين (-٠,٥ إلى +٠,٥°م) حول المعدل.

وتتقترن النينا، بحدوث تمدد وتقوية للمرتفع شبه المداري الجنوبي ناحية خط الاستواء في الشتاء الجنوبي، وكذلك للحجيرة الشمالية، وبالتالي اندفاع للرياح المدارية غرباً كتجاريات شرقية، ترافق بصعود للمياه العميقة الباردة إلى السطح وتبرد للمياه السطحية وانتشارها غرباً. وفي الفترة التي تتخلل التجاريات، والغربيات الاستوائية - المسببة للنينو -، تعود الأحوال إلى طبيعتها.

وتستمر مدة النينا بين (١٠ - ١٢) شهراً وسطياً، تبدأ معظم دوراتها في شهر حزيران أو أيار، وتستمر حتى شهر آذار أو نيسان من العام التالي، ممدداً أحياناً خارج هذا المدى الزمني. والأحوال الجوية التي ترافق النينا تكاد

تكون معاكسة لتلك التي ترافق النينو. وإذا ما أخذنا مثلاً عن ذلك، وهـ- و نينـا (١٩٨٨-١٩٩٩) وهي أشهر ظاهرات النينا في القرن العشرين، والتي ترافقت مع رياح تجارية شرقية، وامتدت من شهر أيار (١٩٨٨) حتى شهر أيار-عام (١٩٨٩)، ليعزو العلماء إليها ما حدث من فيضانات كبرى في البرازيل والصين وبنغلاديش وأندونيسيا وتايلاند. وفي شهر كانون الثاني عام (١٩٨٨) ضد-رب إعصار مداري قوي بنغلاديش، وتلاه عدة أعاصير أخرى ضد-ربت من-اطق متفرقة من سواحل آسيا الجنوبية والشرقية. وفي أستراليا هطلت أمطار غزيرة في صيف (١٩٨٩) لم تعرفها منذ (٢٥) سنة سابقة، ترافقت بفيضانات مدمرة.

أما في أمريكا الشمالية، فقد ترافق النينا (١٩٨٨-١٩٨٩) بطقس بارد وأمطار غزيرة في شمالها الشرقي، في حين ارتفعت درجة الحرارة فوق معدلاتها في معظم مناطق أمريكا الشمالية الأخرى التي تدنت فيها الأمطار دون معدلاتها بشكل كبير، مع صيف جاف عموماً.

وعموماً ليس شرطاً أن تتبع أو يسبق كل نينو، ظاهرة نينا، حيث لم يعقب نينو (١٩٨٢-١٩٨٣) ظاهرة نينا، وكذلك فإن نينو (١٩٥٧-١٩٥٨) لم يعقبه نينا، حيث تم الانتقال من النينو إلى الوضع العادي ومن ثم إلى نينو آخر.

ومن دورات النينا الم-شهورة، ذ-ذكر: دورة: (١٩٥٥-١٩٥١)، ودورة (١٩٧٥-١٩٧٦)، وك-ذلك دورة (١٩٨٨-١٩٨٩)، ودورة (١٩٩٨-١٩٩٩)، ودورة (٢٠١٠-٢٠١١).

الفصل الثالث

الفيضانات والسيول

- ١ - ما الفيضان؟ وما السيل؟
- ٢ - أنواع الفيضانات وأسبابها
- ٣ - آثار الفيضانات
- ٤ - أهم الفيضانات الكارثية في العالم
- ٥ - التنبؤ بالفيضانات والتحذير منها.
- ٦ - طرق الوقاية من الفيضانات والحد من مخاطرها

١ - ما الفيضان؟ وما السيل؟

الفيضان (Flood): هو ارتفاع منسوب المياه في الأنهار الجارية - فـ وق معدلها العام، أسواء فاضت المياه على جوانب أوديتها أم لم تفيض. وإن كانت الصفة الغالبة على الفيضان هو حدوث تدفق للمياه من الأنهار على جانبيها نحو السهول المحيطة بالمجاري عند زيادة مياهها زيادة كبيرة.

وتشمل الفيضانات، أيضاً؛ تدفقات المياه الكبيرة في أعقاب هطول الأمطار الغزيرة في الأودية الجافة - في المناطق الجافة شبه الجافة... وسـ واهـ - التي أيضاً يمكن أن تطغى على جوانبها، والتي قبل أن تنتهي في بحر أو نهـ ر، أو تتلاشى مياهها عند نهايتها فإنها تسبب تدميراً لما يقع في طريقها، ومثـ ل هـ ذه التدفقات هي ما اصطلح على تسميتها السيول (Torrents).

كما يشمل الفيضان؛ الطغيانات المائية؛ (Opperssions) البحرية - أو مـ ا يطلق عليها أيضاً الفيضانات الساحلية (coastal Floods) - التي تندجـ مـ ن الجيشان الموجي الكبير الذي تسببه الأعاصير المدارية، والمنخفضات الجوية - الجبهة برياحها العاصفة أيضاً بجاذب أمواج التسونامي المعروفة.

٢ - أنواع الفيضانات، وأسبابها:

إذا ما اعتبرنا، أن الفيضان، هو أية مياه تفيض وتطغى على أراضٍ بـ شكل غير معتاد، وخارج الحدود المألوفة، بما تحدثه من تغريـ ق لـ لأرض، وتخريةـ ب وتدمير. فإن الفيضانات تقسم حسب منطقة حدوثها إلى نوعين رئيسيين. كما يـ سم كل نوع منها إلى عدة نماذج وفقاً للآلية المسببة للفيضان، واتساع المنطقة التي يشملها.

والنوعان الرئيسيان للفيضانات، هما:

١-٢ - الفيضانات النهرية:

وهي الفيضانات التي تحدث في الأنهار والأودية نتيجة إمدادها بكميات كبيرة من المياه تفوق طاقة مجاريها على تصريفها، مما يجعلها تفيض وتطغى على الأرض السهلية المجاورة لها.

ويتحكم في الفيضانات النهرية، مجموعتان من العوامل:

١-١-٢ - العوامل الجوية، والمتمثلة في:

أ- الهطولات المطرية الغزيرة: التي ينجم عنها تدفقات مائية كبيرة في وق السطح والمجاري السيلية المتصلة بالنهر وتنتهي به، وذلك في أي قطاع م-ن قطاعات مجراه.

فقد يحدث الفيضان في القطاع الأعلى أو الأوسط من المجرى بفعل تركيز الهطول المطري هناك، وهذا ما يساعد على إمكانية التنبؤ بحالة الفيضان في المجرى الأدنى، كما الحال في فيضانات نهر النيل، وكذلك نهر المسيسيبي، ونهر الفرات. وقد تحدث أحياناً فيضانات في القطاع الأدنى وتكون مخاطره أقل وذلك في أثناء تعرض ذلك القطاع لهطولات غزيرة وعند تأثره بالأعاصير المدارية كما في أنهار الصين وكذلك المسيسيبي.

ب- ذوبان الثلج ربيعاً المتراكم من هطول ثلجي شديد توي سابق: وهذا يحدث عموماً في أشهر نيسان وأيار وحزيران، عند الارتفاع المفاجئ في درجة الحرارة، كما يحدث عند هبوب رياح الفوهن على الجانب الشمالي من جبال الألب التي ترفع من درجة الحرارة عند مقدمات تلك الجبال إلى نحو (٢٠م) في أقل من ساعة في أحد أيام شهر نيسان أو أيار مترتباً على ذلك ذوبان سريع

لكميات كبيرة من الثلج، وتدفق للمياه الذائبة إلى الأنهر التي تفيض مياهها بشكل كبير، وهذا ما تتعرض إليه في بعض السنوات أنهار: الراين والرون والغارون في أوروبا.

وفي بعض الأنهار، يترافق حدوث الذوبان الثلجي مع هط - ول أمطار غزيرة، مما يزيد ويفاقم من الفيضانات النهرية، كما يحدث في معط - م الأنهار الأوربية، وكذلك نهر الفرات.

ج - - تشكل سدود جليدية: في العروض الباردة، كما في الشمال الروسي، التي تجري فيها الأنهار من الجنوب الأدفأ، إلى الشمال الصقيعي الأبرد، لتنتهي في المحيط المتجمد الشمالي.

ففي نصف السنة الشتوي تنخفض درجة الحرارة أحياناً إلى - ٥٠ - ٥٠ دون التجمد بعشرات الدرجات، مما يؤدي إلى تجدد مياه المجاري الدنيا وأحياناً الوسطى للأنهار، دون تجمد أعاليها، لتشكل المياه المتجمدة سدداً، تضطر المياه المتدفقة من أعاليه إلى الفيضان على الجانبين.

٢-١-٢ - العوامل الأرضية: تلعب العوامل الأرضية دوراً كبيراً في شدة

الفيضان كما في حدوثه، مما يمكننا من التمييز بين عاملين أرضيين، هما:
أ - ضيق المجاري المائي النهرية؛ وخاصة في القطاعين الأعلى والأوسط لبعض الأنهار، مما يجعل قدرتها على تصريف مياه الأمطار الغزيرة أو الثلوج الذائبة أقل من المياه المتدفقة نحوها، لتفيض خارجها عبر الفتحات التضاريسية، أو لتتدفق بغزارة شديدة معرضة الأجزاء الدنيا إلى طغياناتها المائية.

ب - السدود الصخرية؛ كثيراً ما تتشكل في الأودية سدود صخرية نتيجة حدوث انهيارات صخرية وانزلاقات أرضية من الحواف الجبلية، مما يجعلها

تقف حاجزاً أمام المياه المتدفقة بفعل الأمطار أو ذوبان الثلوج. ولذا تسمى مثل هذه السدود بالسدود الحاجزية.

أما نماذج الفيضانات النهرية، فتختلف حسب زم-ن ح-دوث الفيضان، واتساع مداه، ومكانه، وآليته، مما يمكننا من تمييز النماذج التالية:

١ - الفيضانات الوميضية (Flash Floods): وهي التي تحدث دون سابق إنذار، وبمقياس زمني قصير يتراوح مداه من بضعة ثواني إلى عدة ساعات. وهو من الفيضانات المدمرة نظراً للارتفاع السريع في مستوى الماء، وللسرعة الكبيرة في تدفق المياه.

وتعزى الفيضانات الوميضية إلى عوامل عدة منها: شدة الهطول المطري، ومدته وطبيعة السطح وطبوغرافيته، وبخاصة انحدار الحوض المائي. ومناطق المدن قابلة بوجه خاص للفيضانات الوميضية نتيجة النسبة المرتفعة من مساحة السطح المغطاة بالإسمنت الكثيم، بما في ذلك سطوح الأبنية، وهذا يؤدي إلى جريان سريع للماء المطري الهاطل بغزارة. كما أن المناطق الجبلية ذات قابلية كبرى للفيضانات الوميضية بفعل انحدار جوانبها المشرفة على أودية ضيقة أحياناً. والأضرار الناجمة عن الفيضانات الوميضية تعود إلى زم-ن التصريف المائي القصير أكثر مما تعود إلى معدل التصريف المائي.

وبوجه عام، فإن العواصف الرعدية الشديدة المقترنة بأمارات انهمارية سيلية، هي المولدة للفيضانات الوميضية، والتي يغلب عليها الطابع المحلي المحدود الامتداد؛ فهي عموماً ليست بالفيضانات الإقليمية وإنما المحلية. فكثيراً ما تتعرض بعض المناطق الداخلية من سورية في بعض أيام الخريف أو الربيع إلى أمطار رعدية تحدث فيضانات ووميضية.

ومن الأمثلة عن الفيضانات الوميفية، نذكر:

١ - في يوم (١٢) أيار من عام (٢٠٠٧) هطلت أمطار رعدية غزيرة فوق الأجزاء الشرقية من منطقة سلمية بسورية بلغت كميتها نحو (٣٥٠) مم في شرقي عقيريات، خلال ساعتين (١٥-١٧) محدثة فيضانات وسـيولاً جارفة، متسببة في غرق شخصين من قريتي العالية والشيحة في ناحية عقيريات، بجانب غرق أعداد كبيرة من الأغنام، وحدوث انجرافات كبرى في التربة.

ب - في عام (١٩٣٥) فيضاناً وميضياً، أطلق نـحـو (١٢) مليـون متـر مكعب من المياه، عبرت خلال مدينة (سبرنغس كولورادو) في الولايات المتحدة خلال ساعتين، مسببة أضراراً جسيمة.

ج - وفي عام (١٩٨٨) فاضت مياه نهر النيل على جانبيه مسببة تدميراً في السودان. كما أنه في عام (١٩٩٠) حدث فيضان وميض في نهـر جوبـا بالصومال، مما أدى إلى إخلاء آلاف السكان لمنازلهم وإحـداث خسائر فـي الممتلكات.

د - في شهر تشرين الأول عام (٢٠٠٠) هطلت أمطار انهمارية، تسببت في فيضانات وميفية وانزلاقات أرضية في إيطاليا وسويسرا، مودية بحياة (٢٨) شخصاً. كما تعرضت أوروبا الغربية في عـام (٢٠٠٢) إلـى فيـضانات وميفية ضربت جنوب شرقي فرنسا مودية بحياة (٢٤) شخصاً، بجانب إخلاء أكثر من (١٠٠٠) شخص لمنازلهم التي كانت ضمن مجال الفيضان الوميضي لنهر الرون.

والجدول التالي (١١) يبين أمثلة عن كمية الأمطار الفصوى التي كانت تسبباً في فيضانات وميفية.

المكان	التاريخ	المدة	الكمية (مم)
بيلوفيفي/رينيون	٢٨-٢٩ شباط، ١٩٦٤	١٢ ساعة	١٣٤٠
بيلوفيفي/رينيون	٢٨ شباط، ١٩٦٤	٦ ساعات	١٠٨٧
هانس/تكساس	٣١ أيار، ١٩٣٥	٢ ساعة و٤٥ دقيقة	٥٥٨
هولت/ميسوري	٢٢ حزيران، ١٩٤٧	٤٢ دقيقة	٣٠٥
فوسين/بلغاريا	٢٢ أيار/١٩٢٠	٨ دقائق	١٢٦
اينيونفيل، ميرلاند	٤ تموز، ١٩٥٦	دقيقة واحدة	٣١

٢- الفيضانات الإقليمية:

هي فيضانات على مقياس كبير مكانياً وزمانياً، إذ إنها تشمل في تأثيراتها - منطقة جغرافية واسعة قد تتعدى حدود الدولة. وقد تستمر بضعة أيام، لديمومة الهطول المطري الغزير المسبب لها لأيام عدة في أية فترة من السنة، والذي يعود، إما إلى المنخفضات الجوية الجبهية في العروض الوسطى، وإما إلى الأعاصير المدارية، بالإضافة إلى الأمطار الموسمية الصيفية في بعض المناطق.

وفي حال فيضانات الشتاء والربيع في العروض الباردة، فإن ما يسهم في شذوها، هو أن سطح الأرض ربما يكون متجمداً، مما يقلل من عملية الترشيح ضمن التربة، ومن ثم يزيد من الجريان السطحي، بجانب ما يضاف إلى الأمطار من ذوبان الثلوج في الربيع.

والجدول التالي (١٢) يبين أهم الفيضانات الإقليمية في العالم منذ عام (١٩٠٠):

الرقم	الموقع	التاريخ	عدد القتلى	إجمالي عدد المتأثرين بالفيضان
١	الصين	تموز، ١٩٣١	٣,٧٠٠,٠٠٠	٢٨,٥٠٠,٠٠٠

٢	الصين الشمالية	تموز، ١٩٥٩	٢,٠٠٠,٠٠	
٣	هينان/الصين	تموز، ١٩٣٨	٥٠٠	
٤	هينان/الصين	تموز، ١٩٣٩	٥٠٠,٠٠٠	
٥	الصين	١٩٣٥	١٤٢,٠٠٠	١٠,٠٣٠,٠٠٠
٦	الصين	١٩٠٨	١٠٠,٠٠٠	
٧	الصين	١٩١١	١٠٠,٠٠٠	
٨	الصين	تموز، ١٩٤٨	٥٧,٠٠٠	
٩	غواتيم - - - الشرقية	تشرين الأول، ١٩٤٩	٤٠,٠٠٠	
١٠	وه - - - - هوي/الصين	آب ١٩٥٤	٣٠,٠٠٠	
١١	فنزويلا	١٩ - - - الأول، ١٩٩٩	٣٠,٠٠٠	٤٨٣,٦٣٥
١٢	بنغلادش	١٩٦٠	٢٨,٧٠٠	٣٨,٠٠٠,٠٠٠
١٣	الصين	١٩٣٣	١٨,٠٠٠	٣,٦,٠٠,٠٠٠
١٤	بنغلادش	١٩٦٠	١٠,٠٠٠	
١٥	أفغانستان	حزب - - - ١٩٨٨	٦٣٤٥	١٦٦٨٣١
١٦	الصين	حزب - - - ١٩٨٠	٦٢٠٠	٦٧٠٠٠
١٧	الهند	تموز ١٩٦٨	٤٨٩٢	٧,٥٠٠,٠٠٠

١٨	منشوريا/الصين	٢٨ آب، ١٩٥١	٤٨٠٠	
١٩	شمال وشمال شرقى الهند	تموز ١٩٧٨	٣٨٠٠	٣٢,٠٠٠,٠٠٠
٢٠	الصين	٦ آب ١٩٩٨	٣٦٥٦	٢٣٨,٩٧٣,٠٠

٣- فيضانات السد الجليدي:

وهي فيضانات تحدث في الأنهار في العروض الباردة التي تتعرض مجاريها في قطاعها الأدنى - وأحياناً الأوسط - إلى تجمد مياهها جزئياً أو كلياً، مما يتسبب في ارتفاع منسوب المياه المتدفقة من القطب الأعلى إلى الهطول المطري - أو بفعل ذوبان الثلج -، لكون الجليد المائي في القطاع الأدنى يشكل حاجزاً (سدّاً) أعاق جريان المياه، التي تأخذ بالطوفان على الجوانبين، مما يشكله فيضانات ضخمة أحياناً.

ويمكن أن تتشكل فيضانات وميضية عندما ينهار السد الجليدي بإذابته مما يؤدي إلى تدفق المياه بكميات كبيرة وسرعات عالية، مسببة أضراراً جسيمة في الأرواح والممتلكات.

ومن الأمثلة عن الفيضانات السدية الجليدية، ما تعرض له نهر يوكون في الآسكا، كما حدث فيه عام (١٩٩٢). غير أن أكثر هذه الفيضانات حدوثاً تتم في الأنهار الروسية التي تتدفق مياهها شمالاً لتنتهي في المحيط المتجمد الشمالي، كما في أنهار: لينا، وينيسي، وأوب. ففي ربيع عام (٢٠٠١)، فإن نحو (٣٠) كم من مجرى نهر لينا أصبح سداً جليدياً، مما تسبب في حدوث فيضان في النهر في قطاعه الأعلى مدمراً مدينة ليشيك، ومجبراً نحو (٣٠) ألف شخص على ترك منازلهم، ومهدداً مدينة ياكوتسك.

٤ - الفيضانات الحاجزية:

وهي الفيضانات التي سببها انهيارات صخرية من المنحدرات الجبلية التي تتراكم في الأودية مشكلة سدوداً صخرية تحجز كميات كبرى من المياه خلفها، وبفعل ضغط المياه عليها، فإنها تتحطم وتتدفق المياه عبرها بعنف شديد، مسببة خسائر جسيمة في الأرواح والممتلكات.

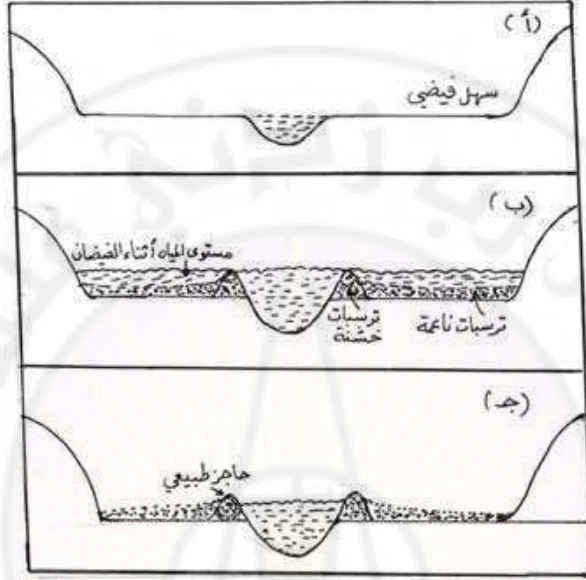
كما أنه كثيراً ما تتعرض السدود الاصطناعية المقامة على الأنهار للانهار نتيجة لهشاشة التركيبات الصخرية المقامة عليها، أو بسبب رداءة تصميمها. وفي حال امتلاء بحيراتها بالمياه وازدياد الضغط عليها، لينجم عن انهيارها فيضانات عارمة.

وتتصف الأنهار ذات الأودية الواسعة والقيعان المنبسطة، بوجود حافات رسوبية موازية للمجرى تعرف بالحواجز الطبيعية (Natural Levees) تقع على أجزاء السهل على جانبيها من الفيضان. وتتشكل تلك الحواجز نتيجة للتتابع الفيضانات خلال عدة سنوات؛ فعندما تتدفق مياه المجرى على ضفتي النهر، فإن سرعته تنخفض مما يضطره لترك الرسوبات الخشنة موضعاً لها، على شكل سلاسل جانبية. أما المياه المنتشرة فإن كمية الرسوبات التي تكون دقيقة أو لينة، وتتوضع فوق قاع الوادي، وهذا التوزيع غير المتكافئ للمواد الرسوبية ينتج تلك الحواجز ذات الانحدار اللطيف - شكل (٤٩) -، والتي تنتشر في وادي نهري المسيسيبي الأدنى، مرتفعة نحو (٦) أمتار فوق مستوى أرضية الوادي.

٢-٢ - الفيضانات الساحلية:

وهي التي تحدث على طول سواحل البحار والمحيطات متوغلة في اليابس مسافة تعتمد على ارتفاع الموج والمد البحري والمظهر التضاريسي المجاور

للساحل. وإذا ما استثنينا أمواج التسونامي التي أفرد لها دراسة خاصة؛ فنمیز بين نموذجين من الفيضانات الساحلية هما:



شكل (٤٩) مراحل تشكّل الحواجز الطبيعية على نهر المسيسيبي - كمنال -

١ - الفيضانات الموجية: وهي الفيضانات الناتجة عن الأمواج البحرية التي تحدث في حال هبوب رياح عاصفة، كما يحدث مباشرة في أعقاب م-رور منخفض جوي جبهي عميق فوق سواحل العروض الوسطى الغربية، حيث تكون الرياح عندئذ شديدة السرعة، مؤدية إلى تشكّل أمواج مائية، يرتبط ارتفاعها بسرعة الرياح ومدة دوام هبوبها والمسافة التي تقطعها في م-اء مفتوح دون عوائق، وقد يصل ارتفاعها إلى سبعة أمتار فأكثر، ولتتعاظم في حال اقترانها بظاهرة المد البحري الدورية.

٢ - الطغيان البحري الإعصاري: إن الكثير من الخ-سائر في الأرواح والممتلكات التي تسببها الأعاصير المدارية، ناتجة عن طغيان المياه المحيطية

على اليايس في أثناء عبور الإعصار إلى اليابسة. إذ يـنجم عـن الـريـاح الإعصارية العنيفة المتدفقة بسرعات عالية تجاه الساحل، ثـورة صـاخبة فـي البحر، تعمل على رفع مستوى مياه البحر عند السواحل إلى ما يزيد على عشرة أمتار، مسهماً بذلك بشدة الانخفاض الجوي في الإعصار التي تعمل على سـحب الماء نحو الأعلى.

ومن الأمثلة عن ذلك، نذكر: إعصار كاميلي، الذي عبر سـاحل ولاية تكساس ولويسيانا في يوم (١٧-١٨) آب عام (١٩٦٩)، وتوافق بمـدبحـري مقدار ثمانية أمتار. وفي يوم (٦ آب) عـام (١٩٨٠) صـرب إعـصار ألـين (Allen) جزيرة جامايكا مترافقاً بمدبحري عاصفي، وصل ارتفاعه إلى (١٢م) عند بلدة مانشيونيل.

أما إعصار هونورينيانا (Honoriniana) الذي ضرب الساحل الشرقي من جزيرة مالاغاشي إلى الشمال من مدينة تاماتا في يـومي (١٥-١٦) آذار عـام (١٩٨٦)، فبلغ ارتفاع المد البحري الذي أحدثه نحو (٣٠م) عند مدينة تولماسينا، متدفقة المياه بعيداً عن خط الساحل غامرة مساحات شاسعة مـن الأرضـي الزراعية.

٣- آثار الفيضانات:

تتمثل أهم الآثار السلبية الكارثية للفيضانات في الآتي:

- ١- هدم وتدمير المنازل والمنشآت المختلفة، وغمر للمدن والقرى في حال وقوعها في طريقها.
- ٢- قتل العديدين، وإصابة آخرين بأذى. مع تعرض الثروة الحيوانية أيضاً للقتل والإصابة.

٣- تغريق الأراضي الزراعية، وتدمير المحاصيل الزراعية.

٤- تدمير البنية التحتية من: طرق وجسور وشبكات كهرباء وماء وهاتف، ومجار.

٥- انتشار الأمراض والأوبئة بين السكان في المناطق المنكوبة بالفيضانات.

٤ - أهم الفيضانات الكارثية في العالم:

لا تمر سنة دون حدوث فيضانات كارثية في المناطق المأهولة بالسكان والمستقلة أراضيها. وذلك لتعدد أسباب الفيضانات - كما ذكرنا سابقاً - . وسنستعرض فيما يلي نماذج من أهم الفيضانات الكارثية التي عانت منها بعض مناطق الأرض.

٤-١ - فيضان جونغتاو في بنسلفانيا (١٨٨٩):

يعد فيضان (جونستاو) في ولاية بنسلفانيا الأمريكية - من الكوارث الشهيرة الناجمة عن انهيار سد. فمدينة جونغتاو تقع في غرب وسط ولاية بنسلفانيا عند ملتقى نهري (كونمو) و(ستوني كريك). وعلى بعد (١٧) كم من المدينة يقع سد (ساوث فورك) على مجرى نهر كونمو - الذي أشيد في عام (١٨٥٢م) - ، ولم تكن بنية السد متينة، بل كانت حالته رديئة، كما كانت أفنية التصريف الجانبية مسدودة لعدم السماح للأشخاص بالهروب من بحيرة السد.

وفي يوم (٣١) أيار من عام (١٨٨٩) هطلت أمطار انهمارية ومما إن تجاوز وقت الظهيرة بنحو ثلاث ساعات حتى انفجر السد، متدفقة مياهه بشكل حائط ارتفاعه (٢٠ - ٣٠م). ولتفرغ مياه بحيرة السد الملائ بالماء في خلال (٣٦) دقيقة مندفعة بسرعة نحو (٨كم/ساعة) لتغمر المياه وادي نهر (كونمو) و، ولتمحو عدداً من البلدات الصغيرة ولتجرف البيوت والمصانع والذاس معاً،

ولتدمر أيضاً مدينة (جونستاون) التي كان يقطنها حينها نحو (١٢) ألف نسمة، ولقد وصلت أنقاض المدينة مع التيار إلى مدينة (بنسبرغ) التي تبعد عنها نحو (١٢٠) كم. كما اقتلعت مياه الفيضان التي نتجت من السد الأشجار وخطوط الهاتف. وبلغ إجمالي عدد قتلى الفيضان (٢٢٠٩) أشخاص.

٤-٢- كارثة الصين الكبرى (١٩٣١):

تسبب الأمطار الموسمية الغزيرة التي هطلت في شهر تموز عام (١٩٣٠) في أواسط الصين، في حدوث فيضانات كبرى في نهري هوانغ هـ و، ويانغتسي، مودية بحياة (٣,٧) مليون شخص، وتضرر (٢٨,٥) مليون آخرين. مع ما سببته من خسائر في الممتلكات والزراعة والثروة الحيوانية، قدرت بعـدة بلايين الدولارات.

٤-٣- فيضان لينموث (انكلترا):

تقع قرية لينموث على نهر لين إلى الشمال من مدينة ديفون. وفي يوم الخامس عشر من شهر آب عام (١٩٥٢)، هطلت أمطار انهمامية بلغت كميتها نحو (٢٥٠) مم في أقل من (٢٤) ساعة، وهذا ما يكافئ نحو مليون طن من الأمطار على كل (٢,٥) كم^٢ من الأرض.

وليدغدو نهر لين، متخماً بالمياه التي ارتفعت إلى علو (١٢) متراً، لتغمر قرية (لينموث) بالماء والفتات الصخري الذي حملها معه.

وكان على نهر لين العديد من الجسور بين لينموث ونجد أوكسمور وفي أعلاها، متهدمة تلك الجسور بالفيضان، الذي نجم عنه تهديم قرية لينموث، وتدمير (٩٣) مبنى، ومقتل (٣٤) شخصاً من سكان القرية.

٤-٤ - كارثة فيضان هولندا (١٩٥٣):

تعرضت هولندا إلى كارثة فيضان في شهر شباط عام (١٩٥٣) عند ما انهار أحد سدود الحماية في جنوبي غربي البلاد، لتعرضه إلى رياح عاصفية شمالية غربية في أعقاب منخفض جوي جبهي شديد العمق أغرق الـ و فيرمـن الأمطار، مما نجم عن ذلك اندفاع موجة عالية من المياه نحو المناطق الواقعة أسفل السد، مترتباً عن ذلك مقتل (١٨٣٥) شخصاً ولاسيما أن الحادثة وقعت ليلاً دون سابق إنذار. كما غمرت المياه نحو (٢٠٠) ألف هكتار من الأراضي، ودمرت نحو (٣٠٠٠) منزل و (٣٠٠) مزرعة، وقتلت ما يقارب من (٤٧٠٠٠) رأساً من الماشية غرقاً.

وتعد هذه الكارثة من أسوأ الكوارث التي تعرضت لها هولندا منذ ثلاثة قرون.

٤-٥ - كارثة سد فايونت (Vaiont Dam)

في عام (١٩٦٣) ضرب فيضان سداً مقاماً على رافد لنهر بياف (piave) في الألب شرقي إيطاليا. وكان طول السد (٢٦٢م)، المقام في ممر ضيق عند بلوغ الرافد وادي نهر (بياف). وكان السد قد أُشيد في عام (١٩٦١)، ولم تلاحظ خلفه خزانه بالماء مباشرة بعد إشيادته. وخلال سنتين ارتفعت مستويات المياه في خزانه بشكل واضح، حيث جبل (توك Toc) المطل عليه الذي تعرض لانزلاقات أرضية ارتفعت في بحيرة السد. ورغم محاولة المهندسين السيطرة على الانزلاق بتخفيض مستويات المياه، إلا أنهم فشلوا. حيث هطلت أمطار انهيارية، أعقبها انزلاق صخري جبلي إلى البحيرة في ليل (٩) تشرين الأول مولداً موجاً ضخماً علا السد وتجاوزته متدفقة مياهه إلى وادي (بياف). وخلال دقائق كان الفيضان قد أودى بحياة أكثر من (٢٠٠٠) شخص، وأزال (محـا) مدينة لونجـارون

(Longarone) والمستوطنات المجاورة. غير أن السد بقي واقفاً ولم يتضرر كثيراً، وهذا دليل على قدرة الإنسان الكبيرة في التحكم بالفيضان.

٤-٦ - فيضانات المسيسيبي (١٩٩٣):

تعرض نهر المسيسيبي وروافده في صيف (سنة أس-أبيع م-ن حزي-ران وتموز) عام (١٩٩٣) إلى فيضانات ضخمة، غمرت الحواجز على جوانبها، ومحت مديناً، وحطمت جسوراً ومطارات، وغمرت من مظهر سطح الأرض في الغرب الأوسط من الولايات المتحدة، رغم التحذيرات لمدة أكثر من أسبوع عبر أجهزة التلفاز... وسواها.

وما إن انقضى فصل الصيف حتى كان الفيضان قد انتشر عبر (٣٥٤) مركزاً في تسع ولايات أمريكية، متسبباً في مقتل (٥٠) شخصاً، وتشريد نحو (٧٠,٠٠٠) آخرين، وتغريق نحو (٥,٤٦) مليون هكتار من الأراضي. وقدرت الخسائر المادية بأكثر من (٢٠) مليون دولار. وكان هذا الفيضان الأسوأ في تاريخ الولايات المتحدة.

٤-٧ - فيضانات بنغلاديش (١٩٩٨):

بنغلاديش دولة منخفضة السطح، مشرفة على خليج البنغال، وتعاني أشد معاناة الفيضانات المتكررة التي قد تكون سنوياً، سواء من الأمطار الموسمية، أم من الأعاصير المدارية.

ومن الفيضانات المدمرة التي اجتاحت نحو ثلثي مساحة بنغلاديش، تلك التي حدثت خلال الفترة (تموز-تشرين الأول)، بفعل الأمطار الموسمية الانهيارية، والتي كانت على أشدها في (١٤) أيلول. ونجم عن تلك الفيضانات مقتل أكثر من (١٥٠٠) شخص، وتشريد نحو (٢٣) مليون شخص بصفة وادون

مأوى. كما تضرر أكثر من (١٠٠) ألف كم^٢ من الأراضي، منها (٥٧٥) ألف هكتار من الأراضي الزراعية أغرقتها المياه. وقتل أكثر من (٢٦) ألف رأس من قطعان الأبقار. شكل (٥٠).



شكل (٥٠) فيضانات بنغلاديش عام (١٩٩٨)

ولقد طالت الفيضانات البنية التحتية لتخرب وتدمر نحو (١٦) ألف كم من الطرقات و(٤٥٠٠) كم من الأرصفة، و(٩٠٠) ألف مـذـزل. و(٦٩٠٠) جــسر ومجرور للمياه القدرة، متجاوزة الخسائر المادية مليوني دولار.

٤-٨ - فيضانات تركيا (٢٠٠٦):

اجتاحت جنوب شرقي تركيا فيضانات عارمة في (٣) تشرين الثاني عام (٢٠٠٦)، متسببة في مقتل (٣٢) شخصاً، وانهار عدد من المباني في بلدة

(باتمان)، كما أجلى سكان بلدة (ايلازيج) من منازلهم لتعرضها للفيضانات. كما اجتاحت الفيضانات مدينة ديار بكر، ولتصل حتى مدينة استنبول.

٤-٩ - فيضانات أوروبا الوسطى:

اجتاحت أوروبا الوسطى فيضانات ضخمة في شهر آب عام (٢٠٠٢)، بدأت في اليوم السادس من ذلك الشهر، بفعل الأمطار الانهارية المتواصلة التي أغرقها منخفضان جويان جبهيان متعاقدان خلال سبعة أيام؛ تحرك أولهما من البحر المتوسط بالاتجاه شمالاً مسبباً فيضانات وميضية في إيطاليا والنمسا، وتلاه المنخفض الثاني الذي أغرق أمطاراً تجاوزت (٤٠) سم فوق أحواض نهري البينه (Elbe) وفتافا (Vltava) خلال ثلاثة أيام. وقد استمرت الفيضانات حتى نهاية الشهر، لتبلغ تصارييف مياه أنهار البينه وفتافا والدانوب أقصاها خلال المئة سنة الماضية.

ولم يترتب على تلك الفيضانات خسائر في الأرواح، ولكنها عملت على تشريد نحو (٣٢٠) ألف شخص في ألمانيا وجمهورية التشيك. كما تسببت ضرر عـشرات الألاف من المنازل في مدن دريسدن وهلمبورغ (ألمانيا) وبراغ (تشيكيا)، وفي الأجزاء العليا والدنيا من النمسا وسالزبورغ، والتيلور، وعلى طول نهر الدانوب في سلوفاكيا. وتخربت طرق المواصلات لعدة أشهر، وتعطلت خطوط نقل الطاقة وأبراج الكهرباء. وبلغت الخسائر المادية نحو (١٨,٥) بليون دولار.

٤-١٠ - فيضانات الباكستان (٢٠١٠):

أحدثت الأمطار الموسمية الصيفية العزيرة التي هطلت خلال الفترة (٢٨-٣٠) تموز عام (٢٠١٠)، متجاوزة (٣٠٠ م) وفي الأجزاء الشمالية من الباكستان، وبخاصة في إقليم خيبر، فيضانات وسيولاً مدمرة استمرت نحو (٢٠) يوماً، ممتدة جنوباً حتى أقاليم السند والبنجاب وقهاستان وبلوچستان، لتفـيض الأنهار على جانبيها وبخاصة نهر السند.

ونتج عن تلك الفيضانات مقتل نحو (١٦٠٠) شخص، وتضرر نحو (٢٠) مليون شخص؛ منهم نحو (٤) ملايين شردوا من منازلهم لغمر بعضها بالمياه، وتدمير بعضها الآخر. بجانب تخريب البنية التحتية من جسور وطرق وأعمدة كهرباء وهاتف في مناطق شاسعة. كما دمر نحو مليون هكتار من الأراضي الزراعية، خرجت مساحات كبيرة من الاستثمار بسبب ما أصابها من الـتملح. وقضي على أعداد كبيرة من رؤوس الماشية. ودمرت عشرات ألوف المـنازل والمحال التجارية (نحو ٣٠ ألفاً). وبلغت المساحة المتضررة من مياه الفيضانات والسيول نحو ثلث مساحة الباكستان. وبلغ إجمالي الخسائر في الممتلكات نحو (٤٣) بليون دولار شكل (٥١).



شكل (٥١) نتائج فيضانات الباكستان عام (٢٠١٠)
نزوح السكان عن ديارهم بأعداد كبيرة للنجاة من الفيضانات

وقد تسببت الفيضانات في شمال شرق أفغانستان في الفترة نفسها بمقتـل (٧٥) شخصاً وتشريد الآلاف.

٤- ١١ - فيضانات السودان (٢٠١٣):

أحدثت الأمطار الغزيرة التي لنهمرت من سحب الركام المزني والمزن الطبقى، فوق أولسط السودان في الأسبوع الثاني من شهر آب، فيضانات وسيولاً مدمرة، تسببت في مقتل نحو (٥٠) شخصاً، منهم (٣٦) شخصاً في ولاية النيل (منطقة شـمال الخرطوم)، وإصابة نحو (٢٤٠) شخصاً بجروح، وتدمير نحو (٥٠٠٠) منزل، ووقـد در عدد المتضررين بالفيضانات والسيول أكثر من (١٥٠) ألف شخص.

٥ - التنبؤ بالفيضانات والتحذير منها:

نتيجة للتقدم العلمي والتطور التقني، غدا من السهولة التنبؤ بمواعيد حدوث الفيضانات وأمكنتها، ومن ثم التحذير من مخاطرها، بعد أن انتشرت محطات الرصد الجوي السينوبية المخصصة لعمليات التنبؤ في العالم بكثافة معتبرة، وأصبحت الأقمار الصناعية الخاصة بالأرصاد الجوية من خلال مساهمة تلتقطه من صور، تسهم إسهاماً فعالاً في الاستدلال على نوعية السحب السائدة ووجهة حركتها وسرعتها، ومدى إمكانية إدراكها للهطول المطري الغزير، وهي عموماً السحب المزنية (الركام المزني، والمزن الطبقى). بالإضافة إلى ما تقوم به الطائرات المخصصة للمراقبة الجوية، وبخاصة مراقبة الأعاصير المدارية، ومتابعة مسارها والتحذير منها وهي تقترب من الساحل.

وكان لاستخدام أجهزة الرادار دور مهم في الكشف عن السحب وتحديد نوعيتها ونوعية الهطول منها ودرجة غزارته، وكذلك وجهة حركة السحب، وذلك من مسافة كفيفة بإمكانية التنبؤ بحدوث فيضان في مكان محدد. مع القدرة على المراقبة المتواصلة لأي تغير في السحب نوعاً وكماً وحركة.

وكان لتطور وسائل الاتصال وتبادل المعلومات بين دول الأرض الجوية في العالم، أن أعطت دفعاً للتقدم في مجال التنبؤات الجوية خلال أربع

وعشرين ساعة حتى (٧٢) ساعة... وأكثر أحياناً، بل في أجزاء من اليوم. مما له الدور الكبير في تحديد احتمالية هطول أمطار انهمارية بدقة عالية فيمـا إذا كان المتنبي الجوي على مستوى علمي وخبـرة كبيـرة فـي التنبـؤ والمحـامي والإقليمي. وهذا ما حدا بالمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) من خلال برنامج المراقبة العالمية للطقس إلى إنشاء نظام اتصال للنقل السريع للمعلومات الرصدية والتنبؤات والتحذيرات.

وغدت نشرات التنبؤ الجوية (نشرات الأحوال الجوية) التي تبث عبر أجهزة التلفاز والمذياع في أنحاء العالم كافة، وكذلك تنشر في الصحف، من الأمور التقليدية المتابعة عموماً عند الكثيرين، مما يمكن من استكشاف الحالة الجوية المنتظرة خلال الأربع وعشرين ساعة وأكثر. وما إذا كانت تشير إلى أمطار انهمارية وتحذيرات مما ينجم عنها من فيضانات وسـيول فـي منـاطق محددة. كما أصبح من الممكن إذاعة نشرات ساعية للتغيرات في الأحوال الجوية، بما يسهم في أخذ الحيطة من الفيضان إذا ما أشير إلى إمكانية حدوثه.

ويلعب التحذير من الفيضانات والسيول دوراً كبيراً في التقليل من الخسائر سواء في الممتلكات أو في الأرواح. وهذا يتم عموماً بعد البدء بالفعل في ضمان وتحركه، وذلك بتحديد مساره وشدته ومصادر إمداده الرئيسية والجانبية بالماء، مما يزيد من شدته أو يقلل منها في مساره. وكذلك تحديد الزمن المتوقع له بلوغ المنطقة المحذرة منه، حتى تنتهي الفرصة لإجلاء السكان والحيوانات من منطقة الخطر. وهذا من شأن السلطات المحلية والمتطوعين.

ويجب الأخذ بالحسبان ما تستجره معها مياه الفيضانات الشديدة التدفق من نواتج ما خربته ودمرته في طريقها من مبان وطرق وجسور وأشـجار بحـث تشكل خطراً إضافياً فيما يقع في طريق الفيضان في قطاعات الأودية الواسـطة

أو الدنيا. كما أنه من الضرورة تحذير الناس من عدم عبور مياه الفيضان مشياً أو سباحة، أو عبر سيارة، أو بركوب حيوان، وكذلك عـدم عبـور الحيوانات (أبقار خيول أغنام... وسوى ذلك)، حتى ولو كانت مياه الفيضان ضـحلة، لأن ضحالتها قد تكون دليل سرعة تدفقها الكبيرة التي ستسحب معها العابرين إليها. ليكون مصيرهم الغرق أو الإصابة. ولاسيما أن قاع مجرى الفيضان قد يكـون متضمناً حفر وفجوات تعرض العابر لخطر أكبر. والأمثلة عن ضـحايا عبـور الفيضانات كثيرة في سورية.

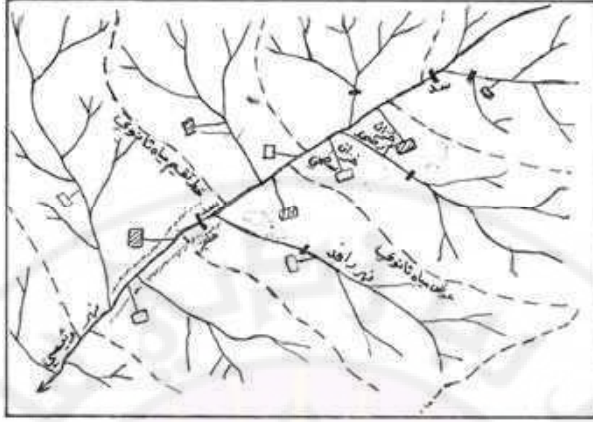
ولا تتوقف التحذيرات عن الفيضانات النهرية وسواها في داخل اليـابس، وإنما تشمل أيضاً الطغيانات المائية للمناطق الساحلية بفعـل مـؤثرات المـوج العالية الناتجة عن الرياح العاصفة، أو تلك المترافقة مع مـد مائي مرتفع عـند عبور إعصار مداري.

٦- طرق الوقاية من الفيضانات والحد من مخاطرها:

بما أنه من الصعوبة مكافحة الفيضان، أو منع حدوثه، إلا إنه من الممكن الوقاية منه والتخفيف كثيراً من حدته، بما يقلل من المخاطر الناجمة عنه، ويـتم ذلك باتباع الطرق التالية:

١- تشتيت مياه الفيضان في مناطق التغذية المائية؛ وذلك بتحويل جـزء من المياه إلى خزانات تحت أرضية أو سطحية، وإقامة سدود صغيرة في أنحاء متفرقة من منطقة التغذية. شكل (٥٢)

٢- تحسين مجاري الأنهار والأودية السيلية، لتصبح قادرة على استيعاب مياه الفيضانات المتدفقة، وذلك بتوسيع المجاري وتعميقها- أو كليهما معاً-، وإقامة حواجز على جانبي النهر، والقضاء على الأكواع النهرية قدر الإمكان.



شكل (٥٢) طرق السيطرة على الفيضانات النهرية

٣- إقامة سدود تخزينية على الأنهار والأودية السيلية: وهذه من الط-رق الناجعة نسبياً، والتي شاع استخدامها كثيراً في أنحاء العالم كافة. حيث لا يوجد نهر إلا وأقيم عليه سد أو أكثر: فعلى نهر النيل مذكر السد العالي جنوبي مصر، وسد جبل الأولياء في السودان. وعلى نهر الفرات أقيم نحو (٣١) سداً في ك-ل من تركيا (٢٢سداً)، والعراق (٧سدود)، وسورية (سدان).

بجانب السدود التجميعية- التخزينية المقامة على الأودية السيلية، والتي تجاوز عددها في سورية (١٠٠) سد، مذكر منها سد الكافات على وادي الكافات في منطقة سلمية، الذي أُنشِد عام (١٩٦٩) بطاقة تخزينية نحو (١,٥) مليون متر مكعب. وسد وادي أبيض في محافظة حمص (عام ١٩٨٧) بطاقة تخزينية نحو (٥,٥) مليون متر مكعب.

٤- شق أفنية تصريف مائي جانبية؛ وذلك من قطاعات النهر المختلفة، وهذا ما تم تطبيقه منذ القديم في نهر النيل بما أقيم عليه م-ن قن-اطر وت-رع. وكذلك الحال في القنوات الثلاث (أ، ب، ج-) التي شقّت م-ن مج-ري نه-ر العاصي في سورية عند العشارنة، الممتدة على طرفي سهل الغاب.

٥- أما فيما يتعلق بأساليب ضبط الطغيان البحري والتخفيف من آثاره فليس هناك من طريقة سوى إقامة الحواجز الصادة له والمعتزلة طريقة. بجانب افتتاح قنوات لتصريف المياه المطرية الإعصارية المسببة للفيضانات. وفي المناطق التي تتعرض للغمر المائي (التغريق) بسبب الفيضانات فيمكن اللجوء إلى فتح مصارف (أقنية) مثلما تم في منطقة الغاب بسورية، وكذلك ضخ المياه بالمضخات كحل اسعافي سريع لمساحات صغيرة.



الباب الثالث

الكوارث المناخية

الفصل الأول: موجات البرد والحر

أولاً: موجات البرد.

ثانياً: موجات الحر.

الفصل الثاني: الأعاصير

أولاً: الأعاصير المدارية.

ثانياً: أعاصير التورنادو.

الفصل الثالث: العواصف

١ - العواصف الريحية والترابية.

٢ - العواصف المطرية.

٣ - العواصف الثلجية والجليدية.

٤ - عواصف البرد

٥ - العواصف الجبهية.

الفصل الرابع: الصواعق

الفصل الأول

موجات البرد والحر

أولاً: موجات البرد الفارس:

- ١ - ما المقصود بموجة البرد
- ٢ - آليات حدوث موجات البرد
- ٣ - آثار ومخاطر موجات البرد الصيفية
- ٤ - مكافحة الصفيح والحد من مخاطره

ثانياً: موجات الحر

- ١ - تحديد موجات الحر
- ٢ - أسباب الموجات الحرارية
- ٣ - آثار ومخاطر الموجات الحرارية
- ٤ - أشهر الموجات الحرارية

تشكل التطرفات في درجة الحرارة سلباً وإيجاباً إحدى المـشكلات التي تعانيها البيئة الأرضية، بمختلف مناحيها، والتي تبلغ تلك التطرفات درجة الكارثية أحياناً. إذ لا تمر سنة من السنوات دون أن تضرب موجة برد صقيعية هذه المنطقة أو تلك، أو أن تجتاح موجة حرارة شديدة مـساحات شاسعة مـن الأرض، بما يودي سنوياً من تلك الموجات بحياة ما لا يقل عن (500) شخص وسطياً، وخسائر جسيمة في الممتلكات تقدر ببلايين الدولارات. وعموماً فإن تكرار موجات البرد الصقيعية أكثر وأشم وأثارها ومخاطرها أكبر.

أولاً - موجات البرد القارس (cold waves)

تتعرض مناطق عدة في بعض السنوات إلى موجات من البرد الشديد تنخفض خلالها درجات الحرارة بضع درجات دون نقطة التجمد (الصفر المئوي) فيما ليس معهوداً أو مألوفاً، ليحل عندها الصقيع القاتل الذي قد يستمر متكرر الحدوث يومياً لمدة قد تتجاوز الأسبوع وتصل إلى شهر فأكثر. ولبيلغ أقصى درجات شدة وفي ساعات الصباح الباكر، وليستمر في العروض الباردة أحياناً ليلاً ونهاراً.

١ - ما المقصود بموجة البرد؟

تمثل موجة البرد؛ أي انخفاض في درجة الحرارة إلى درجة الصقيعية (الصفر المئوي) فما دون، وتستمر لمدة تتجاوز ثلاثة أيام، وتصل إلى أكثر من شهر أحياناً. وقد تتدنى درجات الحرارة في بعض المناطق إلى مـا دون (-25°م) كما في أواسط وشرقي وشمال أوروبا، وآسيا، وشمال القارة الأمريكية الشمالية وشمالها الشرقي. وحتى في العروض شبه المدارية (25-35°م) وجنوباً يمكن لدرجة الحرارة في نصف السنة الشتوي أن تنخفض إلى ما دون

التجمد لأكثر من (10°C) وقد تصل إلى (-20°C) فما دون. كما سجلت في سورية في عام (١٩٥١).

والحديث عن موجات البرد هو حديث عن الصقيع بأنواعه المختلفة ودرجات شدته المتباينة.

٢- آليات حدوث موجات البرد:

هناك آليتان تعملان على الانخفاض الحراري الشديد، إلى الدرجة الصفيحية فما دون، هما:

٢-١ - آلية التبريد الإشعاعي الليلي الشديد لسطح الأرض:

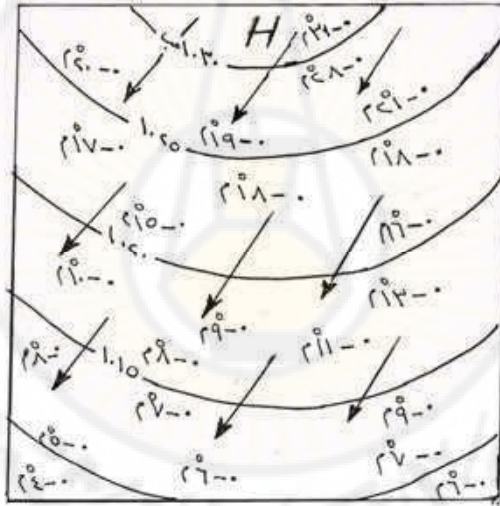
وذلك بفعل الفقد الليلي للإشعاع الأرضي، خارجاً دون عائق يعيقه ويعيده إلى سطح الأرض، وهذا يتم في حال سيادة ضغط جوي مرتفع، مع ليل طويلة نسبياً - كما الحال في نصف السنة الشتوي، وبخاصة في أشهر الشتاء الثلاثة - وجو جاف، وهدوء في الهواء، يترافق ذلك مع انقلاب حراري سطحي.

وكلما طالت مدة سيطرة الضغط المرتفع ازدادت حدة البرد. ومثل هذه الموجات تتعاطم في مناطق الأودية والحوضات، وتسود في مناطق السهول الشاسعة في الأجزاء القارية. ولكنها تنذر الحدوث عند سواحل البحار. شكل (٥٣).

وفي حال تضمن الهواء القريب من سطح الأرض نسبة متوسطة من بخار الماء فإن البرد الشديد إلى ما دون الصفر، سيؤدي بجزيئات بخار الماء إلى الترسب فوق سطح الأرض مباشرة على هيئة بلورات جليدية - ضاء دون أن تمر بمرحلة السيولة. فيما تدعى تلك الظاهرة بالصقيع الأبيض.

حتى شبه الجزيرة العربية، مع حرارة متدنية جداً بلغت دون (0°م) في شمالي السعودية، ودون (13°م) في الأردن وسورية ولبنان وفلسطين.

ويقود الضغط المرتفع السيبيري بالاستمرار غرباً شتاء إلى الضغط المرتفع الأوربي في شمالي وأواسط أوربا، إلا أنه أول شدة منه، والرياح التي تنطلق منه غرباً وجنوباً أعلى حرارته ولكنها قد تنحدر إلى دون (20°م) كما حدث في الفترة (١٧-٢١ كانون الأول ع.م ٢٠٠٩م)، إذ انخفضت درجة الحرارة إلى (20°م) في شمالي إنكلترا وإسكتلندا وإلى (25°م) في بولندا، وتسجل (17°م) في أوكرانيا. شكل (٥٤).



شكل (٥٤) آلية تشكّل الصفيح النافسي

ويدفع الضغط المرتفع الكندي شتاء برياحه الشديدة البرودة جنوباً وشرقاً وغرباً، التي درجة حرارتها تكون دون (30°م) باتجاه الـسهول العظمى الأمريكية بلوغاً ولاية فلوريدا أحياناً، والأجزاء الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة وشرقي كندا، كما حدث في (٢٤) كانون الثاني من عام (١٩٦٣م) حيث انخفضت درجة الحرارة انخفاضاً مروعاً في شرقي الولايات المتحدة ووسطها.

حتى فلوريدا، بلغت دون (-٢٠°م) بسبب الرياح القطبية الشمالية، التي أودت بحياة ما لا يقل عن (١٥٠) شخصاً.

وتحدث موجات الانخفاض الحراري المريع عموماً في فصل الشتاء، وبخاصة في أشهر كانون الأول وكانون الثاني وشباط، حيث يكون الليل طويلاً، والفادد الحراري للأرض بالإشعاع كبيراً، والرياح القارية إن هبت أكثر تكراراً. كما يمكن أن تحدث موجات برد صقيعية في بعض السنوات في أشهر الخريف حتى الربيع.

فخلال شهر كانون الأول م- ن ع- امي (١٩٨٩) و (١٩٩٠) تعرضت الولايات المتحدة الأمريكية - وكندا - إلى موجات برد صقيعية شديدة، عمت كافة أجزائها، نتيجة لسيادة ضغط مرتفع سطحي مع تبرد إشعاعي ليالي كبدية، وتدفع رياح متجمدة شمالية وشمالية غربية، مع تدفق رياح علوية شمالية أصبحت غربية في الجنوب. شكل (٥٥).



شكل (٥٥) موجة صقيع شديدة ضربت الولايات المتحدة في شهر كانون الثاني عام (١٩٨٩)

فإلى الشرق من جبال الروكي، سجلت أدنى درجات الحرارة في مـا بين (٢٤-٢١) كانون الأول عام (١٩٨٩)، حيث انخفضت درجة الحرارة إلى مـا دون (30°م) في الأجزاء الشمالية من الولايات المتحدة، ولم ترتفع إلى ما فوق (10°م) عند سواحل خليج المكسيك في الجنوب وشمالي فلوريدا، ولتـراوح بين (1 إلى 5°م) في أواسط فلوريدا وجنوبيها. ولتـنخفض عند السواحل الشرقية إلى ما بين (8 إلى 14°م)، متسببة في حدوث خسائر في محاصيل الفاكهة والخضروات بقيمة نحو (٤٨٠) مليون دولار في ولايتي تكساس وفلوريدا فقط.

وعلى طول الساحل الغربي من الولايات المتحدة، فقد تسبب الهـواء الفارس البرودة في شهر كانون الأول عام (١٩٩٠) في انخفاض درجة الحرارة على ساحل كاليفورنيا إلى ما بين (5 إلى 10°م)، وتدنّت إلى ما دون ذلك إلى الشمال من كاليفورنيا وإلى الشرق منها. مما لم تشهد كاليفورنيا موجة برد صقيعية أشد منها في النصف الثاني من القرن العشرين، ملحقة خسائر في محاصيل الحمضيات والخضروات قدرت قيمتها بنحو (٣٠٠) مليون دولار.

وفي خلال الفترة (١٢-١٥) كانون الثاني من عام (٢٠١٤) اجتاحت منطقة منغوليا الداخلية موجة برد شديدة غير مسبقة، إذ انخفضت خلالها درجة الحرارة إلى (50°م)، ملحقة خسائر كبرى في المزروعات، ومتسببة في وفاة عدة أشخاص ونفوق أعداد كبيرة من الحيوانات.

٣- آثار ومخاطر موجات البرد الصقيعية:

إذا كان الانخفاض الحراري بين (5 إلى 15°م) قاتلاً في العـروض شبه المدارية، فإنه لا يكون قاتلاً إلا إذا تدنّت درجة الحرارة إلى مـا دون (20°م) في العروض المعتدلة الباردة والباردة (40 - 70 درجة شمالاً وجنوباً)،

التي تسجل انخفاضاً حرارياً كبيراً في بعض السنوات يصل إلى (-40°C) ، و (-50°C) ، حيث سجلت درجة حرارة (-78°C) في أوميكون بيسييريا، و (-63°C) في سانغ يوكون بكندا.

ومن آثار الموجات الباردة الصقيعية، نذكر:

١ - على الإنسان: كثيراً ما تسبب الموجات الباردة الصقيعية حوادث وفيات، عند تعرض الإنسان مباشرة إليها، خاصة الأطراف المكشوفة غير المحمية، حيث تنخفض درجة حرارة الجلد إلى ما دون (26°C) ، مما ينتج عنه أنيات في نسيج الجلد، وحدوث انقباض وعائي موضعي يعقبه انقباض وعائي عام.

وما تدعى ضربة الصقيع (Frostbite) التي يتعرض لها الإنسان خاصة في أجزائه المكشوفة تكون قاتلة إذا ما كان الانخفاض الحراري كبيراً، حيث يصاب بعض الأشخاص التجمد عند انخفاض الحرارة إلى (-20°C) فما دون إذا لم يجدوا الحماية الكافية - شكل (٥٦) - . وكمثال، تعرضت ألمانيا خلال الفترة (٣٠ كانون الثاني - ٨ شباط) من عام (١٩٤٧) إلى موجة برد شديدة، انخفضت درجة الحرارة خلالها إلى نحو (-30°C) متسببة في وفاة نحو (٢٥٠) شخصاً.



شكل (٥٦) ضربة الصقيع

وفي شهر كانون الأول (ع-ام ١٩٩٩) تعرضت جزيرة هونغ كونغ - غ إلى موجة برد شديدة، انخفضت خلالها درجة الحرارة إلى (-3°C) ، مما لم تعرفه الجزيرة خلال الـ (٢٥) سابقة، مودية بحياة (٤٥) شخصاً. وفي العام نفسه (٢٣ تشرين الثاني ع-ام ١٩٩٩) شهدت موسكو موجة برد

صقيعية شديدة (درجة الحرارة -10°C) أدت إلى وفاة (٧٠) شخصاً.

وتسببت موجة البرد الصقيعية (عام ٢٠٠٨م) التي اجتاحت مناطق عـدة من أواسط آسيا وجنوبها وحتى شمالي إفريقيا وبعض مناطق أوروبا في وفاة نحو (٣٠٠) شخص. كما تعرضت الأجزاء الشمالية من الهند إلى موجة برد صقيعية شديدة خلال النصف الأول من شهر كانون الثاني (عام ٢٠١٢) وخاصة ولاية أوتارا براديش، انخفضت درجة الحرارة إلى نحو (-١٥°م)، متسببة في وفاة نحو (٣٣) شخصاً.

٢- على الحيوان: في حال تعرض الحيوانات غير المحمية التي تربي في مناطق مكشوفة والحيوانات البرية إلى موجات البرد، فإنها تصاب بالعديد من الأمراض التي تؤدي إلى نفوقها، بجانب نفوق العديد بسبب تجمدها لانخفاض مقاومتها للبرد الصقيعي (طيور، دواجن، نحل...).

فلقد تسبب موجة برد عام (٢٠٠٨) التي بلغت أشدها في (١٥/١٠-ك) كانون الثاني) في الأردن إلى نفوق (٣٠٠) من الدواجن في منطقة جلـد بمحافظة البلقاء، ونفوق أعداد كبيرة من الماشية في منطقة المفرق.

كما قتلت موجة البرد نفسها في يوم (٢٠٠٨/١/١٦) نحو (٥٠٠) رأس من الأغنام في منطقة الجوف بالسعودية. وفي منغوليا حدث فصلان متتابعان من الشتاء الفارس (١٩٩٩-٢٠٠٠، ٢٠٠٠-٢٠٠١)، انخفضت فيهما درجة الحرارة إلى ما دون (-٥٠°م) مسببة في نفوق (٣,٦م) مليون رأس من الحيوانات التي تشكل نحو (١٠%) من مجموع القطيع الحيواني فيها.

وفي النصف الأول من شهر كانون الثاني (عام ٢٠١١) تسببت الموجة الصقيعية التي بلغت أشدها في أيام (٢-٤ كانون الثاني)، بانخفاض حراري دون (-١٦°م) في نفوق نحو (١١) ألف رأس من الماشية في إقليم شينجيانغ الصيني الشمالي الذي تدنت فيه الحرارة إلى نحو (-٢٥°م).

٣- على النباتات: يؤدي الانخفاض الحراري إلى مادون التجمد، إلى تجمد الأنسجة النباتية وموتها، كما يؤدي إلى قتل الب- راعم، والفساء على الأزهار والثمار الصغيرة. وقد يقضي إذا ما كان شديداً على الأفرع الصغيرة والأوراق في بعض الأشجار. بالإضافة إلى ما يمكن أن يحدثه من أضرار في الثمار الناضجة.

ولكل نبات وفقاً لمراحل نموه درجات مقاومة للانخفاض الحراري، لا يستطيع تحمله دونها، وهي في مرحلة الإنبات أكبر مما هي في مرحلة الإزهار. والفروع السفلى في الأشجار أكثر تحملاً من الفروع العليا.

ومن الكوارث الصيفية النباتية، نذكر: كارثة صقيع عام (١٩٥١) وفي حوضه إدلب التي قضت على نحو ثلاثة ملايين شجرة زيتون، إذا انخفضت درجة الحرارة إلى (-٢٣م). وفي الأسبوع الثاني من شهر كانون الأول عام (٢٠٠٧) انخفضت درجة الحرارة في شمالي اليمن إلى نحو (-٥م) موقعة خسائر كبيرة في مزارع الفات، قدرت قيمتها بملايين الدولارات. وفي لبنان الذي انخفضت درجة الحرارة في أجزائه الشمالية إلى دون (-١٠م) في منتصف شهر كانون الثاني عام (٢٠٠٨)، أدت إلى تلف محاصيل عدد كبير من البيوت البلاستيكية والمزروعات المكشوفة والأشجار المثمرة. وكذلك في الساحل السوري الذي انخفضت درجة الحرارة فيه إلى نحو (-٥م). كما دمرت الزراعات في وادي الأردن الذي أعلن منطقة منكوبة بسبب الحجم الكبير للخسائر في المزروعات.

٤- على وسائل النقل والاتصال: بما ينجم - في حال تشكل طبقة جليدية رقيقة على الطرقات في بعض حالات الموجات الصقيعية - من حوادث انهيار زلاقي للسيارات تكون كارثية في بعضها. وكذلك ما يحدث من انحرافات في الطائرات عند الهبوط خاصة والإقلاع قد ينجم عنها كوارث قاتلة.

كما تتجمد الأقينية المائية والبحيرات ومياه الأنهار في العروض الوسطى والمرتفعة من نصف الكرة الشمالي في حالات الانخفاض الحراري القصي الشديد، مما يعيق عندها استخدامها في النقل المائي.

ففي شهر كانون الثاني عام (١٩٨٥) نتج عن موجة البرد الفارس التي اجتاحت أوروبا إلى إحداث تجلد في طرق المواصلات في معظم أوروبا الوسطى والشمالية، مما أوقع حوادث طرق متعددة ذهب ضحيتها (١٢٩) شخصاً.

وفي موجة صقيع كانون الثاني عام (٢٠٠٨) حدثت في الأردن عدة حوادث تجلد قصي للطرق، نجم عنها وفاة نحو (١٠٠٠) شخص، وإصابة نحو (١٥٠٠) إصابات متنوعة. وفي (٢٠٠٨/٢/١٩) أدى انخفاض درجة الحرارة إلى (-٩°م) في بريطانيا إلى تجمد مياه الأنهار والبحيرات، وتشكل طبقة جليد على الطرقات أعاقت حركة التنقل.

كما نجم عن الانخفاض الحراري الشديد (-٢٠ وحتى -٢٥°م) في أواسط أوروبا وشرقيها في شتاء (٢٠١١-٢٠١٢) إلى تجمد الطبقة السطحية من مياه نهر الدانوب وتوقف حركة الملاحة فيه على امتداد مئات الكيلومترات، خصوصاً في النمسا وهنغاريا وكرواتيا وصربيا وبلغاريا.

٥- على الخدمات العامة: بما ينجم عن الانخفاض الحراري إلى ما دون التجمد عدة درجات بل وعشرات الدرجات من تكسر في أنابيب التمديد المائية، وتحطم في الخزانات إذا ما كانت مملأة بالماء ومغلقة، وتكسر في العدادات المائية، وتحطم في مجاري الصرف الصحي إذا ما كانت ممتلئة وقريبة من السطح.

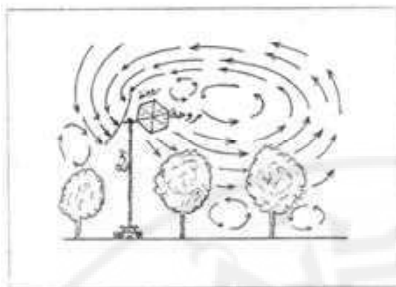
بالإضافة إلى تأثيرها على حركة السيارات والطائرات، وصعوبة الوصول إلى أماكن الخدمات العامة من صحية وتعليمية وغذائية، وتوقف المدارس والجامعات... وسواها.

بجانب ما ينجم عن الزيادة في استهلاك الطاقة الكهربائية من ضغط على خطوط نقلها تؤدي إلى أعطال فيها. كما يزداد استهلاك م- واد وق- ود التدفئة، ويزداد الطلب على الأغذية المنزلية وألبسة الدفء وعلى المدافئ والسخانات، وبعض أنواع الأدوية. وتقل بعض أنواع المنتجات الزراعية، لما تتعرض له من أضرار ولصعوبة نقلها على الطرقات وهذا كله يدفع التجار إلى رفع الأسعار، مما يشكل عبئاً على المستهلك.

ففي قرية ياكوتيا بسيبيريا التي انخفضت درجة الحرارة فيها إلى -٥٤°م في النصف الأول من شهر كانون الثاني عام (٢٠٠٨) أسهم تعطل نظام التدفئة فيها إلى وفاة (٦٧) شخصاً. كما تسببت موجة البرد الشديدة في العشرين يوماً الأولى من شهر كانون الثاني (عام ٢٠١٢) إلى إغلاق المدارس لعدة أيام وتعتل جوانب كبيرة من الحياة في شمالي الهند، وفي مناطق عدة من الصين بما في ذلك العاصمة بكين، وكذلك إيران بعاصمتها طهران.

ع - مكافحة الصقيع والحد من مخاطره:

من الصعوبة بمكان مكافحة الصقيع المنفول بالرياح الباردة الصيفية، إلا أنه من الممكن مكافحة الصقيع الإشعاعي في مساحات محددة، خاصة وإنه يكون قليل السماكة لاقتراحه بانقلاب حراري إشعاعي. وتتعدد طرق المكافحة إلا أن من أهمها: طريقة المزاج الهوائي؛ وذلك من خلال نصب مراوح ضخمة (قطر الشفرة نحو ٥م) على ارتفاع (١٠م) أو أكثر، تعمل على مزج الهواء العالوي الأسخن مع الهواء السطحي الصقيعي، مما يرفع من درجة الحرارة إلى درجة الصفر وما فوق. شكل (٥٧).



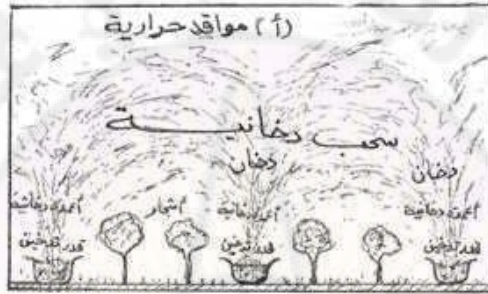
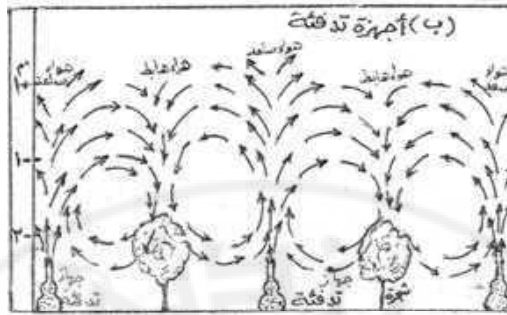
شكل (٥٧) مكافحة الصفيع باستخدام المراوح

وطريقة التسخين المباشر للهواء، باستخدام مواد حرارية طويلة الساق، أو مدافئ توزع ضمن المنطقة المراد مكافحة الصفيع فيها. شكل (٥٨). كما يمكن استخدام طريقة العزل الحراري أو ما تعرف بالتقشيش، وذلك باستخدام أغشية بلاستيكية، وكمية من القش (التبن وما شاكله) أو القماش ذو الناقلية الحرارية المنخفضة. وأحياناً يتم اللجوء إلى طريقة السحب الاصطناعية، التي تكون إما مائية - بواسطة رش قطيرات ماء في الهواء البارد نسبياً -، وإما دخانية - عن طريق حرق البترول في قدور دخانية، أو أحراق إطارات السيارات...

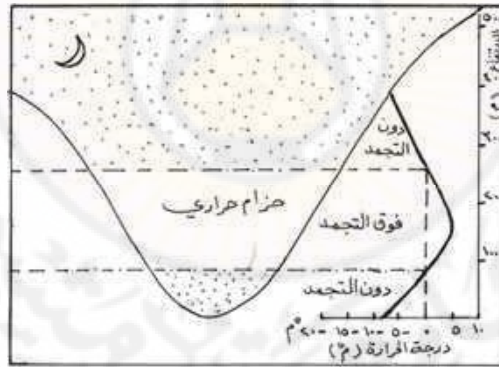
وللوقاية من مخاطر الصفيع يجب الابتعاد في الزراعة عن قيعان الحوضات والأودية، لكونها تشكل بحيرات صقيعية. وهي باعتبارها من مناطق انقلاب حراري، لذا يمكن اللجوء إلى الزراعة في آواسط المنحدرات الحرة من الصفيع - شكل (٥٩) -. كما يفضل إبعاد الحيوانات غير المحمية من الصفيع، عن قيعان المنخفضات في حال احتمال حدوث صفيع في الأودية والحوضات.

ثانياً - موجات الحر: (Heat Waves):

موجات الحرارة - في فصل الصيف -؛ هي أحداث عادية، متكررة الحدوث، بحيث يندر أن تمر سنة دون موجة حر أو أكثر - قد تصل إلى ثلاث موجات - بدرجات متفاوتة من الطول والشدة.



شكل (٥٨) مكافحة الصفيح باستخدام مواد حرارية



شكل (٥٩) الوقاية من الصفيح بتجنب المناطق الصفيعية

ولا تقل الموجات الحرارية في أهميتها عن موجات البرد الصقيعية، وهما في تعاكس بالاتجاه لظاهرة واحدة، فكلتيهما تمثل تطرفاً حرارياً شديداً إما نحـ و التناقص (موجات البرد)، وإما نحو التزايد (موجات الحـر). ولا تقل آثار الموجات الحرارية ومخاطرها عما للموجات الصقيعية.

١ - تحديد موجة الحر:

تمثل موجة الحر حالة عابرة لارتفاع حراري غير عادي، تتميز على منطقة ما، مستمرة لمدة بضعة أيام، وأحياناً أكثر من عشرة أيام. ورغم تكرار حدوثها، ليست دورية في مواعيد حدوثها وفي استمراريتها، وليس شرطاً أن تتعرض هذه المنطقة أو تلك مما اعتادت موجات الحر، كل سنة لحدوثها. فقد تمر عدة سنوات متلاحقة تحدث فيها موجات حرارية، وقد تنقطع عن الحدوث لسنة أو أكثر.

وموجة الحر، حسبما حددت من قبل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (W.M.O)، هي: «فترة لا يقل طولها عن خمسة أيام متعاقبة، ترتفع فيها درجة الحرارة العظمى إلى أكثر من (5°C) عن معدل درجة حرارة العظمى للفترة (١٩٦١-١٩٩٠).

إلا أنه نظراً لتكرار حدوث موجات حرارة كارثية في بعضها خلال مدة أقل من خمسة أيام (٣-٥ أيام)، فقد تم اعتبار الحد الأدنى اليومي للموجة الحرارية ثلاثة أيام. مع أن بعض الموجات الحرارية تستمر لأكثر من (١٥) يوماً، كما في موجة الحر التي تعرضت لها أواسط أوروبا وغربيها خلال الفترة (٢٠ تموز - ٧ آب) عام (٢٠١٣).

وإذا كان ارتفاع درجة الحرارة العظمى عن معدلها لأكثر من (5°C) هو الحد الأدنى عالمياً لبدء الموجة الحرارية - وليعتمد البعض الدرجة (3°C) كحد أدنى -، إلا أن الارتفاع الحراري قد يصل في بعض الموجات الحرارية إلى أكثر من (10°C) فوق المعدل العام.

ولقد ميز البعض بين الموجات الحرارية حسب شدتها، وليس استمراريتها: إذ تكون الموجة الحرارية خفيفة الشدة، إذا ما كان الارتفاع الحراري بين (٣-

5°م)، ومتوسطة الشدة بين (0-7°م). وشديدة بين (7-10°م)، وتصبح كارثية في حال تجاوزت درجة الحرارة العظمى (10°م) فوق معدلها. غير أنه ليس المهم هو الارتفاع الحراري فقط، وإنما ديمومته، حيث تختلف الموجات في أعمارها؛ فبعضها قصيرة العمر (3-5 أيام)، وأخرى متوسطة العمر (5-10 أيام). وهي الغالبة، والبعض منها طويلة العمر تستمر لأكثر من (10) أيام. وأشد موجات الحر كارثية، هي ما اقترن الارتفاع الحراري الأعظمي فيها مع طول أكبر في عمرها.

وعموماً؛ فإن المناطق التي تتعرض للموجات الحرارية، هي ذات المناخ الفصلي الواضح، والمحددة بين خطي عرض (20-50) شمالاً وجنوباً، وبوجه خاص في نصف الكرة الشمالي لاتساع اليايس، ووجود مساحات سهلية كبرى، وعظم التسخين الصيفي. لنجدها نادرة فيما بين المدارين، وكذلك في العروض الباردة (0-60) شمالاً وجنوباً، لاستنفاد جزء من الطاقة الشمسية صيفاً وفي إذابة الثلج في العروض الشمالية، ولعدم بلوغ حجيرات الضغط المرتفع شبه المداري العلوية تلك العروض. ولانعدام اليايس في تلك العروض من نصف الكرة الجنوبي.

وتحدث الموجات الحرارية عادة في نصف السنة الصيفي، وخاصة في شهور الصيف الثلاثة (حزيران وتموز وآب) التي يتركز فيها نحو (90%) من الموجات الحرارية الرئيسية، علماً أنه في النصف الثاني من شهر تموز وخلال شهر آب يتركز أكثر من (70%) من الموجات الحرارية. وتحدث في بعض السنوات موجات حرارة متوسطة الشدة وشديدة في فصلي الربيع والخريف، وبخاصة في نصفيهما الأقرب إلى فصل الصيف، وأسبابها تكون غالباً مختلفة عن أسباب موجات حرارة الصيف.

٢- أسباب الموجات الحرارية:

هناك عدة أسباب لحدوث الموجات الحرارية؛ منها ما هو رئيسي مـ رده إلى عوامل جوية، وهي التي تكاد تكون مسؤولة عن موجات الصيف. ومنها ما يعود إلى أسباب جغرافية، تحدث أكثر ما يكون في فصلي الخريف والربيع.

٢-١ - أسباب جوية:

لا يمكن فهم أسباب الموجات الحرارية الرئيسية بعيداً عن الحركة الجوية العالمة، وما ينتابها في الأجزاء العليا من التروبوسفير من تجـ زؤات وانزياحات فصلية عرضانية وطولانية، وعن توزيعات الضغط الجوي الكبـرى الـسطحية والعلوية، التي تعد العوامل الأساسية المسببة للموجات الحرارية والمحددة لشدتها وديمومتها.

فالموجات الحرارية، تتشكل عموماً في فـصل الـصيف فـي الأـجـواء الصحوة، والتسخين السطحي الشديد

الذي يقود إلى تشكل ضغط جوي منخفض حراري عند السطح؛ كما فيما يعرف بالضغط المنخفض الهندي الموسمي صيفاً الذي يسود في الهند ومنطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا. وكذلك الضغط المنخفض الحراري فـي آسـيا الوسطى، وفي أواسط أوروبا وجنوبها وشرقها وغربها. والحال نفسه في منطقة السهول الوسطى من القارة الأمريكية الشمالية، ومن الأرجنتين.

وفي حال كان الضغط المنخفض الحراري سائداً في كافة مستويات طبقة التروبوسفير، حيث تعمل تيارات الهواء الحرارية الحملانية على نقل الحرارة ونشرها في تلك المستويات، مما يخلق أوضاعاً حرارية عادية تكـون فيها درجات الحرارة السطحية قريبة من معدلاتها.

أما في حال اقتران الضغط المنخفض الحراري السطحي، مع ضغط جوي مرتفع علوي- في الأجزاء الوسطى والعليا من التروبوسفير- كاملة- داد لل- ضغط المرتفع شبه المداري، فعندئذ تتوقف تيارات الهواء الحملانية الحارة المنطلقة من السطح عند قاعدة المرتفع شبه المداري العلوي (مستوى ٨,٦,٥ كم) بدلاً من أن ترتفع- في حال انعدام الضغط المرتفع العلوي- حتى سقف التروبوس- فير (١٢- ١٦ كم)، لتتجزر السخونة في النصف الأدنى من التروبوس- فير أو في الثلث- ين السفليين منه، مما ينتج عن ذلك ارتفاع شاذ في الحرارة يصل إلى (٥°م) فأكثر (١٠°م فأكثر) فوق المعدل. مستمرة تلك الأوضاع الجوية بضعة أيام وأحياناً أكثر من عشرة أيام، مما يعرف عندها باسم موجة حر، التي يتحكم في شدتها درجة التسخين السطحي، ومستوى قاعدة المرتفع العلوي- التي كلما كانت أخفض كانت موجة الحرارةية أشد-.

وبصورة عامة، فإن المتحكم في موجات الحر- شدة وديمومة- هي توزيعات الضغط الجوي العلوية شبه المدارية (مستوى ٥٠٠- ٢٠٠ ميلبار) التي تتخذ في نصف السنة الصيفي شكلاً تماوجياً (ط- ول الموجة- في النطاقية المنخفضة بين ٥٠- ١٢٠ درجة طولية) بعدد موجات بين (٣- ٥) موجات على مستوى الكرة الأرضية- شكل (٦٠) - وهذه التماوجات في حالة انتقال شرقاً، لكون الحركة العلوية غربية (التيار النفاث شبه المداري الغربي)، مما يجعل موجات الحر في حال تنقل شرقاً، وبتنقلها تضعف أو تتلاشى، وقد تنتج، حسب طبيعة المنطقة ودرجات حرارتها السطحية.

ومما ينتج عن الوضع الجيوي للضغوط المرتفعة العلوية، ه- وتجاور مناطق متباينة الأحوال الجوية؛ إحداها تتعرض لموجة حرارة- تلك التي تعلوها حجرة مرتفعة الضغط- وأخرى ذات حرارة اعتيادية. ويمكن للأرض أن تشهد

في آن واحد - أو في فترات متقاربة - ثلاث أو أربع موجات حرارية كبرى؛ كأن تحدث موجة حرارية في شرقي آسيا، وثانية في أواسط أوروبا وجنوبها - أوفي منطقة الشرق الأوسط -، وثالثة في الوسط الأمريكي، بفارق زمني بين الموجة والأخرى بضعة أيام، يحدده زمن تمدد الضغط المرتفع العلوي وتجزؤه، وسرعة الحركة الانتقالية لحجراته، التي تقود إلى تعاظم الموجات أو تخامدها، مما يقوي أو يخفف من شدتها وطول مدتها.



شكل (٦٠) آلية تشكل الموجات الحرارية (أ). ومثال: موجة حر (٢٩، ٣٠) حزيران عام (١٩٩٠) (ب)

٢-٢- أسباب جغرافية:

تتمثل الأسباب الجغرافية لحدوث الموجات الحرارية، في الآتي:

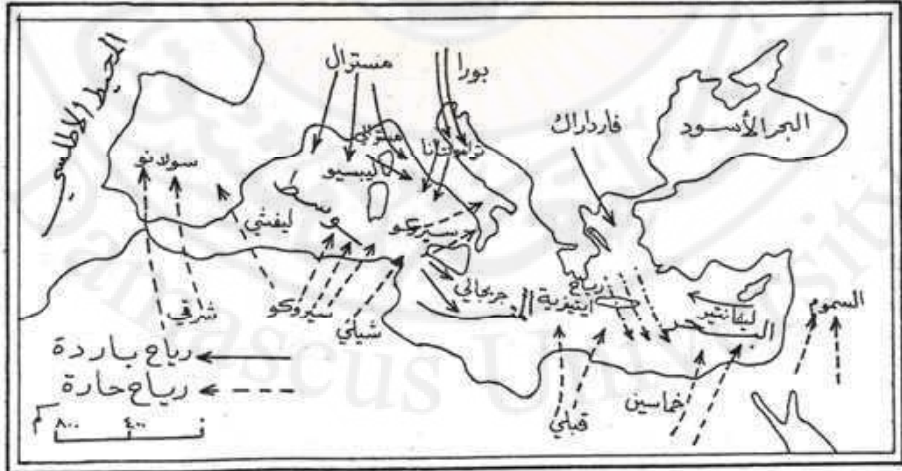
أ- هبوب رياح الفوهن:

إن رياح الفوهن (Foehn) التي تهب في فصل الربيع على أواسط أوروبا، هابطة فوق المنحدرات الشمالية لجبال الألب، وهي قادمة من حوض البحر المتوسط، تسبب ارتفاعاً في درجة الحرارة يصل إلى أكثر من (١٠°م) خلال ساعة أو أقل، مستمرة عدة ساعات أو عدة أيام، محدثة موجات حرارية شديدة، تؤدي إلى ذوبان الثلوج وإحداث فيضانات وسيول مدمرة. ومثل هذه الرياح تهب عند المقدمات الشرقية لجبال الروكي الأمريكية - حيث سهل المسيسيبي - قادمة

في الأصل من المحيط الهادي، محدثة موجات حرارية، وهي ما تعرف هذا باسم رياح الشنوك (Chinook).

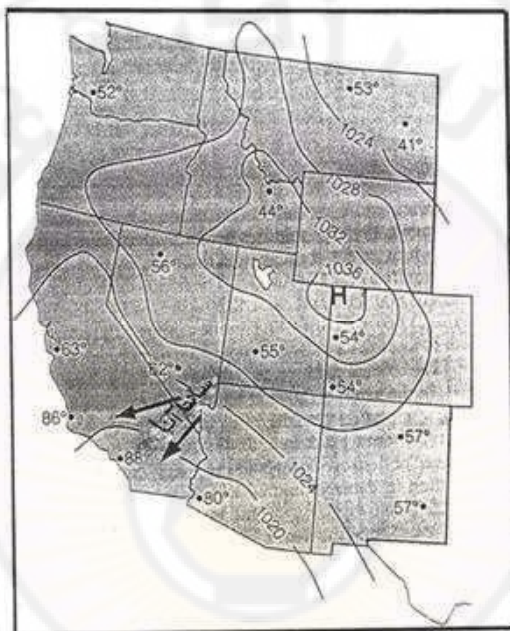
ب - هبوب رياح حارة حافة:

وهي الرياح المعروفة عموماً باسم رياح الخماسين (Khamisin)، التي تهب كرياح صحراوية جنوبية حارة جافة - متربة أحياناً - في منتصف الكـرة الشمالي، في فصل الربيع - ولاسيما شهري نيسان وأيار - وأحياناً في فصل الخريف، وذلك فوق منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا والجزء الجنوبي من أوروبا. وهي ما تعرف في سورية باسم رياح السموم (Simoom)، وتترافق بارتفاع حراري يصل أحياناً إلى (10°C) فوق المعدل، وانخفاض في الرطوبة النسبية إلى ما دون (25%) وأحياناً دون (10%)، مع تحملها بالأتربة في أغلب الأحيان شكل - (٦١) -. لينتج عنها بالتالي موجة حرارية شديدة، قد تصل مدتها إلى أكثر من (١٠ أيام)، وتصل درجة الحرارة عند هبوبها إلى (52°C) في بعض المناطق، مما يجعلها سبباً للإصابة بضربة الحر.



شكل (٦١) الرياح الحارة في حوض البحر المتوسط

ومثل هذه الرياح الحارة الجافة تتعرض لها الأجزاء الجنوبية م-ن ولاية كاليفورنيا الأمريكية في فصل الخريف كرياح شرقية ش-مالية ش-رقية قادمة م-ن صحراء نيفادا، فيما تعرف باسم رياح سانتا آنا (Santa Ana) م-صحوبة بحد-رارة مرتفعة أكثر من (5°م) فوق المعدل متسببة في اشتعال الحرائق الغلبية. شكل (٦٢).



شكل (٦٢) رياح سانتا آنا الحارة الجافة المسببة لحرائق الغابات في كاليفورنيا

ويعزى إلى النينو (EI Nino) حدوث موجات حرارية، في بعض من-اطاق العالم، إلا أنها ليس بذات أهمية.

كما يمكن للاضطرابات في سطح الشمس، خلال سنوات التبفع الأعظمي، أن تؤدي إلى حدوث تعاطم وقتي (المدة ٢٤ ساعة وأقل، وأحياناً أكثر- ربع-ة ساعات) في الموجة الحرارية لعدة درجات مئوية، إذا ما تصادف وقوع منطقتها في مهاب الأوهاج الشمسية والعواصف الشمسية. غير أن الأوهاج الشمسية وما تترافق به من عواصف شمسية، ليست سبباً رئيساً في حدوث الموجات

الحرارية، نظراً لقصر مدة حدوثها، ولأنه يندر أن تسبب في رفع درجة الحرارة لأكثر من (5°م)، ولمدة قصيرة جداً (ساعات، عدة ساعات، يوم...)، ثم تأخذ الحرارة الناتجة عنها بالتراجع.

٣- آثار ومخاطر الموجات الحرارية:

إن الكائنات الحية هي الهدف الأساسي للموجات الحرارية، لأن لكل كائن حي (إنسان، نبات، حيوان) حدوداً معينة لتحمل درجات حرارة مرتفعة، وإذا فإن أكبر الخسائر التي تنتج عن الموجات الحرارية في أعداد البشر الذين يـذهبون ضحيتها، بجانب الأعداد الكبيرة من الحيوانات التي تحصدتها، وما يلحق بالغطاء النباتي من حرائق، ويباس. ومن أهم آثار ومخاطر الموجات الحرارية، نذكر:

٣-١ - آثارها على الانسان والحيوان:

من أخطر ما يتعرض إليه الانسان عند الارتفاع الحراري الشديد، هــو تعرضه للإصابة بضربة الشمس (Sunstrok) والحر (Heatstroke) المسؤولة عن الأعداد الكبيرة من الوفيات المباشرة. وهذا ما تتعرض له أيضاً الحيوانات بمختلف أنواعها.

كما تعد الموجات الحرارية سبباً في الإصابة بالعديد من الأمراض، كما في أمراض: الزحار، الحمى التيفية، والتهاب العيون... وغيرها. بجانب مـا تلعبه من دور- في حال اقترانها برطوبة- في تكاثر الحشرات الناقلة للأمراض. ولقد أثبتت العديد من البحوث والدراسات إلى تعاظم وفيات المـصابين بأمراض القلب وفطر التوتر الشرياني والرئيسي بين الأطفال.

ومن الأمثلة عما تقدم؛ ما تعرضت له عاصمة الأرجنتين (بوينس أيرس) في العشرة أيام الأولى من شهر كانون الثاني عام (١٩٧٢)، من موجة حـارة

شديدة وصلت فيها درجة الحرارة إلى (43°م)؛ مسببة في وفاة نحو (١٠٠٠) شخص بسبب الإسهال وحوادث الغرق والمروور. وخلال الفترة (٢٥-٢٧) آب عام (٢٠٠٨) تعرضت إسبانيا إلى موجة حر كارثية، ذهب ضحيتها (١٣٢) شخصاً، وتسببت في نفوق نحو (٢٥) ألف رأس من الماشية، ونحو (٧٠٠) ألف دجاجة، حيث وصلت درجة الحرارة إلى نحو (47°م). كما تسببت موجة الحر التي تعرضت لها ولاية فكتوريا الأسترالية خلال الأسبوع الأخير من شهر كانون الثاني عام (٢٠٠٩) في وفاة نحو (٣٠) شخصاً، حيث تجاوزت درجة (46°م) لتصل إلى نحو (50°م).

وفي الأسبوع الثاني من شهر آب (١٠-١٥ آب) عام (٢٠١٢) شهدت الجزائر موجة حر شديدة، ذهب ضحيتها (٤٢) شخصاً.

٢-٣- آثارها على الغطاء النباتي:

تعد موجات الحر سبباً رئيسياً في حدوث الحرائق وانتشارها في العالم، التي تتعرض لها الغابات والنباتات الحشائشية في موسم الجفاف، الذي تزداد فيه نسبة اليباس الطبيعي في النباتات الحشائشية بين الغابية، وخارجها، التي تشكل هشيماً للنار، المتولدة إما من الاحتكاك بين النباتات الجافة عند هبوب الرياح الحارة في بعض المناطق -كما في ولاية كاليفورنيا-، أو في حال حدوث الصواعق، أو بسبب إلقاء أية مادة مشتعلة.

ففي أواخر شهر أيار من عام (١٩٧٢) أحدثت موجة الحر الشديدة في الهند، أضراراً جسيمة في المحاصيل الزراعية قدرت قيمتها بنحو (٤٠) مليون دولار. كما قضت الحرائق التي اندلعت في جمهورية الجبل الأسود (شرقي البحر الادرياتي إلى الشمال من ألبانيا) من جراء موجة الحر التي اجتاحتها في الأسبوع الأول من شهر آب (عام ٢٠٠٧)، على مساحات واسعة من الغابات والأحراج.

وتسببت موجة الحر التي اجتاحت جنوبي أوروبا في الأسبوع الثاني من شهر تموز (عام ٢٠٠٠) إلى اندلاع أعداد كبيرة من الحرائق، وفي بلغاريا، وإيطاليا- التي دمرت الحرائق فيها إحدى الحدائق الوطنية-، واليونان التي اندلع فيها أكثر من مئة حريق في الغابات، وخاصة في أواسطها، ولتقضي الحرائق أيضاً على آلاف الهكتارات من الأراضي الزراعية. كما طالت نيران الحرائق نحو (٥٠) منزلاً، و(٧) كنائس.

يضاف إلى ما تقدم آثار اجتماعية واقتصادية، تتمثل في انخفاض إنتاج الطاقة الكهربائية، زيادة الطلب على المياه سواء مياه الشرب للإنسان، أو الحيوان، أو لري المزروعات- بسبب زيادة التبخر والنتح-. كما يزداد الطلب على السوائل من الأسواق (المشروبات الغازية....والعصائر.. والمثلجات).

والمشكلة الأكبر، هو تعاظم الطلب على الطاقة الكهربائية، لتلبية الحاجة في عمليات التكييف والتبريد.. وغير ذلك من الاستخدامات في المنازل والأماكن الصناعية وسواها، مما يزيد من الضغط على الاستمرار، متولداً عن ذلك أعطال في خطوط نقل الطاقة وانقطاع في الكهرباء، يساعد في ذلك الحرائق التي تطال خطوط نقل الطاقة... وسواها. وفي الأسبوع الأخير من شهر تموز (عام ٢٠٠٦) تعرضت ولاية كاليفورنيا إلى موجة حرارية شديدة، تسببت في انقطاع الكهرباء في أماكن متفرقة منها، حيث عانى نحو (٨٠٠) ألف من سكان الولاية الانقطاع الوعدي (لمدة أسبوع) الذي واجهت فيه أجهزة التكييف حرارة وصلت إلى (٥٠°م) في بلام سبرينجر، وأكثر من (٤٣°م) في لوس آنجلز.

٤ - أشهر الموجات الحرارية:

نذكر من أشهر الموجات الحرارية:

٤-١ - موجة الحر التي اجتاحت معظم القارة الأوروبية خلال الفترة (٤-١٨) آب عام (٢٠٠٣)؛

وتعد من الموجات الحرارية الاستثنائية التي تجاوزت فيها درجة الحرارة ($^{\circ}\text{C}$ ٤٠) في عدة مناطق ($^{\circ}\text{C}$ ٤٥ في اليونان، $^{\circ}\text{C}$ ٤٥ في رومانيا، $^{\circ}\text{C}$ ٤٠,٥ في هنغاريا، $^{\circ}\text{C}$ ٤٠ في ألمانيا، $^{\circ}\text{C}$ ٤١ في فرنسا)، والتي لم تحصد موجة حرارة في العالم ما حصده هذه الموجة من بشر خلال المئة سنة الماضية، حيث بلغ عدد الوفيات بسببها نحو (٣٥) ألف شخص، موزعين حسب الدول وفق الآتي:

فرنسا (١٤٩٤٧) شخصاً، إيطاليا (٧٦٥٩) شخصاً، ألمانيا (٥٢٥٠) شخصاً، المملكة المتحدة (٢٠٤٥) شخصاً، البرتغال (٢٠٠٧) أشخاص، هولندا (١٢٠٠) شخص، سويسرا (٩٧٥) شخصاً، هنغاريا (٥٠٠) شخص، بلجيكا (١٥٠) شخصاً، إسبانيا (١٤٢) شخصاً، اليونان (٦٤) شخصاً، رومانيا (٢٩) شخصاً....

بجانب ما نتج عنها من حرائق كبرى في الغابات طالت ألوف الهكتارات، وتدمير مساحات كبرى من الأشجار المثمرة (١٨٠ هكتار من أشجار الزيتون أتلقت في اليونان فقط)، وسواها من المحاصيل الزراعية. كما ألحق عشرات القرى الخراب والدمار مما طالتها نيران الحرائق (١١٠ قرية في اليونان فقط أصاب بعضها الخراب وأخرى الدمار). شكل (٦٣).

٤-٢ - موجة حر الهند (٢٠٠٦)؛

تعرضت الأجزاء الشمالية من الهند إلى موجة حرارة شديدة في الأسبوع الثاني من شهر أيار عام (٢٠٠٦)، وصلت فيها درجة الحرارة إلى ($^{\circ}\text{C}$ ٤٦) في ولاية أوريسا، وإلى ($^{\circ}\text{C}$ ٤٤,٥) في نيودلهي، ولتسجل ($^{\circ}\text{C}$ ٤٧,٦) في بلدة

جانجاناغار (Gangangar) القريبة من الحدود مع باكستان. وترتب عليها وفاة (٢٧) شخصاً منهم: (١٦) شخصاً من ولاية أوتر براديش، و(١١) شخصاً من ولاية أوريسا. بالإضافة إلى عشرات المصابين بضربة الشمس والحروق. ارتادوا المستشفيات للعلاج. وقد حدث انقطاع في التيار الكهربائي لثلاث رات طويلة، وكذلك حدث نقص في المياه. ولحماية المواطنين من موجة الحر، فقد أغلقت المدارس أبوابها في العديد من المناطق، ومنها نيودلهي.



شكل (٦٣) الدول الأوروبية التي تعرضت لموجة حرارة عام (٢٠٠٣)

ومما تجدر الإشارة إليه، أنه ليس هناك من طرق ناجعة لمكافحة الموجات الحرارية. وكل ما يمكن اتخاذه حيالها، هي إجراءات للحماية من آثارها ومخاطرها على الإنسان بالدرجة الأولى، من خلال عدم التعرض المباشر للشمس، والبقاء قدر الإمكان في المنازل وسواها... مع استخدام وسائل التكييف والتبريد الضرورية.

الفصل الثاني الأعاصير

أولاً- الأعاصير المدارية
ثانياً- أعاصير التورنادو

أولاً- الأعاصير المدارية:

الإعصار المداري؛ هو ما يعرف بالهوريكان (Hurricane) في الأطلسي، وبالتيفون (Typhoon) في المحيط الهادي الشمالي الغربي، وبأسماء محلية أخرى في المناطق التي تتعرض له (جنوب وجنوب شرقي آسيا، أستراليا، بحر العرب، شرقي أفريقية). وهو من أعنف الظواهر الجوية قاطبة، وأكثرها قتلًا وتدميرًا لما يقع في طريقه، خاصة وأنه يضرب السواحل الشرقية من القارات في الع-روض المدارية وشبه المدارية التي يعيش على امتدادها الملايين من البشر.

والإعصار؛ وإن كان صفة لحركة هوائية بالغة الشدة تتج-اوز س-رعتها (٣٣,٧م/ثا) حسب مقياس بيفورت، إلا أن هذه السرعة تقترب حتماً بانحدار شديد في الضغط هو تعبير عن غرادبان ضغطي كبير، وهذا لا بد أن تكون وجهته-ه منطقة مركزية شديدة العمق لضغط جوي هو الأكثر انخفاضاً ب-ين منطو-مات الضغط الجوي المنخفض، حيث يمكن أن تنخفض قيمة ال-ضغط ف-ي مركز-ز الإعصار إلى ما دون (٩٥٠) مليبار.

وتتشكل الأعاصير المدارية في المحيطات خارج المنطقة الاس-توائية-المحصورة بين خطي عرض (١٠) شمالاً وجنوباً-، فيما ب-ين خط-ي ع-رض (١٠-٢٥) شمالاً وجنوباً، في الأماكن التي تزيد فيها درجة حرارة س-طح المحيطات على (٢٧°م)، وهذا ما يتحقق في الفترة الممتدة من شهر حزيران حتى تشرين الثاني في نصف الكرة الشمالي مع قمة خلال شهري آب وأيلول-ول عذ-ما تبلغ درجة حرارة سطح الماء أعظمها، مما يزيد من فعالية عملية التبخر، ويتزود الهواء بكميات كبيرة من البخار الذي بتكاثفه تنطلق الحرارة الكامنة فيه-ه الت-ي

تشكل مصدر الطاقة الرئيسية للحركة الإعصارية الحازونية نحو الأعلى. أما في المحيطات الجنوبية، فموسم تشكل الأعاصير يكون خلال الفترة الممتدة من شهر تشرين الثاني حتى نيسان، مع أعظمي لها في شهري كانون الثاني وشباط.

ولو نظرنا إلى خريطة التركيز الحراري أكثر من (27°C) في المحيطات، وخريطة مناطق تشكل الأعاصير المدارية - شكل (٦٤) -، لوجدنا هناك تطابقاً بينهما، مما يؤكد الأهمية الكبرى لدرجة الحرارة تلك في تشكل الأعاصير، رغم وجود قوى أخرى في تشكل الأعاصير وتطورها، منها: قوة كوريولس الناتجة عن دوران الأرض حول نفسها، وقوة انحدار الضغط ومـا يقابلها مـا ويعاكس وجهتها قوة الطرد المركزية - المعاكسة لقوة التسارع المركزية التي تعمل بنفس وجهة قوة الانحدار -، بالإضافة إلى الحركة التماوجية العلوية للـشرفيات في أعالي التروبوسفير.



شكل (٦٤) مناطق تشكل الأعاصير المدارية

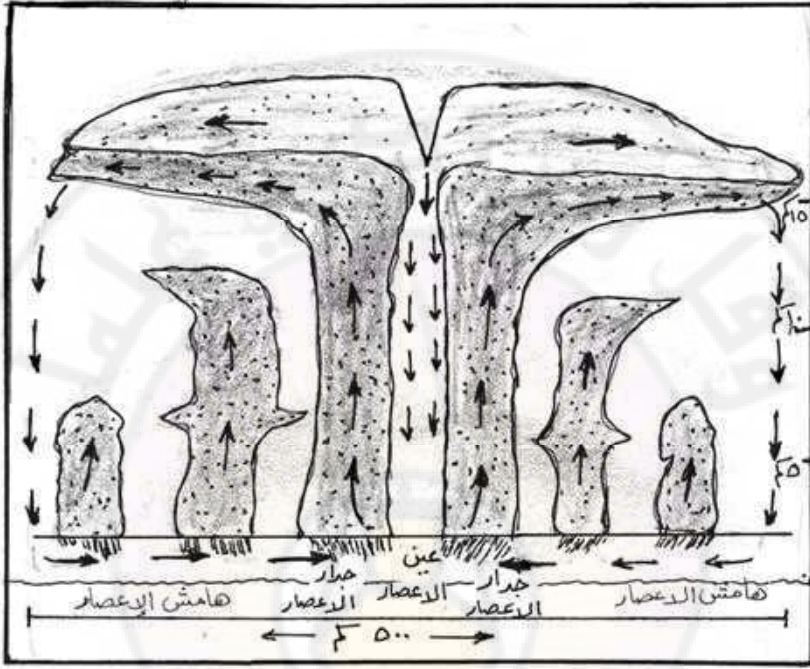
وما إن تتشكل الأعاصير الأولية حتى تأخذ بالحركة غرباً مدفوعة بالرياح التجارية الشرقية، بسرعة حركة انتقالية تتراوح بين (١٥ - ٣٠) كم/ساعة، مـع ميل في حركتها نحو القطب.

وهي في رحلتها عبر المحيط، تأخذ بالتطور، وتزداد قوتها وفعاليتها لتبلغ أقصاها، بعد أن تمر بمرحلة الاضطراب المداري، ومن ثم العاصفة التي تنقذ إلى المرحلة الإعصارية (الهوريكان) التي تزداد تقدماً بازدياد شدة الحركة الحلزونية للهواء وما يصاحبها من فعاليات جووية أخرى، حيث تقسم الأعاصير المدارية حسب شدتها وفقاً لمقياس (سافير - سمبسون) إلى خمس درجات؛ وفق ما هو مبين بالجدول التالي (١٣):

درجة الاعصار	شدته	سرعة الحركة الهوائية الحلزونية (م/ثا)	المد البحري (م)
١	ضعيف القوة	٣٣,٧ - ٤٣	١,٢ - ١,٥
٢	متوسط القوة	٤٣ - ٥٠	١,٥ - ٢,٥
٣	قوي	٥٠ - ٥٩	٢,٥ - ٤,٠
٤	قوي جداً	٥٩ - ٧٠	٤ - ٥,٥
٥	مدمر	أكبر من ٧٠	أكثر من ٥,٥

ويتتركب الإعصار المداري الذي يبلغ قطره بين (٥٠٠ - ١٠٠٠) كم، من ثلاثة أقسام - شكل (٦٥) -، هي: **عين الإعصار** (Eye)، التي يبلغ قطرها بين (١٠ - ٥٠) كم، وتمثل منطقة المركز المتصفة بهدوئها، وانعقاد الرياح فيها، وسيادة حركة الهبوط، التي تشاهد فيها السماء صحوه خالية من السحب. ويحيط بالعين **جدار الإعصار** (Eyewall)، وهو جدار سحابي زائج عن الحركة الحلزونية الدورانية - معاكسة لحركة عقارب الساعة في نصف الكرة الشمالي - الرأسية للهواء الرطب، المشكلة لسحب الركام المزنّي التي تبعد عن مركزها بمسافة (١٠٠ - ٢٠٠) كم. وهو الجزء من الإعصار الذي تتمثل فيه القوة والعنف، من حركة شديدة السرعة للهواء، وأمطار انهمارية تهطل منه. ويتحلق حول الجدار منطقة هامشية باتساع نحو (١٠٠ - ٢٥٠) كم تدعى **بهامش**

الإعصار التي تمثل منطقة التحال للقوة الإعصارية بما تتضمنه من حركات صاعدة تدل عليها سحب الركام، وهابطة مرافقة بصحو السماء.



شكل (٦٥) بنية الإعصار المداري

وبينما تبلغ سماكة الجدار الإعصاري نحو (١٦ كم) فإن سماكة عين الإعصار أقل بنحو (٢ كم) نظراً للحركة الهابطة فيها. وحيث يكون الهواء عند السطح مندفعاً نحو مركز الإعصار، أما عند سفوف الإعصار، فإن الهواء الجداري يتدفق بعيداً عن المركز.

وتتبع كارثية الإعصار المداري، من حركة الهواء الحلزونية الشديدة في منطقة الجدار التي تتجاوز في بعض الأعاصير (١٠٠ م/ثا)، مسببة في أوتلاع الأشجار وتدمير البيوت والسيارات والمراكب البحرية. وتحطم السفن والبواخر، وخطوط نقل الطاقة والاتصالات. ومن الأمطار الانهيارية التي

جداره السحابي (سحب cb) يغرقها التي تصل إلى (0.0) مم في اليوم، وقد تبلغ (1000مم) في بعض الأعاصير، محدثة فيضانات مدمرة. يجاذب المد البحري الذي يحدثه عن عبوره الساحل والذي يصل إلى ارتفاع أكثر من (0م) وفي الأعاصير من الدرجة الخامسة، لتطغى مياهه على الأراضي الساحلية ملحقة الخراب والدمار.

وبصورة عامة؛ فإن الإعصار بدخوله اليابس يأخذ بالتهامد، لعدم دأده بالطاقة المحركة له المستمدة من بخار ماء المحيطات، ولاحتكاكه بسطح الأرض الخشن، وما هي عشرات الكيلومترات حتى يتلاشى. كما أن الأعاصير تضعف وتأخذ بالتلاشي عند عبورها مياهاً باردة (مناطق التيارات المحيطية الباردة).

والكوارث الإعصارية أصبحت جزءاً لا يتجزأ من الأحداث اليومية وفي الحياة التي تطالعنا بها أخبار الصحف والمجلات ومحطات التلفزة. وسواها. فهي غدت قدراً محتوماً في العديد من مناطق العالم التي لا يمكن تجنبها ولا القضاء عليها. فأكثر من (50) إعصاراً سنوياً يضرب المناطق الساحلية وفي العروض المدارية وشبه المدارية. وآلاف البشر ضحايا الأعاصير سنوياً. وبلايين الدولارات الخسائر التي تلحقها بالممتلكات.

فهذا إعصار بنغلادش الذي ضربها في (11-12) تشرين الأول عام (1970) وأودى بحياة أكثر من (350) ألف شخص - وتشير بعض المصادر إلى نحو (500) ألف قتيل - وأحدث خسائر في الممتلكات فاوت قيمتها (1,3) بليون دولار.

والجدول التالي (14) يبين الخسائر في الأرواح من أهم الأعاصير خلال الفترة (1970-2001).

الموقع	الدولة	التاريخ	الاسم	عدد القتلى	عدد المتضررين
المراكز الجنوبية	بنغلادش	٣٠ آذار، ١٩٩١	برندان	١٣٨٨٦٦	١٥,٠٠٠,٠٠٠
أمريكا الوسطى	-	٢٦ تشرين الأول، ١٩٩٨	ميتش	١٨٥٩٩	٣,٢٤٠,٢٠٠
تاميل نادو، لنڊهر ابراديش، كيرالا	الهند	١٩ تشرين الثاني، ١٩٧٧	-	١٤٢٠٤	٩,٠٣٧,٤٠٠
الجزر والأجزاء الجنوبية	بنغلادش	٢٥ أيار، ١٩٨٥	-	١٠,٠٠٠	١,٣٠٠,٠٠٠
أوريسا	الهند	٢٩ تشرين الأول، ١٩٩٩	O5B	٩٨٤٣	١,٢٦٢,٥٠٠
نيجروس، ليتني	الفلبين	٥ تشرين الثاني، ١٩٩١	ثاليم	٥٩٥٦	٥٩٨,٤٥٤
مقاطعة بينه دينه	فيتنام	٢ تشرين الثاني، ١٩٩٧	ليندا	٣٦٨٢	٦٩٧,٢٢٥
جوجارات، راجستان، ماهاراشترا	الهند	٩ حزيران، ١٩٩٨	-	٢٨٧١	٤,٦٠٠,٠٠٠
الكاريني	-	١٩٧٩ آب	دافيد، فردريك	١٤٤٠	١,٢٧٠٠,٠٠٠
جنوب شرق آسيا	-	١٩٨٤ ايلول	ايكي	١٤١٢	١,٢٣٧,٢٢٤

كما يبين الجدول التالي (١٥) حجم الخسائر التي سببتها بعض الأعاصير خلال الفترة (١٩٧٥-٢٠٠١)

الموقع	الدولة	التاريخ	الاسم	عدد القتلى	الخسائر (ألف دولار)
فلوريدا، لويزيانا، بهاما	الولايات المتحدة	٢٤ آب، ١٩٩٢	أندرو	٤٨	٣٠,٢٥٠,٠٠٠
كوريا الشمالية، كوريا الجنوبية	-	٣١ آب، ٢٠٠٠	برايبرون	٧١	٦,١٥٥,٥٧٦
هيو شيما، كوري (جزر كيوشو)	اليابان	٢٧ أيلول، ١٩٩١	ميريلي	٦٦	٥,٢٠٠,٠٠٠
كايي، نيهاو، واهو، هاواي	الولايات المتحدة	١١ أيلول، ١٩٩٢	اليكي	٤	٥,٠٠,٠٠٠
جنوبي وشرقي الولايات المتحدة	الولايات المتحدة	٨ حزيران، ٢٠٠١	اليسون	٥٠	٤,٠٠٠,٠٠
اليابان وكوريا الجنوبية	-	٢٢ أيلول، ١٩٩٩	بارت	٢٩	٣,٣٠٤,٢٦٨
جوجارات، راجستان، ماهاراشترا	الهند	٩ حزيران، ١٩٩٨	-	٢٨٧١	٣,٠١٠,٠٠٠
المكسيك وجنوبي الولايات المتحدة	أمريكا الشمالية	٦ تشرين الأول، ١٩٩٥	أوبال	٣٨	٣,٠٠٠,٠٠٠
الكاربيبي	-	١٦ أيلول ١٩٨٩	هوغو	٤٩	٧,٠٠٠,٠٠

وخلال الفترة (١٩٢٦-١٩٥٠) بلغت الخسائر الناجمة عن الأعاصير المدارية التي أصابت خليج المكسيك والساحل الأطلسي الشرقي من الولايات المتحدة نحو بليون دولار في الممتلكات، و(٣٥٤١) في الأرواح.

وفيما يلي أمثلة عن بعض الأعاصير المدارية الكارثية:

١- ما تعرضت إليه بنغلادش في عام (١٩٩١) من ج-راء إع-صارين ضرباها (٣٠ نيسان، ١٠ حزيران)، ذهب-ت ض-حيتها (٢٦٤٥٨٦) شخ-صاً، وخسائر مادية فاقت (١,٥) بليون دولار.

٢- وفي ٢-٣ آيار عام (٢٠٠٨) ض-رب أع-صار ن-رجس (Narges) بورما، متسبباً في مقتل نحو (٨٠) ألف شخص وتشريد قرابة مليون إنسان، وتدمير آلاف المساكن والمباني وخطوط الكهرباء وش-بكات المياه، واقتلاع الأشجار، وإغراق نحو (٥٧) سفينة صيد. وقدرت قيمة الخسائر المادية بنحو بليون دولار.

٣- وينذر أن تمر سنة دون أن تتعرض الصين إلى ب-ضعة أعاصير معظمها شديتها من الدرجة الثالثة وما دون، كما في إعصار روبي (Roby) الذي ضرب هونغ كونغ والصين في (٥) أيلول عام (١٩٦٤) وأدى إلى مقتل (٧٣٥) شخصاً. وكذلك إعصار مواركوت (Morakot) الذي اجتاحت تايوان وس-واحل الصين الشرقية (مقاطعتي فوجيان وت-سجيانغ) ف-ي ي-وم (٧-٨) آب، عام (٢٠٠٩)، متسبباً في مقتل (٦٦١) شخصاً، غالبيتهم من تايوان. ومحدثاً خسائر مادية بلغت (٤,٧) بليون دولار، منها (٣,٣) بليون دولار في تايوان.

٤- وأكبر كارثة إعصارية حلت في اليابان، هي من الإع-صار ال-ذي ضربها في عام (١٩٢٣) وأدى إلى مقتل (٢٥٠) ألف شخص.

٥- وفي يوم (٢٩-٣٠) أيلول عام (٢٠٠٩) ضد-رب إع-صار كيت-سلانا (Ketsana) الفلبين، وبعدها (١٠ تشرين الأول) فيتنام، مؤدياً إلى مقتل (٢٧٧) شخصاً في الفلبين و(٩٢) شخصاً في فيتنام. وخسائر في الممتلكات فاقت البليون دولار، معظمها في الفلبين.

٦- وفي يوم (٦) حزيران عام (٢٠٠٧) ضرب سلطنة عم-ان إع-صار غونو (Guno) الشهير، متسبباً في مقتل (٧٦) شخصاً من السلطنة، بجانب أضرار مادية قدرت بنحو (٣,٥) بليون دولار.

٧- إعصار كاترينا (Katrina) عام (٢٠٠٥)، الذي يعدّ ثاني أعنف إعصار يضرب جنوبي الولايات المتحدة وأجزاءها الوسطى منذ عام (١٩٢٦) حيث ضرب أولاً جنوبي فلوريدا في (٢٥) آب عابراً إليها إلى خليج المكسيك، وليضرب ولاية لويزيانا في (٢٩) آب، متحركاً شمالاً ليتبدد ويتلاشى في (٣١) آب عند الأطراف الجنوبية من البحيرات الكبرى-ش-كل (٦٦) - ومعظم الخسائر كانت في ولاية لويزيانا، وبخاصة في مدينة نيو أورليانز. وبإع-دد الضحايا (١٨٣٦) شخصاً، وعشرات ألوف المشردين. وكانت الخسائر في الممتلكات وفي الخدمات كبيرة جداً، حيث بلغت نحو (٨١,٢) بليون دولار.

٨- إعصار هايان (Haiyan)؛ وهو الذي أحدث مأساة في الفلبين، بما لم تشهده في تاريخها من كارثة بشرية، كما أحدثها إعصار هايان الذي ضرب الجزر الفلبينية قبيل فجر يوم (٨) تشرين الثاني، عام (٢٠١٣)، منزلاً أوصى ضرباته - وهو من الدرجة الخامسة - لجزيرة-ي-س-اماروليتي، ولتتعرض لضربات في اليوم التالي (٩ تشرين الثاني) جزر فلبينية أخرى (س-يبو، ب-اني، نيجروس، بولسوانغا)، متجاوزاً بحر الصين الجنوبي إلى سواحل فيتنام الشرقية في يوم (١١ تشرين الثاني)، متجهاً شمالاً إلى الصين ليتلاشى فيها. شكل (٦٧).



شكل (٦٦)

صورة فمر صناعي لإعصار كانرينا
الذي ضرب الولايات المتحدة في
الأسبوع الأخير من شهر آب عام
(٢٠٠٥)

مسار إعصار كانرينا
الذي ضرب الولايات المتحدة
في شهر آب عام (٢٠٠٥)



شكل (٦٧) مسار إعصار هايان الذي ضرب الفلبين عام (٢٠١٣)

وبينما أعطت الأمم المتحدة رقماً لعدد القتلى (٤٤٦٠ شخصاً)، إلا أن التقارير قدرت عدد القتلى بأكثر من (١٠) آلاف شخص، وذلك في الجـزـر الفلبينية، كما بلغ عدد المتضررين على (١٠) ملايين شخص، والذين شردوا من منازلهم أكثر من (٦٧٣) ألف شخص. بجانب تدمير ما يزيد على (٦٤٣) ألف

منزل، وخسائر جسيمة في الممتلكات الأخرى، وفي الزراعة والحيوان، بحيث قدرت الخسائر المادية بنحو (١٩) بليون دولار. أمّا في فيتنام، فقد ل (٨) أشخاص، وخسائر مادية بملايين الدولارات.

٩- وفي (١٦) أيلول عام (٢٠١٤) ضرب إعصار (روماسون) الفلبين وكانت جزيرة لوزون هدفة بما في ذلك العاصمة (مانبلا)، متسبباً في مقتل عشرة أشخاص، منهم شخصان لقي حتفهما صعباً بالكهرباء، وإجلاء نحو (٣٧٠) ألف شخص عن منازلهم، وإغلاق أسواق المال والمكاتب والمدراس. بجانب ما نتج عنه أيضاً من سقوط للأشجار، وانقطاع في خطوط نقل الطاقة الكهربائية، وغير ذلك..

١٠- وفي صباح يوم (١٢) تشرين الأول عام (٢٠١٤) اجتاح أعصار (هودهود) الساحل الشمالي للهند (ساحل ولاية كي. أن. داهرابديش، وأوري. سا)، متسبباً في مقتل (٤١) شخصاً، وتدمير عشرات آلاف المنازل المبنية من الطين والقش بجانب تدمير مساحات كبيرة من مزارع الأرز والموز والفص. وانقطاع الكهرباء في مدينة فيسخاباتنام (viskhapatnam) التي توجد بها قاعة بحرية رئيسة والمناطق المجاورة لها.

أما فيما يتعلق بعمليات التنبؤ بالأعاصير المدارية والحد من مخاطرها؛ فلقد نالت الاهتمام الكبير من قبل الدول المعرضة لها، وبخاصة الولايات المتحدة الأمريكية. وحيث إن الأعاصير المدارية تتشكل في المحيطات بعيداً عن السواحل بمئات الكيلو مترات - وفي حالات كثيرة بضعة آلاف الكيلو مترات -، لذا أصبح بالإمكان مراقبتها قبل عدة أيام من بلوغها السواحل، وذلك من خلال الأقمار الصناعية والطيران، وتحديد أماكن تشكلها وتطورها عبر مساراتها المراقبة بدقة. وباقترابها من اليابسة تأخذ أجهزة الرادار المبادرة في ذلك.

وفي ظل تطور وسائل الاتصال في الخمسين سنة الماضية، غدا التنبؤ بالأعاصير المدارية أمراً سهلاً. وإذا كثيراً ما نسمع من خلال التنبؤات الجوية عن إمكانية تعرض هذه المنطقة أو تلك لإعصار مـ داري، بتحديد الزمن، والمكان بنسبة دقة كبيرة، وهذا ما يمكن الجهات المعنية بتقديم المعطيات الخاصة عن الإعصار والمخاطر المحتملة، والتحذيرات اللازمة للحد قدر الإمكان من الخسائر في الأرواح والممتلكات. وهذا ما حدث في عام (١٩٩٩)، حيث أُنذرت التحذيرات من إعصار فلويد (Floyd) الذي كان متجهاً إلى المنداق الساحلية الجنوبية الشرقية لولاية جورجيا الأمريكية لنحو (٣٠٠) ألف إنسان من الابتعاد عن منطقة الخطر.

غير أن هناك إجراءات تم العمل بها تجريبياً منذ بداية الستينات من القرن العشرين من خلال برنامج ستورمفوري (stormfury) الذي أُحدث عام (١٩٦٢) بالتعاون بين دائرة الأرصاد الجوية الأمريكية والبحرية الأمريكية، بهدف تعديل قوة الأعاصير، من خلال التخلص من جزء من الطاقة الكامنة فيها قبل بلوغها اليابسة - تلك الطاقة المتمثلة بطاقة الحرارة الكامنة في بخار الماء في جـ داره السحابي التي تتحول إلى طاقة حركية بالتكاثف -، وذلك من خلال حقن (بـ ذر) الجدار السحابي المحيط بعين الإعصار بأيود الفضة أو الكربون الجاف كمـ واد محرصة على سرعة حدوث التكاثف بغية الإسراع من عملية التكاثف، ومن ثم التقليل من طاقة الإعصار وقوته عند بلوغه اليابسة. وهذه العملية تتم قبل اقترابه من اليابسة بمسافة محددة، لعدم إتاحة الفرصة للإعصار مجدداً مـ ن اكتساب كميات كبيرة من بخار الماء وتجدد طاقته، لأن الغاية هي التقليل مـ ن طاقته. ويتم الحقن عموماً بواسطة الطائرات. شكل (٦٨).

ولقد جرت العديد من التجارب، منها التجربة على إعصار بيـ ولا (Beulah) في يومي (٢٣، ٢٤) آب عام (١٩٦٣). وكذلك على إعصار ديـ ي

(Debbie) في (١٨) آب عام (١٩٦٩) منخفضة شدته بنسبة (٣٠%)، وكذلك في يوم (٢٠) آب. وعموماً فإن مثل هذه العمليات الهادفة إلى تعديلات في قوة الأعاصير، تسهم بتخفيض قوتها بنسبة تتراوح بين (١٥ - ٣٠%).



شكل (٦٨) آلية مكافحة الأعاصير المدارية

ثانياً - أعاصير التورنادو (Tornado):

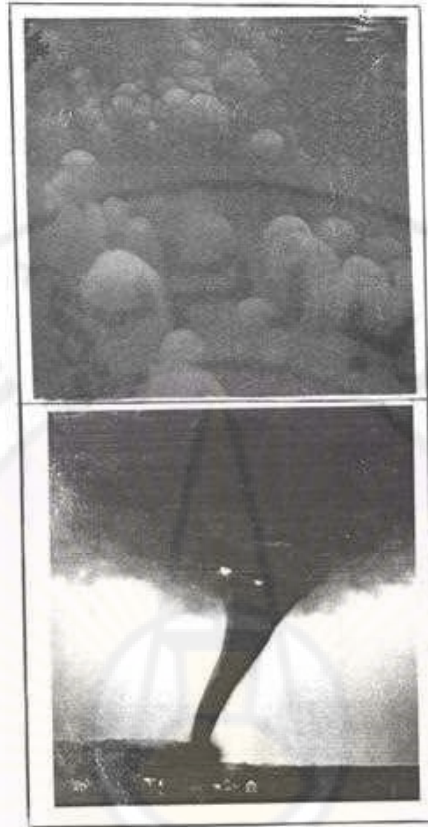
التورنادو؛ منطقة محدودة المساحة، من أصغر مناطق الضغط المنخفض اتساعاً، حيث لا يتجاوز قطرها (١٠٠٠م)، بل إن معظمها ذو قطر يتراوح بين (١٠٠ - ٥٠٠م)، وقيم الضغط في مركزها الأخفض بين منظومات الضغط

المنخفض، حيث تنخفض قيمة الضغط فيها إلى ما دون (٨٠٠) مليبار، ويكـون ذلك الانخفاض في زمن قصير، قد لا يتعدى بضع دقائق، مما يجعل الانحدار الضغط فيها الأشد، والحركة الهوائية الحازونية فيها الأعنف، بحيث تصل إلى أكثر من (٢٠٠م/ثا) في بعضها ولتصل في العنيف منها إلى (٥٠٠م/ثا)، مما لا يمكن لأي شيء يعترض طريقها إلا ويحرق به الخراب والدمار، فهي الأشد تدميراً بين الظواهر الجوية كافة.

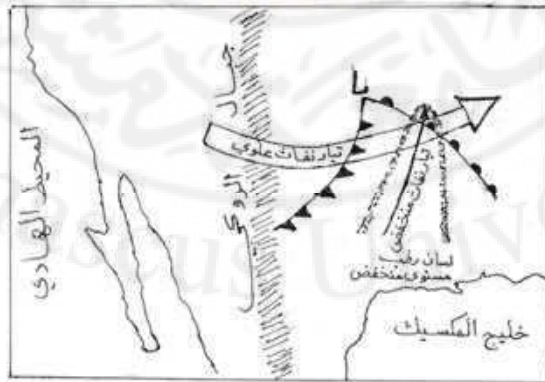
والتورنادو؛ وكما يسمى في الولايات المتحدة بالـالحازون المفتول (Twister)، يبدو على شكل سحابة قمعية (مخروط قمعي)، كخروط وم الفيل، متدل من سحابة عاصفة رعدية (كومولونيمبوس)، لا تستغرق سوى دقائق قليلة لتبلغ سطح الأرض، في بقع منه تتصف بحالة عدم استقرار شديد- نتيجة تسخين بقعي كبير... وغير ذلك- شكل- (٦٩) -.

وكما بات معروفاً، فإن سحب الركاب المزنّي ذات الأتدية (الملمـلتوس)، التي يتدلّى منها المخروط القمعي الإعصاري، هي مؤشـر دالّ على إمكانية حدوث ذلك التدلي لقمع أو أكثر من أثديتها نحو سطح الأرض. هذه السحب تكون مرافقة أحياناً لخطوط العواصف في الجبهات الباردة، وكذلك تتشكل من الحركات الحملانية لسطح الهواء الحار الرطب.

وعموماً فإن تشكل التورنادو يتطلب تصادماً بين ثلاث كتل هوائية بزوايا تصادم تؤمن الحركة الدورانية الحازونية، وهذا ما يحدث في سهـل المسيسيبي بالولايات المتحدة، عند تصادم كتلة هوائية حارة رطبة قادمة من خليج المكسيك مع كتل هوائية باردة جافة قادمة من كندا أو هابطة من جبال الروكي، وفوقهما تتدفق رياح علوية تماوجية غربية شمالية غربية بصورة تيار نفث شبه مداري شـكل (٧٠) -، مما يقود إلى تشكل جبهة باردة وحركة صاعدة دورانية هي التورنادو.



شكل (٦٩) سحابة ركام مزني من نوع مالماتوس في الأعلى
وفي الأسفل صورة لإعصار تورنادو متدل من سحابة



شكل (٧٠) آلية تشكل التورنادو

وينحصر تشكل التورنادو في العروض المعتدلة والمدارية (ب-ين خط-ي عرض ٢٠-٤٥ شمالاً وجنوباً). وإذا فإن وجهة حركته الانتقالية تكون باتجاه الشرق والشمال الشرقي في نصف الكرة الشمالي بسرعة انتقال نحو (٢٠م/ثا)، بينما سرعة حركة الهواء الحلزونية فيه كبيرة ج-دأ-ت-صل إلى أكث-ر-م-ن (٢٠٠م/ثا)، وهي سرعة تدميرية.

ومما يميز التورنادو، عمره القصير. فالتورن-ادو الم-رتبط بالعواصف الرعدية محلية المنشأة قصيرة العمر لا تتعدى بضع دقائق، وم-سارها مح-دود المسافة لا يتجاوز (١٠كم). أما التوناردو المرتبط بخط-وط العواصف م-ن الجبهات الباردة فإن عمرها أطول (بضع ساعات) ومسارها أكبر (٢٠-٥٠كم). ويحدث التورنادو، في الليل كما في النهار، إلا أن أكثره وأشد-ه يت-شكل في ساعات بعض الظهر، عندما يكون الهواء غير مستقر.

ورغم محدودية مناطق تشكل التورنادو (السهول العظمى في الولايات المتحدة شرقي الروكي، شرقي وشمال شرقي الهند، شرقي جبال الأن-ديز في الأرجنتين، نيوزيلندا، أستراليا، واليابان، أوربا الوسطى الغربية... ومن-اطق متفرقة أخرى من العالم). إلا أن الدمار الذي يرافق أعاصير التورن-ادو على طول مساراتها الضيقة كبيراً جداً لا تناهزه في ذلك ظاهرة جوية. ولكن م-ا يخفف من ذلك، صغر حجمها ومحدودية انتشارها خطياً.

ويقدر عدد أعاصير التورنادو التي تتشكل في العالم سنوياً وس-طياً نحو-و (١٠٠٠) تورنادو، منها (٨٠%) تتشكل في الولايات المتحدة. وتنحصر موالس-م التورنادو ما بين شهر آذار وتشرين الأول في نصف الكرة الشمالي وم-ا ب-ين تشرين الأول ونيسان في نصف الكرة الجنوبي.

ولا تمر سنة إلا وتخلف أعاصير التورنادو وراءها مئات القتلى وخ-سائر في الممتلكات بمئات ملايين الدولارات، وقد يصل في بعض السنوات إلى بلايين الدولارات.

وتنتج القوى التدميرية لأعاصير التورنادو من قوة الضغط الانفجارية الكبيرة، خاصة إذا ما ضرب إعصار مدينة، فإن فارق الضغط الكبير مما بين داخل العمران (ضغط مرتفع) وخارجه حيث التورنادو شديد الانخفاض الجوي يؤدي إلى انفجار وتحطم الأبنية. كما أن رياحه الإعصارية قوة تدمير كبيرة، فهي قادرة على قلب وحمل ما تصادفه من سيارات وطائرات وقطارات. وتدمير للبيوت واقتلاع الأشجار... إلخ - شكل (٧١) - .



شكل (٧١) صورة للتدمير الذي ألحقه تورنادو أوكلاهوما في (٣) أيار عام (١٩٩٩)

والجدول التالي (١٦) يبين أعنف أعاصير التورنادو منذ عام (١٩٧٥) وما سببته من ضحايا بشرية:

الموقع	الدولة	التاريخ	عدد القتلى	عدد المصابين
مانيكجانب، تانجيل، دكا	بنغلاديش	٢٦ نيسان، ١٩٨٩	٨٠٠	١٠٢٠٠٠
كولورادو	الولايات المتحدة	١٣ حزيران، ١٩٨٤	٦٠٠	-

أوريسا	الهند	١٦ نيسان، ١٩٧٨	٥٠٠	١٤٠٠
شمال شرق موسكو	روسيا	جزيران ١٩٨٤	٤٠٠	-
البنغال الغربي، أوريسا	الهند	٢٤ آذار، ١٩٩٨	٢٥٠	٤٥٠,٠٠٠
كاسامانسي	السنغال	٢١ آب، ١٩٩٩	١٦٥	-
غوراسال، تونجي، سيراجانج	بنغلاديش	٧ أيار، ١٩٩١	١٢١	٣٠٠
أوريسا	الهند	١٧ نيسان، ١٩٨١	١٢٠	١٠,٠٠٠
بنسلفانيا، أوهايو، ميسوري	الولايات المتحدة	٣١ أيار، ١٩٨٥	١٠٤	٥٠٠
البنغال الغربي	الهند	١٦ نيسان، ١٩٧٨	١٠٠	٤٠٠

- وفيما يلي أمثلة عن بعض أعاصير التورنادو الكارثية:

في الفترة ما بين عامي (١٩١٦-١٩٥٣) بلغ المعدل السنوي لعدد الاشخاص الذين قتلوا في الولايات المتحدة بسبب أعاصير التورنادو بحـدود (٢٣٠) شخصاً (أول عدد سجل ٣٦ شخصاً في عام ١٩٣٠، وأكبر عدد ٨٤٢ شخصاً في عام ١٩٢٥). لينخفض معدل القتلى إلى (١٢٠) شخصاً سنوياً خلال الفترة من عام (١٩٥٣-١٩٦٨). وبلغ العدد السنوي في الفترة مـن (١٩٦٨) وحتى عام (٢٠١٠) نحو (١٥٠) شخص. ذلك أنه في (٣-٤) نيسان (عـ)ام (١٩٧٤) حدث خلال (١٦) ساعة (١٤٨) تورنادو، عبرت أجمـزاء مـن (١٣)

ولاية أمريكية، وقتلت (٣٧) أشخاص، وأصابت بأذى أكثر من (٦٠٠٠) شخص. وفي يومي (١٠-١١) نيسان عام (١٩٧٩) عبر ولاية تكساس الأمريكية (٥٦) تورنادو، تركت وراءها نحو (٨٣) قتيلًا، وخسائر أكثر من (٢٥٠) مليون دولار.

أما أعاصير أوكلاهوما الثلاثة التي ضربت ولاية أوكلاهوما الأمريكية في (٣) أيار عام (١٩٩٩) فتسببت في مقتل (٤٠) شخصًا، وتدمير نحو (٢٠٠٠) منزل، وتضرر أكثر من (٤٥٠٠٠) منزل، بحيث بلغت قيمة الخسائر التي أحدثتها نحو بليون دولار.

وفي عام (٢٠١١) ضربت الولايات المتحدة الأمريكية عشرات أعاصير التورنادو، التي أودت بحياة نحو (٥٥٠) شخصًا، منهم نحو (١٦٠) شخصًا في مدينة جوبلان بولاية ميسوري من الإعصار الذي ضربها في (٢٢) أيار عام (٢٠١١). وكانت الأضرار المادية في الممتلكات في عام (٢٠١١) كبيرة جدًا قاربت البليون دولار.

وفي شهري أيار وحزيران من عام (٢٠١٣) ضرب ولاية أوكلاهوما الأمريكية عدة أعاصير تورنادو، مؤدية إلى مقتل (٣٥) شخصًا، وإصابة أكثر من (١٠٠) شخص إصابات مختلفة بجانب ما أحدثته من خسائر كبيرة في الممتلكات.

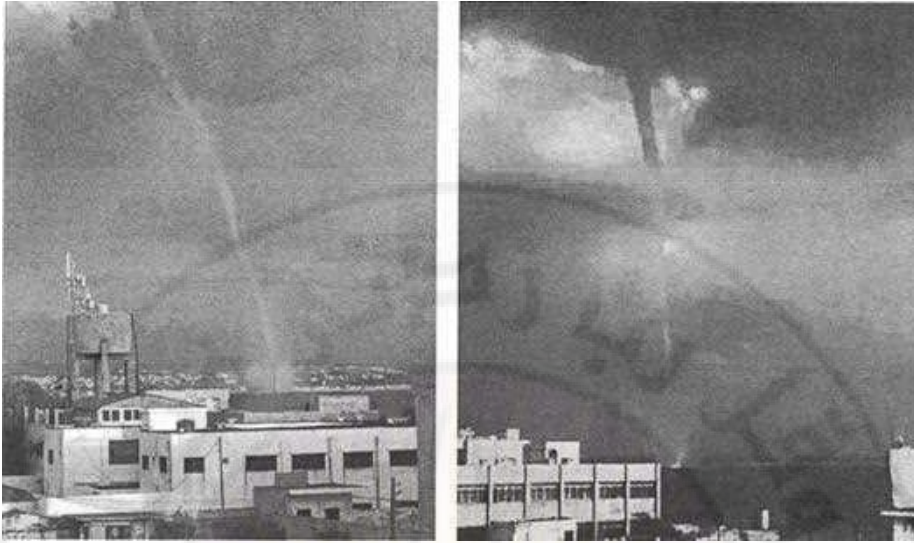
ولقد تسببت عدة أعاصير تورنادو ضربت الغرب الأوسط الأمريكي وفي الولايات المتحدة يوم (١٧) تشرين الثاني عام (٢٠٠٣) في مقتل (٥) أشخاص، وإصابة العشرات بجروح، بالإضافة إلى إلحاقها أضراراً مادية كبيرة بالمنطقة (اضطراب حركة الملاحة الجوية، وانقطاع التيار الكهربائي عن عشرات آلاف المنازل، وجرف سيارات واقتلاع أشجار وتدمير المنازل).

ونظراً لكون الأماكن المعرضة لتشكيل التورنادو، وتلك الواقعة ضد مساراتها أصبحت معروفة بنسبة عالية. بجانب معرفة فترات تشكيلها خلال السنة وتعاطفها خلال اليوم، وأنواعها، والآثار الناجمة عنها. وهذا ما مكن من عملية التنبؤ بها والحد نسبياً من مخاطرها. ولا سيما أن أعاصير التورنادو يرتبط تشكيلها بسحب العواصف الرعدية، وبخاصة سحب الركاب ذات الأثنية، التي غدا ظهورها في الجو مؤشراً على احتمالات كبيرة لفرص تشكل التورنادو.

كما أن أجهزة الراديو سوندر، والأقمار الصناعية، والطيران الاستطلاع جميعها أن تقدم معلومات كافية لتحديد درجة إمكانية حدوث التورنادو، ومراقبة حدوثه، وتطوره، ومساره. ولعبت أجهزة الرادار - وبخاصة رادار دوبلر (Doppler Rader) - دوراً كبيراً في الكشف عن التورنادو ومراقبته المستمرة، وخاصة تلك المقترنة بخطوط العواصف الجبهية. مما أصبح بالإمكان تتبع ديم التحذيرات لسكان المناطق المحتمل أن يكونوا في مساره بغية الحيلة والحد من، واتخاذ الإجراءات المناسبة لتجنب مخاطره، أو الحد منها قدر الإمكان، من خلال التعليمات التي تقدم عن طرق أساليب الوقاية التي غدت معروفة.

ويطلق على التورنادو التي تتشكل فوق المياه الشاطئية القريبة من السواحل تسميه الشواهد المائية (waterspouts)؛ وهذا ما يشاهد قريباً من سواحل فلوريدا الأمريكية، وكذلك في المياه الشاطئية السورية - التي تعرف فيها باسم التنين البحري - ومناطق أخرى. كما أن بعض التورنادو المتشكل فوق اليابس إذا ما عبر اليابس مرتحلاً فوق المياه الشاطئية، فيتخذ صورة شاهقة مائية تدعى بالشاهقة التورنادية (Tornadic Waterspouts). شكل (٧٢).

ورغم أن الشاهقة أقل عنفاً من التورنادو، إلا أنها لا تضرها للمنطقة الساحلية وتوغلها ضمن اليابس بضع كيلو مترات تحدث آثاراً تدميرية في المحاصيل الزراعية، والمنشآت المختلفة.



شكل (٧٢) شاهقتان مائيتان (ننينان بحريان) في بحر محاطة طرموس (٦ كانون الثاني عام ٢٠١٥)



الفصل الثالث

العواصف

١ - العواصف الريحية والترابية

١-١ - العواصف الريحية

١-٢ - العواصف الترابية

٢- العواصف المطرية

٣ - العواصف الثلجية والجليدية

٤ - العواصف البرية

٥ - العواصف الجبهية

تعد العواصف على مختلف أنواعها ودرجات شدتها من الظواهر الجوية ذات التأثير السلبي على البيئة الطبيعية والحيوية، لكونها تمثل عموماً انحرافاً كبيراً كمياً فوق معدلاتها المألوفة التي تكيفت ضمنها العناصر البيئية الحيوية... وسواها.

إن العاصفة مفهوم كمّي - وليس نوعياً -، يستخدم في الأصل -للتعبير عن - تجاوز الرياح سرعة محدودة (١٧ م/ثا)، ولتصل في أفصاها إلى ما دون درجة الإعصارية (٣٣،٧ م/ثا). إلا أن مفهوم العاصفة أخذ أخيراً يطلق على أي تجاوز في قيمة العناصر المناخية - معدلاتها المحسوبة لفترات زمنية محددة - ذات الصلة الكمية (الكتلية)؛ كالمطر، والثلج، والبرد، والأثرية، حتى لبات الحديث أمراً شائعاً ومتداولاً عن عاصفة مطرية وأخرى ثلجية، وبردية، وعاصفة ترابية... وحتى رعدية. ولكل نوع من تلك العواصف، مقاييس تدل عليها وعلى درجات شدتها.

ولاقترب بعض تلك العواصف بنوع ما من الاضطرابات الجوية، وهي المنخفضات الجوية الجبهية (السيكلونات) ونماذج أخرى منها، لما تترافق -الشدّة الفاعلية منها، بعواصف مطرية، أو ثلجية وبردية، وكذلك ريحية، فقد أصبح استخدام مصطلح العاصفة (Storm) مجرداً يشير إلى تلك الاضطرابات الجوية الشديدة. وتبعاً لطبيعة العاصفة، ومنطقة تشكلها ومجال تأثيرها، يميز بين أنواع عدة من العواصف:

١ - العواصف الريحية والترابية:

١-١ - العاصفة الريحية؛

هي رياح شديدة السرعة تبدأ عندها التأثيرات السلبية في المطاهر الأرضية. وقد حددت وفق مقياس بي - ورت (Beaufort wind scale) لـسرعات

الرياح، بالرياح التي تتجاوز سرعتها ١٧م/ثا)، وحتى الدرجة الإعصارية للرياح (٣٣,٧م/ثا).

وتقسم العواصف الريحية حسب شداتها التي يستدل عليها مما تحدثه م - ن آثار، إلى عدة نماذج، وفق المخطط التالي:

نموذج العاصفة	سرعة الرياح (م/ثا)	الدلائل الدالة عليها
متوسط الشدة	١٧ - ٢١	تكسير أغصان الأشجار الصغيرة
شديدة	٢١ - ٢٥	تلف بـ سيط فـ ي المبـ اني، أوـ تلاع المداخن، وأحجارها
زوبعية	٢٥ - ٢٨,٥	اقتلاع الأشجار، أضرار في المباني، والبنية التحتية من الخدمات
هوجاء	٢٨,٥ - ٣٣,٧	خسائر فادحة في الممتلكات.

وتتولد العواصف الريحية في الحالات التالية: إما في أعفـ اب مـ نخفض جوي جبهي شديد العمق والفاعلية - وفي حـ الات مـ رور عائـ لة مـ ن تـ لـ ك المنخفضات بشكل متتال - حيث يعقب الجبهة الباردة في مثل هذه الحالات رياح عاصفة باردة، هي الأكثر سيادة في العواصف الريحية. أو تحـ دث العاصـ فة الريحية في مقدمة عاصفة رعدية لهبوط سريع للهواء، وتكون محلية عمومـ اً. كما يمكن أن تحدث عواصف ريحية كبرى على مستوى إقليمي عند وجود فارق كبير في الضغط ما بين المرتفع الجوي السيبيري والمنخفض الجوي في المحيط الهندي، وذلك في نصف السنة الشتوي، ما يعرض الأجزاء الجنوبية من آسـ يا (الهند وبنغلادش) وشمال شرقي أفريقية لهبوب رياح شمالية شـ رقية عاصـ فية باردة. شكل (٧٣).

وتعد الرياح العاصفة سبباً في تشكل أمواج البحر العاتية وما ينتج عنها - من تدمير في المنشآت الساحلية. كما تؤدي الرياح العاصفة إلى تقطع خط - وط الطاقة والاتصالات وتحطيم الأشجار واقتلاعها، وتدمير المحاصيل الزراعية، وتهديم المنازل الترابية... الخ.



شكل (٧٣) ما أحدثته العواصف الريحية في (٦) كانون الثاني عام (٢٠١٥) في المنطقة الساحلية السورية، من اقتلاع وتكسر للأشجار (اللاذقية) وتحطيم وتخريب للبيوت البلاستيكية (مارطوس)

ومن النماذج عن الآثار الكارثية للعواصف الريحية، نذكر:

في اليوم الثاني من شهر تشرين الأول من عام (١٩٦٦)، اجتاحت ريـاح عاتية المناطق الساحلية في بنغلاديش، لتقتل نحو (٨٤٥) شخصاً، وتشرّد نحو (١٠٠) ألف آخرين.

٢- في يوم (٢-٣) كانون الثاني عام (١٩٧٦) اجتاحت الرياح العاصفة الشديدة غربي أوروبا، متسببة في مقتل (٦٥) شخصاً، وخسائر مادية كبيرة في الممتلكات.

٣- وفي (٢٣) شباط عام (٢٠٠٩) تعرضت غربي أوروبا إلى ريـاح عاصفية تجاوزت سرعتها (١٦٠ كم/ساعة) مؤدية إلى مقتل (٩) أشخاص، وإصابة (٣٢) بجروح. بجانب انقطاع التيار الكهربائي عن أكثر من مليون منزل، وإحداث خسائر كبيرة في الممتلكات. وقد انحصرت معظم الخسائر في الأرواح والممتلكات، في شمالي إسبانيا وغربيها، وجنوبي فرنسا وغربيها.

٤- وفي (٢٥) تموز من عام (١٩٩٥) تحركت عاصفة رعدية بسرعة تجاه الجنوب إلى ولاية نيويورك قبل أن تتشتت قوتها، عند وصولها مدينة نيويورك، متجاوزة سرعة الرياح الناتجة عنها (١٧ كم/ساعة)، متسببة في مقتل خمسة أشخاص، وسقوط واقتلاع ملايين الأشجار.

٤- في بعد ظهيرة يوم (٢) تشرين الثاني عام (٢٠٠٩) شهدت محافظة طرطوس عاصفة ريفية شديدة ترافقت مع مقدمة عاصفة رعدية عنيفة (سحب ركام مزني)، لتصل سرعة الرياح إلى (٣٠ م/ثا) محدثة أضراراً في العديد من البيوت البلاستيكية والأشجار المثمرة وغير المثمرة.

٢-١- العواصف الترابية:

هي رياح عاصفة محملة بالأتربة الغبارية (عواصف غبارية) والرمال المثارّة من التربة السطحية المفككة في المناطق الجافة ومن المسطحات الرملية

في الصحاري وأشباه الصحاري (عواصف رملية). وتؤدي عموماً إلى خفـض الرؤية إلى ما دون (١٠٠٠م). وهي تتقدم كجدار ترابي مرتفع بـسمائة نحـو (٣٠٠٠م)، وعرض عشرات بل مئات الكيلو مترات. شكل (٧٤).



شكل (٧٤) عاصفة ترابية في الرياض بالسعودية وما نتج عنها بفعل انخفاض الرؤية

وتهب عادة في النصف الصيفي من السنة (نيسان - تشرين الأول فـي نصف الكرة الشمالي). وأكثر ما تتأثر بهبوبها المناطق الجافة المجـاورة لهــا، وتبلغ أحياناً المناطق الرطبة الساحلية.

ومما تحدثه من آثار؛ ترسيبها على أوراق النباتات الخضراء معيقة عملية التمثيل اليخضوري. وإحداثها تشويه في ثمار المحاصيل الزراعيـة، بالإضـافة إلى تسببها في العديد من الأمراض، وزيادة أمراض أخرى قد تؤدي إلى الوفاة.

كما أنها مصدر للأمطار الطينية وما تسببه من انزلاقات وكوارث في وسائل النقل على الطرقات.

ومن الأمثلة عن العواصف الترابية وما ينتج عنها من مخاطر، نذكر:

١ - في الأسبوع الأول من شهر أيار عام (١٩٨٠) هبت على الأجـزاء الشرقية من ولاية أو تـربراديش الهندية عاصفة ترابية ضخمة تسببت في مقتل (١٠٠) شخص، وخسائر مادية قدرت بنحو (١,٢) مليون دولار.

٢ - وفي يوم (١٢) آب عام (٢٠٠٨) هبت عاصفة ترابية شديدة صفراء على الكوريتين، قادمة من منغوليا والصين، عملت على شل الحركة تماماً فـي ذلك اليوم. ومحدثـة خسائر كبيرة في الممتلكات، ومعرضة العديد من الأشخاص لأذيـات صحية.

٣ - وفي (٢٨) تموز عام (٢٠١٠) تسببت عاصفة ترابية فـي تحطـم طائرة مروحية عسكرية ومقتل طاقمها المكون من (٥) أشخاص بـالقرب مـن كربلاء في العراق.

وفي (٢٠) أيار عام (٢٠٠٩) تعرضت المنطقة الشرقية من سورية إلـى عاصفة ترابية قوية تمحور تأثيرها في محافظة دير الزور، انعـدمت خلالها الرؤية إلى بضعة أمتار، لتتوقف الحركة العامة، ولتؤدي إلـى انقطاع التيار الكهربائي عن معظم المدينة وريفها، وتسببت في تكسر الأشـجار واقتلاعها، وتحطم الخانات وزرائب الحيوانات المصنوعة من التوتياء والخشب في الريف، وكذلك تحطم اللوحات الإعلانية. وأدت إلى إصابة عدد من الأشخاص بكـسور وجروح ورضوض، تم إسعافهم إلى المشافي.. كما اندلعت عدة حرائق بفعـل سقوط خطوط الشبكة الكهربائية على الأرض، وتم السيطرة عليها.

وتتشكل أحياناً في المناطق الجافة السهلية ذات التراب المفككة -دوامات هوائية في معظم الأحيان (٣٠م/ثا) ترابية عنيفة بقطر صغير (١٠٠م وما دون) تدعى بالشياطين الترابية (Dust Devils) ذات حركة هوائية ودوامية حلزونية. وهي مدفوعة بحركة أفقية بسرعة تتراوح بين (٣٠-٥٠ كم/ساعة)، متبعة الأجزاء المنخفضة الأكثر حرارة التي تزيد من حالة عدم الاستقرار ونشاط حركة الصعود الهوائي ولمسافة محدودة، لأن عمرها قصير لا يتعدى بضعة دقائق، ونادراً أن تستمر لمدة ساعة. وتكون عموماً محملة بكميات كبيرة من الأتربة، وما تصادفه في طريقها، من أجسام تزن حتى بضعة كيلوغرامات. شكل (٧٥).



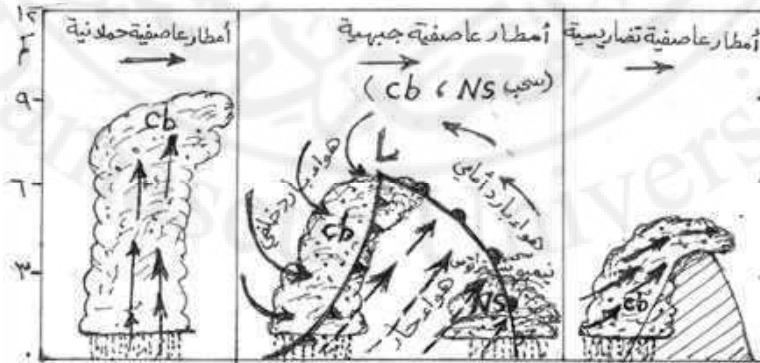
شكل (٧٥) صورة لشيطان ترابي في استراليا الغربية (٢١ أيلول عام ١٩٧٧)

٢- العواصف المطرية:

هي أمطار انهمارية تهطل على شكل وابل م- ن س- ح الركام المزدني (كومولونيمبوس) -، وفي بعض الأحيان من س- ح الم- زن الطبقة (نيمب- و ستراتوس) -، بحيث يتجاوز ما يهطل في الساعة الواحد (١٠مم)، وقد يتجاوز (١٥٠مم/ساعة)، في حين أن ما يهطل في اليوم الواحد (٢٤ ساعة فما دون) أكثر من (٥٠مم)، ليصل أحياناً في بعض المناطق إلى أكثر من (٥٠٠مم) في اليوم.

وترتبط سحب العواصف المطرية بالجبهات الباردة م- ن المنخفضات الجوية الجبهية شديدة الفاعلية. كما أنها تتشكل بفعل تيارات الحملان الشديدة في حال حدوث تسخين شديد لسطح الأرض المجال بهواء رطب. وكذلك عند عبور رياح رطبة حواجز جبلية، كما هو الحال في العواصف المطرية الموسمية المرتبطة بالرياح الموسمية في شرقي آسيا وجنوبها الشرقي. وتكاد تكون أعنف العواصف المطرية هي التي تدرها الأعاصير المدارية (الهوريك-ان)، وكذلك أعاصير التورنادو.

وتتميز سحب العواصف المطرية بالنمو السريع للقطرات المائية إلى أحجام كبيرة، تمكنها من الهطول بسرعة، وبغزارة كبيرة شكل - (٧٦) -.



شكل (٧٦) سحب العواصف المطرية (Cb, Ns)

ومن الأمثلة عن عواصف مطرية فائقة الشدة وكارثية، نذكر:

١ - العاصفة المطرية التي حدثت في مدينة بوينس أيرس بالأرجنتين - في يوم (٣١) أيار عام (١٩٨٢). والتي بلغت كمية هطولها أكثر من (٣٠٠) مم في أقل من (٢٤) ساعة.

٢- أما الإعصار المداري الذي ضرب الساحل الشمالي الشرقي من الصين فقد أغرق أكثر من (١٠٠٠م) مطراً في يوم (١١) تموز عام (١٩٨٦). في حين نتج عن إعصار موراكوت المداري الذي ضرب تايوان في (٧-٨ آب) عام (٢٠٠٩) هطولاً بلغت كميته القصوى (٢٧٧٦م) في خلال (٢٤) ساعة، وليغرق الإعصار نفسه (٧٠٠م) فوق الصين.

٣ - وفي يوم (١١) حزيران عام (٢٠٠٧) تسبب إعصار غونو المداري الذي اجتاحت سلطنة عمان في هطول نحو (٦٠٠م) خلال (٢٤) ساعة.

٤ - وفي يوم (٢٠) حزيران عام (١٩٧٧)، ضربت عاصفة مطرية طرطوس وهوامشها، أعطت هطولاً مطرياً (٧٤م) خلال نصف ساعة. وفي بلدة شطحة بالغاب هطل في أول من ست ساعات من يوم (٢٠) تشرين الثاني عام (٢٠٠٤) أكثر من (٢٣٠م).

٥ - وفي الولايات المتحدة الأمريكية، هطل خلال مدة ساعتين وخمسة وأربعين دقيقة (يوم ٣١ أيار عام ١٩٣٥) نحو (٥٥٨م) في مدينة هاينس بولاية تكساس. كما هطل خلال (٤٢) دقيقة (يوم ٢٢ حزيران عام ١٩٤٧) نحو (٣٠٥م) في بلدة هولت (Holt) بولاية ميسوري.

ويتضح من الأمثلة السابقة الذكر؛ أنه قد يهطل خلال عاصفة مطرية واحدة - في يوم أو جزء من يوم - قرابة ما يهطل في شهر أو أكثر أو سنة فأكثر - كما يحدث في المناطق الجافة وشبه الجافة، حتى المناطق الرطبة.

وتتشكل العواصف المطرية، خاصة الشديدة منها وفائقة الشدة، ومـا هــ و
أشد، إحدى المشاكل البيئية الكبرى لما لها من وجه كارثي شديد الخطورة على
الأحياء والممتلكات - حتى المظاهر الطبيعية الأرضية، الكون الغالبة العظمى
من السيول والفيضانات المدمرة في العالم تسببها العواصف المطرية.

كما تؤدي العواصف المطرية الشديدة خلال الهطول المطري، إلى تساقط
الأزهار في النباتات والأشجار، مما يترتب عليه مَدَن في الإنتاج. بجانب مـا
ترافق به من انخفاض للرؤية، مما يتسبب في العديد من حوادث التصادم بين
وسائط النقل على الطرقات، وانزلاق بعضها وتدهوره.

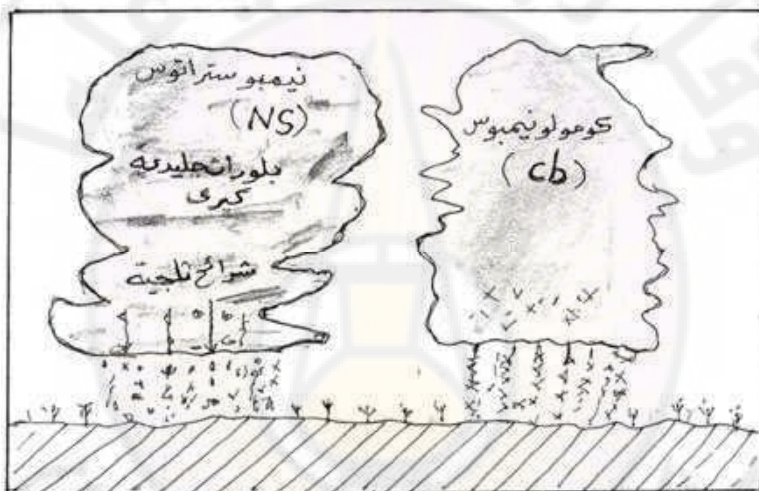
٣- العواصف الثلجية والجليدية:

العواصف الثلجية؛ هي هطولات ثلجية شديدة الغزارة، تتراكم بـ سُمُكات
كبيرة على سطح الأرض تزيد على متر خلال يوم، ولا تتدنّى عن (٥سم) فـي
أقل من ساعة.

وترتبط عموماً بالجبهات الباردة من المنخفضات الجوية الجبهة بـ سحبها
من: مزن طبقي وطبقي متوسط، إلى ركام طبقي وركام مزنـي - شكل (٧٧) - .
كما تعمل المرتفعات الجبلية على هطول ثلجي كثيف باصطدام الرياح الرطبة
الباردة وارتفاعها فوقها، بجاذب ما تقوم به المرتفعات من زيادة فـي فعالية
الجبهات الباردة، وقوة في العواصف الثلجية.

وتتمحور مخاطر العواصف الثلجية فيما تقوم به الثلوج المتراكمة مـن
توقف للأنشطة البشرية، وتعطل للمواصلات، وتقطع لخطوط نقل الطاقة
والاتصالات، وتكسر لجذوع الأشجار. بجانب ما ينتج عن التراكم الثلجي الكبير
على المنحدرات الجبلية من انهيارات ثلجية محدثة كوارث كبيرة، كما حدث في

صباح يوم الجمعة (٦ نيسان عام ٢٠١٢)، إذ تسبب الانهيار الثلجي الضخم مـن سفوح جبال سيالشين في الهيمالايا- على حدود الباكستان مع الهند فـي منطقة كشمير- في مقتل (٣٠) جندياً باكستانياً، ومحاصرة (١٥٠) آخـرين، لانهيار الثلج على معسكر للجيش الباكستاني. كما أن الثلوج المتراكمة فـي أعقاب العواصف الثلجية تشكل عاملاً مسيئاً للفيضانات المائية عند ذوبانها بارتفاع درجة الحرارة في الربيع وبدالية الصيف.



شكل (٧٧) سحب العواصف الثلجية

وكما هو معروف، فإن العاصفة الثلجية يعقبها صحو للسماء وصفيع حاد يؤذي الإنسان والحيوان والنبات، وقد يؤدي إلى حوادث وفاة كبيرة. وبمـا أن غالبية العواصف الثلجية تتقترن بالجهات الباردة، وحيث إن العديد من العواصف الثلجية يعقبها هبوب رياح شديدة السرعة- تصل أحياناً إلى أكثر مـن (٧٥) كم/ساعة-، شمالية شديدة البرودة، تعمل على تذرية الثلج بكميات كبيرة وحمله معها على هيئة عاصفية ثلجية منقولة- تدعى البليـزارد (Blizard)، ليتوضـع الثلج مترسباً بسماكة كبيرة قد تتجاوز سماكة ثلج العاصفة، بعد نقله مسافة مـا،

عند اصطدام الرياح الحاملة للثلج بعائق أرضي، أو في حال انخفاض مسـرعها إلى الحد الذي لم يجعلها قادرة على نقله لمسافة أكبر.

والعواصف الثلجية الريحية أكثر خطورة من العواصف الثلجية التهطالية، لاقترباتها بحركة شديدة، ولشدة برودة الهواء التي تكون دون التجمد.

ومن الأمثلة عن العواصف الثلجية، نذكر:

١- العاصفة الثلجية التي اجتاحت وسط وشـرق الولايات المتحدة الأمريكية في يوم (٥) شباط عام (٢٠١٠) التي تراكمت ثلوجها بسماكة (٧٦سم) متسببة في وفاة (٢٢) شخصاً، ووقوع مئات حوادث السير، وتكـسر الأشـجار واقتلاعها بالعاصفة الريحية التي أعقبتها.

٢- وفي شتاء عام (٢٠١٠) اجتاحت العواصف الثلجية الشديدة التي بلغت درجة الكارثية القارة الأوروبية متسببة في وفاة نحو (١٠٠) شخص في العديد من الدول الأوروبية (٤٧ في إيطاليا، ٢٧ في دول البلقان، ٥ في اليونان ٣١ في دول أوروبية أخرى). كما أدت إلى قطع الطرقات، وانقطاع التيار الكهربائي عن مئات ألوف المنازل، وعزل القرى الجبلية، لتقدر الخسائر المادية بنحو (١٠) بليون دولار.

٣- ولقد نتج عن العواصف الثلجية التي اجتاحت عدة مناطق في شـرق وشمال الولايات المتحدة، وكندا في يوم (٢٣) كانون الأول عام (٢٠١٣) إلـى حدوث شـلال في الحياة ووفاة (٩) أشخاص.

٤- وفي يوم (١٥) شباط عام (٢٠١٤)، أسفرت الثلـوج الكثيفة التي هطلت على العاصمة اليابانية (طوكيو) وأجزاء أخرى من البلاد، عن وفاة (١٢) شخصاً، وانقطاع الكهرباء عن مئات ألوف المنازل، وتعطل كبير بحركتي النقل البري والجوي.

ومن الأمثلة عن العواصف الثلجية الريحية (البليزارد)، تلك العاصفة التي اجتاحت في شهر كانون الثاني عام (١٩٩٩) كندا والولايات الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة (أوهايو، بنسلفانيا، فرجينيا الغربية) التي كانت تغطيها سملكات كبيرة من الثلج، متسببة في مقتل أكثر من (١٥٤) شخصاً.

وفي (٢٦) كانون الثاني عام (٢٠١٤) اجتاحت عاصفة بليزارد شـمالـي رومانيا متسببة في شلال شبه كامل للحياة الخارجية في ذلك الجـزء، وتوقف الحركة كلياً على الطرق السريعة بسبب كثافة الثلوج وتدني الرؤية.

أما **العواصف الجليدية** (Ice storms): فهي ليست بالعواصف التي تتشكل في السحب، وإنما هي من نتاج الهطولات المطرية من السحب والانخفاض الحراري الكبير لما بين قاعدة السحب وسطح الأرض ممـا يـؤدي بـالقطرات المطرية أن تتجمد، وبلوغها سطح الأرض كمطر متجمد، أو أن يتجمد بعـضها عند بلوغه سطح الأرض ذا الحرارة الأقل من التجمد بكثير. وقد تصل سـماكة المطر المتجمد إلى عدة سنتيمترات، فيسبب ثقلها أخطاراً كبيرة على خطوط نقل الطاقة والاتصالات، وانهيار بعـض المـبـازل، وإحـداث شـلال فـي حركـة المواصلات، وتجميد لبعض ثمار الفاكهة مع إلحاق أضرار فيها. شكل (٧٨) - .



شكل (٧٨) آثار عاصفة جليد

ومن الأمثلة عن العواصف الجليدية الكارثية؛ تلك التي تعرضت لها ع-د ولاية كنديا (أونتاريو، كويك، نيوفونلاند) خلال الفترة (٤-١٠) كانون الثاني عام (١٩٩٨)، حيث استمر هطول المطر المتجمد نحو (٨٠) ساعة، لتبلغ سماكته نحو (١٠٠سم)، متسبباً في انقطاع خطوط نقل الطاقة والاتصالات وتهدم أبراج الإرسال. وبقاء أكثر من (٧٠٠) ألف شخص دون كهرباء لمدة شهر. وقدرت الخسائر المادية بنحو (٢,٢) بليون دولار أمريكي.

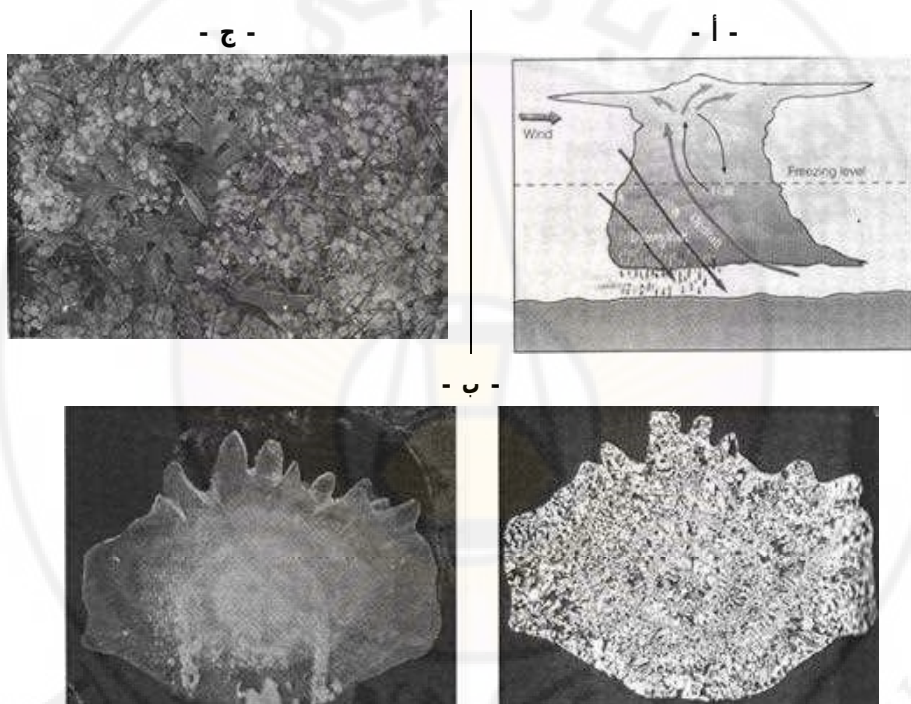
٤ - عواصف البرد (Hail Storms):

تشير عاصفة البرد؛ إلى تهطل غزير بشكل كرات صلبة غير م-ن الجليد، يتراوح قطرها ما بين (٠,٥سم) إلى (١٠سم) فأكثر، ووزنها من بضعة غرامات إلى أكثر من نصف كيلو غرام. وأكبر حبة برد سجلت في التاريخ حتى اليوم، هي م-ا سقطت في مدينة كوفيفيل (Coffayville) بجنوب شرق ولاية كانساس الأمريكية في شهر أيلول عام (١٩٧٠) حيث بلغ وزنها (٧٥٧) غرام وقطرها (١٤) سم.

والعواصف البردية هي حكر على سحب الركام المزني (cb) ذات الفعالية الجوية العالية، بما تتضمنه من حركات صعود وهبوط شديدة تتيح لحبات البرد بالنمو والتضخم، التي تكون مرافقة للجهات الباردة، ولحركات الت-صعيد (الحملان) الشديدة في الفترات الحارة من السنة، ولمناطق الرفع التضاريسي.

وتتدر عواصف البرد بين خطي عرض (١٠) شمالاً وجنوباً لدفع سحب الركام المزني وما دون قواعدها، كما تتدرخاف خطي ع-رض (٦٠) شمالاً وجنوباً لضعف حركات الصعود الهوائية. لكنها تكثر بين خطي ع-رض (٢٥-٥٠) شمالاً وجنوباً، لتوفر كل الظروف الملائمة لها.

وسقوط حبات البرد بأحجام كبيرة وبسرعة سفوط كبيرة تصل إلى أكثر من (١٦٠ كم/ساعة) في الحبات ذات الأقطار التي تتجاوز (٥سم)، تؤدي إلى نتائج كارثية، لما تقوم به من تدمير المحاصيل الزراعية، وتداخ وانهيار للمنازل الضعيفة، وتحطم لوسائل النقل ولخطوط نقل الطاقة، والاتصالات، وتؤدي إلى أضرار قاتلة للإنسان والحيوان إذا ما خضع لضرباتها المباشرة. شكل (٧٩).



شكل (٧٩) أ- عاصفة برد ب- نماذج من أحجام حبات البرد
ج- صورة لتراكم البرد على أوراق الأشجار وأغصانها

ويتعرض العالم سنوياً إلى أكثر من (١٠,٠٠٠) عاصفة برد، ينجم عنها كوارث كبرى في الممتلكات - بقيمة أكثر من (٥) بلايين دولار - والأرواح (مقتل أكثر من ٢٠٠ شخصاً، وإصابة العديدين). ومن الأمثلة على عواصف البرد الكارثية نذكر:

١- العاصفة التي ضربت مدينة كلجاري الكندية وما حولها - في (٢٨) تموز عام (١٩٨١)، محدثة خسائر في الممتلكات قدرت بنحو (٨٥) مليون دولار أمريكي.

٢- العاصفة التي تعرضت لها مقاطعة غوبا لغانج في بنغلادش (يوم ١٤ نيسان عام ١٩٨٦)، ونجم عنها مقتل (٩٢) شخصاً، وخسائر مادية كبيرة.

٣- العاصفة التي ضربت مدينة دنفر الأمريكية الواقعة في الجزء الشمالي الأوسط من ولاية كولورادو، في (١١) تموز عام (١٩٩٠)، محدثة خسائر في الممتلكات بقيمة (٦٢٥) مليون دولار.

٤- وفي يوم (١٤) نيسان عام (١٩٩٩) استمرت عاصفة بـ ردت - ضرب مدينة سدني في مقاطعة نيوساوث ويلز بأستراليا لمدة (٤٥) دقيقة، وصل حجم حبات البرد إلى حجم ثمار الكريفون منتشرة على مساحة نحو (٢٥٠٠-٢م)، محدثة أضراراً وتدميراً في أكثر من (٣٠) ألف منزلاً، وإصابة نحو (٤٠) ألف سيارة بأضرار كبيرة لتبلغ إجمالي الخسائر أكثر من (٦٦٧) مليون دولار.

٥- العواصف الجبهية (wave cyclones):

المقصود بالعواصف الجبهية المنخفضات الجوية الجبهية، التي يقترن بها حدوث عواصف متنوعة (مطرية، ثلجية، بردية، ريحية، رعدية)، والتي في أغلبها لا تتجاوز سرعة الرياح المرافقة لها الحدود القصوى للعاصفة - وفق سلم بيفورت -، وإن كان نحو (٥٠%) منها تبلغ سرعة الرياح - الهابة - في م - وخرة الجبهة الباردة - فيها الدرجة الإعصارية، مما يجعل بالإمكان إدراجها - ض - من الأعاصير، ليس فقط للرياح الإعصارية المرافقة، وإنما أيضاً لما يحدثه بعضها من هطولات تقارب في كميتها ما تعطيه الأعاصير المدارية.

إلا أن الاختلافات الكبيرة بين المنخفضات الجوية الجبهية والأعاصير المدارية - حتى التورنادو - في: البنية والتركيب وآلية التشكل، والطاقة المولدة لكل منها، والتطور، ومجال التأثير، والنواتج عنهما، تجعل من الأفضل في سياق دراسة العواصف إدراجها ضمن موضوع العواصف وليس ضمن الأعاصير.

وعموماً، فإن العواصف الجبهية تتشكل في العروض الوسطى من نصف الكرة - فيما بين خطي عرض (٣٠ - ٦٠) شمالاً وجنوباً، مع هامش تأثير خارجهما بحدود خمس درجات - نتيجة للتصادم بين الكتلتين الهوائيتين القطبية والمدارية (شبه المدارية). وتتخذ تلك العواصف شكل تموجات تزداد كبراً (طولاً وعمقاً) مع تقدمها عمراً - وهي تمر بمراحل الشباب والنضج والكهولة (الامتلاء) -، مدفوعة بحركة الجو العامة السطحية الغربية، بسرعة وسطية تتراوح بين (٥٠ كم/س - ١٠٠ كم/س) -، و (٣٠ كم/ساعة) صيفاً. بعمر وسطي لها نحو ثلاثة أيام.

وتبلغ العواصف الجبهية أقصى درجات فعاليتها عندما تكون في مرحلة النضج، مكونة عندها من خمسة قطاعات (هواء بارد في المقدمة، جبهة حارة، قطاع هواء حار، جبهة باردة، هواء بارد خلفي في المؤخرة) متواصلة. وعنصر الفاعلية الجوية فيها تكمن في الجبهتين الحارة والباردة - ش - كل (٨٠) - . إلا أن الجبهة الباردة هي الأكثر فعالية واضطراباً في طقسها، لكون انحدارها أكبر من الجبهة الحارة. ومن سمات الجبهة الباردة الطقس العاصف. والجو دول التـالي (١٧) يبين أنماط الطقس المرافقة لمرور منخفض جوي جبهي (عاصفة جبهية).

العنصر	في المقدمة	أثناء مرور الجبهة	في المؤخرة
الجبهة الحارة	متناقص	توقف التناقص	تغير طفيف
الرياح	تراجع وتزايد	تقدم وتناقص	ثابتة

درجة الحرارة	ثبات أو ارتفاع بطيء	ارتفاع بطيء	تغير طفيف
الرطوبة النسبية	تزايد تدريجي	ارتفاع سريع	تغير طفيف
السحب	سمحاق، سمحاق - ي، طبقة - ي، متوس - ط، م - زن طبقي، بشكل متتابع	طبقة (ستراتوس)	طبقة، وركام طبقي
الطقس	أمطار مسمرة (أو ثلج في الشتاء)	توقف التهطال تقريباً	أحوال جيدة، أو متقطعة
الرؤية	جيدة ما عدا فترة هطول الأمطار	ضعيفة، نتيجة - شكل - - شايورة وال - سحب المنخفضة	ع - ادة ضد - عيفة بفع - ل - - سحب المنخفض - - ضة والشايورة أو الضباب
الجبهة الباردة	متناوِص	ارتفاع مفاجيء	ارتفاع بطيء باستمرار
الرياح	تراجع وتزايد	ارتفاع مفاجيء	تغير طفيف
درجة الحرارة	ثبات، أو انخفاض طفيف	انخفاض مفاجيء	تغير طفيف
الرطوبة النسبية	لا يوجد تغير كبير	انخفاض مفاجيء	انخفاض تدريجي
السحب	رك - ام متوس - ط وطبقي متوس - ط، يليه سحب الركام المزني.	ركام مزني ركام مج - زأ أو مزن طبقي منخفض	انقشاع سريع، غير أن - ه من الممكن أن تتط - ور بعض س - حب الرك - ام والركام المزني
الطقس	بعض الأمطار مع احتم - ال ج - دوث رعد	أمطار غزيرة، بالإضافة إلى إمكانية سقوط ال - ثلج والبرد، وحدوث الر - د	أمطار غزيرة لفة - رة قصيرة

	والبرق.		
الرؤية	ضعيفة (ج-دوث بعض الضباب)	رديئة جداً وقتياً، لتأخذ في التحسن سريعاً	جيدة جداً



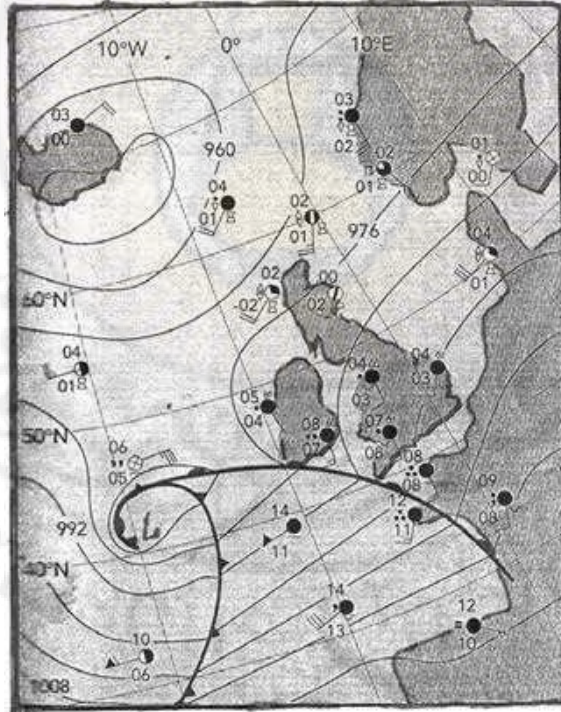
شكل (٨٠) بنية منخفض جوي جبهتي

وكما ذكرنا سابقاً، فإن كارثية بعض المنخفضات الجوية الجبهية تستمد من شدة عمقها الذي يدل عليه الانخفاض الضغطي السريع في مركزها الذي يتجاوز (٢٥) مليار في نحو ساعة، حيث يمكن أن تصل قيمة الضغط في بعض المنخفضات إلى نحو (٩٥٠) مليار.

ومن الأمثلة عن العواصف الجبهية الكارثية، بما ينجم عنها من عواصف متنوعة (مطرية، ثلجية، ريحية.. إلخ) نذكر منها:

١ - في (١) شباط عام (١٩٥٣) عبر منخفض جوي جبهي عميق شـمال غربي أوروبا، مسفرة أمطاره الانهيارية ورياحه الإعصارية عن مقتـل (٣٠٧) أشخاص في بريطانيا وتدمير (٢٤) ألف منزل. بالإضافة إلى خسائر جسيمة في الأرواح والممتلكات في هولندا، بما ترافق به المنخفض مـن جيـشان مـوجي بحري.

٢ - العاصفة الجبهية التي ضربت بريطانيا في ليل (٢٥) كانون الثاني عام (١٩٩٠) والتي عرفت بعاصفة اليوم المشتعل (Burn's Day Storm)، التي ذهب ضحيتها (٤٧) شخصاً، وتم تدمير أكثر من (٣) ملايين شجرة، لما ترافقت به من أمطار انهيارية ورياح إعصارية. شكل (٨١).



شكل (٨١) عاصفة اليوم المشتعل

منخفض جوي جبهي ضرب شمال غربي أوروبا في (٢٥) كانون الثاني عام (١٩٩٠)

كما تسببت العاصفة في مقتل نحو (٤٣) شخصاً في دول أخرى (هولندا، بلجيكا، الدنمارك...) وخسائر مادية بلغت نحو (٦,٨) بليون دولار.

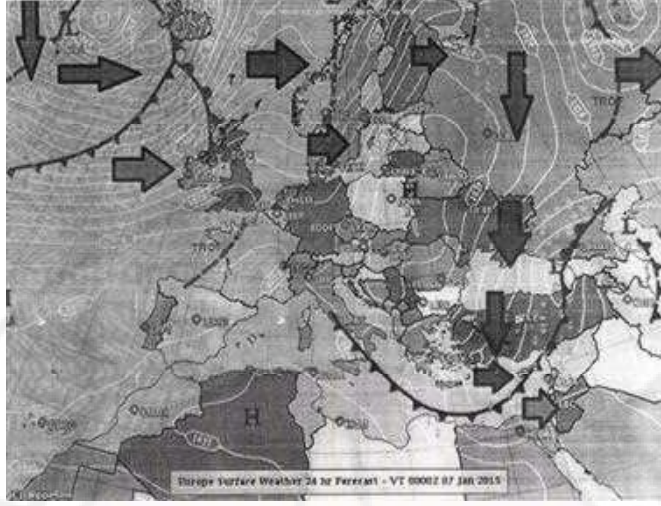
وكان شهر شباط في غربي أوروبا وأواسطها عاصفاً، حيث تأثرت بسبعة منخفضات جوية جبهية عاصفية، أودت بحياة نحو (١٧٠) شخـصاً، وخـسائر مادية قاربت (٧,٦) بليون دولار، وذلك من جراء الفيضانات والثلوج والرياح العاصفة والأمواج البحرية العاتية.

٣- المنخفض الجبهي الذي ضرب شمال غربي الجزائر، وشمال شـرقـي المغرب خلال الفترة (٢٢-٢٥) تشرين الثاني عام (٢٠٠٤) محدثة أمطاره الانهيارية سيولاً وفيضانات مدمرة قتلت (٢٨) شخـصاً، وشـردت (٤٠٠) آخرين، وأغرقت (١٠١٥٠٠) هكتاراً من الأراضي الزراعية.

٤- ما تعرضت إليه أواسط اليونان وشمالها الشرقي من أمطار شديدة الغزارة تجاوزت (١٥٠مم) في يوم (١٨) تشرين الثاني عام (٢٠٠٧) التي أغدقها منخفض جبهي شديد الفاعلية، محدثة سيولها وفيضاناتها تدميراً كبيراً في الممتلكات، ومقتل شخص واحد.

٥- المنخفضات الجبهية العاصفية التي عبرت منطقة شرقي البحر المتوسط (سورية ولبنان وفلسطين والأردن) في شهري كانون الثاني وشباط عام (٢٠١٥)، والتي أطلق عليها تسميات محلية، تمثلت في ثلاثة منخفضات جبهية ذلك فعالية كبيرة إلى متوسطة، ترافقت بعواصف ثلجية وريحية ومطرية... وهي:

١- عاصفة زينة: وهي ما عرفت بها العاصفة الثلجية التي أنتجتها الجبهة الباردة من المنخفض الجوي الجبهية برياحه الشمالية- الشمالية الغربية القطبية، الذي ضرب المنطقة في يومي (٦-٧ كانون الثاني) - شكل (٨٢)، والذي أعقبه منخفض آخر في ليل السبت ويوم الأحد (١٠-١١ كانون الثاني).



شكل (٨٢) خريطة طقس ليوم (٧) كانون الثاني (٢٠١٥) يظهر فيها المنخفض الجبهي المثلج (زينا) عند ساحل المتوسط الشرقي

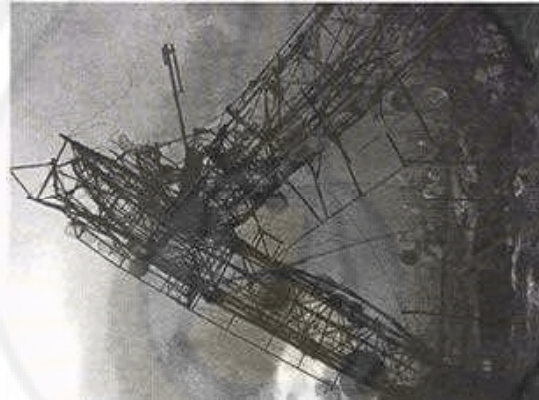
ولقد أسفرت العاصفة زينة عن هطولات ثلجية غزيرة بلغت سماكتها في دمشق نحو (٢٠سم)، وفي المناطق الجبلية قاربت من المتر وتجاوزته في بعضها. كما أعقب الجبهات الباردة من المنخفضات الجبهية وخاصة المنخفض الذي سبق زينة مباشرة (٥-٦ كانون الثاني) هبوب رياح شديدة السرعة (أكثر من ٧٠ كم/ساعة في المنطقة الساحلية). بجانب هطول أمطار غزيرة في المنطقة الساحلية. وحدوث انخفاض حراري كبير إلى ما دون درجة التجمد في أعقاب العاصفة الثلجية في المناطق الجبلية والداخلية.

وكانت هذه العاصفة الجبهية أكثر عنفاً وفعالية وتأثير من العاصفة الجبهية (أليكسا) التي ضربت منطقة شرقي بحر المتوسط حتى شمال مالي مصر خلال (١١-١٤ كانون الأول من عام ٢٠١٣).

ومما ترتب عن العواصف الثلجية والريحية والمطرية التي أنتجتها المنخفضات الجبهية سابقة الذكر - وخاصة زينة - : شكل (٨٣).



شكل (١٨٣- أ) اجتياح السيول للبيوت البلاستيكية في قرية حريصون شرق مدينة بانياس



شكل (١٨٣- ب) الأضرار التي لحقت بأعمدة التوتر والكهرباء بسبب العاصفة في طرموس



شكل (١٨٣- ج) صورة لحبات البرد التي سقطت في قرى صافيتا والتي بلغ قطر بعضها (١- ٢سم)

أ- تكسر أفرع الأشجار بسبب تراكم الثلوج والرياح - واقتلاع بعـضها-
بفعل الرياح العاصفة - . وسقوط الثمار (الحمضيات) بنسبة كبيرة بسبب الريح-اح
في المنطقة الساحلية.

ب- إغلاق الموانئ البحرية في دول شرقي المتوسط- ط ب-سبب الريح-اح
العاصفة والموج البحري.

ج- - تدمير وتضرر نحو (٣٧) ألف بيت بلاستيكي للزراعات المحمية-ة
في محافظتي اللاذقية وطرطوس.

د- انقطاع في التيار الكهربائي لفترة من الزمن، بسبب أعطال في خطوط
نقله، وللضغط على الاستمرار.

هـ- - توقف حركة النقل في الأجزاء الغربية الجبلية من سـ وريـة، ودول
المتوسط الأخرى، بسبب تراكم الثلوج، والتجدد على الطرقات لعدة أيام (٧-١١)
كانون الثاني.

و- توقف امتحانات الجامعات والمدارس بسبب الثلوج والتجدد لعدة أيام-ام
(٧-١٣) كانون الثاني.

ز- وفاة نحو (١٤) شخصاً، معظمهم من الأطفال-ال فـي لـبـنـان والأردن
وقطاع غزة. وإصابة المئات بأذى بسبب ترحلقهم على الطرقات المتجادة. فـي
دمشق تم إسعاف أكثر من (٢٠٠) شخص إلى المستشفيات لإصـابـتهم بـكـسـور
ورضوض في الأرجل والأيدي... وغير ذلك.

ح- تغريق مساحة كبيرة من الأرض الزراعية في السهل الساحلي مـن
محافظة اللاذقية، وتضرر المحاصيل الزراعية المزروعة بشكل كبير.

ولقد قدرت إجمالي الخسائر المادية في عموم المناطق التي تأثرت بالعاصفة
زينة بنحو بليون دولار، كان نصيب سورية نحو (٣٠٠) مليون دولار.

٢- عاصفة يوهان: وهي عاصفة مطرية أكثر منها ثلجية، تولدت من منخفض جوي جبهي متوسط الفاعلية عبر منطقة شرقي المتوسط - ط - خ - لال الفترة (١٠-١٢) شباط، نتج عنه هطولات مطرية غزيرة تجاوزت (١٠٠م - م) في بقاع عدة من المنطقة الساحلية وهطولات ثلجية خفيفة فوق المرتفعات. ومما أسفر عنه حدوث انزلاقات للترب في بعض الأجزاء الجبلية الساحلية.

٣- عاصفة ويندي: وهي من صورها الإعلام اللبني، قبل بلوغها بالكارثية، دون أن تكون ذلك. ولقد وصلت طلائع المنخفض الجبهي - الت - ي أطلقت تسميتها عليه - صباح يوم الخميس (١٩/٢)، وتبلغ الجبهة الباردة المنطقة مساء ذلك اليوم، مع بداية هطول الثلج عند مرورها فوق المرتفعات التي تجاوزت (٥٠٠م) بدءاً من الجبال الساحلية في سورية ولبنان... إلخ، حتى المنطقة الداخلية التي كان هطولها مطرياً في معظمه في المناطق ذات الارتفاع دون (٧٠٠م). وبدأ هطول الثلج في مدينة دمشق الساعة الثانية عشرة ليلاً مستمراً لمدة نحو ساعتين، لتبلغ سماكته في دمشق (٢-٣سم - م)، وفي الجبال الغربية نحو (١٠-٢٠سم) وليصل في الجبال اللبنانية إلى أكثر من (٥٠سم - م). وما إن أطلّ صباح يوم الجمعة (٢٠/٢) حتى اتجه نحو الاستقرار والصحو في معظم فترات النهار مع سطوع للشمس في معظم الأحيان. ولقد نتج عن الهطول الثلجي تعطل في حركة النقل على الطرق الجبلية في سورية ولبنان.... كما أعلنت لبنان تعطيل الدوام في المدارس ليومي الجمعة والسبت.

الفصل الرابع

الصاعقة وآثارها

- ١ - آلية تشكل سحب العواصف الرعدية
- ٢ - بنية العاصفة الرعدية
- ٣ - كهربائية سحب العواصف الرعدية
- ٤ - آلية الصاعقة
- ٥ - آثار الصاعقة:
 - ٥-١ - آثارها المباشرة على الإنسان
 - ٥-٢ - حرائق الغابات
- ٦ - الوقاية من الصاعقة وطرق مكافحتها والحد من مخاطرها
 - ٦-١ - الوقاية من الصاعقة
 - ٦-٢ - مكافحة الصاعقة
 - ٦-٣ - التحكم في الصاعقة
 - ٦-٤ - التخفيف من آثارها

ما من أحد إلا وبات يعرف تلك السحب التي يجلجل فيها الرعد، ويومض البرق، وتسقط منها الصاعقة. وهي من المظاهر الجوية، التي بمظهرها الأشبه بالجبال الشامخة وبلونها الداكن، وبالتشويش في قواعدها وأطرافها، مما يثير الرعب في النفوس، والخوف مما لها أن تفعله. إذ إن الصاعقة تكاد تكون حكرًا على وجود سحب العواصف الرعدية، التي بدونها لا يمكن أن تحدث الصاعقة. الصاعقة هي بمثابة تفريغ كهربائي ما بين قاعدة السحابة الرعدية ذات الشحنات السالبة والبروزات من سطح الأرض ذات الشحنات الموجبة. وعليه لا بد من معرفة آلية تشكل سحب العواصف الرعدية وبنيتها وتركيبها.

١ - آلية تشكل سحب العواصف الرعدية:

تتمثل سحب العواصف الرعدية، بسحب الركام المزني (كومولونيمبوس) فقط، لما تتصف به من نمو رأسي كبير، وفعالية كهربائية شديدة. فهي إن دلت فإنها تدل على حالة اضطراب عنيفة في الجو، وعدم استقرار شديد في أعماق كبيرة من الجو، وتوفر رطوبة عالية. وإذا لا بد لتشكل سحب العواصف الرعدية من وجود قوة رفع شديدة للهواء الرطب، وهذه القوة يمكن أن تتوفر في ثلاث حالات هي:

١-١ - وجود تسخين حراري شديد لبعض بقع سطح الأرض (التسخين البقعي المحلي) شكل (٨٤) - ، الذي يؤدي إلى تولد حركة هواء نشطة للأعلى، قد تصل إلى سقف طبقة التروبوسفير. وتكون سحب العواصف الرعدية الناتجة عن هذه الآلية محدودة الامتداد الأفقي (دون ٢ كم) قياساً بامتدادها الشاقولي الذي يصل إلى التروبوبوز (المنطقة الفاصلة بين طبقتي التروبوسفير

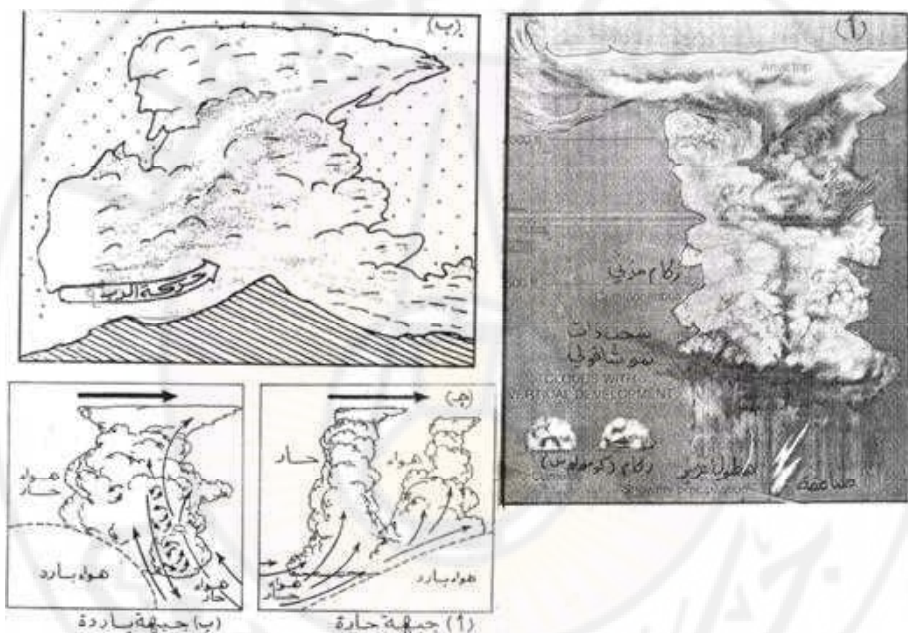
والستراتوسفير، أو كما تعرف بسقف التروبوسفير). وتعرف سحب العواصف الرعدية الناتجة بهذه الآلية باسم عواصف رعد. الكتل الهوائية، لكونها تتشكل ضمن كتلة هوائية واحدة. وتتشكل مثل هذه السحب عادة بعد الظهر، وفي نصف السنة الصيفي من العروض المعتدلة، وفي العروض المنخفضة، بخاصة المناطق المجاورة لخط الاستواء. وتتخذ مثل هذه السحب شكل خلايا منعزلة (Single Cell). شكل (٨٤-أ).

١-٢- وجود قوة رفع ميكانيكية (تضاريسية)؛ إذ إن اعتراض حاجز تضاريسي (جبال، تلال) لكتلة هوائية غير مستقرة حملانياً أو شرطياً^(*) يؤدي بها إلى الصعود بسرعة لتتشكل من جراء ذلك سحب الركام المزني، ويمكن أن تقوي عملية التسخين الشمسي من قوة الرفع الهوائية. وتبدو سحب العواصف الرعدية التضاريسية منتظمة في شكل حزم - أو بشكل خطي - وفي اتجاه الرياح عند المستويات المنخفضة - شكل (٨٤-ب) -، وإذا تعرف بالعواصف الرعدية الخطية، التي تشبه العواصف الرعدية الحملانية - السابقة الذكر - لكون حدوثهما ينتشر بكثرة في العروض الوسطى والمنخفضة، وعادة في فترة بعد الظهر وتنتظم تلك السحب بشكل عـدة خلايا متواصلة (Multicell Cluster)، كل مجموعة منها تبدو على هيئة خط من العواصف.

١-٣- قوة الرفع الجبهية؛ وتتمثل هذه القوة على طول الجبهات الهوائية وخاصة الجبهات الباردة - شكل (٨٤-ج) - ويحدث ذلك عندما يصعد الهواء غير المستقر حملانياً أو شرطياً تحت تأثير قوة صعود حركية (ديناميكية) مـن

(*) يكون الهواء في حالة عدم استقرار شرطي؛ عندما يكون معدل تناقص حرارة الوسط أقل من المعدل الذاتي (الأديباتي) الجاف، لكنه أكبر من المعدل الذاتي الرطب. ويكون عدم الاستقرار هذا مشروطاً برطوبة الهواء.

خلال اندساس الهواء الأبرد والأكثر كثافة تحت الهواء الأحرفي مقدمته، رافعاً إياه بقوة نحو الأعلى؛ متشكلة بذلك سحب الركام وم - ن ث - م الركام المزم - ي، وتعرف العواصف الرعدية الناتجة من هذه الآلية باسم العواصف الرعدية الجبهية، التي تتخذ بصورة عامة في انتشارها امتداداً خطياً متواصلاً، بعرض يتراوح بين (٢٠ - ١٠٠ كم)، وطول يصل إلى عدة مئات من الكيلومترات.



شكل (٨٤) آليات نشكل سحب العواصف الرعدية
(أ) - آلية حرارية، (ب) - آلية تضاريسية، (ج) - آلية جبهية

ويستمر طرد (حزمة) الهواء الرطب المرتفع - بفعل إحدى القوى الثلاث السابقة - بالتصاعد نحو الأعلى ما دام معدل تناقص حرارته أقل من معدل تناقص حرارة الوسط المحيط به؛ أي ما دام طرد الهواء الصاعد أدفأ من هواء الوسط المحيط به، الذي يستمر أحياناً حتى نهاية طبقة التروبوسفير (أي حتى ارتفاع ١٢ كم وسطياً).

١-٤ - الأعاصير المدارية وأعاصير التورنادو؛ باعتبار سحب الركام المزني تشكّل البنّان الرئيسي في تلك الأعاصير، وهي سحب الصاعقة.

وبصورة عامّة، فإن سحب العواصف الرعدية يمكن أن تأخذ بالتشكّل من مستوى قريب جداً من سطح الأرض (٥٠٠ - ١٠٠٠ م). وفي مستوى الثلاثة كيلومترات الأولى القريبة من سطح الأرض، فإن سرعة حركة هواء السحب المتصاعد تكون دون (٥ م/ثا)، حيث تتزايد سرعته مع الارتفاع لتبلغ ما يقارب (٢٠ - ٢٥ م/ثا) في الأجزاء الوسطى (بين سوية ٣ - ٨ كم) تقريباً، ولتتناقص في الأجزاء العليا إلى حدود سرعة الأجزاء الدنيا من السحب.

ويجب أن لا تقل نقطة ندى الهواء الرطب المرتفع عن (١٠°م)، حيث تنشط عملية التكاثف، وتحرر كميات كبيرة من الطاقة تمنح السحابة الأولية قوة صعود إضافية ليزداد نموها الشاقولي ولتكتسب السحابة الركامية المزنية العاصفية الرعدية.

وإذا كان لا بد لتشكّل سحابة العاصفة الرعدية من توفر هواء حار رطب وغير مستقر، فإنه من الضروري أيضاً أن تكون سماكة السحابة كبيرة بما ينسجم مع مستوى التكاثف (قاعدة السحابة) ومستوى التجمد، بحيث لا تقل السماكة عن (٣٠٠٠ م). وهذا مؤشّر على أهمية حرارة التكاثف في نمو السحابة وفي فعاليتها.

٢ - بنية العاصفة الرعدية:

يمكننا تحديد بنية سحابة عاصفة رعدية في العروض الوسطى وغيرها من العروض التي تتشكّل فيها، بالآتي - شكل (٨٥-أ):

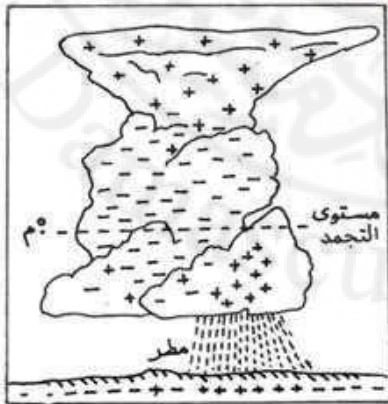
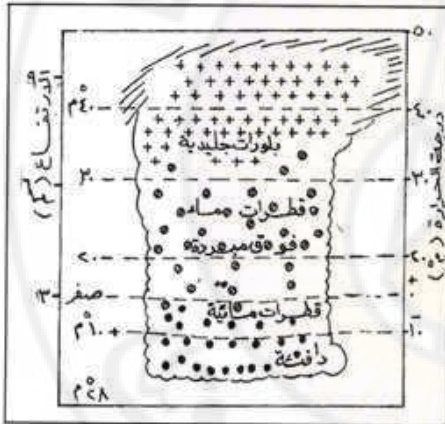
١ - قطرات مائية دافئة في الجزء الأسفل من السحابة الـذي درجة حرارته فوق درجة الصفر المئوي.

٢ - قطرات مائية سائلة فوق مبردة (غير متجمدة) في الجـ زء الأوسط - السفلي الذي درجة حرارته بين الصفر المئوي و(-٢٥°م).

٣ - خليط من قطرات مائية فوق مبردة وبلورات جليدية - في الجـ زء الأوسط العلوي الذي درجة حرارته بين (-٢٥°م) و(-٤٠°م).

٤ - بلورات جليدية في الجـ زء العا - وي الذي درجة حرارته دون (-٤٠°م).

٣ - كهربائية سحب العواصف الرعدية:



توزع الشحنات الكهربائية - في سحابة رعدية، كـ الآتي - شكل (٨٥-ب) :-

١ - الجزء العلوي المكون من بلورات جليدية؛ فهو ذو شحنات موجبة.

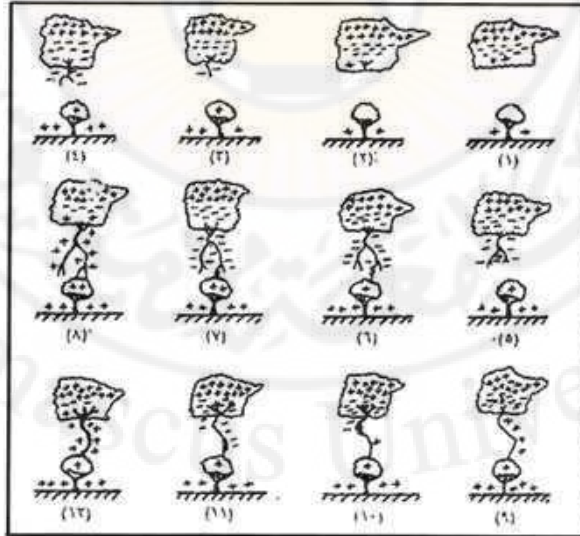
٢ - الجزء الأوسط من السحابة المكون معظمه من قطرات مائية فوق مبردة، فشحناته سالبة، مع اختلاط للشحنات السالبة مع الموجبة - في القسم الأعلى من هذا الجزء نظراً لاحتوائه على قطرات ماء فوق مبردة ذات شحنات سالبة وبلورات جليدية موجبة الشحنة.

شكل (٨٥) بنية سحابة عاصفة رعدية (أ) وتوزع الشحنات الكهربائية فيها (ب)

٣ - الجزء السفلي من السحابة، ذو الشحنات السالبة، بخاصة في مناطق التيارات الهوائية الصاعدة الغالبة مع تركيز بقعي لشحنات موجبة وفي الجانب الآخر السفلي الأمامي من السحابة الذي تسوده تيارات هابطة.

٤ - أما سطح الأرض فهو ذو شحنات سالبة، ما عدا مناطق البـروزات منه التي تسودها شحنات موجبة عند مرور فوقها سحابة العاصفة الرعدية. وهذا ما سنوضحه لاحقاً.

إن التوزيع المعروف للشحنات الكهربائية في السحابة، له انعكاس على شحنة الأرض التي دونها؛ إذ إنه من جراء حركة هذه السحب فوق سطح الأرض المشحونة سلبياً، تثير فيها تحريضاً كهربائياً، فيما يعرف بمفعول المكثفة الكهربائية، مكسبة مناطق من سطح الأرض التي تحتها شحنة إيجابية. ويكـون التركيب الأعظمي للشحنات الموجبة في مواضع البروزات الأرضية؛ كالأشجار، والمسالك المنفردة، والتلال، ورؤوس الجبال، ومناعات الصواعق... إلخ. شكل (٨٦).



شكل (٨٦) آلية تشكل الشحنات الأرضية الموجبة بفعل التحريض السحابي

ع - آلية الصاعقة:

تمثل الصاعقة تفريغاً كهربائياً يتم به - بين قاعدة السحابة الرعدية ذات الشحنات السالبة، ومناطق من سطح الأرض ذات شحنات موجبة. فعندما يصل فارق الجهد الكهربائي بين قاعدة السحابة وسطح الأرض إلى - نحو (١٠٠٠ فولط / سم) يحدث التفريغ، منطلقة الإلكترونات عبر قناة (مجرى) تجاه - سطح الأرض. وتتخذ تلك القناة - كما في البرق - شكل قفزات أو درجات، متحركة الإلكترونات نحو الأرض بسرعة تبلغ نحو (١٠٠٠٠ كم/ثا). وبعد أن تتجه -از نحو (١٠٠) متر تتوقف فجأة لنحو (٥٠) ميكرو ثانية، لتقفز بعدها قفزة أخرى لمئة متر أخرى، وليس بالضرورة في الاتجاه الأول نفسه، وإنما يمكن أن تحيد عنه يساراً أو يميناً، ولتقف بعدها أيضاً نحو (٥٠) ميكرو ثانية، وهكذا سلسلة من القفزات (الدرجات) والوقفات، إلى أن يقترب رأس قناة التفريغ - من - سطح الأرض، لتتخذ بذلك قناة التفريغ شكل خط متكسر. ويطلق على هذه القناة اسم القائد (Leader) أو القائد المتدرج (Stepped - Leader)، باعتبار أن القناة تتخذ شكل درجات. شكل (٨٧-أ).

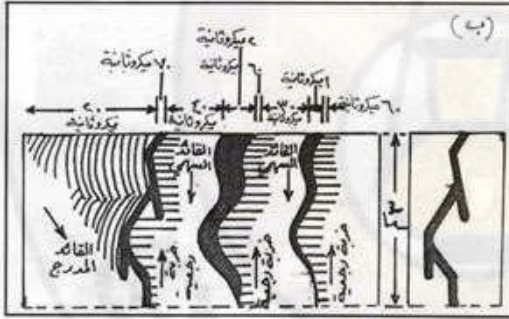
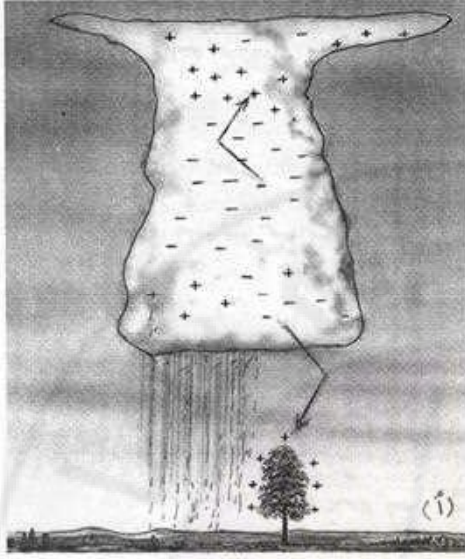
وإذا كانت المسافة بين قاعدة السحابة سلبية الشحنة وسطح الأرض نحو (١ كم)، فإن القائد سيستغرق نحو (١٠ - ٢٠) ميغا ثانية لبلوغ سطح الأرض. وستصبح عندها قاعدة السحابة موصولة بالأرض بقناة البلازما النافذة جيدة للتيار الكهربائي، وهذه هي المرحلة الأولى من ضربة التيار الكهربائي. أما المرحلة الثانية فتتم بسرعة أكثر وشدة أكبر؛ حيث يندفع التيار الرئيسي عبر القناة، مستمرة النبضة نحو (١, ٠) ميغا ثانية، وتصل شدة التيار إلى نحو (١٠٠,٠٠٠) أمبير، متحررة كمية كبيرة من الطاقة تصل إلى نحو (١٠) جول، مؤدية إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء عبر القناة إلى نحو (١٠٠٠ -

٢٠٠٠م)، متولداً من ذلك وهج شديد مترافق بضوء براق هو ما يلاحظ عند تفريغ البرق، وتمدد فجائي حاد في الغاز المتسخن محثاً الـدوي الصوتي المعروف بالرعء.

ولقد بات جلياً، أن تسخن قناة التفريغ يزداد بالانتجـاهـ من الأرض إلى الأعلى. فما إن تشكل القناة ببلوغ رأسها الأرض. حتى تندفع نحو الأسفل قبل كل شيء الإلكترونات التي كانت في قسمها السفلي. ولذلك فإن القسم السفلي من القناة هو أول من يبدأ بالتسخن والإشعاع. ثم تندفع نحو الأرض الإلكترونات من القسم التالي الأعلى من الأول من القناة، ويبدأ تسخن هذا القسم وإشعاعه، وهكذا بالتدريج من الأسفل إلى الأعلى تنضوي في الحركة نحو الأرض إلكترونات جديدة وجديدة. والنتيجة أن تسخن القناة وإشعاعها من أسفل إلى أعلى.

وبعد مرور نبضة التيار الأساسي تحل فترة توقف تستمر (١٠ - ٥٠) ميغا ثانية، وخلال هذه الفترة تنطفئ القناة عملياً وتنخفض حرارتها إلى نحو (١٠٠٠م)، ويطرأ انخفاض جوهري على كهربية (أيونية) القناة. ولكن تبقى في السحابة شحنة كبيرة، ومن ثم فإن قائداً جديداً يندفع منها نحو الأرض مجهزة الطريق لنبضة تيار جديدة. ويسير القائد الجديد عبر الطريق الذي شقه القائد الأولي، فثمة أيونات كثيرة أمامه، حيث يقطع الطريق كله من الأعلى إلى الأسفل دون توقف خلال نحو (١) ميغا ثانية.

ولم يعد يسمى بالقائد المدرج، بل القائد الـسهامي (Dart Leader). ومن جديد تأتي دفقة قوية من التيار الأساسي، تنتشر عبر القناة المحددة من تحت إلى فوق لتتصل مع الدفقة النازلة، وتغلق بذلك الدارة الكهربائية، وتبدأ عند ذلك الضربة الراجعة. وبعد فترة توقف أخرى تبلغ نحو عشرات الميلي ثواني يتكرر



كل شيء. وبالنتيجة إشعاع ع- دة نبضات قوية نذكرها نحن كتفريغ موجد للـ صاعقة، كلمـ عـ سـ اطع وحيد.

شكل (٨٧) آلية مراحل تشكل الصاعقة (أ)
والضربة المرتدة للصاعقة (ب)

إن القائد السهمي لا يـ سلك دائماً الطريق الذي سـقه القائدـ د المتدرج وإلى النهاية. ففي نقطة ما من هذا الطريق يمكن أن يغير فجأة طريقه، وحينئذ نـ شاهد الصاعقة على شكل خط مـ زدوج متكسر.

ولربما تنزل عـ دة أفنية ضوئية من قاعدة السحابة إلى

الأرض، فتعطي مظهرًا يشبه الأغصان المتدلية. وعند بلوغ رأس قناة التفريغ (قناة القائد) سطح الأرض يرافقها جيشان (Surge) هائل ومفاجئ من الشحنة نحو الأعلى بالمسار نفسه، حيث تكون الشحنات الموجبة الأرضية قد تلاشت بإفراغها كهربائياً عبر الشحنات السالبة التي تدفقت من قاعدة السحابة، لينعكس فرق الكمون الكهربائي وتصبح وجهته نحو الأعلى مما يقود الشحنات السالبة الأرضية بالاندفاع سريعاً للأعلى بالقناة نفسها مولدة الضوء المبهر، وقد ترتفع الشحنات مسافة متفرغة بالتقاءها بالشحنات الموجبة لتغلق الدارة، أو تستمر حتى

قاعدة السحابة إما عبر القناة نفسها أما بتغير المسار بسلوك قناة تفريغ جديد -ة توصل إلى مناطق الشحنات الموجبة في مقدمة قاعدة السحابة. ويدعى هـ -دان الجيشان بالضربة الرجعية أو المرتدة (Return Strok) التي يمكن أن تـرى بالعين - شكل (٨٧-ب) - . وخلال بضعة أجزاء من ألف مـ ن الثانية، فإن عشرات ألوف الأمبيرات تتدفق نحو الأعلى عبر القناة. وفي الممر السابق فلـه يمكن لعدة ضربات رجعية أن تتوالى متعاقبة بسرعة، بفواصل زمنية هي بضعة أجزاء من الألف من الثانية. ويتولد من نواتج التأين وميض ظلامي (Blinding Flash) من مميزات البرق (الصاعقة) القريب منا عـدما يـرى في الليـل. والحرارة المتولدة تعمل على تسخين الهواء بسرعة مسببة تمدده المفاجئ الـذي ينتج أمواجاً صوتية، عند مرورها فوق الرأس هي الرعد.

وفي بعض الأحيان تنتهي الصاعقة بانتهاء الضربة الراجعة. غـر أن مرحلة أخرى غالباً ما تبدأ خلال أربعين ميلي ثانية بانبعاث سهم ضـوئي مـن قاعدة السحابة. ومن الناحية النموذجية يتحرك السهم الضوئي تابعاً للقناة بسرعة واحد من مئة من سرعة الضوء. ولا يحدث هنا تدرج؛ بل يقتصر الأمر على تقدم السهم الضوئي النازل الذي يبلغ طوله نحو خمسين متراً. ويحمـل الـسهم شحنة تتراوح شدتها بين بضعة مئات إلى ألف أمبير، وهـو يختـزن بـضعة كولونات من الشحنة في القناة. وهنا لا يحدث تفرع أيضاً. ويلامس السهم عادة النقطة نفسها التي يلامسها الناقل الرئيسي. وهذا يؤدي إلى إعادة إغلاق الـدارة بين السحابة والأرض فتحدث ضربة راجعة أيضاً. يتكرر حدوث مراحل النقل الكهربائي، والنقل الراجع، نموذجياً، ثلاث أو أربع مرات لتوليد ضوء البـرق - الصاعقة الذي يستمر عشري الثانية في المتوسط. وقد أبلغ عن حدوث ست وعشرين ضربة موصلة وراجعة في التماعة البرق التي دامت ثلثتين.

في نحو خمس واحدة من الدفقات الواصلة بين السحابة والأرض تتك-ون أكثر من نقطة تماس واحدة مع الأرض: ويحدث هذا عندما يلاقي ناقل السهم جزءاً من القناة أكبر عمراً من مئة ميلي ثانية فيخلق ناقلاً مدرجاً جيداً إلى الأرض. ويزداد الضرر الذي يمكن أن تسببه الومضة إذا وجدت أكثر من نقطة تماس واحدة مع الأرض.

٥ - آثار الصاعقة:

إن آثار الصاعقة متعددة وجسيمة، لكون الصاعقة تصيب سطح الأرض محدثة خسائر قد تكون جسيمة في الأرواح والممتلكات. ومع أن الصاعقة هي سوى شرارة كهربائية تنقّض من قاعدة السحابة إلى الأجزاء من سطح الأرض ذات الشحنة الموجبة، إلا أن ضخامة الطاقة الحرارية المتولدة عنها تسبب حدوث حرائق في الغابات والمحاصيل الزراعية التي تتك-ون قد جفت أوراقها، وفي صهر الأسلاك، وإضرار النار في أية مادة قابلة للاشتعال تعترض طريقها، كما ينجم عنها تكسر الأحجار، والأشجار، وتخریب البيوت باختراقها لسقوفها وإحداث أضرار بداخلها. والأهم من ذلك كله أنها تؤدي إلى الوفاة إذا ما وقع إنسان أو أكثر في خطها؛ ولا تمر سنة إلا ويذهب ألوف الضحايا من جرائها، إذ تعد مسؤولية عن قتل نحو (٥٠٠٠) إنسان في العالم سنوياً.

وفي كل ثانية تضرب الصاعقة الأرض مئة مرة. وفي كل سنة، تقتل الصواعق في الولايات المتحدة وحدها أكثر ما تقتله الأعاصير، وتدمر نحو (١٨) منزلاً سنوياً، وتلحق أضراراً مادية تعادل نحو (١٠٠) ملي-ون دولار سنوياً.

٥-١ - آثارها المباشرة على الإنسان:

يذهب في كل عام ضحية الصاعقة في الولايات المتحدة مئة شخص^(*). وبالمقابل كان هذا الرقم يصل إلى أربعمئة إنسان في العقود الأولى من القرن العشرين. وتشير البحوث إلا أنه بالإمكان تخفيف نسبة ضحايا الصاعقة أكثر من هذا. وفي كندا يذهب ضحية الصاعقة سنوياً نحو (٢٠) شخصاً. وفي الصين والهند يقارب عدد ضحايا الصواعق من (١٠٠٠) إنسان، وفي بعض السنوات يزيد الرقم على هذا العدد بكثير.

عندما تضرب الصاعقة جسم الإنسان تحدث فيه أحياناً بعض الحروق، وتخييراً في الخلايا، وأضراراً أخرى لا تؤدي بالضرورة إلى الوفاة. وتكمن الأخطار الأكبر في فقدان القدرة على التنفس، وتسبب شوش انتظام دقات القلب (انقباض عضلي بطني). فإذا حدث أحد هذين العرضين فإن الجسم يعاني من تلف لا يبرأ منه ما لم يحصل على إسعافات أولية خلال الدقائق الخمس الأولى. ويتوجب إجراء التنفس الاصطناعي في حالة فقدان التنفس، وإذا توقف القلب يمكن إجراء نبض كاذب، فيسجى الشخص المصاب على ظهره ويجري الضغط على صدره براحة اليد بقوة بمعدل ضغطة في كل ثانية أو أسرع. بهذه الطريقة ربما يمكن تقديم إسعافات أولية للمصاب وتحويله إلى حالة الموت الناتجة عن الصاعقة.

غير أن التدابير الاحتياطية، على أية حال، تبقى أكثر ضماناً ضد الإصابة الفاتلة بالصاعقة. ويجب على الناس ملازمة بيوتهم أثناء العاصفة الرعدية،

(*) خلال الفترة (١٩٥٩ - ١٩٨٠) قُتل الصواعق (٢٢٨٦) شخصاً في الولايات المتحدة، وكان معظمهم من ولايتي فلوريدا وتكساس.

والابتعاد عن الأجسام المعدنية كالأجهزة الكهربائية، وأنابيب الماء، والمغاسل والهاتف وأجهزة التلفزيون، ومجانبه الممرات والشرفات، والمواقف. وأفضل الأماكن تكون داخل الأجسام المعدنية ولكن دون تماس معها. لها - ذا ينصح المسافرين في السيارات بالبقاء داخلها أثناء حدوث العاصفة الرعدية.

وإذا كان المرء يسبح في الماء أو في مركب مكشوف فالأفضل أن يسرع إلى الشاطئ ويغادر المكان. كذلك يجب الابتعاد عن القمم والأماكن المرتفعة إذا كان الإنسان في العراء، وعدم اللجوء إلى ظلال الأشجار المنفردة، ويجب البحث عن أخفض مكان والانحناء فيه بحيث لا يشغل الجسم إلا حيزاً ضيقاً من الأرض. ولا يغيب عن البال أن البلب المائي مجلبة لومض الصاعقة فحاذروه.

ويجب تجنب استخدام الهاتف الخليوي عند حدوث عاصفة رعدية قريبة منك، يلمع برقها فوق رأسك وحوالك. كما أن وجود الهاتف الخليوي في الجيب أثناء العاصفة يشكل خطراً؛ إذ تصبح المعادن في الجهاز موصلة للتيار إلى الجسم.

وذكرت المجلة الطبية البريطانية (British Medical Journal): حالة فتاة

في الخامسة عشرة من عمرها تعرضت إلى صاعقة أثناء استخدام هاتفها الخليوي، متعرضة إلى ذبحة صدرية أسعفت منها، ولكنها انتهت في كرسي متحرك، وأصبحت بأضرار دماغية، ويتألف في الأذن. فحين يتعرض شخص ما إلى صاعقة، فإن المقاومة العالية للجلد تجعل التيار يتوزع على الجلد، ولكن وجود مادة موصلة على أي جزء من الجسم يجعل جزء من التيار يدخل إلى الجسم ويسبب أضراراً فيه.

وفي شهر شباط من عام (٢٠٠٢) كان شاب يتكلم بهاتفه الخليوي في قرية كفر بهم من محافظة حماه خلال عاصفة رعدية، مما جعل الصاعقة تنفخ شحنتها الكهربائية فيه عبر جهازه الخليوي، متعرضاً إلى الوفاة الفورية.

ومن الأمثلة عن ضربات الصاعقة للبشر، نذكر:

١ - ما تعرض له اللاعبان المحترفان في لعبة الغولف (إ-ي تريفين-و، جيري هيرد) وهما جالسان تحت مظلة في المرح الثالث عشر في ملعب ن-ادي بتار الوطني، عندما جلجات عاصفة رعدية فوقهما، وذلك في يوم (٢٧) حزيران (١٩٧٥) . وكان الملعب يغص باللاعبين والمتفرجين في أثناء الجولة الثانية من بطولة الغولف المفتوحة في الغرب. وفجأة س-قط (تريفين-و) إلى الأرض وتخرج مرتين، ويقول أحد المتفرجين: «في البدء اعتقدت أنه أصيب بالدوار». غير أن اللاعب زعق: «لقد أصبت». فأدرك من حوله أن الصاعقة هي السبب، وكانت إصابته خفيفة ونقل إلى المشفى لمعالجة حرقه.

وفي مكان آخر من الملعب أصيب (ب-وي ن-ي-وكان) أي-ضاً، وس-قط مضارب ثلاثة من اللاعبين من أيديهم في نفس تلك اللحظة دون أن ي-صابوا بأذى. وكان ذلك الحدث الواسع الانتشار استعراضاً مازحاً لقوة الصاعقة.

٢ - ثمة أحاديث تصف حالة الذين تصيبهم الصاعقة. وأحدھا جاء على لسان مزارع كان يوضب الفاكهة في مخزنه مع بعض مساعديه عندما حدثت العاصفة عام (١٩٥٩م) . مضى المزارع مع امرأة إلى الباب ليراقب-ا انهم-ار المطر، وكان ينتعل حذاء من المطاط، والمرأة تلبس خفاً. وبينما هم-ا يراقب-ان ضربت الصاعقة شجرة صنصاف على مسافة منهما ثم اتجه-ت على ط-ول خطوط القوة إلى المخزن الذي لم يكن مزوداً بمانعة ص-واعق. وأدى دخ-ول الصاعقة إلى المخزن إلى انهيار الرجل والمرأة. وهرعت إحدى العاملات لطلب النجدة، ولما عادت كان المزارع يستعيد وعيه، وفارقت المرأة الحياة. وعندما سئل عن ذلك الذي حدث له، أفاد المزارع بأنه شعر وكأن مطرقة هائلة نزل-ت عليه، وكان يشعر بألم خفيف في كتفه ووخز في أنامله بعد أن استعاد وعيه.

٣ - هناك مثال آخر حدث في حلبة سباق (آسكوت) الحديثة في إنكلترا عام (١٩٥٥) . بعد ظهر الرابع والعشرين من تموز انفجرت صاعقة رعدية عنيفة بعد أسبوع من موجة الحر الشديد. وإذ انهمر المطر تفرق المشاهدون في أرجاء الملعب غير المسقوف للاختباء في الخيام. فجأة التمع البرق وسطهم. بدا يخفق فوق طرف الحلبة المقابل للمدرج، كما ذكر التقرير الصحفي. انطرح الناس أرضاً كما في لعبة القناني الخشبية التسع، بعضهم وثب في الهواء وارتمى م - ن جديد. وتراكم الكثيرون كمن أصابهم الدوار، ودعر آخرون. وتمكن الب - وليس من إيقاف حالة هروب جماعي، فقتل شخصان وجرح أربعة وأربعون.

٤ - في شهر شباط من عام (١٩٥٩م) قتلت الصاعقة لاعبي كرة قدم، وجرحت سبعة عشرة آخرين أثناء مباراة في البرازيل.

٥ - عندما ضربت الصاعقة ملعب بيسبول عام (١٩٤٩ م) في فلوريدا حفرت سبعة أمتار في أرض الملعب وقتلت ثلاثة لاعبين، وجرحت خمسين من المشاهدين.

٦ - في (٢٤) تموز عام (١٩٦٣م) ضربت الصاعقة مذبذباً في أندونيسيا، كان فيه عدد من الأشخاص يتناولون وليمة، مما أدى إلى قتل (١٦) شخصاً.

٧ - في يوم (١٨) كانون الأول عام (١٩٦٦ م) ضربت الصاعقة في ليسوتو جماعة يتناولون الطعام فقتلت (١٤) شخصاً.

٨ - في تشرين الأول عام (١٩٧٥ م) ضربت صاعقة ناقلة النفط اليونانية (كريتي صن) بعيداً عن الشاطئ في سنغافورة، مؤدية إلى تفجيرها وتحطمها إلى قطع ثلاث.

٩ - في (٢٤) كانون الأول عام (١٩٧٥م) بينم-ا-ك-ان (٢١) شخصاً يبحثون لأنفسهم عن ملاذ يحميهم من عاصفة شديدة داخل كوخ في رودي-سيا، ضربتهم صاعقة، فقتلتهم، وكان من بينهم (١٤) طفلاً.

١٠ - وفي الساعة ال-سابعة والذ-صف م-ن ص-باح ي-وم الخم-يس (٢٠٠٥/٩/٢٩م) ضربت صاعقة الطرف (الكتف) الجنوبي الغربي من ه-ضبة محردة السورية المشرفة غرباً على سهل العشارنة، إلى الشمال الغربي من قرية معر زاف بنحو (٢,٥ كم)، وقتلت (١١٨) رأساً من الأغنام والم-اعز - وكلا-ب الراعي -، كانت متجمعة بملاصقة بعضها نتيجة الأمطار الغزيرة التي كانت تهطل من سحب العواصف الرعدية (الكومولونيمبوس). ويعزى مقتل الأغنام إلى سبين، أولهما: الصعق الكهربائي؛ حيث شكل التجمع الكبير للأغنام فوق المياه المنساحة فوق كتف الهضبة منطقة جذب (ش-حنات موجبة) لل-شحنات السالبة من قاعدة السحابة الرعدية (Cb) لتفرغ شحناتها فيها، ولت-سهم المي-اه بزيادة فعالية تكهرب الأغنام المبللة بالمياه، لما تتصف به المياه من ناقلية كبيرة للكهرباء. وثانيهما: الصعق الصوتي؛ الذي أصابها من جراء الأمواج ال-صوتية الرعدية شديدة القوة المتولدة بالقرب منها (*).

١١ - في يوم الجمعة العاشر من شهر آذار عام (٢٠٠٦م) وقعت صاعقة في الهند، أدت إلى مقتل (٨) أشخاص، وأصابت (١٥) شخصاً بإصابات متنوعة.

(*) - تمت معاينة الصاعقة والأغنام من قبل المؤل-ف ال-ساعة (١١) م-ن ص-باح ي-وم ال-سبت (٢٠٠٥/١٠/١ م). ولم يشاهد أي تفحم في الأغنام التي قُتلت بسبب تلامد الفعل الحراري نتيجة تبال الأغنام بالمياه والمياه الأرضية. كما أن نجاة الراعي كان لبعده بضعة أمتار عن ساحة التفريغ وبسبب ارتدائه حذاء ولباساً عازلاً.

- ١٢ - في (٢٠) أيار عام (٢٠٠٦م) لقي نحو (٢٨) شخصاً مـ صرعهم مـ ن جراء العواصف الرعدية التي ضربت مناطق مختلفة من ولاية أوتر براديش بالهند.
- ١٣ - وفي الساعة الرابعة من بعد ظهر يوم الأربعاء-١٤ (٢٢/٥/٢٠٠٨) ضربت صاعقة مدرسة قرية زيحي كليكسان في جنوب غرب الصين، فتلتـ ت سبعة طلاب وأصابـت (٣٠) آخرين بجروح.
- ١٤ - وفي مساء يوم (١٠/٦/٢٠٠٧م) لقيت ثلاث فتيات شقيقات حتفهن بفعل صاعقة ضربت قارباً كان يبحر في خليج كالالواج غرب الفلبين.
- ١٥ - وفي مساء (٢٤/٦/٢٠٠٧م) تسببت صاعقة في مقتل قطيـع مـ ن الأغنام والماعز والأبقار عدده (٢١٢) رأساً في منطقة فكرونه بولاية الكاف في الشمال الغربي التونسي.
- ١٦ - وفي ساعات الصباح الأولى من يـوم (٢٩) تـشرين الأول عـام (٢٠٠٦م) قتلت صاعقة شخصين في مدينة مكة المكرمة.
- ١٧ - وفي يوم (٢٩/١٠/٢٠٠٦م) قتلت صاعقة شاباً عمره (١٦) سنة في البقاع الشرقي قرب الهرمل بـلبنان، وأصابـت آخر بجروح بالغة.
- ١٨ - في (٢٢) أيار عام (٢٠٠٧م) لقي شخـصان مـ صرعهما نتيجةـ إصابتهما بصاعقة بولاية تطوان المغربية، حيث كانا يجـلسان تحـت شـجرة للاحتماء من المطر.
- ١٩ - وفي يوم (٢٨/٧/٢٠٠٧م) ضربت صاعقة شخصاً فـي مقاطعة ساباتاري بنيال، وهو عائد من الحقل إلى منزله، وأردته قتيلاً.
- ٢٠ - وفي شهر تموز فقط من عام (٢٠٠٧م) قتلت الـصواعق (١٤١) شخصاً في الصين. ومن بداية السنة (٢٠٠٧م) حتى نهاية شهر تموز كان عدد

القتلى في الصين بسبب الصاعقة فقط (٤٠٣) أشخاص، م-ع أض-رار مايد-ة قاربت من (٢,٥) مليون دولار. وفي (٢٠٠٧/٨/٢م) قُتل خمسة أشخاص بسبب ضربة صاعقة لمبنى مكون من طابقين في منطقة لينغوان الصينية، مم-ا نج-م عنها انهيار المبنى.

٢١ - وفي يوم (١٧) آب من عام (٢٠٠٧م) ضربت الصاعقة ع-املين يعملان في مزرعتين بمنطقة القصيم السعودية: أصيب أولهما في صدره وظهره بنسبة (٢٠%)، كما أصيب الآخر بجروح شديدة وتوقف في القلب ج-راء ف-وة الصاعقة، وتم إسعافهما إلى مستشفى الملك سعود بعنيزة.

٢٢ - في (١٨) آب من عام (٢٠٠٧م) أصابت صاعقة أربعة أش-خاص في جنوب ولاية كردفان السودانية، كما تسببت الأمطار الغزيرة التي أنتجت-ا سحابة العاصفة الرعدية في مقتل أربعة أشخاص بينهم طفلان.

٢٣ - خلال الفترة من شهر تموز عام (٢٠٠٦م) وحتى شهر آب من عام (٢٠٠٧م)، توفي (٢٢) شخصاً بينهم (٩) نساء، وأصيب (١٥) آخرون ب-سبب الصواعق التي صاحبت سقوط الأمطار الغزيرة على عدد من مديريات محافظة محجة اليمنية.

٢٤ - في مساء (٦) أيلول عام (٢٠٠٧م) لقي ثلاثة أشخاص من عائلة-ة واحدة مصرعهم بسبب ضربهم بصاعقة لمنزلهم، وقد نجا من الصاعقة س-بعة من أفراد العائلة كانوا في الجانب الآخر من المنزل أثناء تعرضه للصاعقة. كما أصيبت امرأتان وطفلة بالصاعقة في محافظة المحويت اليمنية في اليوم نف-سه. أيضاً فإن قوة الصاعقة أدت إلى ارتطام امرأتين وطفلة بجدار المنزل وإصابتهن بإصابات مختلفة وحالات إغماء وتم إسعافهن إلى المستشفى.

٢٥ - وفي صباح يوم الخميس الثالث عشر من شهر أيلول (٢٠٠٧م) ضربت صاعقة معلم مدرسة وتلميذاً في إقليم شفشاون بولاية تطوان المغربية.

٢٦ - وفي (٢٧/٩/٢٠٠٧م) قتلت صاعقة شخصاً في ولاية تكساس الأمريكية. كما قتلت الصاعقة صبياً يبلغ من العمر (١١) سنة في شيكاغو يوم الخميس (١٨/١٠/٢٠٠٧) عندما عبرت عاصفة رعدية المدينة، وألقت بحبات من البرد فاق وزن بعضها النصف كيلو غرام.

٢٧ - وفي صباح يوم الخميس (٢٠/١١/٢٠٠٨م) ضربت الصاعقة شاباً يقود جراراً زراعياً في قرية الغفر بالقرب من مدينة إدلب (٢٠ كيلو و متر) فأردته قتيلًا. إذ أفرغت الصاعقة شحنتها الكهربائية في رأس الشاب لتخرج من الجزء السفلي للجسم.

إن معظم ضحايا الصاعقة لا يتعرضون لضربتها المباشرة. ومن ينفذ تحت شجرة مثلاً لا يطاله إلا جزء يسير من التيار الذي يجتاز الشجرة وينزل إلى الأرض. غير أن تحمل الجسم البشري للتيار الكهربائي ضعيف، ويمكن لكمية من الكهرباء مقدارها جزء من الأمبير أن تؤدي، إذ تعرض لها ثانية أو ثانيتين، إلى الموت. وليس شائعاً أن يقتل أحدهم بالصاعقة إذا كان داخل البيت؛ فأغلبية حالات القتل بالصاعقة تحدث في الهواء الطلق حيث لا تتوفر للضحايا وسائل حماية كالبيت أو الآليات.

٢-٥- حرائق الغابات:

تحدث الصاعقة قرابة (٢٠٠) مليون ضربة في الغابات والأراضي الخضر من عالمنا كل سنة. وهي تؤدي إلى نشوب حرائق تبلغ كلفة إخمادها نحو (١٠٠) مليون دولار. ففي كندا، فإن أكثر من (٢٠%) من حرائق الغابات

(٤٠% في كولومبيا البريطانية) تسببها الصاعقة، كما أن الصاعقة تشعل الشرارة الأولى لنحو (٢٠٠٠) حريق سنوياً في الممتلكات الخاصة بكندا.

وتكون الأشجار، كالسفن، أهدافاً طبيعية للصاعقة. فهي نوافل جيـدة للكهرباء بسبب رطوبتها الدائمة. وهذا يعالـسـب خطـورة الوقـوف تحـت الأشجار وقت حدوث عواصف الرعد. وعندما يضرب البرق شجرة في وسـط الغابة تكون النتيجة حريقاً فيها غالباً.

تؤدي الشحنات التي تصل بين السحابة الرعدية والأرض إلى نشوب عشرة آلاف حريق في الغابات الأمريكية في المتوسط كل عام، ويتم السيطرة على معظمها وإخماده في المهد. أما الباقي منها، الخارج عن إمكانية السيطرة، فهي السبب في ما يقع من خسائر.

وقد تكون هذه القلة من الحرائق شديدة التدمير؛ ففي عام (١٩٧٠م) وحده أحرقت النيران مساحات شاسعة من جنوب كاليفورنيا، مما جعلها تُعتبر منطقة منكوبة. وأسفرت الحرائق عن مقتل أربعة عشر رجلاً وتدمير ثمانمائة مـسكن ومبنى، كما قضت النيران على ستمئة ألف فدان من الغابات وأماكن تجمع المياه.

وفي كل سنة تسبب الصاعقة إشعال نحو (١٠٠٠٠) حريق في الولايات المتحدة الأمريكية فقط، محدثة تدميراً في الأخشاب قيمته نحو (٥٠) مليون دولار.

وفي كندا كان معدل مجموع الحرائق سنوياً يساوي (٢٥٠٠) حريق بين عامي (١٩٦٩-١٩٧٣)، وهذا ما أدى إلى إحراق ما ينوف عن (٨٠٠) ألف هكتار من الغابات.

وفي عام (١٩٧٤) وحده، أحرقت الصواعق مساحة (٤٠٠) ألف هكتار. ويعزى إلى الصواعق أكثر من (٢٠%) من حرائق الغابات الكندية.

وقد حذر رئيس قسم المحافظة على البيئة في كاليفورنيا (م-ارفن دودخ)، بأن المزيد من الحرائق العديدة المدمرة ستتدلع هناك بسبب تراكم مخلفات الوقود في المناطق البرية من غربي الولايات المتحدة.

٦- الوالية من الصاعقة وطرق مكافحتها والحد من مخاطرها:

لم يقف إنسان العصر الحاضر مكتوف الأيدي أمام صـ. ربات الـصاعقة المحرقة والمميتة والمدمرة، بل حاول جاهداً البحث عن وسائل وأدوات تخفـف من شدة ضرباتها، وأخرى تبددها أو تغير من وجهتها.

٦-١ - الوالية من الصاعقة:

يمكن اللجوء إلى العديد من الأساليب للحماية من الصاعقة، نذكر منها:

أ - الابتعاد عن النقط الناتئة من سـ. طح الأرض الأكثر ارتفاعاً لمـ.ا يجاورها (شجرة، بناء منعزل، مآذن الجوامع، تل، حافة مرتفعة... إلخ).

ب - الابتعاد عن هوائي الراديو والخطوط الكهربائية وخطـوط الهـاتف وأنابيب المياه المعدنية. وعدم استخدام الهاتف الخليوي والأرضي، والابتعاد عن جهاز التلفزيون. وكذلك الابتعاد عن الجرارات الزراعية والدراجات النارية... وسواها من الأجسام الناقلة للكهرباء.

٦-٢ - مكافحة الصاعقة:

من الطرق المتبعة للحماية من الصاعقة وأخطارها استخدام مـ.ا يعـرف باسم مانعات الصواعق، وهي عبارة عن قضيب معدني مؤنّف (مدبب) مصنوع من النحاس، يرفع فوق الأبنية بعلو معين، يتصف بناقليته النوعية الكهربائية العالية. وقد اختير الطرف المدبب للمناعة لكي تكون كثافة الشحنات المعاكسة

(+) هائلة، بحيث تستقطب الشحنات السالبة المنطلقة من قاعدة السحابة مباشرة. ويوصل الطرف السفلي لمناعة الصواعق بسلك معدني غليظ يمر بطرف البناء إلى الأرض حيث يغمر طرفه عبر صفيحة معدنية بداخلها، أو في بئر مائي. ويفضل أن تكون الصفيحة المعدنية خارج أساسات (قواعد) البناء، أو تكوّن التربة المحيطة بها رطبة بصورة دائمة، ومجال حماية منعة الصاعقة نحو (٤٥) درجة من طرف القضيب العلوي.

٦-٣ - التحكم في الصاعقة:

لقد تمت العديد من المحاولات في النصف الثاني من القرن العشرين ومستمرة فيما مضى من القرن الحادي والعشرين، في سعي لمكافحة الصواعق إما بتبديدها وتشتيتها وهي في طريقها من قاعدة السحب الرعدية، أو بحرف مساراتها.

١ - المحاولات الأولى: اعتمدت على التخفيف من شدة الساحة (المجال الكهربائي) فيما بين سطح الأرض وقاعدة السحابة الرعدية، عن طريق زيادة ناقلية الهواء للكهرباء. مما ينجم عنه تخفيض فرق الكمون الكهربائي، وبالتالي منع توليد تيار كهربائي من قاعدة السحابة إلى الأرض. ولقد اعتمد العلماء في ذلك على رش كميات من مادة العصاف (Chaff) - وهي عبارة عن فيبران نايلون معدني - تحت سحب الركاب المزني بواسطة الطائرات، بحيث تغدو كل ذرة من الفيبران ذات قطبين أحدهما موجب والآخر سالب، لتقوم كل ذرة بجذب عدد من الشحنات الموجبة والسالبة الموجودة في قاعدة السحابة وتحتها إليها، مما يؤدي إلى بعثرة الشحنات ومنعها من تشكيل كتلتين كبيرتين إحداهما موجبة والأخرى سالبة. وهذا ما يعمل على زيادة ناقلية الهواء للتيار الكهربائي، مما يمكنه من منع حدوث الصاعقة.

٢ - المحاولات الأخرى؛ وتتمثل في:

أ - قذح الصاعقة: بإرسال صواريخ صغيرة تجر وراءها سلكاً رقيقاً مؤرضاً، يستقطب الشحنات الكهربائية المفرغة من السحابة وليمنع بلوغها سطح الأرض.

ب - استخدام الليزر لتغيير مسار الصواعق واستقطابها إلى وجه محددة، وتجذب المنشآت والمناطق الحيوية من أخطارها.

٦-٤ - التخفيف من آثارها:

من الوسائل التي استخدمت من أجل التخفيف من آثار الصاعقة، إقامة شبكة من الهوائيات للكشف عن اتجاه صواعق العواصف الرعدية (- Direction Finding Antennas) فوق منطقة محددة.

وهذا ما تم فعله في معظم الولايات الأمريكية في الثمانينات والتسعينات من القرن الماضي، والتي تجاوز (١٠٠) محطة مهمتها استشعار وكشف حدوث الصاعقة في أجزاء الولايات المتحدة المعمورة وغير المعمورة.

إذ تستطيع تلك الكاشفات تحديد مكان ووجهة حدوث التفريغات الكهربائية، والأماكن التي تعرضت للصاعقة، مما يساعد ذلك على سرعة معالجة آثار الصاعقة من حرائق، وتخريب في خطوط ومحطات توليد الطاقة... إلخ.

الباب الرابع

الكوارث البيئية

الفصل الأول: التصحر

الفصل الثاني: الحرائق البرية

الفصل الثالث: الهطل والتكاثف الحامضي

أولاً- الأمطار الحامضية

ثانياً- الضباب الحامضي

ثالثاً- الضبخان

الفصل الرابع: تآكل الأوزون الجوي

الفصل الخامس: الاحتباس الحراري

الفصل الأول

التصحر

- ١ - ما التصحر؟
- ٢ - درجات التصحر.
- ٣ - أسباب التصحر.
 - ٣-١ - الأسباب الطبيعية (التصحر).
 - ٣-٢ - الأسباب البشرية (التصحير).
- ٤ - نتائج التصحر.
 - ٤-١ - نتائج طبيعية.
 - ٤-٢ - نتائج اقتصادية واجتماعية.
- ٥ - أساليب مكافحة التصحر والحد من مخاطرة.
- ٦ - إنموذج من الجفاف التصحيري.

١ - ما التصحر؟

يقصد بالتصحر؛ التحول الذي يصيب الأرض، متحولة من أرض منتجة عامرة بالإنسان والحيوان، وتقوم عليها حياة نباتية مجدية، إلى أرض قاحلة جدياء، لا زرع فيها ولا ضرع، لتضاف إلى مساحات الصحاري السائدة.

والتصحر؛ يكسب الأرض صفة جديدة مميزة لها- لم تكن تعرفها سابقاً- وهي الجذب- أو القحولة-، سواء كانت هذه الصفة الجديدة نتاج أسباب طبيعية (تدني الأمطار، التعرية الريحية.... وغير ذلك). أم بفعل أسباب وقوى بشرية. وعلى ضوء العامل المسبب للتصحر، يميز البعض بين مفهومين، هما:

١ - التصحر؛ وهو ما نتج عن أسباب طبيعية من أبرزها المناخ.

٢ - التصحير؛ وهو ما نتج عن أسباب بشرية.

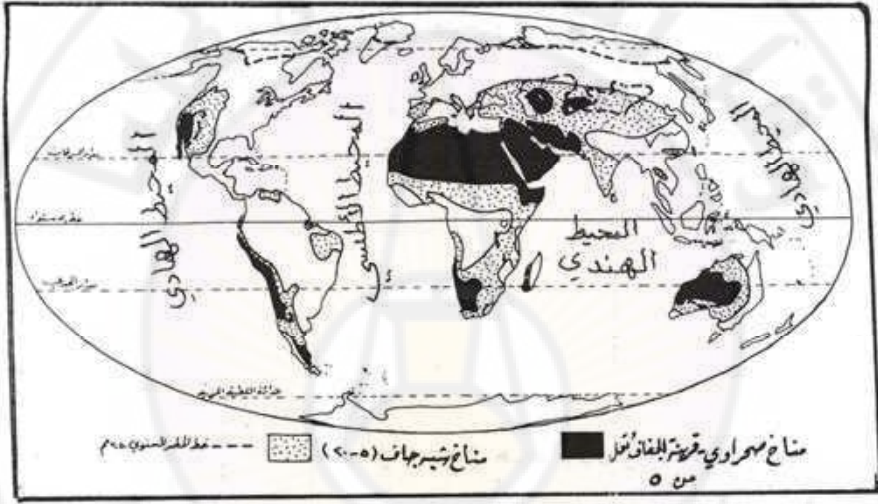
والتصحر والتصحير مشتقان من الصحراء. والصحراء هي مساحة م-ن الأرض لا تكفي كمية أمطارها السنوية لقيام حياة نباتية ناجحة، وتقل فيها الحيوانات قلة ظاهرة، ومن ثم فهي لا تصلح للاستيطان البشري.

فالصحراء؛ مظهر أرضي واقع مرئي ومحسوس. وهي نتاج عوامل طبيعية أنتجت في الأصل، وما أضيف إليها لاحقاً بفعل عمليات التصحر. أما التصحر؛ فهو العملية التي يحدث بموجبها التحول في الأرض غير الصحراوية إلى صحراء، بغض النظر عن أسباب ذلك التحول. وتشكل البيئات المجاورة للصحاري أكثر البيئات عرضة للتصحر، لكونها بينات هشة وحساسة، وغير مستقرة، وهامشية، سرعان ما يتدخل نظامها البيئي ويتزعزع لأي سبب من الأسباب.

ونتيجة لأن التصحر تتسلسل مراحل ودرجاته بشكل تدريجي، مغيراً من خصائص وإمكانات البيئات التي يصيبها، فإن النظم البيئية تتدهور على مراحل

إلى أن يصل التدهور إلى مرحلة انعدام التوازن، لتتحول بذلك البيئة الحيوية إلى بيئة غير حيوية؛ أي إلى بيئة صحراوية.

وإذا كانت مساحة الصحاري (المناطق الجافة) في العالم تبلغ نحو (٢٠%) من مساحة اليابسة، فإن مساحة المناطق شبه الجافة تقارب من (١٨%) وهي المجاورة للصحاري، والأكثر عرضة للتصحّر. شكل (٨٨).



شكل (٨٨) الصحاري في العالم

والتصحّر ليس حديث العهد، بل إنه قديم جداً. فكم من أراض أجدب، وهجرها ساكنوها، منذ آلاف السنين، وأبرز الأمثلة صحاري شبه الجزيرة العربية والصحراء السورية، ومعظم أجزاء الصحراء الكبرى التي كانت عامرة بالحياة منذ نحو (٥٠٠٠) سنة.

غير أن التصحر أخذ بالتزايد منذ منتصف القرن العشرين، نتيجة لتدخل الإنسان في التأثير السلبي على بيئته الحيوية، بما انعكس أيضاً على المناخ متمثلاً في تدني كمية الأمطار وزحف الصحراء.

وتغطي المساحات المهددة بالتصحر نحو (٣٥) مليون كم^٢؛ منها (٣١) مليون كم^٢ أراضي مراعي - وهذه تشكل نسبة (٨٠%) م - ن مجموع أراضي المراعي -، و(٣،٤) مليون كم^٢ أراضي زراعات مطرية - أي نسبة (٦%) م - ن مجموع الزراعات المطرية في العالم - . وما تبقى م - ن الأراضي المهددة بالتصحر (نحو ٦ مليون كم^٢) هي أراضي زراعات مروية من مجموع المساحات المروية في العالم التي تتراوح بين (١،٣ - ٢ مليون كم^٢).

ولقد أشار تقرير ر ص - اد ر ع - ن اليوني - ب (UNEP) عام ١٩٨٤ (Desertification control , BNO. 11)، إلى أن السنوات التي أعقب ت م - وتُمر التصحر العالمي في نيروبي بكينيا (عام ١٩٧٧) توسعت فيه ظاهرة الت - صحر، ليصل معدل التصحر السنوي في العالم إلى ما بين (٥٠ - ٧٠) ألف كم^٢.

٢ - درجات التصحر:

قسمت الأراضي المتصحرة في العالم، تبعاً لشدة الت - صحر، إلى أربع درجات.

١ - تصحر خفيف: ويحدث عندما يتدنى معدل الأمطار السنوية إلى م - ا بين (٢٠٠ - ١٥٠ مم). أو عندما يشمل التدهور البيئي في منطقة ما بما يخرجها من صلاحية الاستثمار، بحدود (٢٥%).

٢ - تصحر متوسط الشدة: ويحدث حالما ينخفض معدل الأمطار السنوية إلى ما بين (١٥٠ - ١٠٠ مم). وتتعرض الأراضي إلى تدهور بيئي بنسبة تتراوح بين (٢٥ - ٥٠%).

٣ - تصحر شديد: ويصيب المناطق التي انخفض معدل أمطارها السنوية إلى (١٠٠ - ٥٠ مم). وأصاب التدهور البيئي (النباتي والحيواني) ما نسبته (٥٠ - ٧٥%) منها.

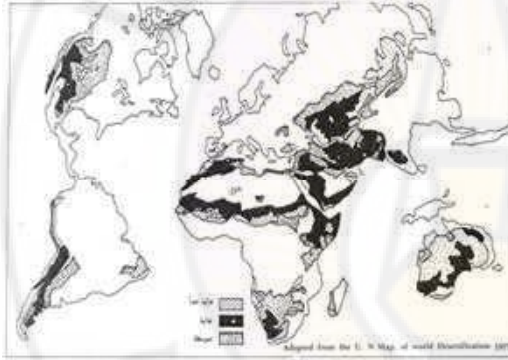
٤ - تصحر شديد جداً: وهو من أشد حالات التصحر، حيث تتعرض له المناطق التي تدنّت أمطارها السنوية إلى ما دون (٥٠مم)، وغدت قاحلة وجبلاء كلياً. حيث تدهورت بشكل كبير مما أخرجها من دائرة المناطق الحية، لتتحول إلى مناطق ميتة، لكون التدهور البيئي الحياتي تجاوز فيها (٧٥%) ووصل في أجزاء منها إلى (١٠٠%).

وبين الجدول التالي (١٨) درجات التصحر في الأراضي الجافة وشبه الجافة في مختلف القارات (% من مساحة القارة) بما في ذلك مساحة الصحراء الأساسية.

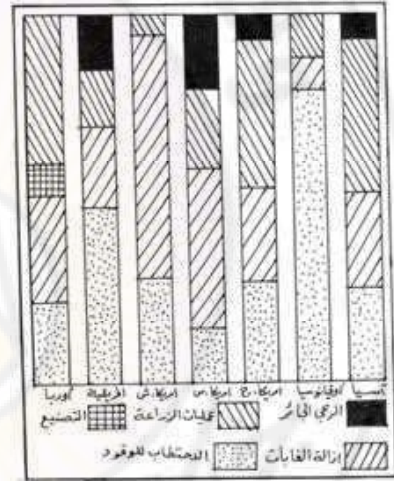
القارة	خفيف	متوسط	شديد	شديد جداً	المجموع
إفريقية	١٧	٢٢,٣	٢١,٩	٠,٣	٦١,٢٣
آسيا	-	٢٥,٨	١٠,٤	-	٦٣,٢
أستراليا	٣٠,٢	٣٢,٧	٨,٥	-	٧١,٤
أمريكا الشمالية	٠,٤	١٢,٦	٧,٦	٠,١	٢٠,٧
أمريكا الجنوبية	٠,٧	١٥,١	١,٤	٠,٢	١٧,٤
أوروبا (السـبانيا فقط)	-	٤٢,٥	١٠,٧	-	٥٣,٢
المجموع	١٨,٠	٥٣,٦	٢٨,٣	٠,١	١٠٠

ويتضح من الجدول أن إفريقيا وأوقيانوسيا (أستراليا) وآسيا، هي القارات الأكثر معاناة من التصحر، والتي تحتوي على أشد البقع جفافاً في العالم؛ حيث الصحراء الكبرى، وكلهاري في أفريقيا، والصحراء الأسترالية العظمى في أستراليا، وصحاري آسيا الوسطى وشبه جزيرة العرب. والمناطق شبه الجافة التي تحيط تلك الصحاري، والتي تعاني من مخاطر التصحر بدرجاته كافة. كما طال التصحر مناطق شاسعة في الأمريكيتين.

وعلى الرغم من أن أوروبا، تكاد تخلو مما يمكن أن يطلق عليه تسمية صحراء- كما في باقي القارات-، إلا أن التصحر اعتري بقعة واسعة من أراضي شبه جزيرة إيبيريا، الممكن استصلاحه لكونه خفيفاً أو ومتوسط الشدة. وتتمثل حالات التصحر الشديد والشديد جداً، وفي المناطق ذات النظم البيئي الهش على جوانب الصحاري المطلقة، التي في الأصل هي مناطق تنتمي مناخياً إلى الصحراء. والشكل (٨٩) يبين درجات التصحر في الأراضي الجافة في مختلف القارات.



شكل (٨٩-ب) درجات التصحر في الأراضي الجافة في مختلف القارات



شكل (٨٩-أ) عمليات التصحر في الأراضي الجافة وشبه الجافة في قارات العالم المختلفة

وتقدر الخسارة السنوية في الإنتاج الزراعي التي يسببها التصحر في العالم- حسبما أشارت اليونيب UNEP - بنحو (٤٢) بليون دولار، حيث إن الكتبان الرملية، وزحف الرمال تسهمان وحدهما بخسارة (١٠) بلايين دولار.

وتقدر مساحة الأراضي التي تصحرت على الحد الجنوبي- من الصحراء الكبرى فقط بنحو (٨٠٠) ألف كم^٢، خلال السبعين سنة الماضية، كما أن معدل التصحر قد تزايد بشكل ملموس في الثلاثين سنة الماضية.

وفي دراسة مشتركة لليونيب والفاو (FAO)، أظهرت أن معدل النفص في الإنتاجية سيصل في عام (٢٠٢٠) إلى (٢٥%) في العالم، وإلى (٣٥%) في الدول النامية.

٣- أسباب التصحر:

إن أسباب التصحر - والتصحير - في عصرنا الحالي، عديدة؛ منها أسباب طبيعية - مناخية بالدرجة الأولى -، ومنها أسباب بشرية، انعكست في جوانب منها بشكل غير مباشر على الجوانب المناخية.

٣-١ - أسباب طبيعية:

تكاد تتمحور الأسباب الطبيعية للتصحير في العصر الحديث منذ بداية الثورة الصناعية - وبخاصة منذ منتصف القرن التاسع عشر - حول ظاهرة الاحترار الأرضي المرتبطة بالاحتباس الحراري، وما يقود إليه تسخن الأرض من تغير في الأنظمة المناخية. لذا كان موضوع التغير المناخي هو العامل الأبرز في التصحر الطبيعي.

ففي حال كان المناخ ثابتاً مستقراً، وتأثير الإنسان في البيئة متوازناً، فإن الصحاري عندئذ ستكون ذات حدود ثابتة، ولن تتجاوز حدودها متوسعة على حساب المناطق المجاورة غير الصحراوية؛ أو بمعنى آخر؛ لم يكن هناك تصحر، مع وجود الصحراء. لأن الصحراء هي جزء لا يتجزأ من منظومة الأرض - الجو.

فالقوى الطبيعية الرئيسة المتحركة في شكل الصحاري وتوسعتها أو تقلصها، هي أحزمة الضغط الجوي الكبرى، وحركة الجو العامة المرتبطة به سطحيًا وعلويًا. فمناطق أحزمة الضغط المرتفعة (الضغط المرتفع شبه المداري،

والضغط المرتفع القطبي) المتصفة بالحركة الجوية الهابطة فيها، ذات أمطار قليلة، وهي بالتالي مناطق الصحاري الكبرى على سطح الأرض (الصحراء الكبرى، صحاري شبه الجزيرة العربية، صحراء ثار في الهند، صحراء كلهاري في جنوبي افريقية....، والصحاري الجليدية في عروق الضغط المرتفع القطبي).

يضاف إلى ما تقدم عوامل (قوى) جغرافية تلعب دوراً في تشكيل الصحاري وانتشارها، لكونها قوى فعالة في التأثير على كمية الهطول المطري، كما في: الحواجز الجبلية، التي تسود الصحاري خلف بعضها في الجهة منها المعاكسة للرياح الرطبة (صحراء بتاغونيا في جنوبي أمريكا الجنوبية)، وكذلك التيارات المائية الباردة على سواحل القارات في العروض المدارية (صحراء أتكاما، كمثال) والبعد الكبير عن المسطحات المائية (صحاري آلاسكا). بجانب عوامل أخرى لها تأثير في قلة الأمطار في هذه المنطقة أو تلك، كما في تيار النينو، وسواه.

ولكن يبقى تزعج أحزمة الضغط الجوي الكبرى وحركة الجو والعلامة المرتبطة بها، هو الأهم في توسع الصحاري المطرية، الذي هو محصلة للتغير المناخي. لذا فإن التغير المناخي هو السبب الطبيعي الرئيسي للتصحّر، رغم تدخل عوامل عديدة في حدوث التغير المناخي.

وان نعود إلى الوراء بعيداً جداً لإظهار دور التغير المناخي في التصحر الأراضي؛ ففي أثناء فترات الجليد البليو ستوسيني الرباعي، حدثت تغيرات جوهريّة في مناخ الأرض وبخاصة في العروض المنخفضة والوسطى. ففترات تقدم الجليد - كما في عصر الفورم كمثال بين (٨٠ - ١٠ ألف سنة ق.م) - ترافقت بانتقال للأحزمة المناخية والنباتية تجاه خط الاستواء، إذاً أصبحت الصحاري

الحالية المدارية مناطق وفيرة الأمطار غنية بغطائها النباتي. أما الفترات التي حدث فيها انحسار للجليد (فترات غير جليدية أو بين جليدية، كم-ا- في الفترة السابقة لفترة الفورم الجليدية؛ أي فترة الريس - فورم، بين ٩٠-٨٠ ألف سنة قبل الميلاد) فقد تنهقر فيها المناخ، وانتشرت الظروف الجافة ب-شكل والس-ع- في العروض المدارية وشبه المدارية، كما هو الوضع السائد حالياً اليوم تقريباً، منحسرة الصحاري من العروض القريبة من خط الاستواء متقدمة نحو الشمال- في نصف الكرة الشمالي- عما كانت عليه في الفترات الجليدية، وي-شهد على ذلك التقدم والتراجع في الظروف الصحراوية، الكثبان الرملية المتحركة التي تشهد اليوم في جنوب حدود الصحراء الكبرى الحالية وفي مناطق مع-دلات أمطارها السنوية حالياً تصل إلى أكثر من (٣٠٠مم) -شكل (٩٠) -. ولقد أخذ المناخ بالتقهقر بشكل واضح في العروض الوسطى والمدارية بعد انتهاء فترة الفورم الجليدية، لتزداد سعة الصحراء الكبرى، وليمتد الصحراء في منطقة الشرق الأوسط عبر الجزيرة العربية.



شكل (٩٠) الانتشار الماضي والحاضر للكثبان الرملية في إفريقيا

وتشير كتابات الجغرافيين العرب القدامى فيما بين القرنين الحادي ع-شر والرابع عشر الميلاديين، إلى أن العصور الوسطى في أفريقيا ال-شمالية كانت وفيرة الأمطار، بما في ذلك هوامش الصحراء الكبرى. وكان الحد ال-شمالي للصحراء الكبرى في تلك الفترة لا يتجاوز خط عرض (٢٧) شمالاً. غير أن الرخاء لم يدم في هذه المنطقة، إذ سرعان ما تغير المناخ نحو الجفاف منذ منتصف القرن الخامس عشر مترتباً على ذلك انتشار الصحراء، وازدياد جفاف الصحراء نفسها. وليستمر الجفاف المتعاطم والتصحّر المتوسع فترة لا تقل عن قرنين بعد ذلك، وليحل بعدها في العالم- في العروض الوسطى والمرتفعة- ما عرف باسم العصر الجليدي الصغير الذي دامت مدته قرابة قرن م-ن ال-زمن تمحورت خلال القرن الثامن عشر، مؤدياً ذلك إلى تقلص الصحاري في أجزائها المواجهة للقطبين، وازدياد رقعتها في الأجزاء المواجهة لخط الاستواء، مع تحسن عام في أحوالها المناخية.

ومنذ بداية الثورة الصناعية في منتصف القرن الثامن عشر الميلادي، وما أفرزته من زيادة في ملوثات الاحتباس الحراري الغازية الجوية- بخاصة غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) - التي أخذت بالتعاطم منذ بداية القرن العشرين، نتيجة للتزايد في استهلاك الوقود الأحفوري، مترافقاً ذلك مع تزايد في ظاهرة الاحترار الأرضي وما أفرزته من زيادة في درجة حرارة الأرض التي ستعمل أن تعاضمت- كما هو متوقع لها في القرن الحالي- إلى حدوث تزعج وفي أحرزمة الضغط الجوي باتجاه خط الاستواء، وبالتالي تزايد في المساحات المتصحرة في المناطق التي تمتد إليها الضغوط المرتفعة الدائمة وشبه الدائمة، وبخاصة في العروض المدارية وشبه المدارية. وهذا ما تم التطرق إليه في فصل الاحتباس الحراري.

٣-٢- الأسباب البشرية:

ان الطريقة الخاطئة التي يتبعها الإنسان في استغلاله للأرض وإدارته لها يعرضها للتدهور ويسرع من تصحرها. فدور الانسان قد يكون مباشراً أو غير مباشر في إحداث التصحر. فالإنسان كان وما يزال له دور فعال ليس في عملية التصحير بحد ذاتها، وإنما أيضاً في التسريع من تـصحر الأرض. فـالأحوال المناخية خلال هذا القرن لم تتغير كثيراً في بقاع العالم - على الرغم مما تحتويه تلك الأحوال في طياتها من شذوذات قصرت مدتها أم طالت قليلاً -، ومع ذلك فإن عدة تصحرت، وكان الإنسان مسؤولاً عن ذلك. ولا نبتعد كثيراً في مثالنا، إنه وادي الفرات الذي تصحرت مساحات كبيرة من قطاعه الأدنى في سورية رغم توافر مياه الري. وفي بقاع كبيرة من العالم سارع الإنسان في تـصحير مساحات شاسعة قدرت بعدة ملايين الكيلومترات المربعة نتيجة لما قام به من ممارسات خاطئة في الأراضي الهاشمية (المناطق شبه الجافة) ذات الحـساسية الكبيرة للتغير في أنظمتها البيئية، تمثلت تلك الممارسات في الرعي المتزايد، واقتلاع الأشجار والشجيرات، وحرث الأرض.... وغير ذلك.

وكان للتزايد السريع للسكان في المناطق الجافة وشبه الجافة، وازدياد مطالبهم الحياتية، أن ازداد الضغط على الأراضي الهامشية، سواء بـالرعي أم بالقيام بزراعات معينة فيها، أو بحفر الآبار لتأمين احتياجاتهم واحتياجات حيواناتهم من الماء، أو بزيادة المسطحات الإسمنتية.... إلخ. فالأنشطة البشرية المحدودة منذ

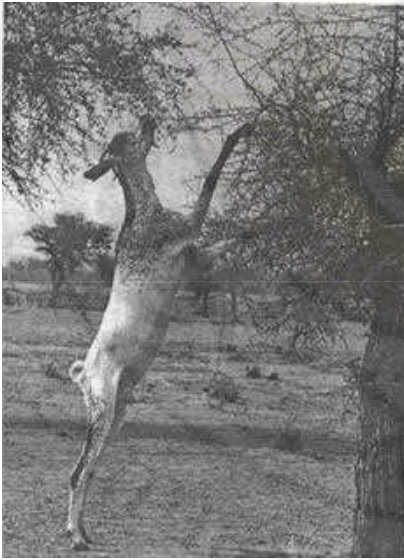
أكثر من (١٠٠) سنة مضت كانت متناسبة إلى درجة ما مع الظروف البيئية السائدة. غير أنه بتغير أنشطة الإنسان ومتطلباته تغيرت وفـقاً لذلك الظروف البيئية السائدة التي تدهورت مؤدية إلى نشوء ظاهرة التـصحر. وقد

جاوزت بعض الأنشطة حدود الطاقة التجديدية للموارد البيئية المتاحة، مما أدى إلى التدهور السريع في البيئة ومن ثم التصحر.

وفيما يلي عرض لأهم ممارسات الإنسان المباشرة وغير المباشرة التي تقود إلى التدهور البيئي وتؤدي إلى التصحر (التصحير).

أ- الرعي الجائر (Overgrazing) والمبكر (Earlygrazing):

ينجم عن الضغط الكبير على المراعي من قبل الحيوانات المتزايدة عدداً في السنوات الرطبة في المناطق الجافة وشبه الجافة-أي في البوادي- أن يتناقص وفي السنوات الجافة تدهور في الغطاء النباتي، وزيادة في تفكك التربة وتعربتها، مما يسهل ذلك من عمليات التصحر- شكل (٩١) - ويـنجم عـن ذـلـك أولاً زوال



للنباتات الرعوية المعمرة من البوادي، ولتسيطر بذلك النباتات المعمرة غير الصالحة للرعي (نباتات ملحية، نباتات عصارية..... إلخ)، والنباتات الحولية الشديدة الحساسية للتقلبات المناخية التي تنمو وفي موسم الأمطار وفي سنوات المطر الوفير، كما حدث في سورية خلال موسم مسنة (١٩٨٨)، ولتتلاشى في موسم مسنوات الجفاف، كما حدث في البادية السورية وفي سنتي (١٩٨٧، ١٩٨٩).

شكل (٩١) الرعي الجائر أداة تصحير

ونتيجة غياب الإدارة الرشيدة للمراعي وزيادة الحاجة إلى الأعلاف، وتزايد أعداد الحيوانات أكثر من قدرة الأرض المخصصة على حملتها، يلجأ

مربو الحيوانات إلى الرعي المبكر منذ اللحظات الأولى مـ ن ظهـ ور النبات الطبيعي، مما لا يسمح له بالنمو والتطور، ويحد كثيراً من قدرة تلك النباتات على الإعالة، بحيث تبدو الأرض جدياء باستمرار، ويساعد ذلك مع تقدم الزمن على تدهور كثافة النبات الذي ينبت، ليسرع بذلك من عملية التصحر. ويلحظ مثل ذلك الأمر بشكل ملموس في السنوات الجافة عند تـأخر موسم هطـول الأمطار، وأبرز الأمثلة عن ذلك سنة (١٩٨٩-١٩٩٠) في سورية، وبخاصة في أجزائها الداخلية.

وينجم عن الرعي بنوعية الجائر والمبكر سلسلة من العمليات المخربة للبيئة تقود في النهاية إلى التصحير، والممثلة في المخطط شكل رقم (٩٢).



شكل (٩٢) مخطط عام لنتائج الرعي بنوعيه المبكر والجائر

ب - اجتثاث العطاء النباتي:

يقوم قاطنو المناطق الجافة وشبه الجافة ومرتا دوهـا بـ اقتلاع الأشـجار والشجيرات التي يعثرون عليها بغية استخدامها وقوداً (للتدفئة وأعمـال طهيـ الطعام..... وغير ذلك). وما زالت هذه العملية هي السائدة في البادية لدى البدو والذين يفتنون في بيوت متنقلة وشبه متنقلة حتى الثابتة. وعلى الرغم من تناؤل هذه العملية في بعض المناطق، مازالت جاثمة على كاهـل مـناطق المراعي بالدرجة الأولى. ولم يكن المرء يقتصر في احتطابه على الشجيرات التي لا تصلح للرعي، بل كان وما يزال يلجأ إلى احتطاب ما يعثر عليه من شجيرات قد تشكل احتياطاً للرعي.

وتشكل مثل هذه الشجيرات وتلك دعامة للتربة في المناطق الجافة وشبه الجافة، لكونها تثبت التربة، وتحد من تعريتها. وإذا فإنه بزوالها تنشط التعرية الريحية وتتسارع عملية التصحر. ولقد اجتث الكثيرون شجيرات البادية السورية، ولم نعد نعثـر على آثار لها. كما نقلـت كثيـراً مـساحة، وأعداد الأشجار التي كانت تنمو، وأكبر مثال على ذلك ما حل من تفهقر لأشجار البادية السورية في منطقة جبل عبد العزيز... ومناطق أخرى متفرقة، ومـساحـة طوح الصحراء في أجزاء من هندوكوش وشمال غرب هيمالايا سوى الناتج النهائي للتعديلات على الغابة النامية هناك.

ولم يقف الأمر عند نباتات المناطق الجافة وشبه الجافة، بل تعدى الأمر إلى نباتات المناطق الرطبة وشبه الرطبة، وبخاصة غاباتها الباسقة التي لم تسلم من التدمير البشري، مجتثاً إياها لاستغلال أخشابها تجارياً بغية استخدامها في بعض الصناعات، ولإحلال بعض الزراعات بدلاً منها - وكان يتم سابقاً اللجوء إلى عملية الحرق لإزالة الغابة لاستغلال أرضها زراعياً، كما كان يحدث منذ

عشرات السنين وفي القرون الماضية في غابات الأمازون الاستوائية - وت - شير التقديرات إلى أن نحو (١١) مليون هكتار من الغابات الاستوائية يجري تدميرها سنوياً، وهذا بالطبع له انعكاسات على المظاهر البيئية كافة في المنطقة التي أزيلت أشجارها، وفي المناطق شبه الرطبة المجاورة لها، بجانب الانعكاس على المناخ العالمي برمته وما يحمل في طياته من آثار مختلفة.

وتشير بعض الدراسات إلى أن إزالة مساحات كبيرة من الغابات الأفريقية كان لها دور في وقوع حالات الجفاف الأخيرة في أفريقيا.

كما أن من أهم آثار إزالة الغابات؛ سهولة تعرية تربة أراضيها، وغ - زو الرمال والكتبان الرملية من المناطق المجاورة لها، وت - صحر أج - زاء م - ن أراضيها. وليست الغابة الاستوائية - في أمريكا وأفريقيا وآسيا وأقيانوسيا - هي الوحيدة التي تعرضت وما تزال تتعرض للتدمير، بل تشهد غابات الع - روض المعتدلة والمرتفعة من نصف الكرة الشمالي تظهيراً من قبل الإنسان، وت - دميراً بفعل الأمطار الحامضية.

ج - زراعة الأراضي الهاشمية ومناطق الفيضانات والأودية:

تعد مهنة الرعي النشاط الأساسي في المناطق الجافة وشبه الجافة منذ زمن بعيد، وقد حافظ هذا النمط من النشاط على التوازن البيئي الهش حتى عهد قريب، وقد ترتب على الزيادة المضطربة في السكان، وما رافقها من زيادة في عدد الحيوانات حدوث توسع في زراعة الأراضي الهاشمية التي تتلقى أمطاراً سنوية يتراوح معدلها بين (١٥٠ - ٢٥٠ مم)، والتي تشكل أراضي المراعي الأكثر خصوبة، والأكثر ضماناً وأماناً للمستقبل.

إذ بدأت تظهر بشكل واضح منذ منتصف القرن الماضي حرائق وزراعة مثل تلك الأراضي بالمحاصيل المختلفة التي يمكن أن تنتج زراعتها أحياناً

كالقمح والشعير. ولم يقف الأمر عند حد ذلك، بل امتدت الزراعة إلى منطقتي الفيضانات والأودية المنتشر في الأماكن التي أمطارها السنوية دون (١٥٠) مم. كما هو الحال عليه في سورية - مما تترتب على ذلك انكماش في المساحات الرعوية، وازدياد الضغط على بقية المناطق الرعوية العاجزة عن كفاية الحيوانات، متدهورة تلك المراعي للرعي الجائر المبكر فيها.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن الزراعة في مثل تلك الأماكن، التي تعزف باسم زراعة الينصيب أو الحظ، قد تنجح سنة لتفشل خمسة سنوات أو أكثر. ولو بقيت المناطق الهاشمية - ما كانت أمطارها دون (٢٥٠ مم) - مخصصة للرعي لكان ذلك أجدى اقتصادياً وبيئياً. بجانب ما يترتب على حراثة الأرض الجافة من تفكك للتربة وتعرية ريحية لها.

د - الاستغلال العشوائي لمناطق الوفرة المائية:

لم يقتصر التصحر على المناطق المطرية - الجافة وشبه الجافة - التي تستخدم مراعي بالدرجة الأولى وفي بعض الزراعات المطرية، بل تعدى ذلك إلى المناطق التي تتوافر لها المياه من مصادر غير مطرية مباشرة، بحيث تتوفر لها المياه - من الأنهار العابرة لتلك المناطق - في أية فترة من السنة. ومثل هذه المناطق الزراعية التي كانت تعطي سابقاً أوفر الإنتاج، أصابها التملح وخرجت من حيز الاستغلال الزراعي لتضاف إلى المناطق الصحراوية، وهذا ما حدث في بقاع واسعة من وادي الفرات في سورية والعراق، وفي مصر... وبالعالم.

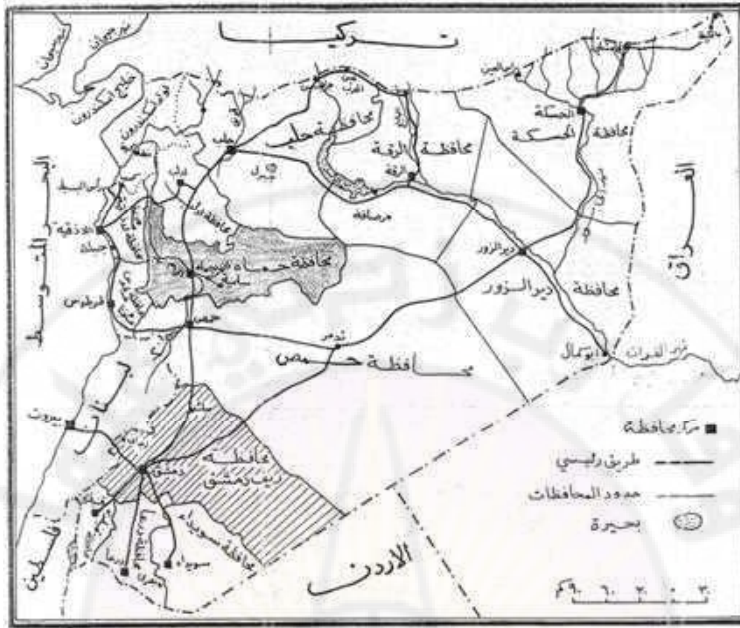
كما تترتب على انتشار الزراعات المروية في المناطق الهاشمية المحاذية للصحاري، ازدياد في عدد الآبار الجوفية لتأمين احتياجات تلك الزراعات. وهذا

ما ترافق مع زيادة عدد الحيوانات والسكان، وبالتالي الضغط على البيئة للرعي، وزيادة في المتطلبات المائية التي سارعت في النضوب، وهذا ما دفع إلى حدوث توطين للبدو، وانتشار القرى في مناطق الرعي، مما شكل إرهاباً وضغطاً على المراعي. متطلباً ذلك افتتاح شبكة من طرق المواصلات التي غاب عليها الطابع الترابي، وازدياد في وسائل النقل الحديثة (س-يارات، ج-ارات.....) التي تجوب أرجاء البوادي، مثيرة الغبار، ومحطمة الغطاء النباتي، م-ساهمة ف-ي تسارع عملية التصحر.

هـ - التصحر الإسمتي:

يشكل التصحر الإسمتي، أحد مظاهر التصحر الحديثة للأرض الزراعية في دول العالم كافة تقريباً، والمتمثل في قيام الإنسان بإنشاء مبانيه السكنية ومشاريعه الخدمية ومعامله ومصانع فوق الأرض الزراعية بعد تخريب نباتاتها وتدميرها، وتغير مواصفاتها كافة. وهذا ما يتضح بشكل طاهر للعيان في حوضه دمشق، من زحف لمدينة دمشق نحو الغوطة الخضراء واب-تلاع ج-زء كبير منها، كما زحفت المعامل المصانع إلى شرق حم-ة، لت-صحرم- ساحات كبيرة من الأراضي الزراعية فيما بين حماة وسلمية على ج-انبي الطريق، وبخاصة في أراضي قرية الكافات. - شكل (٩٣) - .

وقد طال التصحر بفعل ذلك، بقاءً من الأراضي الزراعية ف-ي م-ناطق ذات مناخ شبه رطب ورطب، من خلال إشادة المعامل والم-صانع، كم-ا ف-ي معمل إسمنت طرطوس وما نتج عنه من غباره في بقاء إلى الشرق منه، وكم-ا في معامل الأسمدة في جنوب غربي حمص، وما أحدثته ملوثاتها الكيميائية م-ن تصحير لبقاع مجاورة لها إلى الشرق منها.



شكل (٩٣) خريطة لمواقع التدهور في الأراضي الزراعية وتصحيرها في محافظة حماه.. وغيرها

و- التلوث:

إن الملوثات التي تطلقها المعامل والمصانع ووسائل النقل... وغير ذلك، تلحق أضراراً كبيرة بالمحاصيل الزراعية، وفي التربة الزراعية نفـسها، بخاصة إذا ما كان مصدر التلوث قريباً من أرض زراعية، وكانت تلك الملوثات المنطلقة بكميات كبيرة من نوعية مؤذية. وقد بدأت آثار هــذه الطـاهرة تـبدو واضحة في بقاع عدة من العالم، كما هو الحال في الأراضي الواقعة بالقرب من معامل الإسمدة جنوب غربي مدينة حمص.

وتعد الأمطار الحامضية مشكلة بيئية متعددة الجوانب، تبـرز آثارهاـا واضحة في تدهور التربة الزراعية برفع درجة حموضـتها، والقـضاء علـى النباتات التي تسقط عليها، والنتيجة تصحر مساحات من الأرض، كما حدث في شمالي أوروبا وغربها، وفي الأجزاء الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة.

يضاف إلى ما تقدم الآثار غير المباشر للملوثات الجوية المتزايدة زمناً، والتي توجه المناخ العام وجهة

معينة، إما نحو التسخن، وإما نحو التبرد. وفي كـ لا الحـ التين سـ يحدث تزحزح للطاقات المناخية الرئيسة إما باتجاه القطبين في حـ الـ التـ سخن، إمـ ا باتجاه خط الاستواء في حال التبرد. وفي الحالتين تتصحّر مناطق على حـ ساب أخرى، ويتراجع التصحر منحسراً من مناطق.

٤- نتائج التصحر:

إن مشكلة التصحر، هي إحدى المشكلات الأرضية البيئية المباشرة التي يعاني منها مئات الملايين من البشر والحيوانات في العالم. ولقد ارتسمت مظاهره بـ شكل جلي في أجزاء شاسعة من الكرة الأرضية في المائة سنة الماضية.

ولم يقتصر تأثير التصحر على البيئة الحيويّة - مـ ن نبـ ات وحـ وان وإنسان- بل تعداها إلى البيئة الطبيعية. وآثاره كبيرة ونتائجه حـ سيمة، ويمكن حصرها في مجموعتين.

٤- ١ - نتائج طبيعية:

يترك التصحر بصمات واضحة في البيئة الطبيعية، متمثلة في الآتي:

أ- تقلص مساحات الأشجار الغابية:

يصاحب التصحر بتبدلات خطيرة في الأنظمة البيئية، يتمثل بشكل واضح في تدهور الأشجار الغابية في المناطق الجافة وشبه الرطبة وتناقص أنواعها. فقد حدث تدهور في غابات الصنوبر الحلبي، وصنوبر بروتيا، والسنديان العادي والبطم الأطلسي، والقفاف، والأكاسيا... وغير ذلك، وحل بـ دل الأشـ جار التـ ي تلاشت مجتمعات نباتية جفافية منخفضة القيمة الاقتصادية وصحية وعيفة الحماية.

للتربة، محل الأشجار الغالبة الأصلية. ففي السودان الذي ينتج نحو (٧٥%) من إنتاج الصمغ العربي العالمي، تعرض هذا الإنتاج للانخفاض، كما تعرضت أشجار الصمغ العربي والمر والبخور في الصومال إلى التدهور وانخفاض إنتاجيتها. وفي موريتانيا انخفضت أعداد شجرة الصمغ العربي كثيرًا، حتى لنجدها انقرضت من بعض المناطق نهائيًا.

وفي سورية تقلصت مساحة الأشجار الغالبة بشكل كبير خلال المئة سنة الماضية بسبب الإنسان بالدرجة الأولى، بحيث لم نعد نعثر على أشجار البطم سوى في بقع محدودة في جبل البلعاس لتختفي نهائيًا تقريبًا من جبال عبد العزيز شمالي سورية، بينما تلاشت أشجار السويد من المنطقة الواقعة غرب جبل البلعاس. كما لم يبق من غابات البطم الأطلسي في الجزء الشمالي من شبه الجزيرة العربية إلا بعض الأشجار المتفرقة التي تعجز عن تأمين تجدها الطبيعي.

ب - تدهور نباتات المراعي:

لقد نجم عن الرعي الجائر والمبكر والحراثة المتكررة تدهور في الغطاء النباتي الرعوي في مساحات شاسعة. فقد تناقصت الأنواع النباتية عالية الاستساغة، مثل: الروثا، الرزية، الفتاد، والعرفج، والقطب، وأنواع أخرى. وقد انقرضت بعض تلك الأنواع من أماكن كثيرة، وحلت بدلاً من تلك الأنواع نباتات قليلة القيمة الرعوية إلى متوسطة أو منخفضة في العديد من المناطق الرعوية، كما في نباتات: الحرمل، العشار، النميص، الصر، العاقول... إلخ.

ج - اختفاء الحياة الحيوانية البرية واضطرابها:

ينجم عن تدهور البيئة النباتية والصيد الجائر لأنواع عدة من الحيوانات، حدوث تدهور في الحياة الحيوانية البرية. فحيوانات كثيرة انقرضت أو في طريق الانقراض من المنطقتين الجافة وشبه الجافة. فمن السودان اختفت العديد من

الحيوانات البرية مثل النعامة، والبفر الوحشي، والأيل (Dama) والماعز الجبلي. كما انقرضت النعامة والمها من بوادي المشرق العربي وشبه الجزيرة العربية. وكذلك الحال في الغزلان التي في مرحلة شبه الانقراض. بجاذب أند-واع م-ن الوحوش المفترسة التي انقرضت أوهي في طريق الانقراض.

د - تدهور التربة:

إن تدهور التربة في المناطق الجافة وشبه الجافة هو نتاج التصحر، إذ ينجم عن حراثة الأرض والرعي الجائر والمبكر والاحتطاب، تفكك التربة وتعرضها بشكل مباشر لقوى التعرية (الماء والهواء)، مما يترتب على ذلك؛ انخفاض وفي خصوبتها وتدن في سماكتها، بل زوالها نهائياً من بعض الأماكن، حيث يظهـر الصخر الأم، أو تظهر القشرة الصخرية إن كانت كلسية أو جبسية.

ومحصلة هذا وذاك، إثارة للأتربة بفعل الرياح الشديدة وانتقالها إلى مناطق أخرى لتترسب فيها على شكل أكوام من الرمال أحيانا تعرف بالكثبان الرملية التي تكون في هيئة حركة دائبة.

هـ - ازدياد نسبة الجريان السطحي لمياه الأمطار:

يترتب على التصحر انعدام الغطاء النباتي، وبالتالي ازدياد نسبة الجريان السطحي للمياه فوق المنحدرات وفي الأودية، خصوصاً وإن الأمطار وفي المناطق الجافة يغلب عليها النوع الانهماري الذي يسبب السيول والفيضانات، مع ما تحمله تلك السيول معها من أتربة، وما تخلفه من أضرار وفي المنشآت الاقتصادية (السدود.... وغيرها) والممتلكات والأرواح.

و - التغير في مظهر سطح الأرض:

ينجم عن التدهور البيئي باتجاه الصحراء، تغير في المظهر الخارجي للأرض (الحيوي وغير الحيوي)، إذ تقل النباتات وتتبعثر حتى تتلاشى عندما

يصبح التصحر شديداً. وتحل الكثبان الرملية وبحار الرمال الشاسعة والأرض الصخرية المعراة بدلاً من البيئة السابقة.

٤-٢ - نتائج اقتصادية واجتماعية:

يترتب على التصحر مجموعة من النتائج الاقتصادية والاجتماعية، نوجزها في الآتي:

أ- تفلص مساحات الأراضي الرعوية والزراعية:

ينجم عن تصحر الأراضي سواء بفعل قلة الهطول أو انقطاعه، أم بفعل الإنسان وأنشطته المختلفة واستغلاله غير العقلاني للأرض، توسعاً في مساحات الصحارى على حساب البيئات الرعوية والزراعية، مما يترتب عليه انخفاض ملحوظ في نسبة مساحة الأراضي الرعوية والزراعية.

وتبين التقديرات أن ثلث مساحة المراعي الطبيعية الجيدة في المشرق العربي في تدهور نتيجة زراعة الحبوب في المناطق التي يقل معدل أمطارها عن (٢٠٠مم). بجانب ما خرج من الأرض الزراعية في سهول وادي الفرات (العراق وسورية) وفي وادي النيل بفعل التملح الزائد، حيث أصبحت مساحات كبيرة من تلك الأراضي متصحرة كلياً. وعلى الرغم من الإجراءات القانونية التي تحظر حراثة الأرض وزراعتها في المناطق التي يقل معدل أمطارها السنوية عن (٢٠٠مم)، والتي هي إجراءات تحمي تلك المناطق أقل ما يكون من عامل هام من عوامل تدهورها، إلا أنه يتم تجاوز هذه الإجراءات في المنطقة العربية، بحيث نجد الأرض تحترق وتزرع في بقاع من الأراضي السورية ذات المعدل المطري السنوي الذي يقارب من (١٥٠مم) ويتدنى عنه.

ب - انخفاض القدرة الرعوية والإنتاجية الزراعية والحيوانية:

بغض النظر عن المساحات التي تصحرت نهائياً وخرجت من حيـز الاستغلال الرعوي والزراعي، فإن المساحات المتبقية من الأراضي الجافة وشبه الجافة التي تتراوح أمطارها السنوية بين (٢٠٠-٣٥٠مم) والتي لم تتـصحـر بشكل كامل، وإنما تعرضت لتدهور متفاوت الدرجات، تصحر خفيف ومتوسط، فقد انخفضت إنتاجيتها بشكل واضح. إذ تدنى إنتاجها الزراعي بما لا يقل عن (٢٠%) في الأحوال الاعتيادية، وليفصل إلى (٨٠%) في السنوات الشديدة الجفاف، حتى لينعدم الإنتاج في بعض السنوات التي لا تحظى بالحد الأدنى المطري، كما حدث ذلك في مساحات شاسعة من الأراضي الزراعية في سورية خلال سنوات (١٩٥٨-١٩٦١)، و(١٩٨٩-١٩٩٠). وكما حدث أيضاً في السودان في أوائل الثمانينات، وفي دول الساحل الأفريقي الأخرى غربـي السودان. وفي مناطق متعددة من العالم، ولكن خلال فترات زمنية غير متوافقة مع بعضها تماماً؛ كما هو الحال في الجفاف المدمر الذي تعرضت له أستراليا في أعوام ١٩٠٠-١٩٠٣ و١٩١٢-١٩١٥ و١٩٦٥-١٩٦٧ وعام ١٩٧٢.

كذلك تقلصت أعداد الثروة الحيوانية بشكل كبير في الفترات الطويلة الجفاف التي مرت على بعض مناطق العالم، حتى لنجدها قد تلاشت من المناطق التي تصحرت نهائياً- شكل (٩٤) - .

ج - الهجرة:

ينجم عن انخفاض إنتاجية الأراضي الزراعية والمراعي في البيئات الجافة وشبه الجافة التي قطعت شوطاً في طريق التصحر، عدم قدرة تـلك الأراضي على إعالة الأعداد السكانية التي كانت موجودة في ظل الظروف الأولية غير المتصحرة مما يضطر السكان إلى الهجرة بشكل مؤقت أو دائم إلى

مناطق أخرى تتوافر فيها سبل الحياة والعمل سواء ضمن الدولة نفسها باتجاه المدن أو باتجاه دول أخرى.



شكل (٩٤) معاناة الحيوانات من التصحر

وفي العديد من الحالات تكون الهجرة المؤقتة جماعية - نسبياً باتجاه الأراضي الزراعية الخصبة أو نحو أراضي الدول المجاورة التي لم يصبها الجفاف بالدرجة التي أصاب أراضيهم، حيث يهاجر السكان مع قطيعهم الحيواني. تاركاً ذلك أثراً كبيراً على البيئة الجديدة التي يستقرون فيها مشكلين عبئاً عليها، وعاملاً مساعداً على تدهورها. وقد يترتب على نزوح السكان مع حيواناتهم من أراضي دولة إلى دول أخرى بعض المشاكل السياسية بين الدولتين.

٥ - أساليب مكافحة التصحر والحد من مخاطره:

نتيجة لازحف الصحراوي وآثاره السلبية المتعددة على الأحياء كافة، قامت العديد من المحاولات التي تهدف إلى الحد من تقدم الصحراء وإيقاف التدهور البيئي، ومنعه، وإعادة البيئة إلى سابق عهدها، انطلاقاً من العوامل المسببة للتصحر:

ويمكن إيجاز أهم الأساليب الممكن اتباعها للحد من التدهور البيئي ومكافحة التصحر في المجموعتين التاليتين:

٥-١ - الأساليب الوقائية:

وتتمثل في مجموعة من الإجراءات الغاية منها العمل على الحد من التدهور البيئي باتجاه التصحر، ومن هذه الأساليب:

أ- تحديد المناطق الرعوية بشكل دقيق، ومنع أية حرائق فيها لزراعتها بأي محصول زراعي. ويمكن اعتماد الخط المطري السنوي (٢٥٠-٣٠٠ م) الحد الأدنى والأنسب للبيئة الرعوية في العالم.

ب- تخطيط استثمار المنطقة الهامشية للصحراء ذات الأمطار السنوية (٢٥٠-٣٠٠ م) حسب أوليات الخطط الاستثمارية إما للرعي وإما للزراعة.

ج- ترشيد استخدام المياه في مجال الزراعات المروية في المناطق الجافة بغية الحد من تملح التربة والتوجه نحو المحاصيل ذات الاحتياجات المائية الأقل، واتباع أفضل طرق الري المعروفة عالمياً.

د- تثبيت الكثبان الرملية وإيقاف زحف الرمال عن طريق زراعة بعض الأنواع الشجرية. وقد جاء مشروع الحزام الأخضر في العديد من الدول العربية ليسهم في الحد من هذه الظاهرة. بجانب فوائده الحزام الأخضر يضر الأخرى في تحسين البيئة المحلية.

هـ- منع الرعي الجائر والمبكر في مناطق البوادي... واتباع نظام الحمى تقليداً لما كانت تقوم به القبائل البدوية سابقاً، ولكن بطريقة مغايرة ومنظمة.

و- الحد من عمليات الاحتطاب للنباتات والشجيرات المعمرة. ومنع قطع الأشجار أو حرقها.

و- إيقاف تدهور التربة في مناطق الزراعة المطرية حيث مع- دل كمية- الأمطار السنوية بين (٣٠٠ - ٥٠٠ مم)، باتباع الطرق السليمة في حراثة المناطق المنحدرة، بحيث تتم الحراثة مساندة لخطوط التسوية (الكتل- ور)، واتباع دورة زراعية ملائمة، وزراعة البقوليات ضمن الدورة الزراعية، وت- رك- م- ساحات مناسبة للرعي بغية الحد من الرعي الجائر أو اتباع نظام التبوير السنوي.

ي- ضبط الحمولات الحيوانية طبقاً للطاقة الإنتاجية للمراعي. وتطبيق- ق برامج تنموية تتناسب مع المعطيات البيئية السائدة.

٥-٢- الأساليب العلاجية:

تهدف الأساليب العلاجية إلى تحسين البيئة المت- دهورة بغية- اس- ترجاع طاقتها الحيوية لتعود إلى سابق عهدها، ومن تلك الأساليب:

أ- تعزيز العناية بجمال المناطق الجافة وشبه الجافة، بزراعتها- ب- أنواع شجرية متحملة للجفاف بغية الحد من انجراف التربة، ومنع- ت- دهور نظامها- البيئي. ويمكن أن تتم الزراعة بطريقة المدرجات. إضافة إلى حماية ما تبقى من غطاء شجري غابي، كما في غابات البطم في جبال البلعاس السورية.

ب- محاولة إعادة الغطاء النباتي في بيئة المراعي إلى سابق عهده، م- ن خلال زراعة أنواع من النباتات العشبية وبعض الشجيرات ذات القيمة الرعوية- المقاومة للجفاف (الروثا، الرغل... وغيرهما).

وقد أثبتت المحميات التي أقيمت في سورية والأردن... وغيرهما- م- ن الدول العربية ودول العالم، قدرة الإنسان على إصلاح ما أفسده هو- ع- ل- م- ر- السنين، وإعادة الحياة الطبيعية إلى سابق عهدها. ومن الأمثلة- ع- ن المحمي- ات المشهورة في الدول العربية نذكر: محمية الشومري، ومحمية الأزرق في منطقة الأزرق شمال شرقي الأردن، ومحمية وادي موجب ... إل- خ- م- ن المحمي- ات

الأردنية. وكذلك الحال في محمية وادي العزيب الرعوية في س- وربة، ونح- و (١٠٠) محمية أخرى.

ج- استصلاح الأراضي المتدهورة من جراء التملح في مناطق الزراعة- المروية، والعمل على تطبيق أفضل الأساليب وأنجع المحاصيل الزراعية التي تسهم في وقف التملح والحد من تفاقمه.

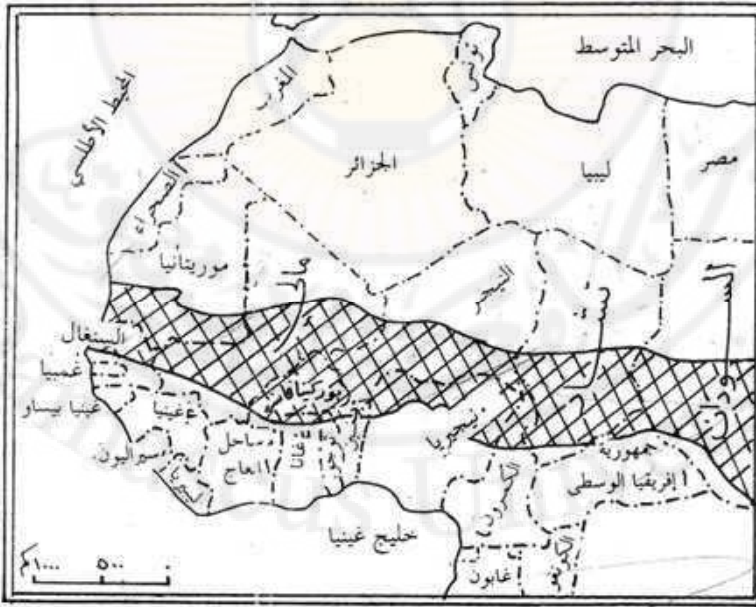
د- استرجار المياه إلى المناطق المتصحرة من المصادر القريبة، س- واء كان المصدر المائي نهراً (أنهار الفرات والنيل والأردن.. وغيرهم) أم بحراً بعد تحلية مياهه. كما يجب الاستفادة إلى أقصى درجة ممكنة من مياه الأمطار التي يغلب عليها الطابع الانهماري السيلي بإقامة السدود السطحية.

ويمكن ذكر أحد المشاريع الضخمة في سبيل مكافحة الت- صحر وتوسيع رفعة الأرض الزراعية، مشروع النهر الصناعي العظيم في ليبيا الذي يتم عبره نقل المياه الجوفية مسافة تقارب من (١٦٠٠ كم)، وذا- ك م- ن من- اطق الكف- رة وتارزبو- في الجنوب- مروراً بالسريـر وفزان حتى الأرض- ي القريبة م- ن الساحل الصالحة تربتها للزراعة. وقد تم إنجازها في الربع الث- اني م- ن القرن العشرين...؟

هـ- الحد من الزحف العمراني على الأراضي الزراعية بأية ذريعة كانت. وإيقاف إقامة المنشآت الصناعية وسواها على الأراضي الزراعية، ب- ل العمل على نقل تلك المنشآت إلى مناطق غير صالحة للزراعة، كما في المنشآت المقامة، إلى الشرق من مدينة حماة في سورية، لما أسهمت به تلك المنشآت من تصحر، ولاستنزافها المياه الجوفية لحفرها آبار بأعماق كبيرة مخالفة للأنظمة، ولإسهامها في تلوث الوسط المحيط.

٦- أنموذج من الجفاف التصحري:

من الجفاف الكارثي الذي أحدث تصحيراً فـي الأرض، مميتاً الـزراع والضرع، محدثاً مجاعة وأمراضاً نتج عنهما موت أعداد كبيرة من البشر، ذلك الجفاف الذي طالت مدته لسبع سنوات في إقليم الـساحل الإفريقيـي (١٩٦٨- ١٩٧٥) الواقع إلى الجنوب من الصحراء الكبرى باتساع وسطى له بين (٤٠٠- ٨٠٠ كم)، حيث يمتد بين خطي عرض (١٣-١٨) شمال خط الاستواء، ممتداً من موريتانيا على ساحل الأطلسي حتى إريتريا، ليشمل أجزاء من الدول التالية: موريتانيا، السنغال، مالي، بوركينا فاسو، النيجر، نيجريا، تشاد، السودان، أثيوبيا، الصومال إريتريا- شكل (٩٥) -، بمساحة تقارب من (١٠) ملايين كم٢، وعدد سكان في حينه نحو (٦٠) مليون نسمة معظمهم من البدو. ومعدل أمطار سنوية عموماً بين (٢٠٠-٥٠٠ مم)



شكل (٩٥) إقليم الساحل الإفريقي

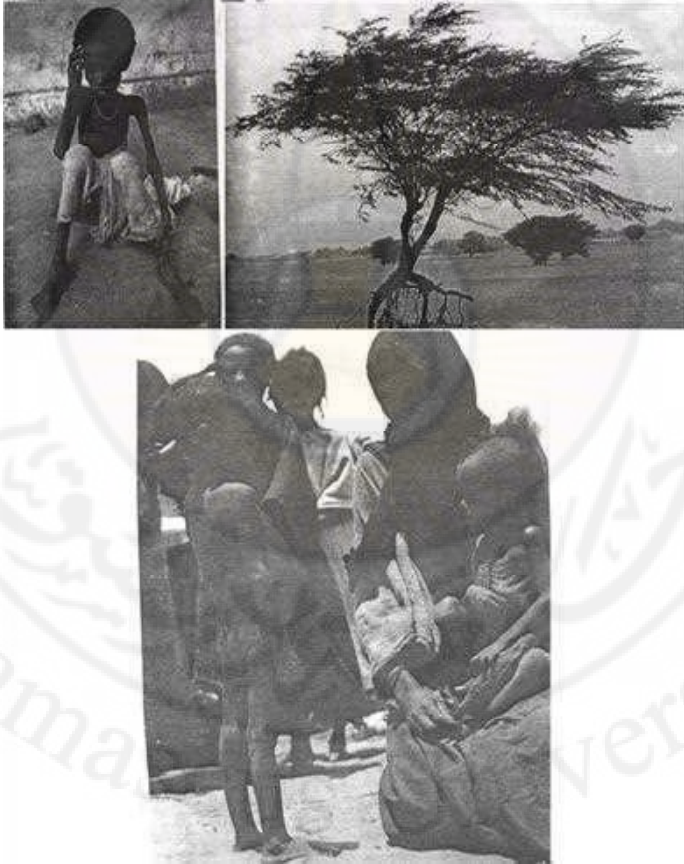
ولقد بدأت طلائع الجفاف في عام (١٩٦٨م) بتدنٍ للأمطار إلى دون المعدل بنحو (٣٠%) متعاطماً الجفاف سنة فأخرى إلى أن حلت سنة (١٩٧٢) التي حدث فيها احتجاب للهطول المطري كلياً عن معظم أراضي إقليم الساحل مستمراً ذاك في عام (١٩٧٣) وإن كانت هطلات فيه بضعة مليمترات سرعان ما تبخرت قبل أن تخضر الأرض. ومع بداية عام (١٩٧٤) كانت مياه نهر السنغال في قطاعه الأدنى في شح أوصلها إلى التوقف عن الجريان في شهر أيار قبل مصبه بنحو (٢٤٠ كم). ورغم أن الأمطار عادت للهطول في عام (١٩٧٤-١٩٧٥م) إلا أنها بقيت دون معدلها بنحو (١٥-٢٠%) مما لم يكن بإمكانها أن تحيي الأرض، ولكن عام (١٩٧٦م) كان عاماً مطيراً انتهت فيه موجة الجفاف الطويلة.

وكان من نتائج هذا الجفاف الطويل - شكل (٩٦) - :

- ١ - مجاعة كبرى أودت بحياة نحو (٤٠٠) ألف شخص.
- ٢ - القضاء على الغطاء النباتي الرعوي، مما تسبب في نفوق نحو (١٢) مليون رأس من لحيوانات (أغنام وسواها).
- ٣ - نقص كبير في المياه للشرب وسواها.
- ٤ - حدوث انهيار اقتصادي في موريتانيا والسنغال ومالي والنيجر وتشاد والسودان وإثيوبيا والصومال.
- ٥ - حدوث نزوح بشري كبير (نحو ١٠ مليون شخص) باتجاه الجذب إلى المناطق التي لم تعان الجفاف مما شكل ضغطاً على سكان تلك المناطق، ولا سيما أن هجرة الكثيرين اقترنت باصطحابهم لحيواناتهم معهم لإنقاذها وإنقاذ أنفسهم من الموت. كما أن البعض تركوا عائلاتهم ونزحوا فقط مع حيواناتهم لإنقاذها وإنقاذ مستقبلهم وحياة أبنائهم.

٦- ومما تجدر الإشارة إليه أن الأمين العام للأمم المتحدة صرح في عام (١٩٧٤) بأن (٢٥) مليون نسمة في إفريقية يعانون الجفاف والمجاعة.

٧- انهيار حكومات بعض الدول بسبب الضغوط الاجتماعية، نتيجة القحط والجفاف، إذ أطيح برئيس النيجر آنذاك (هاماني ديوري)، كما أطيح في ش-هر أيلول (١٩٧٤) بإمبراطور الحبشة (هيلاتسلاسي). وفي أواخر شهر أيار-م-ن عام (١٩٩١) أطيح أيضاً بالرئيس الإثيوبي (منغستوهيلا مريام).



شكل (٩٦) من نتائج الجفاف الطويل في إقليم الساحل الإفريقي

الفصل الثاني

الحرائق البرية

- ١ - ما الحريق؟**
- ٢ - أسباب الحرائق.**
- ٣ - الآثار البيئية للحرائق**
- ٤ - مقياس خطورة الحريق**
- ٥ - نماذج من كوارث الحرائق في العالم**
- ٦ - طرق مكافحة الحرائق.**

١ - ما الحريق (Fire)؟

الحريق: نار تشتعل في أية مادة قابلة للاشتعال، محرقة إياها، محولة بقاياها إلى رماد، متطايراً منها دقائق دخانية ناعمة سوداء، ومركبات غازية تختلف باختلاف نوعية المادة المشتعلة - وإن كان يغلب عليه أول أوكسيد الكربون (CO)، وثاني أوكسيد الكربون (CO₂)، ومركبات هيدروكربونية.. وغيرها-. وتبدو تلك النار عند توهجها بلون أصفر، مائل للحمرة، حسب درجة التوهج المرتبطة بدرجة حرارة النار.

وتتصف النار بسرعة انتقالها أفقياً في حال توفر المادة القابلة للاحتراق بشكل متواصل، وبخاصة في حال وجود رياح تعمل على نقل شرارات منها إلى مناطق مجاورة، مما يعمل على توسع دائرة انتشار الحرائق.

والحرائق التي سنركز عليها، هي الحرائق البرية (wildfires) التي تتعرض لها الحشائش الجافة، والغابات والأحراج. ونتيجة لانتشارها الأفقي بالرياح ومجاورتها للتجمعات البشرية، فكثيراً ما تتعرض تلك التجمعات لمخاطرها، مما يعظم الأضرار الناتجة عنها.

٢ - أسباب الحرائق:

إذا ما أهملنا الأسباب البشرية لحدوث الحرائق، وهي بالغة الأهمية، لمـا لها من تأثير في الطبيعة، وعلى المناخ الأرضي، وعالم الأحياء، فإن الأسباب الطبيعية تندرج في الآتي:

١-٢ - الصاعقة:

تعد الصواعق أهم عامل في إشعال الحرائق، لسببين؛ أولهما كثرة حدوثها وبخاصة في المناطق التي تتوفر فيها النباتات القابلة للاشتعال، وثانيهما، كونها

بمثابة نار تهبط من قاعدة السحب الرعدية، لتبلغ الأرض بدرجة حرارة (٣٠٠٠-٥٠٠٠°م) تحرق كل ما تقع عليه، حتى لنجد الصخر يتفحم (يصح لونه أسود)، ولتشعل بذلك أشد وأكبر وأخطر الحرائق وفي الغطاء النباتي المعرض لضرباتها. -شكل (٩٧) -.



شكل (٩٧) الصاعقة سببا في اشتعال الحرائق

وفي الولايات المتحدة -كمثال- فإن معظم الحرائق التي تحدث في الغابات -وسواها من الغطاء النباتي- سببها الأول الصواعق. ففي خلال العقد الأول من القرن العشرين، فإن أكثر من (١٥٠٠٠) حريق حدث في كل من الولايات المتحدة الأمريكية محدثة خسائر كبيرة في الممتلكات قدرت بمئات ملايين الدولارات، ومدمرة مساحة تقارب من (٨٠٠) ألف هكتار من الغابات. بالإضافة إلى عدد من الضحايا البشرية الذي قدر عددهم بأكثر من (٦٠٠) شخص.

٢-٢- موجات الجفاف:

الجفاف الذي تتعرض له مناطق عديدة لسنة ما، أو لعدة سنوات متلاحقة، بما ينجم عنه من يباس للحشائش وجعلها مادة سهلة الاشتعال. وكذلك جفاف أوراق الأشجار وأغصانها. وهذا ما يوفر المجال للحرائق خاصة في الفترة الحارة من السنة في حال توفر أي سبب لاشتعال النار؛ كـ أن يكـ ون احتكاك أوراق الأشجار وسيفانها، والنباتات الحشائشية الجافة، وذلك في حال هبوب رياح حارة، أو رمي أي أداة نارية، أو حدوث صاعقة. وعموماً فإن معظم الحرائق تحدث في فترات الجفاف من السنة. وكذلك تكثر في السنوات الجافة.

٢-٣- الموجات الحرارية:

تكثر الحرائق في الغابات والحشائش، إبان حدوث موجات حرارية شديدة ترتفع خلالها درجة الحرارة إلى أكثر من (7°C) فوق معدلها، وتستمر عدة أيام، مصاحبة بجفاف الجو إلى درجة كبيرة (انخفاض الرطوبة النسبية إلى ما دون ٢٥%) وكذلك جفاف التربة.

ففي الأسبوع الثاني من شهر تموز عام (٢٠٠٧) اجتاحت جنوبي أوروبا موجة حر شديدة، تجاوزت فيها درجة الحرارة (40°C)، متسببة في حدوث عدة حرائق؛ فإيطاليا دمرت الحرائق فيها إحدى الغابات الوطنية. أما في اليونان فقد اندلع أكثر من (١٠٠) حريق في الغابات، وبخاصة في أجزائها الوسطى، حيث طالت الحرائق الأراضي الزراعية، والتجمعات العمرانية - لتدمر نحو (٥٠) منزلاً وسبع كنائس -.

وكانت موجة حر (٤-١٨) آب عام (٢٠٠٣)، كارثية في أولسـط وجنـوب أوروبا، بما أحدثته من حرائق للنبات، ومخرية للتجمعات البشرية (القرى... وسواها).

وفي الأسبوع الأول من شهر آب عام (٢٠٠٧)، تسببت موجة الحر في اندلاع حرائق في جمهورية الجبل الأسود (شرقي البحر الأدرياتي، وشمال ألبانيا) قضت على مساحات واسعة من الغابات بالأحراج.

وقد شهد صيف عام (٢٠١٠) عدة موجات حرارية، أحدثت العديدم من حرائق الغابات خاصة في روسيا. كما تتعرض الأجزاء الغربية من الولايات المتحدة إلى الحرائق المدمرة في خلال حدوث موجات حرارية شديدة؛ وهذا يتكرر كثيراً. ولذلك حال جنوب وجنوبي شرقي أستراليا.

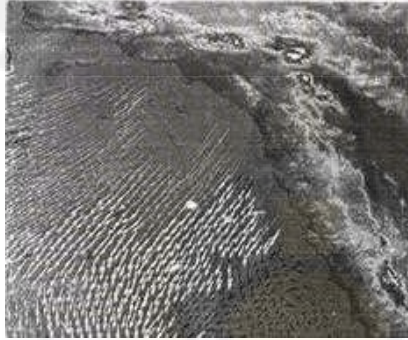
٢-٤ - هبوب رياح حارة جافة:

ينجم عن هبوب رياح جافة في مواسم الجفاف من السنة حرائق تطال مساحات شاسعة من الغابات والأحراج والحشائش والمحاصيل الزراعية، ولتصل حتى المناطق العمرانية. إذ قد تتولد النار من الاحتكاك بين النباتات الجافة، أو بسبب حدوث صاعقة.. أو غير ذلك. وهذا ما يحدث عند هبوب رياح الخماسين (السموم في سورية) في بعض السنوات في مناطق شرقي البحر المتوسط. وشمال أفريقيا - وذلك في أواخر فصل الربيع، وكذلك في أجزء من الولايات المتحدة الأمريكية، وبخاصة في غربها الأكثر شهرة بحرائق الرياح الحارة (السانتا آنا، الديابلو) ذات الانتشار الواسع - شكل (٩٨) -.

ومن الأمثلة عما سببته الرياح الحارة من حرائق، نذكر:

في شهر تشرين الثاني عام (١٩٦١م) تسببت رياح سانتا آنا في حريق دام ثلاثة أيام في ولاية كاليفورنيا الأمريكية، مدمراً (٤٨٤) منزلاً، ومتسبباً في خسائر قيمتها (٢٥) مليون دولار.

وخلال شهر تشرين الأول عام (١٩٧٧م) فإن الرياح السابقة الذكر اللافحة، تسببت في حرائق طالت (٢٥٠٠٠) فداناً بتساع (١٦) كم عبر جبال سانتا مونيكا، ومدمرة (٩١١) منزلاً، وخسائر بملايين الدولارات.



شكل (٩٨) رياح سانتا آنا
في غربي الولايات المتحدة
سبباً في اشتعال الحرائق
في كاليفورنيا وكولورادو

أما الحريق الذي سببته رياح سانتا آنا (وصلت سرعتها النفجية إلى أكثر من ٣٣ م/ثا)، في كانون الأول عام (١٩٨٨) إلى شرق لوس آنجلوس، فقد تسبب في تحطيم خطوط نقل الطاقة، وبقاء نحو (٣٠٠٠٠٠) شخص دون كهرباء، في حين دمرت ألسنة اللهب أكثر من (٧٠) منشأة. وفقدت الخسائر بأكثر من (١٥) مليون دولار.

٢-٥ - تيار النينو:

رغم أن تيار النينو، الذي هو تيار مائي حار في وسط المحيط الهادئ الاستوائي - متدفقة مياهه الحارة شرقاً على جانبي خط الاستواء وبخاصة جنوبيه، من نحو خط طول (١٨٠) حتى سواحل القارة الأمريكية الجنوبية - إلا أن تأثيراته

المناخية تكون واسعة على مستوى مناطق عديدة من الكرة الأرضية، بما يتولد عنه من جفاف وارتفاع حراري في بعض المناطق، وبالتالي اشتعال للحرائق، كما في الحرائق التي توافقت مع دورته (١٩٨٢-١٩٨٣)، وكذلك دورته لعام (١٩٩٧-١٩٩٨)، حيث اجتاحت الحرائق ماليزيا وأندونيسيا في شهر أيلول عام (١٩٩٧)، وكذلك تعرضت أستراليا للحرائق في أواخر عام (١٩٩٧)، وأوائل عام (١٩٩٨)، ولتنتشر الحرائق في غابات بورنيو خلال شهر نيسان عام (١٩٩٨).

٢-٦- الزلازل والبراكين:

كثيراً ما ينجم عن الزلازل التي تكون مراكزها قريبة من التجمعات البشريّة الكبرى حدوث حرائق، بفعل تكسر أنابيب الغاز، أو تحطم أسلاك الكهرباء وملامستها المواد قابلة للاشتعال، أو حدوث تماسات كهربائية. وكذلك بسبب تعرض معامل بعض الصناعات إلى الاحتراق لوجود فيها مواد سريعة الاشتعال.

كما أن البراكين عاملٌ بارز في اشتعال الحرائق، وذلك عند تساقط الرماد البركاني والمفذوات الصخرية الأخرى ذات الحرارة العالية، على أراضٍ مغطاة بالحشائش اليابسة والغابات. بجانب ما تحدثه المفذوات البركانية المرتدة نحو السطح من تحطم لخطوط نقل الطاقة الكهربائية وما يتولد عنها من حرائق. والمتساقطات البركانية حارقة لكل ما تسقط عليه من نبات وحيوان وبشر. شكل (٩٩).



شكل (٩٩) البراكين سبباً في اشتعال الحرائق

٧-٢ - العواصف الريحية:

ينحصر دور العواصف الريحية في زيادة رقعة انتشار الحرائق، لما تقوم به من سرعة انتقال النار. وكذلك فيما تعمله من حدوث تطاير وانتقال أفقي سريع للدقائق النارية إلى أماكن بعيدة، مسهمة في اندلاع المزيد من الحرائق.

٣ - الآثار البيئية للحرائق:

إنها النار الحارقة التي لا ترحم ما يقع في طريقها من أحياء؛ فهي تحرق وتقتل وتدمر كل شيء، وتؤثر على مناحي البيئة كافة، ملوثة الهـواء والمـاء والتربة. ومشوهة مناظر ما تلفحه:

ومن أبرز الآثار البيئية للحرائق:

٣-١ - تدمير الغطاء النباتي:

تسبب الحرائق تدميراً كلياً – أو جزئياً- للغطاء النباتي؛ سواء الغابات الشجرية، أو الأراضي الحشائشية في مناطق السافانا المدارية أوفي العـروض المعتدلة، ولتطال أيضاً المحاصيل الزراعية.

وبجانب الحرائق الطبيعية التي لا دخل مباشر للإنسان في حدوثها، إلا أن الإنسان لجأ منذ القديم إلى إزالة الغابات وسواها بالحرائق، لإحلال الزراعة بدلاً منها، وهذا ماشهدته في السنوات الثلاثين الماضية غابات الأمـازون فـي البرازيل، وكذلك غابات أندونيسيا من اشعال الحرائق فـي مـساحات منها وتطهيرها كلياً بتحويلها إلى أراض زراعية.

٣-٢ - القضاء على الحيوانات البرية:

تكون حيوانات الغابة، وسواها من الحيوانات في مناطق الحرائق هــدفاً مباشراً للنيران التي تقضي عليها، وحتى حيوانات التربية (أغنام، أبقار...الخ) التي تعرضت إلى نفوق أعداد كبيرة في الحرائق.

٣-٣- تدمير التجمعات البشرية:

تتعرض التجمعات البشرية التي تقع ضمن مناطق الغابات والحشائش التي تشتعل فيها النيران - وكذلك التجمعات الواقعة على أطراف الحرائق التي تمتد إليها النيران - إلى تخریب وتدمير في خطوط نقل الطاقة، والاتصالات وما ينتج عن ذلك من حرائق تطال المنازل وتدمير محتوياتها، وكل ما هو قابل للاشتعال فيها. ولن تترك الحرائق التي تغزو المدن وسواها. الحدائق والمتنزهات دون أن تقضي عليها النيران.

٣-٤- تلوث الهواء:

تعد الحرائق مصدراً من مصادر تلوث الهواء بأشكال التلوث المختلفة (الجسيمية والغازية)، بحيث تتخذ في السماء سحابة ضخمة سوداء م- ن دق- ائق الدخان المليئة بالمركبات الغازية (أكاسيد الآزوت، والكبريت والكربون...) التي تشكل المجال المناسب لتشكل ظاهرة الضبخان بما ينجم عنها م- ن ك- وارث حيوية، ولحدوث أيضاً الأمطار الحامضية. مرتدداً ذلك على التربة والمياه. ويفقد أن نسبة ما تطلقه الحرائق م- ن أكاسيد الكربون (CO₂, CO) وبخاصة CO₂ نحو (٢٠-٢٥%) مما ينطلق إلى الجو من احتراق الوقود الأحفوري.

٤ - مقياس درجة خطورة الحرائق:

تتباين خطورة الحرائق، تبعاً لطبيعة المواد المشتعلة، والأح- وال الجوية- السائدة. وهذا ما ينعكس على مدى إمكانية السيطرة عليها وإخمادها. وعلى ضوء ذلك وضع مقياساً لدرجة خطورة الحرائق. عرف بقرينة خطورة حرائق الغابات (FFDI)، وهو مقياس عددي يتألف من (١٠٠) درجة بدءاً، من الصفر حتى (١٠٠).

والجدول التالي (١٩) يبين درجة خطورة الحريق، ومدى إمكانية السيطرة عليه:

صعوبة إخماد الحريق	درجة خطورة الحريق	فريضة خطورة الحريق
إيقاف تلقائي - دم الحريق - ق بولاس - طة الطرق - ات والأسيجة	منخفضة	٢,٥ - ٠
إيقاف تقدم الحريق بسهولة برشه بالماء	متوسطة	٧,٥ - ٢,٥
إيقاف تقدم الحريق بشكل عام بصورة ناجحة بالماء	مرتفعة	٢٠ - ٧,٥
يمكن إيقاف تقدم الحريق في حالات ملائمة وذلك بمنع مؤخرته من التقدم.	مرتفعة جداً	٥٠ - ٢٠
القضاء مباشرة على الحريق صعب. ومنع مؤخرة الحريق من الاستمرار أيضاً صعب بسبب الجمرات (جذوات النار) المتخلفة، التي تتطلب جهداً وتكلفة.	فائقة الارتفاع (قصوى)	١٠٠ - ٥٠

٥ - نماذج من الحرائق البرية (Wildfires):

الحرائق ظاهرة عادية ومألوفة في أية بيئة حيوية. لا تنجو منها قارة من القارات. وإذا كانت معدومة عموماً في العروض العليا الباردة، ونسبياً في المنطقة الاستوائية الرطبة دائماً، فإنها تكثر في العروض المدارية وشبه المدارية والمعتدلة، التي تتميز بفصلية مناخية واضحة وغنى بغطائها النباتي.

وفيما يلي عرض لنماذج من بعض الحرائق في مناطق مختلفة من العالم:

٥-١- حرائق أندونيسيا (١٩٩٧):

في شهر أيلول عام (١٩٩٧) تعرضت الجزر الإندونيسية إلى عـدد مـن الحرائق المدمرة التي لم يكن بالإمكان السيطرة عليها، لتأتي على أكثر من (٣٠٠,٠٠٠) هكتار من الأراضي الشجرية في عدة جزر (سومطرة، بورنيو، سولاويزي، جاوه).

وكان السبب في اشتعال تلك الحرائق، الجفاف الذي عانت منه تلك المناطق الجزرية، والارتفاع الحراري، اللذين عزيا إلى تيار النينو في ذلك العام. شكل (١٠٠).

ونتيجة لعدم إمكانية إخماد الحرائق بسرعة، فقد غطيت السماء بسحابة كبيرة من السحب الدخانية والملوثات المختلفة، التي غمرت مراكز المدن، مؤثرة على أكثر من (٧٠) مليون شخص، منتشرة بواسطة الرياح عابرة مضيق مالقا، ومنتخدة شكل طبقة رقيقة من الضبخان الذي غطى معظم أندونيسيا وبروناي، ولتمتد غرباً إلى ماليزيا وسنغافورة.



شكل (١٠٠) حرائق اندونيسيا عام (١٩٩٧)

وتشير التقديرات إلى أن كمية الكربون التي انطلقت من الحرائق إلى الجو بلغت نحو (٢,٦) بليون طن.

٥-٢- حريق ويسكونسن في الولايات المتحدة (١٨٧١):

أحد أشهر حرائق الغابات في تاريخ الولايات المتحدة، الذي لا يمكن تجاهله، بسبب المصادفة الشاذة لذاك الحريق. فالحريق ضد رب مكاناً تحتله غابات عذراء قرب مدينة بشتيجو (PESHTIGO) في شمال غرب ولاية ويسكونسن، وذلك في يوم (١٨) تشرين الأول عام (١٨٧١م).

ففي بعد ظهيرة يوم الأحد الثامن عشر من شهر تشرين الأول كان الطقس صحواً وجافاً وشديد الحرارة، ولتنطلق العديد من الحرائق الفريدة التي تجمعت معاً، ممتدة على هيئة لسان ضخم من اللهب الذي غطى مدينة بشتيجو في صورة عاصفة نارية وكأنها تورنادو ناري. ولتأتي النيران على أكثر من (٤٠٠) ألف هكتار من الغابات، ولتقتل نحو (١٥٠٠) شخص.

إن كارثة بشتيجو في غابات ويسكونسن، مازالت في ذاكرة الأمريكيين حتى اليوم بسبب حدوثها في اليوم نفسه والساعة نفسها تقريباً الذي حدث فيه حريق شيكاغو الكبير.

ولقد تعددت الآراء وتباينت بشأن أسباب الحريقين، ليتم التوقف عند أن ما أشعل الحريقان هي قطعة مذنبية انفجرت في الجو الأدنى فوق الغرب الأوسط الأمريكي، فاذة أجزاء منها إلى الأرض بحرارة عالية.

٥-٣- حريق بيركلي (Berkeley) عام (١٩٩١):

في أواخر شهر تشرين الأول عام (١٩٩١) حدث حريق في التلال خلف أوكلاند وبيركلي في كاليفورنيا الغربية، وطال المدينتين، مما صنفه البعض ضمن حرائق المدن. فخمس سنوات جفاف حلت في المنطقة وفي أواخر الثمانينات ليعقبها صيف غير عادي في شهر كانون الأول عام (١٩٩٠) الذي تلاه أمطار ربيعية، أنتجت نمواً سريعاً للحشائش، ولتتولد ذلك جفاف امتد حتى

شهر تشرين الأول عام (١٩٩١)، والناتج كمية كبيرة مـن النباتات الجافة. وليضرب حريقٌ هائلٌ المنطقة الذي أعقبه هبوب رياح الديابلو (Diablo) الحارة والجافة التي دفعت بالنيران في اتجاهات مختلفة، لتقتل (٢٥) شخصاً، ولتدمر نحو (٢٥٠٠) منزل. وما إن أشرف الحريق على نهايته، حتى كان قد أتى على نحو (٦٥٠) هكتار، محدثاً أضراراً كبيرة في الممتلكات تجاوزت قيمتها (١,٥) بليون دولار.

٥-٤ - حرائق كاليفورنيا:

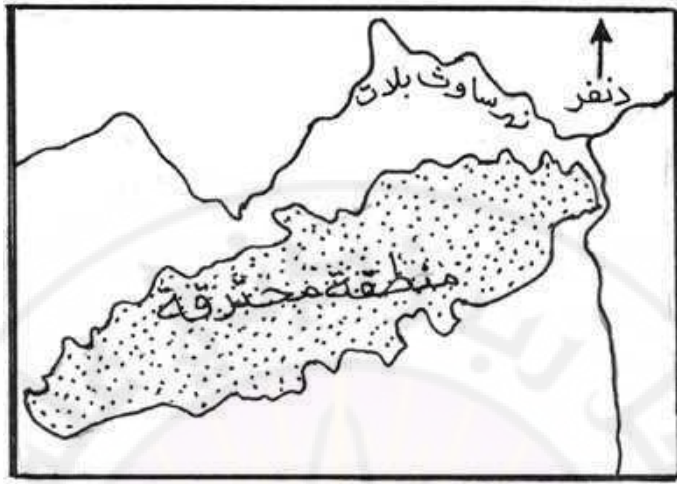
التهبت كاليفورنيا الجنوبية بالحرائق التي سببتها رياح سانتا آنا، فيما بين (٢٧) تشرين الأول و(٤) تشرين الثاني عام (١٩٩٣)، حيث نشب (١٥) حريقاً في المنطقة، مسببة في دمار أكثر من (١٠٠٠) منزل، وأضراراً في الممتلكات فاقت قيمتها (١) بليون دولار. وقُتل شخصان.

وفي عام (١٩٩٧) تفحمت مساحة كبيرة مـن الغابات (أكثر مـن ١٢٠ هكتار) في كاليفورنيا الجنوبية، متحولة الأرض إلى جراء عارية، قبل أن تهطل الأمطار في شتاء (١٩٩٧-١٩٩٨).

وعشرة من تلك الحرائق تدفقت نواتجها مع الفتات الصخري بالفيضانات التي أحدثتها العاصفة المطرية والتي اجتاحت مساحات واسعة.

٥-٥ - حرائق بوفالو كريك (Buffalo Creek):

في شهر أيار عام (١٩٩٦) اشتعلت النيران في (٤٨٠٠) هكتار مـن منطقة بوفالو كريك الصغيرة ومنطقة سبرنج كريك (spring creek) في شـمال كولورادو. شكل (١٠١).



شكل (١٠١) حرائق نيوفاونلوكريك في شهر أيار عام (١٩٩٦)

وفي الأسبوع الثاني من شهر حزيران (عام ٢٠١٢)، شبت حرائق كبرى في غابة ولاية كولورادو الأمريكية، ساعد في اندلاعها موجة الحر التي شهدتها الولاية، وهبوب رياح سلنتنا آنا الحارة والجافة، لتأتي الحرائق على نحو (٣٠٠) منزل، وتسبب في إجلاء نحو (٣٦) ألف شخص عن منازلهم. مع وفاة ام-رأة من الحرائق.

٥-٦- حرائق أستراليا:

تختلف فصول الحرائق في أستراليا، تبعاً لأنماط الطقس المختلفة السائدة. ففي معظم أستراليا الجنوبية، فإن فترة الخطر تكون في الصيف والخريف. أما بالنسبة لنيوساوث ويلز وكوينزلاند الجنوبية فقمة خطر الحرائق عادة في الربيع وأوائل الصيف. في حين تتعرض أستراليا الشمالية لمعظم حرائقها في الشتاء والربيع. شكل (١٠٢).

ومما تتصف به أستراليا، أن أشجارها وشجيراتنا سريعة التأثير بالندار، بسبب طبيعتها القابلة للاشتعال، التي يصعب احتواء نيرانها والسيطرة عليها.

ففي (١٥) كانون الأول عام (١٩٩٧) تعرضت أستراليا لحرائق ضـخـمة كان من الصعب على رجال الإطفاء السيطرة عليها، حيث اشتعلت النيران فـي أحراش شمال غربي ولاية فكتوريا مدمرة نحو (٤٠٠٠) هكتار من الـشجيرات الطبيعية في حديقة موراي سنسيت (Murray-Sunset) الوطنية. وقد درءـد الحرائق بنحو (٤٥) حريقاً، بدأت في اليوم السابق (١٤/١٢). وقد تم ارجـاع سببها إلى ضربات الصاعقة التي طالت المنطقة.



شكل (١٠٢) الاختلافات الفصلية في أستراليا وبنائين الطقس

٥-٧- حرائق شمالي افريقية:

في النصف الثاني من شهر تموز عام (٢٠٠٥) تسببت موجة الحر التي اجتاحت شمالي أفريقية، وتجاوزت فيها درجة الحرارة (٤٥°م) في اندلاع (٢٨) حريقاً في غابات (١٤) ولاية بشمالي الجزائر. كما اندلع في تونس حريق ضخم أتى على (٧) هكتارات من الأشجار الغابية في غابة جبلية إلى الجندوب مـن العاصمة التونسية.

والجدول التالي (٢٠) يبين أهم الحرائق البرية منذ عام (١٩٧٥):

الموقع	الدولة	التاريخ	عدد القتلى	عدد المصابين
مقاطعة هيلونجيانغ	الصين	أيار ١٩٨٧	١٩١	٥٦٣١٣
فكتوريا	أستراليا	١٦ شباط، ١٩٦٣	٧٥	١١٠٠٠
بورنيو، سومطرة كليمانتان، جاوه، سالاويزي	أندونيسيا	آب ١٩٩١	٥٧	-
تيراى	نيبال	آذار، ١٩٩٢	٥٦	٥٠,٠٠٠
-	السودان	١٩ نيسان، ١٩٩٨	٤٧	-
جدانسك، سنرسين، كلتوويس، بيدويسز، ليجنيت	بولندا	تموز ١٩٩٢	٣٥	-
-	نيبال	اذار ١٩٩٩	٣٢	٤٠٠٠
-	روسيا	٧ تموز، ١٩٩٢	٣١	-
هونجكينغ	الصين	٦ آذار ١٩٩٥	٢٩	-
كاليفورنيا	الولايات المتحدة	٢٠ تشرين الأول ١٩٩١	٢٦	٦٩٣٣
هوفسجول، بولجان، أرخانجاي، خينتي، توف، دورنور، يوفس	منغوليا	أذار، ١٩٩٦	٢٥	٥٠٦١

٦- طرق مكافحة الحرائق والوقاية منها:

ليس من السهولة مكافحة الحرائق البرية التي تجتاح الغابات والـراري، لسعة انتشارها، وصعوبة التحكم بالقوى المحركة لها، الناشرة والذائرة إياها، وبخاصة الرياح. ولكونها في معظمها تحدث بشكل مفاجئ في هذه المنطقة أو تلك، وإن كانت احتمالات حدوثها محسوبة في ظل الموجات الحرارية وهذه وبالرياح الحارة.

وليس من وسيلة للمكافحة سوى استخدام المياه، سواء بالوسائل الأرضية المعروفة في محاولة الحد من انتشارها في أطرافها ووجهة تقدمها، أم باستخدام طيران الهيلوكوبتر (Helicopter)، برش الحرائق من أعلاها بكميات كبيرة من المياه - شكل (١٠٣) - .



شكل (١٠٣) مكافحة الحرائق باستخدام الطائرات

أما طرق الوقاية منها بالنسبة للإنسان والحيوانات، فيكون بالابتعاد عن مناطق مخاطرها وتأثيراتها في حال وجود تجمعات بشرية في دوائر خطرة الحريق، وكذلك إبعاد الحيوانات. بجاذب اللجوء إلى إقامة حواجز ترابية أو معدنية حول المناطق المهددة بالحرائق، بغية الحد قدر الإمكان من تقدمها.

الفصل الثالث

الهطل والتكاثف الحامضي

أولاً- الأمطار الحامضية (Acidic Rains)

- ١ - ما الأمطار الحامضية؟
 - ٢ - تشكل الأمطار الحامضية.
 - ٣ - التوزيع الجغرافي للأمطار الحامضية.
 - ٤ - الآثار المترتبة عن الأمطار الحامضية.
 - ٥ - إجراءات الحد من آثار الأمطار الحامضية.
- ثانياً- الضباب الحامضي (Acidic Fog).
- ثالثاً- الضبخان (Smog).

أولاً- الأمطار الحامضية:

١ - ما الأمطار الحامضية؟

هي الأمطار التي يتدنى الرقم الهيدروجيني (pH) لقطرات مائها دون (٦)، وهذا يتأتى من انحلال بعض الأحماض في قطرات الماء المطرية، كمـا في: حمض الكبريت (H_2SO_4) وحمض الآزوت (HNO_3)، وهمـا الحمـضان الأساسيان اللذان يكسبان المطر صفة الحامضية، رغم أن الأمطار تتضمن أيضاً حمض الكربون (HCO_3) إلا أن دوره في الحامضية محدود.

ولقد تم اعتماد مقياس عالمي للحامضية مكون من (١٤) درجة وفق الرقم الهيدروجيني. فعندما يكون الرقم الهيدروجيني (٧) فالماء يكون حيادياً متعادلاً (لا حامضياً، ولا قلويًا)، وهي خاصية الماء المقطر. وفي حال تجاوز الـ رقم الهيدروجيني (٧) فهذا مؤشر على الاتجاه نحو القلوية، والعكس صحيح فإذا تدنى الرقم الهيدروجيني دون (٧) فهذا مؤشر على الاتجاه نحو الحامضية. وتكون الحامضية على أقصاها إذا ما كان (PH) يساوي صـفرًا، كمـا تكـون القلوية (ALKalin) في قمتها عندما يكون (PH) مساوياً للرقم (١٤). والـشكل (١٠٤) يوضح مقياس درجة الحامضية.

ومقياس الحامضية، هو مقياس لوغاريتمي سـلبي، تتضاءل قيمـة الحموضة - أو القلوية - عشر مرات بانخفاض الرقم الهيدروجيني رقمًا واحدًا؛ فإذا ما كان الرقم الهيدروجيني (٣) فهذا يعني أن الحامضية أكبر بعشر مرات من الحامضية للرقم الهيدروجيني (٤)، و(١٠٠) مرة للرقم الهيدروجيني (٥).

ويكون المطر طبيعياً- في حال كان الجو خالياً من الملوثات الكيميائية- إذا كان رقمه الهيدروجيني بين (٥-٦) دون أن يكون له أية آثار سـلبية على

البيئة الحيوية وسواها. في حين يكون متوسط الحامضية، إذا ما كان رقمه الهيدروجيني بين (٤-٥)، وآثاره الآتية قليلة غير ملحوظة، لكنه على الأمد الطويل ستصبح له آثار كارثية على بعض الحيوانات المائية.



شكل (١٠٤) مقياس درجة الحامضية

وفي حال كان الرقم الهيدروجيني لماء المطر بين (٣-٤) فيكون عندها ذا حامضية عالية، وستكون له آثار كبيرة على العالم الحيوي من نباتات وأحياء مائية مدمراً إياها. وإذا ما تدنى الرقم الهيدروجيني للأمطار إلى ما دون (٣) فستكون الحامضية المطرية شديدة، ولا يصح المطر عندها لأيّة استخدامات بشرية، ويكون مدمراً للغطاء النباتي وقتلاً للأحياء المائية. ولقد كشف عن هطول مطري تدنى رقمه الهيدروجيني (PH) إلى (١,٨).

٢- تشكل الأمطار الحامضية:

لابد لتشكل الأمطار الحامضية من توفر الأكاسيد الغازية الحامضية (ثاني أكسيد الكبريت، وثاني أكسيد الآزوت)، والرطوبة الجوية العالية، وذلك بوجود

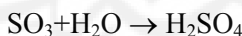
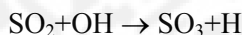
الأشعة الشمسية التي تحرك التفاعلات الكيميائية للأكاسيد مع بخار الماء. وإذا كان ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) ينبعث إلى الجو من مصادر طبيعية (البراكين، الينابيع الحارة، المواد العضوية المتحللة)؛ وبشرية بالدرجة الأولى (احتراق الوقود الأحفوري، وأفران الكوك وصهر المعادن، وإنتاج لب الخشب، ومصانع تكرير البترول، وصناعة الأجر) التي تزود لوحدها الجو بنحو (١٥٠) ملي-ون طن سنوياً، نحو (٩٠%) من نصف الكرة الشمالي. فإن أكاسيد الآزوت (NO_x) وبخاصة ثاني أكسيد الآزوت (NO_2) عند صر المطر الحامضي الآزوتي الأساسي، فمصادره بشرية (الصناعات الكيميائية وعوادم السيارات). ولا بد لحدوث التفاعلات المولدة للأحماض من توفر جذور الهيدروكسيد (OH) التي تنتج من اتحاد ذرات أوكسجين مع بخار الماء:



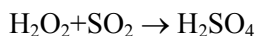
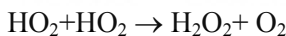
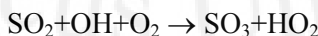
فباتحاد ذرة أوكسجين مع جزيئة بخار ماء يتولد جزي هيدروكسيد. ويتفاعل جذر هيدروكسيد مع ثاني أكسيد الآزوت، ينتج حمض الآزوت:



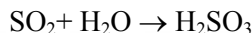
كما أن جذور الهيدروكسيد تحرك تفاعلات ثاني أكسيد الكبريت التي التحول إلى حمض الكبريت وفق التفاعلات التالية:



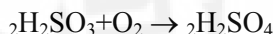
أو



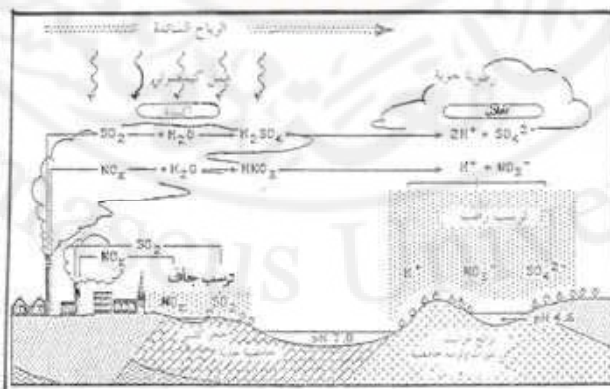
ويمكن أن يتشكل حمض الكبريتي (حمض الكبريت المخفف H_2SO_3) أولاً من تفاعل ثاني أكسيد الكبريت مع بخار الماء:



الذي يمكن أن يتأكسد متحولاً إلى حمض الكبريت



ويمكن لحمضي الكبريت والآزوت عنصري المطر الحامضي الأساسيين أن يجدا سبيلهما - كلياً أو جزئياً - بسهولة إلى السحب لينحلا في قطراتها المائية، وإما أن يشكلا نوى تكثف لبخار الماء لينحلا في بنية قطرات ماء السحب، التي تنمو وتزداد حجماً - مع زيادة الأحماض فيها - إلى أن يتيح لها وزنها الهط - ول إلى سطح الأرض. غير أن بعض دقائق حمض الكبريت، التي يمكن أن تتكثف على شكل جسيمات بقطر بين (٠,١ - ٠,٢) ميكرون، تزداد كثافة بـ - القرب م - ن سطح الأرض مشكلة طبقة سديمية (Sulphate Aerosol) يترسب بعضها على - ي الأرض مع العوالق الأخرى بصورة ترسب جاف (Dry Deposition)، م - سببة أمراضاً رئوية. بجاذب ما تقوم به من عكس لنسبة من أشعة الشمس مسهمة في تبرد سطح الأرض. شكل (١٠٥).



شكل (١٠٥) آلية تشكل الأمطار الحامضية

٣- التوزع الجغرافي للأمطار الحامضية:

تسود الأمطار الحامضية في المناطق الغنية أجواؤها بالأكاسيد الحامضية الممثلة في المناطق المصدرية لتلك الأكاسيد، وتلك المناطق التي تنقل إليها بواسطة الحركات الهوائية (الرياح) السطحية والعلوية، التي تنشرها بعيداً عن مناطق مصدرها مئات الكيلومترات، مع تزايد تركيزها في موسم الأمطار. تفرار الجوي المتصفة بضغطها الجوي المرتفع.

وتشكل الدول الصناعية في العالم وما يجاورها مناطق الأمطار الحامضية الرئيسية، ممثلة في -شكل (١٠٦):



شكل (١٠٦) التوزع الجغرافي لدرجات الحامضية

١- أوروبا الغربية: وبخاصة إنكلترا والدول المجاورة لها مثل ألمانيا وهولندا والنرويج والسويد) وشرقاً (ألمانيا وتشيكيا، هنغاريا...)، وجنوباً (هولندا وفرنسا). حيث يتعدى الرقم الهيدروجيني في أمطارها إلى ٥-٤، وليكون دون ٤، في جنوبي شرقي إنكلترا وشمال ألمانيا.

٢- أمريكا الشمالية: وبخاصة في شـمال شـرق الولايات المتحدة الأمريكية، حيث انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت كبيرة، مما يجعل لـحامضية المطرية تتدنى إلى ما دون (٤) كما في ولاية نيويورك ورك. وتسود الأمطار الحامضية أيضاً في شرقي كندا كامتداد للأمطار شمال شرقي الولايات المتحدة.. كما أخذ الساحل الغربي من الولايات المتحدة يعاني من الأمطار الحامضية نظراً للانبعاثات الكبيرة لأكاسيد الآزوت من عوادم السيارات، والمصانع، لـينخفض الرقم الهيدروجين فيها إلى ما دون (٤).

٣- جنوب شرقي الصين وتايوان: التي أخذت تعاني من حموضة الأمطار منذ أوائل التسعينات من القرن العشرين، حيث بلغت الحموضة درجة متوسطة (الرقم الهيدروجين بين ٤,٥-٥). ولتتد الأمطار الحامضية في بعض السنوات على طول المنطقة الساحلية من كوريا حتى فيتنام.

٤- مناطق متفرقة: هناك بعض المناطق التي تتوفر فيها احتمالات هطول أمطار حامضية في بعض الأحيان، كما في جنوب شـرق القارة الأمريكية الجنوبية وجنوبي أفريقيا، وجنوبي الهند، وأندونيسيا، واليابان، وروسيا.

٤ - الآثار المترتبة عن الأمطار الحامضية:

غدت الأمطار الحامضية إحدى المشكلات البيئية التي يصعب الحد منها والتخفيف من آثارها التي تصل في بعض المناطق إلى درجة الكارثية. ولأسبابها أنها مشكلة متعددة الأبعاد؛ لكونها تؤثر على الكائنات الحية بمختلف أنواعها من نبات وحيوان وإنسان الذي يشكل قمة الهرم في السلسلة الغذائية التي تبدأ من النباتات الخضراء التي هي الأكثر معاناة من الأمطار الحامضية. كما تؤثر على التربة والمياه، والعمران والصخور. بجانب ما يترتب عليها من مشكلات سياسية.

ويمكن تحديد آثار الأمطار الحامضية بالآتي:

١ - على الأحياء المائية: التي شكت الأمطار الحامضية كارثة حقيقية.

على أنواع وأعداد كبيرة من الأحياء المائية، كما في الأسماك وغيرها. إن آلاف الكيلومترات من الأنهار، وآلاف البحيرات في الولايات المتحدة وكندا وأوروبا تعاني حامضية مياهها بدرجات متفاوتة، وصلت في بعضها إلى الحد الكارثي المميت.

وكمثال، فإن عدة أنهار في منطقة نوفوسكوتيا (Nova scotia) في شرقي كندا، لم تعد أسماك السلامون الأطلسية صالحة للأكل.

وفي النرويج نفقت الأسماك من نحو (٢٠٠٠) بحيرة من بحيراتها، وهناك (١٠٠٠) بحيرة أخرى الحياة المائية فيها في حالة احتضار. كما اختفت الأسماك أيضاً من عدد كبير من بحيرات السويد. وغدت نحو (٤٦٠٠) بحيرة مـ ن البحيرات الكندية غير صالحة لحياة الأسماك والحيوانات المائية الأخرى. كما أصبحت الحياة المائية صعبة في معظم بحيرات شمال شرقي الولايات المتحدة التي الرقم الهيدروجيني في مياهها غدا دون (٥). ففي جبل ديرونـ داك في شرقي الولايات المتحدة فإن أكثر من (٢٠٠) بحيرة لـ م تعد صالحة لحياة الأسماك. والشكل (١٠٧) يبين درجات تحمل أنواع أسماك المياه العذبة لدرجات حموضة مختلفة.

٢ - على التربة: ذلك أن بعض الترب ذات قابلية للتحمض أكثر من غيرها. فترب اللاتريت في المناطق المدارية - كمثال - ذات حمضية عالية للتحمض، بينما ترب التندرا والترب التي تحتوي على تركيزات عالية من الكالسيوم والصوديوم، تكون أقل قابلية للتحمض.

الرقم الحامضي	PH 4.0	PH 4.5	PH 5.0	PH 5.5	PH 6.0	PH 6.5
السلمون			•	•	•	•
القاروس				•	•	•
الفرخ		•	•	•	•	•
الضفدع	•	•	•	•	•	•
سالمندر			•	•	•	•
بطليئوس					•	•
اربيان				•	•	•
هذوبي/ براقه					•	•
القد				•	•	•

شكل (١٠٧) درجة تحمل أنواع أسماك المياه العذبة لدرجات حموضة مختلفة

٣- على مياه الشرب: فالأمطار الحامضية التي تتسرب ضد من التربة تحمّل معها معادن سمية من التربة، لتبلغ مخازن مياه الشرب. وفي أثناء عبور تلك المياه ضمن أنابيب توصيل مياه الشرب، فإنها تسبب في تقشرها وإضافة نواتج التقشر المعدنية إليها مما يؤدي إلى زيادة خطورتها، بما ينتج عنها من أضرار على مستخدميها في المعدة والرئتين، خاصة عند الأطفال الصغار في حال تراكم مستويات عالية من نحاس الأنابيب.

٤- على الغطاء النباتي: تعرضت مساحات واسعة من الغابات في أوروبا الغربية والشمالية الغربية، وكذلك في شمال شرقي الولايات المتحدة إلى أضرار كبيرة في الغطاء النباتي وصلت إلى درجة يباس أشجارها. وأكثر الأضرار تلحق بأوراق الأشجار - وسواها من النباتات - من خلال نفث الصمغيات الحيوية، وازدياد كميات المعادن السمية المتحررة من التربة بفعل الأحماض، والتي تعمل على إزالة المغذيات وإلحاق أضرار بجذور النباتات، والقضاء على الأحياء الدقيقة في التربة.

وأكثر من نصف الأشجار الغابية تأثرت بالأمطار الحامضية في العديـد من الدول الأوروبية (المملكة المتحدة، النرويج، السويد، بلجيكا، هولندا، ألمانيا، بولندا، تشيك، اليونان..) والأجزاء الشمالية الشرقية من الولايات المتحدة وشرقي كندا.. وهناك مساحات شاسعة من الغابات دائمة الخضرة في ألمانيا، ومن أشجار الشربين (spruce) الأحمر في منطقة فيرمونت (شمال شرق الولايات المتحدة) حل بها اليباس بفعل الأمطار الحامضية. شكل (١٠٨).



شكل (١٠٨) تعرض النباتات الخضراء لليباس بفعل الأمطار الحامضية

٥- على سطوح الأبنية: حيث تؤدي الأمطار الحامضية إلى تفتت وتآكل

سطوح الأبنية التي تتعرض إليها مباشرة، لتشمل جميع مكوناتها من حديد ودهان وبلاستيك وإسمنت، والصخور المشادة منها. وهذا ما يصيب أكثر مرما يكون الأبنية المشادة من الحجارة الكلسية والحجارة الرملية والرخام، المتـصفة بشدة التأثير والعطب لتفاعل الأمطار الحامضية معها. ومن أبرز الأمثلة عن ذلك، ما تعرض له مبنى الأكروبول في أثينا باليونان من تحلل في المئة سنة الماضية. كما تعرضت النصب التذكارية والتماثيل إلى أضرار كبيرة مما قد يـد بالمسؤولين عنها، إلى تغليفها بمادة واقية لحمايتها، أو وضعها ضمن سياج

زجاجي. وفي روما- كمثال- تسببت الأمطار الحامضية في تـشويه الـشواهد
الثرائية الموجودة في الهواء الطلق، كـالنوافير المائية والتماثيل والنصب
التذكارية. وقدرت الكلفة السنوية للأضرار على سطوح الأبنية (نصب تذكارية
منشآت أخرى) بأكثر من (٢) بليون دولار.

ومناظر التفكك والتحلل والتشويه بادية على السطوح الخارجية لأبنية
المدن في شرقي الولايات المتحدة وأوروبا المواجهة للبحر.

٦- مشكلات سياسية: ذلك أن مشكلة الأمطار الحامضية ليست محلية أو
إقليمية، بل هي مشكلة عالمية أيضاً، لأن العدد من دول العالم غير الصناعية
بالدرجة التي لا تسمح انبعاثاتها الغازية إلى تشكل أمطار حامضية أخذت تعاني
منها معاناة كبيرة، كما في أوروبا الوسطى، والسويد وكندا. فـالسويد التي تعاني
من مشكلة الأمطار الحامضية أكثر من بريطانيا؛ فإن مصدر حامضية أمطارها
المصانع البريطانية. وكذلك حال شمال شرقي كندا، وشمال شرقي الأسكا التي
تتلقى انبعاثات الأكاسيد الحامضية من الولايات المتحدة.

٥- إجراءات الحد من آثار الأمطار الحامضية:

منذ أوائل الثمانينات من القرن العشرين، جرت عدة محاولات لوضع
خطة لمعالجة مشكلة الأمطار الحامضية، بالاعتماد على بعض الحلول، المتمثلة
في الآتي:

١- إصلاح- أو إعادة تأهيل- البحيرات التي تعرضت للحموضة،
بإضافة الكلس إليها بشكل دوري.

٢- تحييد الحامضية (Neutralization)؛ وذلك بالتخفيف من الحامضية
بغية الاتجاه بها نحو الحيادية. ويتم ذلك من خلال كربونات الكالسيوم أو

الكالسيوم التي تزيل أيونات الهيدروجين في الحمض بتشكيل أيونات البيكربونات الحادية. غير أن هذه الطريقة مكلفة جداً، وتتطلب وقتاً طويلاً، وجهداً مستمراً.

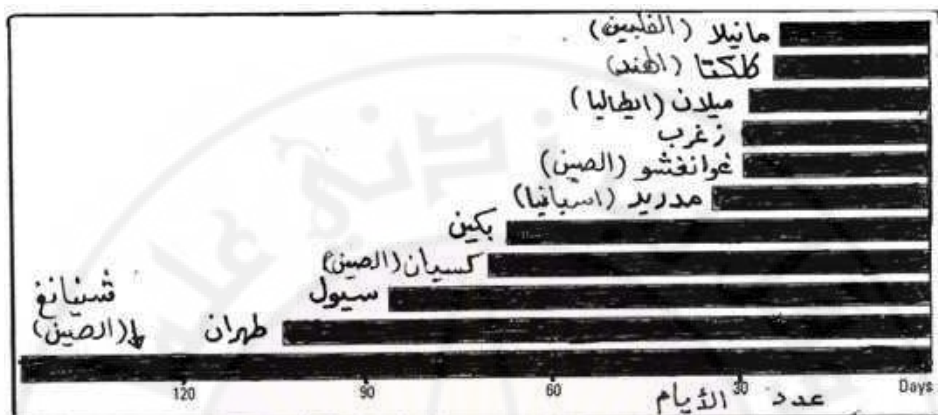
٣- إنفاص إنتاج الملوثات المشكلة للأحماض إلى حدودها الدنيا؛ وهــذا يتطلب عدة إجراءات منها: الترشيد في استهلاك الطاقة، ومعالجة الفحم قبل وخلال وبعد الاحتراق لأسر ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) قبل انطلاقه إلى البيئة. وخفض انبعاثات أكاسيد الآزوت، التي تحاطبها صعوبة كونها تنطلق بالدرجة الأولى من احتراق البترول في وسائل النقل.

ومشكلة الأمطار الحامضة شأنها شأن مشكلة الأوزون والاحتباس الحراري.. وغيرها، مما كانت محور العديد من المؤتمرات والندوات. وكان هناك توافق في الآراء على ضرورة خفض انبعاثات أكاسيد الكبريت والآزوت، وبخاصة من محطات توليد الطاقة بالفحم التي تستهلك كميات كبرى منه. ولكن لم يتحقق شيء حتى الآن، وستستمر المشكلة لعقود طويلة حتى يمكن إنعاش البحيرات التي ماتت الحياة فيها.

ثانياً- الضباب الحامضي (Acidic Fogs):

يتشكل الضباب الحامضي بنفس آلية تشكل الأمطار الحامضية. ففي الجزء الأدنى من التروبوسفير قريباً من سطح الأرض بـسمائة لا تتجاوز (500م)، في أجواء المناطق الصناعية والمدن التي تكثر فيها انبعاثات ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) -شكل (١٠٩) - وأكاسيد الآزوت، والدخان. وحيثما يمكن الضغط الجوي المرتفع مسيطراً، والرطوبة الجوية مرتفعة، فإن بخار الماء يتفاعل مع الأكاسيد السابقة بوجود ضوء الشمس، ليتشكل حمضي الكبريت والآزوت، اللذين يندمجا في قطيرات الضباب ليتشكل الضباب الحامضي، أو

إنهما - مع ملوثات دخانية - يقومان بدور نويات تكاثف، يتكاثف عليهما بخار الماء لتتشكل قطيرات الضباب الحامضية.



شكل (١٠٩)

عدد الأيام السنوية التي يزيد فيها مستوى تركيز (SO_2) عن القبة الحدية (100 ميكروغرام/م³) المحددة من قبل منظمة الصحة العالمية في عدة مدن من العالم التي تعاني من شدة تلوث هوائها.

ليس هذا فحسب، بل يمكن للأحماض أن تدخل في تركيب قطيرات الندى، وكذلك الصقيع الأبيض، بما يعرف به (الندى الحامضي، والصقيع الحامضي).

وإذا كان الرقم الهيدروجيني (PH) في الضباب الحامضي يتراوح عادة بين (٤,٤) و (٤,٨)، إلا أنه تم تسجيل رقم هيدروجيني (٣) وما دون في بعض حالات الضباب الشديد الحامضية.

ويكثر تشكل الضباب الحامضي في أوروبا لغربية، وفي الولايات المتحدة الشرقية والشمالية الشرقية. كما أنه يتشكل بكثرة في ولاية كاليفورنيا، وبخاصة في مدينة لوس آنجلز، الذي يعد الضباب الحامضي فيها أكثر خطورة من المطر الحامضي لسميته العالية، بما يشكله من خطورة على صحة الإنسان، خاصة الأشخاص الذين يعانون من مشاكل في الجهاز التنفسي.

ثالثاً - الضبخان (Smog):

يتרכب الضبخان عموماً من الضباب المائي (Fog) والدخان (Smok) المليء بالملوثات الكيميائية، وبخاصة الملوثات الكيما ضوئية التي هي من أكثر الملوثات الجوية خطورة.

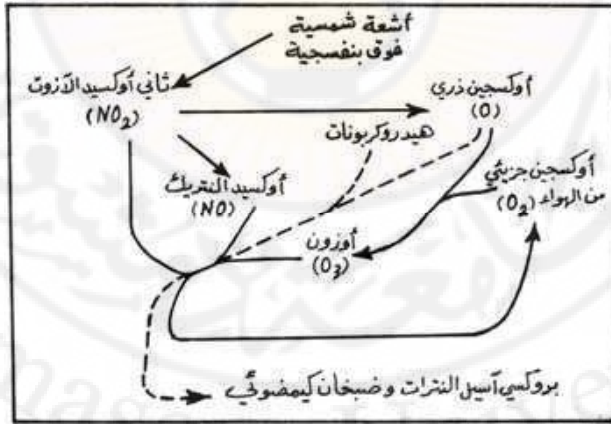
وتتشكل الملوثات الكيما ضوئية من تحول الملوثات الأساسية - المنبعثة من محركات السيارات ومن احتراق الوقود في المصانع والمعامل - في الجو والسفلي التروبوسفيري، عبر سلسلة من التفاعلات الكيميائية بوجه ود الطاقة الشمسية فوق البنفسجية التي تشكل عاملاً مساعداً على التفاعل والتحول إلى مركبات جديدة تعرف بالملوثات الكيماضوئية.

ومن أهم التفاعلات الكيماضوئية التي تدخل نواتجها في تركيب الضبخان، هي تفاعلات الجذور العنصرية الحرة - الناتجة من تفكك المركبات الهيدروكربونية والالدهيدات - مع الأوكسجين الذري لتتشكل جذور البيروكسيل التي تتفاعل مع ثاني أوكسيد الآزوت (NO_2) لينتج من التفاعل بيروكسي أسيل نترات. كما تتفاعل جذور البيروكسيل مع الأوكسجين الجزيئي (O_2) لينتج من التفاعل غاز الأوزون (O_3). وتتفاعل أيضاً الجذور العضوية الحرة مع الأكاسيد المختلفة لتعطي الألهيدات، والكتونات، والينزوبيرين، والبيروكسينزول.

والضبخان أحد مشاكل البيئة الراهنة، لاحتوائه على أكثر الملوثات الكيماضوئية الجوية خطورة التي تنحل في قطرات الماء الضبابية. وبعضها الآخر يدخل في تركيبها كالدقائق الدخانية التي تعمل كنويات تكاثف، وبيبة في بعضها معلقاً مع قطيرات الضباب. وهذا يعني أنه لا بد لتشكيل الضبخان من توفر ثلاثة عناصر: الملوثات الكيما ضوئية (أكاسيد الآزوت، ثاني أوكسيد الكبريت، الهيدروكربونات) والدخان. مع نسبة من غاز الأوزون، وهذا ما

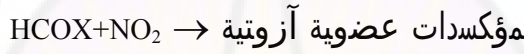
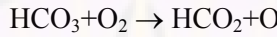
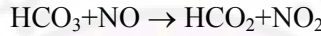
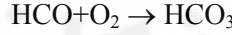
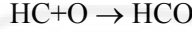
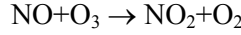
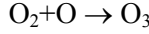
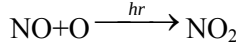
يتحقق عموماً في المدن الكبرى ذات الكثافة السكانية العالية والمناطق الصناعية. وتوفر الرطوبة الجوية، والتبريد السطحي القريب من سطح الأرض لحدوث التكدف وتشكل الضبخان وهذا يكون مقترناً بسيطرة ضغط جوي مرتفع مترافق بانقلاب حراري سطحي إشعاعي.

وهذا يحدث مراراً في لندن، وكذلك في مدينة لوس آنجلوس الأمريكية التي ينطلق إلى أجوائها يومياً نحو (٨٠٠) طن من أكاسيد الآزوت، ونحو (٣٠٠) طن من المواد العضوية (الهيدروكربونات)، متولداً من جارات التفاعلات الكيميائية في ظل رطوبة جوية عالية الضبخان الكيميائي المؤلف من خليط من الملوثات الرئيسية والثانوية، والتي يلعب تركز الأوزون وبيروكسي أسيل النترات - الناتج من تلك التفاعلات - دوراً بالغ الخطورة على الصحة. ويبين الشكل (١١٠) مخططاً عاماً لآلية التفاعلات التي يتشكل منها خلال الضبخان وبيروكسي أسيل النترات وغير ذلك.



شكل (١١٠) مخطط لآلية التفاعلات التي يتشكل من خلالها الضبخان وبيروكسي أسيل النترات

وفيما يلي سلسلة التفاعلات الكيميائية المشكلة للـ ضبخان وبيروكسي أسيل النترات... وغيره:



حيث ينتمي إلى المؤكسدات العضوية الآزوتية: بروكسي أسيل النت-رات (PAN)، وبروك-سي بروبيونيل النت-رات [ppn Peroxypropionyl Nitrate] وبروكسي بيروتيريل النترات [(PBN) Peroxybutyryl Nitrate]. ويعد بروكسي أسيل النترات أخطرهما، لتضاعف الخطورة في حال ارتفاع نسبة ثاني أوكسيد الكبريت في الجو أيضاً.

ومن الطواهر المرضية المرافقة للضبخان الكيمضوئي ذ-ذكر: التهاب الشعب الهوائية المزمن، التهاب الرئة، تدرن في الجهاز التنفسي، سرطان الرئة، الربو، أمراض القلب، بجاذب الحرق في العيون بفعل ذ-أثير الغ-از الح-ارق (PAN)، مع ما يتسبب عن تلك الأمراض من حوادث وفيات عديدة.

وينذر أن تمر سنة دون أن تتعرض مدينة كبرى أو منطقة صناعية لج-و ضبخاني. ولقد شهد العالم في المئة سنة الماضية تكرار العي-د م-ن الأج-واء الضبخانية الكارثية، التي ذهب ضحيتها آلاف الأشخاص، والجدول التالي (٢١) يبين أهم تلك الحوادث.

جدول (٢١) بين أهم الحوادث الضبخانية وما رافقها من وفيات منذ بداية القرن العشرين.

المكان	التاريخ (الشهر والسنة)	عدد الوفيات (نسمة)
لندن (إنكلترا)	كانون الثاني، ١٩١١	١١٥٠
وادي ماس (بلجيكا)	تشرين الأول، ١٩٣٠	٦٣
دونورا (بنسلفانيا الأمريكية)	تشرين الأول، ١٩٤٨	٢٠
بيكارىكا (المكسيك)	تشرين الثاني، ١٩٥٠	٢٢
لندن (إنكلترا)	كانون الأول، ١٩٥٢	٤٠٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	تشرين الثاني، ١٩٥٣	٢٥٠
لندن (إنكلترا)	كانون الثاني، ١٩٥٦	١٠٠٠
لندن (إنكلترا)	كانون الأول، ١٩٥٧	٨٠٠-٧٠٠
لندن (إنكلترا)	كانون الأول، ١٩٦٢	٧٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	كانون الثاني - شباط، ١٩٦٣	٤٠٠-٢٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	تشرين الثاني، ١٩٦٦	١٦٨

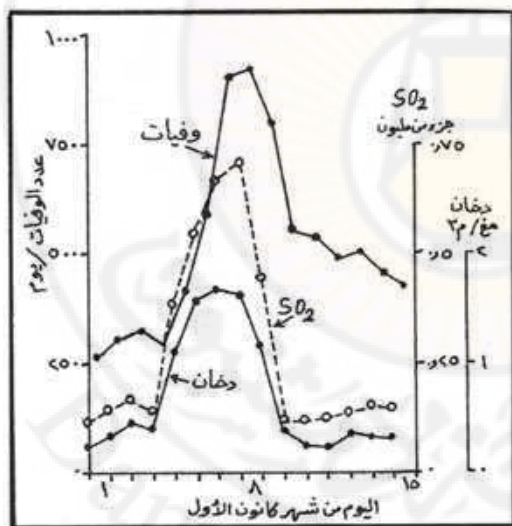
وتعد مدينة لندن من أكثر المدن التي عانت من آثار الأجواء الضبخانية. وتعاني العديد من المدن الأمريكية من الأجواء الضبخانية التي تصل أحياناً إلى الحد الكارثي، كما في نيويورك، واشنطن، ديترويت، ولوس أنجلوس. وتشتهر لوس أنجلوس في أيامنا الحالية بتكرار حدوث الضبخان الخفيف لعدد من الأيام في السنة يزيد على (٦٠ يوماً). وقدرت نسبة الأوزون في أجوائها بـ أكثر من (١٦٠) جزءاً من مليون خلال ثلاثة أيام من أربعة. كما تتعرض للضبخان

مدينة طوكيو اليابانية، ومدن صينية عدة، ومدن أخرى كثيرة في العالم (باريس، بودابست، وارسو، سان باولو، مكسيكو... إلخ).

وسنستعرض فيما يلي، كارثتين ضبخانيتين:

١ - كارثة لندن (١٩٥٢):

تعد الكارثة الأعظم في تاريخ الكوراث الضبخانية في العالم، فخلال خمسة أيام متواصلة (٥-٩ كانون الأول) من عام (١٩٥٢) خيم على العاصمة البريطانية (لندن) جو ضبخاني كثيف، امتزج فيه الضباب مع الدخان، وتعاظم تركيز المركبات الكيميائية - بخاصة ثنائي أوكسيد الكبريت - ونتاج التفاعلات الكيميائية (بروكسي أسيل النترات... وغيره) مع وجود نسبة من غاز



الأوزون. ومما فاقم الكارثة سيادة ضغط جوي مرتفع طيلة الخمسة أيام مترافق مع انقلاّب حاراري سطحي إشعاعي، مترتباً على ذلك وفاة نحو (٤٠٠٠) شخص، كانت النسبة الكبرى من الوفيات في اليوم الرابع من الضبخان - شكلاً (١١١) - ولقد تدنت الرؤية إلى

شكل (١١١) كارثة لندن الضبخانية عام (١٩٥٢)

درجة العدم تقريباً بحيث لم يعمد المرء يرى رفيقه. وكان الناس

يسيرون على الأرصفة، ويتلمسون جدران الأبنية مسترشدين بها لمتابعة طريقهم، مضطرين الناس خارج بيوتهم إلى وضع كمالات على أفواههم.

٢- كارثة دونورا (Donora) عام (١٩٤٨):

سيطر على وادي مونونغالا (Monongahala) الذي تقع فيه مدينة دونورا في ولاية بنسلفانيا الأمريكية، ضغط جوي مرتفع، ارتفعت قيمة الضغط في مركزه إلى (١٠٢٥) مليباراً، وكان يتحرك إلى الغرب منه في التروبوسفير العلوي تيار هوائي نفاث (Jet Stream)، مستمر الضغط المرتفع - المترافق بانقلاب حراري سطحي إشعاعي - مسيطر فوق ولاية بنسلفانيا لمدة خمسة أيام تقريباً، ابتداء من صباح يوم الثلاثاء (٢٦ تشرين الأول) حتى يوم السبت (٣٠ تشرين الأول) من عام (١٩٤٨)، وكان غراديان الضغط الأفقي صـ غيراً خطوط الضغط المتساوية متباعدة عن بعضها، وهذا ما فسر ضعف الرياح - التي لم تتجاوز سرعتها (٣ م/ثا) - إن لم يكن انعدامها، مما ساعد على تركز الملوثات - شكل (١١٢) - .



شكل (١١٢) كارثة دونورا الضخانية عام (١٩٤٨)

وفي صباح يوم الثلاثاء (٢٦ تشرين الأول)، أخذ الضباب الإشعاعي بالتشكل بكثافة كبرى فوق الأرض الرطبة بدونورا نتيجة التبريد الشديد لوقوعها في قاع الوادي المحاط بالتلال. ومما ساهم بزيادة تركيز الملوثات الكيميائية

وكثافة الضباب، هبوب الهواء البارد من فوق منحدرات الـ وادي، وكـ ان هـ ذا الهواء مليئاً بالملوثات الناتجة عن مجمع معامل الصاب، وصهر الزنك، ومصنع حمض الكبريت، متشكلاً الضباب الدخاني (الضبخان) الذي استمر بحمولته مـ ن الملوثات المتزايدة حتى يوم الأربعاء، لتزداد الكثافة في قاع الـ وادي لـ سيطرة انقلاب حراري، مما جعل الضبخان يشكل طبقة شديدة الكثافة أعاقـ ت أشـ عة الشمس من الوصول إلى الأرض، مما لم يسمح بحدوث تسخن سطحي وحدوث مزج هوائي لعمق جوي معتبر، لتبقى الملوثات الضبخانية أكثر تركيزاً عنـ د السطح، في طبقة ضحلة راکدة، بينما المعامل والمصانع مستمرة فـ ي إطـ لاق ملوثاتها إلى الهواء - بخاصة ثاني أكسيد الكبريت والجسيمات - مـ ن مـ داخنها لعلو لم يتجاوز (٤٠متراً). وما إن حلّ يوم الخميس استمرار ليوم الأربعاء حتى تناقصت الرؤية إلى درجة لم يعد بالإمكان الرؤية عبر الـ شارع لمـ سافة عـ دة أمتار. وفي الوقت نفسه غدا الهواء ممرضاً تفوح منه رائحة ثـ لاني أوكـ سيد الكبريت الكريهة، وبلّدت النسبة الكبرى من الملوثات الضبخانية ذات تـ أثيرات كبرى على الصحة البشرية. وما إن طل يوم الأحد (٣١ تـ شرين الأول) حتـ ي تغيرت الحالة الجوية، وأخذت الرياح تهب بسرعة، مبددة الملوثات، ممـ اكـ ان إيداناً بوصول منخفض جوي جبهي ترافق بأمطار.

ولقد ذهب ضحية ضبخان دونورا (٢٢) شخصاً، بجائـ ب معانـ لة نحـ و نصف سكان المنطقة البالغ عددهم (١٤٠٠٠ نسمة) من تأثير الملوثات، وأغلبهم من كبار السن ولاسيما المصابين بأمراض في الجهاز التنفسي وأمراض قلبية.

الفصل الرابع

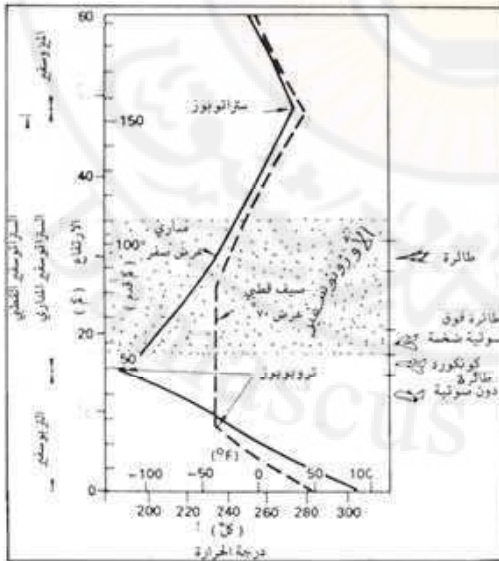
تآكل الأوزون الجوي

- ١ - مناطق وجود الأوزون.**
- ٢ - مصادر الأوزون الجوي.**
- ٣ - قوى وآليات تخریب الأوزون وتآكله.**
- ٤ - ثقب الأوزون الجوي.**
- ٥ - الآثار المناخية والحيوية للأوزون الجوي.**
- ٦ - إجراءات الحد من تآكل الأوزون الجوي.**

يعد غاز الأوزون الجوي (O_3) من الغازات الجوية الهامة - رغم انخفاض كميته وتدني نسبة تركيزه بشكل عام، لما لهو من آثار مناخية وحيوية، حيث بات محور العديد من المؤتمرات والندوات العالمية، كونه غدا مشكلة بيئية - بعد أن تم التأكد من حدوث تآكل فيه وانخفاض في نسبته، مما أثار العديد من المخاوف الأرضية لما يمكن أن ينجم عن التآكل الذي يتعرض له.

١ - مناطق وجود الأوزون:

يشكل غاز الأوزون (O_3) أحد أهم مكونات الطبقة الثانية من طبقات الغلاف الجوي المعروفة بطبقة الستراتوسفير (Stratosphere) التي تمتد بين سويتي ارتفاع (١٢-٥٥) كم فوق مستوى سطح البحر، مع انتشار وتركيز أعظم له في تلك الطبقة بين سويتي ارتفاع (١٥-٣٥ كم) بحيث بلغت تعـرف تلك المنطقة للوجود الأعظمي للأوزون باسم طبقة الأوزون أو غلاف الأوزون



(Ozonosphere) - شكل (١١٣) -

. غير أنه يعد من الغازات النادرة جداً بالقرب من سطح الأرض في طبقة التروبوسفير. فـنسبته في طبقة الستراتوسفير تكاد تتجاهل حالياً (٩٠%) من إجمالي كمية الجوية.

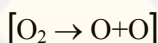
شكل (١١٣) موقع طبقة الأوزون (الأوزونوسفير) وتغير درجة الحرارة مع الارتفاع في طبقتي الترونوسفير والستراتوسفير

وعلى افتراض أن كامل الأوزون الجوي موجود عند د م - مستوى سطح البحر، وتم إخضاعه لضغط الجوي أرضي واحد (١٠١٣,٢ مليبار)، فلن تتجاوز سماكته (٣مم) عندئذ. وهذا مؤشر على أهمية هذا الغاز مناخياً وحيوياً.

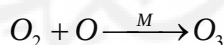
٢- مصادر الأوزون الجوي

يعرف غاز الأوزون (O_2) عموماً بالأوكسجين ثلاثي ال- ذرات، كونه ه يتركب من ثلاث ذرات أوكسجين. ولذا ف- إن م- صادر الأوزون الج- وي ه- و الأوكسجين بصورته الجزيئية (O_2) والذرية (O) الموجود في الغلاف الج- وي، وبصورة خاصة ف- في الطبقة الجوية الثانية (ال- ستراتوسفير) والأولى (التروبوسفير)، بجانب ما تلعبه الأشعة فوق البنفسجية (٠,١ - ٠,٣٥ ميك- رون) من دور كبير في عملية تشكل الأوزون.

إن الأشعة فوق البنفسجية تعمل على تفكيك جزيئات الأوك- سجين إل- ي ذراتها المفردة:



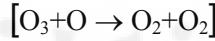
وهذا التفكك يغلب حدوثه في الأجزاء الوسطى والعليا م- ن ال- ستراتوسفير، وكذلك في سويات أعلى. ومعظم الأوزون يتشكل فيما بين م- و يتي ارتفاع (٣٠- ٥٥كم) حيث تكون قوة التصادم بين الذرات (O) والجزيئات (O_2) كبيرة، مما يؤدي إلى اتحاد كل جزيء أوكسجين مع ذرة أوكسجين، متشكلة بذلك ذرة غاز الأوزون:



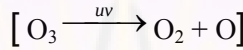
حيث: $M =$ قوة التصادم.

ذلك أن قوة التصادم (M) تقل كلما انخفضت كثافة الهواء. بالإضافة إل- ي وفرة الأشعة فوق البنفسجية عند ذلك المستوى التي تسهم- كما ذكرنا- بالإمداد بذرات الأوكسجين الناتجة عن تفكك الجزيئات.

والأوزون (O_3) غاز غير ثابت، فهو سهل التفكك والتحلل إلى الأوكسجين الجزيئي والذري، ففي حالة اصطدام الأوزون مع ذرة أوكسجين، فسيولد عندها جزيئان من الأوكسجين.



كما يمكن أن يحدث التفكك في الأوزون بفعل زيادة تأثير الأشعة فوق البنفسجية عليه:

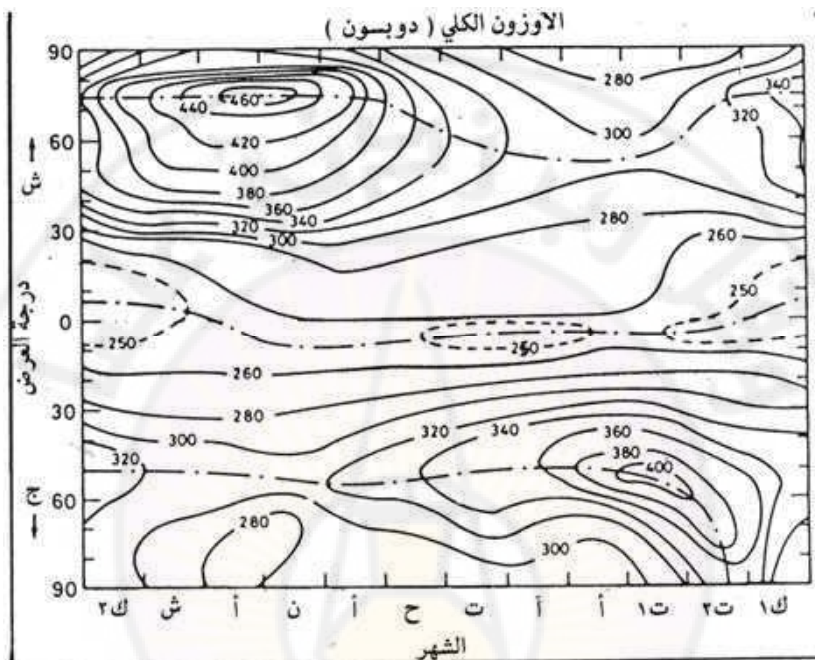


إن عمليات التحول الغازي من أوكسجين إلى أوزون، والعكس، التي تتم عبر عمليات كيماضوية (Photochemical) بفعل الأشعة فوق البنفسجية، تحافظ على درجة التوازن عند ارتفاع (٤٠ كم) تقريباً. غير أن نسبة اختلاط الأوزون تكون على أشدها عند ارتفاع (٣٥ كم). في حين تتركز الكثافة العظمى للأوزون عند (٢٥ كم). وهذا ناتج في معظمه عن الآلية الحركية في الجو والتي تنقل الأوزون باتجاه الأسفل، حيث الجاذبية أول مما يسمح بتجميع الغاز وتركيزه.

وتختلف كمية الأوزون الجوي باختلاف درجة العرض وسمك الغلاف الجوي. فكميته تكون منخفضة فوق خط الاستواء، ومرتفعة فوق العروض العليا، إلى الشمال من خط عرض (٥٠) شمالاً خاصة في فصل الربيع. شكل (١١٤). حيث يرتبط هذا التوزيع إلى حد كبير بالعمليات الكيماضوية التي تبلغ أقصى نشاط لها في شهر حزيران عند خط الاستواء، وعملية الانتقال للأوزون التي تتم باتجاه القطبين.

وتكون حركة الأوزون واضحة من المستويات الأعلى (٣٠ - ٤٠ كم) وفي العروض المنخفضة، تجاه المستويات الأدنى (٢٠ - ٢٥ كم) في العروض العليا.

خلال أشهر الشتاء، حيث يخزن الأوزون في أثناء الليل القطبي ليطلق رافعا كميته في فصل الربيع عندما يبدأ الصيف القطبي.



شكل (١١٤) تباين درجة تركيز الأوزون الجوي حسب الفصول في مناطق الأرض المختلفة

٣- فوى وآليات تخريب الأوزون وتأكله:

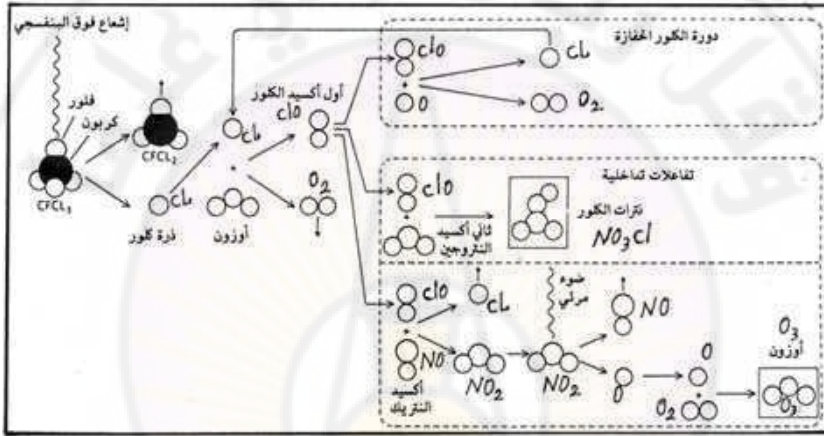
إن كمية الأوزون الجوي متغيرة مع الزمن، بسبب ما أصابه ويصيبه من تآكل بفعل الملوثات الغازية الأرضية وتلك المنطلقة من الطائرات التي تطير على ارتفاعات تزيد على (١٠ كم)، وتعمل على تخريبه.

٣-١- وتتمثل فوى التخريب الرئيسية للأوزون في جذور الهيدروكسيد

(OH) وأوكسيد النتريك (NO)، والمركبات الكلورية المختلفة التي يتولد منها غاز الكلور (Cl) سواء بشكل مباشر أم غير مباشر، كما في ميتل الكلور (CH_3 Cl)، ورابع كلور الكربون (CCl_4)، ومركبات الكلور فوروكلربون المتعددة

(CFC.S)، والكلور فلور ميثان (CFM.S)، وميثيل الكلورف- ورم (CH_3CCL_3). ويشترك الكلور في قوة تأثيره في الأوزون غاز الفلور (F) أيضاً. ويشبه البروم (Br) نظيره الفلور في التأثير على توازن الأوزون الجوي.

٣-٢- أما آليات تخریب الأوزون؛ من خلال المركبات الغازية التي أفرزتها أنشطة الإنسان المختلفة، فتتم وفق الآتي - شكل (١١٥) .

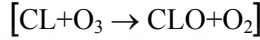
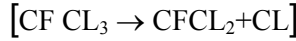
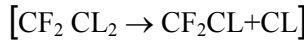


شكل (١١٥) آليات تخریب

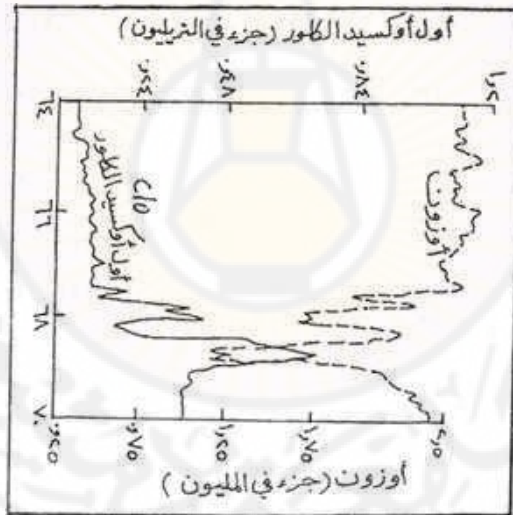
٣-٢-١ - المركبات الكلوروفلوروكربونية:

تتمثل مصادر المركبات الكلوروفلوروكربونية في: صفائح الرش الترابية، والمكيفات الهوائية والبرادات، ورغوة البلاستيك (الب- وليميرتين، والبولت-سيرين). ومن أهم تلك المركبات، مركبي الفريون (١١) والفريون (١٢)، بالإضافة إلى الفريون (١٣) الأقل أهمية.

وتتصف هذه المركبات بخمولها الكيميائي في طبقة التروبوسفير، ولكنها ما إن تبلغ طبقة الستراتوسفير حتى تتعرض إلى الأشعة فوق البنفسجية التي تعمل على تفكيكها، متحرراً منها غاز الكلور (CL)، وكذلك غاز الفلور، المتصفان بشراهما في التفاعل مع الأوزون وتأكله:



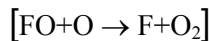
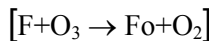
والناتج من ذلك أوكسيد الكلور (CLO) الذي يتفاعله مع ذرات الأوكسجين يعيد توليد الكلور من جديد ($CLO+O \rightarrow CL+O_2$)، الذي يدخل مرة أخرى في تفاعل مع ذرة أوزون مخرباً إياها، وذلك عبر سلسلة طويلة من تفاعلات الكلور، إذ بوسع ذرة كلور واحدة أن تحطم أعداداً كبيرة من ذرات الأوزون عبر آلية التحفيز (Catalyst) دون أن تستهلك الذرة نفسها. فالعلاقة عموماً عكسية بين أول أوكسيد الكلور (CLO) والأوزون، شكل (١١٦).



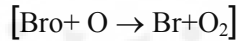
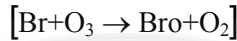
شكل (١١٦) التغيرات في تركيز أول أوكسيد الكلور (CLO) والأوزون في

السترانوسفير حسب قياس مركبة البحوث الأمريكية (E.R.2)

كما أن غاز الفلور (F) يسلك نفس سلك غاز الكلور بتفاعله المتسلسل مع الأوزون:



ويشبه البروم (Br) نظيره الفلور في أن كليهما يشبه أيضاً الكلور في تفاعله مع الأوزون:



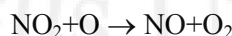
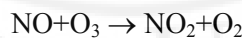
وتنتقل مادة البروم (Br) إلى الجو من مركب ميتل البروم (Methyl Bromide) الموجود في الطبيعة، ومن مصادر الدخان والغازات وبعض مطفئات الحريق.

٣-٢-٢- أكاسيد الآزوت (NO_x):

تعد أكاسيد الآزوت أهم المركبات الغازية المخربة للأوزون؛ إذ يعود إليها تخریب نحو (٦٠-٧٠%) من الأوزون الجوي، معيـدة إیـاه إلـى عنـاصـره الأساسية (O₂، O).

والمصادر الأساسية لأكاسيد الآزوت التي تعمل على تآكل الأوزون، هي: التفجيرات النووية، والطيران فوق الصوتي، والأسمدة الآزوتية، والبكتريـات المثبتة للأزوت في التربة.

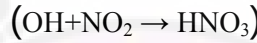
وتتضم أكاسيد الآزوت مجموعة من المركبات هــي: أوكـسيد النتـروز (NO₂)، وثاني أوكسيد الآزوت (NO₂)، وأوكسيد النتريك (NO). ويعد أوكـسيد النتريك، الأكثر خطورة على الأوزون، إذ يقوم بدور المحطم له عبـر أيـضاً سلسلة من التفاعلات اذرة أوكسيد واحدة بآلية التحفيز:



وهكذا؛ إذ يوسع كميات قليلة من أوكسيد النتريك (NO) أن تعمل على تحويل كميات كبيرة من غاز الأوزون إلى أوكسجين دون أن تستهلك، لأنها تقوم

بدور الوسيط أو المحفز (Catalyst)، وتعمل على تدوير نفسها، معبدة خلاقتها نفسها في سلسلة من التفاعلات البسيطة.

ويعود أوكسيد النترريك إلى حالته الأصلية في نهاية الدورة، ليدخل في تفاعل جديد... وهكذا. وهذا يعني أن باستطاعته تخريب العديد من ذرات الأوزون قبل أن يتحول من خلال (NO₂) إلى حمض الآزوت (HNO₃).



ع - ثقب الأوزون (Ozon Hole)

ثقب الأوزون؛ هو المصطلح الذي شاع وانتشر في العالم في الثمانينات من القرن العشرين، بعد اكتشاف وجود ثدن ملحوظ في كثافة الأوزون في بعض أجزاء طبقته فوق مناطق محددة من الكرة الأرضية، قياساً بباقي أجزاء طبقة الأوزون فوق العروض الأخرى. ومثل هذه الفجوة، لوحظت فوق القارة القطبية الجنوبية، كما تم رصدها فوق العروض العليا (50-70 شمالاً) من نصف الكرة الشمالي، وعروض أقرب إلى القطب الشمالي، حيث كشفت القياسات عن انخفاض مقدارها نحو (5-7%) في نسبة الأوزون خلال شتاء الفترة (1969-1986). شكل (117).



شكل (117) ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية في ربيع عام (1987)

ولوحظ في شهر تشرين الأول من كل عام منذ عام (1979) أن سماكة طبقة الأوزون تتناقص بنسبة تصل إلى (50%) أو أكثر، والنتيجة أن ثقب الأوزون يتمدد ويتوسع بشكل ثابت.

وتقاس سماكة طبقة الأوزون بواحدة الدوبسون (Dobson)*. وفي الربيع عندما يكون ثقب الأوزون في أكبره، فإن قيمة الأوزون يمكن أن تنخفض إلى نحو (٢٥٠) دوبسون. وفي الصيف الجنوبي، فإن سماكة الطبقة تزيد إلى نحو (٣٥٠) دوبسون. ويعمل ثقب الأوزون على ترميم نفسه، في حال تبخر السحب الستراتوسفيرية القطبية في الصيف الحار، ويعود الهواء المنعش من جديد إلى القارة القطبية الجنوبية من العروض الأخفض، ليسمح لمستويات الأوزون بالعودة إلى طبيعتها.

ولقد عزا العلماء ثقب الأوزون إلى الكلور والنتروجين مركبات الكلوروفلوروكربون التي تحبس وقتاً طويلاً من السنة ضمن مركبات مثلاً نترات الكلور (ClONO_2) التي توجد ضمن سحب ستراتوسفيرية، وتشكل خزائناً وقتياً لإطلاق الكلور في الأوقات الملائمة، وذلك عندما يبدأ فصل الربيع وتطلق الشمس أشعتها حيث تأخذ الأشعة فوق البنفسجية بالقيام بدورها التفكيكي لنترات الكلور. وهذا عموماً يحدث ضمن ظروف خاصة، ممثلة في:

١ - انخفاض في درجة الحرارة ما دون (-80°C)؛ وهذا لا يتوفر سوى فوق القارة القطبية الجنوبية في ستراتوسفيرها السفلي، ولمدة محدودة لا تتجاوز عدة أسابيع من السنة (في شهري أيلول وتشرين الأول بالنسبة للقارة القطبية الجنوبية). ولكن هناك منطقة أخرى يحدث فيها ما سبق عند درجة حرارة نحو (-72°C) وذلك في السحب الستراتوسفيرية فوق القطب الشمالي، حيث تجمعت مؤشرات على وجود نضوب في أوزون الستراتوسفير فوق القطب الشمالي، لكن مداه أقل من مثيله فوق القطب الجنوبي.

* - دوبسون تكافئ إلى (١م) من الأوزون المضغوط.

٢- تشكل سحب جليدية في طبقة الستراتوسفير م- ن حم- ض النترات و نترات الكلور، وهذه لوحظت فوق المناطق القطبية.

٣- وجود حركات هوائية دوامية محيطة بالقطب الجنوبي، ومثلها محيطة بالقطب الشمالي، وهي حركات إعصارية (سيكلونية) تعمل على رفع اله- واء للأعلى تكون نشطة عموماً في العروض العليا. ومثل هذه الحركات التي تتعاطم في الصيف، تشكل عاملاً مخففاً ومعيقاً لتخريب الأوزون.

٤- وجود أشعة الشمس بحزمها فوق البنف- سجية لي- تم ح- دوث التفكك الكيميائي لمركبات الكلور وفلوروكربون، والمركبات الأخرى الحاوية على الكلور (نترات الكلور). وهذا ما يتم مع بداية الربيع الجذ- وبي (ش- هر أيا- ول) مستمراً نشاطه لمدة نحو شهرين، وإذا كان تخريب الأوزون على أشده في فصل الربيع الجنوبي بالنسبة لنصف الكرة الجنوبي.

وعليه يمكن القول: إن الثقب الأوزوني فوق القارة القطبية الجنوبية، ه- و ظاهرة سنوية- كما يرى بعض العلماء- تستمر من (٤-٦) أسابيع كل عام عند فترة الانتقال من ظلام الشتاء القطبي إلى ضوء الصيف القطبي والأعاصير القطبية، أي في فصل الربيع القطبي.

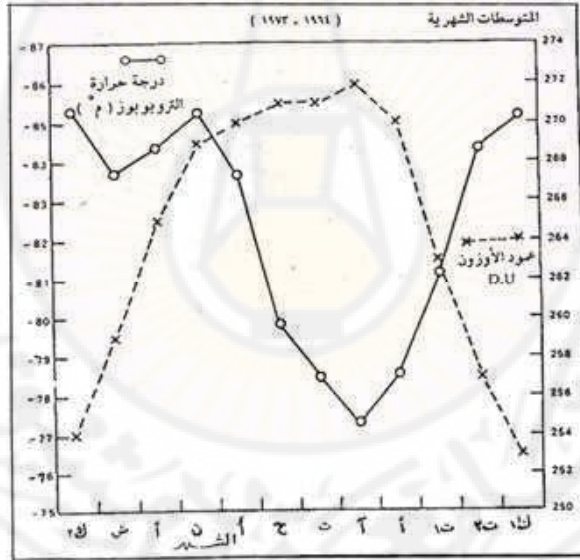
٥- الآثار المناخية والحيوية للأوزون الجوي:

٥-١- الآثار المناخية:

إن التغيرات في كمية الأوزون الستراتوسفيري نتيجة تفاعله م- ع المركبات الغازية سابقة الذكر، س- تنعكس على درجة الحرارة السطحية في الطبقة التروبوسفيرية والعلوية- في طبقة الستراتوسفير- فبانخفاض نسبة الأوزون تتاح

الفرصة لمزيد من الأشعة فوق البنفسجية من العبور تجاه سطح الأرض، مؤدية إلى ازدياد درجة حرارة سطح الأرض والطبقة الهوائية التي تعلوها، والعكس صحيح.

وتشير بعض الحسابات أنه في حال تدني نسبة الأوزون بمقدار (٤%) فسيؤدي عنها ارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض بمقدار (٠,٥°م). أما في حال انضوب نحو (٥٠%) من الأوزون الستراتوسفيري، فيكون الارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض بمقدار (٢°م). أما في طبقة الستراتوسفير؛ فإن تناقص الأوزون سيخفض من درجة حرارة تلك الطبقة، والعكس صحيح، وهذا ما يوضحه الشكل (١١٨).



شكل (١١٨) العلاقة بين تغير نسبة الأوزون ودرجة حرارة قاعدة الستراتوسفير عند خط عرض (١) جنوباً وخط طول (٧٣) شرقاً

٢-٥- الآثار الحيوية

إن الآثار الحيوية للأوزون، ليست هي آثار للأوزون مباشرة على عالم الأحياء الأرضية، وإنما تأثير الأوزون على الوارد من الأشعة فوق البنفسجية إلى

سطح الأرض، كونه يشكل في طبقة الستراتوسفير درعاً لحماية الأحياء الأرضية. وينجم عن تناقص الأوزون في الجو انخفاض في الممتص من الأشعة فوق البنفسجية، وتزايد بالتالي في الواصل منها إلى سطح الأرض. وينجم عن شدة الأشعة فوق البنفسجية المرتبطة بتناقص الأوزون الجوي - وبخاصة ما كان منها بطول موجي (٢٩٠-٣٢٠ ميكرون) - آثار حيوية عديدة تتمثل في الآتي:

٥-٢-١ - تأثيره على الإنسان:

ويتمثل ذلك في نواح عدة:

- ١- الإصابة بما يعرف باسم حرق الشمس أو ضربة الشمس (sun Burn).
- ٢- تؤثر الأشعة فوق البنفسجية على الأحماض النووية التي تحتوي على المادة الوراثية في الجاد، حيث يكون امتصاص تلك الأشعة على أعظمه في الدنا (DNA) لما كان منها بطول موجي (٢٥٠-٢٧٠ ميكرون).
- ٣- الإصابة بسرطانات الجلد المختلفة. وأي انخفاض بنسبة (١%) وفي الأوزون، يمكن أن يؤدي إلى زيادة بنسبة (٥%) في الإصابة بسرطانات الجلد غير القاتلة (Non-Malignant).
- ٤- تقوم الأشعة فوق البنفسجية ذات الطول الموجي (٢٤٠-٢٩٠ ميكرون) بتدمير الأحماض النووية (الدنا DAN والرنا RNA) والبروتين، وهي الجزيئات الأساسية للحياة.
- ٥- إحداث حالات إعتام عدسة العين أو ما يعرف بالساد العيني (Cataract)، وهي عتمة تصيب عدسة العين البلورية أو محفظتها، فتعشى البصر. ويمكن استئصالها بإجراء عملية بسيطة نسبياً، ولكنه إذا تركت دون معالجة فقد ينتج عنها العمى.

٦- نقص في الجهاز المناعي للإنسان، مما يخفض من مقاومة الجسم للكائنات الحية المجهرية المهاجمة، وتجعله أقل قدرة على مكافحة الأورام، وأكثر تعرضاً للأمراض المعدية، مثل القُوباء أو الحلا (Herpes).

٥-٢-٢- الآثار على النبات والحيوان:

من آثار نقص الأوزون وازدياد شدة الأشعة فوق البنفسجية عند سطح الأرض، نذكر:

١- تدني إنتاجية المحاصيل الزراعية.

٢- تدمير البلانكتون النباتي والحيواني مما ينعكس سلباً على الكائنات المائية من أسماك وسواها.

٦- إجراءات الحد من تآكل الأوزون الجوي:

ليس هناك من حلول لتآكل الأوزون سوى إيقاع انبعاث المركبات الكيماوية التي تعمل على تآكله واستنزافه، وهذا لن يتم إلا باتفاقيات دولية ملزمة للدول المسؤولة عن ذلك. وهذا ما تنبه إليه العالم، بعد أن كثرت الأصوات التي تنادي بضرورة وضع حد لنزيف الأوزون الذي يهدد بكارثة مناخية وحيوية.

وهذا ما دفع إلى انعقاد مؤتمر دولي في مدينة مونتريال بكندا في ١٥-١٦ أيلول عام (١٩٨٧)، بحضور ممثلين عن (٣٥) دولة، تم خلال جلساته مناقشة مشكلة الأوزون فقط، ليخلصوا إلى وضع اتفاقية (بروتوكول) شاملة دعت باتفاقية مونتريال، احتوت على عدة بنود، تنفذ وفق مراحل متتالية، هي:

١- تجميد استهلاك مركبات الكلور فلور كربون بحلول عام (١٩٩٠) عند مستويات عام (١٩٨٦).

٢- تخفيض استهلاك مركبات الكلور فلور كربون بنسبته (٢٠%) بحلول عام (١٩٩٤)، وتخفيضه بنسبة (٣٠%) أخرى بحلول عام (١٩٩٥).

٣- يتم تجميد إنتاج الهالون عند مستويات عام (١٩٨٦) بحل - ول - عام (١٩٩٢).

ولكي تصبح الاتفاقية قانونية مع بداية عام (١٩٨٩) يجب إقرارها والتصديق عليها على الأقل من قبل (١١) دولة. وهذا ما حدث، إذ لم يمر منتصف شهر تشرين الثاني عام (١٩٨٨) حتى كان عدد الدول الموقعة على الاتفاقية (١٤) دولة (كندا، الولايات المتحدة، الاتحاد السوفيتي*، البرتغال، لكسمبورغ، اليابان، مصر، كينيا، نيجيريا، النرويج، أوغندا، المكسيك، نيوزيلندا) وبما أنه من الواجب أن يتم تخفيض إطلاق الكيماويات الآكلة للأوزون منذ عام (١٩٩٤) كنتيجة لاتفاقية مونتريال، فإن بعض الباحثين تنبؤوا بأن ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية، يمكن أن يغلق بحلول عام (٢٠٥٠).

ولكن حتى لو توفّر إطلاق مركبات الكلور فلور كربون - ك - أهم مركبات آكلة للأوزون - فإن عمرها الطويل في الجو الستراتوسفيري بعد بلوغها إلى (٧٥ - ١٠٠ سنة) سيبقى مشكلة التآكل للأوزون مستمرة حتى نهاية القرن الحادي والعشرين.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن بعض الدول أوقفت استهلاكها للمواد المطلقة للمركبات الكلوروفلور كربونية، منذ منتصف التسعينات من القرن الماضي، كما في السويد. كما أن دولاً عدة (المملكة المتحدة، والولايات المتحدة، وألمانيا)

* - الاتحاد السوفيتي كام بمثابة دولة كبرى تضم عدد من الجمهوريات حتى عام (١٩٩١م) تفكك الاتحاد السوفيتي إلى دول عدة.

خفضت من انبعاثاتها بما لا يقل عن (٨٥%). ومع تخفيض أو إيقاف أسـتعمال مركبات الكلور وفلوروكربون، فإنه لابد من إعادة التأكيد على أن غـازات الاحتباس الحراري التي تعمل في الجو لأمد طويل - لـطول عمرها - فإنها تعمل على تسخين التروبيوسفير الأدنى، مع تبريد الستراتوسفير، وهـذا مـا سـيـسمح لبلورات الجليد - عبر سحب جليدية - من التشكل فـي الـستراتوسفير، وهـذه البلورات هي مـن المـحفـزات عـلى تـخريـب الأوزون بواسـطة مركبـات الكلور وفلوروكربون.

وفي ختام الكلام، فإن الحماية البيئية، تكون بالحد مـن إنتـاج واطـلاق (CFCs) التي لا يملك العلماء المهتمين بالبيئة الأرضية، سوى التذكير بمخـاطر تآكل الأوزون والتوصية بما هو ضروري فعله. والقرار والفعل مسؤولية صناع السياسة (Policy-Makers) في العالم.

الفصل الخامس

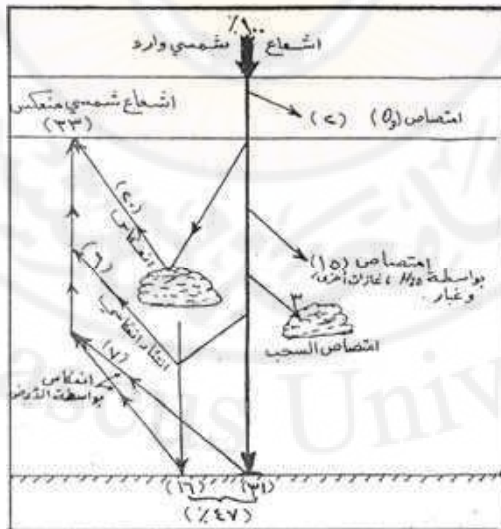
الاحتباس الحراري

- ١ - الموازنة الإشعاعية والاحتباس الحراري.**
- ٢ - الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي.**
- ٣ - مركبات الاحتباس الحراري الغازية.**
- ٤ - التسخن الجوي والاحتباس الحراري.**
- ٥ - مخاطر الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي.**
- ٦ - طرق مواجهة الاحتباس الحراري والحد من مخاطره.**
 - ١-٦ - الطرق الوقائية.**
 - ٢-٦ - الطرق العلاجية.**
 - ٣-٦ - المؤتمرات الدولية في مواجهة الاحتباس الحراري.**

١ - الموازنة الإشعاعية والاحتباس الحراري:

من المتعذر تحديد مفهوم الاحتباس الحراري، وأبعاده الحرارية، بمعزل عن الموازنة الإشعاعية - الحرارية عند سطح الأرض، وفي جوها القريب منها (التروبوسفير)، لما بينهما من علاقة تبادل حرارية. كما أنه لا بد من معرفة مصادر وآليات تزويد الجو بغازات الاحتباس الحراري، وطرق وآليات تصريفها والحد من درجة تركيزها، لما لذلك من أهمية كبرى، في عملية الاحترار الأرض.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن نحو (٤٧%) من الطاقة الإشعاعية الشمسية العابرة بسف الغلاف الجوي، تصل إلى سطح الأرض ويقوم بامتصاصها ورفعه درجة حرارته (٣١%) إشعاع مباشر، ١٦% إشعاع سماوي، وهو إشعاع شمسي غير مباشر أو ما يعرف بالتناثري). ونحو (١٨%) يمتصها الجو التروبوسفيري بمركباته الغازية وسحبها، بجاذب (٢%) يمتصها أوزون طبقة الستراتوسفير. شكل (١١٩).



شكل (١١٩) الموازنة الإشعاعية لسطح الأرض - وجوها

وما امتصه سطح الارض من أشعة شمسية أولية، وما تلقاه أيضاً من أشعة جوية من مركبات الجو التي امتصت طاقة حرارية شمسية، وأرضية، سيعيد إصدار طاقته الحرارية بطرق مختلفة إلى الجو لتسهم بارتفاع حرارته. فمركبات الجو الغازية التي امتصت في حال الجو صحواً خالياً من الغيوم نحو (١٥%) من الطاقة الشمسية، ومعظم الطاقة الحرارية الأرضية، مسهماً ذلك في رفع درجة حرارة الجو التروبوسفيري، ستقوم ببث طاقة إشعاعية بصورة إشعاع جوي تجاه سطح الأرض، مضافة إلى الطاقة الشمسية، مع تبديد جزئ بسيط من الطاقة الجوية نحو الفضاء الخارجي.

وعموماً، فإن مساهمة سطح الأرض في تسخين الجو الأدنى أکبر من مساهمة الإشعاع الشمسي بنحو ثلاث مرات، علماً أن الطاقة الحرارية الأرضية هي طاقة شمسية أصلاً امتصها سطح الأرض وأعاد بثها بطول موجة مغاير، وهذا يعني أن الجو الأدنى يتسخن من قاعدته أكثر مما يتسخن من أعلاه، مما يفسر لنا سبب تناقص درجة الحرارة مع الارتفاع في الجو التروبوسفيري.

إن الحديث عن درجة الحرارة، في موضوع الاحتباس الحراري، هي درجة الحرارة التي يتم قياسها في محطات الأرصاد الجوية - وسواها - وذلك على ارتفاع (١,٥م) فوق مستوى السطح، وهو المستوى الموضوعة عنده ميازين الحرارة في أقفاص الرصد الجوي.

وفي ظل ثبات نسبة مكونات الجو والرئيسية (النيتروجين ٧٨,٠٨%، والأكسجين ٢٠,٩٤% من حجم الهواء)، وعدم حدوث تغيرات كبرى في نسب المركبات الثانوية، فإن درجة حرارة الأرض ستحافظ على توازنها واستقرارها. غير أن المركبات الغازية الثانوية المتغيرة النسبة عمومها، التي مصدرها الأساسي سطح الأرض بفاعلية الإنسان واستثماره له، وأنشطته المختلفة المتغيرة

في الزمان والمكان، هي من تعمل على الإخـلال في التـوازن الحراري الأرضي- الجوي، مما سيفود عندها بالمناخ إما نحو التسخن- إما نحو التبرد.

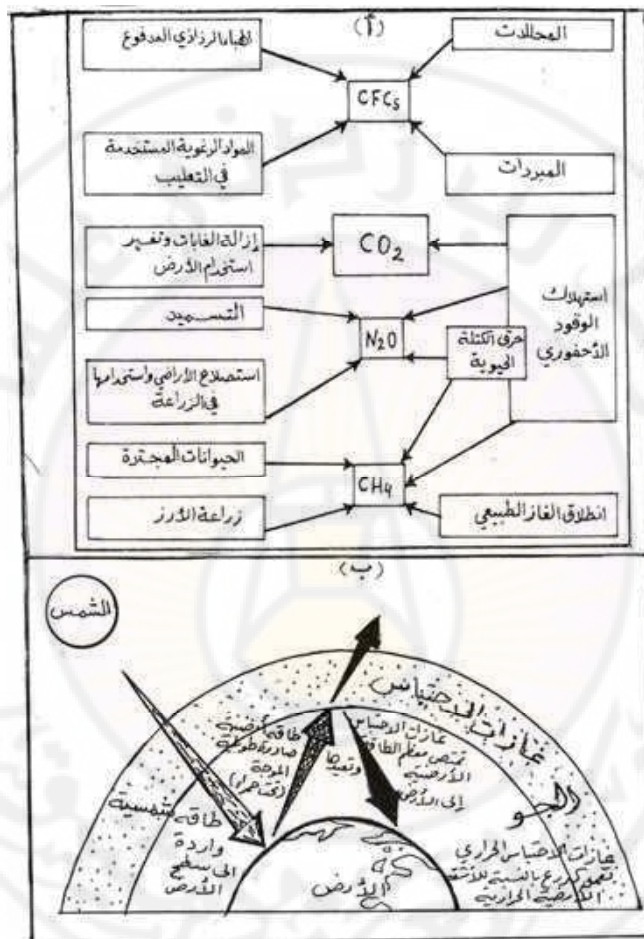
٢- الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي:

تتمثل المركبات الغازية ذات النسب المتغيرة التي تشكل عناصر الاحتباس الحراري، في الجو، في كل من: غاز ثاني أكسيد الكربون، وغاز الميثان، وأكاسيد الآزوت، ومركبات الكلوروفلور وكربون، وبخار الماء إلخ. وفي حال ازدادت نسب المركبات الغازية السابقة على قدرة الأرض بمائها وبأحيائها ونباتها، وأحيائها كافة على الحفاظ على توازنها فسيؤدي ذلك إلى الإخلال بالتوازن الإشعاعي الحراري الأرضي- الجوي، ربما ينعكس على درجة حرارة الأرض. لكون تلك المركبات تتصف عموماً بشفافيتها للأشعة الشمسية قصيرة الموجة التي تسمح لها بحرية ببلوغ سطح الأرض، غير أنها تعد غازات عاتمة بالنسبة للأشعة الأرضية طويلة الموجة (الحرارية) التي يبثها سطح الأرض بعد تسخينه بالطاقة الشمسية والجوية.

والمقصود بالعاتمة، أي إنها من المركبات الغازية الاحتباسية، بمعنى أنها تمتص معظم الطاقة الحرارية الأرضية التي يطلقها سطح الأرض كأشعة أرضية، وتعيد إصدار معظمها تجاه سطح الأرض، محتبسة إياها دونها. فأي مركب غازي يمتص الحرارة الأرضية ويعيدها إلى سطح الأرض، فهو مركب عاتم للأشعة الأرضية الحرارية. ومن ثم فهو من عناصر الاحتباس الحراري. شكل (١٢٠).

فالاحتباس الحراري؛ وهو ما يعرف بتأثير البيت الزجاجي أو البيت الأخضر (Greenhouse Effect)، أو الدفئة الجوية (Hotbed)؛ باعتبار أن مـن مسلمات ظاهرة الاحتباس الحراري، هو ترافقه باحترار أرضي، أي بحدوث

تسخن، كما في البيت البلاستيكي (الزجاجي)، وإذا أطلق البعض على هـ-هـ هذه الظاهرة بما ينتج عنها: الاحترار الأرضي (Global Warming).



شكل (١٢٠) غازات الاحتباس الحراري ومصادرها البشرية (أ)، وآلية الاحتباس الحراري (ب)

وليسَت كافة المركبات الغازية الاحتباسية، هي عناصر احترازية، فبخار الماء (H_2O) غاز احتباسي بامتياز، وهذا ما يتضح من مقارنة درجة الحرارة الليلة شتاء في المناطق البحرية وفيرة بخار مائها مع المناطق القارية القليلة بخار الماء في أجوائها، حيث درجة الحرارة شتاء أعلى في المناطق البحرية.

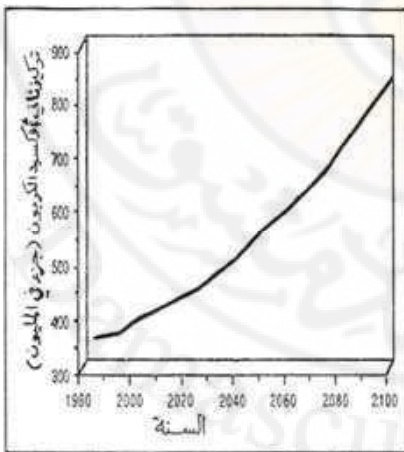
ويجب التمييز بين الاحتباس الحراري، والاحترار الارضي الذي تفقد إليه بعض المركبات الغازية الاحتباسية، وليس كلها. لأنه لكي تكون مركبات الاحتباس الحراري الغازية من عناصر الاحترار الأرضي، يجب أن تكون مركبات غازية تراكمية، بحيث تزداد كميتها في الجو تراكمياً، حتى تصبح أكبر من قدرة الحركة التبادلية لها من الأرض بمائها ونباتها وتربتها على خلاق التوازن، مما يؤدي إلى زيادة في كميتها ونسبتها في الجو سنة فـأخرى، مما سيسفود عندئذ إلى ارتفاع في حرارة الأرض واحترارها، ولهذا السبب عد بخار الماء غازاً احتباسياً وليس احترارياً.

من أهم وأبرز المركبات الغازية التي أسهم الإنسان بشكل أساسي في إضافتها إلى الجو بكميات متزايدة، من خلال استهلاكه الوقود الأحفوري (الفحم والبتروول والغاز) في شتى مناحي الحياة (صناعة، نقل، استخدامات يومية...)، والتي تشكل أركان ظاهرة الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي، هي:

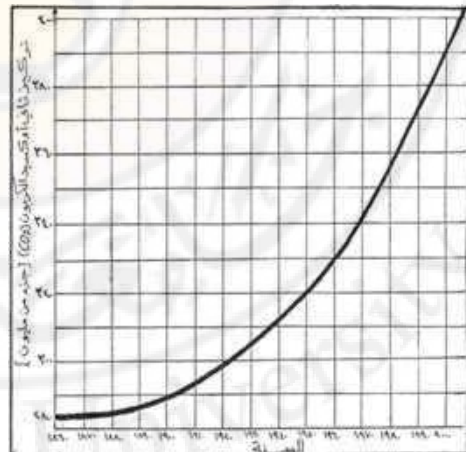
بعد غاز ثاني أكسيد الكربون من أهم غازات الاحتباس الحراري، كونه غازاً تراكبياً في الجو، إذ إن كميته في حالة تزايد سنّة بعد أخرى. وعموماً فإن مصادره أرضية ومتنوعة، ممثلة في: احتراق الوقود الأحفوري في المواصلات والمعامل والمصانع ووسائل النقل، وحدائق الغابات، والبراكين، وتنفس الأحياء، وتحلل المواد الحية بعد موتها، والينابيع الحارة، ومستعمرات النمل الأبيض،

وتحول أول أكسيد الكربون (CO) المتحرر من فعاليات الإنسان وسواها إلـى ثاني أكسيد الكربون بأكسدته في الجو.

ويشكل احتراق الوقود الأحفوري أهم مصدر لتزويد الجو بمركب (CO_2) الذي أخذت نسبته بالتزايد بشكل مطّرد منذ بداية الثورة الصناعية في منتصف القرن الثامن عشر - شكل (١٢١) - . فبينما كانت نسبته (٢٧٥) جزء مليون عام (١٧٥٠) تزايدت إلى (٢٨٥) جزءاً من مليون في عام (١٨٦٠)، ولترتفع إلـى (٢٩٧) جزءاً من مليون في عام (١٩٠٠)، وإلى (٣١٢) جزءاً من مليون فـي عام (١٩٥٠)، وإلى (٣٧٠) جزءاً من مليون في عام (٢٠٠٠)، ولتبلغ نحو (٤٠٠) جزء من المليون في عام (٢٠١٤). ومن المنتظر بلوغها نسبة (٥٥٠-٦٠٠) جزءاً من مليون في عام (٢٠٥٠)، ونحو (٨٥٠) جزءاً من مليون فـي عام (٢١٠٠) - شكل (١٢٢) - . وذلك في حال استمرار انبعاثات (CO_2) فـي تزايد بالمعدلات الجارية.



شكل (١٢٢) التركيز الجوي المتوقع لـ (CO_2) حتى عام (٢١٠٠)



شكل (١٢١) منحنى التزايد في كمية (CO_2) في الجو خلال الفترة (١٨٦٠-٢٠١٠)

والعمر الجوي لغاز (CO_2) يتراوح بين (٥٠-٢٠٠) سنة.. والمفـصـول بالعمر الجوي، هو مدة البقاء (مدة الحياة) للغاز ممارساً دوره فـي الاحتباس. وهذا يعني أنه لو انقطع إمداد الغاز، فإن الموجود منه في الجو له حد أدنى من الفعالية (٥٠) سنة وقد يصل إلى (٢٠٠) سنة، وتبلغ القوة (الطاقة) الإشعاعية لكل جزء من مليون جزء من ثاني أكسيد الكربون نحو $(1,8 \times 10^{-1} \text{°})$ واط/م^٢. ويندر ما ينبعث من (CO_2) سنوياً بنحو (٣٠) بليون طن-حسب تقديرات عام (٢٠١٠) - وهذا ما يشكل نسبته (٧١%) من إجمالي غازات الاحتباس الحراري الأخرى. بينما كانت كمية انبعاثاته نحو (١٤) بليون طن عام (١٩٩٠).

ويسهم تدمير الغابات في المناطق المدارية بإمداد الغلاف الجوي بكميات من (CO_2) تفدر بنحو (٢٠%) مما ينطلق من احتراق الوقود الأحفوري، حيث يقدر المعدل الحالي لانطلاق (CO_2) الناتج عن إزالة الغابات بنحو (١,٦-٢,٦) بليون طن في السنة، منها نحو (١٠٠) مليون طن فقط من الغابات المعتدلة والباردة، والباقي من الغابات المدارية.

بجانب ما ينتج عن إزالة الغابات من إنقاص في كمية (CO_2) الجوية الممتصة من قبلها للقيام بعملية التمثيل اليخضوري، وهذا يزيد من تركيز الغاز في الجو.

٣-٢- غاز الميثان (CH_4):

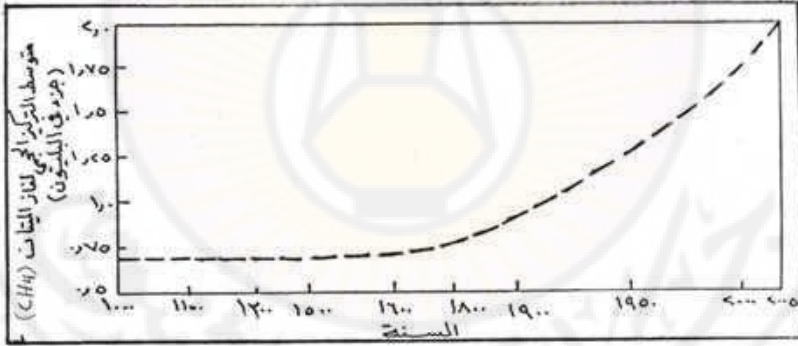
وتتحدد مصادره التي ينطلق منها إلى الجو بالآتي: النشاط البكتيري في المناطق المستنقعية، وبقايا الحيوانات المجترة، ومستعمرات النمل الأبيض، ومزارع الأرز، وتحلل النفايات، ومناجم الفحم، وحقول الغاز الطبيعي، واحتراق الغابات.....الخ.

ويعد هذا المركب الغازي ذا فعالية كبرى في ظاهرة الاحتباس الحراري، نظراً لطاقته الحرارية الإشعاعية الكبرى التي هي أكبر بالنسبة للجزيء الواحد بنحو (٤٥) مرة من الطاقة الحرارية لجزيء ثاني أكسيد الكربون.

إلا أن ما يقلل من دوره في ظاهرة الاحتباس الحراري، أمران هما:

١ - مدة بقاءه (عمره) في الجو التي تتراوح بين (٧-١٢) سنة.

٢ - كميته (إجمالي المنتج منه سنوياً في العام نحو ٥٥٠ مليون طن) ونسبته المنخفضة في الجو، التي لم تكن أكثر من (١,٥) جزء من مليون في عام (١٩٩٠) لتزداد إلى نحو (١,٨) جزء من مليون في عام (٢٠٠٠)، وإلى (٢) جزء من مليون في عام (٢٠١٤). والمنتظر وصولها إلى (٣,٠) جزء من مليون عام (٢٠٥٠)، وإلى نحو (٤,٥) جزء من مليون في عام (٢١٠٠). شكل (١٢٣).



شكل (١٢٣) معدل تزايد غاز الميثان في الجو منذ عام (١٠٠٠) وحتى عام (٢٠٠٥)

٣-٣ - أكسيد النتروز (N_2O):

إن (٨٠%) من أكسيد النتروز يتزود بها الجو من مصادر طبيعية (البراكين، وحدائق الغابات). والباقي (٢٠%) من مصادر بشرية (نواتج احتراق الوقود، والمخصبات الآزوتية)، وهي التي لها الدور الأكبر في تزايد تركيزه في الجو، الذي ارتفع من نحو (٣٠٠) جزء من بليون عام (١٩٧٥) إلى نحو

(٣٢٥) جزءاً من بليون عام (٢٠٠٠) وإلى قرابة (٣٤٠) جزءاً في عام (٢٠١٤). ومن المنتظر وصول تركيزه إلى نحو (٣٧٠) جزءاً في عام (٢٠٥٠) وإلى نحو (٤١٥) جزءاً في عام (٢١٠٠). ويفقد إجمالي المنبعث منه إلى الجو سنوياً بنحو (٣-٨) مليون طن. وطاقة جزيء واحد من (N_2O) الحرارية - الإشعاعية تكافئ طاقة (٢٣٠) جزيء من (CO_2) . كما أن مدة بقائه في الجو طويلة، إذ تتراوح بين (١٥٠-١٧٠) سنة، مما يتيح فترة طويلة لفعاليته، حتى بعد انقطاع تزويده للجو.

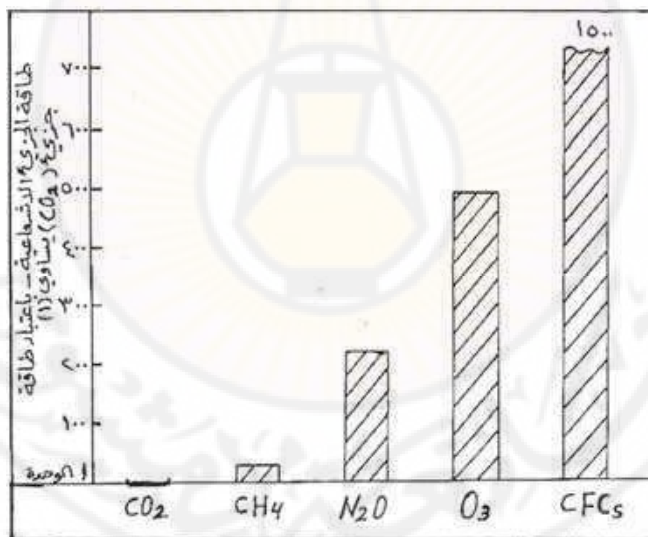
٣-٤ - مركبات الكلوروفلور وكربون (CFCs):

وتشمل عدة مركبات، من أهمها وأكثرها تأثيراً على حركة الجو والأرضي: مركب الفريون ١١ (CF_3Cl) ومركب الفريون ١٢ (CF_2Cl_2) والفريون ١٣ (CF_2Cl_2FCCL). ومصادرها بشرية فقط (صفائح الرش الترابية، المكيفات الهوائية، البرادات، رغوة البلاستيك... إلخ).

وتختلف أعمارها، فبينما عمر الفريون (١١) في الجو يتراوح بين (٦٥-٧٥) سنة، فإن عمر الفريون (١٢) يتراوح بين (١١٠-١٥٠) سنة، وعمر الفريون (١٣) نحو (٩٢) سنة. أما الطاقة الحرارية الإشعاعية لجزيء واحد من مركبات الفريون فهي كبيرة جداً، إذ إنها أكبر بنحو (١٥٠٠) مرة من طاقة جزيء (CO_2) . - شكل (١٢٤) -.

وبينما ارتفع تركيز الفريون (١١) في الجو من (٢٢٢) جزءاً من بليون عام (١٩٨٥) إلى (٢٨٩) جزءاً في عام (٢٠٠٠م)، ليتناقص إلى (٢٤٢) جزءاً في عام (٢٠١٠). فإن تركيز الفريون (١٢) ارتفع من (٣٨٢) جزءاً من بليون عام (١٩٨٥) إلى (٥٤٥) جزءاً في عام (٢٠٠٠) وليتناقص إلى (٥٠١) جزءاً في عام (٢٠١٠). أما الفريون (١٣) فتركيزه الجوي محدود، حيث تراوح

ما بين (٣٠) جزءاً من بليون في عام (١٩٨٥) و(٩٧) جزءاً في عام (٢٠٠٠م) متناقصاً تركيزه إلى (٨٨) جزءاً من بليون في عام (٢٠١٠). ذلك أن نسب تراكيز مركبات الكلوروفلور وكربون، أخذت بالتناقص، منذ نهاية القرن العشرين، لإحلال بدائل عنها، استجابة لمقررات مؤتمر مونتريال (عام ١٩٨٧) ومؤتمر تورنتو بكندا (١٩٨٨)، ومؤتمر كيوتو باليابان (١٩٩٧). فقد دعا مؤتمر تورنتو إلى التوقف التام عن استخدام مركبات الكلوروفلور وكربون بحلول عام (٢٠٠٢). وكانت هناك استجابة مقبولة لهذه الدعوة. فبدلاً من أن كانت مساهمة مركبات الكلوروفلور وكربون في ظاهرة الاحتباس الحراري نحو (١٤%) عام (٢٠٠٠) انخفضت إلى ما دون (٥%) في عام (٢٠١٠).



شكل (١٢٤) الطاقة الإشعاعية لغازات الاحتباس الحراري

٣-٥ البيرو فلورو كربون (PFCs):

وهي مركبات حديثة العهد بالغلاف الجوي. تنتج من صناعة صهر الألمنيوم ومنتجاته، وصناعة أشباه الموصلات، كما تدخل بدلاً عن الهالونات

المستخدمة في إطفاء الحرائق. كما تعد صناعة الصلب وإنتاج وقود الـصواريخ مصدراً إضافياً لانبعاث هذه المركبات نتيجة لاستخدام الفلوروسبار في هـ- هذه الصناعات. ولقد رصدت تراكيز لها لأول مرة في الغلاف الجوي عام (١٩٧٩)، وهي في تزايد بطيء ومحدود.

وبالإضافة إلى قوة فعالية هذه المركبات في ظاهرة الاحتباس الحراري لطاقتها الحرارية العالية التي تفوق باقي عناصر تلك الظاهرة، فإنها أيضاً تبالغ طبقة الستراتوسفير وتسهم في تآكل أوزونها.

٦-٣- سداسي فلوريد الكبريت (SF₆):

لم يكن لهذا المركب الغازي وجود في الهواء قبل العصر الصناعي، وخالصة قبل أواخر القرن التاسع عشر الميلادي. فهو ينتج من صناعة الأجهزة الكهربائية الضخمة، كالمحولات الكهربائية، وكذلك من صناعة الكابلات ذات التوتر العالي. كما ينبعث من خلال عمليات صهر الألمنيوم.... وغير ذلك. ولقد بلغت كمية انبعاثاته نحو (٦٠٠٠) طن في عام (٢٠٠٠).

٧-٣- الأوزون التروبوسفيري (O₃):

إن نحو (١٠%) من إجمالي غاز الأوزون الجوي، توجد في طبقة التروبوسفير، الذي يتولد فيها نتيجة تفاعلات أكسدة الآزوت وأول أكسيد الكربون والميثان.... وغيرها.

وتشير القياسات الحديثة من سطح الأرض ومن البالونات، أن النصف الشمالي من الكرة الأرضية بالقرب من مصادر التلوث الصناعي، يحوي من الأوزون التروبوسفيري كمية أكبر مما يحتويها تروبوسفير النصف الجنوبي. ويختلف التركيز من موقع إلى آخر، فهو في أوجاء المدين

والمناطق الصناعية وقريباً منها أكثر مما في الأجواء الريفية والأجواء البحرية، نظراً لوفرة أكاسيد الآزوت في تلك الأجواء التي تدخل في تفاعلات تقود إلى تشكيل غاز الأوزون.

كما يختلف التركيز من فصل إلى آخر؛ فهو في الربيع والشتاء أكثر مما هو عليه في الصيف والخريف. وهو ليس ثابت الكمية في التروبوسفير، بل إن كميته وتركيزه في تزايد سنة فآخى وبمعدل يتراوح بين (0,4-4%) في السنة.

وقدر العلماء تركيز (O_3) الوسطي في التروبوسفير بنحو (40) جزءاً في البليون عام (2000). وإذا ما كان هذا الغاز يتزايد بمعدل (1%) سنوياً، فسيصل تركيزه إلى (64) جزءاً في البليون في عام (2030). وحسب تقديرات العلماء، فإن تركيز الأوزون الناتج فقط عن غاز الميثان، يتزايد من (2,0) جزء في البليون عام (1990) إلى (2,8) جزء في البليون عام (2030) وإلى (4,8) جزء في البليون عام (2050) وإلى (8,4) جزء في البليون عام (2100).

وفترة بقاء جزيء الأوزون في التروبوسفير لا تزيد على بضعة أسابيع، وإذا فإن تركيز هذا الغاز لا يجد الوقت الكافي ليستقر على رقم عالمي ثابت، كما في تركيزات بقية غازات الاحتباس الحراري.

ورغم ضآلة كميات الأوزون في التروبوسفير، إلا أن لهذا الغاز فـدرة امتصاص عالية لحزم من الأشعة الأرضية تحت الحمراء (عند الطول الموجي 9,6 ميكرون، وعند الطولين الموجيين 6,6 و 4,8 ميكرون).

بجانب فعاليته الامتصاصية الكبرى للأشعة فوق البنفسجية، سواء في طبقة الستراتوسفير، أو ما نفذ منها إلى طبقة التروبوسفير، وهذا ما جعل له إسهاماً في ظاهرة الاحتباس الحراري، والاحترار الأرضي.

٤ - التسخين الجوي والاحتباس الحراري:

تعمل غازات الاحتباس الحراري معاً مع بعضها البعض، وكل منها يكمل بعضه في امتداد ماصيتها على مدى كبير من طيف الأشعة الحرارية الأرضية (تحت الحمراء).

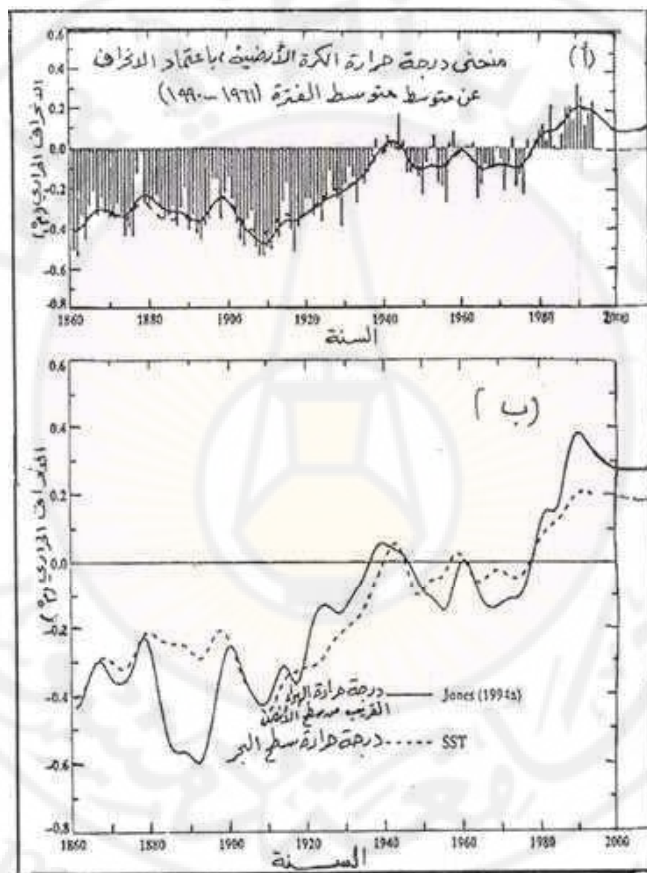
ونتيجة للتزايد المطرد في تراكيز غازات الاحتباس الحراري في الجو - و التروبوسفيري، فقد تم الربط بينها وبين التزايد في درجة الحرارة - الذي أخذ العالم يشهده منذ عام (١٨٥٠)، وهو العام الذي بدأت فيه تلك التراكيز بالتعاظم. ورغم تعدد غازات الاحتباس الحراري، يبقى غاز ثاني أكسيد الكربون - والأهم والأكثر فعالية في الاحترار الأرضي الناجم عن ظاهرة الاحتباس، إذ يعد المسؤول عن أكثر من (٩٠%) من الارتفاع الحراري الأرضي الممكن - زوه إلى هذه الظاهرة، وذلك لتركيزه الأكبر في الجو، الذي يزيد على (٧٠) مرة من تراكيز مجموع غازات الاحتباس الحراري الأخرى.

ومما تتميز به غازات الاحتباس الحراري:

إنها عالمية الانتشار والتأثير، كونها تنتشر مع الحركات الهوائية الأفقية - السطحية والعلوية (الرياح)، بجانب ما تسهم به - التيارات الهوائية الرأسية - الصاعدة (الحملانية) من انتشارها شاقولياً. ولذلك فإن الاحترار الأرضي الناتج عنها عالمي، وإن كانت له تراكيزات أعظمية في المدن والمناطق الصناعية الوفيرة أجواؤها بغازات الاحتباس.

ورغم أن التزايد في تراكيز الاحتباس الحراري اتخذ اتجاه خطياً تصاعدياً بخاصة (CO_2)، إلا أن الاتجاه العام للحرارة لم يأخذ الاتجاه نفسه، وإنما اعترضته بعض التذبذبات نظراً لحلول قوى معاكسة للاحتباس الحراري.

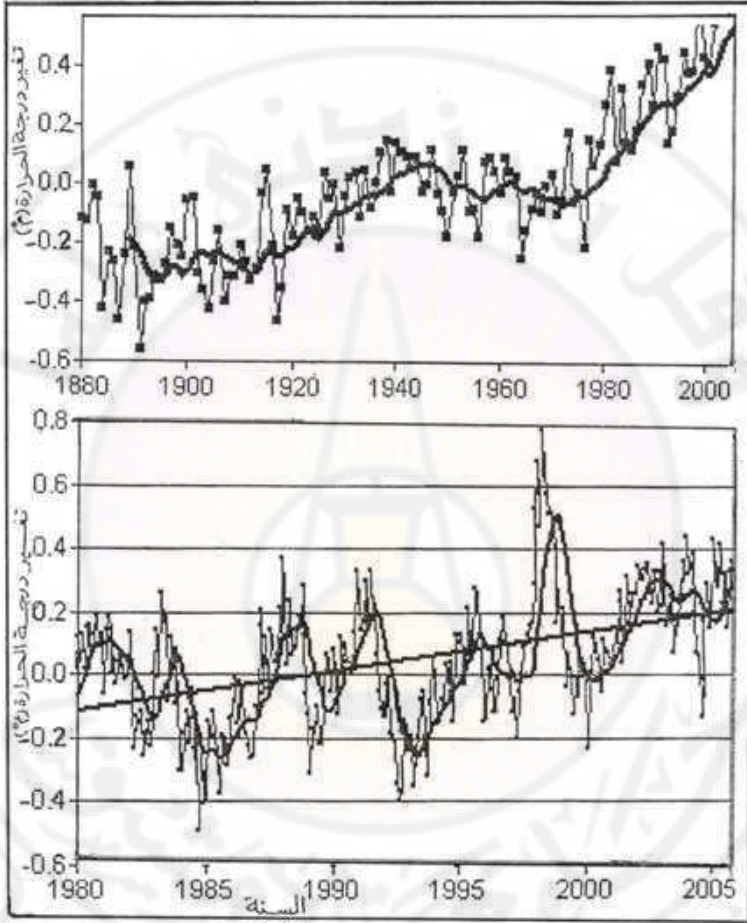
والاحترار الأرضي - ممثلة في زيادة العوالق الصلبة أحياناً في الجو التي تطلقها البراكين والعواصف الترابية، والحرائق... إلخ. - إلا أن العـالم شـهد عموماً تزايداً في درجة الحرارة منذ عام (١٨٦٠) حتى يومنا الحالي بلغ نحو (٠,٦ م) على مستوى الكرة الأرضية. شكل (١٢٥).



شكل (١٢٥) منحنى درجة الحرارة الأرضية منذ عام (١٨٦٠) وحتى عام (٢٠١٠)

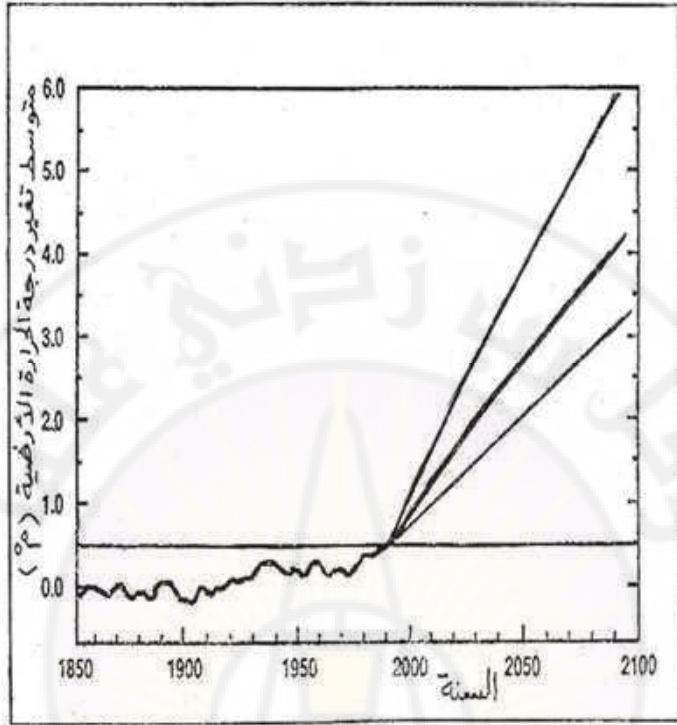
لقد ازدادت درجة حرارة الكرة الأرضية نحو (٠,٥-١ م) خلال الفترة (١٨٨٠-١٩٤٠)، لتتخفض نحو (٠,٢ م) ما بين عامي (١٩٤٠) و(١٩٧٠)، ولتعاود الارتفاع ثانية بمقدار (٠,٣ م) في الفترة (١٩٧٠-١٩٨٠)، وليستمر

الارتفاع خلال الثمانينات من القرن العشرين ليصل أعظمه في عامي (١٩٨٧- ١٩٨٨) إلى نحو (٠,٤) فوق المتوسط العام. شكل (١٢٦).



شكل (١٢٦) تذبذبات الحرارة السنوية في العالم منذ عام (١٨٨٠) وحتى عام (٢٠٠٥)

أما التوقعات المستقبلية للارتفاع الحراري، على ضوء الاستمرار في زيادة تراكيز غازات الاحتباس الحراري، فهي عموماً تتراوح بين (٢-٣°م) في عام (٢٠٥٠)، وستصل إلى (٥-٨°م) في عام (٢١٠٠) - شكل (١٢٧) - . وهذه قيم زيادة كبيرة عموماً، وآثارها خطيرة على البيئة الأرضية.



شكل (١٢٧) التغير في درجة الحرارة الأرضية منذ عام (١٨٥٠) وإسقاطها حتى عام (٢١٠٠)

٥ - مخاطر الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي:

إذا ما تحققت فرضية التسخن المستقبلي للأرض بفعل ظاهرة الاحتباس الحراري، وذلك بارتفاع درجة حرارة الأرض نحو (٣-٥°م) أو أكثر، خلال القرن الحالي، فالتأثيرات ستكون متباينة، والآثار كبيرة، والكوارث المناخية - في تعاطف. ومما يمكننا ذكره في ذلك:

١ - تبدل في الأنظمة الجوية: وتغير في المناخات الأرضية - في عالم الأرض. فالمناطق القطبية القارية ستحل فيها التندرا، وتصبح مقبولة نوعاً ما للحياة، وستعاني العروض المدارية وشبه المدارية (٢٠-٤٠° شمال وجنوب خط

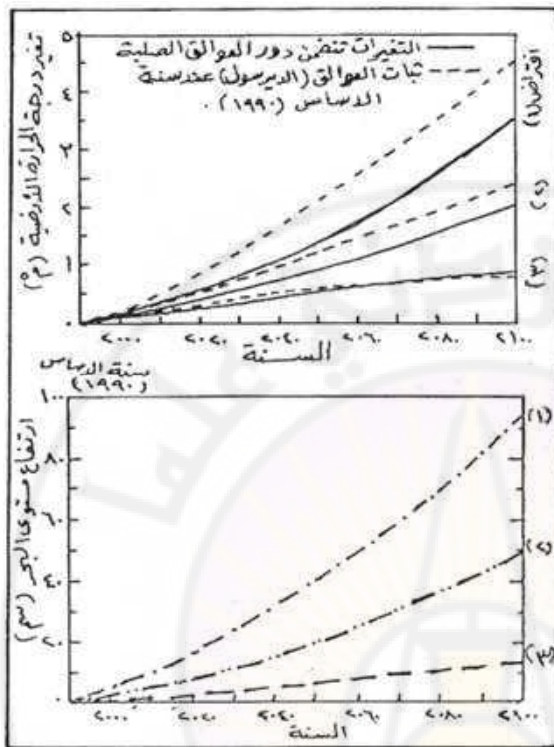
الاستواء) من الجفاف الزائد والتصحر القاتل. وتستعدو مناطق المناخ الباردة (٥٠-٦٠ شمالاً وجنوباً) الأكثر اعتدالاً وصلاحية للسكن والنشاط البشري.

٢- ذوبان معظم الجليديات في العروض العليا (القطبية وشبه القطبية)، وأعلى الجبال، بما في ذلك معظم جليديات القارة القطبية الجنوبية التي تشكل بثلوها التراكم المتجمعة عبر آلاف ولربما ملايين السنين، مخزوناً استراتيجياً للمياه العذبة لملايين البشر، التي قد تستجر إليهم وقت الحاجة الماسة، رغم تكاليف استخراجها الباهظة. علماً أن نحو (١١%) من مساحة الأرض مغطاة بالجليد، ونحو (٩٩,٥%) من جليد غرينلندا والقارة القطبية الجنوبية يمكن أن يذوب إذا ما ارتفعت درجة حرارة الأرض (٥-٦°م).

وفي يومنا الحالي، فإن الحجم التقريبي لجليد الجليديات على سطح الأرض يبلغ نحو (٢٥) مليون متر مكعب.

٣- ارتفاع في مستوى سطح البحار والمحيطات بفعّل ذوبان جزئي للجليديات الأرضية بمعدل ارتفاع نحو (١-٢م)، حسبما هو متوقع (إحدى التوقعات) في عام (٢١٠٠م) إذا لم يعاكس فعل الاحتباس الحراري، ما يعكسه -شكل (١٢٨) - مما سينجم عنه اختفاء وتغريق مساحات كبرى من الأراضي الساحلية المنخفضة وتملح جزء كبير من الأراضي.

إذ من المتوقع في حال عدم توفر الحماية، أن تختفي مدن كبرى عديدة، مثل: أمستردام، بومباي، هونغ كونغ، لوس أنجلوس، نيويورك، طوكيو، وسدني. وستغرق تحت المياه مساحات كبرى من الأراضي الساحلية المنخفضة في العديد من دول العالم، كما في بنغلاديش، وهولندا وأراضي بحر الشمال، وبريطانيا، والدلتا المصرية، وأجزاء كبرى من الأراضي الساحلية في الولايات المتحدة، ومناطق أخرى من جزر وسواها.



وتقدر كلفة إقامة حواجز
حماية مبالغ مالية ضخمة،
وكأمثلة نذكر: هولند (٣-٩
بليون دولار)، بريطانيا (٦-٧
بليون دولار).

شكل (١٢٨) التسخين خلال الفترة
(١٩٩٠-٢١٠٠) وما يكافئه من ارتفاع
في مستوى سطح البحر

٤- زيادة كمية المياه
المتبخرة من البحر والبحار
والمحيطات والتربة والمنتوحة
من النبات، وسترتفع كمية
الطاقة الاستيعابية للهواء من

بخار الماء (الرطوبة المطلقة الإشباعية). وسيعقب ذلك بعد حين نشاط في عملية
التكاثف والتغيم والهطول، مما سيقود لاحقاً إلى التبرّد.

٥- زيادة في عدد الأعاصير ونشاطها، وبخاصة الأعاصير المدارية، ومن
ثم زيادة وتعاظم حجم الكوارث الناتجة عنها، لامتدادها على نطاقات كانت سابقاً
بمناى منها، حيث يمكن أن يصل نطاق تأثيرها إلى عرض (٣٥-٤٠) درجة.

٦- زيادة في نشاط وفعالية ظاهرة النينو، مع ما تتركه من آثار كارثية
في مناطق مختلفة من العالم (جفاف في مناطق، وفيضانات في أخرى).

٧- ازدياد في معدل اشتعال الحرائق في العروق الوسطى، نتيجة
الجفاف والارتفاع الحراري، وتزايد الصاعقة.

٨- عجز ملئي كبير في بفاع عدة من العالم، خاصة في العروض التي ستعاني من مشكلة التصحر (٣٠-٤٠ شمالاً وجنوباً) التي تشمل بـ ذلك كالمـل الأرض العربية؛ حيث سـتجف الينـابيع والأنهـار الـصغيرة، والبحـيرات، وسينخفض مستوى المياه الجوفية لمزيد استجرارها السطحي، وتتدنى نسبة مياه الأنهار العابرة، إن لم تجف في بعض قطاعاتها.

٩- تغير في أنماط الحياة، وفي التنوع الحيوي (Biodiversity)، لتغير البيئات الجغرافية بسبب ما اعتراها ويعتريها من تغيرات مناخية. ولبيلغ التأثير والتغير الحياة المائية من خلال الأمطار الحامضية التي ستتزايد.

١٠- مشاكل بشرية وأزمات اجتماعية وسياسية؛ من خلال المجاعات التي تتعرض لها بعض المناطق، والهجرات البشرية، وغير ذلك، مما ينعكس سلباً على الاستقرار البشري.

١١- زيادة الأمراض السارية المنقولة بالبعوض، والحشرات الأخرى، كالمالاريا والحمى الصفراء والتهاب السحايا والكوليرا. كما ستكثر الطفيليات في المناخ الدافئ. وستنتقل أمراض إلى مناطق لم تكن تعرفها سـابقاً.. وسـتتزايد أمراض كثيرة وتتعاظم أخرى بسبب التلوث الهوائي- كما في ظاهرة الضبخان والمجاعات-، وسيذهب ضحية ذلك مئات الآلاف سنوياً.

٦- طرق مواجهة الاحتباس الحراري والحد من مخاطره:

ليس هناك من حلول آنية لمواجهة الاحتباس الحراري، سـوى الانتظار لنصف قرن لاحق عسى أن ينضب البترول. ولفـرن عـسى أن ينفـد الفحم الحجري. ليضطر العالم عندها إلى استخدام مصادر طاقة جديدة ومتجددة، تلبى احتياجاته في شؤون حياته كافة.

ومن طرق مواجهة الاحتباس الحراري نذكر:

٦-١ - الطرق الوقائية:

من الطرق الوقائية الممكن استخدامها

١ - الترشيد في استهلاك مواد الطاقة الأحفورية في عمليات التدفئة واستخدامات أخرى.

٢ - استخدام مواد طاقة أول تلويثاً للهواء كما في الغاز الطبيعي، والتقليل من استخدام الفحم إلا في الضرورات الصناعية.

٣ - الحد من تفاقم الانتشار المفرط في اقتناء واستخدام وسائل النقل الملوثة للجو.

٤ - زيادة كفاءة استخدام الطاقة - في الإنارة والنقل... وغير ذلك - مما يسهم في التقليل من استهلاك الطاقة، ومن ثم في خفض من الانبعاثات الغازية.

٥ - ابتكار أساليب للتنمية الاقتصادية من شأنها تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

٦ - زيادة المساحات الخضراء: باعتبار النباتات الخضراء من غابات وسواها العامل الحيوي المخفف لتركيز (CO_2) في الهواء، بما تمتصه منه عبر آلية التمثيل الضوئي. كونها تشكل مصرفاً لثاني أكسيد الكربون.

٧ - زيادة المسطحات المائية: لما تمتلكه المياه من خاصية امتصاص (CO_2) الجوي، وخالصة المسطحات المائية في العروض المعتدلة والباردة.

٦-٢ - الطرق العلاجية:

وتتمحور في اتجاه واحد، هو اللجوء إلى استخدام الطاقات البديلة عن الوقود الأحفوري، متمثلة في الآتي:

١ - الهيدروجين: فالهيدروجين كوقود مصدر طاقة صناعية ممكنة، ويمكن استعماله إما مباشرة كوقود، وإما كمادة أولية لإنتاج مـ واد كيميائية أساسية، كالأمونيا (NH_3) والهيدرازين والميتانول. وهناك طرق عديدة تمت للحصول على الهيدروجين.

٢ - الطاقة الشمسية: التي هم أهم مصدر للطاقة البديلة، لخصامتها وتنوعها، ولتجدها، ولكونها أنظف مصادر الطاقة. ويمكن استغلالها حرارياً وكهربائياً وميكانيكياً.

٣ - الطاقة الريحية؛ والتي هي في العموم من نتاج الطاقة الشمسية. ولها استخدامات متنوعة (ضخ المياه، توليد الطاقة الكهربائية، تحويلها إلى حرارة، استخدامها في تحلية مياه البحر، وتحويلها إلى طاقة ميكانيكية).

٤ - الطاقة النووية: هناك العديد من دول العالم (أكثر من ٣٠ دولة) تستخدم الطاقة النووية لتلبية جزء من احتياجاتها من الكهرباء.

٥ - الطاقة الحيوية، وتتمثل مصادر الطاقة الحيوية في: خشب الوقود، الفحم النباتي، بعض المحاصيل الزراعية (قصب السكر، المانيق، الذرة السكرية، البطاطا الحلوة، الكاسافا، الشوندر)، والمخلفات النباتية والحيوانية. ويتم استخدام الطاقة من تلك المصادر إما بالتحويل الكيميائي الحراري، وإما بالتحويل الكيميائي الحيوي (التخمير الهوائي، واللاهوائي).

٦ - الطاقة المائية؛ تعد المياه من مصادر الطاقة المتنوعة الاستخدام فهي: مصدر للطاقة الكهربائية - حيث يمكن تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية -، ومصدر طاقة حرارية باعتبار البحار والمحيطات مخزناً من مخازن الطاقة، كما أنها مصدر طاقة حركية وميكانيكية.

٧- الطاقة الحرارية الأرضية؛ وذلك من خلال ما ينبثق من جوف الأرض بحرارته العالية، من مياه وغازات حارة، عبر الينابيع المائية الحارة (Hot spring) والمختلطة (مياه حارة وغازات) المعروفة بـ الجيزير (Gyser) والانبثاقات الغازية، وهذا ما يكثر عموماً في مناطق عدم الاستقرار من القشرة الأرضية، حيث البراكين والزلازل.

ولقد استفاد الإنسان من الطاقة الحرارية الأرضية منذ أوائل القرن العشرين؛ ففي عام (١٩٠٤) تم بناء أول محطة لتوليد الطاقة الكهربائية في إيطاليا (منطقة لاريريلور) بالاعتماد على بخار الماء الجوفي الحار. وفي الخمسينات أنشئت محطة كهربائية في نيوزيلندا (منطقة واركاي) بالاعتماد على المياه الساخنة والبخار. وفي كاليفورنيا، أقيمت محطة كهربائية عام (١٩٦٠). بالاعتماد على البخار. وهناك العديد من المحطات تعمل على مصادر بخار الماء الساخن في اليابان والمكسيك وآيسلندا وروسيا.

٦-٣- المؤتمرات الدولية في مواجهة الاحتباس الحراري:

لقد غدت مشكلة الاحتباس الحراري والاحترار الأرضي خاصة، والتغير المناخي عامة، مادة دسمة لعقد المؤتمرات الدولية ولصياغة الاتفاقيات وإصدار التوصيات، ولكن دون جدوى؛ فهي عموماً للتسويق ولإضاعة الوقت.

فمنذ أول مؤتمر للأمم المتحدة للبيئة انعقد عام (١٩٧٢) في مدينة أستوكهولم بالسويد، وما تزال المؤتمرات تعقد متنقلة بين هذه الدولة وتلك. وفي عام (١٩٨٨) أنشئت هيئة دولية للتغير المناخي (IPCC) ومقرها في جنيف بسويسرا، ولتصدر خلال الفترة (١٩٩٠-١٩٩٥) نحو (١٧) تقريراً، لم يؤخذ بما جاء فيها عملياً.

وفي (١٩) أيار من عام (١٩٩٢) صدت اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن التغير المناخي (UNFCCC) والتي تمت المصادقة عليها في مؤتمر قمة الأرض الأول الذي عقد في شهر حزيران عام (١٩٩٢) في مدينة ريودي جانيرو بالبرازيل، بحضور ممثلين عن أكثر من (١٥٠) دولة. وقد أقرت هذه القمة بضرورة تخفيض نسبة انبعاثات غازات الاحتباس الحراري في الدول المتقدمة في عام (٢٠١٠) بنسبة (١٥%) من مستواها في عام (١٩٩٠).

وتمخض عن الاتفاقية الإطارية (UNFCCC)، إنشاء هيئة عليا معنية بالاتفاق عرفت بمؤتمر الأطراف (COP). الذي عقد أول دوراته (COP.1) في (آذار - نيسان) عام (١٩٩٥) في برلين بألمانيا. ليغدو مؤتمر الأطراف - و المعني بمشكلات المناخ، والذي أصبح تقليداً سنوياً؛ ففي شهر تموز عام (١٩٩٦) عقد مؤتمر الأطراف الثاني (COP2) في جنيف بسويسرا. ولعقد مؤتمر الأطراف الثالث (COP3) في مدينة كيوتو اليابانية في شهر كانون الأول عام (١٩٩٧)، الذي اعتبر أكثر المؤتمرات المناخية شهرة، وأهمية، والذي تم فيه اعتماد اتفاقية تقضي بأن تكفل الدول الصناعية، منفردة أو مجتمعة، تخفيض مجموع انبعاثات غازات الاحتباس الحراري لديها في الفترة (٢٠٠٨-٢٠١٢) بنسبة (٥%) على الأقل مما كانت عليه عام (١٩٩٠).

وهذه هي الولايات المتحدة أكبر دولة في العالم بانبعاثاتها من غازات الاحتباس الحراري (٣٧%) تعطل اتفاقية كيوتو، بالامتناع عن التصويت عليها... بجانب غيرها من الدول الصناعية الأخرى ذات النسب الكبيرة.

واستمرت مؤتمرات الأطراف (COP) في الانعقاد سنوياً، متنقلة من دولة إلى أخرى. والجدول التالي (٢٢) يبين تلك المؤتمرات وأماكن ومواعيد انعقادها، منذ مؤتمر الأطراف الأول (COP.1).

رقم مؤتمر الأطراف	السنة	فترة الانعقاد	المدينة	الدولة
١	١٩٩٥	آذار - نيسان	برلين	ألمانيا
٢	١٩٩٦	تموز	جنيف	سويسرا
٣	١٩٩٧	كانون الأول	كيوتو	اليابان
٤	١٩٩٨		بوينس آيرس	الأرجنتين
٥	١٩٩٩	٢٥ تشرين الأول - ٢٨ تشرين الثاني	بون	ألمانيا
٦	٢٠٠٠	تشرين الثاني	لاهاي	هولندا
٧	٢٠٠١	٢٩ تشرين الأول - ١٢ تشرين الثاني	مراكش	المغرب
٨	٢٠٠٢	٢٣ تشرين الأول - ٤ تشرين الثاني	نيودلهي	الهند
٩	٢٠٠٣	كانون الأول	ميلانو	إيطاليا
١٠	٢٠٠٤	١٢ تشرين الثاني - ٦ كانون الأول	بوينس آيرس	الأرجنتين
١١	٢٠٠٥	٢٨ تشرين الثاني - ٩ كانون الأول	مونتريال	كندا
١٢	٢٠٠٦	٦ - ١٧ تشرين الثاني	نيروبي	كينيا
١٣	٢٠٠٧	٣ - ١٤ كانون الأول	بالي	أندونيسيا
١٤	٢٠٠٨			
١٥	٢٠٠٩	٧ - ١٨ كانون الأول	كوبنهاغن	دانمارك
١٦	٢٠١٠	٢٩ تشرين الثاني - ١٠ كانون الأول	كانكون	المكسيك
١٧	٢٠١١	٢٨ تشرين الثاني - ١١ كانون الأول	دوربان	جنوب افريقية
١٨	٢٠١٢	تشرين ثاني - كانون الأول	الدوحة	قطر
١٩	٢٠١٣	١١ - ٢٣ تشرين الثاني	وارسو	بولندا
٢٠	٢٠١٤	٤ - ١٥ حزيران	بون	ألمانيا

وكافة قرارات المؤتمرات والاتفاقيات التي عقدت بشأن التغير المناخي والاحتباس الحراري - من مؤتمرات الأطراف ... وسواها -، أجهضت ودفنت

في التراب. وما تزال تراكيز غازات الاحتباس الحراري في تزايد. ومن غير المتوقع أن يحدث أي إنقاص فعال فيها في المستقبل القريب. وعلينا أن ننتظر حتى ينضب احتياطي البترول والفحم بعد نحو قرن أو أكثر، وتأخذ مصادرها الطاقات البديلة النظيفة دورها في حياة البشر.

ومع ذلك، فقد هوات ظاهرة الاحتباس الحراري، وما نجم وسينجم عنها من احترار أرضي. فلم يشكل الاحترار حتى الآن خطراً على الأرض. والتوقعات المبنية على الاحتمالات، تبقى برسم الاحتمالات، لأن هذا قد ينعكس الاحترار الأرضي يمكن أن تعدو مستقبلاً ذات شأن.

وسننهي الحديث عن الاحتباس الحراري، بما قاله عالمي مناخ أمريكيين مشهورين، هما (ناجل لاوسون، إيان بلايمر):

«إن الغاية من تضخيم ظاهرة الاحتباس الحراري المنسوبة للإنسان، هي في شأن حروب جديدة وصراعات من أجل المياه والموارد المتبقية في دول العالم النامية والمتخلفة».

الباب الخامس

الكوارث الكونية

الفصل الأول: المذنبات وآثارها البيئية

الفصل الثاني: الضربات النيزكية للأرض

الفصل الثالث: العواصف الشمسية

الفصل الأول

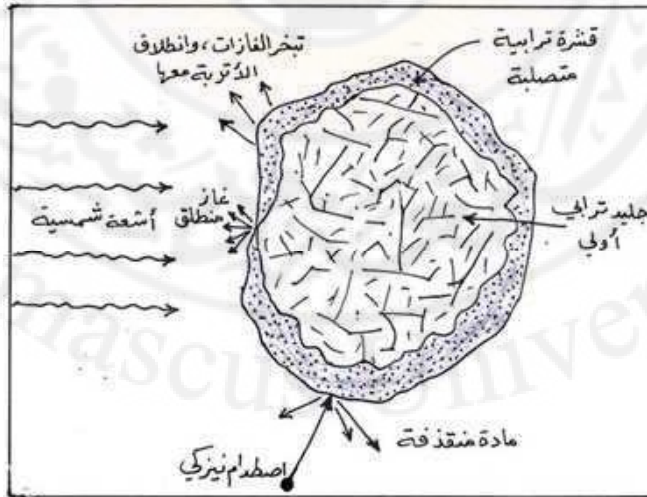
المذنبات وآثارها البيئية

- ١ - ما المذنب؟
- ٢ - بنية المذنب.
- ٣ - حركة المذنبات.
- ٤ - آليات تأثير المذنبات على الأرض.
- ٥ - نماذج لأشهر المذنبات.
- ٦ - نماذج عن الارتطامات المذنبية للأرض.

١ - ما المذنب؟

تعد المذنبات من أعضاء المنظومة الشمسية، لأنها - كما أسـ ورة بجاذبية الشمس وتدور حولها، والمذنب؛ هو جسم صلب، بهيئة كتلة شبه دائرية بقطر بضعة كيلومترات يجر خلفه ذيلًا في المرحلة التي يكون فيها قريباً من الشمس، والذيل (الذنب) هو الذي ألكسبه تلك التسمية (المذنب).

وتتتركب المذنبات عموماً، من كرة جليدية من غازات متجمدة (بخار ماء، ثاني أكسيد كربون، ميثان، نشادر، سيلانوجين... وغيرها) مختلطة مع دقائق ترابية محتوية على عناصر معدنية كالمغنزيوم والحديد والألمنيوم والسيلكون... وغيرها، ومغلّفة بفشرة ترابية صلبة ذات مسامات وفتحات وشقوق، تتشكل مخرجاً للغازات والأتربة الداخلية عند الاقتراب من الشمس بتسخنها وارتفاع حرارتها إلى ما دون نقطة الانصهار والتبخّر، لتنتقل عندها الأبخرة بعد التصعيد (التسامي) للغازات المتجمدة. شكل (١٢٩).

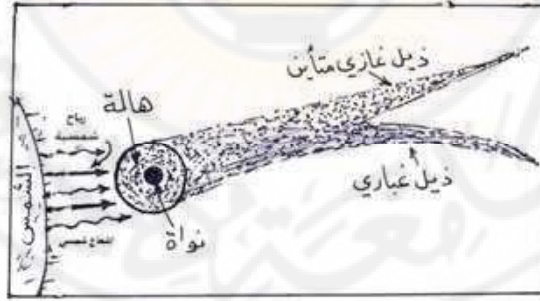


شكل (١٢٩) تركيب النواة المذنبية

والمصدر (المنبع) الرئيسي للمذنبات، سحابة أورت (Oort Cloud) المحيطة بالمنظومة الشمسية على بعد عنها يتراوح بين (١٠ - ١٠٠) وحدة فلكية، والتي تحتوي على قرابة (٣٠٠) بليون مذنب. ويتسبب اقتراب أحدها من تلك السحابة المذنبية في حدوث اختلال في مسارات بعضها، دافعاً إليها نحو الشمس لتدخل في مجال جاذبيتها، ويقترّب هذا النجم من السحابة مرة كل نحو (٥٠٠) مليون سنة.

٢- بنية المذنب:

إذا ما اقترب أي مذنب من الشمس إلى ما دون ثلاث وحدات فلكية، فسيحدث عندها التغير والتبدل في البنيان الرئيسي للمذنب وهو النواة. وتتأخذ عناصره الرئيسية بالتشكّل، والتي تزداد وضوحاً وتميزاً بازدياد الاقتراب من الشمس، خاصة إذا ما اقترب إلى ما دون وحدتين فلكيتين، أو ما دون وحدة فلكية واحدة، وسيبدو عندها مكوناً من ثلاثة أقسام، هي - شكل (١٣٠) :-



شكل (١٣٠) بنية المذنب

١ - **النواة (Nucleus):** وهي الجزء الرئيسي والأولي في المذنب. وهي الجزء الصلب فيه المكون من جليد وأتربة، وقطرها بضعة كيلومترات، ويصل في البعض إلى نحو (٢٠ كم) وأكثر.

٢- **الهالة (Coma):** وهي مجموعة من الغازات والدقائق الترابية المغلفة للنواة، التي انطلقت من النواة بفعل التسخين الشمسي لمكوناتها، وتـسـلـمـي المكونات الجليدية، مسهماً في ذلك الضغط الإشعاعي الشمسي، وتبدأ في التشكل عند اقتراب المذنب من الشمس إلى ما دون ثلاث وحدات فلكية، وكلما ازداد الاقتراب أكثر، وازداد التسخين الشمسي ازدادت كمية الغازات والدقائق الترابية المنطلقة، لتجال النواة بسماكة كبيرة، تبلغ عشرات آلاف الكيلومترات، وقد تصل في البعض إلى (١٠٠) ألف كم فأكثر.

٣- **الذيل (Tail):** إذا كانت القوة الرئيسية المشكّلة للهالة هي الطاقة التسخينية الشمسية وقوة الضغط للإشعاع الشمسي، فإن القوة الرئيسية المشكّلة للذيل هي الرياح الشمسية - بجاذب ضغط الإشعاع الشمسي - التي تزداد قوة بالاقتراب من الشمس، والتي تدفع جزءاً من الهالة بعيداً عن الشمس.

ويزداد طول ذيل المذنب بالاقتراب من الشمس ليصل طوله في بعض المذنبات إلى عشرات ملايين الكيلومترات، وفي بعضها الآخر إلى مئات ملايين الكيلومترات.

وبينما يكون لبعض المذنبات ذيل واحد، وهو عموماً غازي مستقيم، مكون من غازات متأينة (متشردة) بفعل الإشعاع الشمسي، وذو لون أزرق، فإن بعضها الآخر ذيلاً ثانياً غبارياً - مع نسبة من الغازات - يكون منحنياً، ويلون أصفر أو بني محمر. وبينما الذيل الغباري يعود في تشكّله إلى ضغط الرياح الشمسية، فإن الذيل الغازي سببه ضغط الإشعاع الشمسي. ويكون الذيل دائماً في الوجهة الأبعد عن الشمس سواء في اقترابه منها أو ابتعاده عنها.

٣- حركة المذنبات:

المذنبات في حالة حركة دائبة ضمن مسارات (مدارات) إهليلجية - على شكل قطع ناقص - متطاولة ضيقة من جانبيها. وقرابة نصف المذنبات تدور

حول الشمس في حركة موافقة لحركة الكواكب، بينما نـصفها الآخر يـ دور معاكساً لذلك، بما تعرف مداراتها بالمدارات التراجعية، كما في مـذب هالي.

وبينما مدارات بعض المـذنبات لا تتعـدى مـدار المـشتري، وتتـصف بأدوارها القصيرة (دون ٥٠ سنة)؛ كما في مـذب إنكي (٣,٣ سنة) ومـذب بيلا (٦,٧٥ سنة) ومـذب توتل (١٣,٧ سنة). فإن لبعضها أدواراً طويلة، وهي التي تبلغ في دورانها الحدود الخارجية من المنظومة الشمسية متجاوزة مدار بلوتـو، كما في مـذب هالي - بوب (Hale - Bopp) الذي يستغرق نحو (٢٤٠٠) سـنة لإكمال دورته حول الشمس، وكذلك مـذب هيكوتاكـي (Hyakutake) الذي مـدة دورته نحو (١٥٠٠٠) سنة، أما مـذب هالي فمـدة دورته (٧٦,٣) سنة، ومـذب فستال (٦١,٧) سنة.

٤ - آليات تأثير المـذنبات على الأرض:

إن المـذب أثناء عبوره مدار الأرض مقرباً من الشمس ومبتعداً عنها يفقد كميات كبيرة من مادته الصلبة والغازية تقدر بملايين الأطنان، فمـذب هـالي - كـمثال - يفقد في كل رحلة اقتراب له من الشمس نحو (٢٥٠) مليون طن، كمـا في دورتيه في عامي (١٩١٠ - ١٩٨٦)، التي خـلف وراءه في كل دورة نحو (٢٠ - ٥٠) مليون طن في داخل المدار الأرضي وعبره، حيث تعمـل دقائـقه الصلبة على تخفيض نسبة الأشعة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض بعاكسيته لها، مما يؤدي إلى انخفاض ملحوظ في درجة الحرارة، كما حدث في شـتاء (١٩١٠ - ١٩١١) الذي كان شتاء شديد البرودة، حيث انخفضت درجة الحرارة نحو (٥) درجات دون معدلها.

وتشكـل الدقائق الصلبة المـذنبية - ما كان قطرها بضعة مليمتـرات حتـى سنتيمـترات - مصدراً للشهب، عند محاولة اختراقها الغلاف الجوي نحو سـطح

الأرض، واحتكاكها بمكونات الهواء، مما يرفع من درجة حرارتها إلى درجة احتراقها، مولدة وميضاً ضوئياً، لذا تكثر الشهب بشكل كبير في أعقاب م-رور الأرض في منطقة البقايا المذنبية التي خلفها المذنب عند عبوره لمدارها.

كما أن الدقائق الصلبة المذنبية - مع ما احترق منها كشهب - تقوم بدور نويات تكاثف وتجمد لبخار الماء الذي يترسب عليها، مما ينتج عن ذلك وفرة في الهطولات الثلجية، وهذا ما حصل في شتاء عام (١٩١٠ - ١٩١١) الأكثر ثلجاً في القرن العشرين، ليطلق عليه عام الثلج، وكان ثلجه مشوباً بالحمرة.

بالإضافة إلى ما تقدم، وهو الأهم والأخطر والأكثر كارثية، فـفي حال ضرب مذنب أو قطعة منه الأرض، بما ينجم عن ذلك من كوارث بيئية، تتمثل - في الآتي - حسب طبيعة المنطقة المعرضة له:-

١- حدوث حرائق ضخمة في الغطاء النباتي، تنعكس على الأحـوال الجوية، والبيئية والحياتية.

٢- انتشار كميات كبيرة من الأتربة من سطح الأرض المصدوم، ومـن المادة المذنبية الصادمة، مما يجلل سطح الأرض، وينعكس على أحواله الجوية، ويشكل عامل إعاقة للحياة الأرضية لانخفاض نسبة الطاقة الشمسية.

٣- حدوث موجات صدمية كبيرة، تترافق باهتزازات أرضية.

٤- ارتفاع كبير في درجة حرارة منطقة الصدم سواء أكانت يابسة أم ماء، بما يفارب من (٣٠٠٠ - ٥٠٠٠ درجة مئوية).

٥- حدوث طغيان مائي كبير إذا ما كانت الـضربة الـصدمية لـمـسـطح مائي.

٦- انفراض أعداد كبيرة من الأحياء، نتيجة الأسباب الـسابقة، وألسـباب غيرها صدمية.

٧- ومما نادى به في السنوات الحديثة كل من العالمين (فريـد هوبـل،
 وشاندرا ويكرامسينغي)؛ أن المذنبات يمكنها أن تحمـل معـها بعـض أنـواع
 الفيروسات من الهـواء العـالـوي، وتتـسبب فـي حـدوث أمـراض وبائـية
 (Epidemics)، كما في مرض الجدري (Smallpox)، ورغم أهمية ذلك الطرح،
 لم يجد دعماً في الأوساط الفلكية أو الطبيعية.

٥- نماذج لأشهر المذنبات:

لقد تم اكتشاف أكثر من (١٠٠٠) مذنب، وحددت مدارات أعـداد كـبيرة
 منها، وحسبت أدوارها، وعرفت خصائصها، وهي تختلف في أحجامها كمـا
 تختلف في أطوال مداراتها وأدوارها، وما تتعرض لـه فـي مـساراتها حـول
 الشمس، والجدول التالي (٢٣) يبين خصائص بعض المذنبات المعروفة.

المذنب	سنة الاكتشاف	دورته (سنة)	نمركزه	ميله	المسافة من الشمس	
					الصغرى	العظمى
إنكي	١٧٨٦م	٣,٣	٠,٨٥	١٢,٠	٠,٣٤	٤,١٠
تمبل - ٢	١٨٧٣م	٥,٣	٠,٥٥	١٢,٥	١,٣٨	٤,٧٠
كوبف	١٩٠٦م	٦,٤	٠,٥٥	٤,٧	١,٥٨	٥,٣٤
جلكويني - زينر	١٩٠٠م	٦,٦	٠,٧١	١٣,٧	١,٠١	٦,٠٠
بورللي	١٩٠٥م	٦,٨	٠,٦٣	٣٠,٢	١,٣٢	٥,٨٣
بروكس - ٢	١٨٨٦م	٧,٠	٠,٧٠	٣,٦	١,١٠	٦,١٩
فاي	١٨٤٣م	٧,٤	٠,٥٨	٩,١	١,٥٩	٥,٩٦
وولف - ١	١٨٨٤م	٨,٤	٠,٤٠	٢٧,٣	٢,٤٢	٥,٧٣
توتل	١٧٩٠م	١٣,٧	٠,٨٢	٥٤,٤	١,٠١	١٠,٤٥
هالي	٢٤٠٠ق.م	٧٦,٠٣	٠,٩٧	١٦٢,٢	٠,٥٩	٣٤,٩٩

بالإضافة إلى مذنبات أخرى عديدة اكتشفت في القرن العشرين، كما في مذنب دي لايت (Day light)، ومذنب سكجليزوب - ماريسيني، ومذنب إيكيا - سكي، ومذنب هياكوتاكاي، ومذنب هالي - بوب. وستعرض فيما يلي إلى مذنبين من أشهر المذنبات التي كثرت - ردت - ردد أسماؤها على الألسنة:

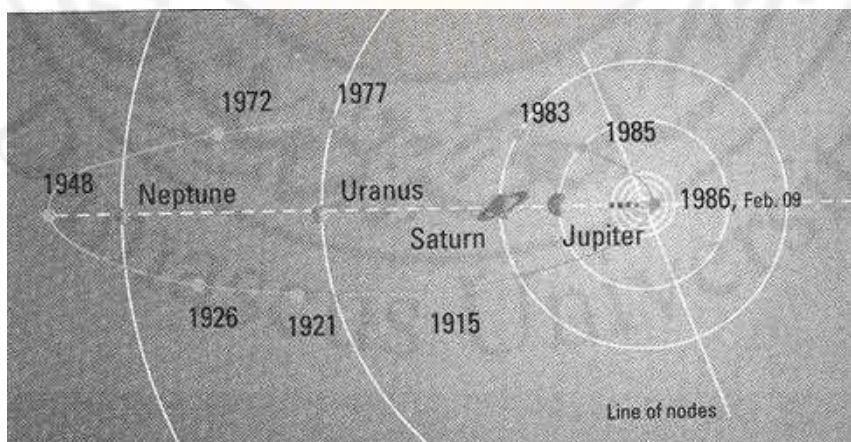
٥-١ - مذنب هالي (Haley Comet):

قد يكون مذنب هالي أكثر المذنبات شهرة ومعرفة في العالم، لإطلائته مرتين على الأرض في القرن العشرين، (١٩١٠ - ١٩٨٦)، وهو الذي نسب إلى العالم الفلكي البريطاني أدmond هالي (Edmond Halley) الذي كان أول من حدد دورته ومداره في عام (١٦٨٢م)، وإن كان قد شوهد في عام (١٦٤ ق.م)، ورصده الصينيون في عام (١٠٥٩ ق.م)، وفيما يلي جدول (٢٤) يبين تـواريخ الرصد الأولى والتالية لها لمذنب هالي:

السنة	تاريخ الرصد (مرحلة الاقتراب)	السنة	تاريخ الرصد (مرحلة الاقتراب)
١٠٥٩ ق.م	٣ كانون الأول	٩١٢	١٨ تموز
٢٤٠ ق.م	٢٥ أيار	٩٨٩	٥ أيلول
١٦٤ ق.م	١٢ تشرين الثاني	١٠٦٦	٢٠ آذار
٨٧ ق.م	٦ آب	١١٤٥	١٨ نيسان
١٢ ق.م	١٠ تشرين الأول	١٢٢٢	٢٨ أيلول
٦٦ م	٢٥ كانون الثاني	١٣٠١	٢٥ تشرين الأول
١٤١ م	٢٢ آذار	١٣٧٨	١٠ تشرين الثاني
٢١٨	١٧ أيار	١٤٥٦	٩ حزيران
٢٩٥	٢٠ نيسان	١٥٣١	٢٦ آب

٣٧٤	١٦ شباط	١٦٠٧	٢٧ تشرين الأول
٤٥١	٢٨ حزيران	١٦٨٢	١٥ أيلول
٥٣٠	٢٧ أيلول	١٧٥٩	١٣ آذار
٦٠٧	١٥ آذار	١٨٣٥	١٦ تشرين الثاني
٦٨٤	٢ تشرين الأول	١٩١٠	١٠ نيسان، ١٩ أيار
٧٦٠	٢٠ أيار	١٩٨٦	٩ شباط، ١١ نيسان
٨٣٧	٢٨ شباط	٢٠٦١	--

ومندَّب هالي ذو مدار شديد الإهليلجية - شكل (١٣١) - حيث تباغ إهليلجيته نحو (٠,٩٧)، وأقرب مسافة يبلغها من الشمس نحو (٨٨) مليون كم. مخترقاً مدار الزهرة، بينما أبعد مسافة يبلغها عن الشمس نحو (٥٢٥٠) مليون كم، خلف مدار نبتون وحزام كويبر. ومدة دورته الوسطى حول الشمس نحو (٧٦,٠٣) سنة، مع تذبذب فيها (± 2 سنة). ويبلغ قطر نواته كما حددت في دورتيه الأخيرتين (١٩٨٦، ١٩١٠) بحدود (٢٠ كم)، كما قدرت كتلة نواته بنحو (٢٠٠) بليون طن، وهو بذلك أول من كتلة الأرض بنحو (٣٠) مليون مرة.



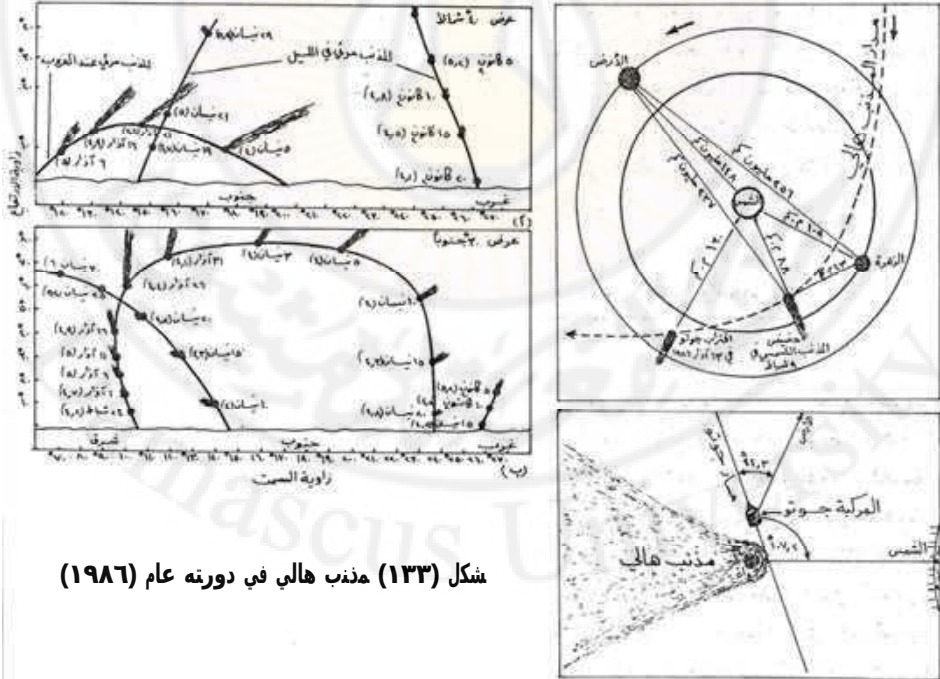
شكل (١٣١) مدار مندَّب هالي

ويختلف طول ذيل مذنب هالي باختلاف درجة اقترابه من الشمس، ففي عام (١٩١٠) بلغ أعظمي طول ذيله نحو (٣٠) مليون كم، بمروره في أقرب مسافة من الشمس في (١٠) نيسان، وليكون في (١٩) أيار وهو بين الشمس والأرض في أقرب مسافة من الأرض (نحو ٢٤ مليون كم)، حيث اختفت الأرض ذيل المذنب في خمس طوله، دون أن يصيبها أي ضرر، وغدا الليل نهراً ذهبياً، غير أن شعوب الأرض تشاءمت من ظهوره، واعتبرته كغيره مذير شؤم... وهذا لا أساس له. شكل (١٣٢).



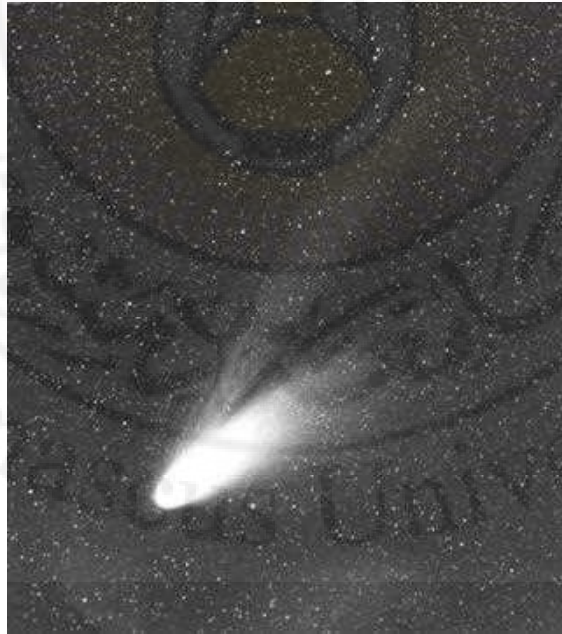
شكل (١٣٢) مذنب هالي في دورته عام (١٩١٠)

وبعد ذلك اتجه المذنب في مرحلة الابتعاد عن الشمس، ليبلغ أوج-ه المداري (أقصى بعد له عن الشمس) في عام (١٩٤٨) فيما بين مداري نبت-ون وبلوتو، ليأخذ في الاتجاه من جديد نحو الشمس، مخترقاً م-دار نبت-ون عام (١٩٦٤)، ومدار أورانوس عام (١٩٧٧)، ومدار المريخ في النصف الثاني من عام (١٩٨٥)، ولبيلغ نقطة الحضيض بالنسبة للشمس في (٩) شباط عام (١٩٨٦) ببعد عنها نحو (٩٠) مليون كم، بينما بلغ أقرب م-سافة م-ن الأرض (٦٣ مليون كم) في (١١) نيسان عام (١٩٨٦)، حيث بدا في ذلك اليوم واضحاً مرتفعاً في سماء النصف الجنوبي من الكرة الأرضية، وقريباً من الأفق ل-سكان المنطقة المعتدلة الشمالية في الاتجاه الجنوبي والجنوبي الغربي، ولقد بدا يج-ر وراءه ذيلاً بطول نحو (٧٥) مليون كم. شكل (١٣٣).



٥-٢- مذنب هالي - بوب (Hale - Bopp):

تم اكتشاف هذا المذنب في ١٠-٢٢ تم-١٩٩٥م بولس-طه الراصدين الأمريكيين (آلان هالي Alan Hale وتوماس بوب Thomas Bopp) وعرف باسمهما، وكان كجرم خافتٍ على مسافة (٩٠٠) مليون كم من الشمس خلف مدار المشتري، ولكن ازداد لمعانه وتألّقه باقترابه من الشمس، لتتاح رؤيته بالعين المجردة في خريف عام (١٩٩٦)، وليغدو براقاً في شهري آذار ونيسان عام (١٩٩٧) بقدر له تتجاوز (١-)، وليصبح في (٢٢) آذار عام (١٩٩٧)، على بعد من الأرض نحو (١٩٣ مليون كم) وليصل في اليوم الأول من نيسان إلى مسافة نحو (١٢٥) مليون كم من الشمس، وليعكف بعدها رحلة الابتعاد عن الشمس. ولقد شوهد بنيلين؛ أحدهما غازي متأين بلون أزرق، والآخر غباري بني محمر. شكل (١٣٤).



شكل (١٣٤) مذنب هالي - بوب

٦- نماذج عن الارتطامات المذنبية بالأرض:

تحكي الأرض - كما غيرها من الكواكب في النظام الشمسي - قصص انفجارات سطحية، ودمار، لا يمكن تفسيرها حالياً بالقوى الخارقة، فلا بد من إيجاد تفسير علمي يتناسب مع حجم كارثتها، وما تركته من آثار على سطح الأرض وسواها من الكواكب، وأكثر ما يدل على الضربات المذنبية، خلو منطقة الصدم من الفوهات الضخمة، كما في الضربات النيزكية، وإن وجد فت فهي بمثابة منخفضات سطحية أُفرغت من قشرتها الترابية العلوية بفعل قوة الارتطام المذنبي.

وبصورة عامة، فإن احتمالات الصدم المذنبي بالأرض قليلة جداً، فهي قد تحدث بمعدل مرة واحدة كل (٥٠ - ١٠٠) مليون سنة. ومن أهم الضربات المذنبية للأرض، نذكر:

٦-١ - الصادم الكريتاسي (Cretaceous Impactor):

منذ نحو (٦٥) مليون سنة مضت، مذهب ضخم - والبعض اعتبره نيزكاً ضخماً - قدر قطره بعدة كيلومترات عرف بالصادم الكريتاسي، ضرب الأرض بالقرب من شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك وأمريكا الوسطى، وقد نجم عن هذه الضربة التي لم تعرف الأرض لها مثيلاً في تاريخها، حدوث تحولات في مناخ الأرض لفترة طويلة من الزمن كانت كافية للفساد على كافة الديناصورات أضخم حيوانات عرفت الأرض في تاريخها الحياتي، والتي كان منها (١٥) عائلة، وفجأة قضى عليها وانقرضت، وذهب معها أنواع عديدة من الزواحف، منها البرونتوسور الذي كان أضخمها بطول له نحو (١٨) متراً، ووزن يقارب (٢٠) طناً، واللافاريات البحرية والنباتات الأولية. ولقد أظهرت

دراسة الحفريات (المستحاثات)، أن نحو (٧٥%) من الحيوانات والنباتات التي كانت تستوطن الأرض في نهاية العصر الكرييتاسي انقرضت آنئذ، وهذا ما جعل الفرصة مهيأة لاحقاً لظهور وتطور كائنات حية جديدة، على رأسها الإنسان.

كما أن ملايين الأطنان من التراب الصخري الأرضي الناتج من الصدم، شكّل طبقة من الترسبات الطينية غطّت كامل الأرض في المنطقة الحديثة - بين صخور الكرييتاسي وصخور الزمن الثلاثي.

إن هذا الجرم السماوي الذي عبر الجو لأكثر من (١٠٠) كم في نحو (٥) ثوان مصطدماً بالأرض، قدر قطره بنحو (٢ كم) من مسافة الرؤية على بعد (١٠٠) كم من موقع الصدم، وحجمه عندها بضعف قطر القمر المكتمل، ولكن الكرة النارية المحيطة به كانت أكبر بكثير. وفي هكذا حالة، وذلك قبل الاصدم مباشرة، فإن الكرة النارية من المحتمل أنها ملأت نصف السماء عند هذه المسافة من الأرض، والصوت المرتحل بسرعة (٣٠٠) م/ثا، الناتج عن الموجة الصدمية الجوية فوق الصوتية سيأخذ نحو (٥,٥) دقيقة للوصول إلى الأرض.

ومن المسافة (١٠٠ كم) عن منطقة الصدم، فإن الكرة النارية عبر السماء، ستبدو خامدة (Silent)، وسيتولد عن الموجة الصدمية درجات حرارة عالية للغاز والصخر المختلطين معاً، تصل إلى (٢٠٠٠ - ٥٠٠٠) درجة كلفن، لتبدو كجدار من اللهب، وسيكون لمعان (تألق) الكرة النارية مدهشاً، وعند تماسها مع الجو على علو (١٠٠ كم) فإن هذا الجسم الصلب، سيولد حرارة أكثر من (٢٠٠٠) درجة، وليبدو أكبر من الشمس عند هذا البعد عن الأرض.

وقبل الصدم مباشرة، فإن درجة حرارة الكرة النارية - نحو (٥٠٠٠) درجة، وستبدو وكأنها تغطي معظم السماء، بلمعان أكبر من لمعان الشمس بعدة مرات.

وتشير الدراسات، إلى أن الصادم الكرييتاسي، ضد-رب الأرض بـ شكل زاوي، مما جعله يرسل جداراً من اللهب الذي غمر أجزاء من أمريكا الشمالية لآلاف الكيلومترات من مكان الصدم. ويرى الجيولوجيون أن ما حدث في أواخر العصر الكرييتاسي، كان من نتائج اصطدام مذنّب كبير بالأرض. ذلك أن مثل هذا الاصطدام يمكن أن ينشر على سطحها موجات بإمكانها أن تقضي على كافة الحيوانات والنباتات الضخمة التي تستوطن الأرض، وهذا الاصطدام لم يتسبب فقط في انقراض الأحياء الكبيرة، بل تسبب أيضاً في امتلاء الجو بدقائق الغبار مما أدى إلى نقص كبير في شفافية الجو وحجب لأشعة الشمس عن الأرض بالشكل الذي تحتاجه النباتات في عملية التمثيل الضوئي، مما نجم عنه انقراض الكثير منها، ولم تنج من الانقراض حتى الحيوانات البحرية الدقيقة، كالرخويات وخالصة منها الرأسمديات. وعائلات الحيوانات البحرية التي كتب لها أن تنجو من الانقراض فقدت الكثير من أنواعها.

٦-٢ - مذنّب تنجوسكا:

اصطدام مذنبني أحدث انفجاراً ضخماً في وادي نهر تنجوسكا في سيبيريا الروسية في صباح الثلاثين من شهر حزيران عام (١٩٠٨م)، أذهل من شاهد ما سبقه وما أعقبه، وثار العلماء في تفسيره وتعليل أسبابه. وهو من أبرز الأحداث الكونية الحديثة التي تعرضت لها الأرض وعاشها أناس كثيرون ففصوا ما شاهدوه لغيرهم.

ففي ساعات الصباح الباكر من يوم (٣٠) حزيران عام (١٩٠٨م) وفي منتصف الأرض السيبيرية شوهدت كرة نارية عملاقة تتحرك في السماء بسرعة كبيرة متجهة من الشرق صوب الأرض ببريق ولمعان كالشمس، وما أن لامست تلك الكرة سطح الأرض حتى حدث انفجار هائل اهتزت له الأرض وما عليها.

بشكل واضح لمسافة بلغت نحو (٤٠٠٠) كم، نتج عنه سحابة هائلة من الدخان الأسود جراء الحرائق التي أصابت الغابات حول منطقة الصدم بمساحة قرابة (٢٠٠٠) كم^٢، حيث غدت تلك الأراضي الغابية جرداء قاحلة. ومن شدة الانفجار قُذِفَت الأشجار المحترقة مسافة تزيد على (٣٠) كم خارج دائرة الصدمة التي قطرها نحو (٨٠) كم، وبدأت وكأنها أعواد كبريت محترقة. أما الأشجار المحترقة والتي لم تقتلع من مكانها فكان لها جميعها اتجاه واحد وهو مركز الصدمة.

ولقد أحدثت تلك الصدمة الانفجارية موجة صدم اهتزازية جوية دارت مرتين حول الكرة الأرضية قبل أن تتلاشى، وكان تأثيرها العام على الجوفى النصف الشمالي من الكرة الأرضية - وخاصة فيما بين خطي عرض (٤٠-٦٠) شمالاً - هائلاً جداً، فقد ساد الجو لمدة يومين بعد الصدمة الانفجارية غبار ذاعم، مما كان باستطاعة الشخص السائر في شوارع لندن قراءة الصحف في أثناء الليل بفعل الضوء المبعثر، وذلك على بعد نحو (١٠٠٠٠) كم من منطقة الصدمة. وثمة صور التقطت لمدينة ستوكهولم في الساعة الواحدة بعد منتصف الليل من دون مصادر إنارة صناعية، وكأنها في النهار، وصور لمدينة ناتروشات الروسية أُخِذَتْ في منتصف الليل تماثل ظهيرة صيف مشرق الشمس فيه. ولقد شهدت القارة الأوراسية لشهور عدة حالات خاصة من الفجر والغروب غير طبيعية كتلك التي أعقبت انفجار بركان كراكاتوا في أندونيسيا عام (١٨٨٣م).

وسنروي فيما يلي قصص وأحاديث من عايشوا ذلك الحدث الكوني -

الأرضي الهام:

١ - لقد شاهدت أعداد كبيرة من سكان قرية نيزن - كارلنسك الواقعة في أواسط سيبيريا على بعد من منطقة الصدم بنحو (٣٢٠) كم، الكرة النارية في

السماء وهي تهوي نحو سطح الأرض، وشعروا بالانفجار الضخم الـذي هــز مساكنتهم بعنف، واقتلعت الصخور الكبيرة من أماكنها، وكـان طـنـهم أن يـوم القيامة آت.

٢- تم إيقاف القطار السريع الذي كان يعبر سيبيريا، طناً من سائقه أنـه انحرف عن خط سيره، لما انتابه من هلع واضطراب، لارتجاج الأرض، ذاك أن أجهزة الرصد الزلزالية في مدينة أركوتسك تعرضت للاضطراب، والقطـار والمدينة يبعدان جنوباً عن نقطة الصدم الانفجاري نحو (١٣٠٠) كم.

٣- كان شخص يقف في شرفة منزله في المحطة التجارية فـي بـالد فانورفارا (Vanorvara) وقت الطور وينظر شمالاً، وفي اللحظة التي رفع فيها ذراعيه لتثبيت برميل خشبي، شاهد فجأة السماء وكأنها تنقسم إلى نصفين فـوق الغابة، وقد ظهر القسم الشمالي منها وكأنه مغطى بالنيران، وفي تلك اللحظة شعر بحرارة مرتفعة جداً، وكأن قميصه يحترق على جسمه والنار ممسكة بـه، محاولاً خلع قميصه وقذفه بعيداً، وفي اللحظة نفسها حدث انفجار في السماء، وسمع أصوات تحطم هائلة، منقذاً من الشرفة من شدة الاهتزاز على الأرض على بعد نحو (٦,٥) م، فافذاً الوعي في تلك اللحظة، وكان التحطم والتكسر والدوي الذي أعقب الانفجار يشبه أصوات مدافع تنطلق أصواتها مدوية. وكانت الأرض تهتز، وعندما سقط على الأرض حاول تغطية وجهه بيديه خشية أن تصاب عينيه بأذى من الحجارة المتساقطة. وما أن استرجع وعيه بعد الصدمة مباشرة وفتح عينيه إلى السماء، حتى هبت رياح ساخنة، وكأنها صـادرة عن مدفع، تهب على الأكواخ من الشمال. ولقد تركت تلك الرياح الساخنة آثاراً واضحة على الأرض.

٤- شاهد عيان يروي ما رأى وما سمع، فهو يقول: «كنت فـي الحقل، ولحظة ركوبي جوادي، سمعت صوتاً مربعاً أتى دفعة واحدة من الجهة اليمنى،

فاستدرت حولي لأرى ماذا حدث، فإذا بي أشاهد جسماً مذنباً يطير عبر السماء والجزء الأمامي منه أوسع من طرف ذيله، وكان لونه مثل النار في سماعات النهار، وكان أكبر من الشمس عدة مرات، ولكنه أقل ضياء منها، لذلك أُمكِن رؤيته بالعين المجردة، وخاف ألسنة اللهب الذيلية كان يتجرجر ما يشبه الغبار. وحالما اختفى اللهب سمعت انفجارات تشبه قذائف المدافع، مما جعل الأرض تهتز بعنف، والرياح المنطلقة من جراء ذلك تُحطّم زجاج النوافذ في الأكشاك والغرف الصغيرة وتحولها إلى قطع صغيرة متناثرة».

٥ - شاهد آخر يقول: «كنت أغسل صوفاً على ضفة نهر كـان (Kan)، وفجأة سمعت ضجة تشبه رفرقة جناحي طائر خائف، وحدث زلزال وع من الماء والطرطشة في ماء النهر، وتلا ذلك انفجار وحيد حاد جداً، بحيث إن أحد العمال سقط في ماء النهر».

٦ - شاهد آخر كان قريباً من بلدة (إنغارا) الواقعة على ضفة أحد روافد نهر ينيسي؛ يقول: «سمعت انفجاراً قوياً وكأنه دوي مدافع، وفي الجهة الشمالية فوق الغابة كانت ألسنة اللهب تنطلق عالياً، ثم انقطعت ألسنة اللهب بسبب الرياح العنيفة التي كانت تهب، مما جعلني أظن وكأن إعصاراً حدث. ومن نهر إنغارا عند بلدة إنغارا شاهدت جداراً من الماء يرتفع عالياً، وكان إعصاراً يشبه الهوريكان أو التورنادو يرفعه... إلخ».

٧ - ووصف الكثيرون ما شاهدوه عن كيفية حدوث الانفجار بما ورد ملامسة الكرة النارية لسطح الأرض - أو حتى قبل ملامستها مباشرة - متحررة من جراء ذلك ألسنة نارية كبيرة ودخاناً، متوهجة السماء بشكل أشد من ضياء الشمس. وكيف تحطمت الأكواخ البعيدة. بينما لاذت قطعان الرنة بالفرار. وكيف شعر الشخص الذي كان يحرق الأرض في الخلاء بالاحتراق فميصه.

وكيف شعر البعض بإصابتهم بضربة كضربة شمس حادة في جهة واحدة مـ ن الرأس دون الأخرى. وكيف أصاب البعض الصمم المؤقت مـ ن الـضوضاء الشديدة، أو من معاناتهم لفترة طويلة من الصدمة. وكل هؤلاء كانوا بعيدين عن منطقة الصدمة. فلم تود هذه الحادثة بضحية بشرية واحدة، لأن دائرة الـصدمة كانت في أراضٍ مقفرة غير مسكونة. شكل (١٣٥).

وكم تعددت الآراء وانشطرت الأفكار، إذ حلق البعض بأخيلتهم لينـسجوا منها أساطير، ويلامس البعض الحقيقة لتفسير هذه الحادثة:

١ - افترض البعض ومنهم العالم الجيولوجي الروسي (كوليك ومـ ساعده) اللذان زارا منطقة الحادثة في حزيران عام (١٩٢٠م)، أن نيزكاً كبيراً رآه سـبب الانفجار، ولكن عدم وجود أي شظايا من الحطام النيزكي أو معدن لـم يـدعم فرضية كوليك.

٢ - افترض بعض العلماء أن الانفجار ربما حدث بفعل قطعة مذبذبة من اللامادة (مادة مضادة Antimatter)، وهي مادة تكون شحنات ذراتها عكس المادة المألوفة على الأرض، وحال اتصالها بمادة أرضية حدث انفجار هائل واختفت المادة المضادة بشكل ومضات من أشعة غاما مخلّقة طاقةً كبيرة. غير أن غياب النشاط الإشعاعي في مكان الصدمة لم يقدم أي دعم لهذا التفسير.

٣ - البعض الآخر من العلماء افترض أن الحادثة لربما نتجت عن مركبة فضائية غريبة لبعض الحضارات المتقدمة غير الأرضية، تعمل بمحركات ذرية، أصابها خللٌ، وفقدت السيطرة عليها عند دخولها الأجواء الأرضية. ويرى البعض من أصحاب هذه الفرضية أن المركبة كانت متجهة ناحية بحيرة بايكـال لأنها بحاجة إلى الماء لتبريد مفاعلاتها النووية، وقبل أن تصل هدفها ارتفعت درجة حرارة المفاعلات، منفجرةً باصطدامها بالمنطقة التي صادف وجودها في

٤ - غير أن العالمين (أ.أ. جاكسون، وم.ب.ريان) من جامعة تكساس الأمريكية افترضوا أن الحادثة نتجت عن ثقب كوني أسود صغير جـ دأ - ربما بحجم حبة رمل صغيرة - عبر الكرة الأرضية في سيبيريا وخرج من الطرف الآخر للكرة الأرضية، غير أن تسجيلات موجات الصدم الجوية لم تظهر أية إشارة لخروج جسم من شمال المحيط الأطلسي في يـ وم (٣٠) حزيران - عام (١٩٠٨)، وتبقى هذه الفرضية من الخيال العلمي.

٥ - لوجود بعض التشابه بين حادثة تنجوسكا وانفجار قنبلتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين، من حيث عدم وجود فوهة في منطقة الانفجار، وحدث تشويش في الحقل المغناطيسي، مما جعل البعض يفترض أن تلك الحادثة ربما نتجت عن سقوط قنبلة ذرية. غير أنه لا يوجد دليل استنتاجي يـ دعم فرضية القنبلة الذرية، بعد أن فُحصت مستويات الإشعاع في المنطقة في الخمسين سنة التي تلت الانفجار فكانت مستوياته اعتيادية.

- أين يكمن سر حادثة تنجوسكا؟

إن مفتاح لغز حادثة تنجوسكا، هو الانفجار الهائل الذي نتج عن الـ صدمة، وموجة الاهتزاز الكبيرة والتي أحرقت الغابات بقطر نحو (٨٠) كيلومتراً، والحركة الإعصارية الهوائية التي حدثت في منطقة دائرية الـ صدمة، وعدم وجود أي فوهة صدم. وكل ما ذُكر تكشف عنه حقيقة واحدة لا ثـ اني لها، وهي أن ما حدث في صباح (٣٠) حزيران عام (١٩٠٨م)، كان **اصـ طدام مـ نذب بالأرض فطره عدة مئات من الأمطار**، وكتلته نحو مليون طن، وكان يندفع بسرعة تقارب من (٣٠) كم/ثا، وكانت قوة الصدمة تكافئ قوة نحو (١٠) ميغاطن.

وإذا ما حدث مثل هذه الاصطدام المذنب في أيامنا هـ - ذه التـ ي تعـ يش لحظات مسعورة، فليسوف يعتقد سكان الأرض أن انفجاراً نووياً قد وقع، وأن

الكرة النارية الناتجة عن هذا الصدم ستكون نتائجها مماثلة لانفجار نووي بـ قوة مغطاط واحد، ويتضمن أيضاً على سحابة بشكل القطر، ولكن مـع وجـود استثناءين هما: عدم وجود لأشعة غاما، ولا لغبار ذري يتساقط.

ويرى بعض العلماء أن ما صدم الأرض في تنجوسكا ليس مـذنباً كاملاً، وإنما قطعة من مـذنب أنكي الذي كان كبير الحجم بما يقارب من حجم مـذنب هالي، لتنفصل عنه قطعة ضخمة. وهذا المـذنب شوهد للمرة الأولى عام (١٧٨٦م)، ويدور حول الشمس دورة كل (٣,٣) سنة، وكان في دورته (٣٤) بعد رصده للمرة الأولى، عندما انفصلت عنه القطعة التي صدمت تنجوسكا. وإن المـذنب أقبل من اتجاه الشمس فكان من المتعذر الكشف عنه، وإن الانفجار الذي سببه وُلد تأثيراً مشابهاً للأشعة الشمسية التي تولّد نشاطاً إشعاعياً، ونتيجة لأن منطقة الانفجار كانت خالية من السكن والسكان فلم ينتج عنها أية ضحايا بشرية.

٦-٣- طوفان نوح، وعبر النبي موسى البحر الأحمر:

هناك ظاهرتان لم يتردد علماء الفلك من تسليط الضوء عليهما، وتفسير العلم لحقيقة حدوثهما، دون تعارض أو تضارب مع السياق الديني لهما، لأن لكل شيء سبباً، وهاتان الظاهرتان هما: طوفان نوح، وعبر النبي موسى للبحر الأحمر.

أ- طوفان نوح: الذي قدر زمن حدوثه منذ نحو (٢٠) ألف سنة ماضت؛ وهو طغيان بحري كبير وصل ارتفاع الماء فيه إلى نحو (١٢٥٠م)، وكان محوره بلاد ما بين النهرين، وليصل إلى أقصى شمالها حيث جبل الجودي الذي رست عليه سفينة نوح ونجا ومن معه على السفينة من الغرق، وهلك من بقي

من قومه غرقاً، بجاذب ما تسبب فيه الفيضان أيضاً من هلاك للأحياء البرية والمائية، وتغيير في البيئة الطبيعية.

إن هذا الطوفان - حسب رأي علماء الفلك - حدث نتيجة سقوط مـ. ذنب ضخم في الجزء الشمالي من الخليج العربي، وقدرت كتلته بنحو بليون طن، نتج عنه تشكّل جدار مائي هائل (تسونامي ضخم) اندفع في الاتجاهات كافة، بخاصة في الاتجاه الشمالي، ليلغ شمال العراق.

ب - عبور النبي موسى البحر الأحمر: الذي تم من خلال مـ. ا عرفـت بضرب النبي موسى لعصاه في البحر الأحمر، وذلك بإيحاء رباني، ولكن لـ. م تكن هذه العصا سوى عصا كونية ذات رأس ضخم (رأس المذنب) يجـ. ر وراءه ذيلًا (ساق العصا)، بكتلة صغيرة نسبياً للمذنب (نحو ١٠,٠٠٠ كغ) التي ضربت عرض البحر الأحمر - بتزامن مع الإيحاء لموسى بضرب عصاه للبحر - منذ نحو (٤٥٠٠) سنة وشطرتته إلى نصفين بفوتتين: أولاهما قوة الضغط الصدمية، وثانيهما حرارة الجسم الصادم الذي عمل على تبخر الماء الباقي. وما هي سوى ساعات ليغير خلالها موسى وقومه البحر، ويتلاشي الصدمة وانخفاض درجة الحرارة أطبقت المياه من الجانبين على فرعون مصر (منبتاح) وجنـ. ده الذين كانوا يطاردون النبي موسى، ليغرقوا.

ولقد حسبت الطاقة الحرارية الناتجة من القوة الاحتكاكية الصدمية للمذنب بالماء، فكانت نحو ستة تريليونات حريرة، يضاف إليها كمية الحرارة المخزنة في المادة المذنبية والتي تعادلها لتصبح كمية الحرارة الناتجة عن الكتلة المذنبية السابقة الذكر نحو (١٢) تريليون حريرة، وهي كمية كفيـلة بتبخير الجـ. ز مـ. ن المياه المتبقية من الصدمة.

الفصل الثاني

الضربات النيزكية للأرض

- ١ - طبيعة النيازك.**
- ٢ - مصدر النيازك وحركاتها.**
- ٣ - الآثار الناتجة عن النيازك.**
- ٤ - نماذج عن الضربات النيزكية للأرض.**

١ - طبيعة النيازك:

النيازك (Meteorit)، هي: أجسام صخرية أو معدنية أو خليط من الصخر والمعدن تضرب الأرض، ونحو (٣٠) ألف نيزك تم معرفتها، منها نحو (٢٤) ألف نيزك عثر عليها في القارة القطبية الجنوبية، و(٤٠٠٠) نيزك في الصحراء الكبرى، و(٢٠٠٠) نيزك في أمكنة أخرى: شكل (١٣٦).



شكل (١٣٦)

قطعة نيزكية (نيزك برويل) عثر عليها في إنكلترا بتاريخ (٢٤) كانون الأول (١٩٩٥) بوزن (٤٦ كغ)

وعندما يدخل الجسم النيزكي الغلاف الجوي، فإن سرعته ستكون حتماً أكبر من سرعة الإفلات من الأرض (١١,٢ كم/ثا) وما لم يكن صغيراً جداً، فإن حرارة الاحتكاك ستنتج كرة نارية (Fireball)، يمكن أن يصل لمعانها في بعض الأحيان إلى درجة لمعان الشمس، وكمثال: في الساعة (١٣,٠٠) من يوم (٢٥) حزيران عام (١٨٩٠)، شوهدت كرة نارية لامعة فوق مساحة كبيرة من الغرب الأوسط في الولايات المتحدة الأمريكية، نتجت عن قطعة نيزكية غسروفية نادرة، وبلغت سطح الأرض عند مدينة فارمينغتون (Farmington) شرقي كنساس.

وإذا ما دخلت الجو الأرضي قطعة نيزكية صخرية أو معدنية فإنها تستغرق عشرات الثواني لعبوره. ففي (٢٥) نيسان عام (١٩٦٩)، شوهدت كرة نارية على طول نحو (٥٠٠) كم، بمسار جنوب - شرق إلى شمال غرب، عبر أجواء إنكلترا وويلز وإيرلندا، وعند نهاية مسارها تفتت، وأحدثت صوتاً كدوي الرعد، ونجم عن تفتتها قطعتان كبيرتان نسبياً، اكتشفت إحداهما على بعد نحو (٦٠) كم من بوفدي (Bovedy) في إيرلندا الشمالية.

وفي عام (١٨٦٨) سقط نيزك عند بلدة بولتوسك في أواسط شرقي بولندا، بعد تحطمه في الجو، وقدر وزنه الكلي بنحو (٢) طن، منتشراً عبر نحو (١٨٠) ألف قطعة فريدة.

أما **النيازك الكبرى**، التي وزنها يزيد على (١٠٠) طن، فإنها لا تتحطم بكاملها في الجو قبل بلوغها الأرض، وهي تتحطم في الأرض بسرعة فوق صوتية، وبطاقة حركية كبيرة، وبدرجة حرارة عظيمة، محدثة فوهات انفجارية، كما في نيزك بارينجر الذي أحدث فوهة أريزونا.

وهناك نوعان من النيازك، حسب تركيبها: **النيازك المعدنية**، (Siderites الحديدية) ويغلب على تركيبها الحديد بنسبة (٩٠%)، وما تبقى من (٨%)، وكوبالت (٦%)، ومعادن أخرى. **والنيازك الصخرية أو الحجرية** (Aerolites)، التي يغلب على مكوناتها عنصر السيلكون، وعناصر أخرى متعددة. بجانب نوع من النيازك التي تختلط فيها المعادن مع السيلكون وسواه، وتدعى **بالنيازك الحديدية - الحجرية** (Siderolites)، وبينهما تكوّن النيازك الحديدية ذات شكل متطاوّل وكروي أحياناً، فإن الحجرية ذات شكل شبه كروي. شكل (١٣٧).



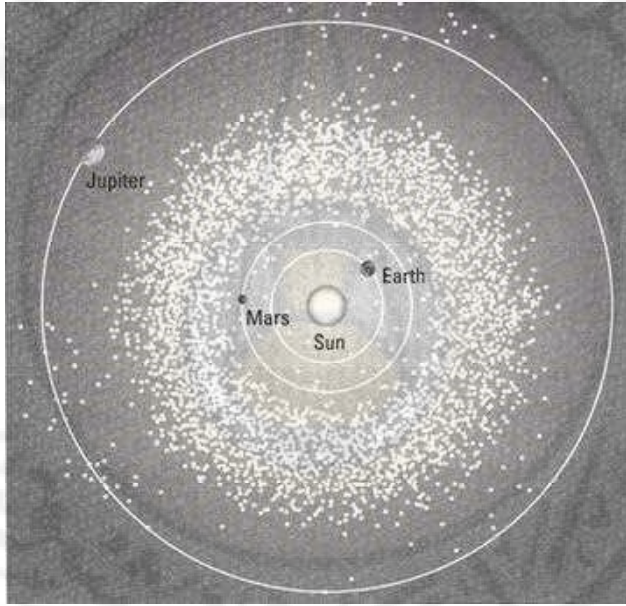
نيازك معدنية

نيازك صخرية

شكل (١٣٧) أنواع النيازك

٢- مصدر النيازك وحركاتها:

مصدر النيازك، هو حزام الكويكبات. فالنيازك تتشكل نتيجة حوث تصادمات بين الكويكبات، مما ترتب عليها تحطم بعض الكويكبات واندفاع كتل منها بعيداً عن منطقة التصادم مندفعة تجاه الشمس، لتدخل في مجال الجاذبية الأرضية. وهذا ما استنتجه العلماء من كون تركيب النيازك، يتوافق مع تركيب الكويكبات المعدني أو الصخري. شكل (١٣٨).



شكل (١٣٨) حزام الكويكبات مصدر النيازك

وعندما تخرج القطع الكويكبية من حزامها تجاه الشمس، فـالبعض منهاـا يؤسر من المريخ ليدور في فلكه، وليصطدم بعضها فيه، والبعض الآخر يبلـغ مدار الأرض مقرباً منه أو مخترقاً إياه، ليصطدم بعضها بسطح الأرض. كماـا يتلقى القمر الضربات النيزكية، وحتى الزهرة وعطارد - كما يدل على ذـاك مظاهر أسطحهاـ.

وفي عام (١٩٩٢) اكتشف الفلكيون أن هناك نحو (١٦٣) نيزكاً كويكبياً عبرت مداراتهم الأرض، وليس شرطاً أن تصطدم بالأرض، فالبعض منها - ما كان حجمه أصغر من حجم البرتقالة - قد يتفتت عند عبوره الغلاف الجوي للأرض إلى قطع صخرية صغيرة تبلغ الأرض على صورة زخات من القطر الصغيرة تدعى بزخات النيازك، حيث يصل عدد القطع النيزكية التي تدخل غلاف الأرض الجوي أكثر من (٦٠) قطعة في الساعة الواحدة، غير أن هناك بعض التقديرات تعطى لعدد القطع النيزكية التي تعبر الغلاف الجوي الأرضي يومياً بحدود (١٩) ألف قطعة، بوزن للواحدة منها أكثر من (١٠٠) غرام. ويقدر أن الأرض تتلقى يومياً نحو (١٠٠) طن من الغبار النيزكي الدقيق. ولقد تم العثور على العديد من النيازك الضخمة على سطح الأرض التي بلغت في تاريخها القديم من أشهرها نيزك هوبا وست (Hoba west) - شكل (١٣٩) - ، والجدول التالي (٢٥) يبين بعضها.



شكل (١٣٩) نيزك هوبا وست

جدول (٢٥) لأهم وأشهر النيازك التي عثر عليها فوق سطح الأرض

اسم النيزك	مكان العثور عليه	الوزن (طن)
هوباوست	غروتفونتين، ناميبيا	أكثر من ٦٠
إهنيجيتو	رأس يورك، غربي غرينلاند	٣٤
باكويريتو	المكسيك	٢٧
مبوسي	تنزانيا	٢٦
أجاليك	رأس يورك، غربي غرينلاند	٢١
ارمانتي	منغوليا	٢٠
ويلاميت	ولاية أوريغون الأمريكية	١٤
شابدوروس	المكسيك	١٤
كامبوديل سيلو	الأرجنتين	١٣
موندرايللا	أستراليا الغربية	١٢
موريتو	المكسيك	١١

٣- الآثار الناتجة عن النيازك:

إن الآثار التي تحدثها الاصطدامات النيزكية بالأرض، هي كارثية عموماً، وخاصة إذا ما وقع الاصطدام في منطقة معمورة، وتتمثل تلك الآثار في:

١- إحداث حفر ضخمة في الأرض. شكل (١٤٠).

٢- تدمير المنشآت العمرانية... وسواها، والبنى التحتية -في حال التعرض للنيزك.

٣- إحداث حرائق كبرى نتيجة للطاقة الحرارية الاحتكاكية المتولدة عند عبورها الجو، والتي تصل الأرض بدرجة حرارة قد تصل إلى (٥٠٠٠) درجة.

٤ - انطلاق كميات كبيرة من الغبار والأتربة من الحفر الانفجارية إلى الجو مؤدية إلى حدوث تغير كبير في الأحوال الجوية، مـ.سهماً بـ ذلك دخول الحرائق والغازات المتولدة.

٥ - حدوث تغير في طبقة الأوزون.

٦ - تشكّل أمواج التسونامي.



شكل (١٤٠) آلية تشكّل الفوهات النيزكية الكبرى

والجدول التالي (٢٦) يبين مجموعة من الاصطدامات النيزكية وما يمكن أن تحدثه من آثار تبعاً لأحجامها.

حجم النيزك	الطاقة الصدمية (ميغاطن)	فطر الفوهة الناتجة (كم)	الآثار
٧٥م	١٠٠	١,٥	دمار في منطقة الصدم، إذا ما كان في منطقة معمورة؛ مثال: واشنطن، باريس.
٣٥٠م	٥٠٠٠	٦,٠	دمار في المنطقة الصدمية بمساحة تعادل مساحة ولاية أمريكية صغيرة، أمواج تسونامي.
٧٠٠م	١٥٠٠٠	١٢,٠	دمار في منطقة بحجم ولاية فرجينيا، أو تايوان. حدوث أمواج تسونامي ضخمة.
١,٧كم	٢٠٠,٠٠٠	٣٠,٠	دمار أرضي كبير، حدوث تأثيرات كبيرة في المناخ، وطبقة الأوزون، أمواج تسونامي مدمرة للتجمعات الساحلية وللأراضي الزراعية.
٣,٠كم	١ مليون	٦٠,٠	تدمير أجزء كبيرة من الأرض، انتشار الحرائق الضخمة، وتغيرات رئيسية في المناخ.
٧,٠	٥٠ مليون	١٢٥	انقراض أعداد وأنواع كبيرة من الحيوانات، حرائق هائلة، تغير مناخي طويل الأمد.

وفي حال ضرب نيزك بقطر نحو (٣٠٠م) المحيطات، فستتولد عن ذلك أمواج مائية مدية (تسونامي) تنجم عنها أضرار كارثية، أكثر مما لـ و ضرب الأرض. فنيزك بقطر (٧٠٠م) في حال اصطدامه بمحيط، فستتولد عنه أمواج مدية ضخمة تصل إلى سواحل العديد من القارات. أما نيزك بقطر يتراوح بين (١-٢كم) فستتولد عنه أمواج تسونامي مدية بعـ و نحو (١٠٠م) أو أكثر، وستتوغل في اليابس بعيداً عن خط الساحل لعدة كيلومترات، وستعرض أكثر من (١٠٠) مليون شخص للخطر (نحو ٢% من سكان العالم).

وإذا ما نظرنا إلى الطاقة الناتجة عن اصطدام نيزك بـ الأرض، فيمكننا عرض الآتي:

١ - إذا ضرب جسم نيزكي بقطر (٣م) الأرض، ففوة ضربته تكافئ (٢) كيلوطن من الطاقة التي تولدها مادة (TNT)، ويمكن أن تتعرض له الأرض مرة كل سنة.

٢ - إذا ضرب جسم نيزكي بقطر (١٠٠م) الأرض، ففوة ضربته تكافئ (٢) ميغاطن من مادة (TNT)، ويمكن أن تتعرض له الأرض كل بضعة مئات من السنين.

٣ - إذا ضرب جسم نيزكي الأرض بقطر (١كم)، ففوة ضربه تكافئ (١٠٠,٠٠٠) ميغاطن من مادة (TNT)، وهذا يمكن أن تتعرض له الأرض مرة كل عشرة ملايين سنة.

وكمثال عن ضربة نيزكية صغيرة، ما حدث في يوم (٩) - تشرين الأول عام (١٩٩٢)، حيث ضربت قطعة نيزكية بعنف سيارة (Chery Malibu موديل عام ١٩٨٠) في مؤخرتها، وتعود ملكيتها للسيد ميشيل كنان م - ن ب - دة بيكسكين (Peekskin) في ولاية نيويورك - شكل (١٤١) - . وكان وزن القطعة نحو (٢٧ باوند = ١٢ كغ تقريباً)، وهي قطعة من نيزك شوهدت قطع منه في الولايات المجاورة قبل الصدم، حيث تمت مشاهدة النيزك من قبل أ - د - م - ن البشر، وهو في مساره في الجو، ويدخل الحد بين ولايتي فرجينيا - وفرجينيا - الغربية، ومرتحلاً باتجاه الشمال - الشمال الشرقي. ولقد سقطت بعض الحجارة النيزكية أيضاً في الوقت نفسه لضرب السيارة، على بعض المنازل التي تضررت، ومراعي الحيوانات، ولكن دون حدوث أية ضحايا بشرية.

وللنيزك طاقة حركية كبرى، تنطلق عندما يصطدم بـ الأرض، مترافقاً بانفجار هائل عند الصدم. فالطاقة الحركية الناتجة عن اصطدام نيزك بقطر نحو (١٠ كم) تعادل قوة انفجار بلايين الأسلحة النووية.



شكل (١٤١) اصطدام نيزك بسيارة

والاصطدام لا يسبب فجوة كبرى فحسب، وإنما يعمل على رفع كميات كبيرة جداً من الفتات الصخري المنصهر في الهواء ليعود إلى السطح، ويرفع كثيراً من درجة حرارته متسبباً في إشعال الحرائق.

ويمكن حساب كمية الطاقة المنطلقة من اصطدام نيزك بـ الأرض، مـن العلاقة:

$$E = \frac{1}{2} K \times R^2$$

[طاقة =]

حيث: ك = كتلة النيزك ر = سرعة سقوط النيزك

وفي حال نيزك وزنه (١٠٠ كغ) وسرعة سقوطه (٣٠ كم/ث)، فالطاقة المتولدة من اصطدامه تبلغ:

$$\text{ط} = \frac{100 \times (30000)^2}{2} = 4,5 \times 10^{10} \text{ جول}$$

وهي تعادل الطاقة المنطلقة من تفجير (١٠٠) طن من الديناميت.

٤ - نماذج عن الضربات النيزكية للأرض:

من أبرز الشواهد على سطح الأرض الدالة عن الآثار النيزكية والكوارث التي يمكن أن تعزى إليها، هي الحفر النيزكية، أو ما تدعى بالفوهات النيزكية التي أحدثتها الضربات النيزكية في تاريخ الأرض القديم. ولقد تم تحديد أكثر من (١٦٥) فوهة نيزكية صدمية، في أمريكا الشمالية، وشبه الجزيرة العربية وجنوب أفريقيا، والأرجنتين وأستونيا وأستراليا... وأمكنة أخرى.. ومن أكثر الفوهات شهرة، نذكر:

١ - فوهة بارينجر (Barringer Crater):

وهي الفوهة المعروفة باسم فوهة أريزونا، إذ إنها توجد على هضبة مسطحة بين مدينتي فلاجستاف (Flagstaff) ووينسلو (Winslow) في أواسط ولاية أريزونا الأمريكية، وهي من أكثر الأماكن إثارة على الأرض. شكل (١٤٢). والفوهة ضخمة الحجم، حيث يبلغ قطرها نحو (١٢٦٥) م، وترتفع جدرانها بين (٣٧ - ٥٠ م) فوق السهل المحيطة به، ويصل عمقها في بعض الأماكن إلى (١٨٠) م، والمنحدرات الخارجية لطيفة الميل، ولكن الجوانب الداخلية شديدة الانحدار وتقترب من العمودية في بعض الأماكن.



شكل (١٤٢) فوهة بارينجر النيزكية

ولقد نتجت هذه الفوهة عن نيزك حديد-دي-ق-درت كتلتها بـ أكثر من (١٠,٠٠٠) طن -ليعطيه البعض وزناً (٣٠٠) ألف طن، وآخرون عدة ملايين من الأطنان-، وقطره نحو (٦٠) متراً، وكان يرتحل بـ سرعة (٦٥) ألف كم/ساعة، وقد عثر على عدة قطع من النيزك متناثرة على بعد عن الفوهة يزيد على (١٠) كم. إذ تم العثور على أكثر من (٣٠) طن من النيزك الحديدي في وادي ديابلو - الذي عرفت الفوهة أيضاً باسمه - حول الفوهة، منتشرة على مساحة قطرها (١٢-١٥) كم.

وقدرت الطاقة الصدمية للنيزك، بالطاقة المتحررة من انفجار نحو (١٥) مليون طن من مادة (TNT).

أما تاريخ الاصطدام النيزكي وعمر الفوهة، فقد اختلفت التقديرات؛ من التقديرات الأولية بعمر (٢-٣) آلاف سنة، إلى تقديرات (١٠-٢٠) ألف سنة، إلا أن أحدث التقديرات للجيولوجيين تعطي الفوهة عمراً يقارب من (٥٠) ألف سنة.

٢- فوهة الذئب الإغريقي (Wolf Creek):

عثر على هذه الفوهة في أستراليا الغربية، وأرجع عمرها إلى نحو (٢) مليون سنة مضت، ومن ثم وبالتالي فهي الفوهات النيزكية القديمة المعروفة، ومن الصعوبة الدخول إلى هذه الفوهة، لأن الطريق من أقرب موقع استيطاني (هولز كريك Halls Creek) يكون مفتوحاً في جزء من السنة.

والفوهة ذات جدران ترتفع بزاوية (١٥-٣٥) درجة، فوق سهل منبسط لنحو (٥٥م)، أما قطر الفوهة فيبلغ نحو (٦٧٥م). شكل (١٤٣).



شكل (١٤٣) فوهة وولف غريك النيزكية في أستراليا

وليست هذه الفوهة الوحيدة التي تحتويها أستراليا، بل عثر على عدة فوهات، منها: فوهة بوكسهول (Boxhole)، وفوهة هينبوري (Henbury) التي يبلغ قطرها نحو (٢٠٠×١١٠م)، وكلاهما في الولاية الشمالية. بجانب فوهة غوس بلوف (Gosse Bluff) في الولاية الشمالية أيضاً، والتي قدر عمرها بما لا يقل عن (٥٠) ألف سنة.

٣- فوهة ريس (Ries Crater):

تُعد فوهة ريس التي قدر عمرها بنحو (١٥) مليون سنة، من أقدم الفوهات النيزكية المكتشفة، وتوجد في السهل الجنوبي من بافاريا في ألمانيا، ومنتجت عن نيزك حجري قطره يقارب من (١,٦ كم)، وكتلته أكبر من بليون طن، وضرب المنطقة بسرعة نحو (١٦ كم/ثا)، ولقد أطلق طاقة صدمية قدرت بعـدة ملايين الميغاطن، وهي بذلك أكثر من طاقة أكبر القنابل الهيدروجينية.

وقوة الانفجار التي ضربت أوروبا لا يمكن تصورها أو حتى تتـدبرها. وتعد فوهة ريس ذات القطر نحو (٢٤ كم)، مـن أجـمل الأـحـواض الفوهية الخضراء، التي تحتوي على عدة قرى ألمانية تجارية، ويشقها أحد روافدهـا الدانوب، وضمنها ترفد مدينة جميلة وهي مدينة نوردلنجن (Nordlingen).

وعلى ضوء كتلة النيزك وطاقته الانفجارية الصدمية، فقد قدر العلماء بأن عمق الفوهة يجب أن لا يقل في حينه عن (٤,٥ كم)، وكتلة المادة المزالة مـن التجويف الناتج عنها أكثر من تريليون طن..؟

ومن نتائج تشكّل فوهة ريس النيزكية:

- ١- تدمير الحياة كلها بنصف قطر مئات الكيلومترات.
- ٢- الصدمة الزلزالية التي نتجت، شعر بها الناس في العالم كله.
- ٣- انبثاق نحو تريليون طن من المادة الصخرية مـن الفوهة، ولربما مليون طن من الغبار الناعم الذي بقي معلقاً في الجو لفترة طويلة مؤدياً إلى ظلمة السماء في العالم كله.
- ٤- تأثيرات مناخية وبيئية كبيرة، ولربما كان من نتائج عصر جليدي صغير.

٤ - فوهات نيزكية أخرى:

هناك أعداد كبيرة من الفوهات النيزكية المشهورة، ونذكر منها:

١ - **فوهة فريدفورت** (Vredefort) قرب بريتوريا في جنـوب إفريقيا، والتي يفدر قطرها بنحو (٤٨٠ كم).

٢ - **فوهة شيكساب** (Chicxulub) في المكسيك، وهي فوهة ضخمة يبلغ قطرها نحو (١٨٠ كم).

٣ - **فوهة أوديسا** (Odessa) قرب مدينة أوديسا بولاية تكساس الأمريكية، وهي بمثابة منخفض دائري ضحل، قدر عمرها بنحو (١٠,٠٠٠) سنة، ويبلغ قطرها نحو (١٧٠ م).

٤ - **فوهة أوسيل** (Oesel) في أستونيا، وقطرها نحو (١٠٠ م).

٥ - **فوهة سيراماديرا** في غربي تكساس.

٦ - **فوهة مانيكوجان** (Manicougan) في ولاية كويبـك الكندية، ذات القطر نحو (٧٠ كم).

بجانب العديد من الفوهات الدائرية والمنخفضات ذات المنشأ النيزكي في شمالي كندا.

ولقد حدد العلماء اليوم مواقع أكثر من (١٠٠) فوهة نيزكية، ذات أقطـار أكبر من (٨٠ كم).

الفصل الثالث

العواصف الشمسية

- ١ - ما العاصفة الشمسية؟ وما هي أنواعها؟
- ٢ - نشأة العواصف الشمسية.
- ٣ - بنية العواصف الشمسية وتركيبها.
- ٤ - نماذج عن العواصف الشمسية.
- ٥ - رصد العواصف الشمسية وإمكانية التنبؤ بها والحماية منها.

١ - ما العاصفة الشمسية؟ وما أنواعها؟

قد تكون العواصف الشمسية من أخطر العواصف وأكثرها تخریباً وتدميراً، لولا أن الأرض محاطة بدرع مغناطيسي يخفف من حدة تلك العواصف ويقلل من تأثيراتها الحيوية. ولربما عدم امتلاك الكواكب الأخرى القريبة من الشمس - والمعروفة بالكواكب الأرضية - مثل هذا الدرع، بجانب عوامل أخرى، سبب رئيسي في عدم وجود الحياة على سطحها، حتى لو حدث، فرص استمراريتها ضئيلة، لأن عاصفة شمسية ضخمة، يمكن أن تقضي عليها.

١-١ - ما العاصفة الشمسية؟

إنها عاصفة - إعصارية، بكل ما يحمله المصطلحان من معنى ودلالة. فانطلاقة مكوناتها بالسرعات المعروفة، تتجاوز مفهوم العاصفة الحركية المحددة بالنسبة للعديد من الظواهر. ولو كانت مكونات العاصفة الشمسية ذات ثقل معتبر، وضربت الأرض بسرعاتها المعهودة، لكانت الكارثة أكبر، ولا صعب عندئذٍ على الدرع المغناطيسي الجوي الأرضي من التخفيف منها، أو حتى احتوائها في حال كونها ضعيفة.

فالعاصفة الشمسية؛ هي بمثابة انبثاقات ضخمة ومفاجئة وبقوة فائقة، من الطاقة الشمسية الجسيمية (جسماً ألفا وبيتا)، والبروتونات والنيوترونات عالية الطاقة، بجانب الأشعة الكهرومغناطيسية فائقة الكثافة، حيث تزداد فيها نسبة الأشعة الحارقة قصيرة الموجة، كأشعة غاما والسينية، والتي تنطلق بسرعات تتراوح ما بين (٢٠٠٠٠ كم/ثا) للأشعة الجسيمية، و(٥٠٠ كم/ثا) للرياح الشمسية التي تسوق بعض الجسيمات المتخلفة وسواها، بجانب الأشعة الكهرومغناطيسية ذات النسبة

الزائدة في حال تلك الانبثاقات من الأشعة قصيرة الموجة والتي سـرعتها هــي الأكبر (٣٠٠٠٠٠ كم/ثا).

ولذلك فإن الإنسان الذي يتعرض لأشعة الشمس في حال عاصفة شمسية، سيشعر بأشعة حادة حارقة غير عادية خلال (٨,٥) دقيقة فأكثر من انطلاقها من سطح الشمس، ليعقبها بعد نحو ساعتين الأشعة الجسيمية، ومن ثم بعد نحو (٢٤ - ٤٨) ساعة الجسيمات المتخلفة المسافرة مع الرياح الشمسية. ومثل السرعات السابقة لمكونات العاصفة الشمسية ليس لها أي تأثير حركي، وإنما تكمن فعاليتها في سرعة إيصالها لمكونات العاصفة الشمسية وهذا أمر بديهي، لأن الطاقة الشمسية التي تصل الأرض بسرعة الضوء لا نشعر بسرعتها الفائقة، وإنما بالطاقة الواصلة المتلفة التي يمتصها هذا الجسم أو ذاك، أو يعكسها، أو ينثرها؟.

١-٢- أنواع العواصف الشمسية:

كما الأعاصير، وكذلك الزلازل، فقد صنف العواصف الشمسية تبعاً لشدةها والطاقة المحملة بها، إلى خمسة أنواع، وكل نوع قسم إلى تسع درجات (١ - ٩). ومقياس العواصف الشمسية يشبه مقياس ريختر للزلازل، فهو مقياس لوغاريتمي، ذلك أن كل نوع (فئة) أقوى من السابق بعشرات مرات.

ومقياس العواصف الشمسية هو كالتالي:

- ١- الفئة (A): وهي الأضعف، وليس لها أية تأثيرات تذكر.
- ٢- الفئة (B): وهي دون المتوسطة، وهي أقوى من الفئة (A)، وتأثيراتها محدودة جداً.

٣- الفئة (C): وهي الفئة ذات الانفجارات متوسطة الشدة، والتي يمكنها أن تتسبب في تشكل الشفق القطبي، وانقطاعات في التيار الكهربائي.

٤ - الفئة (M): وهي التي تكفي مقذوفاتها لإحداث انقطاعات في البث الإذاعي والتلفزيوني لفترات وجيزة، وتسبب تهديداً حقيقياً لرواد الفضاء، ولمحطات الفضاء والأقمار الصناعية.

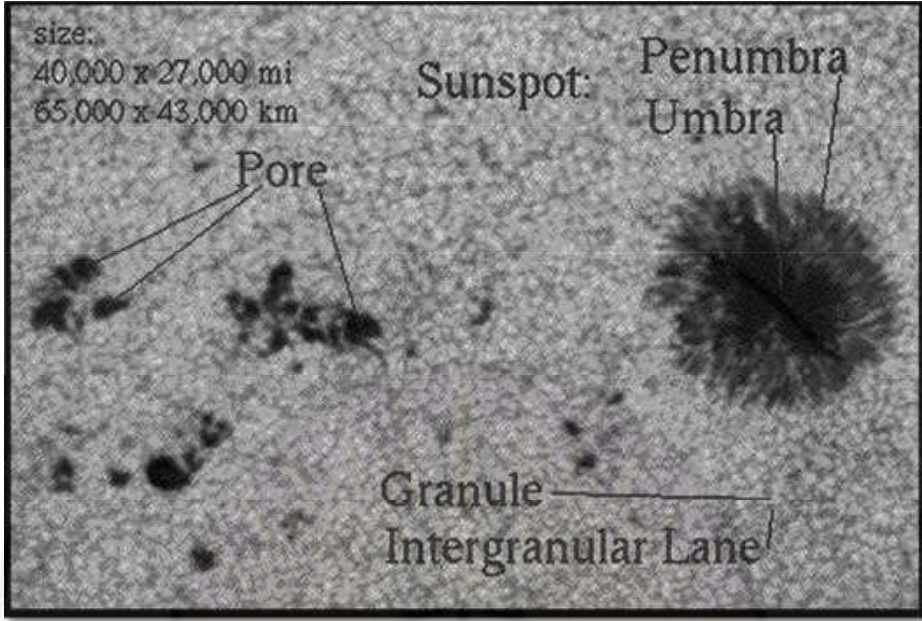
٥ - الفئة (X): وهي التي تترافق بأشد وأقصى الانفجارات الشمسية، وهي العاصفة الأكثر قوةً وتدميراً. إذ إنها كفيلة بتدمير كافة الأجهزة الإلكترونية، وأجهزة الاستشعار عن بعد، ومحولات الطاقة الكهربائية... وغير ذلك، وبخاصة درجتيا الثامنة والتاسعة (X8,9).

٢ - نشأة العواصف الشمسية:

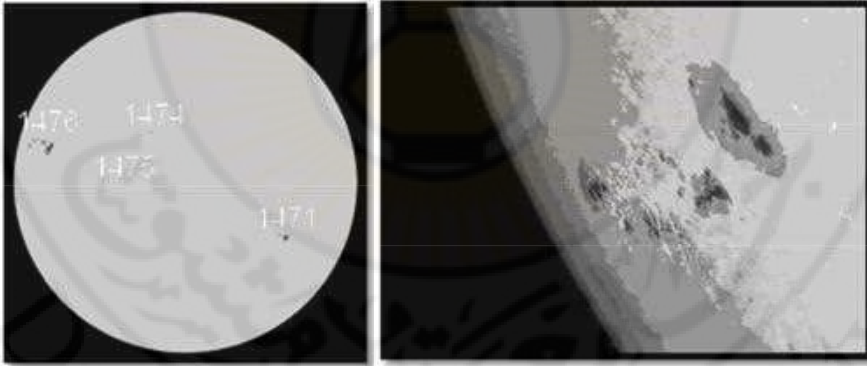
لا يمكن فهم وتحديد آلية نشأة العواصف الشمسية، بمعزل عن مظاهر النشاط والاضطرابات التي تحدث على سطح الشمس وفي جوها، وطبيعة مكونات العاصفة الشمسية.

٢-١ - مدى ارتباط العواصف بالبقع الشمسية:

لو استعرضنا أهم العواصف الشمسية التي تم رصدها منذ بداية القرن التاسع عشر الميلادي، حتى الآن، لوجدنا أنها حدثت في معظمها وفي سنوات التبفع الشمسي العظمى، كما في العاصفة الم شهورة وفي سنة (١٨٥٩ م)، أو عاصفة (١٩٨٩ م)، أو عاصفة (٢٠٠٠ م)، حتى عاصفة صيف عام (٢٠١٢ م). وعموماً، ليست كل سنة تبفع شمسي عظمى هي سنة عواصف شمسية، لأنه لا بد من سنة العاصفة الشمسية من أن يكون سطح الشمس مغطى ببقع شمسية - أو أكثر - ذات مساحة عظمى، أو أن تتجمع عدة بقع متجاورة أو متلاصقة مع بعضها بشكل تجمع كبير كبقعة ضخمة، حيث يبالغ قطر البقع المولدة للعواصف الشمسية أكثر من (١٠٠) ألف كم، بمساحة لبعضها تتجاوز (١٥٠) مليون كم^٢. شكل (١٤٤).



شكل (١٤٤) البقع الشمسية



شكل (١٤٤) صورة مكبرة للبقعة الشمسية ١٤٧٦ (تحديث ١٠ مايو ٢٠١٢ م).

ومن المعروف، أن البقع الشمسية ذات حقول مغناطيسية شديدة قياساً بما يجاورها، ولباقي سطح الشمس. وهذه الحقول القوية التي تظهر لفترات زمنية قصيرة (٢٤ - ٧٢ ساعة)، يمكن أن تصل في البقع الشمسية الضخمة وعند قاعدتها إلى عدة آلاف الغاوصات. وإذا فإن قاعدة البقع الشمسية تعيق معظم

الطاقة الشمسية الجسيمية والمتأينة، وجزء من الطاقة الكهرطيسية - وبخاصة -
الأفصر موجة (غاماً، السينية، فوق البنفسجية) - التي تنحني باتجاه جوانبها،
بعد أن تكون قد تجمعت بمقادير ضخمة، لتبحث عن تفريغ لها، فتجده - في
أطراف البقع ذات الحقول المغناطيسية الضعيفة، لتندفع بقوة هائلة، منبثقة
خارجاً، محدثةً ما يمكن أن يسمى **انفجارات شمسية**، تتجلى **بالأوهاج الشمسية**
الضخمة، التي بازديادها السريع خارجاً من مجال الجاذبية للشمس، باتجاه
الكواكب تشكل ما يعرف **بالعاصفة الشمسية**.

وفي خلال الاندفاع الأعظمي للطاقة الجسيمية والكهرطيسية من أطراف
البقع الشمسية، فإنها تسوق معها كميات كبيرة من ذرات الغازات المتأينة - في
الجو الشمسي المعروفة **بالبلازما**.

٢-٢-٢ هل لبقيّة مظاهر النشاط الشمسي علاقة بنشأة العواصف الشمسية؟

هناك عواصف شمسية أقل شدة من تلك المرتبطة بالبقع الشمسية، تنشأ
بالآلية نفسها، وتكون مرتبطة بمظاهر نشاط شمسي أخرى، منها:

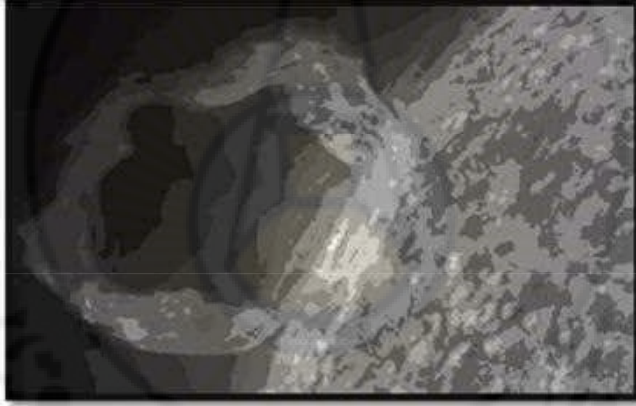
٢-٢-١ - العواصف الشمسية المرتبطة بالشعل الشمسية:

تبدو الشعل الشمسية كمناطق صغيرة المساحة مظلمة على سطح الشمس،
لنفس سبب ظلمة البقع الشمسية، الممثل بتركيز موضعي أصغر للحرارة
المغناطيسي ضمن الشعل، مما يترتب عليه في الفترات التي تتقوى فيها الشعل،
حدوث انبثاقات كبيرة عند أطرافها من الأشعة الكهرطيسية، وبخاصة في مجال
الأشعة السينية وفوق البنفسجية والمرئية والموجات الراديوية، وتنفوق طاقتها
انفجار بركان بمليون مرة.

وتبدو انفجارات الشعل الشمسية، كضوء أبيض من خلال انبعاثات الأشعة
السينية الساطعة والأشعة فوق البنفسجية.

٢-٢-٢ - العواصف الشمسية المرتبطة بالشواط الشمسي:

يرتبط الشواط الشمسي الشديد، بالبقع الشمسية العظمى (ش-كل ١٤٥): عدداً ومساحةً واضطراباً، مما ينجم عنه في بعض الحالات تجزؤ الفوسفات الشمسي، واندفاع الجزء المنطلق من الطبقة الكرومية (الكروموسفير/الطبقة الملونة) خارجاً، بسرعة كبيرة، على هيئة عاصفة شمسية. وتسبب هذه العواصف كوارث على الأرض في حال بلوغها. وهي تلي في وصدولها - كجسيمات شمسية - الأشعة الكهروضوئية بنحو يوم إلى أربعة أيام، فيما تعرف بالعواصف الكرونيالية، حيث تسبب عواصف مغناطيسية وحدوث شفق قطبي.



شكل (١٤٥) الشواط الشمسي

٢-٢-٣ - العواصف المرتبطة بالإكليل الشمسي:

إن الإكليل الشمسي ليس في حالة توازن هيدروستاتي. فدرجة الحرارة العالية البالغة نحو (٢ مليون درجة) في الإكليل الشمسي، والتي تتزايد بالابتعاد عن سطح الشمس، تولد في إكليل الشمس - بمقتضى قانون الغازات العام - ضغطاً بداخله أكبر مما يمكن توقعه، بسبب بعده عن سطح الشمس، بحيث يكون ذلك الضغط الواقع على الغاز في الإكليل كافياً للتغلب على القوة الثقالية للشمس،

مما يجعل مواد البلازما تندفع خارجاً في الفضاء، متزايدة سرعتها بالابتعاد عن سطح الشمس، - بسرعة ما بين (٢٠ كم/ثا) إلى (٢٧٠ كم/ثا) - لتبلغ وسطحياً نحو (٥٠٠ كم/ثا) عند مدار الأرض، وهي ما تدعى بالرياح الشمسية. شكل (١٤٦).



شكل (١٤٦) الرياح الشمسية

فالشمس، تطلق إذاً إشعاعات جسيمية تُدعى أيضاً بالرياح الشمسية، وذلك من طبقة الكورونا (الإكليل)؛ وهي في الغالب إلكترونات وبروتونات، أي جسيمات هيدروجين متأيّنة تتدفق إلى الخارج بسرعة بضع مئات الكيلومترات في الثانية (نحو ٥٠٠ كم/ثا). وتغادر الشمس على هيئة سحب أو حزم تيار منطلق (نفث). ويمكن اعتبار هذا التيار الغازي بمثابة تمدد دائم للكورونا الشمسية الساخنة.

ويقدر ما تفقده الشمس من مادتها نتيجة للإشعاعات الجسيمية بنحو 4×10^{19} غرام/سنة). وعند بلوغ سحب الغاز المتأين الجو الأرضي، فإنها تسبب حدوث اضطرابات في المجال المغناطيسي للأرض.

٢-٣- مدة الانبثاقات العاصفية:

هناك تباين كبير ما بين المدة التي تحدث خلالها الانفجارات على أطراف البقع الشمسية المولدة للعواصف الشمسية، وبين المدة التي تبلغ فيها العاصفة الشمسية سطح الأرض وجوها.

فبينما **مدة الانفجار الأعظمية**، بما يصدر عنه من انبثاقات ضخمة تتراوح بين (٥ - ١٥) دقيقة، لتأخذ بعدها بالتلاشي خلال عدة ساعات (٣ - ٥) ساعات، وذلك يعتمد على حجم البقعة الشمسية، وضخامة الانفجار والوهج الناتج، فإن المدة التي تمارس فيها العاصفة الشمسية تأثيرها على سطح الأرض، تتراوح ما بين نحو (١٠) دقائق لحظة وصول الأشعة الكهرطيسية عالية الشدة قصيرة الموجة ضمن الأشعة الواصلة، إلى نحو (٢) يوم، وهي المدة التي تستغرقها الطاقة الجسيمية المنطلقة بسرعات تتراوح ما بين (٥٠٠ كم/ثا) المسافة بالرياح الشمسية (١ - ٢ يوم)، و(٢٠٠٠٠ كم/ثا) للجسيمات المنطلقة بقوة الدفع الانفجاري (٢ ساعة).

وعموماً، فإن عذف العاصفة الشمسية وشدتها، وفعاليتها، يحدث بعد انطلاقتها من سطح الشمس وجوها بنحو (٢ - ٥ ساعات) وحتى يوم. ولكن هناك مؤشرات تبدو قبل ذلك بوصول الأشعة الحارقة (بعد ٨,٥ دقيقة)، وتستمر بعدها لمدة (١ - ٢ يوماً) بما تحمله الرياح الشمسية. غير أن تأثيرات العاصفة الشمسية بجسيماتها من بروتونات والإلكترونات، وسواها من جسيمات ألفا وبيتا قد تستمر لأيام عدة.

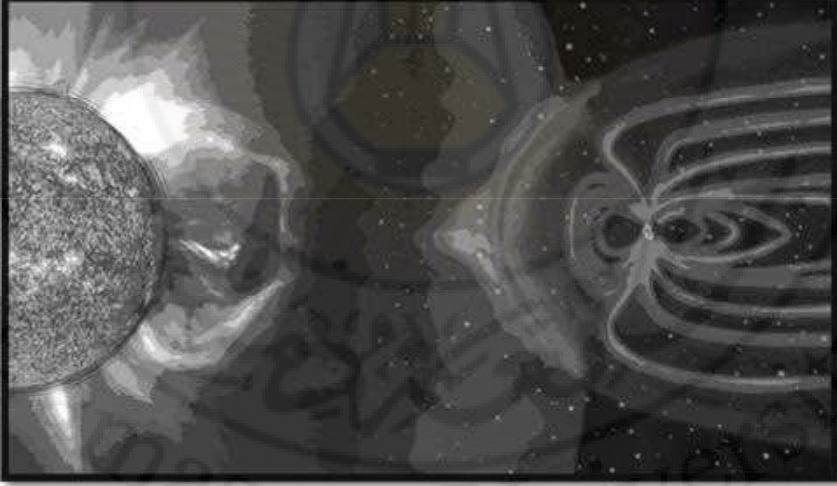
وهكذا يمكننا أن نحدد عمر العاصفة الشمسية، بنحو يومين.

٣- بنية العواصف الشمسية وتركيبها:

تختلف العواصف الشمسية من عاصفة إلى أخرى، في الحجم، والامتداد، والمكونات، وسرعة الاندفاع، وفي مدى القدرة على اختراق الغلاف الجوي المغناطيسي للأرض.

٣-١ - بنية العواصف الشمسية:

ليست العاصفة الشمسية عامة، بمعنى أنها لا تتولد من سطح الشمس وجوها برمتها، أو ذاك النصف من قرصها (كرتها) المواجه لسطح الأرض والمتحرك باستمرار -نتيجة الحركة المحورية للشمس-، وإنما من منطقة محددة من سطح الشمس وجوها -كما ذكرنا سابقاً- المرتبطة بالبقع مباشرة، وبالشواظ الشمسي، وبالانبثاقات الكورنولية. شكل (١٤٧).



شكل (١٤٧) عاصفة شمسية

ولا يمكن مشاهدة العاصفة الشمسية حتى بلوغها سطح الأرض - أو تعرض الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية لها-، مثلها في ذلك مثل العاصفة

الريحية، وإنما يمكن الإحساس بها، لما تحمله من مكونات غازية جسيمية وطاقة كهربائية وحرارية وإشعاعية ذات شدة عالية.

والمرتبط من العواصف الشمسية بالبقع الشمسية، فإن التفريغ الط-اقي الكبير لا يحدث بالدرجة والشدة نفسها حول البقعة الشمسية، وإنما يميل إل-ى طرف بقوة أكبر وهو ما يولد العاصفة، التي تنطلق بقطر يتراوح ب-ين (٢٠٠٠ – ٤٠٠٠ كم). في حين أن العاصفة الشمسية المنطلقة من الطبقة الكرومية-ة (الكروموسفير = الطبقة الملونة) الممثلة بالعمود الصاعد للشواظ الشمسي، ف-إن قطرها أقل، حيث يتراوح بين (٥٠ – ١٠٠ كم)، ومثلها تلك المنطلقة م-ن الشعل الشمسية.

بينما العواصف المنطلقة من الطبقة الجوية الشمسية الكورنولية-ة (الكورونا)، تكون بقطر كبير يتجاوز مئات ألوف الكيلومترات، ولكن بسرعات أخفض، لكونها تكون بمثابة رياح شمسية، إلا إذا توافقت العواصف الشمسية البقعية أو الشواظية مع النشاط الكورنولي، لتغدو العواصف عندها شديدة.

ولذا، فإن أجزاء سطح الأرض، ليست جميعها تقع تحت تأثيراتها، وإنما المناطق المواجهة لأماكن انطلاقها، سواء المواجهة للبقع الشمسية، أو الأخرى. فقد تتأثر القارة الأمريكية الشمالية، دون القارة الآسيوية، اللهم إلا إذا كان النشاط الشمسي كبيراً، وعدد البقع الشمسية الضخمة كبيراً، والأوهاج المتحد-رة م-ن أطرافها كعواصف، عندها يمكن أن يكون التأثير أكبر وأشمل.

وبوجه عام، فإن العاصفة الشمسية، شأنها في ذلك شأن أي ذ-وع م-ن العواصف، تتألف من قطاعين: **القطاع المركزي؛** الذي تكون فيه المادة العاصفية أكثر كثافةً وأشد تركيزاً للدقائق الجسيمية، وللاطاقة الإشعاعية، وهي

بقطر يقارب من $(\frac{1}{10})$ قطر العاصفة. **والقطاع الخارجي؛** وتكون فيه المادة العاصفية أقل كثافة، والأكثر سيادة فيه الأشعة الكهرطيسية قصيرة الموجة، بينما تبلغ نسبة الأشعة الجسيمية نحو (٢٥%).

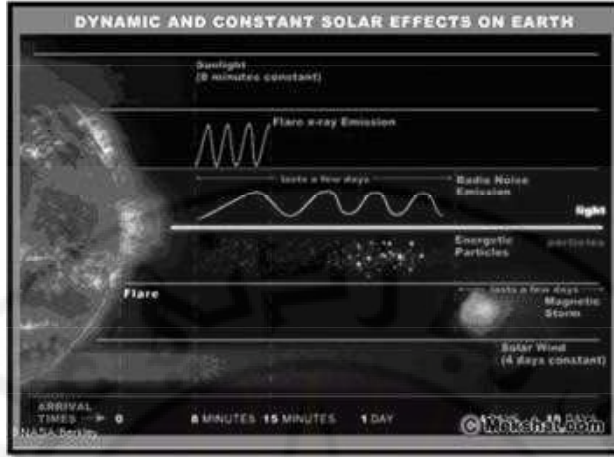
٣-٢- تركيب العواصف الشمسية:

تتركب العاصفة الشمسية النموذجية المرتبطة بالبقع الشمسية من ذنوعين من المكونات، هما:

١ - **الجسيمات دون الذرية** (Subatomic Particles)؛ والتي مصدرها نواة الشمس، وبعضها طبقتها الإشعاعية، والقليل من طبقة الكورونا في الجو الشمسي، وتتمثل في؛ البروتونات، والنيوترونات، والإلكترونات، والنيوتريونات (Nutrions)، وجسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، والبلازما.

٢ - **الأشعة الكهرطيسية؛** وهي على نوعين: ما كانت بصورة أشعة أولية، وهي الأقصر موجة في الأشعة (غامما، السينية، فوق البنفسجية)، بجانب ما تحمله معها من جسيمات عالية الطاقة (بروتونات وإلكترونات... وغيرها)، وتنطلق من النواة ومن طبقة الإشعاع بسرعة الضوء. وما كانت أشعة عادية (حرارية وراديوية ومرئية) وبكثافة كبيرة وشدة عالية. شكل (١٤٨).

يضاف إلى ما تقدم **الأشعة الكونية؛** وهي جسيمات عالية الطاقة، تشمل على بروتونات وإلكترونات... وغيرها، تنطلق بسرعة كبيرة تقارب من سرعة الضوء. يصدر بعضها من الشمس، ولكن معظمها يأتي من منابع إشعاعية نائية، ربما كانت مستعرات فائقة متفجرة (سوبرنوفا).



شكل (١٤٨) أنواع الأشعة الشمسية

٤ - آثار العواصف الشمسية:

تعد العواصف الشمسية من أكثر الظواهر المرعبة للإنسان، لما تحملها في طياتها من طاقة تدمير وتخريب للأحياء، وغير الأحياء. بجاذب ما ينتج عنها من تغيرات في بنية الجو الأعلى المتأين، وما تولده من ظواهر مثيرة في المناطق القطبية، وأحياناً دونها.

ولو لم تكن للعواصف الشمسية من آثار كبرى، يصعب على الإنسان تقديرها، لما أثّرت ضجة عالمية كبرى غير مسبوقة في تاريخ البشرية، لما كان متوقعاً أن تفعله العواصف الشمسية التي حدثت في صيف عام (٢٠١٢)، ولكن مر هذا العام بصيفه بخير وبعاصفة شمسية منخفضة الشدة، اقتصر آثارها على الحرارية، بارتفاع حراري طفيف.

وعلى كل حال، فإنه لا يوجد شيء على سطح الأرض وفي الجو والأرضي بمنأى عن تأثيرات العواصف الشمسية، بخلاصة متوسطة الشدة والشديدة، وعالية الشدة.

٤-١ - تشكل الشفق القطبي:

الشفق القطبي (Aurora) أو الأضواء القطبية، التي تـشاهد فـي المنطفـة القطبية الشمالية (الشفق القطبي الـشمالي Aurora Boreals) والمنطفـة القطبية الجنوبية (الشفق القطبي الجنوبي Aurora Australis)، تتشكل عموماً بين ١٠٠ - ١٠٠٠ كم) فوق السطح، مع أن تلك الحدود يمكن أن تزيد أحياناً. ويشاهد الشفق القطبي بأشكال مختلفة: توهجات (Glows)، أشعة (Rays)، أحزمة (Bands)، سحف (Draperis)، وسـتائر (Currains)، وقطـع متوهجـة (Flaming Patches). ويتغير شكله ولونه وتوجهه بسرعة كبيرة، إذ إنه يمكن أن يتألق (يلمع) بشكل حاد. وهذا مرده إلى أن الجسيمات المكهربة (المتـشردة، المتأينة) القادمة من الفضاء، والمتولدة بشكل رئيسي في الشمس، تصطدم بـذرات الغازات في الجو العلوي، مما يجعلها تتـوهج وتتـألق. وبـسبب كـون تلك الجسيمات المشحونة كهربائياً، تميل للسقوط على شكل شلالات نحـو الأسـفل باتجاه القطبين المغناطيسيين، مما يجعل أفضل رؤية للشفق القطبي تـتم مـن العروض القطبية. شكل (١٤٩).

إن رؤية الشفق تكاد تكون عامة جداً في أماكن عدة، كما فـي: ألاسـكا، إنكلترا الشمالية، أسكوتلندا، شمالي النرويج والسويد وفنلندا، والقارة القطبية الجنوبية. ومن النادر رؤيته من العروض المنخفضة، ومن الصعب جداً رؤيته في المنطقة الاستوائية.

والنشاط الشفقي يكون أكثر أو أقل سيادة، حول مـا يـدعى بالبيـضويات الشفقية، التي تكون بمثابة حلقات متناظرة حول القطبين المغناطيسيين. فعندما تكون الشمس في أقصى درجات اضطرابها، فإن الجسيمات المكهربة المنطلقة منها، تولد بسرعة كبيرة بيضويات مسطحة ومتمددة، تشاهد في المناطق القطبية.



شكل (١٤٩) الشفق القطبي

فالشفق القطبي عموماً، هو ظاهرة تفريغ كهربائي للجسيمات المتأينة التي تقذفها الشمس في فترات اضطرابها القصوى - في أثناء الانفجارات الشمسية - خلال فترات النشاط الأعظمي للبقع الشمسية - وتبلغ الأجزاء العليا من الغلاف الجوي الأرضي محكومة في مساراتها بالمجال المغناطيسي الأرضي.

ويتخذ الشفق القطبي أشكالاً عدة، منها: شكل أقواس من الأحزمة الضوئية ذات لون أخضر باهت مائل للبياض، أو لون أزرق باهت مع لون أحمر وردي. فعندما تبلغ الجسيمات الشمسية غلاف الأرض الجوي العلوي موجهة بالحقول المغناطيسي الأرضي عند القطبين المغناطيسيين، فإنها تتدفق تيارات من الإلكترونات التي تصطدم بذرات الأوكسجين والنيتروجين، مستثارة بفعل تلك الاصطدامات، مؤدية إلى انتقال إلكترونات الذرات إلى مدارات أعلى، وعند هبوط تلك الإلكترونات عائدة إلى مداراتها الأدنى تطلق الضوء المعروف بالـ **شفق القطبي**. وبما أن ذرات الأوكسجين أخف من ذرات النيتروجين، نجدها تنتشر على علو أكبر، مما يجعلها تستثار أولاً باصطدام الإلكترونات بها لتطلق لوناً أخضر.

ولكن في الارتفاعات الأخفض، يكون الجو أكثر وفرة بذرات التتروجين التي تطلق اللون الأزرق الباهت واللون الأحمر الوردى (Pinkish). وبسبب كون ذرات التتروجين تصدر ضوءاً أسرع من ذرات الأوكسجين، فإن الأجزاء الوردية - الزرقاء الأخفض من الضوء القطبي تبدو وكأنها تتحرك بسرعة أكبر من الأجزاء العليا الأبطأ المحكومة بإصدارات بطيئة الحركة من ذرات الأوكسجين.

٤-٢- التأثير على المجال المغناطيسي للأرض:

تعمل العواصف الشمسية، بما تحمله من جسيمات كهربائية على زيادة الحقل المغناطيسي للأرض، بنسبة قد تصل إلى (٨ %) في العواصف الشمسية الشديدة، وبنحو (١ %) في العواصف الخفيفة.

٤-٣- زيادة كهربائية الجو:

يتولد من العواصف الشمسية المغناطيسية، بما تحمله من كميات كبيرة من الجسيمات المشحونة كهربائياً، زيادة في كهربائية الغلاف الجوي الأرضي، سواء في الطبقات العليا، أم في الطبقات الوسطى والسفلى من الجو. وتبلغ كثافة العاصفة الشمسية عند أعالي الغلاف الجوي للأرض أكثر من (١٠) آلاف جسيم/ثا/م^٣، وتتصف تلك الجسيمات بكهربائيتها العالية، بحيث تبدو عندما تبلغ أعالي الجو، وكأنها مطر من صواعق الكهرباء الصغيرة، القادرة على تأيين (كهربة) المادة التي تصطدم بها، سواء في الغلاف الجوي باختراقها إياه، أم الخلايا الحية في الجسم البشري.

٤-٤- زيادة نسبة العواصف الرعدية:

في حال بلوغ الجسيمات الكهربائية المحمولة بالرياح الشمسية، أو المنقذة بقوة الانفجار الشمسي، إلى طبقة التروبوسفير التي تحوي على بخار الماء،

وفيها تتشكل السحب بأنواعها المختلفة، فإنها تسهم في زيادة تشكل العواصف الرعدية، والصواعق الأرضية.

٤-٥ - زيادة حرارة سطح الأرض:

مما لا شك فيه، أن العواصف الشمسية، ستؤثر على درجة حرارة سطح الأرض وجوها، لما تحمله من طاقة حرارية ضخمة. فإذا ما كانت العاصفة عالية الشدة -من الدرجة (X) - وضخمة في اتساعها، فإنه لم-ن الممكن أن تؤدي إلى رفع درجة حرارة سطح الأرض اليابس إلى نحو (100°م)، أي أكثر بنحو ($30 - 40^{\circ}\text{م}$) مما هو عليه. في حين يمكنها أن تعمل على رفع درجة حرارة الهواء القريب من السطح إلى نحو ($10 - 20^{\circ}\text{م}$)، م-سهمه بح-دوث موجة حر شديدة. ومثل هذه الحرارة المرتفعة لليابس واله-واء س-تترك آثاراً حيوية كبرى، بما يمكن أن تسببه من حالات وفيات، وتدهور في الغطاء النباتي، بالإضافة إلى أن الحرارة الناتجة ستسبب في تبخير كميات كبيرة من المياه.

٤-٦ - احتمال زيادة العواصف والأعاصير فوق المحيطات:

مع ارتفاع درجة الحرارة بفعل العواصف الشمسية، وازدياد كهربية الجو، وارتفاع نسبة الرطوبة الجوية، ستزداد حالات عدم الاستقرار الجوي فوق اليابس كما فوق المحيطات، متوافقاً ذلك مع زيادة نسبة تشكل العواصف والأعاصير المدارية فوق المحيطات وما ينتج عنها من آثار تدميرية على اليابسة المعرضة لها عند بلاوغها إليها، كما ستزداد الاضطرابات الجوية الجبهية في العروض الوسطى بيابسها ومحيطاتها.

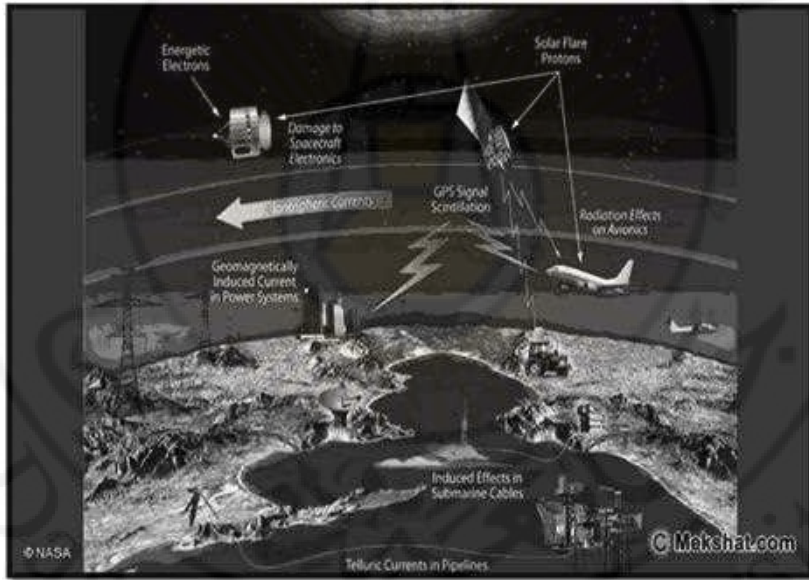
٤-٧ - اختلال في قشرة الأرض، وزيادة في الزلازل والبراكين:

مما هو متوقع في حال حدوث عاصفة شمسية ضخمة، وهذا لم يحدث في التاريخ البشري الحديث -ولكن من الممكن حدوثها-، أن ينجم عنها ازدياد في

درجة حرارة جوف الأرض بشكل كبير، وتستصدر عن ذلك أمواج ميكروية، وستختل نواة الأرض وتغدو غير مستقرة، وستهتز الأرض بعنف، وستصدع بكثرة، وتجدد الصدوع القديمة حركتها، ويزداد تشقق سطح الأرض، وتندفع البراكين بكثرة وتدمر ما حولها، وستساقط مقذوفاتها ككتل نارية من السماء. وستتزلزل الأرض، وتموج موجاً.

٤-٨- آثار اقتصادية كبيرة:

للعواصف الشمسية آثار اقتصادية كبيرة، حتى لتكاد آثارها أن تشمل مفصل الحياة الرئيسية كافة، ممثلة في - شكل (١٥٠) -:



شكل (١٥٠) الآثار العامة لعاصفة شمسية

١- تعطل الاتصالات اللاسلكية: حيث يتخرب نظام (GPS) مرشد

الطائرات، وتتوقف بالتالي حركة المطارات. كما يحدث تشويش على الإشارات الراديوية التي تصدرها الأقمار الصناعية المجهزة بنظام (GPS) عند

عبورها طبقة الأيونوسفير، حيث يحدث فيها تلالؤ (Scintillation)، مما يقلل من الدقة في تحديد المواقع من أجهزة الاستقبال الأرضية. إذ إنه كنتيجة لتأثير صفات الجو الأيونوسفيري بالعواصف الشمسية المغناطيسية، فإن أنظمة الاتصالات كافة تتأثر، بجاذب تأثر أنظمة الملاحة (OMEGA) و (LORAM) و (GPS) وغيرها، حيث تعيق العاصفة عملها، مما يجعلها تعطي قرارات خاطئة للمواقع قد تصل إلى عدة كيلومترات.

٢- احتراق الأقمار الصناعية أو خروجها من الخدمة: ينجم عن تسخين

هواء الغلاف الجوي عند تعرضه لعاصفة شمسية قوية، تمدد فيه، مما يزيد من مقاومة الهواء لحركة الأقمار الصناعية ذات المدارات المنخفضة، مما يجعل سرعتها تنخفض، حتى تجعلها تنحرف للسقوط نحو الأرض، أو تحترق في الغلاف الجوي.

وهذا ما حصل للمختبر الفضائي الم-داري س-كايلا ب (Skylab) خلال العاصفة الشمسية عام (١٩٧٩)، فسقط تجاه س-طح الأرض. كما أنه أثر من العاصفة الشمسية لعام (١٩٨٩) أكثر من ألفي قمر صناعي، وانقطع الاتصال بنحو (١٦٠٠) قمر صناعي.

ويتمثل الخطر الأكبر على الأقمار الصناعية، وفي إمكانية اختراق جسيمات الرياح الشمسية لجدران الأقمار الصناعية -خاصة الصغيرة منها-، مما قد يدمر أنظمتها الإلكترونية، أو يؤثر على حواسيبها وبرمجياتها.

٣- تعطل شبكة الهاتف النقال؛ كما تتوقف شبكة الإنترنت، وينقطع البث

التلفزيوني الأرضي والفضائي، أو يشوش، وهذا ما حدث نسبياً في الفترة ما بين (١١-٤) آذار عام (٢٠١٤). وكذلك البث الإذاعي الذي يتحول إلى صوت

مستمر ثابت. وهذا ما يشكل كارثة على قطاعات هامة؛ كالاتصالات العسكرية، والمدنية، والتجارية.

٤ - تدمير المحولات الكهربائية: وما ينتج عن ذلك من نتائج اقتصادية وإنسانية وصحية. وهذا ما حدث خلال العاصفة الشمسية التي ضربت شمال شرقي الولايات المتحدة وكندا الشرقية (عام ١٩٨٩)، مما تسبب في انقطاع الكهرباء في مقاطعة كويبك لعدة ساعات عن نحو ستة ملايين شخص.

حيث ينجم عن التغيرات في المغناطيسية الأرضية خلال العاصفة الشمسية الجيومغناطيسية، تولد تيارات كهربائية في أسلاك نقل الطاقة الكهربائية، بخاصة تلك التي تعبر مسافات طويلة، مما قد يسبب أضراراً لها. وكذلك في المولدات والمحولات الكهربائية. فإذا ما توافقت المجالات المغناطيسية الناتجة عن العواصف الشمسية مع المجالات والتيارات الكهربائية على الأرض، فينجم عن ذلك تفاعل وتأثير متبادل، ويمكن لهذا التأثير أن يبالغ حد تكوين تيار قوي يلامس أعمدة وأسلاك الكهرباء، ويؤدي إلى احتراق المحولات الكهربائية.

٤-٩ - آثار صحية:

من الآثار الصحية، نذكر:

١ - زيادة في أمراض: الطاعون، الكوليرا، التيفوئيد، والحصبة الوبائية. وزيادة مفاجئة في نسبة بروتين الدم عند الجنسين. وانخفاض في نسبة الخلايا اللمفاوية في الدم. وبالتالي تضاعف عدد المرضى الذين يعانون من أمراض. تعود إلى نقص الخلايا اللمفاوية.

٢ - حدوث هبوط في القلب ناتج عن الجلطة الدموية. إذ بينت الأبحاث وجود صلة قوية بين النشاط الشمسي وهبوط القلب الناتج عن الجلطة. حيث

وجد أن الأشعة الشمسية تساعد على تكوين الجلطات بالقرب من الجدار، وإن هذه الجلطات تؤدي إلى انسدادات مميتة في الشريان التاجي.

٣- ترافق العواصف المغناطيسية بعض الاضطرابات الصحية، كما في: الصداع النصفي والخفقان والأرق.

٤- بما أن العواصف الشمسية مكونة من جسيمات عالية الطاقة، معظمها بروتونات قادرة على اختراق الجسم البشري، لذا فإنه بدون توفر حماية، فإن هذه الجسيمات قادرة على إتلاف المادة الوراثية (DNA) في خلايا الجسم، مما يؤدي إلى تقرح الجلد وسقوط الشعر والأسنان، وحدث تل-ف-ت-دريج في أعضاء الجسم تنتهي بالوفاة في غضون عدة أيام. وعند تعرض الإنسان لكميات كبيرة من الأشعة الضارة التي ترافق العاصفة، فإن ذلك ي-ؤثر على الطبيعة الجينية للإنسان مسببة ظهور أمراض مثل السرطان والتدرن الرئوي. كما تؤثر العواصف الشمسية على الحيوانات مسببة حدوث خلل في أجهزتها الفسيولوجية، وخاصة الطيور والحيوانات المهاجرة.

٤-١٠ - مجاعات ووفيات عديدة:

إن عاصفة شمسية شديدة، ستترك وراءها آثاراً من الصعب تقديرها. فكل شيء يتعطل في الحياة؛ وسينجم عنها مجاعات ووفيات عديدة.

٤-١١ - الآثار على سلوك الإنسان:

ينتج عن العواصف الشمسية تغير في أمزجة البشر، وتحد-ول-نحو سلوكيات سلبية، بسبب التغيرات البيوكيميائية التي تطرأ على جسم الإنسان. إذ تبين حدوث اقتران العواصف الشمسية، بارتفاع نسبة الم-صابين بالاكتئاب، وكذلك زيادة في حالات الانتحار.

٥ - نماذج من العواصف الشمسية:

عديدة هي العواصف الشمسية المنطلقة من الشمس، ولكن القليل منها الذي يبلغ سطح الأرض، ويترك آثاراً دالة عليها بشكل مباشر، إلا إذا لم نهم-ل تأثيراتها الضوئية (الشفق القطبي)، وتأثيراتها على الحرارة الأرضية، والري-ادة الملحوظة في الأشعة الحارقة لمن يتعرض لها مباشرة لبضع من الوقت.

والعواصف الشمسية ليست حديثة العهد بالشمس، وإنما هي مقترنة بها منذ وجودها. ولربما في تاريخ قديم من عمر الشمس أكثر عدداً وشدةً وعنفاً، لكنه-ا لم تكن مهمة قبل وجود الحياة. وبعد وجود الإنسان لم تترك السجلات القديمة ما يفيد عنها، إلا أنه في العصر الحديث (عصر التقنية)، وبخاصة النصف الثاني من القرن العشرين، فقد تمت مراقبتها وتسجيلها، وإطهارها بشكل ج-ي م-ن خلال ما تخلقه من مظاهر، وما تتركه من آثار.

وفيما يلي سنذكر أهم العواصف الشمسية التي عرفت-ا الأرض ف-ي تاريخها الحديث:

٥-١ - عاصفة عام (١٨٥٩ م):

تعد العاصفة الشمسية التي حدثت في اليوم الثاني من شهر أيل-ول عام (١٨٥٩ م) الأسوأ في تاريخ الأرض الحديث، والتي عرفت باسم (ج-دث كارينغتون) نسبة إلى عالم الفلك البريطاني (ريتشارد كارينغتون) الذي رصد العاصفة مصادفةً، عندما كان يقوم برصد ومراقبة الشمس باسم-تخدام جهاز تيلسكوب خاص به مستخدماً فلترًا ليقية من أشعة الشمس، وليشاهد انفجاراً يصدر عنه وميض ضوئي براقٍ ينطلق من سطح الشمس ه-و بمثابة س-حابة م-ن البلازما-، ومن ثم ينفصل عنها. وبعد نحو (٤٨) ساعة م-ن رصد ده-له-ذه الظاهرة، بدأت تأثيراتها بالظهور على الأرض بصورة استثنائية وغير معهودة.

فلقد أضاءت هالة بَرّاقَة ليل سماء الأرض جنوباً حتى المنطقة المدارية، بحيث كان بالإمكان قراءة الصحيفة في منتصف الليل بواسطة ضوءها البَرّاق. كما أن مجموعة من عمال مناجم الذهب في ولاية كاليفورنيا الأمريكية استيقظوا من نومهم في وقت مبكر، لاعتقادهم أن الفجر قد بزغ، ووقت العمل قد بدأ، والوقت عندها كان الساعة الثانية بعد منتصف الليل.

وتسببت العاصفة الشمسية بأضرار كبيرة في شبكة التلغراف (البرق) على مستوى العالم المستخدم إياها آنذاك، حيث تعطلت كلياً في العالم، الذي كان استخدامه للكهرباء ما يزال في بدايته. كما شعر مشغلو أجهزة التلغراف بصدمة كهربائية قوية لمرور موجات مشحونة بالطاقة الشمسية عبر الشبكات. وقد بدأ الأمر وكأن الأرض غرقت في حوض من الكهرباء.

٥-٢ - عاصفة عام (١٩٨٩ م):

شهد الكوكب الأرضي عاصفة شمسية خفيفة - متوسطة الشدة في شهر آذار عام (١٩٨٩)، مولدة مشاهد شفق قطبي شمالية مثيرة للإعجاب، ومتركزاً تأثيرها على منطقة شمال شرقي الولايات المتحدة، وشرقي كندا، وشمال أوروبا. ولقد تسببت هذه العاصفة في انقطاع التيار الكهربائي لمدة نحو (٩) ساعات في مقاطعة كويبك الكندية، ومن ثم بقاء نحو (٦) ملايين شخص دون كهرباء خلال المدة المذكورة، وتعطلت الاتصالات أيضاً. ومثل ذلك حدث في السويد. كما تسببت الأضرار الصناعية التابعة للبحرية الأمريكية، حيث تأثر نحو (١٠٠٠) قمر صناعي.

٥-٣ - عاصفة عام (٢٠٠٠ م):

تم رصد هذه العاصفة في صباح يوم (١٤) تموز عام (٢٠٠٠ م) من مركز الفضاء الأمريكي بولدر في ولاية كولورادو، من خلال إشارة تحذيرية

من القمر الصناعي (سياتل) المخصص لرصد الأشعة السينية الـصادرة عن الشمس، وكذلك رصد الأحوال الجوية في الجو الأرضي.

وفي الساعة العاشرة وثلاث دقائق بتوقيت غرينتش، رصد الراصدون في المركز السابق قفزة حادة في شدة الأشعة السينية المنبثقة من المنطقة الذـشيطة (٩٠٧٧) على سطح الشمس، وهي الجزء من سطح الشمس الذي كان مضطرباً في الأسبوع السابق للانفجار. مما كان إشارة لبداية الانبثاقات القوية من اللهـب الشمسي، والطاقة الإشعاعية الجسيمية الشديدة، مما أحدث ظاهرة الشفق القطبي.

٥-٤ - عاصفة عام (٢٠١٠ م):

في اليوم الأول من شهر آب عام (٢٠١٠) حصلت عاصفة شمسية خفيفة من وهج شمسي رصد على سطح الشمس، لتبلغ إشـعاعاتها الحارقة الأرض خلال بضع دقائق. ولتصل طاقتها الجسيمية الجو الأرضي مع الرياح الشمسية بعد يومين، ليشعر بها من عرض نفسه مباشرة للشمس قبل ظهيرة يوم (٣) آب، بحرقتها الحادة، ولكن لساعة أو أكثر، دون أن تتـرك أثـراً على الحـرارة الأرضية أكثر من ارتفاع لحظي فيها بحدود درجتين.

٥-٥ - عاصفتا عام (٢٠١١ م):

في يوم الثلاثاء (٧) حزيران عام (٢٠١١)، وبحـدود الـساعة (٦،١٤) بتوقيت غرينتش، انطلقت عاصفة شمسية من سطح الشمس وجوها بسرعة نحو (١٣٠٠ كم/ثا)، ولتقل سرعتها بالابتعاد عن سطح الشمس، لتصل إلى الأرض في يوم الجمعة (٦/١٠).

وفي يوم (٢٥) تشرين الثاني من العام نفسه (٢٠١١) اخترقت عاصفة شمسية الأجواء الكندية والأمريكية، متسببة في ضـغط قوي على المجال الأرضي المغناطيسي للأرض.

وتمكنت الرياح الشمسية من اختراق كل الطرق الموصلة إلى المـدار المتزامن مع الأرض لفترة قصيرة بين الساعة (١٩,٠٦) والساعة (١٩,١١) - أي خلال نحو (١٠) دقائق- لتضرب الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض متعرضة بشكل مباشر لبلازما الرياح الشمسية. كما تشكل الشفق القطبي الشمالي الذي شوهد بشكل واضح في شمال شرقي الولايات المتحدة وفي كندا.

٥-٦- كما حدثت عاصفتان شمسيان في عام (٢٠١٢ م):

حدثت إحداهما نتيجة انفجار شمسي رصد في يوم (٢٢) كانون الثاني، ووصلت العاصفة متوسطة الشدة إلى الأرض مساء يوم (٢٤) كانون الثاني حسبما رصدت بتلسكوب (سوهو)، مؤثرة على الملاحة الجوية في العروض العليا من نصف الكرة الشمالي، ومتسببة في تشكل الشفق القطبي. والأخرى حدثت في العاشر من شهر أيار وكانت خفيفة الشدة وآثارها حرارية.

٥-٧- عاصفة عام (٢٠١٤):

في (٢٠١٤/٢/٢٠)، عاصفة شمسية متوسطة الشدة انطلقت من الطبقة الاكليلية (الكورونا) محملة بكميات كبيرة من البروتونات عالية الطاقة وجسيمات ألفا وبيتا، وتبلغ الجو الأرضي العلوي وسطحها مسببة تشويشاً في الاتصالات الراديوية وتقطعاً فيها لفترة استمرت تأثيراتها لمدة نحو (٢٠) يوم. وهذه العاصفة تشبه إلى حد كبير العاصفة الشمسية في عام (١٩٧٢).

٦- رصد العواصف الشمسية، وإمكانية التنبؤ بها والحماية منها:

لم يكن النظر إلى الشمس ممكناً قبل اختراع التلسكوب والفلاتر التي تحمي وتقي العينين من أشعة الشمس المؤذية، لذا لم يكن معروفاً عن العواصف الشمسية، إلا ما كان يدل عليها من مظاهر وظواهر تحدثها.

٦-١ - رصد العواصف الشمسية:

من الوسائل التي تستخدم في رصد الشمس وأنشطتها المختلفة:

١ - الرصد الأرضي: من خلال التلسكوبات المفطرة، وما تتلقاه أجهز-

المطياف المختلفة، والمراقبات الحسية المباشرة، مما يمكن بالتنبؤ بقدوم عاصفة، أو بلوغ طلائع عاصفة الأرض.

٢ - الأقمار الصناعية: أسهمت الأقمار الصناعية والمركبات الفضائية،

بما زودت به من أجهزة رصد وتصوير للشمس، وما يحدث فيها من تغيرات في فترات نشاطها الفصوي، من إمكانية التنبؤ بحدوث العواصف الشمسية. ومن تلك الأقمار: القمران الصناعيان الأمريكيان (أيس Ace) و(يولي-سس Ulysses)، والقمران الصناعيان اليابانيان (يوهكوه Yohkoh) و(سو-وهو Soho)، والقمر الصناعي (تراسي Trace) وهو مرصد فضائي شمسي بمثابة تلسكوب فضائي. والمركبتان الفضائيتان (ستيريو-Stereo-A، وستيريو-B). بجانب مرصد ديناميكيات الشمسي التابع لوكالة الفضاء الأمريكية (ناسا)، والذي تم إطلاقه عام (٢٠١٢)، ووضع في مدار على بعد (٣٦) ألف كم من الأرض، وأقمار ومرصد أخرى.

٦-٢ - التنبؤ بالعواصف الشمسية:

يمكن الاعتماد على قرائن وأدلة تساعد في التنبؤ بحدوث العواصف الشمسية، منها:

١ - الارتباط بين العواصف وسنوات النشاط والاضطراب الأعظمي في

سطح الشمس؛ والتي تظهر فيها البقع الشمسية العظمى، وغيرها من مظاهر النشاط الشمسي (الأوهاج الشمسية، الشعلة الشمسية... إلخ).

وبما أن البقع الشمسية هي الدالة على إمكانية حدوث العواصف، فإن هذا اتخذت سنوات تعاطمها على سطح الشمس وسيلة للتنبؤ بالعواصف. وبما أن البقع الشمسية تتبع دورة في تعاطمها مدتها (١١) سنة، أو (٢٢) سنة، لذا يمكن أن ينظر إلى سنوات التبع الشمسي العظمى، كسنوات دالة على إمكانية حدوث العواصف الشمسية.

٢- الدلائل الحسية؛ بما أن العاصفة الشمسية تمر بأطوار، فإن هذا يساعد على التنبؤ بها، ويتمثل ذلك في الشعور بأشعة الشمس الحارقة (الكثيفة جداً) التي تمثل طلائع العاصفة الشمسية، وهي ما تبدأ في الأرض خلال (٨،٣) دقيقة، مع ما تسببه من اضطرابات في جميع وسائل الاتصالات. وبعد ساعة إلى ساعتين تصل إلى الأرض موجات فجائية من الطاقة تحدث مزيداً من الخلل في وسائل الاتصال. وبعد ذلك بنحو (١ - ٢) يوم تبدأ تصل العاصفة الرئيسية المغناطيسية التي تولد الشفق القطبي، وتحدث التأثيرات التدميرية - إذا ما كانت شديدة - .

٦-٣- الحماية من العواصف الشمسية:

يشكل الحقل المغناطيسي للأرض درعاً يحمي الأرض ويقيها من الجسيمات المشحونة كهربائياً التي تطلقها الشمس، مع ما يمكن أن تلحقه من أذى بالغ بالخلايا الحية.

فالحقل المغناطيسي الأرضي، أحد الأركان الأساسية في وجود الحياة واستمراريتها على سطح الأرض، لكونه يحمي الأحياء من الأشعة الجسيمية الشمسية والكونية القاتلة، لقيامه عند بلوغه بحرفها بفعل القوة المغناطيسية، لتأخذ حركة حلزونية، حول خطوط الحقل، وهذا ما يترتب عليه - الحركة الحلزونية - إبطاء حركة الجسيمات المتدفقة من الشمس، وجعلها تنساب حول

الأرض لتصب في القطبين المغناطيسيين الشمالي والجنوبي، مما يجعل الأرض الحية تتفادي أثر الجسيمات الشمسية المشحونة.

يضاف إلى ما تقدم، أن الغلاف الجوي الأرضي، محاط -كج- زء م- ن بنيته - بحلقتين من الجسيمات المشحونة كهربائياً ذات المغناطيسية العالية، وهما تعرفان بحزمتي فان آلين الإشعاعية (Van Allen Belts) اللتين توج- دان على ارتفاعات من سطح الأرض تبلغ (٢٠٠٠ كم) للحزمة الأولى، ونح- و (٢٠٠٠٠ كم) للحزمة الثانية الخارجية.

وتعمل هاتان الحزمتان الكهرومغناطيسيتان على تفريغ الجزء الأكبر م- ن الجسيمات الشمسية والكونية المتجهة نحو سطح الأرض، مشكلة الدرع ال- واقى للشمس.

إن الجسيمات الكهربائية المحتجزة في حزامي (فان آلين)، هي من القوة بم- لا يكفي لاختراق المركبات الفضائية، وتشكيل خطر على رواد الفضاء، يتمثل ف- في إتلاف المادة الوراثية وغيرها من نسج الجسم البشري. لذا فإن رواد الفضاء يحاولون ما استطاعوا تجنب المرور في هاتين الحزمتين، أو عبورها بأسرع ما يمكن.

٦-٤ - الوقاية من العواصف الشمسية:

من الممكن رصد العاصفة الشمسية الفعالة قبل وصولها إلى الأرض بساعة فقط، لذا فمن الممكن اتخاذ إجراءات تحذيرية للوقاية منها، كما يلي:

١ - إطفاء (إيقاف) المولدات والمحولات الكهربائية، قبل أن تتضرر الانبعاثات الإكليلية الكتلية الأرض. ذلك أنه في حال حدوث العاصفة والمحولات تعمل، فإن هذا سوف يسبب في حمولة (ضغط) زائدة على المحولات الكهربائية في المحطات، مما سيؤدي إلى احتراقها، وتوقفها عن العمل.

- ٢- إغلاق الأجهزة الكهربائية.
- ٣- وقف الاتصالات.
- ٤- الابتعاد كلياً عن التعرض للأشعة الشمسية، حتى بالنسبة للحيوانات.
- ٥- إبعاد الأبقار الصناعية عن مهاب العاصفة إلى أماكن تُجنبها التعرض لها.



أهم المصطلحات العلمية

A	
Acid Deposition	ترسب حامضي
Acid Fog	ضباب حامضي
Acid Rain	مطر حامضي
Advection Frost	صفيع تأقفي
Aerosol	هباء جوي (عوالق صلبة)
Air Instability	عدم استقرارية الهواء
Air Mass	كتلة هوائية
Air Pollution	تلوث الهواء
Air Stability	استقرارية الهواء
Anta-Front	جبهة نشطة
Antaractic Plate	صفحة القارة القطبية الجنوبية
Anticyclone	ضد إعصار (ضغط مرتفع)
Antimatter	مادة مضادة
Arabian Plate	الصفحة العربية
Arid Climate	مناخ جاف
Arizona Crater	فوهة أريزونا
Armenian Earthquake	زلازل أرمينيا
Asteroids	الكويكبات

Asthenosphere	اثنوسفير
Atmosphere	الغلاف الجوي
Atmosphere Pressure	الضغط الجوي
Avalanches	انهيار - انهيار
B	
Barringer Crater	فوهة بارينجر
Beaufort wind scale	مقياس بيفورت لسرعة الرياح
Berkeley wildfire	حريق غابات بركلي
Biodiversity	التنوع الحيوي
Black Frost	الصفيع الأسود
Black Hole	ثقب أسود
Blizzard	البليزارد
Boxhol Crater	فوهة بوكسهول
Buffalo Creek wildfire	حريق بوفالوكريك
Boulder winde	رياح البوادر
Bushfires	حرائق شجيرية (أحراج)
C	
Caldera	فوهة بركانية
California wildfires	حرائق كاليفورنيا
Carbon Dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Carbon Monoxide	أول أكسيد الكربون
Caribbean Plate	الصفحة الكاريبية

Catastrophe	كارثة
Chicxulub Crater	فوهة شيكسلوب
Chinook winds	رياح الشنوك
Chlorfluorocarbons (CFCs)	الكلوروفلوروكربونات
Circum-pacific Belt	حزام الهادي
Climatic Change	تغير مناخي
Climatic Forecast	تنبؤ مناخي
Clouds	السحب، الغيوم
Clouds Seeding	بذر (حقن) السحب
Cocos Plate	صفحة كوكوس
Cold Front	جبهة باردة
Cold wave	موجة باردة
Conservation	واقي، حافظ
Collision Boundaries	حدود التصادم
Comets	مذنبات
Constructive Plate	صفحة بنائية
Crater	فوهة بركانية
Crater Impact	صدم فوهي
Creep Slides	انزلاق زحفي
Cumulonimbus	ركام مزني (سحب)
Cyclone	منخفض جوي، إعصار

D	
Dam	سد
Debris Avalanches	انهيارات فتاتية
Debris Flows	تدفقات فتاتية
Deep-Focus Earthquake	بؤرة الزلازل العميقة
Deforestation	إزالة الغابات
Desertification	تصحّر
Desert	صحراء
Destructive Margin	حافة تخريبية
Dew	ندى
Diablo Winds	رياح الديابلو
Doppler radar	رادار دوبلر
Drought	جفاف
Dry	جاف
Dust Devil	شيطان ترابي
Dust Storms	عواصف غبارية
Dykes	عروق
E	
Earthquake	زلازل
Epicentre Focus	مركز (بؤرة) الزلازل العميقة
El Nino	تيار النينو
El Nino- Southern Oscillation (ENSO)	ذبذبة النينو الجنوبية

Electrical Storm	عاصفة كهربائية
Electromagnetic Radiation	إشعاع كهرومغناطيسي
Epicentre	مركز الزلزال السطحي
Eurasian Plate	الصفحة الأوراسية
Eeywall Clouds	سحب جدار الإعصار
Eey of Hurrican	عين الإعصار
F	
Famine	مجاعة
Fires	حرائق
Fire storms	عواصف نارية
Fissure Volcanoes	براكين شقية
Flare	وهج شمسي
Flash Floods	فيضانات وميضية
Flood	فيضان
Flood Defences	حواجز (موانع) الفيضان
Flood plains	سهول فيضية
Fog	ضباب
Fohn wind	رياح الفوهن
Fossil Fuels	وقود متحجر
Freezing Rain	مطر متجمد
Frontal Wave	موجة جبهية
Frost	صقيع

Frost bite	ضربة الصقيع
Funnel Clouds	سحب قمعية
Fumigation	التدخين
G	
Gama Radiation	إشعاع غاما
Geothermal Reservoirs	خزانات حرارية جوفية
Geysers	جيزير
Global Warminy	احترار أرضي
Greenhouse Effect	تأثير البيت الزجاجي
Greenhouse Gases	غازات البيت الزجاجي
H	
Hailston	حبة برد
Hail Storm	عاصفة برد
Hail Streat	ضربة برد
Halley's Coment	مذنب هالي
Hazard	كارثة
Heat Strok	ضربة حر
Heat Wave	موجة حرارة
High Pressure	ضغط مرتفع
Hoarfrost	صقيع هش (أبيض)
Hoba West Meteorite	نيزك هوباوست
Huascarain Montes	تيار

Hurricane	هوريكان (إعصار مداري)
I	
Ice	جليد
Ice-Jam Flood	فيضان سد جليدي
Icelandic Eruptions	اندفاعات آيسلندية
Impact Crater	فوهة صدمية
Indian Plate	الصفحة الهولندية
Interplate Earthquake	زلازل بين صفائح
Inversion	انقلاب
Iranian Plate	الصفحة الإيرانية
J	
Jet Stream	تيار نفاث
Johentown Dame	سد جونستون
K	
Kamasin	رياح الخماسين
Kelvin Wave	موجة كلفن
Kyoto Protocol	بروتوكول (اتفاقية) كيوتو للتغير المناخي
L	
Lahars	لاهار
La Nina	النينيا
Land Slide	انزلاق أرضي
Land Subsidence	هبوط أرضي

Latent Heat of Condensation	الحرارة الكامنة في التكاثف
Lava	لافا
Lava Domes	قبة لافية
Lava Fountains	ينابيع (نوافير) اللافا
Levees	حواجز نهريّة
Lightning	برق، صاعقة
Lithosphere	الغلاف الصخري (ليزوسفير)
Long- Wave Radietion	إشعاع طويل الموجة
M	
Mammatus Clouds	سحب ثديية (ماماتوس)
Mc Arther Froest Fire Danger Index	قرينة ماك آرثر لخطورة حرائق الغابات
Magma	ماغما
Magnetic Fiel	حقل مغناطيسي
Mantel	المعطف (المانتيل)
Meteor Craters	فوهات نيزكية
Meteoritets	نيازك
Meteoroid	نيزك
Methane	ميثان (غاز)
Modifiel Mercalli intensity (MMI) scale	مقياس ميركالي المعدل
Mudslides	انزلاقات طينية
Monssons	الموسميات
Montreal Protocol	بروتوكول مونتريال

N	
Nasca Plate	صفحة نازكا
Nitrates	نترات
Nitric Oxide	أوكسيد النتريل
Nitrogen	نتروجين (آزوت)
Nitrous Oxide	أوكسيد النترون
Nitrous Oxides	أكاسيد الآزوت
Nuees Ardentes	سحب متوهجة
O	
Occluded Front	جبهة ممثلة
Oort Cloud	سحابة آوورت
Ozone Depletion	تآكل الأوزون
P	
Pacific Plate	صفحة هاواي
Papua New Guinea Tsunami	تسونامي بابوا نيو غينيا
Photochemical Song	صبخان كيمضوئي
PH Scale Phytoplankton	مقياس الحموضة
Plate Tectonics	صفائح تكتونية
Polar Air Mass	كتلة هواء قطبية
Pollution	تلوث
Pumice	خفان
Pyroclastis Eruptions	اندفاعات فتات صخري

Pyroclastic Flows	تدفق فتات صخري
R	
Radar	رادار (جهاز)
Radiation Fog	ضباب إشعاعي
Rain Showers	زخات مطرية
Rainstorm	عاصفة مطرية
Rhyolitic Magma	ماغما ريوليتية
Richter Scale	مقياس ريختر
Ring of Fire	حلقة النار
Rivers Floods	فيضانات نهريّة
Rock Fall	سقوط (انهيار) صخري
S	
Saffir-Simpson Scale	مقياس سافير - سيمبسون
Sahel Region	إقليم الساحل
Salintation	تملح
Sand Dunes	كتبان رملية
Sand Storm	عاصفة رملية
Santa Ana Wind	رياح سانتا آنا
Savanna	سافانا (حشائش مدارية)
Seismic Waves	أمواج زلزالية
Seismogenic Landslides	انزلاقات أرضية زلزالية
Shelterbelts	أهزمة مصدات

Siberian High	المرتفع السيبيري
Sirocco	رياح السيروكو
Smog	ضبخان
Snowfences	حواجز (مصدات) ثلجية
Snow Storm	عاصفة ثلجية
Solar Flares	أوهاج شمسية
Solar Wind	رياح شمسية
Storms	عواصف
Storm Waves	أمواج عاصفية
Subduction Plate Bouclary	حد صفيحة الهبوط (انزلاق)
Subduction Zone	منطقة هبوط
Submarine Earthquakes	زلازل تحت بحرية (شبه بحرية)
Sulphur Dioxide	ثاني أكسيد الكبريت
Sun Spots	بقع شمسية
Swell waves	أمواج متضخمة (مرتفعة..)
T	
Tempeature Inversion	انقلاب حراري
Thunderstorms	عواصف رعدية
Tectonic Subsidence	هبوط تكتوني
Tornado	تورنادو
Trade winds	رياح تجارية
Tropical Cyclone	إعصار مداري

Trough	أخدود
Tsunami	تسونامي
Twister	حلزوني
Typhoon	تيفون
U	
Unstable Air Mass	كتلة هوائية غير مستقرة
Ultraviolet Radiation	أشعة فوق بنفسجية
Upwelling Water	مياه صاعدة للأعلى
V	
Vaiont Dame Disaster	كارثة سد فايونت
Volcanic Explosivity Index	قرينة الانفجار البركاني
Volcanoes	البراكين
Vulcanion Eruptions	اندفاعات بركانية
Vulcano	بركان
W	
Wolker Circulation	دورة وولكر
Warm Front	جبهة حارة
Warm Oculusion	امتلاء حار
Warm Section	قطاع حار
Wave	موجة
Water Spouts	شاهقة مائية
Wet Avalanche	انهيال رطب

Windbreaks	مصدات رياح
Wild Fires	حرائق برية
Wind Storm	عاصفة ريجية
WMD	المنظمة العالمية للأرصاد الجوية
X	
Xerophytes	جفافيات (نباتات)
X-Rays	أشعة سينية
Y	
Yellow Fever	حمى صفراء
Year without a Summer	سنة دون صيف
Yukon River	نهر يوكن
Z	
Zonal Wind	رياح نطاقية

فهرس الأشكال

الصفحة	موضوع الشكل	رقم الشكل
١٩	جهاز قياس الزلازل (السيسموغراف)	١.
٢٠	الصفائح البنيوية الأرضية	٢.
٢١	نماذج حركات الصفائح البنيوية	٣.
٢٦	البؤر الزلزالية (السطحية والداخلية)	٤.
٢٧	نماذج الأمواج الزلزالية والحركة المميزة لها	٥.
٣٢	المناطق الزلزالية في العالم	٦.
٣٤	نماذج من آثار الزلازل	٧.
٣٨	تنبيه الحيوانات للزلازل قبل حدوثها	٨.
٤٢	زلازل هانشين الكبير في اليابان في منطقة كوبي	٩.
٤٤	منطقة زلازل كاليفورنيا (صدع سان أندرياس)	١٠.
٤٧	موقع المدن الزلزالية في الجزائر	١١.
٤٧	المنطقة التي نكبت بزلزال أرمينيا عام (١٩٨٨)	١٢.
٥٤	مراحل تشكل بحيرة كرات- ر- في ولاية أوريغ- ون الأمريكية	١٣.
٥٦	القنابل والكتل البركانية وأشكال أخرى	١٤.
٥٧	الغيوم البركانية المتوهجة	١٥.
٦٠	خريطة لجزيرة هاواي ببراكينها الخمسة	١٦.

٦١	ثورة بركان سترومبولي في ساعات الليل	١٧.
٦٢	ثورة بركان إتنا في صقلية	١٨.
٦٣	ثورة بركان جبل سانت هيلانة في (٢٢) تم-وز-ع-ام (١٩٨٠) - (أ). وثورة بركان بيناتوبو بالفلبين في (١٥) حزيران-ع-ام (١٩٩١) - (ب).	١٩.
٦٨	الجيزير	٢٠.
٧٢	توزع البراكين في العالم	٢١.
٧٣	الصهير البركاني يأخذ في طريقه سيارات عند اندفاعه من بركان مونز كيلاو في (٧) تشرين الثاني-ع-ام (١٩٨٧)	٢٢.
٨١	ثورة بركان باريكوتين في المكسيك	٢٣.
٨٢	بركان تال وبحيرته في لوزون بالفلبين	٢٤.
٨٤	بركان نيفادو ديل رويز في بوليفيا	٢٥.
٨٥	ثورة بركان آيسلندا عام (٢٠١٠)	٢٦.
٩٢	تدحرج الكتل الصخرية على المنحدرات	٢٧.
٩٥	تدفق الفتات الصخري	٢٨.
١٠٣	الانهيالات الذرورية والمسحوقية (أ). والانهيالات اللوحية (ب).	٢٩.
١٠٦	خريطة لمواقع أهم الانهيالات الثلجية	٣٠.
١٠٩	الوقاية من الانهيالات الصخرية والانزلاقات	٣١.
١٠٩	أساليب الوقاية من الانهيالات الثلجية	٣٢.

١١٥	الأمواج التسونامية	٣٣.
١١٧	آلية تشكل التسونامي	٣٤.
١١٨	تطور أمواج التسونامي الزلزالية بالابتعاد عن مركز-ز الزلازل باتجاه الساحل	٣٥.
١٢٦	تسونامي جزيرة بابوا نيوغينيا عام (١٩٩٠)	٣٦.
١٢٧	أم وولدها بين أنقاض قرية خربها ودمرها-آ-ت-سونامي (غينيا الجديدة) في (٢١) تموز عام (١٩٩٨).	٣٧.
١٢٩	تسونامي المحيط الهندي عام (٢٠٠٠)	٣٨.
١٣٥	مناطق تردد النينو	٣٩.
١٣٧	الوضع العادي للضغط في المحيط الهادي المتخذ مقياساً للذبذبة الجنوبية	٤٠.
١٣٧	الوضع العادي لمياه المحيط الهادي والمصاحب بصعود المياه الباردة إلى السطح عند ساحل الهادي الشرقي	٤١.
١٣٧	الوضع غير العادي (النينوي) لمياه المحيط الهادي	٤٢.
١٣٩	توزيعات الضغط في المحيط الهادي الاستوائي خ-لال حدوث النينو	٤٣.
١٣٩	دورة وولكر	٤٤.
١٤٠	أمواج كلفن وروسبي وحرارة سطح المحيط	٤٥.
١٤٨	الأحداث الجوية المترافقة مع النينو	٤٦.
١٥٢	انحراف درجة الحرارة عن مع-دلها ف-ي نين-و ع-ام (١٩٩٧)	٤٧.
١٥٣	مقارنة حالة نينو (٣ تشرين الأول ع-ام ١٩٩٧) م-ع حالة نينا (٢٧ شباط عام ١٩٩٩)	٤٨.

١٧٠	مراحل تشكل الحواجز الطبيعية على نهـر المسـيـبـي -كمثال-	٤٩.
١٧٦	فيضانات بنغلاديش عام (١٩٨٨)	٥٠.
١٧٨	من نتائج فيضانات باكـستان عـام (٢٠١٠) الذـوـح السكاني	٥١.
١٨٢	طرق السيطرة على الفيضانات النهرية	٥٢.
١٩١	آلية تشكل الصقيع الإشعاعي	٥٣.
١٩٢	آلية تشكل الصقيع التآفي	٥٤.
١٩٣	موجة صقيع شديدة ضربت الولايات المتحدة في شـهـر كانون الثاني عام (١٩٨٩)	٥٥.
١٩٥	ضربة الصقيع	٥٦.
٢٠٠	مكافحة الصقيع باستخدام المراوح	٥٧.
٢٠١	مكافحة الصقيع باستخدام مواقد حرارية	٥٨.
٢٠١	الوقاية من الصقيع بتجنب المناطق الصقيعية	٥٩.
٢٠٦	آلية تشكل الموجات الحرارية (أ) ومثال: موجـة حـر (٣٠-٢٩) حزيران عام (١٩٩٠)	٦٠.
٢٠٧	الرياح الحارة في حوض البحر المتوسط	٦١.
٢٠٨	رياح سانتا آنا الجافة المسببة لحرائـق الغابـات فـي كاليفورنيا	٦٢.
٢١٣	الدول الأوروبية التي تعرضت لموجـة حـرارة عـام (٢٠٠٣)	٦٣.
٢١٨	مناطق تشكل الأعاصير المدارية	٦٤.

٢٢٠	بنية الإعصار المداري	٦٥.
٢٢٦	مسار إعصار كاترينا الذي ضرب الولايات المتحدة الأمريكية في شهر آب عام (٢٠٠٥)	٦٦.
٢٢٦	مسار إعصار هايان الذي ضرب الفلبين عام (٢٠١٣)	٦٧.
٢٢٩	آلية مكافحة الأعاصير المدارية	٦٨.
٢٣١	سحابة ركام مزني من نوع ماماتوس في الأعلى، وفي الأسفل صورة لإعصار تورنادو ومعدل من سحابة	٦٩.
٢٣١	آلية تشكل التورنادو	٧٠.
٢٣٣	صورة للتدمير الذي ألحقه تورنادو أوكلاهوما في (٣) أيار عام (١٩٩٩)	٧١.
٢٣٧	شاهقتان مائتان (تنينان بحريان) في بحر محافظـة طرطوس (٦) كانون الثاني عام (٢٠١٥)	٧٢.
٢٤٣	ما أحدثته العواصف الريحية في (٦) كانون الثاني عام (٢٠١٥) في المنطقة الساحلية السورية من أفتلاع للأشجار (اللاذقية)، وتحطيم وتخريب للبيوت البلاستيكية (طرطوس)	٧٣.
٢٤٥	عاصفة ترابية في الرياض بالسعودية	٧٤.
٢٤٧	صورة لشيطان ترابي في أستراليا الغربية (٢١) أيلول عام (١٩٧٧)	٧٥.
٢٤٨	سحب العواصف المطرية (Cb - NS)	٧٦.
٢٥١	سحب العواصف الثلجية	٧٧.
٢٥٣	عاصفة جليدية وآثارها	٧٨.

٢٥٥	عاصفة برد ونماذج من حبات البرد	٧٩.
٢٥٩	بنية المنخفض الجوي الجبهي	٨٠.
٢٦٠	عاصفة اليوم المشتعل (منخفض جوي جبهي ضد-رب شمال غربي أوروبا في (٢٥) كانون الثاني-عام (١٩٩٠)	٨١.
٢٦٢	خريطة طقس ليوم (٧) كانون الثاني-عام (٢٠١٥) يظهر فيها المنخفض الجبهي المثلج (زينة) عند س-احل المتوسط الشرقي	٨٢.
٢٦٣	نماذج من نتائج العاصفة زينة	٨٣.
٢٧١	آلية تشكل سحب العواصف الرعدية: (أ)-آلية حرارية. (ب)- آلية تضاريسية. (ج)- آلية جبهية.	٨٤.
٢٧٣	بنية سحب عاصفة رعدية (أ)، وتوزيع الشحنات الكهربائية فيها (ب).	٨٥.
٢٧٤	آلية تشكل الشحنات الأرضية الموجبة بفعل التحريض السحابي	٨٦.
٢٧٧	آلية مراحل تشكل الصاعقة (أ)، والصاعقة الممتدة (ب) للصاعقة (ب)	٨٧.
٢٩٨	توزيع الصحاري في العالم	٨٨.
٣٠١	(أ)- عمليات التصحر في الأرض الجافة وشبه الجافة في قارات العالم المختلفة (ب)- درجات التصحر في الأراضي الجافة في مختلف القارات.	٨٩.

٣٠٤	الانتشار الماضي والحاضر للكثبان الرملية في أفريقية	٩٠.
٣٠٧	الرعي الجائر أداة تصحير	٩١.
٣٠٧	مخطط عام لنتائج الرعي بنوعيه المبكر والجائر	٩٢.
٣١٣	خريطة لمواقع التدهور في الأراضي الزراعية وتصحيرها في محافظة حماة ... وغيرها	٩٣.
٣١٩	معلنة الحيوانات من التصحر	٩٤.
٣٢٣	إقليم الساحل الإفريقي	٩٥.
٣٢٥	من نتائج الجفاف الطويل في إقليم الساحل الإفريقي	٩٦.
٣٣٠	الصاعقة سبباً في اشتعال الحرائق	٩٧.
٣٣٣	رياح سانتا آنا في غربي الولايات المتحدة سبباً في اشتعال الحرائق في كاليفورنيا وكولورادو	٩٨.
٣٣٤	البراكين سبباً في اشتعال الحرائق	٩٩.
٣٣٨	حرائق أندونيسيا عام (١٩٩٧)	١٠٠.
٣٤١	حرائق بوفالو كريك في شهر أيار عام (١٩٩٦)	١٠١.
٣٤٢	الاختلافات الفصلية في أستراليا وتباينات الطقس	١٠٢.
٣٤٤	مكافحة الحرائق باستخدام الطائرات	١٠٣.
٣٤٨	مقياس درجة الحامضية	١٠٤.
٣٥٠	آلية تشكل الأمطار الحامضية	١٠٥.
٣٥١	التوزيع الجغرافي لدرجات الحامضية	١٠٦.
٣٥٤	درجة تحمل أنواع أسماك المياه العذبة لدرجات حموضة مختلفة	١٠٧.
٣٥٥	تعرض النباتات للضرر الناتج عن الأمطار الحامضية	١٠٨.

٣٥٨	عدد الأيام السنوية التي يزيد فيها مستوى تركيز (SO_2) عن العتبة الحدية (١٥٠ ميكروغرام/م ^٣) المحددة م-ن قبل منظمة الصحة العالمية في عدة مدن م-ن العالم تعاني من شدة تلوث هوائها	١٠٩.
٣٦٠	مخطط لآلية التفاعلات المشكلة للضبخان وببروكسي آسيل النترات	١١٠.
٣٦٣	كارثة لندن الضبخانية عام (١٩٥٢)	١١١.
٣٦٤	كارثة دونورا الضبخانية عام (١٩٤٨)	١١٢.
٣٦٩	موقع طبقة الأوزون (الأوزونوسفير) وتغير درجة الحرارة مع الارتفاع في طبقة التروبوسفير والستراتوسفير	١١٣.
٣٧٢	تباين درجة تركيز الأوزون الجوي حسب الفصول في مناطق الأرض المختلفة	١١٤.
٣٧٣	آليات تخریب الأوزون الجوي	١١٥.
٣٧٤	التغيرات في تركيز أول أكسيد الكلور (ClO) والأوزون في الستراتوسفير	١١٦.
٣٧٦	ثقب الأوزون فوق القارة القطبية الجنوبية في ربيع عام (١٩٨٧)	١١٧.
٣٧٩	العلاقة بين تغير نسبة الأوزون ودرجة حرارة قاع الستراتوسفير عند خط عرض (١) جنوباً، وخط طول (٧٣) شرقاً	١١٨.
٣٨٧	الموازنة الإشعاعية لسطح الأرض وجوها	١١٩.

٣٩٠	غازات الاحتباس الحراري ومـصادرها البـشرية (أ)، وآلية الاحتباس الحراري (ب)	١٢٠.
٣٩٢	منحى التزايد في كمية (CO_2) في الجو خـلال الفتـرة (١٨٦٠-٢٠١٠)	١٢١.
٣٩٢	التركيز الجوي المتوقع لثاني أوكسيد الكربون حتى عام (٢٠٠٥)	١٢٢.
٣٩٤	معدل تزايد غاز الميثان في الجو منذ عـام (١٠٠٠) وحتى عام (٢٠٠٥)	١٢٣.
٣٩٦	الطاقة الإشعاعية كغازات الاحتباس الحراري	١٢٤.
٤٠٠	منحى درجة الحرارة الأرضية منذ عام (١٨٦٠) حتى عام (٢٠١٠)	١٢٥.
٤٠١	تذبذبات الحرارة السنوية في العالم منذ عـام (١٨٨٠) حتى عام (٢٠٠٥)	١٢٦.
٤٠٢	التغير في درجة الحرارة الأرضية منذ عـام (١٨٥٠) وإسقاطها حتى عام (٢٠١٠)	١٢٧.
٤٠٤	التسخين خلال الفترة (١٩٩٠-٢٠١٠) وما يكافئه مـن ارتفاع في مستوى سطح البحر	١٢٨.
٤١٧	تركيب النواة المذنبية	١٢٩.
٤١٨	بنية المذنب	١٣٠.
٤٢٤	مدار مذنب هالي	١٣١.
٤٢٥	مذنب هالي في دورة عام (١٩١٠)	١٣٢.
٤٢٦	مذنب هالي في دروة عام (١٩٨٦)	١٣٣.

٤٢٧	مذنب هالي - يوب	١٣٤.
٤٣٥	منطقة انفجار مذنب تنجوسكا	١٣٥.
٤٤١	نماذج من بقايا نيزكية: قطعة نيزكية (ني- زك برويد- ل) عثر عليها في إنكلترا بتاريخ (٢٤) كانون الأول ع-ام (١٩٩٥)، بوزن (٤٦ كغ)	١٣٦.
٤٤٣	أنواع النيازك	١٣٧.
٤٤٤	حزام الكويكبات بين مداري المريخ والمشتري: مصدر النيازك	١٣٨.
٤٤٥	نيزك هوباوست	١٣٩.
٤٤٧	آلية تشكل الفوهات النيزكية الكبرى	١٤٠.
٤٥٠	اصطدام قطعة نيزكية بسيارة	١٤١.
٤٥٢	فوهة بارينجر النيزكية (فوهة أريزونا بالولايات المتحدة الأمريكية)	١٤٢.
٤٥٣	فوهة الذئب الإغريقي في أستراليا	١٤٣.
٤٦٢	البقع الشمسية	١٤٤.
٤٦٤	الشواظ الشمسي	١٤٥.
٤٦٥	الرياح الشمسية	١٤٦.
٤٦٧	عاصفة شمسية	١٤٧.
٤٧٠	أنواع الأشعة الشمسية	١٤٨.
٤٧٢	الشفق القطبي	١٤٩.
٤٧٥	الآثار العامة لعاصفة شمسية	١٥٠.

فهرس الجداول

الصفحة	موضوع الجدول	رقم الجدول
٢٩	أقدار الزلازل وتأثيراتها وفقاً لمقياس ريختر	١-
٣٠	درجات مقياس الشدة الزلزالية وفقاً لمقياس ميرك-اللي المعدل	٢-
٤٨	بعض الزلازل المدمرة التي ضربت مناطق مختلفة من العالم منذ منتصف القرن العشرين	٣-
٥٨	أنواع الاندفاعات البركانية حسب شدتها	٤-
٧٥	أهم البراكين التي تسببت في خسائر في الأرواح فـي العالم	٥-
١٠٠	أهم كوارث الانزلاقات الأرضية في القرن العشرين	٦-
١٠٥	أهم أحداث الانهيارات الثلجية في العالم وضحاياها فـي القرن العشرين	٧-
١٢٠	مقياس شدة التسونامي	٨-
١٣٠	بعض أحداث التسونامي في القرن العشرين	٩-
١٥١	الخسائر المادية التي عرّيت لنيو (١٩٨٢-١٩٨٣) في مناطق مختلفة من العالم	١٠-
١٦٦	أمثلة عن كميات الأمطار القصوى التي كانت سبباً فيضانات وميضية	١١-
١٦٦	أهم الفيضانات الإقليمية في العالم منذ عام (١٩٠٠)	١٢-

٢١٩	مقياس (سافير - سمبسون) للأعاصير المدارية	١٣-
٢٢٢	الخسائر في الأرواح من أهم الأعاصير المدارية خلال الفترة (١٩٧٥-٢٠٠١)	١٤-
٢٢٣	حجم الخسائر في الممتلكات التي سببتها بع-ض الأعاصير (١٩٧٥-٢٠٠١)	١٥-
٢٣٣	أعنف أعاصير التورنادو منذ عام (١٩٧٥) وضحاياها البشرية	١٦-
٢٥٧	أنماط الطقس المرافقة لمرور منخفض ج-وي جبه-ي (عاصفة جبهية)	١٧-
٣٠٠	درجات التصحر في الأراضي الجافة وشبه الجافة ف-ي مختلف القارات (% من مساحة القارة)	١٨-
٣٣٧	درجة خطورة الحريق، ومدى إمكانية السيطرة عليه	١٩-
٣٤٣	أهم الحرائق البرية في العالم منذ عام (١٩٧٥)	٢٠-
٣٦٢	أهم الحوادث الضبخانية وما رافقها من وفيات منذ بداية القرن العشرين	٢١-
٤١٠	مؤتمرات التغير المناخي وأماكن انعقادها منذ م-ؤتمر الأطراف الأول (١٩٩٥)	٢٢-
٤٢٢	خصائص بعض المذنبات المعروفة	٢٣-
٤٢٣	تواريخ الرصد الأولى والتالية لمذنب هالي	٢٤-
٤٤٦	أهم وأشهر النيازك التي عثر على بقاياها وآثارها فوق سطح الأرض	٢٥-
٤٤٨	مجموعة من الاصطدامات النيزكية، ويمكن أن تحدث-ه آثار تبعاً لأصحابها	٢٦-

المراجع

١ - المراجع باللغة العربية:

- شاهر جمال آغا «الزلازل: حقيقتها وآثارها». عالم المعرفة، العدد ٢٠٠، الكويت، ١٩٩٥.
- عبد القادر عبد العزيز علي «جغرافية الكوارث الطبيعية» القاهرة، ١٩٩٤.
- عدد من المؤلفين «كوارث الطبيعة». ترجمة: شاهر حسن عبيد، وزارة الثقافة، دمشق، ١٩٨٨.
- علي حسن موسى، مخلص الرئيس «الم-نبات: م-ذب ه-الي». دار دمشق، ١٩٨٦.
- علي حسن موسى «العواصف والأعاصير»، دار الفكر، دمشق، ١٩٨٩.
- علي حسن موسى «الأوزون الجوي». دار الفكر، دمشق، ١٩٩٠.
- علي حسن موسى «النيون». دار الفكر، دمشق، ٢٠٠٠.
- علي حسن موسى «الزلازل والبراكين». دار الفكر، دمشق، ١٩٩٠.
- علي حسن موسى «التصحّر». دار الأنوار، دمشق، ١٩٩٣.
- علي حسن موسى «التلوث البيئي». دار الفكر، دمشق، ٢٠٠٠.
- علي حسن موسى «المناخ المتغير». دمشق، ٢٠١١.
- علي حسن موسى «الاحتباس الحراري». دار دمشق، دمشق، ٢٠٠٧.
- نعمان شحادة «علم المناخ». دار صفاء، عمان، ٢٠٠٩.

٢- المراجع باللغة الأجنبية:

- Ahrens, C.D; «Meteorology Today». west publishing Company, New York, 1994.
- Bolt, B.A; «Eaurthquakes» W.H.Freeman and Company, San Francisco, 1978.
- Bryant, E; «Tsunami: The Underrated Hazard». Combridge University Press, 2001.
- Champman, C.R & Morrison, D; «Cosmic Catastrophes». Plenum, New York, 1989.
- Dregne, H.E; «Desertification of Arid Lands». Harwood, 1993.
- Hodge, P.W; «Concepts of Contemporary Astronomy», Mc Graw Hill Book Company, New York, 1989.
- Kovach, R & Mc Guire, B; «Guide to Global Hazards». Philip's, London, 2003.
- Maslin, M; «Global warming». Colin Publication, Scotland, 2003.
- Moor, P; «Atlas of the Universe» Philip's London, 2007.
- Obenwald, S «The Astronomy Café». W.H. Freeman... 1998.
- Tarbuck, E.J & Lutgens, F.K; «Earth Science». Ohio, 1976.



- اللّجنة العلمية:

أ.د. شاهر جمال آغا

أ.د. أمين طريوش

أ.د. ناظم عيسى

- المدوّق اللغوي:

د. محمد عبد ا قاسم

حقوق الطبع والترجمة والنشر

محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية

