



علم البيئة الحيوانية





منشورات جامعة دمشق
كلية العلوم

علم البيئة الحيوانية

الدكتور

محمد ماهر قباقيبي

أستاذ في قسم علم الحياة الحيوانية

الدكتور

محمد النعمة

أستاذ في قسم علم الحياة الحيوانية

1442 – 1443 هـ

2020 – 2021 م

جامعة دمشق



الفهرس

الصفحة	الموضوع
9	مقدمة
15	الفصل الأول: تصنيف العوامل البيئية
15	أ- تصنيف عادي
15	1. عوامل أحيائية وعوامل غير أحيائية
17	2. عوامل متعلقة بالغزارة وعوامل غير متعلقة بها
17	ب- تصنيف مونشاسكي
18	1- العوامل الدورية الأولية
19	2- العوامل الدورية الثانوية
20	3- العوامل غير الدورية
25	الفصل الثاني: الحرارة والحياة
25	1- حدود الحياة النشيطة
28	2- التساهل وعدم التساهل الحراري والحرارة المثلى
30	3- ردود الفعل على الشروط غير الملائمة
37	4- التأقلم
38	5- الحرارة المميتة والمصفر البيئي
39	6- المناخ العام والمناخ الدقيق
40	7- الحرارة في التربة
43	8- الحرارة في الوسط المائي
51	الفصل الثالث: الماء والحياة على اليابسة
51	1- دورة الماء في الطبيعة
53	2- الرطوبة الجوية
55	3- تأثير الرطوبة في بيئة الكائنات الحية
71	4- الماء في التربة

77	الفصل الرابع: الضوء كعامل بيئي
77	1- الأهمية البيئية للضوء
78	2- أثر الضوء في سلوك الكائنات الحية
83	3- التأثيرات الضارة للأشعة الضوئية
85	4- الضوء في الماء
88	5- الضوء في التربة
93	الفصل الخامس: الملوحة كعامل بيئي
93	1- الدورة البيوجيوكيميائية للصوديوم والبوتاسيوم
97	2- الكلور في الطبيعة
98	3- الملوحة
109	الفصل السادس: الكالسيوم والمغنزيوم وقساوة الماء
109	1- الدورة البيوجيوكيميائية للكالسيوم
112	2- الدورة البيوجيوكيميائية للمغنزيوم
114	3- قساوة الماء
119	الفصل السابع: الأكسجين كعامل بيئي
119	1- الدور البيئي للأكسجين
120	2- انحلالية الأكسجين في الماء
122	3- الحياة الهوائية الحياة غير الهوائية
123	4- دور التركيب الضوئي في أكسجة الوسط
133	5- الأكسجين في التربة
133	6- التكيفات التنفسية ودور الصبغات التنفسية
145	الفصل الثامن: أساسيات النظام البيئي
145	1- مكونات النظام البيئي
148	2- أنواع النظم البيئية
149	3- اتزان النظام البيئي
152	4- تطور النظام البيئي (التعاقب)
153	5- التوازن الطبيعي

157	الفصل التاسع: تدفق الطاقة في النظام البيئي
157	1- مصدر الطاقة في النظام البيئي الطبيعي
158	2- السلسلة الغذائية والشبكة الغذائية
160	3- العوامل التي يعتمد عليها عدد المستويات الغذائية
164	4- الأهرامات البيئية
167	5- الإنتاجية البيئية
177	6- الكفاءات البيئية
177	7- ميزانية الطاقة في النظام البيئي
181	الفصل العاشر: الإيقاعات البيولوجية في البيئة
181	1- مقدمة
182	2- إيقاع تخزين الطاقة
183	3- الإيقاعات اليومية
186	4- إيقاعات المد والجزر
188	5- الإيقاعات القمرية
189	6- الإيقاعات السنوية
191	7- الإيقاعات الحوية لدى الإنسان
197	الفصل الحادي عشر: حماية الطبيعة
197	1- تأثير الإنسان في المحيط الحيوي
202	2- الحفاظ على البيئة
211	المراجع
213	المصطلحات



مقدمة

علم البيئة (Ecologie) هو النظام البيولوجي الذي يدرس العلاقة بين الكائنات الحية والوسط المحيط، وبهم الوسط المحيط اختصاصي البيئة بشكل مباشر، أما الوسط الداخلي، أي مجموع الشروط الموجودة في الأعضاء والأنسجة والخلايا، فتمثل بالأحرى مجال علم وظائف الأعضاء أو الفيزيولوجيا. إلا أنها يمكن أن تهم اختصاصي البيئة إذا كانت هي نفسها تشكل الوسط المحيط لكائنات أخرى (طفيليات، مؤكلات، مشاركات مختلفة). كما يهتم الوسط الداخلي اختصاصي البيئة أيضاً باعتباره وسيلة لدراسة تكيف الكائنات مع شروط الوسط والذي يدخل في نطاق علم الفيزيولوجيا البيئية Ecophysiology.

ويشمل الوسط المحيط المحدد على هذا النحو جميع الظروف التي تشكل شروط حياة الكائن، فهو يشمل إذاً ظواهر فيزيائية وكيميائية متعلقة بالتربة والماء والهواء، والتي يخضع لها الكائن الحي وتدعى العوامل غير الأحيائية، كما يشمل ظواهر تعود إلى وجود الكائنات من النوع نفسه أو من أنواع مختلفة في مكان ما وما ينتج عنها من علاقات والتي تندرج تحت مسمى العوامل الأحيائية، كالتنافس والتطفل، والتزاحم الانجابي، والإمكانات الديموغرافية... الخ. ويمكن أن نضيف إليها كمجموعة مستقلة العوامل النفسية والتي لا تتعلق إلا بشكل غير مباشر بالعوامل الأخرى، وتنشأ عن النشاط الاجتماعي والانسجامي الذي تطلقه الحيوانات عند تواصلها. وترجم هذه العوامل في السلوك الذي تمثل دراسته حالياً أحد المجالات الخصبة في التعاون بين الأنظمة (بيئة العادات Ecologie Ethologique).

ولكي تشكل هذه العوامل حقيقة جزءاً من الوسط المحيط، فإن عليها أن تؤثر في الكائن الحي وتتأثر به بدورها بشكل ضروري ونوعي ودائم، ومن الطبيعي

أن يخضع تأثيرها لتغيرات دورية من الشدة، والتي يستجيب لها الكائن بإيقاعات (Rythmes) فيزيولوجية ذات دورية مختلفة (يومية، فصلية، ... الخ).

ويشكل الجزء الأول من هذا الكتاب مدخلاً إلى ميدان علم البيئة الفردي (Autoécologie). ويعالج هذا العلم بشكل أساسي العلاقات الموجودة بين الكائنات الحية والوسط، دون أن يهتم بشكل مباشر بالأسلوب والطريقة التي تتجمع فيها الحيوانات والنباتات على شكل مجموعة من أفراد النوع نفسه أو أنواع مختلفة، لتشكل جماعات Populations أو مجتمعات Peuplements أو تشاركات Associations أو وحدات إحيائية Biocénoses. وتشكل هذه المسائل موضوعاً محدداً هو علم البيئة الجماعي Synécologie.

وفي الحقيقة، فإن هذا التمييز بين علم بيئة فردي وعلم بيئة جماعي لا يعدو كونه تمييزاً مصطنعاً، حيث يستند إلى حاجات تعليمية فصص، لأنه من غير الممكن النظر في العلاقات التي تنشأ بين كائن حي وحيد أو نوع وحيد والوسط الذي تعيش فيه لا نظرياً ولا عملياً. ولا يمكن اعتبار هذه العلاقات مستقلة عن سياق العلاقات المتبادلة المتعددة، والتي تؤثر فيها الجماعات والوسط غير الاحيائي ببعضها البعض وتتحدد بالتبادل.

وتعد الإيكولوجيا الفردية طريقة لعرض مختلف أوجه ومشاكل العلوم البيئية بأسلوب التحليل، سواء بالنسبة للعوامل البيئية المختلفة أو الأوساط الطبيعية التي تتدخل فيها هذه العوامل، وتستند الإيكولوجيا الفردية إلى أرضية تستدعي تقانات وطرائق متعلقة بعدد من العلوم التجريبية الأخرى: كعلم المناخ، والفيزيولوجيا والكيمياء الحيوية، وعلم السلوك والوراثة والتطور.

وبالمقابل، يمكن أن يقدم التعميم البيئي للنتائج والتفسيرات التي يقترحها هذا العلم قاعدة تجريبية، ووسيلة للمراقبة ونموذجاً تفسيراً، وعندما تخرج هذه العلوم من المجال التجريبي المخبري، فإنها تستعمل في فهم الظواهر البيولوجية كما

تجري في الطبيعة. وعندما ندرس ردود الفعل البيئية والسلوكية لكائن ما في الطبيعة، فسوف نجد أنفسنا في وضع مشابه لوضع الفيزيولوجي أو اختصاصي الخلية Cytologiste الذي يدرس وظائف هذا العضو أو ذلك، وهذه المركبات الخلوية أو تلك. وتعد دراسة هذه المكونات ميزة وضرورة بأن معاً، ولكن يجب ألا ننسئنا أبداً أن الكائن الحي ليس مجموعاً بسيطاً من المركبات، بل أن تضافر وتآثر هذه المركبات هو ما يميز الكائن الحي، لذا يجب دراسة الكائن الحي اعتماداً على مكوناته المختلفة.

وينطبق ذلك الاعتبار على البيئة أيضاً، فالنظام البيئي أو مجموعة الأنظمة البيئية المكونة للمحيط الحيوي Biosphère هو الذي يجب أن يؤخذ بالحسبان ويكون حاضراً في الذهن بشكل دائم. وسيؤدي بنا ذلك، وانطلاقاً من وجهة نظر بيئة فردية Autocologie إلى عمل بيئة جماعية Synécologie حقيقية للوسط.

أما الجزء الثاني من هذا الكتاب فيتناول دراسة الأنظمة البيئية وأنواعها. ومصادر الطاقة في هذه الأنظمة وانتقالها من مستوى غذائي إلى مستوى آخر. وأخيراً تم إضافة فصلين في هذه الطبعة، يعالج الأول الإيقاعات البيولوجية في البيئة، ويعالج الثاني وسائل حماية الطبيعة بمكوناتها المختلفة.

وبالإضافة إلى ذلك، سوف يتم عرض بعض المسائل البيولوجية العامة من وجهة نظر بيئية، مما يسمح للطلاب بتوسيع مداركهم، عن طريق استكمال المفاهيم البيولوجية التي حصلوا عليها خلال دراستهم. كما يمكن أن يجد الطالب في هذا المقرر مقدمة تهيئه على الأقل لمجابهة المشاكل الأساسية في الإيكولوجيا التطبيقية. وهذه الأخيرة مرشحة لأن تلعب دوراً مهماً وأساسياً في العالم الحديث، من أجل حماية وإدارة الطبيعة، ومن أجل الاستثمار العقلاني للمصادر البيولوجية، وإقامة توازن بيئي مضبوط بإحكام.

كما أنه لا يمكن أن نتجاهل الصعوبات الكبيرة التي يمثلها عرض هذه المادة الغنية والمعقدة من علم البيئة والذي يعد حالياً في أوج انتشاره. وتأتي موضوعات هذا الكتاب منسجمة مع مفردات مقرر علم البيئة الحيوانية لطلاب السنة الثالثة من شعبة العلوم الحيوية. وسوف نقبل بكل طيبة خاطر كل المقترحات والملاحظات التي يبدونها زملاؤنا الأساتذة وأبنائنا الطلاب والذين يتوجه إليهم أساساً هذا الكتاب. وأملنا كبير أن يسهم هذا الكتاب في تحفيز طلابنا الأعزاء على اتباع المنهج العلمي الصحيح في تفسير الظواهر البيولوجية والبيئية التي تصادفهم أثناء حياتهم المهنية والعامة.

وأخيراً نتوجه بالشكر الجزيل لكل من أسهم في إنجاز هذا الكتاب، ونخص بال شكر السادة الدكاترة أعضاء لجنة التدقيق العلمي والسيد الدكتور المدقق اللغوي.

المؤلفان



الفصل الأول

تصنيف العوامل البيئية



الفصل الأول

تصنيف العوامل البيئية

أ- تصنيف عادي: يتم فيه تصنيف العوامل البيئية إلى:

1- عوامل أحيائية وعوامل غير أحيائية

يعد التمييز بين عوامل غير أحيائية وعوامل أحيائية من الأمور العادية في علم البيئة، فالأولى تشتمل على عوامل المناخ وخواص التربة والتركيب الكيميائي للماء، أما الثانية فنشتمل على الكائنات الحية والعلاقات فيما بينها كعوامل الافتراس والتنافس والتطفل وعوامل أخرى. ولكن هذا التصنيف يُعد في جزء منه اصطناعياً فحسب وليس له من فائدة سوى التبسيط. ويصعب في بعض الأحيان وضع هذا العامل في هذه المجموعة أو تلك. وهكذا فالحرارة التي تُعد عاملاً غير أحيائي غالباً ما تتبدل بوجود الكائنات الحية. فعند زراعة يرقات خنفساء الدقيق *Tenebrio molitor* (غمديات أجنحة) تبين أن لديها ميلاً للتجمع على هيئة كتل ذات درجة حرارة مرتفعة، وذلك عندما تكون درجة حرارة الوسط منخفضة جداً، بحيث تصبح قريبة من درجة الحرارة الأكثر ملاءمة للتطور. فعندما تكون درجة حرارة الهواء 17° فإن درجة حرارة كتل اليرقات تصل إلى 27°. وقد تم توضيح تأثير الكائنات الحية في درجة حرارة الوسط الذي تعيش فيه وذلك عند دراسة النحل. فعندما تنخفض درجة حرارة الوسط إلى 13° فإن النحل يضطرب ويعمل على رفع درجة حرارة الخلية إلى 25°-30°. وهكذا فالمناخ الدقيق لخلايا النحل يكون أكثر ثباتاً من المناخ الخارجي.

ولقد تبين أنه في وسط حرارته 24° تكون حرارة الأوراق المعرضة لأشعة الشمس أعلى بـ 9 درجات، وحرارة الأوراق التي تكون في الظل أقل بـ 4 درجات من حرارة الوسط. كما أن الرطوبة النسبية للهواء تختلف أيضاً في الشروط نفسها: فعلى بعد 0.5 مم من الورقة تصل الرطوبة النسبية إلى 93% بينما لا تتجاوز 52% على بعد 16 مم من الورقة. وهكذا إذا فاليرقات الحافرة التي تعيش في ثخانة بارنشم الأوراق تخضع لمناخ دقيق خاص مشروط في جزء كبير منه بالعوامل الأحيائية للوسط.

ولقد أجريت دراسة دقيقة لمعرفة تبدلات المناخ الدقيق التي تسببها جماعات من سوس الدقيق *Tribolium castanum* و *T. confusum*. فقد ربيت الحشرات في علب بتري تشتمل على الدقيق، وكانت هذه الأخيرة موضوعة في حمام ماري Bain-marie في الظل وفي درجة حرارة 29 ± 0.5 ورطوبة نسبية $70 \pm 5\%$ وكانت كل علبة تحتوي على 8 غ من الدقيق و 100 إلى 300 حشرة (حيث تكون الكتلة الحية قريبة من 0.7 غ بالنسبة لـ 300 عينة). وأظهرت الدراسة أن الحرارة ترتفع في هذه الشروط بمقدار 0.4° وذلك بعد 24 ساعة، بينما ترتفع الرطوبة النسبية بمقدار 11% بعد 15 يوماً. وكانت زيادة درجة الحرارة والرطوبة النسبية تابعة لغزارة الجماعة، وهذا ما يوضح أن المناخ الدقيق يكون مشروطاً في الوقت نفسه بالعوامل غير الأحيائية للوسط وبالعوامل الأحيائية والتي هي في مثالنا جماعة الحشرات. وكذلك فإن وجود الحشرات آكلة الحبوب في صوامع الحبوب يمكنه أن يرفع درجة الحرارة 25° فوق حرارة الوسط المحيط.

كما أن الزوال التام للحياة في وسط محدد يسبب تبدلات مناخية مهمة. ففي ولاية تينيسي Tennessee (الولايات المتحدة) كان هناك غابة كثيفة في منطقة كوبرهيل Copperhill ولكن هذه الغابة زالت فيما بعد بسبب الدخان السام المتصاعد من المعامل القريبة التي كانت تعالج خامات النحاس وعلبت محلها

الصحراء. ومنذ ذلك الحين أصبحت حرارة المناطق المعرّاة أعلى وأمطارها أقل مما هي عليه في الغابات المجاورة.

2- عوامل متعلقة بالغزارة وعوامل غير متعلقة بها:

بعد مراجعة وتدقيق بعض الأعمال السابقة جرى تبني تصنيف العوامل البيئية إلى عوامل غير متعلقة بالغزارة وعوامل متعلقة بها. حيث تؤثر الأولى في الجماعات مسببة قتل نسبة ثابتة من الأفراد مهما كان العدد، أما الثانية فتقتل نسبة من الأفراد تتعلق بالغزارة. ولقد تم تقسيم مجموعة العوامل المتعلقة بالغزارة إلى عوامل متعلقة مباشرة بالغزارة تسبب زيادة الوفيات عندما تزداد الغزارة، وإلى عوامل متعلقة عكسياً بالغزارة تعمل على إنقاص الوفيات عندما تزداد غزارة الجماعة. ومن وجهة النظر هذه تكون العوامل التي لا تتعلق بالغزارة هي العوامل المناخية: فموجة البرد سوف تقتل من الجماعة نسبة من الأفراد لا تتعلق بغزارتها. أما العوامل التي تتعلق بالغزارة فهي بشكل خاص العوامل الأحيائية كالتنافس والافتراس والتطفل والتي تمارس تأثيرات تابعة لغزارة الجماعة. ولقد انتقد هذا التمييز بين عوامل غير متعلقة بالغزارة وعوامل متعلقة بها من قبل عدد من الأيكولوجيين، ومازال الجدل قائماً.

ب- تصنيف مونشاسكي Mondchasky:

سوف نلخص فيما يلي أفكار مونشاسكي التي طرحها في الأعوام 1958، 1961، 1962 وذلك بسبب أصالتها. وحسب هذا الباحث الروسي فإن التصنيف العقلاني للعوامل البيئية يجب أن يأخذ بالحسبان وقبل كل شيء خصوصيات ردود أفعال الكائنات الحية الخاضعة لهذه العوامل، وكما يجب أن يأخذ بالحسبان، كلما كان ذلك ممكناً، درجة اكتمال هذه التكيفات التي تكون أكثر كمالاً كلما كانت أكثر قدماً. وهكذا نصل إلى مفاهيم برينان Prenant وحسبها "فإن الفكرة الأساسية للبيئة هي عبارة عن التكيف أي العلاقة بين الكائن الحي

ووسطه". ولقد قسّم مونشاسكي هذه العوامل إلى عوامل دورية أولية، وعوامل دورية ثانوية، وعوامل غير دورية.

1- العوامل الدورية الأولية:

بالنسبة لمونشاسكي يتم التكيف بالدرجة الأولى إزاء عوامل الوسط ذات التغيرات الدورية المنتظمة: يومية، قمرية، فصلية أو سنوية، والتي هي نتيجة مباشرة لحدوران الأرض حول محورها ودورانها حول الشمس، أو أيضاً تعاقب الأطوار القمرية. وتدعى هذه العوامل بالعوامل الدورية الأولية. ويجب أن نشير إلى أن الدورات المنتظمة التي تسبب تغير هذه العوامل موجودة قبل ظهور الحياة على الأرض، وهذا ما يفسر قدم تكيفات الكائنات الحية إزاء هذه العوامل، وكون هذه التكيفات راسخة في الذخيرة الوراثية. وتعد الحرارة والإضاءة وتواتر المد والجزر عوامل دورية أولية. وتتوضح ردود الفعل على التغيرات الفصلية للإضاءة برود فعل الدورات الضوئية photoperiodiques.

وتحدد العوامل الدورية الأولية وجود أقاليم مناخية كبيرة على سطح اليابسة وتتدخل في تحديد رقعة aire توزع الأنواع. وحسب مونشاسكي فإن العوامل الدورية الأولية لا تتدخل في تنظيم عدد الأفراد إلا في تخوم مواطن التوزع، أما في داخل الموطن (الرقعة) فلا يكون تأثيرها أساسياً. بشكل عام تكون ردود فعل تكيف المتعضيات إزاء العوامل الدورية الأولية متماثلة عند كل المجموعات الحيوانية ولا تبدي أية نوعية. وهكذا تكون القوانين الرياضية المتعلقة بتأثير الحرارة في الظواهر الحيوية نفسها في مجموعات مختلفة كالحشرات والفقاريات.

وبناء على ذلك تلعب العوامل الدورية الأولية دوراً أساسياً باستثناء بعض الأوساط الخاصة كالأعماق السحيقة Abyssal في المحيطات أو وسط المغارات حيث تكون تغيراتها معدومة أو بسيطة جداً. وهكذا يجب أخذ هذه العوامل بالحسبان في كل دراسة بيئية تجريبية. والنتائج التي نحصل عليها من حيوانات

موضوعة في شروط وسط ثابتة، فيما يخص الحرارة والإضاءة، تكون مختلفة عن تلك التي نحصل عليها من حيوانات خاضعة لتغيرات مشابهة لتغيرات الأوساط الطبيعية. ولقد تم البرهان على أن خصوبة ومدة حياة إناث غشائي الأجنحة *Diadromus Varicolor* تبدي تغيرات ذات دلالة بين حشرات ربيت في وسط ثابت وحشرات ربيت في وسط يعاني تغيرات دورية من الحرارة والرطوبة. كما تم التأكيد على وجود تغيرات فصلية من الانجذاب الضوئي لدى حشرات القتع *(Blastophagus piniperda)* Scolytide.

كما يفسر الأثر الضار لدرجات الحرارة الثابتة التكيف العميق للمتعضيات إزاء العوامل الدورية الأولية الذي وضحه شيلفورد Shelford (1929) عن طريق إثبات أهمية تغير درجة الحرارة على نمو ومقاومة الحيوانات "يمكن اعتبار الأثر المنشط لتغيرات الحرارة، على الأقل في المناطق المعتدلة، مبدأً بيئياً أساسياً. ومع ذلك يجب إهمال هذا المبدأ عندما تتم الدراسة في المختبر في درجة حرارة ثابتة".

2- العوامل الدورية الثانوية:

يُعد تغير العوامل الدورية الثانوية نتيجة لتغير العوامل الدورية الأولية. فكلما كانت العلاقة مع العامل الدوري الأولي وثيقة كانت دورية العامل الثانوي متجلية بوضوح وانتظام.

تعد رطوبة الجو عاملاً دورياً ثانوياً متعلقاً بشكل دقيق بالحرارة. ففي المناطق الاستوائية أو ذات المناخ الاستوائي ترضخ الأمطار لدورية يومية أو فصلية. كما يُعد التغذية بالنباتات عاملاً دورياً ثانوياً، حيث تكون هذه الدورية متعلقة بدورة حياة النباتات. وبالنسبة للحيوانات المفترسة أو الطفيلية فإن التبدلات البيولوجية والفيزيولوجية الفصلية للفريسة أو المضيف هي العوامل التي يتم فيها التكيف.

وفي وسط الماء فإن كمية الأكسجين والأملاح المنحلة والعكر والحركة العمودية والأفقية واختلافات المستوى وسرعة التيار، تعد كلها غالباً عوامل دورية

ثانوية، ولكنها ذات دورية غير منتظمة لأن تعلقها بالعوامل الدورية الأولية ضعيفاً.

أخيراً فإن التأثيرات الحيوية ضمن النوع، كتكاثر الأفراد مثلاً، هي أيضاً عوامل دورية ثانوية لأن كل التأثيرات المتبادلة بين الأفراد مرتبطة بالدورات السنوية.

وتتميز العوامل الدورية الثانوية بحدائتها إذا ما قورنت بالعوامل الدورية الأولية، ولقد بدأ تكيف الكائنات الحية معها منذ وقت قصير نسبياً، وهذه التكيفات أقل تحديداً وأكثر تنوعاً لدى المجموعات الحيوانية المختلفة. وهكذا فالرطوبة النسبية للهواء أصبحت عاملاً بيئياً بالنسبة للكائنات الحية عندما أصبحت هذه الكائنات متكيفة مع الحياة على اليابسة، والتكيفات المقابلة أقل كمالاً من التكيفات إزاء الحرارة التي تعد عاملاً دورياً أولياً. وحدود التسهل إزاء تغيرات الرطوبة النسبية غالباً ما تكون أقل اتساعاً من حدود التسهل إزاء تغيرات الحرارة، وتكون ردود الفعل التكيفية أكثر تنوعاً. والتكيفات الغذائية بدورها متنوعة وغالباً دقيقة.

وبصورة عامة تؤثر العوامل الدورية الثانوية في غزارة الأنواع داخل مواطن توزعها، ولكنها مع ذلك قليلة التأثير في اتساع هذه المواطن.

3- العوامل غير الدورية:

وهي عبارة عن عوامل لا توجد عادة في مسكن الكائن الحي إنما تظهر فيه بشكل مفاجئ. كما لا يوجد لدى الكائنات الحية الوقت الكافي للتكيف معها بسبب خاصيتها الفجائية أو العرضية. ويندرج في هذه المجموعة عدد من العوامل المناخية كالرياح والعواصف والحرائق، كما يوضع فيها أيضاً كل أشكال النشاط الإنساني وأثر الأنواع المفترسة والطفيلية والممرضة أي بمعنى آخر كل العوامل الاحيائية ما عدا التفاعلات بين أفراد النوع نفسه. وينتسب تأثير المضيف في الطفيلي إلى العوامل الدورية الثانوية لأن الوسط المكون من المضيف يمثل وسط

الحياة الطبيعي للطفيلي. وبالمقابل فالطفيلي أو العامل الممرض ليس ضرورياً بالنسبة للمضيف: فهو إذاً عامل غير دوري لايسبب عادة أي تكيف ما عدا بعض الحالات كالمناعة المكتسبة مثلاً والنادرة نسبياً خاصة إذا أخذنا بالحسبان العدد الكبير للعوامل الطفيلية والممرضة.

وهكذا فإن الغياب الشائع لردود الفعل التكيفية إزاء العوامل غير الدورية يقدم الأساس النظري لطرق مقاومة الحيوانات الضارة بواسطة المبيدات أو بواسطة الدفاع الحيوي.

وبعد الاستعمال المتكرر لمبيدات الحشرات على أجيال عديدة من الحشرات هو السبب الذي سمح بظهور عروق مقاومة، لأن استعمال مبيدات الحشرات أصبح حينئذ عاملاً دورياً ثانوياً.

وتتدخل العوامل غير الدورية خاصة في تنظيم غزارة الأفراد في موطن ما، وبصورة عامة فإنها لا تبدل لا موطن التوزع ولا حلقة تطور الأنواع.

أنماط المساكن البيئية

إن تصنيف العوامل البيئية المقترح من قبل مونشاسكي يقترب من تصنيف أنماط المساكن الذي اقترحه ديفيز DAVIS (1960) والذي يضم ما يأتي:

1- المساكن الرتيبة: التي تكون العوامل البيئية فيها ثابتة نسبياً كأعماق المحيطات Abyssal ووسط المغارات، والوسط الذي تعيش فيه طفيليات الحيوانات متجانسة الحرارة.

2- المساكن الدورية: وهي المساكن التي تتغير فيها شروط الحياة مع اليوم أو مع المد والجزر أو مع الفصل وتضم هذه المساكن منطقة المد والجزر وأغلب المناطق المعتدلة.

3- المساكن التائهة: وهي تميز المناطق الخاضعة لتغيرات متفرقة غير متوقعة كالمناطق البركانية والمناطق المحروقة أو الخاضعة للأعاصير.

4- المساكن المتعاقبة: والتي يتم فيها تغيير الوسط والكائنات حسب تعاقبات محددة غير دورية، مثل ترسبات الدلتا.

وتقابل العوامل الدورية لمونشاسكي المساكن الدورية لديفيز. بينما تقابل العوامل غير الدورية المساكن النائية والمتعاقبة.

وأخيراً تعرض ملخصاً للتصنيفات المختلفة للعوامل البيئية يبين الصلات والتطابق بين مختلف المجموعات التصنيفية. (الجدول 1).

الجدول (1) تصنيف العوامل البيئية المختلفة

		العوامل البيئية حسب مونشاسكي	التصنيف العادي
عوامل لا تتعلق بالغزارة	عوامل غير احيائية	دورية أولية	أ- عوامل مناخية: - حرارة + إضاءة
		دورية ثانوية	- رطوبة نسبية + أمطار
		دورية ثلثوية أو غير دورية	- عوامل أخرى
		غير دورية	ب- عوامل فيزيائية غير مناخية: - عوامل الوسط المائي - عوامل التربة
عوامل تتعلق بالغزارة	عوامل احيائية	دورية ثانوية بصورة عامة	ج- عوامل الغذاء
		غير دورية	د- عوامل احيائية: - تفاعلات داخل النوع - تفاعلات بين أنواع مختلفة

The logo of Damascus University is a large, faint watermark in the background. It is circular, featuring a central emblem of a lantern with radiating lines. The top half of the circle contains the Arabic text 'وقل رب زدني علما' (Qul Rabbi Zidni 'Alima) and the bottom half contains 'جامعة دمشق' (University of Damascus). The English name 'Damascus University' is written along the bottom arc of the circle.

الفصل الثاني

الحرارة كعامل بيئي



الفصل الثاني

الحرارة كعامل بيئي

1- الحرارة والحياة

1-1- مقدمة:

تعرف درجة الحرارة بأنها حالة الجسم الحرارية التي ترتبط بقدرته على توصيل الحرارة. وحسب هذا التعريف فإن الحرارة هي قياس للحالة الحرارية وليس العامل الحراري نفسه، ويقاس هذا العامل بسهولة، وبمستوى من الدقة كاف بالنسبة للبيئي الذي يعمل في المخبر أو في الحقل. وتعد الحرارة عاملاً بيئياً أساسياً حيث يتعلق بشكل مباشر بكل العوامل الأخرى، كما أن الكائن الحي نفسه هو آلة حرارية. وسوف نرى أن تعقيد التأثيرات بين هذا العامل والمركبات البيئية الأخرى يجعل تفسير دوره المباشر الاصطفائي في توزيع الكائنات أمراً متعذراً. وعلى كل حال، لا يسعنا إلا أن نعيد على مسامع البيئيين المبتدئين نصيحة أودوم Odom التي تقول "عندما تدرسوا كائناً ما أو مشكلة ما، خذوا دائماً درجة الحرارة بالحسبان، ولكن لا تتوقفوا عند هذا الحد".

1-2- حدود الحياة النشيطة:

لا يمكن للحياة أن تستمر إلا ضمن مجال ضيق من درجات الحرارة المعروفة في الكون والتي تتراوح بين -200 إلى +100 درجة مئوية تقريباً (جدول 2). فبالنسبة للدرجات العليا من الحرارة، تستطيع بعض الكائنات الحية المعيشة، وهي في حالة الحياة النشيطة، في أوساط مرتفعة الحرارة. فقد وجدت بكتيريا حية في مياه تبلغ حرارتها نحو 90°، كما وجدت بعض الطحالب الزرقاء (Cyanophycés) من جنس *Phormidium* و *Oscillaria* في مياه درجة حرارتها أعلى من 85°. وتعيش يرقات *Ephydriidae* من ثنائيات الأجنحة في

درجة حرارة أعلى من 60°. ونلاحظ الشيء نفسه لدى بعض الحيوانات الأوالي من صف جذريات الأرجل. ومع ذلك يمكن اعتبار درجة الحرارة 50° كدرجة قصوى بالنسبة لأغلب الحيوانات والنباتات، على الأقل بالنسبة لحياتها النشيطة. وفي الحقيقة تسمح أشكال الحياة البطيئة بشكل عام بالتساهل مع درجات حرارة أعلى بشكل ملحوظ.

أما الحدود الدنيا للحياة النشيطة فلا تهبط كثيراً تحت الصفر بالنسبة للنباتات والحيوانات متغيرات الحرارة والتي تشكل غالبية الحيوانات، لأن مجموع الطيور والثدييات (ثابتات الحرارة) لا تتجاوز 20000 نوع.

ومن المعروف أن صفيحي الغلاصم البحري *Yoldia Arctica* يعيش في مياه قطبية درجة حرارتها قريبة من الصفر، وأن غمدي الأجنحة *Astagobius angustatus* يقضي دورته الحويوية في مغارات متجمدة تتراوح حرارتها بين -1.7 و -1.0 درجة مئوية.

ومع ذلك فإن الحد الحراري الأدنى للبقاء ينخفض كثيراً إذا أخذنا بالحسبان أطواراً خاصة من الحياة غير النشيطة، وهذه هي على سبيل المثال حالة البذور والأبواغ وأكياس الحيوانات صغيرة الحجم من حيوانات التربة كالديدان الخيطية وبعض العناكب (*Tardigrades*) أو كائنات المياه القارية كالـ دورارات التي تتساهل مع حرارة قريبة من الصفر المطلق (-273°) بعد الاجتفاف.

وتسوت أغلب الكائنات متغيرات الحرارة (نباتات وحيوانات) وهي في حالة الحياة النشيطة عندما تنخفض الحرارة إلى ما تحت الصفر، أي حرارة تجمد الماء النقي، ومع ذلك هناك مجموعة مهمة من الكائنات (نباتات خشبية، بعض يرقات الحشرات) يمكن أن تستمر في الحياة في درجات حرارة تتراوح بين -10° و -30° تقريباً. مع تشكيل جليد في داخل أجسامها، ولا تنفق إلا عندما يتجمد الجزء الأكبر من سوائلها الداخلية.

الجدول (2) البيئة الحرارية وحدود بقاء الكائنات

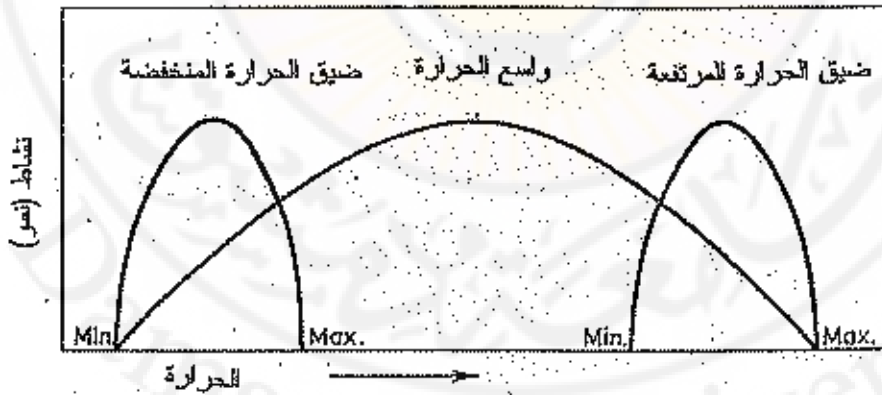
	الحرارة (C°)		
		3500	نقاط الصهار:
		1755	الكربون
		658.7	البلاستيك
			الألمنيوم
- يتحملها الإنسان الذي يأكل ملابس ثقيلة	260		
- يتحملها الإنسان مكشوف الوجه مدة 2.5 دقيقة	115		
		100	- غليان الماء
- يتحملها بعض الناس لمدة ساعت في مساء جاف ومعتدل	93		
- وجود بعض الطحالب في الفايبرج الحارة	88	88	- حرارة سطح الصخور في صحراء أمريكا الشمالية
		85	- حرارة تربة رملية صحراوية (السودان)
		58	- أعلى حرارة مسجلة في الهواء (الكويت 1922)
- بقاء الأسماك (barbus) في المياه الحارة	50		
- موت الأسماك بسبب شواء أيرودينك	46		
- متوسط الحرارة القصوى للمميتة لدى القروء	43		
		35	- الحرارة القصوى لسطح الفاع الأعشى التماطلي
		30	- متوسط حرارة السطح في البحر الأحمر
		27.5	- متوسط حرارة سطح البحر قرب سطح الاستواء
- أدنى متوسط حرارة لحياة المرجانيات	20		
- الحدود الحرارية العليا لمنطقة راحة وتوازن العاشية	16		
		0	- تجمد الماء
		-1.33	- متوسط حرارة السطح في المحيط المتجمد الجنوبي
		-1.65	- الحرارة الدنيا لتساق المحيط المتجمد الجنوبي
		-1.87	- نقطة تجمد مياه البحر السطحية (ملوحة 35%)
- الحدود الدنيا المسجلة بالنسبة لتكاثر المفروخ	-62		
		-68.5	- أدنى حرارة مسجلة (سبيريا 1892)

وهناك كثير من الكائنات تتفق في درجات حرارة أعلى من 0°: نذكر منها النباتات العسارية وأغلب الثدييات (ماعدا تلك التي تكون قادرة على التشتية Hibernation)، وكثير من متغيرات الحرارة وبخاصة تلك المتكيفة مع الأوساط المدارية والاستوائية.

2- التساهل وعدم التساهل الحراري والحرارة المثلى

يطلق اسم ضيق الحرارة Stenothermes على الكائن الذي لا يتساهل، في فترة حياته النشيطة على الأقل، إلا ضمن مجال ضيق من درجات الحرارة المحيطة. وعلى العكس فإن واسع الحرارة Eurythermes هو الكائن الذي يتمتع بتساهل بيئي عالٍ بالنسبة للحرارة.

ويطلق أحياناً اسم دقيق الحرارة Microtherme، أو Oligotherme على الكائن أو على مجموع الكائنات المتكيفة مع درجات الحرارة المنخفضة، كما يطلق اسم عالي الحرارة Mégatherme أو Polytherme على الكائن أو مجموع الكائنات المتكيفة مع درجات الحرارة المرتفعة (الشكل 1).



الشكل (1) حدود التساهل النسبية لدى الكائنات واسعة الحرارة وضيقة الحرارة.

تتميز الأنواع ضيقة الحرارة بتساهل محدود، حيث تكون الحدود المثلى والقصوى والدنيا جميعها متقاربة. أما الفروق الحرارية التي تتسامح معها الكائنات واسعة الحرارة فتكون حرجة بالنسبة للكائنات ضيقة الحرارة، وتدعى الكائنات ضيقة الحرارة التي تتوضع فرجة تساهلها نحو القسم الحرارية الدنيا دقيقة الحرارة، أما تلك التي تحتاج لدرجات حرارة مرتفعة بشكل دائم فتدعى عالية الحرارة.

يجب الإشارة إلى أن القيم التي تدعى أحياناً "متوسطات مطلقة" للحرارة السنوية أو حتى الفصلية لمنطقة ما ليس لها إلا فائدة قليلة في البيئة. وفي المقابل فإن متوسط التبدلات الحرارية أي السعة الحرارية هي التي تمثل العوامل الحرارية المحددة الحقيقية، فالمتوسط 15° هو نتيجة التذبذب بين 10° و 20° وهو بالتأكيد أفضل تحملاً في منطقتنا المأهولة أساساً بأنواع متوسطة الحرارة Mesothermes، من متوسط ناتج عن تذبذب بين 35° و 20° ، وأيضاً من متوسط ناتج عن حرارة ثابتة نسبياً حول $15^{\circ} \pm 2^{\circ}$.

ويطلق اسم الحرارة المثلى على الحرارة التي يجري فيها النمو والأفعال الاستقلابية في أفضل شكل ممكن، مع أدنى استهلاك للطاقة. ومن الجدير بالذكر أن درجة الحرارة المحيطة الثابتة لا تمثل بالضرورة الحرارة المثلى، وعلى العكس فإن بعض التغيرات في درجة الحرارة تنشط العمليات الحيوية، وما يصح على درجة الحرارة يصح أيضاً على عوامل بيئية أخرى يجب أخذها بالحسبان بالنسبة لكائنات المناطق المعتدلة. وفي هذه المناطق يمكن الإحساس بالتواترات الحرارية الفصلية التي يسببها دوران الأرض حول الشمس، بالإضافة إلى تواتراتها اليومية التي يسببها تعاقب النهار والليل.

ويشكل عام، في بلادنا المعتدلة، والتي يكون فيها النهار أشد حرارة من الليل، تبرز الأهمية البيئية للنباتات، خاصة في وسط اليابسة، حيث تشكل عنصراً ملطفاً للتقلبات الدورية للمناخ.

3- ردود الفعل على الشروط الحرارية غير الملائمة:

تتنوع ردود فعل الكائنات الحية على الشروط الحرارية غير الملائمة من خلال بعض السلوكيات مثل:

3-1- الهجرة:

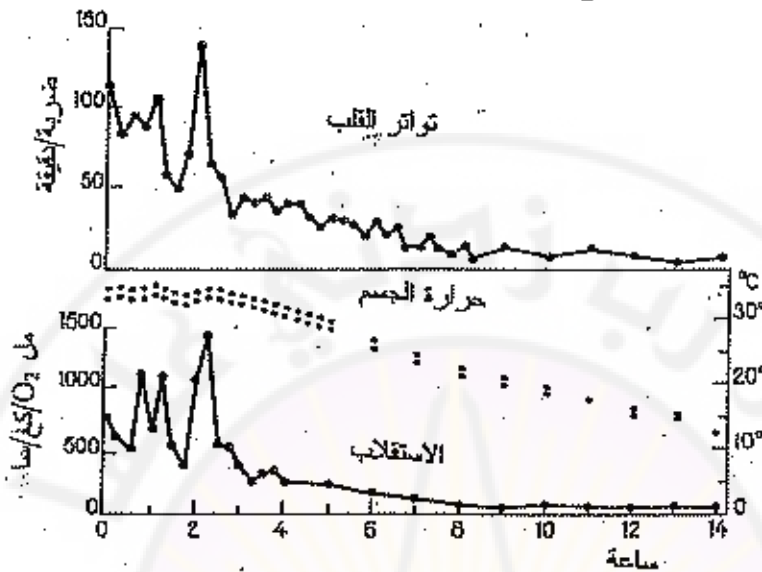
تشكل الهجرات كتلك التي تقوم بها طيور المناطق المعتدلة حلاً جذرياً للمشكلة، غير أن العوامل التي تحفزها مباشرة لا تتعلق بالحرارة: فمثلاً تلعب الفترة الضوئية دوراً مباشراً. فالطيور البالغة تغادر في الخريف المناطق التي سوف تصبح قريباً باردة جداً وبالنتيجة فقيرة بالغذاء. وتعود في الربيع تاركة المناطق شبه الاستوائية التي قضت فيها فصل الشتاء. وسوف يجري وضع البيوض والتفريخ والمراحل الأولى من حياة الفراخ في شروط حرارية مثلى بالنسبة للنوع. ومن الواضح أن الطيور هي الحيوانات الأرضية الوحيدة التي تملك القدرة على التنقل الناجح للاستفادة من هذه الطريقة، وتعد هجرات الطيور مشهورة وقد درست بشكل جيد.

وكما يوجد أيضاً هجرات فصلية حقيقية واسعة لدى الحشرات، فبعض الفراشات تنتقل عبر بحر البلطيق، ومنها ما ينتقل على طول شواطئ البحر المتوسط. وتكون هذه التنقلات غالباً متقطعة، وما يجعلها صدفوية هو الإمكانات البسيطة التي تمتلكها هذه الحشرات على مقاومة الهواء، وتجدر الإشارة إلى أن المدلول البيئي لهذه الهجرات ما زال غير معروف بشكل كاف.

3-2 السبات الشتوي Hibernation:

يمثل السبات الشتوي طريقة مناسبة للتهرب من الشروط الحرارية غير الملائمة بالنسبة للحيوانات متغيرات الحرارة التي لا تقتصر حياتها النشيطة على فصل واحد، والتي تبقى في مكانها وليس لديها الإمكانية لقضاء فصل الشتاء في حالة بيوض أو حالة تكيس، كما يستعمل هذا الحل أيضاً لدى العديد من متجانسات

الحرارة. فهناك كثير من الثدييات المناطق الباردة تملك القدرة على تخفيض استقلاباتها إلى حد تصبح فيه عملياً متغيرة الحرارة.



الشكل (2) المظاهر الفيزيولوجية التي تصاحب دخول المارموت في السبات الشتوي

وبشكل عام، يسبق حالة السبات الشتوي ظواهر فيزيولوجية مختلفة نذكر منها: انخفاض تواتر القلب، هبوط في معدل استهلاك الأوكسجين، وهبوط حرارة الجسم (الشكل 2). كما يسبق حالة السبات الشتوي انسحاب الحيوانات إلى مخابئ كالجحور والشقوق والصنوع... الخ، وتقدم هذه المخابئ حماية من الأعداء، كما تحدد مناخاً دقيقاً معتدلاً بسبب الحيز المحدود لهذه الملاجئ ووجود الكائن المسبب نفسه. وتستطيع بعض الفقاريات متغيرات الحرارة البقاء حية حتى عندما تتجمد أطرافها، ولكنها لا تستطيع تحمل تجمد كتلتها الحشوية. وهناك كثير من الكائنات التي تعيش على سطح التربة أو على النباتات أثناء حياتها النشيطة كالزواحف والحشرات وبطنيات القدم.. الخ تطمر نفسها في التربة عندما تدخل في السبات الشتوي. كما تسلك بعض الفقاريات صغيرة الحجم كالضفادع

والأسماك وكثير من لافقاريات المياه الضحلة، التي تتجمد تماماً في فصل الشتاء، السلوك نفسه حيث تتطمر في رسوبيات القاع. أما بالنسبة للمياه التي يتجمد سطحها فقط، فإن الحيوانات التي تعيش فيها تقوم بهجرة عمودية محدودة من السطح باتجاه المياه العميقة التي تبقى بحالة سائلة.

3-3- الخمود الصيفي Estivation:

الخمود الصيفي عبارة عن رد فعل يمكن مقارنته بالسبات الشتوي، وتلاحظ هذه الظاهرة لدى الحيوانات التي تعيش في مناطق تتميز بفصل صيف حرج بسبب حرارته المفرطة وجفافه، وتصادف هذه الحالة في السهوب والبراح Garrigues المتوسطي، والمناطق الصخرية المكشوفة.

وفي بعض المناطق السهبية، فإن تناوب قساوة الشتاء مع الجفاف الصيفي يجبر الكائنات الحية على السبات الشتوي والخمود الصيفي خلال العام نفسه. وتكون ردود الفعل الفيزيولوجية التي تسبق هاتين الظاهرتين وتصاحبهما متماثلة، كما تختبئ الحيوانات غالباً في الأمكنة نفسها.

ويتم تحليل هذا السلوك غالباً من قبل علماء السلوك من خلال دراستهم لظاهرة التوطن Homing، لأن الملاجئ نفسها تستخدم عادة من قبل عدة أجيال متتابعة وتابعة للنوع نفسه.

ومن السهولة بمكان إيضاح الوفاء الذي يبديه النوع للموقع الاحيائي لدى دراسة حلازين الجدران والحواجز الصخرية، فهذه الحلازين تسكن التجاويف وتتكاثر فيها، ويمكن أن نجد في هذه التجاويف وفي الوقت نفسه بيوضاً وصغاراً وبالغين، وقواقع قديمة تعود إلى أجيال عديدة سابقة.

ولقد درست ظاهرة السبات الشتوي والخمود الصيفي لدى الثدييات بشكل خاص، وتبين أنهما تبدأان بمجموعة من المحفزات Stimuli المختلفة: كندرة المواد الغذائية، وجفاف هذا الغذاء، وتراكم المواد الدهنية، وارتفاع تركيز غاز

CO₂ في الدم، وتبدل في الهرمونات...الخ. وتجدر الإشارة إلى أن هبوط حرارة الجسم، والذي يعد دليلاً على انخفاض الاستقلاب، يحدث أيضاً في حالة الخمود الصيفي.

وتأتي ظاهرتا السبات الشتوي والخمود الصيفي كنتيجة لتطور نوعي لا يختص بمجموعة تصنيفية مأخوذة بكاملها، إنما يختص بكائنات تملك فيما بينها تماثلاً في السكن. ويمكن أن نجد بجانب النوع المسبب أنواعاً أخرى غير مسببة، كما أن توقف التنامي الجنيني الشتوي، المعروف لدى العديد من الثدييات، يصادف في الوقت نفسه لدى الأنواع المسببة وغير المسببة.

3-4- آليات التكيف لدى اللاقاريات:

اقترح أحد الباحثين ثلاث إمكانيات لمجمل آليات التكيف مع الشروط الحرارية الملاحظة لدى الحشرات. وتعتمد هذه الإمكانيات أساساً على تبني طرق حياة بطيئة. ومن المحتمل أن تمتد صلاحيتها لتشمل لاقاريات أخرى، كذلك التي لا تعرف فيزيولوجيتها بشكل جيد. وتبدي هذه الآليات بعض النقاط المشتركة مما يجعل أي تعميم قطعي لها أمراً في غاية الصعوبة. وتوافق هذه الإمكانيات ثلاثة احتمالات:

- أ - يتركز الاحتمال الأول على الاجتفاف الذي يصل إلى درجة عالية، وهكذا فإن يرقة ثنائي الأجنحة *Polypedilum Vanderplanki* يمكنها، عن طريق تخفيض كمية الماء في جسمها إلى نسبة 8%، أن تتعرض لدرجات حرارة محصورة بين -270 و +106° دون أن تموت. علماً أن نسبة الماء في أجسام الحشرات تتراوح بين 50-90% من الوزن العام حسب النوع وحسب مرحلة النمو.
- ب - ويتمثل الاحتمال الثاني بتطابق الاستقلاب وتواتر النشاط مع تتابع الفصول. وهذا التكيف شائع جداً لدى اللاقاريات.

ج - أما الاحتمال الثالث الذي يهتم النوع وليس الأفراد فيرتكز على اصطفاء الطابع الوراثي (Genotype) جيد التكيف حرارياً.

3-5 السكون Diapause والنوم (الهدوء) Quiescence:

يمكن أن تبدي دورة حياة اللافقاريات طوراً يتوقف فيه النمو بسبب الشروط البيئية غير المناسبة. وتجدر الإشارة إلى أن حتمية هذا التوقف ومضامينه الفيزيولوجية تختلف بشكل واضح حسب ما يكون سبب هذا التوقف هو السكون Diapause الذي يعد طوراً من أطوار الحياة البطيئة ذات الطبيعة الإجبارية، أو هو الهدوء Quiescence الذي هو عبارة عن توقف وظيفي بسيط يرجع فور عودة الشروط الملائمة.

ولقد جرت دراسة السكون بشكل جيد لدى الحشرات، حيث يمكن أن يطلال الأطوار الحويية المختلفة من البيضة إلى البالغة، وفي هذه الحالة، تنصدي الحشرة للفترة الصعبة باستعدادات فيزيولوجية معقدة، إذ نشاهد في بداية السكون توقف حوادث الانقسام، ثم يبدأ بعض الاجتفاف في الأنسجة، ثم يتباطأ التنفس وهذا يقود بطبيعة الحال إلى انخفاض الاستقلاب الطاقي وزيادة نسبة الشحوم (الليبيدات). وينتج هذا التحول التدريجي عن علاقات مزاجية متبادلة معقدة، رداً على التنبيهات البيئية التي تعلن عن سوء المناخ؛ وهي عبارة عن تغيرات حرارية طفيفة أو تغيرات عامة أكثر أهمية، مشتركة مع تغيرات الفترة الضوئية.

ويفترض التصور المبسط أن وصول الأيأم القصيرة والرطوبة يعد كمؤقت للدخول في الحياة البطيئة.

زيادة على ذلك فإن الانتقال من الطور النشط إلى طور السكون يتحقق بسهولة أكثر في درجة حرارة ملائمة للحياة النشيطة، منه في درجة حرارة منخفضة جداً. فقد لوحظ لدى يرقة *Dendrolimus Pini* أن هذه الحوادث

التحضيرية تدوم ثلاثين يوماً في درجة حرارة 23° في حين تدوم ضعف هذه المدة في درجة حرارة تتراوح بين 10° و 12°.

يضاف إلى ذلك، أن التنامي يمكن أن يتتابع خلال هذا الطور التحضيري بتواتر يتناسب مع كل درجة حرارة، وهكذا يبدأ السكون في نهاية الطور الثاني وبداية الطور الثالث عندما تكون درجة الحرارة أدنى قليلاً من الدرجة المثلى للنشاط الطبيعي، بينما يتأخر ظهوره حتى الطور الرابع أو الخامس أو السادس عندما تكون درجة الحرارة أدنى قليلاً من الدرجة المثلى. أما إذا كانت الحشرة قد تعرضت وهي في الحالة النشيطة لدرجات حرارة متدنية، فإن هذه التغيرات التكيفية لا يمكن أن تحصل.

ونشير إلى أن درجة الحرارة التي يبدأ فيها السكون تؤثر أيضاً في مدته. فلدى حشرة *Dendrolimus Pini*، فإن السكون الذي يبدأ في درجة حرارة 30° لا يدوم سوى 48 ساعة، بينما يدوم 45 يوماً إذا تم تحريضه في درجة 12° مئوية. وبالمقابل يدوم السكون 80 يوماً لدى يرقات ثنائيات الأجنحة الطفيلية على جوزات القطن إذا تم تحريضه في درجة 29°، ولا يدوم إلا 41 يوماً أي النصف تقريباً إذا حرض في درجة حرارة تتراوح بين 16° و 19°.

وهكذا يتأثر بدء السكون ومدته كما رأينا، بعوامل حرارية وضوئية، وكما يمكن أن يتأثر أيضاً حسب الأنواع بكمية الغذاء المتاح وبتركيبه الكيميائي وبنسبة الماء فيه.

ويمكن أن تتوقف حوادث التطور والتنامي والتحول الشكلي في طور البيضة ولدى اليرقة أو البالغة.

ويتميز السكون لدى الأطوار البالغة عند بعض الأنواع، بتوقف تنامي الأعضاء التكاثرية، وتقدم ذبابة الخل *Drosophila* أفضل الأمثلة في هذا المجال. ويمكن ملاحظة صفات السكون المذكورة سابقاً، ليس فقط لدى الحشرات

وإنما أيضاً لدى العديد من اللاقاريات الأخرى كالقشريات والعنكبويات وبطنيات
القدم... الخ.

ويعد رد الفعل التكيفي المتمثل بالسكون ضرورياً أساساً للتسلسل الطبيعي
للدورة الحيوية للحيوان الذي يدخل في هذا السكون. ويتميز إذاً عن الهدوء (النوم)
Quiescence الذي لا يعدو كونه حالة استراحة انتقالية مفروضة مباشرة على
الكائنات من قبل الشروط الخارجية، والتي تتحرر منها مباشرة بعودة الشروط
الملائمة. فالطنانات Bourdons مثلاً يمكنها أن تستعيد بعض نشاطها مرات
عديدة في فصل الشتاء، أثناء الفترات الحارة الاستثنائية.

ينبغي إذا التمييز، في داخل النطاق العام للنشوية (أو للتصنيف) بين الهدوء
Quiescence الذي هو ظاهرة من أصل خارجي تعرضها مباشرة للتغيرات
الحرارية للوسط، وبين السكون Diapause والذي هو ظاهرة لا تتدخل هذه
الشروط إلا بتوقيتها، لأن تعقيدات التنسيق الفيزيولوجي للسكون يضيف عليه قيمة
توثر بيولوجي داخلي حقيقي. والتي يمكن للوسط أن يغيرها، لكن لا يمكنه أن
يحددها أو يلغيها.

إن المعنى التكيفي للسكون واضح، فهو من جهة يسمح للحيوان بالبقاء أثناء
الوقت السيئ مع حد أدنى من استهلاك الطاقة. ومن جهة أخرى، يزامن العودة
إلى الحياة النشطة، كعودة النمو، والنشاط الجنسي مع عودة الوسط إلى الشروط
الحرارية والتغذية المثالية لوظائفه، وأخيراً يساعد على بقاء النوع ويؤمن له أعلى
نسبة خصوبة ممكنة.

3-6- اصطفاء الطابع الوراثي المتكيف حرارياً:

تتم وسيلة التكيف هذه النوع بمجموعه: فالمناخ يمارس اصطفاء على مستوى
أجزاء المجمع الوراثي (Pool génique) للنوع. وحسب المناطق والأوساط، فإن
بعض الجماعات تبقى محافظة على نشاطها، بينما تكون الأخرى في حالة سبات

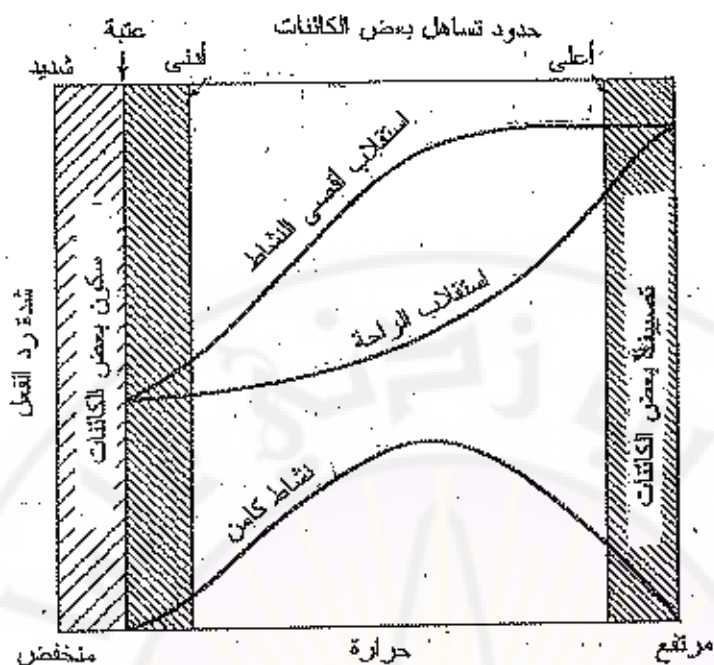
أو خمود صيفي، أو لا تكون ممثلة إلا بالبيوض. ولقد درس هذا الاصطفاء بشكل خاص لدى ذبابة الخل *Drosophila* التي تتميز بانتشار جغرافي واسع.

4- التأقلم *Acclimatation*

يرتكز التأقلم على التكيف الفيزيولوجي للكائنات إزاء شروط الوسط المختلفة. فبالنسبة للحرارة، يكون هذا التكيف مباشراً لدى متغيرات الحرارة *Pecilothermes* (الشكل 3). أما بالنسبة لمتجانسات الحرارة *Homeothermes* فإنه نادراً ما يتم التطابق مع الشروط الحرارية للوسط عن طريق تغيير الحرارة الداخلية، لأن ذلك يتعارض من حيث المبدأ مع مفهوم التجانس الحراري *Homeothermie*. وحسب هذا المفهوم فإن الحرارة الداخلية تكون نفسها تحت أي مناخ حراري. وتتكيف متجانسات الحرارة عادةً مع حرارة الوسط عن طريق تغيير وسائل عزلها: كتبدل ثخانة الفرو وكثافة الريش وطوله، وتكون الأوعية الجلدية... الخ. وعندما تصبح هذه التكيفات الشكلية غير كافية أي عندما تتجاوز الحرارة عتبة "الحرارة الحرجة"، فإن متجانسات الحرارة تبدأ بزيادة نشاطها الاستقلابي، وبالنتيجة إنتاجها الحراري *Thermogenese*.

وتبدأ بعض متجانسات الحرارة الاستوائية بزيادة إنتاجها الحراري عندما تنخفض حرارة الوسط إلى ما دون 25°C تقريباً. ونضاعف إنتاجها الحراري ثلاث مرات في الدرجة 10°C مئوية. أما في الدرجة 0°C مئوية، فإنها لا تنتج من الحرارة ما يكفيها للبقاء حية.

وبالمقابل فإن الثدييات القطبية الصغيرة لا تزيد في إنتاجها الحراري إلا عندما تهبط حرارة الوسط إلى ما تحت -30°C . أما الثدييات القطبية الكبيرة ككلب الأسكيمو، والثعلب القطبي والثور الممسك فإنها تتساهل مع درجات حرارة تصل إلى -40°C دون زيادة تذكر في الإنتاج الحراري، وهذا يلعب العزل الحراري الجليدي دوراً أساسياً.



الشكل (3) رد فعل كائن متغير الحرارة على التغيرات الحرارية.

بتغير نشاط الكائن حسب حرارة الوسط

أما بالنسبة لمقاومة درجات الحرارة المرتفعة، فإن متجانسات الحرارة تعمل على خفض استقلاباتها الأساسية، كما تقوم بنقل الحرارة إلى محيط جسمها عن طريق توسيع الأوعية المحيطة المعمم، وتستكمل ذلك بزيادة التواتر التنفسي والتعرق، مما يسرع في خسارة الحرارة المتدرج عن طريق تبخر الماء.

5- الحرارة المميتة والصفر البيئي

يزداد النشاط الاستقلابي نسبياً مع ازدياد الحرارة لدى متغيرات الحرارة فقط (الشكل 3)، وذلك حتى حدود درجة الحرارة المميتة *Temperature lethale* الذي يتطابق مع الموت السريع للحيوان، وبصورة عامة، يمكن قبل الحرارة المميتة، قياس حرارة عدم نشاط يمكن أن تشكل مقدمة ضرورية وكافية لدرجة الحرارة المميتة.

عملياً، يمكن القول إن الوسط بلغ الحرارة المميتة أو حرارة عدم النشاط، عندما يموت أو يتوقف عن النشاط أكثر من 50% من الحيوانات المدروسة. ويمكن أن تؤثر درجة حرارة الاستقلاب تأثيراً جذرياً في مدة الحياة أو مدة الطور النشط، وتؤدي زيادة الحرارة إلى نتائج مباشرة أو غير مباشرة ذات أهمية: كاستهلاك المتزايد للأكسجين وزيادة استهلاك الطاقة من أجل التنظيم الحولي Osmorégulation.

ويطلق اسم الصفر البيئي على أدنى حرارة خارجية يستطيع فيها الكائن الحي القيام بوظائفه الطبيعية. والصفر البيئي لوظيفة ما أو لسلوك ما هو إذا العتبة الحرارية الدنيا لهذه الوظيفة أو لهذا السلوك أو لحوادث التنامي..الخ.

6- المناخ العام والمناخ الدقيق

يطلق اسم المناخ الدقيق على المناخ المحلي المحدود بعنصر صغير جداً من المشهد العام، ويتميز عن المناخ العام للمنطقة وحتى عن المناخ المحلي بصفات خاصة.

وهكذا فالتعرض للشمس أو للرياح السائدة، ووجود كتل مائية محلية أو ستارة من الأعشاب تضي على الوسط المعني سميزات خاصة متفردة تقريباً. فمثلاً تتمتع شقة جدار معرضة للجنوب بمناخ دقيق مختلف عن المناخ المسيطر على الوجه المتجه للشمال، كما تشمل صخرة عارية، معزولة تحت أشعة الشمس على صفات مناخية دقيقة مختلفة عن تلك المسيطرة على صخرة لها نفس الحجم ونفس الاتجاه ولكنها متوضعة على شاطئ نهر، أو محمية بالنباتات. كما يحدد الحجر المعتم الذي يتوضع على التربة شروطاً مناخية دقيقة مختلفة جداً عن تلك التي تسيطر على السطح الحر للتربة المجاورة.

وفي الوسط المائي يختلف المناخ الدقيق المسيطر في وجهي صخرة حسب تعرضها للأمواج أو للإضاءة. وفي المياه الراكدة يمكن التأكد من وجود شروط حرارية ودرجة PH وأكسجة مختلفة حسب غزارة أو ندرة الطحالب. ويمكن تمييز المناخ الدقيق عن المناخ العام أو المحلي، حسب الأوساط، بما يأتي:

1- بقيم الحرارة والرطوبة والإضاءة والأكسجة.

2- بدرجة التعرض للرياح، أو للتيار أو للأمواج....الخ.

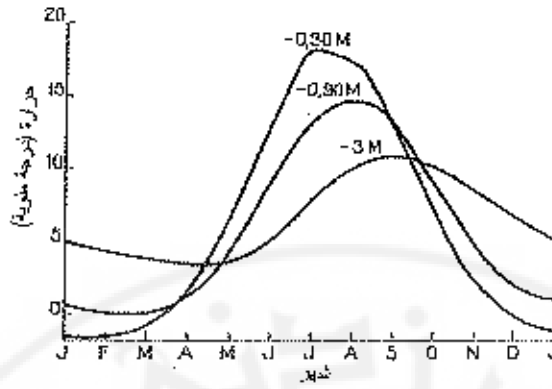
وغالباً ما تختلف هذه العوامل بالقيم المطلقة أو بسعة التغير، وهكذا نخلص إلى أنه يوجد في كل منطقة مناخية فسيفساء معقدة من المناخات الدقيقة تتميز بشكل كاف عن المناخ العام، مما يجعلها تحتل مكانة بيئية هامة.

7- الحرارة في التربة

7-1- التطبيق الحراري في التربة:

يتحقق في التربة، كما هو الحال في وسط الماء، تطبيقاً حرارياً واضحاً، ويلاحظ هذا التطبيق خاصة في المناخ المعتدل في فصلي الصيف والشتاء: حيث تسخن الطبقات السطحية في الصيف أكثر من الطبقات العميقة، وتبرد أكثر في الشتاء (الشكل 4).

ويمكن لسطح التربة أن يخضع لتغيرات حرارية يومية مهمة، خاصة إذا لم يغط إلا بطبقة بسيطة من النباتات أو ببقايا عضوية. وتتوقف هذه التغيرات في العمق، لأن التربة عموماً ناقل سييء للحرارة. ففي مناخاتنا لا يمكن الإحساس بالتغيرات اليومية عملياً بعد عمق نصف متر.



الشكل (4) متوسط الحرارة الشهري في ثلاثة مستويات من التربة

وتمتص التربة الحرارة وتحتجزها بشكل مختلف حسب لونها (حيث تمتص التربة السوداء حتى 80% من الطاقة الحرارية)، ونسبة الماء فيها، وبنيتها الفيزيائية والكيميائية، التي تحدد في الوقت ذاته نسبة الماء فيها، وتسخن التربة الغنية بالماء ببطء، بسبب الحرارة النوعية المرتفعة للماء، والتي تفوق الحرارة النوعية للتربة الجافة بخمس مرات. وبالمقابل، يمكن أن يزداد اختراق الطاقة الحرارية للأعماق في التربة الرطبة، ويمكن أن تعزى زيادة الناقلية الحرارية هذه إلى سببين:

الأول أن الماء يحل محل الهواء بين جزيئات التربة (ناقلية الهواء $1/25$ من ناقلية الماء)، والسبب الثاني أن الماء يحسن الاتصال بين الجزيئات الصلبة والتي هي أفضل ناقلية من الماء. وإذا أصبح الماء غزيراً في التربة فإن ناقلية التربة الرطبة تصبح أقل من ناقلية التربة الجافة من نفس النمط، لأنها تميل للاقترب أكثر فأكثر من ناقلية الماء.

وأخيراً فإن جزءاً هاماً من الطاقة الحرارية يستعمل لتبخير الماء من التربة، وينتج عن ذلك أنه في حال تساوي الشروط الأخرى، وخاصة اللون، فإن التربة الجافة تكون أشد حرارة من التربة الرطبة. وتساعد هذه الحثثيات المناخية

الدقيقة على تفسير بعض الاختلافات في التركيب الحيواني بين ترب كلسية وترب غير كلسية، والتي لا تكون بالتأكد نتيجة مباشرة للتركيب الكيميائي المختلف. وفي التربة كما في الماء، يمكن للتطبيق الحراري أن يتغير خلال السنة، ويمكن أن يلاحظ فيها ظواهر الانعكاس الحراري، وبالنتيجة يلاحظ هجرات عمودية فصلية للحيوانات وبخاصة اللاقاريات.

7-2- تكيف كائنات التربة (Endogés):

تبدى الحيوانات التي تعيش في التربة، فيما يخص متطلباتها الفيزيولوجية، تكيفاً مع هذا التطبيق الحراري. وتتطلب الأنواع التي تعيش قريباً من السطح تناوباً بين فصل بارد وفصل حار من أجل إنجاز تناميتها وتكاثرها، ويبدو ذلك مماثلاً لسلوك الأنواع القاعية للمياه قليلة العمق في البحيرات وحتى الأنواع السطحية في البحار.

وكما هو الحال لدى العديد من أنواع المياه السطحية، فإن أنواع التربة تبقى نشيطة حتى بضع درجات فوق الصفر. ويمكن لكائنات التربة في البلاد المعتدلة المحافظة على حياة نشيطة تحت الثلج، كما يمكنها المحافظة على نشاطها بواسطة الانتقال إلى الأعماق تحت الطبقة السطحية المتجمدة. ويتمثل ذلك مع سلوك الأنواع المائية المتحركة، والذي يتفق تبريره الفيزيولوجي مع حقيقة أن العديد من حيوانات التربة هي في الواقع حيوانات مائية (حيوانات أولي، ديدان خيطية، العديد من يرقات الحشرات... الخ). ويمكن لللاقاريات التربة التي يفاجئها التجمد قرب السطح أن تعاود نشاطها بعد توقف وقتي بسبب البرودة المفرطة.

ويمكن دراسة الأهمية البيوجيوغرافية للحرارة بشكل جيد عن طريق مراقبة بعض مجموعات حيوانات التربة. فزواحف التربة والحشرات ذات الأصول المدارية كالترميت مثلاً، وعدد من أجناس النمل لا تستطيع الوصول إلى المرتفعات العليا لأنها لا تتحمل حرارتها المنخفضة. وبالنسبة لبعض الأنواع شديدة

التعلق بالماء، فإن الجفاف "الفيزيولوجي" للتربة التي تتجمد لفترة طويلة يلعب دوراً أكبر من الدور الذي تلعبه الحدود الحرارية نفسها. وبالمقابل نرى أن Qribatidés و Collemboles تستطيع المعيشة في جبال الألب وحتى شمال جزيرة غرينلاند. ويذكر أن من بين حيوانات التربة توجد بعض الأمثلة الجيدة عن السبات الشتوي وخاصة لدى الدورات. ويمكن الوصول إلى حالات حرجة، حيث أن تغطيس بعض الدورات المشتية في الهليوم السائل (-271°) لا يلغي إمكانية عودتها إلى الحياة النشيطة. كما أن عدداً من يرقات ثنائيات أجنحة تقاوم أيضاً درجات حرارة منخفضة جداً.

ويبدو أن حيوانات التربة أقل تساهلاً مع درجات الحرارة المرتفعة. ويمكن أن يعزى ذلك إلى الظواهر التي ترافق هذا الارتفاع عادة كالجفاف المفرط للتربة مثلاً. ومع ذلك يمكن لبعض العنكبنيات من فصيلة Oribatidés أن تعيش قريباً من الينابيع الحارة، في ترب حرارتها أعلى من 40°. كما يعيش بعضها الآخر في الجدران الصخرية ويتساهل في الصيف مع دورة يومية حرارية يمكن أن يبلغ تفاوتها 40°.

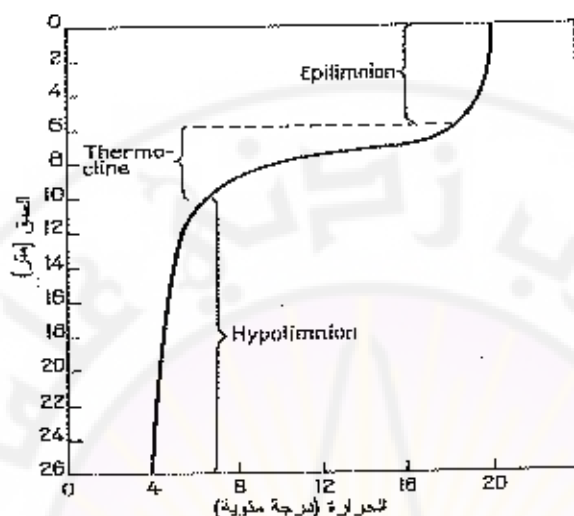
ويمكن أيضاً تسجيل قيم حرارية أعلى من ذلك على الصخور الكلسية العارية أو التي يصيف عليها العديد من الحلازين ويطننيات قدم أخرى في منطقة البحر المتوسط، والتي تلتصق بجدران الصخور بوساطة غطاء مخاطي ثخين (épiphragme).

8- الحرارة في الوسط المائي

8-1- التطبيق الحراري La thermocline:

يطلق اسم ترموكلين في الهيدرولوجيا على طبقة المياه التي تفصل المياه السطحية، الخاضعة مباشرة للتغيرات الحرارية الفصلية واليومية للهواء، عن الجزء الأعرق الثابت تقريباً حرارياً، والأقل تأثراً بالحالة الحرارية للسطح، ويمكن

تميز مثل هذه الطبقات في البحار أيضاً، والذي يعبر عنه بمنطقة التغير الحراري المفاجئ أو الانحدار الحراري (الشكل 5).



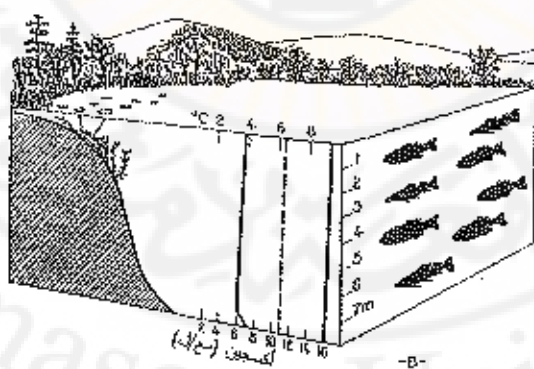
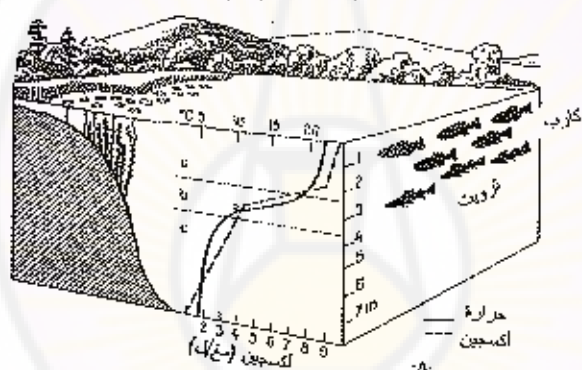
الشكل (5) التوزيع العمودي للحرارة في إحدى بحيرات المناطق المعتدلة أثناء فصل الصيف

وتدعى المنطقة السطحية في البحيرات Epilimnion، وتدعى الطبقة العميقة Hypolimnion. أما المنطقة التي تفصل بعضها عن بعض والتي تحتوي على الترموكلين فتدعى الطبقة الوسطى Mesolimnion (الشكل 5). وفي مناخنا المعتدل تكون الطبقة العميقة أشد برودة من الطبقة السطحية في فصل الصيف، وأشد حرارة في الشتاء (الشكل 6). وبالنتيجة يوجد في الصيف تناقص بطيء ومتدرج للحرارة بدءاً من الطبقة السطحية حتى الطبقة الوسطى، وفي الطبقة الوسطى يكون التدرج مفاجئاً وسريعاً، أما في وسط الطبقة العميقة فتعود التغيرات الحرارية بطيئة من جديد. وتوافق الشروط الحرارية في الصيف، حيث المياه الحارة على تماس مع الهواء، تطبيقاً حرارياً مباشراً. أما في الشتاء فيصبح التطبيق معكوساً. فالطبقات السطحية هي الأشد برودة وغالباً ما تتجمد. ويكون ازدياد الحرارة تدريجياً وقليل الأهمية نسبياً في وسط الطبقة العميقة. وهكذا إذا،

ففي فصل الشتاء، تهبط الأنواع الحيوانية الأقل تساهلاً مع الحرارة إلى ما تحت الترموكلين، ومن بينها عدد من الأسماك ذات الأهمية الاقتصادية. كما يمكن أن تتم هجرات عمودية في الصيف أيضاً، بسبب الحرارة العالية للمياه السطحية، والفقر الغذائي الذي يحدث فيها نتيجة الحرارة المرتفعة.

2-8 النظام الحراري في البحيرات المعتدلة:

ينشأ في بحيرات ومستنقعات المناطق المعتدلة نظام حراري يعود إلى ظاهرة فيزيائية معروفة جيداً مفادها: أن الكثافة القصوى للمياه تتحقق في درجة حرارة 4°C وفوق هذه الدرجة وتحتها تتناقص الكثافة بانتظام، وسوف نستعرض فيما يأتي التغيرات التي تطرأ على هذا النظام الحراري (الشكل 7).

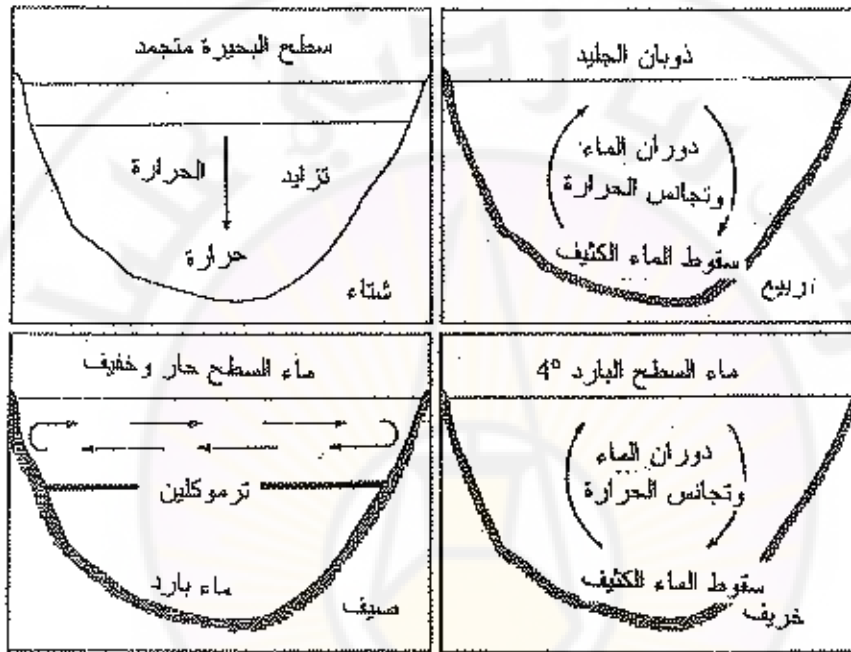


الشكل (6) التغيرات الفصلية للتطبيق الحراري وكمية الأكسجين في بحيرات المناطق المعتدلة

A - في منتصف فصل الصيف: التطبيق واضح مع تشكيل للطبقات السطحية والترموكلين والميسيلة (a, b, c).

B - أثناء الخريف والربيع: يكون متحلي الأكسجين والحرارة مستقيماً تقريباً.

في الشتاء: يكون سطح البحيرة متجمداً بشكل كامل. وتكون حرارة المياه السطحية قريبة من الصفر، وحرارة مياه الأعماق قريبة من 4°C ، والذي يقابل الكثافة القصوى. فالحرارة تزداد كما رأينا سابقاً مع ازدياد العمق، والمياه الخفيفة السطحية تعوم فوق المياه الثقيلة العميقة.



الشكل (7) حركات الماء والتطبيق الحراري في بحيرة خلال السنة

في الربيع: تعمل الحرارة على إذابة الجليد والماء الذي تصل حرارته إلى 4°C يصبح ثقيلًا ويسيل إلى أعماق البحيرة، ويسبب دوراناً كاملاً مع صعود مياه الأعماق ومساواة في درجة الحرارة.

في الصيف: تكون حرارة المياه السطحية أعلى من 4°C إذًا حارة وخفيفة وتطفو على السطح فوق المياه الباردة والأكثر كثافة والتي لا تتسخن إلا ببطء شديد. فالحرارة تتناقص مع ازدياد العمق، ومن الممكن في فصل الصيف تمييز المناطق الثلاث التي تحدثنا عنها سابقاً، وتحقق ما يطلق عليه اسم الترموكلين.

أ- منطقة سطحية Epilimnion: تحركها الرياح وغنية بالأكسجين المنحل، وبالعوالق النباتية، وجيدة الإضاءة، وتتناقص حرارتها ببطء، مع ازدياد العمق.

ب- منطقة انتقالية أو Thermocline: وفيها تتناقص الحرارة بسرعة، درجة واحدة على الأقل كلما ازداد العمق متراً واحداً.

ج- منطقة عميقة Hypolimnion: تصل هذه المنطقة حتى القعر، وهي فقيرة بالأكسجين، قليلة أو بدون إضاءة، فقيرة بالعوالق النباتية، ولا تتغير حرارتها إلا قليلاً خلال العام.

في الخريف: تعيد البرودة درجة حرارة المياه السطحية إلى 4°C فتصبح ثقيلة. وتنزل إلى القعر، وتسبب خلطاً سنوياً ثانياً للمياه، مع تماثل درجات الحرارة وتوزيع للأكسجين والعناصر المنحلة.

وعندما تكون الشروط المناخية هي الشروط التي تكون فيها حرارة القعر مشابهة لحرارة السطح فإن حركة المياه تكون دائمة ولا يتحقق في هذه الحالة تطبيقاً حرارياً (Thermocline). وعندما تبقى حرارة القعر قريبة من 4°C فإنه لا يتم في هذه الحالة أية دوران، والطبقات السطحية الغنية بالأكسجين ينقصها حينئذ الأملاح المغذية، بينما الطبقات العميقة الغنية بالأملاح المغذية ينقصها الأكسجين. وفي هذه الحالة تكون الانتاجية ضعيفة جداً. وتدعى البحيرات التي يتم فيها الخلط الفصلي الكامل Holomictique، أما البحيرات التي لا يتم فيها الخلط فتدعى Meromictique.

3-8- الحرارة في البحار:

تبدى الطبقات السطحية لمياه البحر، كما هو حال المياه العذبة، تواتراً فصلياً ودورات يومية يسببها التباين بين العوامل التي تميل إلى تسخين المياه (الأشعة شمسية، ظواهر الحمل الحراري نحو الماء، تكاثف بخار الماء)، والعوامل التي

تميل إلى تبريد الماء (الأشعة الصادرة عن الأجسام والأرض على شكل أشعة تحت حمراء، الحمل الخارج من الماء، تبخر).

وبالمقابل تكون الطبقات العميقة لمياه البحار، ثابتة من وجهة نظر حرارية وقيمها منخفضة. فعلى عمق 3000م تحت سطح المحيطات، وحتى الاستوائية منها، فإن الحرارة لا تتجاوز 3° إلا نتيجة ظواهر محلية استثنائية. وعلى عمق 5000م تتراوح الحرارة، في الأمكنة التي أمكن قياسها مؤخراً بين 2° و 2.5° ، مع حد أدنى قريب من الصفر. وهكذا فإن الكائنات العميقة المميزة للمناطق العميقة في البحار تكون إذاً دقيقة الحرارة Microthermes.

وتؤدي الحرارة في الوسط المائي، ولاسيما البحري، دوراً أساسياً في التوزيع الجغرافي للكائنات الحية. إما بشكل مباشر وإما بالمشاركة مع عوامل أخرى مرتبطة بها تسبباً، أو على علاقة مع الملوحة.



الفصل الثالث

الماء والحياة على اليابسة

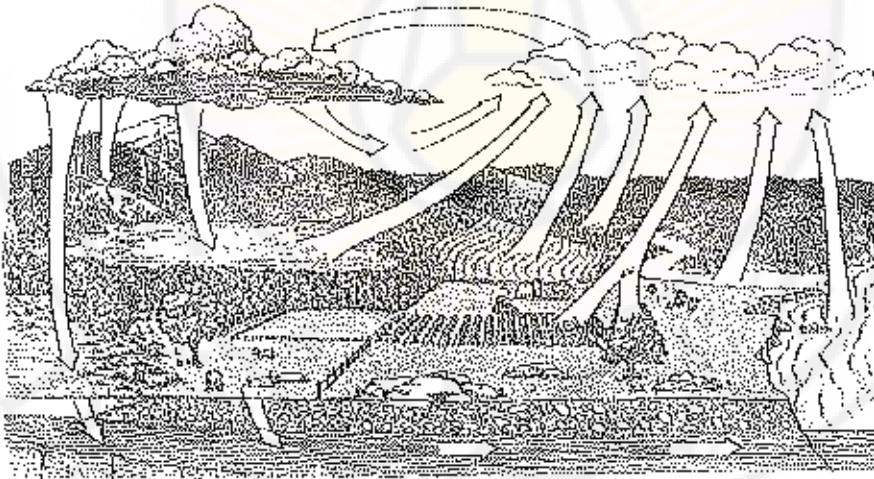


الفصل الثالث

الماء والحياة على اليابسة

1- دورة الماء في الطبيعة:

ينتج الماء، الذي ينتشر في الجو على شكل بخار ماء، من مصادر مختلفة نذكر منها: تبخر مياه المحيطات ومياه التربة، نتح وجفاف النباتات، وأخيراً هناك جزء يسير يأتي من استقلاب الحيوانات. وتبعثر الرياح بخار الماء في الجو، ومنه تهطل إما بحالة سائلة على شكل مطر أو ندى أو ضباب... الخ، أو بحالة صلبة على شكل برد أو ثلج... الخ. ويتبخر جزء من مياه الهطول مباشرة ويعود إلى الجو، والباقي إما أن يتجمع ليشكل سواقي وأنهار بحيث ينتهي في البحر، أو يخترق التربة ليستعمل بعد ذلك من قبل النباتات والحيوانات، أو يصل إلى حقول المياه الجوفية (الشكل 8).



الشكل (8) دورة المياه في الطبيعة

ويكون هذا الدوران المستمر في الجو ما يدعى بالدورة البيوجيوكيميائية للماء. وينضوي تحت هذا المسمى مجموع التبادلات بين العناصر أو المركبات

الكيميائية البسيطة للكائنات الحية وبين العالم المعدني، وبالمقابل بين العالم المعدني والكائنات.

وتوضح المفاهيم الإضافية لزمن التجدد الدوري $turne-over$ ومعدل التجدد الدوري مميزات الدورة البيوجيوكيميائية. ويطلق تعبير معدل تجدد الدوران على الجزء من الكمية الإجمالية لمادة موجودة في كائن ما، أو في وسط ما، أو في وحدة أحيائية ما، والذي يدخل في هذا الكائن أو الوسط أو الوحدة الأحيائية، أو يخرج منها، في وحدة الزمن.

ويدعى الزمن الضروري لتجديد المادة المعنية في الكائن أو في النظام البيئي أو في أحد مكوناته بزمن التجدد الدوري. فهو إذا الكمية المعاكسة لمعدل التجدد الدوري - وهكذا، إذا كان هناك كائن يشتمل على 1000 وحدة من مادة ما، إذا دخل إلى هذا الكائن أو خرج منه 10 وحدات في الساعة، فإن معدل التجدد الدوري سيكون $1000/10$ أي 1% في الساعة، وسيكون زمن التجدد $10/1000$ إذا 100 ساعة، أي أن المادة المعنية سوف تتجدد بأكملها بعد 100 ساعة. وعلى سبيل المثال فإن زمن التجدد الدوري في البحيرات قليلة العمق وقليلة الاتساع يقع في حدود أسبوع. أما في البحيرات الكبيرة فيمكن أن يتجاوز زمن تجددتها الدوري الشهرين.

تغطي البحار والمحيطات 71% من سطح الكرة الأرضية، ويقدر حجمها الكلي بنحو 1370×10^6 كم³ بالنسبة لعمق وسطي حوالي 3795 م. ولا يمثل الماء في حالته الصلبة (جليديات، جليديات طافية Packice) إلا 9.3% من هذه الكمية، كما أن كتلة بخار الماء لا تمثل إلا 10×9^{-6} من هذه الكمية. وهذا يعني أنه إذا هطل كل بخار الماء الجوي وتجمع في البحر فإنه لا يرفع مستوى هذا الأخير إلا 3.5 سم. وعلى أي حال فإن الماء العذب الذي يجري على الأرض أغزر بـ 33 مرة من الماء الجوي.

أما المياه الحرة في داخل القشرة الأرضية فتقدر بأنها أغزر من المياه الجوية ومن المياه التي تجري على سطح الأرض، ولكنها مع ذلك لا تمثل إلا جزءاً يسيراً من مياه البحار والمحيطات.

إذاً يمثل الماء بحالة بخار ماء جزءاً بسيطاً من المياه الكلية الأرضية، ومع ذلك فهو يلعب دوراً أساسياً، إن كان بالنسبة للهطل والأحواض المائية التي يكونها، أو بالنسبة لدوره كعامل محدد مباشر بالنسبة لعدد كبير من الكائنات الحية، ولاسيما الحشرات التي تحررت من المياه المحيطة خلال التطور لتصبح أرضية (تعيش على اليابسة).

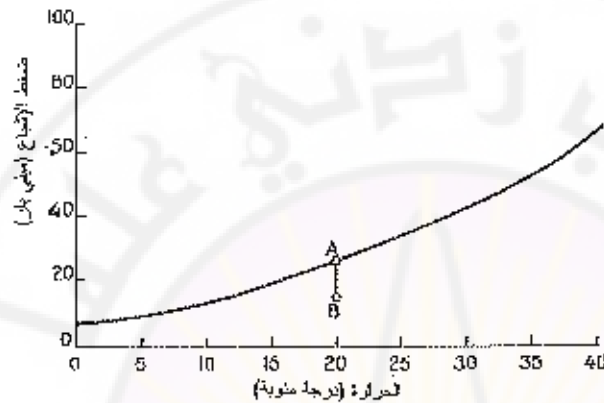
2- الرطوبة الجوية:

يوجد طرق عديدة لقياس كمية الماء الموجودة في الجو منها:

- أ- الرطوبة المطلقة أو محتوى الهواء من الرطوبة: وهي عبارة عن كثافة بخار الماء الموجود في الجو، الذي يعبر عنه بكتلة بخار الماء في وحدة حجم الهواء، ويعني بشكل عام غرام في المتر المكعب.
- ب- الرطوبة النوعية: هي عبارة عن كتلة بخار الماء في وحدة كتلة الهواء ونذكر هنا أن الوزن النوعي لبخار الماء يساوي 0.62 من الوزن النوعي للهواء الجاف.

- ج- الرطوبة النسبية: هي نسبة كمية بخار الماء الحقيقية الموجودة في الجو إلى الكمية القصوى التي يمكن أن يشتمل عليها الجو في الشروط نفسها من الحرارة والضغط الجوي، أي درجة الإشباع (الشكل 9). ويعبر عن الرطوبة النسبية بالنسبة المئوية من الإشباع. فمثلاً عندما تكون الرطوبة النسبية 65% في درجة حرارة 20° وضغط جوي 760 مم زئبق، فهذا يعني أن كمية

بخار الماء الموجودة تساوي 65% من الكمية القصوى أو من الإشباع الممكن في درجة حرارة 20° وضغط جوي 760 مم زئبق. إن البيانات التي تعطيها قياسات الرطوبة النسبية هذه هي التي تستعمل بشكل عام في علم البيئة الحيوانية.



الشكل (9) إشباع بخار الماء بالنسبة لدرجة الحرارة.

يشير طول AB إلى نقص الإشباع في الدرجة 20° بالنسبة لقياس يقابل القيمة في B

د- نقطة الندى: هي درجة الحرارة التي يتم تحتها تكثف الماء الجوي على شكل سائل. وبمعنى آخر هي أدنى درجة حرارة يستطيع فيها الماء البقاء بحالة بخار. وبالنسبة لهواء مشبع بالرطوبة فإن الحرارة الفعلية تتطابق مع نقطة الندى.

هـ- نقص الإشباع: هو الفرق بين ضغط البخار المسجل (B) وضغط البخار الموافق لحالة إشباع الهواء (A) في الشروط نفسها من الحرارة والضغط الجوي (الشكل 9). ويكون نقص الإشباع مرتفعاً كلما كان الهواء أكثر جفافاً. ويوافق عملياً الاستطاعة التجفيفية للهواء، لأن هذه الاستطاعة تتناسب مع كمية الماء التي يمكن تحويلها من الحالة السائلة إلى حالة البخار في درجة الحرارة والضغط الجوي المحددين. وغالباً ما يكون الأثر المجفف للرياح مهماً، كما أن حركة الهواء الجوي تنشط بخر الماء من التربة ومن الكائنات.

ويجب الإشارة إلى أن الماء يتكثف على شكل مطر أو ثلج أو برد فور تجاوز نقطة الندى، شريطة وجود نوى التكثف، وإلا فإنه يتكون هطول خفي (ندى، ضباب... الخ). ويمكن قياس الشكل الأول بمقياس الأمطار، أما الهطول الخفي فيقاس بواسطة أجهزة دقيقة.

وتتبخر السطوح الطبيعية (سطح البحار والمياه القارية والترسة العارية والنباتات... الخ). وتنتقل مياهها إلى الجو على شكل بخار بواسطة عملية الانتشار، ولا تمثل هذه الظاهرة خسارة حقيقية للماء، لأن البخار يدخل في الدورة البيوجيوكيميائية للماء، ومع ذلك يقال غالباً أن تبخر الماء يمثل خسارة للماء من سطح ما. وغالباً ما يتم التمييز بين التبخر بالمعنى الدقيق (خسارة الماء من سطح غير إحيائي) وبين التعرق أو النتح (خسارة ماء الكائنات)، ولكن عملياً يفضل حالياً النظر إلى مجموع هاتين الظاهرتين وجمعهما تحت اسم التبخر النتحي أو التعرقي Evapotranspiration.

ويقاس البخر النتحي الحقيقي لسطح محدد في وحدة الزمن بوسائل تجريبية. أما البخر النتحي الكامن فهو عبارة عن ثابت Parametre نظري للمناخ: إذ يقيس خسارة الماء من سطح ما والذي يفترض أنه دائم التزود بالماء. ولحساب هذا الثابت عملياً تؤخذ عدة عوامل بالحسبان كالاشعة الشمسية والاستطاعة التجفيفية ومتوسط حرارة الهواء... الخ. ويتم ربط هذه العوامل بعلاقات مختلفة حسب المؤلفين. ومن الواضح أن الفرق بين البخر النتحي الحقيقي والبخر النتحي الكامن يمكن أن يكون كبيراً.

3- تأثير الرطوبة في بيئة الكائنات:

3-1- الماء مكون أساسي للكائنات:

يعد الماء المكون الأساسي للعديد من الأنسجة النباتية والحيوانية المائية منها والقارية. وتشتمل البروتوبلازما في طورها النشط على 70-80% من وزنها ماء.

وتتراوح نسبة الماء في كائن حيواني في مرحلة النشاط بين 50% لدى يرقات Tenebrionides (مغمديات أجنحة) مثلاً و98% لدى بعض الميذوزات. ومن المعروف أن الأنسجة الحيوانية تميل للجفاف مع تقدم العمر. ويمثل الماء 72.5% من الوزن العام لجسم الإنسان حين الولادة و 66% فقط في مرحلة البلوغ. ونلاحظ الشيء نفسه لدى النباتات، حيث تكون الأنسجة الفتية، وفي مرحلة النمو أكثر غنى بالماء من الأنسجة المعمرة.

وبالنسبة للحيوانات المتكيفة مع الحياة على اليابسة، فإن المشكلة الأساسية التي تصادفها هي مشكلة التزود بالماء والمحافظة عليه عن طريق تقليل خسارته المحتملة. وفي الواقع فإن خسارة بعض الكائنات الحية الأرضية لثلث ماء جسمها يسبب موت هذه الكائنات. ومع ذلك يجب الإشارة إلى أن هناك بعض الكائنات القادرة على الدخول في الحياة البطيئة، أو المتكيفة مع الأوساط الصحراوية، يمكنها أن تخسر كميات أكبر من ماء جسمها دون أن تتأثر بذلك.

3-2- طرق التزود بالماء :

يمكن للحيوانات أن تتزود بالماء بطرق مختلفة:

أ- عن طريق الشرب مباشرة.

ب- امتصاص الماء عن طريق الجلد العاري (ضفادع) الذي يكون على تماس مع مواد رطبة كالترية والنباتات.

ج- مباشرة من الغذاء.

د- إنتاجه بطرق كيميائية خلال دورة الاستقلاب، وهذه هي حالة الحشرات التي تتغذى بحبوب ومواد أخرى جافة كسوسة القمح (*Sitophilus granarius*) حيث يحتوى الكائن في مرحلة البلوغ على أكثر من 45% من وزنه ماء، بينما لا يحتوي غذاؤه العادي، في حده الأقصى، إلا على 10% من وزنه ماء، ونلاحظ الشيء نفسه لدى سوس الأرز (*S. oryzae*) التي لا يوجد تحت تصرفها سوى

15-16% ماء في الحبوب. بينما يحتوي الكائن البالغ على نسبة 50% من وزنه ماء.

ومن الواضح أن طرق التزود بالماء وكذلك طرق مقاومة جفاف الوسط، تلعب دوراً أساسياً في التوزيع الجغرافي للحيوانات. وحتى الآن لم يتم البرهنة على قدرة الحيوانات على امتصاص بخار الماء المنتشر في الجو المشبع، ما عدا الحالة التي يكون فيها توتر أو ضغط بخار الماء المحيط أعلى من توتر أغشية الحيوان السطحية قليلة النفوذ للماء. وبالنسبة للضفادع، فبالرغم من تعرضها لجو مشبع بالماء فإنه يمكن للتبخر أن يستمر عبر الجلد، لأن استقلاب الضفادع يستمر بإنتاج حرارة ترفع حرارة الجسم فوق حرارة الوسط المحيط. وهذا التسخين يرفع أيضاً نقطة الندى للهواء القريب من الجسم ويسمح إذن للماء الموجود على الجلد بالاستمرار بالتبخر. ومع ذلك فقد تم التأكد من قدرة الجراد على امتصاص بخار الماء الموجود في الجو المشبع بسبب الخواص المسترطبة لأغشيته.

3-3- الجفاف الفيزيولوجي :

لا تستطيع أغلب الحيوانات استعمال الماء في حالته الصلبة (ثلج، جليد)، وتجد نفسها إذا خاضعة لجفاف فيزيولوجي مع أنها تعيش في مشتع هائل من الماء المبلور. فس على ذلك تلك الكائنات التي تعيش في وسط مائي مالح، كالسبحات المالحة أو بشكل عام الأوساط البحرية الشاطئية، وهذه الكائنات لا تستطيع الاستفادة من الماء المحيط بها بسبب ملوحته العالية وضغطه الحلولي المرتفع.

وتتعرض الكائنات التي تعيش حياة نشيطة إلى صعوبات عديدة، بسبب اشتغالها على أنسجة غنية بالماء تكون على تماس دقيق مع أوساط جافة جداً أحياناً. ومع ذلك يمكن لهذه الكائنات أن تجد حلاً حتى في وسط الصحراء، لأنه لا يوجد مكان على وجه الأرض مجزئاً تماماً من الرطوبة الجوية.

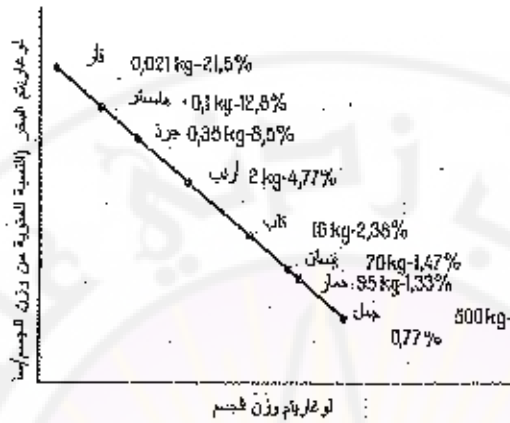
3-4- دور الماء في التنظيم الحراري للكائنات:

في المناخات القارية قليلة الرطوبة تمر غالبية المياه (99.9%) المغروفة من التربة عبر النباتات، ثم تنتشر بعد ذلك في الجو عن طريق النتح. وفي المناخات الأكثر رطوبة لا تتغير هذه النسبة كثيراً وتكون أعلى من 99%. ويساعد تبخر هذه المياه في حفظ المناخ بارداً نسبياً، لأن الانتقال من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية يتطلب حرارة، ويمثل وسيلة لخفض درجات الحرارة المحلية (يمتلك الماء استطاعة حرارية مرتفعة وحرارة بخر عالية). وبما أن أنسجة النباتات والحيوانات تتكون في جزء كبير منها من الماء، فإن سعتها الحرارية تكون قريبة من السعة الحرارية للماء، مما يشكل أيضاً وسيلة جيدة لمقاومة تقلبات الحرارة المحيطة. وإذا افترضنا وجود رجل في حالة الراحة، ومتوازن حرارياً مع وسطه المحيط فإن حرارته تزداد 2°C مئوية/ساعة بحكم نشاطه الاستقلابي فقط، إذا لم يكن يملك وسائل نشر الحرارة الزائدة.

وفي الحقيقة تشكل السعة الحرارية *Capacité thermique* (معدل تغير الطاقة الداخلية للمادة الحية بتغير درجة الحرارة) الكبيرة للדם، المؤلف في جزء كبير منه من الماء، وسيلة فعالة لنقل الحرارة من الأجزاء العميقة للجسم نحو السطح، حيث تنتشر بواسطة التعرق والاشعاع. ويتطلب تبخير 1 ل من الماء في الدرجة 33°C ما مقداره 580 كيلو كالوري، وتقابل درجة الحرارة 33°C درجة حرارة هواء الزفير المشبع ببخار الماء والذي يمثل إذن وسيلة فعالة لخسارة الحرارة، ويخسر الإنسان عن هذا الطريق حوالي 400 مل ماء في اليوم.

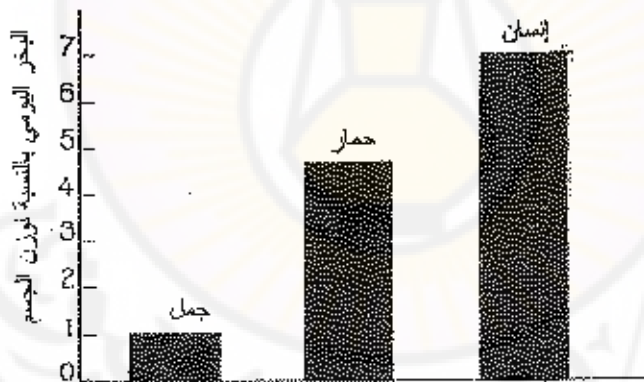
ويختلف أسلوب التنظيم الحراري لدى الثدييات حسب قدرتها على التعرق (الشكل 10 والشكل 11). فالأنواع القادرة على التعرق تزيد تواترها *Rythme* القلبي عند تسخين الوسط. ويساعد تنشيط الدوران المحيطي في تبريد الجسم. وعلى العكس، لدى الأنواع الأخرى التي لا تمتلك القدرة على التعرق، فإن

انقباض الأوعية المحيطية يقلص التبادلات مع الجو شديد التسخين، ويزداد تواتر التنفس حتى اللهاث من شدة الحرارة، ورغم ذلك تتجنب الحيوانات التي تتناسب إلى كلتا المجموعتين التعرض الطويل للتسخين الشمسي المباشر.



الشكل (10) البخار في وسط صحراوي

تقدير النسبة النظرية بين وزن الجسم وكمية الماء الذي يجب تبخيره في الساعة للحفاظ على الحرارة الداخلية ثابتة، في شروط صحراوية ودرجة حرارة قريبة من 40°



الشكل (11) كمية الماء المتبخرة في الصحراء في شهر حزيران،

من قبل ثلاثة أنواع من الثدييات معرضة للشمس

- يقابل المستوى صفر كمية البخار في الشتاء بالنسبة للأنواع الثلاثة.
- لايزيد الجمل هذه الكمية إلا بنسبة 1% من وزن جسمه، بينما يتجاوز كل من الحمار والإنسان كثيراً كمية البخار في الشتاء.
- تستند المعطيات الخاصة بالجمل والحمار إلى حيوانات محروسة وقتياً من الماء.

3-5 مقاومة الجفاف:

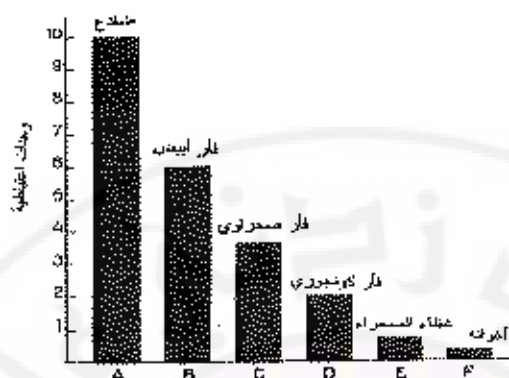
- تركز الوسائل المستعملة لهذا الغرض أساساً على ما يأتي:
 - تجنب خسارة الماء في مستوى الأغشية والأجهزة التنفسية والإطراحية، أو تطوير أشكال من المقاومة.
 - الهجرة عندما تصبح الرطوبة غير مناسبة.
 - أخذ الماء من الوسط الخارجي.
 - تكيف الاستقلاب لإنتاج الماء.

3-5-1 - كتامة الأغشية:

تعد كتامة الأغشية هي الشرط الأساسي الذي يسمح للحيوانات بالإقامة في الأوساط الجافة. فبالنسبة للفقاريات استطاعت العظائيات (Sauropsidés) والثدييات تطوير سلالات جيدة التكيف مع جفاف الوسط. أما البرمائيات، فعلى العكس من ذلك، لديها أغشية نفوذة جداً، وعليها أن تتجمع في الملاذات الرطبة، كما أنها لا تخرج إلا في الساعات الرطبة جداً، أي أن المناخ الذي تعيش فيه جافاً أم رطباً. وهكذا تبدي في حالة جفاف الوسط دورية يومية ذات قمة عند الغسق أو في الليل، وتتأثر هذه الدورية مباشرة بالوسط. ومن جهة أخرى، فإن استقلاب الأوت الذي يتم على شكل نشادر (Ammoniotélique) والحاجة إلى توافر الماء من أجل طرح البيوض، وتطورها وتنامي البرقات، يؤكد الفة البرمائيات العالية للرطوبة.

يوضح الشكل (12) أن الفروق في معدل خسارة الماء لدى الفقاريات الأرضية ذات القدر المتماثل تقريباً تكون مختلفة جداً، ويشير هذا الشكل إلى أن الضفدع (العلاجوم Crapaud) هو الأقل حماية ضد الجفاف، أما العظائيات (عظام الرمل وإغوانة الصحراء) فلديها حماية قوية ضد الجفاف بواسطة لحافاتها الثخينة والكتيمة. أما الثدييات، وحتى جيدة التكيف مع المناخات الصحراوية (الفأر

الأبيض والفأر الصحراوي والفأر الكونجوري)، فإنها مضطرة لخسارة الماء من أجل التنظيم الحراري، والشيء نفسه بالنسبة للطيور .

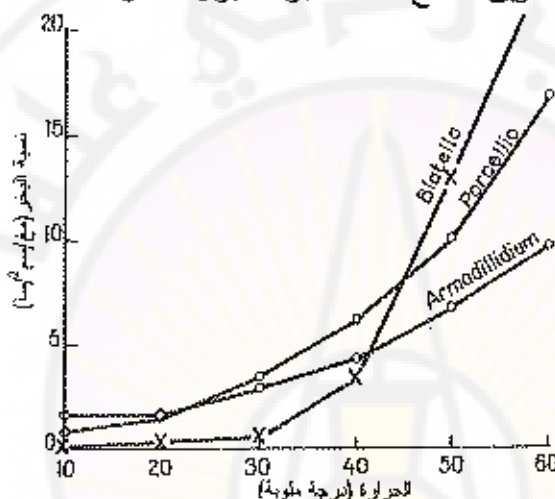


الشكل (12) مقارنة معدل اليغز لدى فقاريات متقاربة القدر، خاضعة للشروط نفسها من الرطوبة والحرارة المحيطة

ومن بين اللاقاريات، استطاعت الحشرات بشكل خاص تطوير سلالات جفافية وحتى اليفة جفاف حقيقية. أما مفصليات الأرجل الأخرى كالقشريات فلم تتمكن من متابعة هذا الاتجاه التطوري لأن قشيرتها بقيت نفوذه، كما أن استقلاب الآزوت لديها يتم على شكل نشادر، لذلك شكلت القشريات بشكل عام وفصيلة Oniscoides بشكل خاص مجموعة حيوانات غير مجهزة بشكل جيد للحياة على اليابسة (الشكل 13) ومع ذلك تشتمل هذه المجموعة على بعض الأنواع الصحراوية. ولا تخرج هذه الحيوانات إلا في الساعات الرطبة مع أنها تمتلك قشيرة ثخينة، وتحتل عادة أوساطاً دقيقة خاصة، وتقيم في المناطق التي يكون فيها الهطل الخفي مهماً نسبياً.

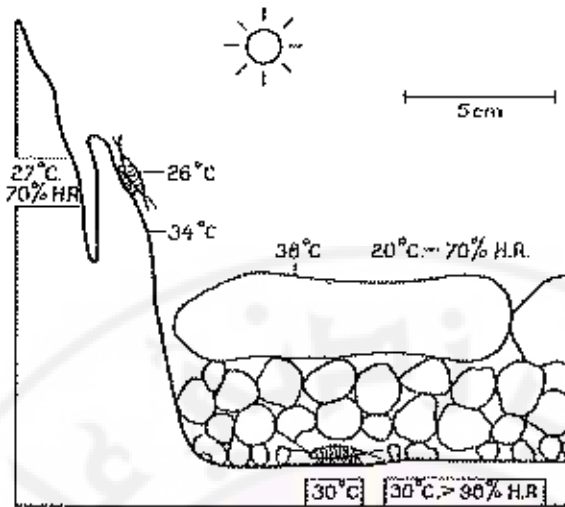
ومن المهم ملاحظة أن متماثل الأرجل Ligia من فصيلة Oniscoides يعيش في الطابق الشاطيء العلوي في سواحلنا، ولم يستطع تجاوز الوسط البحري. ويمثل هذا النوع من وجهة نظر بيئية، الحلقة الأولى في سلسلة التطور التي قادت إلى متماثلات أرجل اليفة صحراء "Deserticoles"، وإذا كانت يرقاته

تتطلب رطوبة محيطية قريبة من 100%، فإن البالغات لا تستطيع القيام بالتنظيم الحراري في رطوبة مرتفعة، لأن النتح يشكل الوسيلة الوحيدة الفعالة المتاحة لهذا الغرض. لذلك تضطر اليجيا حينئذ للخروج من مخابئها الرطبة وتعريض جسمها على الصخور والحجارة المسخنة بالشمس والتي يمكن أن ترتفع حرارتها حتى 35 إلى 40° (الشكل 14). وحينئذ فقط تستطيع التخلص من حرارتها الزائدة عن طريق تضح الماء عبر قشيرتها النفوذة.



الشكل (13) نسبة الرطوبة لدى نوعين من القشريات (*Porcellio*, *Armadillidium*) ونوع من الحشرات (*Blatta*) معرضة لحرارة تتراوح بين 10 إلى 60 درجة مئوية، وهواء جاف، خلال ساعة.

ويوجد في وسط الصحراء الكبرى بطنيات قدم رئوية من جنس *Eremina*، تتوضع غالباً على الصخور المسخنة جداً بأشعة الشمس، ولكنها تكون حينذاك في شروط من الحياة البطيئة جداً وليست في حالة النشاط. وعلى الرغم من كون جلد الرخويات نفوذاً جداً، إلا أن مجموع القوقعة الكلسية والغطاء بشكلان غلافاً محكماً تقريباً أيضاً يحمي الحيوان من الجفاف، كما ينتشر إفراز البولة لدى هذه الرئويات.



الشكل (14) العلاقات المتبادلة بين المناخ الدقيق والتنظيم الحراري لدى متماثل الأرجل *Ligia Oceanica*، في قاعدة جرف وبين حجارة الشاطئ

وأخيراً نشير إلى أن قوارض الصحراء والظباء تكون مجردة تماماً من الغدد العرقية التي تشكل الطريقة الأساسية لطرح الماء لدى الفقاريات غير الجفافية. ولقد رأينا فيما سبق كيف تتصرف هذه الثدييات، غير القادرة على التحرق، من أجل ضمان التنظيم الحراري لديها.

3-5-2- التوضع الداخلي للأعضاء التنفسية:

تشكل الأعضاء التنفسية مكماً ضرورياً للقسيرة الكثيمة، وهكذا فإن تقليل خسارة الماء عن طريق الأعضاء التنفسية والمعوي يشكل خطوة هامة نحو غزو الأوساط الجافة. وعلى هذا النحو يستطيع السمك العظمي *Periophthalmus* الذي يغطي جسمه حراشف كثيمة ترك وسط المستنقع ليعيش على الأشجار أو في أوساط رطبة أخرى. كما يمكن للقسريات عشاريات الأرجل (Decapoda) الأرضية كالسرطان أن تقوم بالتحرك لمسافات بعيدة نسبياً عن الماء، لأن هذه القسريات تمتلك فوقة كثيمة تغطي غلاصمها أيضاً، ولكن هذه الغلاصم لا تقوم بوظائفها إلا إذا كانت مغمورة بالماء. وهذا هو السبب الذي يربط هذه الحيوانات

بشكل دقيق بالوسط المائي، ولا يسمح لها بالإفلات منه أو الابتعاد عنه إلا بشكل مؤقت. ونذكر أخيراً أن الحشرات والعناكب وبعض بطنيات القدم الرئوية والفقاريات العليا هي الوحيدة التي استطاعت أن تطور أعضاء تنفسية داخلية، ومع ذلك فإنها تفقد كثيراً من الماء عن طريق التنفس.

3-5-3- تكيفات آليات الاطراح:

يجب أن نشير في البداية إلى أن القدرة على تركيز البولة وطرح نواتج هدم أكثر جفافاً، تشكل وسيلة هامة لتوفير الماء، وهكذا يكتسي طرح البولة الجافة معان هامة لاستقلاب الماء لدى الفقاريات والحشرات والرخويات القارية.

فأفراد فصيلة *Oniscoides* لا تكون إلا كمية قليلة من حمض البول وتستمر في طرح نصف أزوتها الهضمي على شكل نشادر (وهو مادة شديدة الانحلال وشديدة السمية، والكائنات التي تطرحها تدعى نشادرية *Ammoniotéliquies*)، وهذا ما تقوم به أغلب الحيوانات المائية بسبب توفر الماء لديها وسرعة اطراحها لهذه المفرزات. أما النعامة فبالرغم من بيئتها النموذجية السهوبية الجافة فهي تفرز البولة (وتدعى الكائنات التي تفرز البولة *Ureotelique* وتعد البولة أقل انحلالاً من النشادر ولكنها مع ذلك تصبح سامة وخطيرة على الأنسجة الحيوانية إذا كانت بتركيز عالية).

ويسبب تناقص مصادر الماء تغيراً في النواتج النهائية لاستقلاب الأزوت لدى بعض الحيوانات. فالسمك ثنائي التنفس *Protopterus aethiopicus* يفرز البول أو الجزء الأعظم من الأزوت على شكل نشادر أثناء حياته النشيطة وسط الماء، وعندما يصيف في شرنقته المخاطية والطينية فإنه يبدأ بإفراز البولة التي يصل وزنها في سنة إلى 1-2% من وزن الحيوان، وعندما يعود إلى الحياة النشيطة، فإنه يتخلص من هذه البولة ويعود استقلابه نشادرياً.

أما التماسيح فتكون عادة نشادية، ولكن إنتاجها من البولة وحمض البول (وهو مادة غير قابلة للانحلال وضعيفة السمية، ويمكن أن تخزن وتطرح على شكل بلورات) يزداد عندما تبتعد عن الماء. ونلاحظ السلوك نفسه لدى الضفدع عديم الذيل *Xenopus* حيث يكون نشادياً في الماء، ولكنه عندما يبتعد عن الوسط المائي يبدأ بإنتاج وتخزين البولة، ويعود نشادياً فور عودته إلى الماء.

كما دلت التجارب على ازدياد كميات حمض البول في كلية الرخوي *Pilaglobosa* كلما ازداد الجفاف في الحوض الذي يعيش فيه هذا الرخوي. ويمكن أن يخزن كمية من حمض البول تفوق الكمية التي كان يشتمل عليها عند خروجه من الماء بأربعين مرة، وسرعان ما يتخلص منها فور عودته إلى الماء. وتشير أخيراً إلى أن الحيوانات التي تجبرها شروط الوسط على توفير الماء تقوم بطرح براز جاف. فالقواضم والظباء العاشبة الصحراوية تطرح برازاً أكثر جفافاً من أغلب العاشبات الأخرى، ويعد طرح البراز الجاف فعلاً عادياً بالنسبة للحشرات والطيور والزواحف التي تعيش في الوسط الجاف.

3-5-4- توقف الحياة النشيطة وتطوير أشكال مقاومة:

تعد ظاهرة توقف الحياة النشيطة طريقة فعالة لمقاومة فترات الجفاف التي تتعرض لها بعض الحيوانات، وتنتشر هذه الظاهرة لدى الحيوانات التي تعيش بين الحزازيات *Mousses* كالديدان الخيطية والدوريات والحيوانات الأولية، التي لا تشرع في الحياة النشيطة إلا عندما تصبح الحزازيات مرطبة بالأمطار أو بالهطولات الخفية، لأن أسلوب حياة هذه الحيوانات أقرب إلى المائي منه إلى الأرضي.

ونلاحظ الشيء نفسه لدى بطنيات القدم الصحراوية وعموماً لدى رثويات المناطق الجافة التي لا تنظم، تذكر منها على سبيل المثال الرخويات التي تصيف فوق الكثبان الرملية الشاطئية وعلى أدغال منطقة البحر المتوسط، حيث

تستطيع بعض الرثويات المعيشة في هذه الشروط عدة سنوات عن طريق اجتفافها الشديد.

أخيراً، لا تقضي بعض الأنواع الفترة السنوية قليلة الرطوبة وهي في الحالة البالغة إنما تقضيها على شكل بيوض ذات غلاف كثيم، أو تقوم بتطوير أشكال خاصة مقاومة للجفاف كالأكياس والدريرات لدى الاسفنجيات. كما تسلك النباتات السلوك نفسه عن طريق تطوير بذور ودرينات.. الخ.

وهنا أيضاً تشكل ردود الأفعال هذه النتيجة الفيزيولوجية للتأثر بين الرطوبة والحرارة، وعادة ما يتطابق الفصل الجاف مع الصيف الحار وأحياناً مع الشتاء الحار، أي مع الشروط الحدية.

3-5-5- الانتقال :Déplacement

يتضمن الانتقال ثلاثة أشكال هي:

أ- الهجرة migration: تشكل الهجرة رد فعل شائعاً لدى العديد من ثدييات وطيور المناطق الخاضعة لإيقاعات فصلية من جفاف الوسط.

ب- الهجرة الدائمة emigration: وهي عبارة عن انتقال نهائي يتم عندما يصبح المناخ جافاً جداً، والمثال المشهور على ذلك هو انتقال فونة السهوب كالفيلة والزرافات والغزلان... الخ إلى جنوب الصحراء الكبرى عندما أصبحت هذه المنطقة صحراء حقيقية، وذلك في العهد الروماني أو قبل ذلك بقليل. ويمكن الاستدلال على وجودها القديم في تلك المنطقة من النقوش والمنحوتات الصخرية.

ت- الترحال nomadisme: الترحال هو سلوك الثدييات التي تتعقب تغير أماكن الرعي ومصادر المياه، دون العودة بانتظام إلى نقطة الانطلاق. وتعزى الهجرة غير المنتظمة للحيوانات، جزئياً، إلى الجفاف الذي يعد سبباً مباشراً لتناقص المصادر الغذائية.

ث- ويمكن تسجيل تنقلات بسيطة تقوم بها بعض الحيوانات، كالانغراس في التربة أثناء فترة الجفاف الشديد، أو البحث عن مناخ دقيق محمي ويحتفظ بدرجة عالية من الرطوبة. وهذه هي حالة الحيوانات المائية كالفقاريات والرخويات التي تنغرس في قاع البرك الوقتية الأخذة بالجفاف. كما تدخل بعض الرخويات والمفصليات في شقوق الصخور، أو تختبئ تحت الحجارة أو تنغرس في الرمال. أما ديدان الأرض فتغوص في طبقات التربة العميقة.

ج- ويتضمن حافز الحفر والبحث عن شقوق وملاجئ رطوبة جانباً تطورياً خاصاً يتمثل في بناء الأعشاش المغطاة والمحمية كما هو الحال لدى الحشرات الاجتماعية. قس على ذلك الأعشاش والجحور والمغاور التي تعدّها بشكل بدائي اللواحم الكبيرة والقواضم، حيث تحتفظ بمناخ دقيق أكثر اعتدالاً من الوسط الخارجي، إن كان بالنسبة للرطوبة أو للعوامل البيئية الأخرى على حد سواء. أحياناً يمكن أن يمثل التجمع البسيط لمجموعة من الأفراد وسيلة للإفلات جزئياً من الوسط المحيط، وتلاحظ هذه الظاهرة لدى الفقاريات متجانسة الحرارة كالطيور والعاشبات ولدى اللاقاريات على حد سواء.

3-5-6- تشكيل الماء اعتباراً من الغذاء، فيزيولوجية الثدييات أليفة الصحراء:

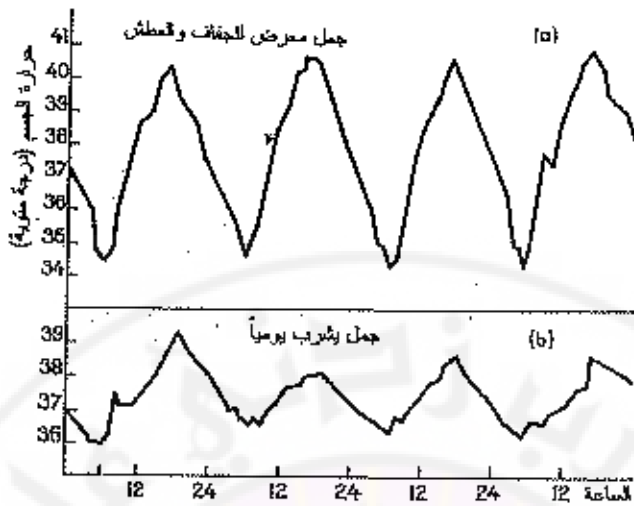
تمثل الآلية التي يتم فيها تركيب الماء من أكسدة المواد الدهنية الآلية التي تسمح للحشرات والثدييات والطيور أليفة الجفاف بالمعيشة دون شرب. ويجب ألا نخلط بين هذه الطريقة من طرق التزود بالماء وبين الهضم البسيط للماء النسيجي للأغذية، فكثير من اللواحم التي تتغذى على لحوم طازجة وعدد كبير من العاشبات التي تتغذى على نباتات رطبة يمكنها المعيشة هي أيضاً دون الماء، ولكن ذلك لا يعني إلا عزوفاً ظاهرياً فقط عن الشرب، لأن هذه الحيوانات تستعمل الماء الموجود في غذائها فهي إذاً تشرب الماء فعلياً.

وتستند المقاومة المعروفة جيداً لدى الجمل المشروط الصحراوية الصعبة على سلسلة من التكيفات الفيزيولوجية. فالجمل يستطيع إنتاج ماء الاستقلاب من أكسدة الشحوم المخزنة في سنامه، كما تقدم له في الوقت ذاته الطاقة الضرورية لتقلباته الطويلة بين مصادر المياه. ويستطيع أيضاً تخفيض حجم البول اليومي إلى خمسة لترات تقريباً.

وتجدر الإشارة إلى أن الماء الذي يخزنه الجمل في معدته لا يبدو أنه يلعب دوراً مهماً، ونشير أيضاً إلى أنه يمتلك غدداً عرقية. ففي فصل الشتاء، حيث يتاح له نباتات خضراء رطبة، يمكنه أن يقاوم حتى ستين يوماً دون شرب. وحتى في فصل الصيف، يمكن للجمل المرتاح والمعرض لأشعة الشمس أن يعيش أسبوعين على نباتات جافة. وفي الشتاء يكون معدل التجدد الدوري للماء Turnover (هو الجزء من الكمية الاجمالية للماء الموجود في الكائن أو التي تخرج منه في واحدة الزمن) متماثلاً تقريباً لدى الإنسان والجمل.

وبالخلاصة، فإن الجمل لا يستطيع تخزين الماء، فهو يتعرق ولا يستطيع إنتاج بول مركز جداً ويخسر الماء بالتنفس. غير أنه يبدي خاصيتين فيزيولوجيتين تستند عليهما قدرته على البقاء فترة طويلة دون شرب.

أولاً - يستطيع إيقاف تعرقه حالما تتناقص نسبة الماء في جسمه، ويمكنه حينذاك أن يتساهل مع ارتفاع في درجة حرارته الداخلية تصل إلى 6.2°C (الشكل 15)، ويوفر بهذه الطريقة الماء الذي يحتاجه لنشر هذه الحرارة الزائدة (وهذا التوفير يعادل 5 لتر في اليوم بالنسبة لحيوان يزن 400 كغ). ويتخلص من هذه الحرارة الزائدة أثناء الليل، حيث تنخفض درجة حرارته، وفي الفجر يتزامن توسع الأوعية المحيطة الأعظمي مع أدنى درجة حرارة يومية، بشكل يخسر معه أكثر الحرارة بالإشعاع وينتهي من جديد لارتفاع مفرط في درجة الحرارة.



الشكل (15) التنظيم الحراري لدى الجمل

2- جمل معرض للتعطش: الفارق الحراري اليومي من رتبة 5-6 درجات.

1- جمل يشرب يومياً: ينخفض الفارق اليومي إلى 2-3 درجات.

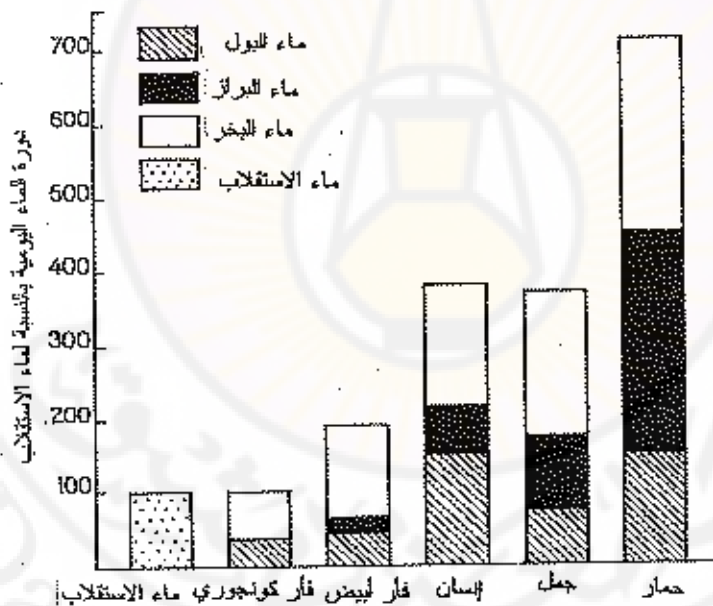
وتتجمل سهولة التكيف التعرق مع تغير مقدار الماء في الجسم عن وجود طبقة الوبر الشحينة التي تغطي جسم الجمل، والتي تشكل عازلاً حرارياً فعالاً أثناء النهار. وعندما يقص وبر الجمل فإن خسارته من الماء تزداد.

ثانياً - يستطيع هذا الحيوان تحمل خسارة بالماء تعادل 30% من وزنه، بينما تسبب خسارة 20% للسبب نفسه موت الإنسان وأغلب الثدييات نتيجة ارتفاع الضغط الحلوي. كما أنه يستطيع أن يعيد الماء إلى جسمه بسرعة وبشكل كامل عندما يجد ماء تحت تصرفه، وهذا ما لا يستطيعه الإنسان والثدييات الأخرى، ويعود ذلك إلى بعض الخصوصيات التي يشتمل عليها دم الجمل، فالكريات الحمر البيضوية تستطيع أن تتمدد في أوساط قليلة الضغط الحلوي لأكثر من ضعف حجمها. ويستطيع الجمل بعد التعطيش من شرب كمية كبيرة من الماء تصل إلى 100 لتر في عشر دقائق، دون أن تتعرض خلايا الدم للتكسير، ويرجع ذلك إلى قدرة الخلايا على تغيير شكلها وثباتها ضد الضغط الحلوي. وعلى العكس من ذلك، لا تستطيع الخلايا الحمر في الثدييات الأخرى تحمل

الضغط الحلولي المنخفض للدم وبالتالي تتكسر. ومع ذلك فإن الجمل الذي يعمل في الشمس يجب أن يشرب كل ثلاثة أيام على الأقل، لأن استقلاباته العالية ترفع إنتاجه الحراري بحيث يصبح التعرق ضرورياً.

الفأر الكنجوري *Dipodomys*.

يعد الفأر الكنجوري حتى الآن الثديي الوحيد المعروف القادر على إنتاج كميات كافية من الماء عن طريق الاستقلاب فقط (الشكل 16). وزيادة على ذلك فهو قادر على تركيز البول بشكل كبير إلى درجة أن الضغط الحلولي يكون أعلى بخمس مرات من الضغط الحلولي لماء البحر وبأربع مرات من الضغط الحلولي الأعظمي لبول الإنسان. وعلى أية حال، بسبب حجمه الصغير بالتوازي مع كل خسارة للماء، ميلاً ملحوظاً لتركيز سوائله الداخلية.



الشكل (16) دورة الماء اليومية لدى الثدييات المختلفة.

كمية الماء المفقودة والمعاد في اليوم مشار إليها في محور العينات، ويعبر عنها بالنسبة المئوية لماء الاستقلاب اعتباراً من غذاء جاف. فقط الفأر الكنجوري لديه القدرة وعلى تأمين توازن مائي عن طريق ماء الاستقلاب فقط. تحتاج الثدييات الأخرى لكميات من الماء أكثر بكثير من الكميات التي تستطيع تأمينها من الغذاء الجاف.

كما ينتج أيضاً برازاً جافاً جداً، ويتساهل كالجمل مع زيادة كبيرة في حرارته الداخلية. ولا يملك غدداً عرقية، فهو لا يتعرق إذن أبداً. كما يستطيع تخفيض خسارة الماء عن طريق التنفس بواسطة طرح الهواء من الأنف: فالهواء المطروح على هذا النحو يكون مشبعاً في درجة حرارة أخفض من حرارة الجسم، ويشتمل إذن على كمية أقل من الماء. ويبدى الفار الكنجوري، مع ذلك دورية يومية واضحة من النشاط: فهو لا يخرج إلا في الليل وينسحب أثناء النهار إلى جحره حيث يجد فيه ملجأ ملائماً.

4- الماء في التربة :

4-1 حالة الماء في التربة:

يتواجد الماء في التربة جيدة التصريف بحالات مختلفة هي:

- أ- الماء المسترطب: وهو الماء الذي تمتصه جذريات التربة من الجو، أو الذي تحتفظ به عندما تجف في الهواء ويكون على شكل أغشية رقيقة جداً تحتجزها التربة بشدة يستحيل على الجذور الماصة التغلب عليها، لهذا السبب فإن هذا الماء غير متاح للنباتات ولا يمكنها الاستفادة منه (الشكل 17).



الشكل (17) الحالات المختلفة للماء في التربة

ب- الماء الشعري غير قابل للامتصاص: يملأ هذا الماء المسامات الدقيقة للتربة ويكون على شكل أغشية رقيقة تغلف حبيباتها، وتكون هذه الأغشية مشدودة إلى أسطح الحبيبات بقوة كبيرة نسبياً تفوق قوة امتصاص الجذور، مما يجعله غير متاح أيضاً للنباتات.

ج- الماء الشعري قابل للامتصاص: يملأ هذا الماء المسامات الكبيرة، وتستطيع جذور النباتات امتصاصه.

ويسمح قياس مجموعات المياه الثلاثة السابقة (المستربة والشعرية) بتقدير المسامية الشعرية أو المسامية الدقيقة للتربة.

د- الماء الثقالي: يعد المطر من أهم مصادر ماء التربة، وإذا نتبعنا مصيره بعد سقوطه على التربة نجد أن هذه التربة تنتشع به في بادئ الأمر تشبعاً تاماً، ثم يرشح الماء الفائض بعد التشبع ويعرف بالماء الثقالي، ويكون موجوداً في الثقوب الكبيرة وممسوكاً على أسطح الحبيبات بقوة سطحية أضعف من قوة الجاذبية الأرضية، لذلك فهو يرشح بتأثير الثقالة، وذلك هو الماء الفائض بعد التشبع. وإذا لم يكن هناك تصريفاً طبيعياً، وإذا لم يتمكن الماء الثقالي من التسرب فإن التربة تصبح مشبعة بالماء. ويمكن أن يكون السبب وراء ذلك إما وجود حوض ماء جوفي دائم يتغير مستواه حسب الفصل، أو بسبب جريان غير كاف للماء الثقالي، والذي يسمح في الفترة الرطبة بتشكيل أحواض مائية وقتية راكدة على السطح.

2-4 تأثير الماء في كائنات التربة :

يلعب الماء الثقالي دوراً مدمراً بالنسبة لحيوانات التربة، بينما يلعب الماء الشعري، وخاصة بالنسبة للحشرات، دوراً أساسياً ملائماً. وتكتسب التقلبات السنوية لرطوبة التربة أهمية كبيرة، ويمكن أن نحدد اختلافات معنوية بين تربيين لاختلافان عملياً إلا بمدى وتواتر هذه التقلبات. ولا تنشط أغلب حيوانات التربة الكبيرة (حلازين، ديدان أرض) أو الصغيرة (ديدان خيطية، دوارات) إلا عندما

تكون التربة رطبة، ويسمح التكيس أو الطرق الفيزيولوجية المماثلة لعدد كبير من الحيوانات الصغيرة بتحمل فترات جفاف التربة.

ويمكن أن يعيق الإفراط في الماء حركة الديدان الخيطية، والتي تنتقل على طول الحد الفاصل ماء - هواء، كما يعيق التنفس الطبيعي لعدد من الكائنات الصغيرة التي تسكن الفجوات. وهناك بعض الكائنات، كأغلب يرقات الحشرات، تكفي بالجو المشبع بالرطوبة.

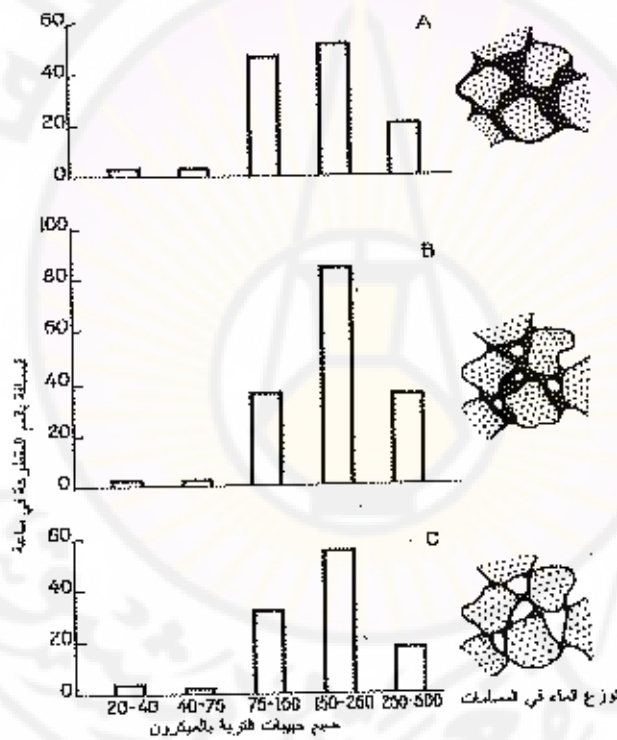
وتتطلب بعض الحشرات من رتب *Diplaura*, *Protoura*, *Collembola* (صف *Entognatha*) أوساطاً مشبعة عملياً بالرطوبة، وتكون هذه الحاجة على علاقة مع بنية قشيراتها التي تكون رقيقة وحساسة وناقصة الكتامة. وأخيراً تمثل الحشرات البالغة والفقاريات العنصر الأكثر ألفة للجفاف من بين حيوانات التربة. وتكون العلاقات المتبادلة بين الحرارة والرطوبة واضحة بشكل خاص لدى بعض حشرات التربة. يُذكر على سبيل المثال حالة غمدي الأجنحة *Dyschirius Thoracicus* الذي يبدي تفضيلاً لدرجة حرارة أكثر انخفاضاً كلما كانت التربة أكثر جفافاً.

وهناك عدد كبير من الحيوانات التي يمكنها أن تتساهل مع الغمر المديد كـ بعض أنواع قليلات الأهلاب (*Oligochète*). وتتساهل مجموعة الحشرات الحافرة *Courtillières* (مستقيمات أجنحة) بشكل جيد مع الغمر، وتستطيع تجنب تبللها بفضل غلاف من الأهلاب (*Soies*) الناعمة، كما أنها تستطيع السباحة. ويمكن للتربة أن تحتوي على عدد من التجاويف لا تكون مملوءة بالماء تماماً، بحيث تبقى على كمية من الهواء تكفي الحيوانات القادرة على تخفيض احتياجاتها التنفسية الهوائية إلى حد كبير.

وتعد نسبة الماء في التربة هي المسؤولة الأساسية، أكثر من الحرارة، عن الهجرة العمودية للأنواع الصغيرة، لأن هذه الأنواع وخاصة أليفة الرطوبة، تبحث في داخل التجاويف والشقوق عن الأماكن التي يكون فيها نقص الإشباع قليل الأهمية ولا يحصل إلا في فترات قصيرة. ومع ذلك يمكن أيضاً أن يعزى لتوهية

التربة دور أساسي فيما يخص مدى الهجرة العمودية لهذه الكائنات. كما يشاهد أيضاً هجرات أفقية باتجاه المياه القريبة لدى حشرات قمص البقول *Tipulides* (ثنائيات أجنحة) التي تلتهم جذور النباتات.

وتتعلق سرعة التنقل النشيطة للديدان الخيطية بمحتوى التربة من الماء، وتكون سرعة هذه الديدان أعظمية عندما تكون مسامات التربة فارغة نسبياً، كان يبقى فقط طبقة رقيقة من الماء في نقاط تماس جزئيات التربة (الشكل 18). أما المسامات المملوءة تماماً بالماء، أو الجافة جداً، فهي غير ملائمة للتنقل السريع لهذه الحيوانات.



الشكل (18) هجرة يرقات الدودة الخيطية *Heterodera* في أجزاء مختلفة من التربة، على علاقة مع نسبة رطوبة التربة تشير المخططات في الجهة اليمنى من الشكل إلى توزيع الماء (اللون الأسود) في مسامات ثلاث عينات من التربة

وأخيراً ، يمكن للمياه التي تسيل على السطح أن تلعب دوراً مهماً في تشتت الأنواع، إن كان بالنسبة للأشكال النشيطة أو المتكيسة. وهذا ما تم إثباته بالفعل لدى الديدان الخيطية.



الفصل الرابع

الضوء كعامل بيئي



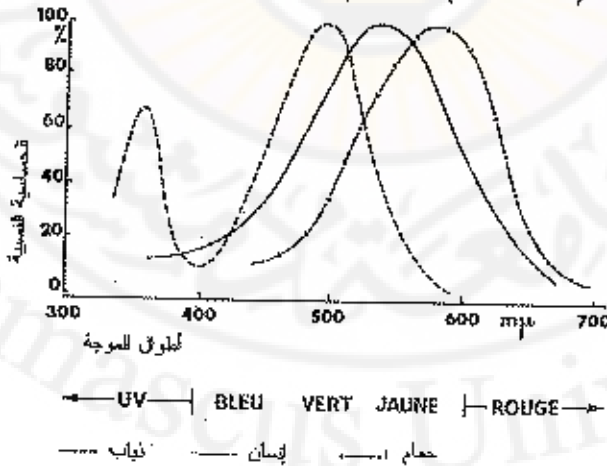
الفصل الرابع

الضوء كعامل بيئي

1- الأهمية البيئية للضوء:

تعد طاقة الضوء العامل الرئيسي المسبب للظاهرة الأساسية في المحيط الحيوي أي عملية التركيب الضوئي. بالإضافة إلى ذلك، فإن أغلب التواترات البيولوجية الخارجية أو الداخلية، أي التغيرات الدورية لنشاط الكائنات الحية تتعلق بشكل مباشر أو غير مباشر بالتناوب اليومي لفترات من الإضاءة والظلام، مثلما تتعلق أيضاً بالمدة النسبية لهذه الفترات خلال العام.

ويعتمد على الضوء إذا مجموعة واسعة من الظواهر البيولوجية نذكر منها: التركيب الضوئي، تركيب الكلوروفيل نفسه، تشكيل الكلوروبلاست، شدة التنفس، إنبات البذور، نمو النبات، الإزهار، الانتحاء الضوئي، الدورية الضوئية (الساعة البيولوجية) وتغيراتها، ظواهر سيتوبلاسمية ونووية متعددة، التنشيط الضوئي والتثبيط الضوئي، الوقاية الضوئية، نشاط مبيدات البكتريا، الاستقبال الضوئي البصري (الشكل 19)، التحكم بحاملات الصبغة.



الشكل (19) حساسية مختلف أطوال الطيف الضوئي لدى الإنسان والحمام والذباب

ويقوم الضوء المرئي لدى الكائنات غيرية التغذية بدور عامل محدد ولكنه على أي حال أقل أهمية من دور الرطوبة مثلاً. فهناك بعض البكتيريا والحيوانات التي تتبع لعدد محدود من المجموعات، تستطيع الاستمرار بالمعيشة بغياب الضوء، نذكر منها كائنات الأعماق البحرية، وحيوانات المغارات، والكائنات التي تعيش في التربة. كما تعيش الطفيليات بشكل طبيعي في الأنسجة المظلمة لمضيفها... الخ.

وعلى أية حال، فإن هذه الكائنات تعتمد في غذائها، سواء كانت لاحمة أو قارته Detritivores أو طفيلية على أشكال الحياة في المناطق المضاءة من المحيط الحيوي، مثل بقية الكائنات الأخرى غيرية التغذية.

2- أثر الضوء في سلوك الكائنات الحية:

2-1- الدورية اليومية:

يمتلك العديد من الأنواع دورية يومية لعدد من النشاطات الفيزيولوجية، وتتعلق هذه الدورية بالتناوب بين الليل والنهار. وتدعى الآلية المسببة لهذه الظواهر "بالساعة البيولوجية" والأمثلة عليها عديدة نذكر منها: الإضاءة الحيوية والانقسام الخلوي لدى السوطي Gonyaulax، والاقتران لدى البرمسيوم، الإحساس بالوقت لدى النحل، والنشاط الحركي لدى الصرصور... الخ.

ويطلق اسم الدورية اليومية على الحوادث البيولوجية الدورية ذات التحكم الداخلي، والتي ينظمها على ما يبدو آلية تعمل بشكل متواصل، ومدتها الوسطية 24 ساعة. ومع ذلك فإن الوسط ليس مجرداً من الأهمية، لكنه يعمل بشكل عام كوسيلة للتزامن، والعامل المزامن الأكثر أهمية هو غالباً الضوء.

وتفضل كثير من الحيوانات النشاط في ساعات خاصة من اليوم فهناك الحيوانات النهارية التي تنشط أثناء النهار، وحيوانات ليلية يقتصر نشاطها على الفترة المظلمة من اليوم. وتمثل الخفافيش حالة مدروسة بشكل جيد من وجهة

نظر تجريبية، فهذه الحيوانات الليلية تخرج من مخابئها عند الغسق للبحث عن الغذاء ولكن ليس بسبب غزارة فرائسها في ذلك الوقت فقط، لأن هذه الحيوانات تبدي النشاط التواتري نفسه في المخبر وفي شروط واحدة من الظلام التام. وعلى أية حال فإن هذا التواتر لا يتم في 24 ساعة بالضبط. ولكنه يمكن أن يبدي اختلافات فردية قد تصل إلى 23 ساعة.

وهناك تواترات سلوكية أخرى لدى أنواع أخرى يكون لها فترات مختلفة: فصلية أو شهرية - قمرية أو سنوية أو تتعلق بالمد والجزر... الخ.

2-2- الدورية الضوئية Photoperiodisme :

ويطلق اسم الدورية الضوئية على الدورية الفصلية للنباتات والحيوانات، والتي تنشأ عن التقدير الدقيق لتغيرات مدة النهار والليل خلال العام. ونذكر مثلاً على ذلك هجرة الطيور، والنضج الجنسي لديها الذي يمكن إحداثه خارج الفصل الطبيعي (في الخريف)، عن طريق إطالة مدة النهار اصطناعياً. كما تم التعرف على أمثلة عديدة عن تأثير المدة الضوئية في النشاط الجنسي لدى العديد من الفقاريات متجانسة الحرارة.

وكما رأينا سابقاً فإن ظاهرة السكون لدى اللاقاريات تكون على علاقة وثيقة مع مدة الإضاءة. كما أن تأثير مدة النهار على إزهار النباتات وسقوط أوراقها معروفة منذ زمن بعيد. فالنباتات ذات النهار الطويل لا تستطيع الدخول في الإزهار إلا في فترة ربيع - صيف، أما النباتات ذات النهار القصير فعلى العكس لا تزهر إلا في الخريف. ولقد برهنت عدة تجارب على أن طول الليل أي فترة الظلام هي التي تؤخذ بالحسبان، فعندما تقطع الليالي الطويلة بفترات إضاءة قصيرة، فإن النباتات ذات النهار القصير لا تصل إلى الإزهار، بينما لا يكون لقطع النهار بفترات ظلام قصيرة أي تأثير مهم.

ويمكن أن يلعب أثر النهار دوراً مهماً في التحريض على إنبات البذور أو إيقافه لدى النوع نفسه. والأشعة الحمراء هي الأكثر فعالية في هذا التحريض، كما في تحريض تشكيل الأصبغة الانتوسيانية (anthocyaniques) في أنسجة النباتات، وتشكيل الأصبغة الصفراء في بشرة البطاطا، وفي استطالة الساق ونمو الأوراق لدى الفصيلة الفراشية.

ومن بين نتائج غياب الأثر المحرض للضوء الأحمر من الطيف الشمسي، نذكر توقف إنبات البذور الساقطة على التربة في غابة كثيفة، حيث تبقى هذه البذور في حالة راحة حتى تقوم الرياح أو المياه بنقلها إلى مناطق مشمسة، وهناك تتلقى الطاقة الضوئية الضرورية لتحريضها وبدء نموها.

وبالنسبة، يمكن القول إن الساعة البيولوجية واسعة الانتشار إن كان بالنسبة للكائنات الحية نفسها أو بالنسبة لوظائفها. وهذه الساعة داخلية المنشأ وجزئية. ويمكن أن تتزامن مع الوسط الخارجي بواسطة دورية ضوئية أو حرارية. ولكن الحرارة لا تغير تواترها بشكل محسوس مما يستدعي تدخل ظاهرة التعويض الحراري. وتوجد الساعات البيولوجية لدى الكائنات وحيدة الخلية كما توجد لدى الكائنات كثرات الخلايا المعقدة، وتشتمل هذه الساعات لتلبي كل أنواع الاحتياجات التكيفية لهذه الكائنات. ويجب الاعتراف بأن الآلية الأساسية لهذه التواترات غير معروفة حتى الآن بشكل جيد. ولكن نتيجة الدراسات الحديثة للاستقلاب الخلوي فإنه يتوفر لدينا حالياً من المعلومات ما يؤكد أن آليات اصطناع وعمل الجزيئات الضخمة DNA و RNA تتعلق بشكل دقيق بهذه الساعات.

2-3- الانتحاء الضوئي Phototropisme والحركة الضوئية Phototaxie:

يقصد بالانتحاء الضوئي الحركة التي يسببها الضوء لبعض عناصر الكائن الثابت، ويشتمل هذا المصطلح في الفيزيولوجيا النباتية بشكل خاص. أما

مصطلح الحركة الضوئية فيعني انتقال الكائنات أو المركبات الخلوية بتأثير الضوء. وتتسج حركات الانتحاء الضوئي من إعادة توزيع الأوكسينات (Auxiness هرمونات نباتية) بتأثير الضوء.

وتتلخص الاستجابات على تأثير الضوء بما يأتي:

1- استجابات إيجابية تترجم بحركات نحو الضوء، وسلبية تترجم بالابتعاد عن مصدر الضوء.

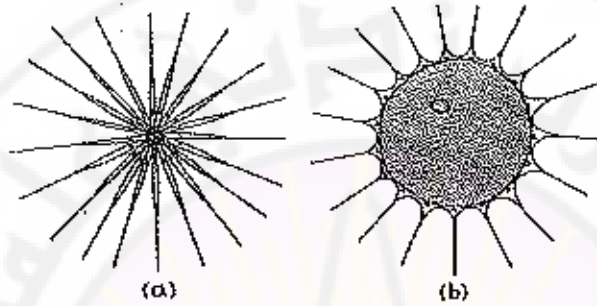
2- امتصاص الضوء الأزرق من قبل الصبغات المعنية: صفراء (فلافونيدات) أو برتقالية (كاروتينويدات).

3- ازدياد مدى الاستجابة، إذا كانت الإضاءة منخفضة، مع ازدياد الشدة الضوئية، أما في الشدات الضوئية العالية فينتج إشباع ضوئي وتتناقص الاستجابة حتى تنعدم. وتكون الاستجابة عكوسة ضمن مدى محدد من درجات الشدات الضوئية.

ويسبب التنبيه المباشر للضوء تقلصاً عضلياً للقرحية المعزولة لدى البرمائيات (ضفدع، عرجوم Bufo، ضفدع الأشجار Hyla) أو الأسماك العظمية كالحنكليس والترويت. وتكون هذه الظاهرة عكوسة، وتم إثبات التقلص نفسه على قرشيات ممتدة بالكامل في حذقة متسعة بسبب الأتروبين، كما تحدث هذه الظاهرة أيضاً لدى الحيوان الحي. أما لدى الإنسان فلا يحصل شيء من هذا القبيل، لأن مصرة الحذقة تكون تحت السيطرة العصبية ولا تنتشط إلا عندما يصل الضوء إلى الشبكية ومنها إلى الجهاز العصبي. ويتناسب قطر الحذقة مع مقلوب الجذر التربيعي للشدة الضوئية، فسطح الحذقة يتغير إذا عكس مع الشدة الضوئية.

أما حاملات الأصبغة فهي عبارة عن خلايا صبغية يمكنها أن تتكثف أو تنتشر بشكل يتغير معه لون الجلد الذي تتوضع عليه. فلدى الحبار من

راسيات الأرجل Cephalopoda تكون هذه الخلايا على هيئة كيس صغير محاط بالألياف عضلية ملساء (الشكل 20). وعندما تتمدد هذه الألياف فإن الكيس الصبائي يتمدد على شكل قرص حيث يصبح السطح أكثر اتساعاً بستين مرة مما كان عليه في حالة الراحة، معطياً بذلك للجلد لوناً غامقاً (داكناً).



الشكل (20) حاملات الصبغة لدى الحبار *Loligo*

حسب التنبه الضوئي الذي يتلقاه الحيوان، فإن الألياف العضلية المحيطة تنقبض أو تتمدد

مما يسمح بتمدد (b) أو تكثف (a) الصبغات في الخلية المركزية

ويمكن لحاملات الصبغة أن تتنبه إما مباشرة أو بواسطة الجهاز العصبي. وتبدي بعض الكائنات دورية لاتساع حاملات الصبغة وتتعلق هذه الدورية بالشمس أو بالمد والجزر أو بالقمر. ويمكن أحياناً أن يتدخل التحكم الهرموني في هذه الدورية كما هو الحال لدى الحنكليس (Anguille). ونشير إلى أن الكيمياء الضوئية للتنبه المباشر للضوء مازالت غير معروفة.

2-4- ألفة الضوء Photophilie وألفة الشمس Heliophilie:

يدعى الكائن أليفاً للضوء عندما يحتاج إلى إضاءة قوية لإنجاز وظائفه بشكل طبيعي. وعلى العكس فإن الكائن كاره الضوء هو الكائن الذي لا يتساهل مع الضوء القوي، وتدعى هذه الكائنات أيضاً أليفة ظلام Scotophiles (من اليونانية Skotos ظلمة obscurité). ويجري الحديث أحياناً عن الانجذاب نحو الظلمة Scototropisme والذي لا يعدو كونه مرادفاً للانجذاب الضوئي السلبي.

ويستعمل اصطلاح ألفة الشمس كمرادف لألفة الضوء، خاصة بالنسبة للنباتات والحيوانات التي تعيش عليها. وفي الحقيقة فإن كل النباتات الخضراء أليفة ضوء مجبرة. ولكن من بينها ما هو أليف شمس ومنها ما هو أليف ظل Sciaphiles، وهذه الأخيرة تنمو بشكل مثالي تحت إضاءة مصفاة ومخفضة (نباتات ما تحت الغابة مثلاً).

وفي الحقيقة تتميز بيئة الكائن أليف الشمس عن بيئة الكائن أليف الظل، ليس فقط باختلاف الإضاءة في مواقعها الحيوية الخاصة، وإنما أيضاً بخصائص أخرى تنتج عن اختلافات في المناخ الشمسي: كالتفاوتات الحرارية، ورطوبة الوسط... الخ. وهكذا فإن النباتات أليفة الظل تتطلب رطوبة عالية ومناخاً أكثر اعتدالاً من النباتات أليفة الشمس في المنطقة المناخية نفسها.

ومن بين الحيوانات الأرضية فإن أغلب الكائنات التي تعيش بين أوراق النباتات الميئة المنتشرة على سطح التربة، والعديد من الحيوانات المرتبطة بالنباتات (Phyticoles) التي تعيش في الغابات وبين الأوراق تكون أليفة ظل. أما الحيوانات أليفة الشمس فهي الحيوانات المرتبطة بنباتات المناطق المشمسة جداً (صحراء، كثبان رملية شاطئية، أدغال البحر المتوسط... الخ)، والتي تتطور على نباتات عديمة الأوراق aphyllle أو متباعدة الأوراق.

كما ينتسب إلى مجموعة الحيوانات أليفة الشمس فقاريات المناطق الجافة التي تبدي تواتراً من النشاط ذي قمة نهائية.

3- التأثيرات الضارة للأشعة الضوئية:

يشير تعبير الآثار الضارة للأشعة إلى عدة ظواهر. فهو ينطبق على الأكثر غير الانتقائي للأشعة المؤينة كأشعة ألفا وبيتا وغاما المسؤولة عن التخریب الذي تحدثه في كل أشكال الجزيئات، كما ينطبق على تأثير الأشعة فوق البنفسجية

قصيرة أطوال الموجه والتي تمتصها بشكل نوعي الحموض النووية ($2600\text{\AA}$) والبروتينات ($2800\text{\AA}$). كما تمتص الصبغات بشكل انتقائي الأشعة فوق البنفسجية ذات أطوال الموجه الأكبر والأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء، وتسبب هذه الأشعة تغيرات على المستوى الإلكتروني والاهتزازي. ويمكن أن تسبب الأشعة الراديوية تسخيناً داخلياً وتشوهاً على مستوى الجزيئات الكبيرة عن طريق تخريب التوازن الحقيقي للشحنات الإلكترونية.

ومن التأثيرات الشائعة للأشعة فوق البنفسجية نذكر أثرها المضاد للبكتريا، وهذا ما يدعى بالتأثير الديناميكي الضوئي. تغد البكتريا غيرية التغذية حساسة للأشعة الشمسية، لكونها ذات حجم صغير ومادتها الوراثية بدون غشاء نووي. كما أنها لا تحتوي على صبغات لحمايتها. وتتميز الأشعة فوق البنفسجية UVB بأنها ذات أطوال أمواج قصيرة، لكنها في الوقت ذاته تحمل طاقة عالية مما يفسر خطورتها.

وتؤثر الأشعة الشمسية تأثيراً مباشراً في البكتريا من خلال الأضرار التي تحدثها بالدنا DAN حيث تقوم بتهييج الأسس البيريميدينية Pyrimidine كالتايمين والسيتوزين، وبالتالي إحداث تفاعلات اندماج وتشكيل مركبات معقدة. أما أشعة UVA والضوء المرئي فتسبب أكسدة مكونات الخلية من بروتين وليبيدات و DNA من خلال تشكيل الأجناس الفعالة للأكسجين. ويتمثل التأثير المباشر للأشعة فوق البنفسجية في البكتريا بالنشاط الحيوي من انقسام وتكاثر وإنتاج وتنفس بكتيري.

ويكون التأثير الديناميكي الضوئي عادة غير عكوس؛ فهو يعني أكسدة ضوئية على مستوى الأجهزة الحية. وهكذا تجعل الأشعة فوق البنفسجية والأشعة الأخرى الجرد حساساً للمواد الكيميائية المسرطنة والتي لا تكون نشيطة في الظلام.

4- الضوء في الماء:

عندما تصل الأشعة إلى سطح حوض مائي فإنها لا تخترقه إلا جزئياً، وحتى عمق يختلف باختلاف شفافية الماء، أما الجزء الآخر فيفقد بالانعكاس، وتمثل انعكاسية (Reflectivité) جسم ما مجموع الضوء الذي يعكسه هذا الجسم بالانعكاس الحقيقي و بالانتثار.

وتعتمد نسبة الضوء المنعكس على زاوية سقوط الأشعة، فهي تزداد كلما ابتعدت هذه الزاوية عن السقوط العمودي، كما تتعلق أيضاً بحالة السطح إذا كان مائجاً أو هادئاً. ويتراوح المتوسط المحسوب بالنسبة لأنماط مختلفة من الأحواض المائية، وفي خطوط عرض وفصول مختلفة بين 3 و 14% تقريباً. ويمكن أن تكون نسبة 10% مقبولة كمتوسط.

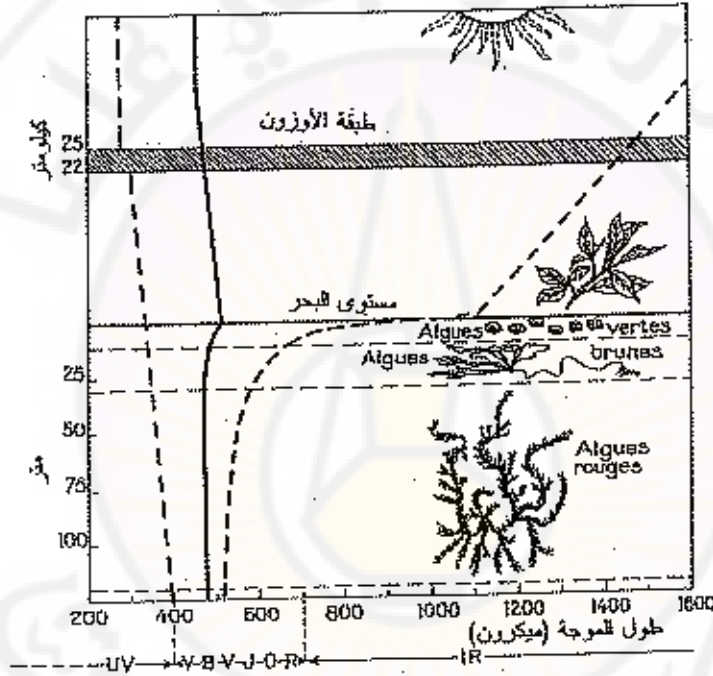
4-1 تبدل الضوء وانطفائه:

يعاني الجزء من الضوء الساقط الذي يخترق الماء امتصاصاً تدريجياً، وينتشر في الوسط حتى يصبح معدوماً عملياً اعتباراً من عمق معين. وتدعى قيمة تناقص الضوء هذه بمعدل الانطفاء (Taux d'extinction)، ويختلف هذا المعدل بالنسبة لأطوال الأمواج المختلفة (الشكل 21).

وفي مياه نقية أو مياه طبيعية شفافة جداً، يكون الإنطفاء سريعاً في نهايتي الطيف، فالأشعة تحت الحمراء تمتص مباشرة تقريباً على أعماق بسيطة، كما تمتص أجزاء الطيف الحمراء والبرتقالية بشكل سريع أيضاً، وعلى عمق 5-7 م تنعدم تقريباً الأشعة الصفراء وفوق البنفسجية، ويصل الجزء الأخضر والأزرق والبنفسجي إلى أعماق أكبر. والجزء الأزرق هو الذي يبقى في المناطق العميقة وهو آخر جزء يعاني الإنطفاء، وهذا ما يسهم في تفسير اللون الأزرق للمياه العميقة والشفافة. ولكن شدته تتناقص بشكل سريع مع زيادة العمق ولا تمثل

إلا نسبة ضئيلة من شدته على السطح، فعلى عمق 70م مثلاً تتناقص شدة هذا الجزء الأزرق إلى 30%.

ولا تصح هذه المعطيات إلا بالنسبة للمياه الصافية، أما المياه التي تشتمل على جزئيات معلقة أو منحلة كثيرة، فتجري فيها الظواهر البصرية بشكل مختلف جداً، والأشعة الزرقاء يمكن أن تُمتص في هذه الحالة بسرعة وتتلون المياه باللون الأصفر أو الأحمر.



الشكل (21) تناقص الطيف الضوئي نتيجة الامتصاص في الجو وفي ماء البحر

يحدد الخط المنصل أطوال الموجة عالية الشدة.

ويعين الخطان المتقاطعان الحدين اللذين يتركز بينهما تسعة أعشار الطاقة الشمسية.

UV: فوق البنفسجي، V: البنفسجي، B: الأزرق، V: الأخضر، J: الأصفر، O: البرتقالي، R: الأحمر، IR: تحت الحمراء

4-2 شفافية المياه الطبيعية:

يتعلق امتصاص الضوء ولون المياه بوجود جزئيات معلقة فيها كالجزئيات العضوية، والجزئيات اللاعضوية والمواد المنحلة المختلفة. وهذه العناصر التي

توجد في الماء بشكل دائم وغزير. نسبياً تنقص شفافية الماء وتمتص الأشعة المختلفة بشكل انتقائي حسب لونها.

ونلاحظ في المياه الطبيعية غالباً تواتراً أو دورية فصلية للشفافية. ففي بلادنا تبدي البحيرات المغلقة والمستنقعات شفافية قصوى في الشتاء، عندما تكون الجزئيات العضوية المعلقة والبلانكتون قليلة الغزارة. ولكن، مع ذلك فإن الأمطار والفيضانات المفاجئة يمكن أن تنقص الشفافية عن طريق حملها لبقايا ومواد مزروعة من التربة.

وفي الربيع تنقص الشفافية بشكل ملحوظ، وتتلون المياه باللون الأخضر وأحياناً بألوان أخرى، بسبب ازدهار العوالق النباتية، وأحياناً بسبب النمو الهائل للعوالق الحيوانية.

أما في الصيف فيمكن أن تزداد العكارة في المياه الدافئة بسبب وجود بقايا جديدة ناتجة عن تفكك الأحياء في البحيرة، وتديم هذه الشروط حتى الخريف حيث تتلاشى هذه البقايا العضوية تدريجياً بعد فصل الأمطار. وفي هذا الفصل تصبح العكارة من أصل غير حيوي هي السائدة.

4-3 - التطبيق الضوئي في البحر والبحيرات العميقة:

يمكن تمييز منطقتين ضوئيتين في البحار والبحيرات العميقة هما:

أ- منطقة مضاءة **photique**: يختلف عمقها حسب شدة معدل انطفاء الضوء والذي يتعلق بكمية العوالق النباتية والشوائب وغيره، وبالموقع الجغرافي للبحار والفصل وساعة النهار. ويمكن أن يصل عمق هذه المنطقة في البحار الفقيرة بالكائنات إلى حوالي 200 م، بينما لا يتجاوز عمقها في المناطق الملوثة كالمرفئ بضعة أمتار، وفي هذه المنطقة يتم امتصاص الأشعة تحت الحمراء والصفراء بشكل متدرج. وتتميز هذه المنطقة باختلافات كبيرة في الملوحة والحرارة والأكسجين المنحل، كما تخضع للتأثير المباشر لليابسة المجاورة، وتكون مياهها

مضطربة نتيجة الأمواج وحركات المد والجزر والتيارات، ويكون التركيب الضوئي فعالاً ويسهم في زيادة الكتلة الحيوية، وتغزر فيها النباتات والحيوانات القاعية. وتعد المنطقة المضاءة منطقة الإنتاج الأولي في البحار والبحيرات والتي ترتبط به كل أشكال الحياة المائية. كما أن النسبة العظمى من الإنتاج السمكي يتركز في تلك المنطقة.

ب- منطقة مظلمة **aphotique**: تقع تحت المنطقة المضاءة، وتمتد حتى قاع البحر أو البحيرة، ويسود فيها الظلام المطبق. ولا يبقى فيها إلا البكتيريا التي تقوم بالتركيب الكيميائي، والحيوانات العمياء، أو حيوانات مزودة بعيون كبيرة وحساسة للإضاءة الحيوية التي تصدرها أقرانها أو كائنات أخرى. ومن البديهي أن تعتمد هذه الحيوانات في غذائها على مصادر غذائية موجودة في المناطق المضاءة، وذلك من خلال قيام بعضها بهجرات ليلية إلى الطبقة السطحية أو من خلال التغذي على الجزئيات العضوية الساقطة من تلك المنطقة.

5- الضوء في التربة:

تكون الأشعة الضوئية الواصلة إلى سطح التربة مختزلة مقارنة بالأشعة الكلية المتاحة، لأنها تتعلق بالشروط الجوية العامة: كالضباب وبخار الماء والأمطار والغبار والتي تغير من شفافية الهواء. كما تتغير أيضاً حسب مدة الإضاءة، وحسب الفصول والوضع الجغرافي للمكان، وحسب الارتفاع تبعاً لكثافة الجو.

كما تمتص الحواجز التي تتوضع في الجو جزءاً من الأشعة وتنعكس جزءاً آخر، وفقاً لمميزاتها الفيزيائية الخاصة، وتحدد إذاً عدداً من المناخات الدقيقة الضوئية، غالباً ما تكون نقطية على شاكلة المناخات الدقيقة الحرارية والرطوبة. وتتميز هذه المناخات الدقيقة ليس فقط بكمية الضوء الواصل وتركيبه في لحظة معينة، ولكن أيضاً بمدة الإضاءة.

ومن بين تلك الحواجز، تحتل النباتات مكاناً مميّزاً بالنسبة للحياة الحيوانية. وتقدم العناصر العاتمة فائدة كبيرة لحيوانات التربة أياً تكن طبيعتها: طبقة أوراق ميتة، صخور، حجارة متفرقة... الخ.

ويمكن للضوء أن يخترق التربة الجافة ذات الجزيئات الكبيرة حتى عمق عدة سنتيمترات. ولكن بشكل عام، يكون اختراق الأشعة الضوئية للتربة محدداً بسنتيمتر أو سنتيمترين أو أقل من ذلك. وتلعب هذه الحدود دوراً أساسياً في حياة طحالب التربة، التي تنتسب إلى عدة مجموعات: زرقاء، مشطورات، خضراء... الخ. وتؤمن هذه الطحالب الحياة للعديد من حيوانات التربة، وفي الحقيقة تنتسب هذه الحيوانات إلى أنماط سطحية أكثر منها إلى وحدات أحيائية عميقة.

وتتألف حيوانات أعماق التربة الحقيقية من كائنات كارهة للضوء Photophobes لأن هذه الكائنات تتضرر عند تعرضها مباشرة للأشعة الضوئية. وغالباً ما يكون كره الضوء الظاهري نتيجة لألفة الرطوبة، ففي الطبيعة يصعب فصل دور الأشعة الضوئية عن تأثيرها المجفف.



الفصل الخامس

الملوحة كعامل بيئي



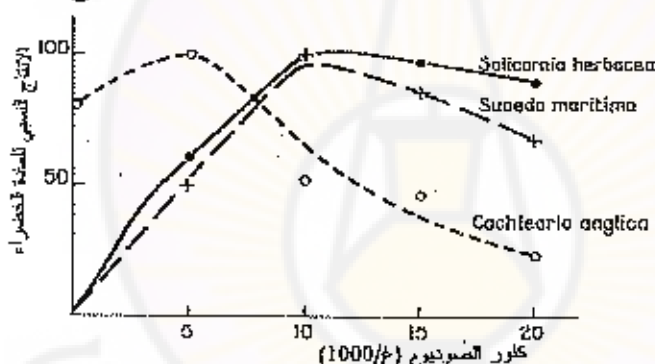
الفصل الخامس

الملوحة كعامل بيئي

1- الدورة البيوجيوكيميائية للصوديوم والبوتاسيوم:

1-1 الدور الفيزيولوجي للصوديوم:

إن الدور الذي يؤديه الصوديوم لدى النباتات الأرضية ما زال غير واضح بعد، فيما عدا دوره لدى النباتات أليفة الملح *Halophiles* كالشنان *Salicornia* و *Suaeda* والتي لا تستطيع التطور إلا في الأوساط الغنية بكلور الصوديوم (الشكل 22). وبصورة عامة لا يظهر الصوديوم في أنسجة النباتات إلا على شكل آثار بسيطة، ومن غير المؤكد أن يكون ضرورياً لحياة جميع النباتات.



الشكل (22) النمو النسبي لثلاثة أنواع من النباتات ظاهرات الالتحاق من الأوساط الملحية على محاليل مختلفة التركيز من NaCl من الواضح أن كل من *Suaeda* و *Salicornia* أليفة ملح بشكل دقيق، لا تنمو بغياب الملح.

وعلى العكس من ذلك، يعد الصوديوم، بالنسبة لأغلب الحيوانات، بمنزلة الكاتيون الأكثر أهمية في السوائل خارج الخلية. فهو يسهم في الحفاظ على الضغط الأسموزي للدم، والسوائل بين الخلايا واللمف الدموي *Hémolymph*. وبالنسبة يحمي الكائن من الاجتفاف. كما يتدخل في التنبيه العصبي والعضلي. وباعتباره أيوناً وحيد التكافؤ (Monovalent) فهو يميل لموازنة الفعل المثبط

لأيونات Ca^{++} على نفوذية الأغشية الخلوية. وتعد التراكيز العالية للصوديوم داخل الخلايا خطرة، لأن هذه الكاتيونات تثبط العديد من الأنظمة الأنزيمية، ولاسيما أنزيمات دورات هضم السكريات. وبالمقابل يمكن أن يمارس دوراً منشطاً بالنسبة لأنظمة أنزيمية أخرى، ولكنه أقل فعالية من دور البوتاسيوم.

1-2 الدور الفيزيولوجي للبوتاسيوم :

يعد البوتاسيوم الكاتيون الأساسي داخل الخلية *intracellulaire* ويتركز بشكل خاص في الجهاز الكونديري *mitochondries*. كما يغزر نسبياً في السوائل خارج الخلية للكائنات العاشبة الفقارية واللافقارية، بسبب وجوده الدائم في النباتات، ويؤدي دوراً أساسياً في إحداث كمونات الأغشية والفعل *action*، وبالتالي في النقل العصبي والعمل العضلي. وينشط عدة أنظمة أنزيمية، كما ينشط التركيب الضوئي لدى النباتات.

وتعطي الفرضيات الحديثة للبوتاسيوم دوراً أساسياً في وظائف التركيب الضوئي والتنفس لدى النباتات، وهذا ما يفسر العلاقة الدقيقة الواضحة بين شدة الاستقلاب الخلوي للنباتات ومعدل الامتصاص الجذري للبوتاسيوم. ويتزافق هذا الامتصاص لدى بعض النباتات مع طرح أيونات الهيدروجين H^{+} ، بينما تطرح نباتات أخرى في الوقت نفسه أيونات الصوديوم Na^{+} . وتشير العلاقات بين التنفس وامتصاص الأملاح إلى الدور النشط الذي يؤديه الجهاز الكونديري في نقل البوتاسيوم.

وفي التربة، الضرورية لحياة النباتات، يمكن أن يوجد البوتاسيوم بنسب قليلة على شكل معقد غير قابل للتمثل حيث يكون مندمج في بنية الطين، أو على شكل قابل للمبادلة، وهو الشكل الوحيد المفيد للنباتات على مستوى المعقد الممتص حيث يمارس فعلاً مضاداً لفعل الأيونات ثنائية التكافؤ إذا كان غزيراً

جداً. وعندما تصبح نسبة K/Ca أعلى من 1، فالبوتاسيوم يمكن أن يعيق تمثل الكالسيوم من قبل النباتات.

ومن جانب آخر، فإن زيادة Ca^{++} يمكن أن تسبب بدورها تحول جزء من البوتاسيوم القابل للمبادلة إلى شكل ثابت غير قابل للاستعمال. ويؤدي عدم كفاية البوتاسيوم حينئذ إلى الإخلال بتوازن التفاعلات الأنزيمية المذكورة أعلاه. وبالإضافة إلى ذلك يؤدي إلى تنكس الجهاز الناقل للنباتات الوعائية، مسبباً على هذا النحو تباطؤاً استقلابياً عاماً وتأخراً في نضج الثمار.

1-3 الصوديوم والبوتاسيوم في المحيط الحيوي:

تشكل الصخور البركانية للقشرة الأرضية المصدر الأول للبوتاسيوم والصوديوم اللذين يجريان في المحيط الحيوي، كما هو الحال بالنسبة للمعادن الأخرى. ويمكن الافتراض إن البوتاسيوم كالصوديوم جرى استخلاصهما من الصخور البركانية بفعل الحموض المعدنية من أصل بركاني وبمبادلة أيون H^+ مع كاتيونات أخرى في بلورات سيليكات الألمنيوم. ويكون تركيز كاتيونات الصوديوم والبوتاسيوم في الصخور البركانية متساوياً تقريباً ($Na/K \approx 2.85/2.60$). فالمياه نقلت إذن إلى المحيط، خلال ملايين السنين، كميات متساوية تقريباً من هذه الأيونات الناتجة من تفكك الصخور.

أما حالياً فيحتوي ماء البحر كمية من الصوديوم تفوق بثلاثين مرة ما يحتويه من البوتاسيوم، في حين أظهر تحليل الرسوبيات العميقة أن نسبة K^+/Na^+ يمكن أن تصل إلى 2.30/0.80 تقريباً. ويشير ذلك إلى أن الجزء الأكبر من البوتاسيوم الذي وصل إلى المحيط تم تثبيته وسحبه من الماء.

وقد لعبت الخلايا الحية دوراً مهماً في هذا الانسحاب عن طريق الامتصاص المتباين *differentielle* للبوتاسيوم، بينما لم يمس مخزون الصوديوم إلا بشكل طفيف. ويميل هذا البوتاسيوم للسقوط في قاع البحر مع الأنسجة الميتة، ويتم

الاحتفاظ به هناك من قبل البقايا العضوية للنباتات والحيوانات، ويتحول إلى معدن غلوكوني glauconic عن طريق التسليك Silicification، وهكذا تغلق الدورة البيوجيوكيميائية للبوتاسيوم. وتشكل الصخور الرسوبية بدورها مصدراً مهماً للصوديوم والبوتاسيوم بالنسبة للمحيط الحيوي كملح المنجم sel gemme ونترات شيلي...الخ.

ومنذ ظهور النباتات والحيوانات على اليابسة يحدث في الوسط القاري دورة بيوجيوكيميائية للصوديوم والبوتاسيوم مماثلة لما يحدث في البحار، حيث تقوم النباتات بأخذ البوتاسيوم والصوديوم من التربة وتقوم الحيوانات بهضمها، وأخيراً تعود إلى التربة مع البراز والبول والجثث. وهكذا يعود جزء كبير من هذه العناصر إلى الحالة المعدنية على أثر تثبيتها من قبل الطين.

1-4- القيمة البيئية والتطورية لنسبة K/Na :

ما زالت المبادئ الأساسية لقدرة الخلايا على الامتصاص الانتقائي للبوتاسيوم مع استبعاد الصوديوم غير معروفة بشكل كاف. وتمتلك كل الخلايا الحية هذه الخاصية، ولكن هذه الظاهرة تصبح أكثر وضوحاً بشكل خاص في الوسط البحري، فالطحلب الأخضر *Valonia macrophysa* يحتوي كمية من البوتاسيوم تفوق الكمية الموجودة في الوسط بأربعين مرة، وتكون نسبة بوتاسيوم/صوديوم لدى الطحلب الأخضر *Ulva lactica* أكبر بـ 260 مرة من نسبة هذين الأيونين في ماء البحر والتي تساوي 0.04. وتحتوي الألياف العضلية للفقاريات بدورها كمية من البوتاسيوم تفوق ما يحتوي عليه "البحر الداخلي" المتمثل بالبلازما الدموية بثلاثين مرة.

ويمكن أن تحتوي الإشريشيا القولونية *Escherchia coli* على كمية من البوتاسيوم أعلى بثلاثين مرة عما يحتويه وسطها. ومع أن اللافقاريات البحرية

تستطيع استبعاد الصوديوم من أعضائها والإبقاء على البوتاسيوم، إلا أنها في الحقيقة أغنى بالصوديوم من أنواع اليابسة التي تنسب إلى المجموعة نفسها. إن انتقال نسبة بوتاسيوم/صوديوم من قيمة أدنى أو مساوية أو أعلى قليلاً من واحد إلى قيم قريبة من 1.6 أو أكثر، يمكن ترجمتها كصفة بيوكيميائية أساسية مرتبطة بغزو أوساط اليابسة.

2 - الكلور في الطبيعة:

مع أن الكلور مكون طبيعي للأنسجة والسوائل العضوية، إلا أن وظيفته البيولوجية مازالت غير معروفة بشكل جيد، ويلاحظ لدى النباتات وحتى لدى الأنواع غير الملحية (Non halophyte) علاقة واضحة بين محتوى الكلور في الأنسجة ومحتواه في الركيزة (Substrat). وتكون الأنسجة النباتية الفتية والغضة عموماً أكثر غنى بالكلور. ويمكن التأكد من تناقص تركيز الكلور في الأعضاء الهوائية بعد النكاث. وتحثوي الفطور الكبيرة والعديد من أنواع العفن (moisissures) على كميات مرتفعة من الكلور.

ويؤدي الانتقال من الحياة البحرية إلى الحياة البرية إلى تراجع في معدل الكلور لدى اللافقاريات بوجه خاص. أما لدى الفقاريات فيتم الهضم خارج خلوي في جزئه المعدي بمساعدة حمض كلور الماء (chlorhydrique) الذي يفرزه جدار المعدة.

وينعدم عملياً وجود الكلور بحالة حرة في المحيط الحيوي، على الرغم من وجود بقايا قليلة من هذا الغاز في بعض الانبعاثات البركانية. وتشكل الصخور البركانية والمعادن من أصل رسوبي كأملح المنجم Sel gemme، Silvite، Carnallite.. الخ المصدر الرئيسي للكلور Cl^- .

3 - الملوحة Salinité :

3-1 الملوحة وبيئة الكائنات القارية أليفة الملح (Halophile):

تعني الملوحة في علم البيئة، كما هو الحال في اللغة الدارجة، محتوى الوسط من الأملاح المميزة لماء البحر. والتي تقدر بكمية الأملاح الموجودة في كيلوغرام واحد من الماء. صحيح أنه يوجد في داخل اليابسة كتلاً من الماء والتربة مستقلة تماماً عن البحر الحالي، والتي تحصل على ملوحتها من الرطوبة الصخرية مباشرة. وفي أغلب الحالات فإن المقصود هو الملوحة "المستحاثية" التي يسببها وجود مناجم ملح من أصل بحري، ولا تمثل هذه الأوساط في الحقيقة بالنسبة للبيئي إلا أهمية بسيطة جداً مقارنة بالبحر وما يتعلق به.

ويطلق اسم أليف الملوحة Halophile على الكائن الذي لا يستطيع المعيشة إلا بوجود كمية كبيرة من الملح البحري. وينطبق هذا المصطلح على الحيوانات والنباتات المائية مثلما ينطبق على الكائنات الأرضية. وبالنسبة للكائنات المائية فإن هذا المصطلح لا يستعمل إلا في المناطق التي يلتقي ويختلط فيها ماء البحر مع ماء اليابسة، لأن الكائنات البحرية بالمعنى الدقيق كلها أليفة ملح مجبرة. وبالنسبة لكائنات اليابسة فإن مصطلح أليف الملوحة ينطبق على النباتات والحيوانات التي تعيش على مقربة من البحر، أو على ترب مالحة، أو حتى في داخل التربة. كما يمكن أن ينطبق أيضاً على الكائنات التي تعيش بعيداً عن هذه الأوساط، ولكن الرياح تحمل لها كميات من رذاذ البحر (كثبان شاطئية، شواطئ السبخات...الخ). ويشاهد لدى النباتات غالباً تحول شكلي ملحني (Halomorphose) واضح، يتمثل في اشتغال النبات على أنسجة عصارية، أو في فقدانها الأوراق...الخ. ويمكن مقارنة هذا التحول الشكلي الملحني مع التحول الشكلي الجفافي (Xeromorphose). وفي الحقيقة تشكل الأوساط الملحية بالنسبة للكائنات الأرضية وسطاً فيزيولوجياً جافاً.

أما المصطلح الأكثر دقة وهو ألفة البحر *thalassophilie* فيحتفظ به للكائنات التي تنتسب إلى مجموعات من أصل قاري وتبدي رغبة في غزو الأوساط الشاطئية البحرية، أو التي تعتمد في تغذيتها على غذاء من أصل بحري وهذه مثلاً حالة العديد من ثنائيات الأجنحة *Diptères* التي تتغذى بالطحالب أو بالفضلات المطروحة على الشواطئ، وحالة عدد من غمديات الأجنحة، ويرقات العديد من مجموعات الحشرات التي تعيش في منطقة المد والجزر... الخ.

ومن جهة أخرى يستعمل غالباً مصطلح بحري (بالنسبة للطيور البحرية مثلاً) للدلالة على الحيوانات التي تأتي للتغذي من البحر ومن الشواطئ ولكنها تعيش وتكاثر بعيداً عن هذه الأماكن.

والمصطلح الذي يقابل اشتقاقياً مصطلح ألفة الملح هو ألفة الحلو *Glycophilie*. وهذا المصطلح قليل الاستعمال، لأنه بالنسبة للأنواع التي تعيش حصرياً أو تفضيلاً في أوساط عذبة الملوحة (*dessalé*) فإنه يستعمل عالمياً مصطلح أليف الماء العذب *dulcicole*. وفي الأوساط الشاطئية والمستنقعية أو التي تقع على تماس بين البحر واليابسة، فإنه يستعمل مصطلح أليف الحلو للدلالة على الكائنات التي لا تتساهل أبداً مع الغمر في الماء المالح أو الحياة على تربة ملحية. ونذكر أن المياه تعتبر عذبة عندما لا يتجاوز محتواها من الأملاح البحرية 0.6 ‰.

3-2 الملوحة ومياه البحر: مياه قليلة الملوحة *dessalée* ومياه فائقة الملوحة

:Sursalées

يعد التركيب الوزني الوسطي الأكثر قبولاً بالنسبة لماء البحر هو 35 جزءاً من الملح في الألف جزء من ماء البحر (35 ‰) أي ما يعادل 35 غ من الملح/كغ من ماء البحر. وتدعى المياه التي تحتوي على أقل من 35 ‰ من

الأملاح مياه قليلة الملوحة، وهكذا إذا يوجد بحار قليلة الملوحة كالبحر الأسود وبحر البلطيق الذي تهبط ملوحته إلى نحو 18‰ فقط.

وتدعى المياه الأكثر ملوحة من مياه البحر، كالملاحات والسيخات المالحة، والأحواض الشاطئية... الخ. مياهاً شديدة الملوحة Hyperhalines، ولكن هذا المصطلح يحتمل بعض الجدل، لأن المياه التي تصل ملوحته إلى 37‰ هي مياه شديدة الملوحة بالنسبة لبحر البلطيق، ولكنها مياه بحرية تماماً بالنسبة للبحر المتوسط. والمياه التي يمكن قبولها عملياً كمياه شديدة الملوحة هي التي تفوق ملوحته 40‰. وهذه المياه أكثر ندرة من المياه قليلة الملوحة، ولكنها مثلها تتعرض لتغيرات هامة، نتيجة علاقتها الدقيقة مع العوامل البيئية للأوساط القارية. ويمكن لبعض أنواع كائنات المياه قليلة الملوحة، وخاصة تلك المتكيفة جيداً مع هذه التغيرات، أن تعيش في المياه شديدة الملوحة.

ويمكن لأوساط اليابسة الشاطئية أن تصبح بدورها عالية الملوحة، خاصة في فصل الجفاف، بسبب التركيز الناتج عن تبخر الماء الذي يبلى التربة. وتشتمل الأحواض المائية الوقتية التي يمكن أن تتشكل بعد الأمطار المفاجئة والطوفان الوقتي، جماعات مائية تجمع إلى جانب خواص الأوساط الوقتية كالفقير الحيواني والتركيب الفجائي ذلك الفقر الذي تسببه الملوحة العالية للوسط.

ويمكن أن تؤدي الملوحة الزائدة إلى اختفاء الحياة الحيوانية تماماً، كما هو الحال في البحر الميت، والذي ثبت مؤخراً أنه يحتوي، مع ذلك، على بعض البكتريا وعلى قليل من الطحالب وحيدة الخلية. ويمكن للعوامل التاريخية أن تؤدي دوراً في هذا المجال: فإذا كانت ملوحة البحر الميت حوالي 230‰ فإن ملوحة بحيرة UTAH (في الولايات المتحدة) تكون قريبة من ملوحة البحر الميت وتصل إلى 222‰. ومع ذلك فإنها تؤوي يرقات Ephydra (ثنائيات أجنحة) كما تغزر فيها Artemia وعدد من أنواع الحيوانات الأولية وطحالب مجهرية. كما

تعيش Artemia في المياه فائقة الملوحة الصحراوية، ويمكنها أن تشكل مصدراً مهماً للبروتينات بالنسبة لبدو هذه المناطق. وأخيراً، فإن بحيرة بولاك Bulack قرب بحر قزوين أكثر ملوحة من البحر الميت وتبلغ ملوحتها 285 ‰. ومع ذلك يعيش فيها حيوانات أولي ويرقات Chironomides (ثنائيات أجنحة).

وتشكل الأراضي المحيطة بهذه البحيرات ملاحات طبيعية، وهذا ما يفسر ندرة الحيوانات في الأحواض الوقفية التي يمكن أن تتشكل على هذه الأراضي.

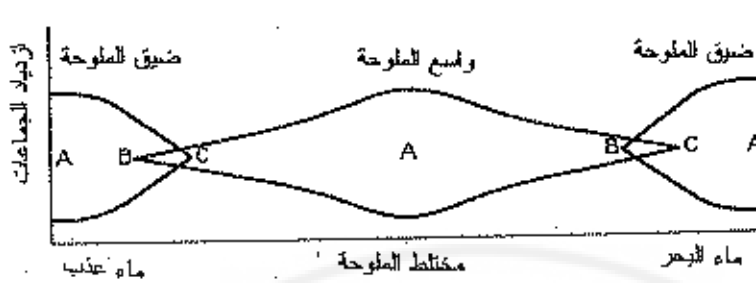
وأخيراً نشير إلى وجود عدد من المجموعات الحيوانية البحرية التي لا تحتوي عملياً على أي نوع قادر على المعيشة في مياه فائقة الملوحة، نذكر من بينها الاسفنجيات وشوكيات الجلد، والزهرات Anthozoaires، وهذه المجموعات هي نفسها التي لا تستطيع المعيشة في مياه منزوعة الملوحة. وتعود عدم قدرة هذه الحيوانات على المعيشة في أوساط مختلفة عن البحر إلى نقص في تكيفها.

3-3 الكائنات واسعة الملوحة Euryhalines والكائنات ضيقة الملوحة

Stenohalines:

تدعى الكائنات التي تستطيع التساهل مع تغيرات مهمة في ملوحة الوسط بالكائنات واسعة الملوحة Euryhalines. أما تلك التي لا تتكيف إلا مع مجال ضيق من تغيرات الملوحة فتدعى ضيقة الملوحة Stenohalines. وبصورة عامة تلاحظ الحالات الأكثر وضوحاً من ضيق الملوحة في نهايتي سلسلة التغيرات البيئية أي لدى كائنات أعالي وأعماق البحار من جهة، ولدى الأنواع النهرية والعذبة من جهة أخرى (الشكل 23).

وتكون حيوانات البحيرات الشاطئية ومصبات الأنهار ومناطق المد والجزر تقريباً واسعة الملوحة، بسبب تغيرات الملوحة التي تحدثها بشكل مستمر مياه الأنهار، والأمطار والتبخر في هذه الأوساط قليلة العمق والانتساع بشكل عام.



الشكل (23) مخطط تمثيلي لزيادة جماعات من كائنات ضيقة الملوحة وواسعة الملوحة

A: شروط مثلى، B: الحدود الدنيا للتساهل مع ملوحة الوسط، C: الحدود العليا للتساهل.

يؤثر التغير الطفيف في ملوحة الوسط في حيوية الجماعات ضيقة الملوحة

وتبلغ ملوحة سطح البحار قيماً عظمى في خطوط العرض المحصورة بين

عشرين درجة شمالاً $20^{\circ}N$ وعشرين درجة جنوباً $20^{\circ}S$.

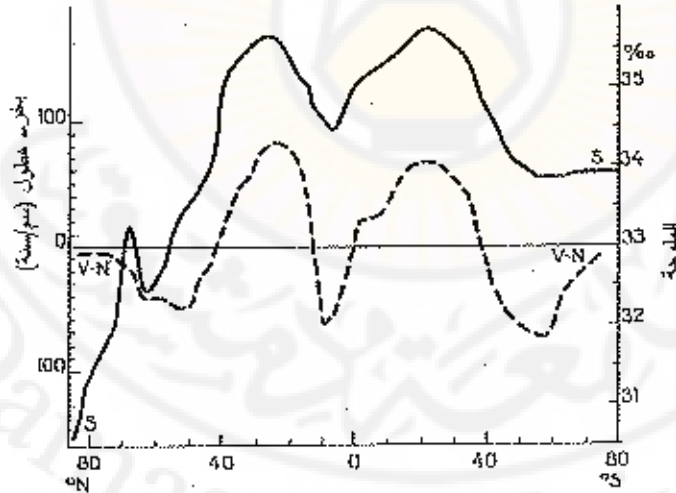
أما في خطوط العرض العليا فتميل الملوحة للانخفاض متوافقة في ذلك مع

مناخ أكثر رطوبة وأكثر برودة، حيث يصبح البخار قليل الأهمية نسبياً. أما

الملوحة المنخفضة جداً في خطوط العرض العليا الشمالية فتعود إلى الوارد الهائل

من المياه العذبة القارية. كما تميل الملوحة إلى الانخفاض في خط الاستواء

بسبب الهطول اليومي للأمطار (الشكل 24).



الشكل (24) العلاقة بين الملوحة السطحية (S)، وفائض البخار على الهطول (V-N) في المحيط الأطلسي.

ترتبط الملوحة المنخفضة جداً في خطوط العرض العليا الشمالية بالوارد الهائل من المياه العذبة القارية.

ولا يلاحظ إلا تغيرات طفيفة فقط في المياه تحت السطحية، وخاصة في الكتل العميقة بسبب قلة تأثيرها بالتغيرات الحرارية للهواء وبالمياه العذبة الواردة من مختلف المصادر. وتكون ملوحة المياه العميقة محصورة عادة بين 34.5 و35‰. ومع ذلك يمكن مصادفة مياه عميقة أكثر ملوحة في البحر الأحمر والمتوسط.

وتتراوح الملوحة في البحر المتوسط الغربي بين 36 و38‰، أما في الحوض الشرقي المحاط ببلدان ذات مناخ جاف نسبياً، وبعدة عن مضيق جبل طارق (أي بعيدة عن التأثير بمياه المحيط الأطلسي منخفضة الملوحة نسبياً)، وبدون وارد نهري مهم، فتكون الملوحة محصورة بين 38 و39‰. وبعد البحر الأحمر هو البحر الأكثر ملوحة وتتراوح ملوحة أغلب مياهه بين 40 و41‰ وقد تصل في جزئه الشمالي المحاط بالصحراء والخاضع لبحر شديد وبدون تعويض إلى 42‰ على السطح.

3-4 - البحر الداخلي" للفقاريات الأرضية:

يرى بعض الكيميائيين الحيويين أن النسب الأيونية للمكونات المعدنية لدم الفقاريات الأرضية قريب من نسب هذه المكونات في ماء البحر الحالي إلا أن تركيزها في الدم أقل. ويعكس هذا الدم بتمعدنه الضعيف تركيب البحر في العصر القديم Paleozoique الذي خرجت منه أسلاف ثنائيات التنفس في نهاية العصر الأولى Primaire لتبدأ غزو اليابسة. ويعبر وسطها الداخلي إذاً بدون شك وبكل أمانة عن التركيب الأيوني لمحيطها الذي خرجت منه، ويشهد هذا الاختلاف على الزيادة المستمرة لملوحة البحر منذ نهاية العصر الأولى.

3-5 التأثيرات البيئية للملوحة

أ - الثبات الكيميائي للوسط:

تشير بعض المعطيات التي استعرضناها آنفاً، أن الفائدة البيئية للملوحة تكمن خاصة في الحفاظ على وسط كيميائي وأوسموزي ثابت نسبياً من أجل الكائنات البحرية. ولا يستند الثبات الكيميائي للوسط البحري على القيمة المطلقة لمحتواه من الأملاح فقط، إنما أيضاً على ثبات النسب الأيونية لهذه الأملاح، وعندما يتمدد ماء البحر بمياه مقطرة، فإن هذه النسب لا تتغير، ويتم في الطبيعة حالة مماثلة عندما تتمدد مياه البحر السطحية وقتياً بواسطة الأمطار القوية.

أما الأوساط التي تخضع باستمرار لخلط المياه القارية كالأوساط الشاطئية القريبة من مصبات الأنهار، فتكون خواصها الكيميائية إذاً متغيرة جداً. وتكون الأنهار عادة غنية بالمعادن، ولكن النسب الأيونية فيها تكون مختلفة عن النسب الأيونية لماء البحر. فقد رأينا أن نسبة K/Na يمكن أن تكون أكبر بشكل واضح في المياه القارية منها في مياه البحر، والشيء نفسه بالنسبة Ca/Mg . فالكالسيوم أغزر من المغنيزيوم على سطح القشرة الأرضية، ولكنه يستهلك بشكل واسع وسريع من قبل الكائنات البحرية، وخاصة من قبل مجموعات عديدة ذات هيكل كلسي أو ذات هيكل مكون من فسفات الكالسيوم.

ففي بحر مغلق ويستقبل وارد مهم من مياه الأنهار، فإن ظواهر نقص الملوحة لا تؤدي دوراً معيلاً بالنسبة للأنواع قليلة التكيف، إنما الذي يلعب الدور المهم في هذا المجال هو تبدل النسبة الأيونية وخاصة النسب بين الكاتيونات. وهكذا يفسر المؤلفون غياب عدد من الحيوانات والنباتات من قاعيات وبلانكتون الجزء الشمالي الغربي للبحر الأسود بتبدل نسب K/Na و K/Ca و Ca/Mg .. إلخ، فالمياه الشاطئية للبحر الأسود ليست ببساطة مياه بحر ممددة، إنما يتأثر تركيبها بشكل كبير بمياه الأنهار الضخمة القادمة من جنوب روسيا، ونهر الدانوب

العملاق الذي يجتاز مناطق رسوبية واسعة، ويصب فيه شبكة واسعة من الروافد. وهكذا يغني الدانوب محلياً المياه السطحية للبحر الأسود بالعناصر المغذية الآزوتية والفسفورية، ولكنه يجلب أيضاً أملاحاً أرضية تكفي لتغيير النسب الأيونية النموذجية لمياه البحر.

ب- ثبات الضغط الحلولي:

تمثل الملوحة بالنسبة للحيوانات ضيقة الملوحة البحرية عاملاً أساسياً من عوامل الثبات التناضحي *osmotique*. أما بالنسبة للحيوانات الشاطئية وحيوانات المستنقعات والتراب المالحة فتتمثل مصدراً إشكالياً للتنظيم التناضحي. ويتمثل المشكلة الأساسية بالنسبة لتنتقل الفقاريات بين أوساط مائية متغيرة الملوحة وضبط تركيب الوسط الداخلي للحيوان.

ويتوجب على الفقاريات الشاطئية التي تمتلك سطحاً جلدياً أو سطوحاً غلصمية نفوذة للماء والأملاح كالأسمك والبرمائيات أن تحل مشاكل التنظيم التناضحي التي تعود إلى الحركات التناضحية للماء وإلى انحلال الأملاح. أما الفقاريات الشاطئية المجهزة بجلد كثيم نسبياً كالزواحف والطيور والثدييات، فتجد نفسها معرضة لمشاكل مماثلة، بسبب تغير محتوى غذائها من الماء والأملاح وكذلك الماء الذي تستطيع شربه.

أما الفقاريات الشاطئية واسعة الملوحة، فتستطيع تبني، على الأقل، ست آليات مختلفة للتنظيم التناضحي، لا يتسع المجال لذكرها هنا.

ج- النتائج التطورية:

تسمح هذه الشبكة من العلاقات الكيميائية الفيزيائية والفيزيولوجية بتقييم تعقيد الظواهر البيئية التي تتدخل عندما يلتقي ماء البحر بالماء القاري، حيث يتم الاختلاط بنسب مختلفة حسب المكان والفصل. ويبدى بالنسبة لهذه المياه إيقاعات منتظمة من الاختراق مرتبطة بالمد والجزر.

وفي الحقيقة، يجب الأخذ بالحسبان أن عدداً كبيراً من الكائنات البحرية نباتات وحيوانات (وبخاصة اللافقاريات) لا تمتلك إلا إمكانيات ضعيفة للتفريق فيزيائياً وكيميائياً بين أوساطها الداخلية والوسط المحيط. ويمكن القول إن ماء البحر يلعب بالنسبة لهذه الكائنات دور "دم خارجي" حقيقي شبيهاً بالدور الذي يلعبه دم الفقاريات والذي أسميناه "الدم الداخلي".

وبالإجمالي، فإن الملوحة تؤدي لدى الكائنات البحرية دوراً بيئياً أساسياً مماثلاً للدور الذي تؤديه الحرارة أو المياه لدى كائنات اليابسة. وكما هو حال الحرارة، يمكن للملوحة أن تؤثر في التعبير الجيني. وبالمشاركة مع الخصائص الأساسية للوسط البحري (سطح واسع، عمق كبير، حركة محدودة للمياه نسبياً... الخ) تضفي الملوحة على البحر وخاصة في المناطق البعيدة عن الشواطئ والعميقة نسبياً، خصائص الاستقرار البيئي والذي لا يوجد له مثيل في مكان من المحيط الحيوي، ويشكل بالتأكيد أساس الغنى في المجموعات التصنيفية البحرية مقارنة باليابسة.

وبالمقابل، فإن لهذا الاستقرار دوراً معاكساً يتجلى في العدد القليل من الأنواع الحيوانية التي تعيش في الأوساط البحرية، مقارنة بالأوساط القارية، وخاصة الهوائية منها، حيث يكون الاصطفاء في هذه الأوساط أكثر تنوعاً وأشد صرامة. وقد سبب هذا الضغط الاصطفائي صعوبات بيئية جمة للحيوانات الأرضية، والتي ردت عليه بتنوع تطوري وتصنيفي متقدم جداً، وما العدد الهائل لمفصليات الأرجل الأرضية إلا برهان على ذلك.

الفصل السادس

الكسيوم والمغنزيوم وقساوة الماء



الفصل السادس

الكالسيوم والمغنزيوم وقساوة الماء

1- الدورة البيوجيوكيميائية للكالسيوم:

1-1 دور الكالسيوم لدى الكائنات الحية:

تتمثل الوظيفة الفيزيولوجية الأساسية لأيون الكالسيوم Ca^{++} في قدرته على إنقاص نفوذية الأغشية الخلوية واللاحفات للماء والأيونات. ويمكن التأكد من هذه الآلية عن طريق ملاحظة تأثيرات وسط ما مجرد من الكالسيوم في بعض الأنسجة (عضلية، عصبية)، حيث تفقد هذه الأنسجة نشاطها أو تخفضه نتيجة عدم قدرتها على التحكم بالتدفق الأيوني للصوديوم Na بشكل خاص عبر الخلايا. وزيادة على ذلك من المؤكد أن الكالسيوم يثبط مباشرة بعض الأنظمة الانزيمية، فهو يمارس مثلاً فعلاً مثبطاً على أنزيم البيروفسفاتاز $Pyrophosphatase$ معاكساً لفعل البوتاسيوم. ويلعب الكالسيوم مثله مثل المغنزيوم دوراً مثبّثاً للغرويات وخاصة بين الخلوية. ويغياب Ca^{++} و Mg^{++} تبدي الخلايا ميلاً للانفصال بعضها عن بعض.

وأخيراً يؤثر الكالسيوم في الوظائف العصبية - العضلية كمعاكس للمغنزيوم، ففي حين يوقف المغنزيوم إنتاج الأسيتيل كولين فإن الكالسيوم يزيد هذا الإنتاج، وبالإضافة إلى ذلك يعد الكالسيوم أهم كاتيون لدى الكائنات الحيوانية التي تمتلك هيكلاً متمعدناً، ويوجد أساساً بحالة كربونات لدى الرخويات والقشريات وشوكيات الجلد والإسفنجيات الكلسية والمنخربات وخاصة لدى المرجانيات بانية الأرضفة المرجانية والتشكلات المماثلة. كما يوجد بحالة كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ لدى الفقاريات أيضاً، ولكن هيكلاً هذه المجموعة يتكون أساساً من

فسفات الكالسيوم $Ca_3(PO_4)_2$. كما أن مفصليات الأرجل بما فيها القشريات تكون غنية أيضاً بالفوسفات.

1-2 - الكالسيوم والوسط:

تشكل الصخور عضوية المنشأ (organogène) تحديداً: كالسيت Calcite، دولوميت Dolomite والجبس Gypse، مصدراً أساسياً للكالسيوم في المحيط الحيوي. وتقوم المياه بحل هذه الأملاح ونقلها إلى البحر وخاصة على شكل كربونات وبيكربونات الكالسيوم. كما تمثل الصخور البركانية وخاصة البازلت مصدراً مهماً لأيونات الكالسيوم والمغنيزيوم.

ويعد الكالسيوم ضرورياً لحياة النباتات. وتتمثل النباتات نفسها كالسيوم التربة المؤين، كما يشكل الأساس (Base) الرئيسي القابل للمبادلة في التربة.

وتستجر الحيوانات بشكل عام الكالسيوم الذي تحتاجه من النباتات. إلا أن هناك بعض الحيوانات التي قد تحصل على الكالسيوم اللاعضوي مباشرة، خاصة عندما يكون الغذاء النباتي فقيراً بالكالسيوم Ca^{++} ، كالطيور التي تستخدمه من أجل صنع قشرة بيوضها، والحلازين من أجل بناء قواقعها. كما يمكن لبعض الكائنات الحية أن تستعمل بقايا كالسيوم النباتات والحيوانات في المكان نفسه، لأنه يندمج في التربة مباشرة. ويمكن أن تقوم قواقع الحلازين بالإصلاح الطبيعي للتربة الفقيرة جداً بالكلس عندما تشكل هذه الأنواع جماعات غزيرة، ولكن أحياناً يتم غسل سطح التربة عندما تكون الهطولات شديدة الارتشاح كثيراً.

وهذه حالة أوساط الغابات، حيث تصل الأشجار بجذورها الطويلة إلى المستوى الذي يتجمع فيه الكلس، ولكن بسبب استقلابها الضعيف مقارنة من استقلاب النباتات العشبية، فإنها لا تعيد إلى منطقة الجذور العشبية كمية كافية من الكلس، بحيث تصبح الطبقات السطحية فقيرة بالكلس وتميل لأن تصبح حامضية. وهذا

ما يحصل في الأراضي التي تدعى رمدة Podzols (تربة رمادية وخاصة شمال روسيا). وتمثل الحموضة السطحية بدورها وسيلة لتسريع خسارة الأيونات القلوية والقلويات الطينية (كالباريوم)، لأن الماء الذي يخترقها يمكن أن يحل كميات كبيرة من الأسس Bases. وبالمقابل في الأوساط قليلة الأمطار كمناطق المروج مثلاً، لا تتمكن هذه الأخيرة من غسل التربة بعمق، فيبقى كميات كبيرة من الكلسيوم على السطح وتكون هذه الكمية متاحة للنباتات التي تستقلب كثيراً من الأسس وتعيدها إلى السطح، وبدورها تساعد القلوية السطحية المرتفعة على هذا التراكم. وتدعى هذه الظاهرة تكلس التربة Calcification.

على المدى الطويل، تسحب تيارات الماء جزيئات كلس التربة وتلقيها في البحر، وتقوم الكائنات البحرية بتمثل هذا الكلس وتثبيته في التشكلات الحيوية الكلسية، أو يندمج في مستودعات القاع على أعماق بسيطة. ولا يستأنف الجزء الجيوكيميائي لدورة الكالسيوم إلا عندما تعود هذه القيعان الشاطئية الغنية بالكلس العضوي إلى السطح عن طريق انبثاق القشرة الأرضية.

3-1 ألفة الكلس Calciphilie:

تدعى الكائنات التي تتطلب من أجل نموها الأمثل وسطاً غنياً بالكلس بالكائنات أليفة الكلس، وتكون أغلب الرخويات الأرضية وخاصة ذات القوقعة النخينة أليفة كلس. وعندما تعيش في أوساط فقيرة بالكلس فإن قوقعتها تصبح صغيرة ورقيقة وضامرة. كما يمكن اعتبار جميع كائنات المياه العسرة أليفة كلس. أما الكائنات التي لا تتطور جيداً إلا بوجود كميات زهيدة من الكلس فتدعى كارهة الكلس Calcifuges. ويمكن اعتبار نباتات أوروبا المركزية والشمالية والبراح السيليسي في منطقة البحر المتوسط كنباتات كارهة كلس.

وتختلف الترب الكلسية عن الترب السيليسية الحامضية بالعديد من الخصائص الفيزيائية الكيميائية، التي يمكن أن تلاحظ أو حتى تطفئ على الأهمية الانتقائية لشوارد الكالسيوم Ca^{++} ودرجة الحموضة نفسها. وتتميز هذه الترب عن بعضها البعض بالإقاعسات الحرارية وسعتها، وبالنفوذية ومدى التبلل، والتركيب الميكانيكي المختلف، ووجود حجارة للاختباء... الخ. هذه هي، بشكل خاص، الأحداث المتلازمة التي يبدو أنها تؤدي دوراً محدداً لدى حيوانات التربة. فالحيوانات كارهة الكلس كدودة الأرض والبزاق Limaces ماهي إلا حيوانات أليفة رطوبية، بينما يعزى غنى الأراضي الكلسية بالحشرات إلى غنى هذه الأراضي بالأعشاش والملاجئ والمخابئ التي تؤمنها وعورة هذه المناطق، مقارنة بالأراضي السيليسية المكورة والمنظمة.

2- الدورة البيوجيوكيميائية للمغنزيوم:

2-1 دور المغنزيوم لدى الكائنات الحية:

يعد المغنزيوم مكوناً أساسياً لجزيئية الكلوروفيل، ويكون مع الكالسيوم جزءاً من الفيتين Phytine، وهو المادة الادخارية في البذور وخاصة الحبوب. والفيتين خليط من أملاح الكلس والمغنزيوم وحمض Inosito-phosphorique ويمثل بالنسبة للبذور المصدر الأكثر أهمية للفسفور. وتحتوي النباتات الأرضية كمية من المغنزيوم أقل من الكالسيوم.

وإذا وجد المغنزيوم في الكائنات الحية بكميات كبيرة فإنه يسارس فعلاً معاكساً لفعل الكالسيوم أي يعيق الاتصال العصبي - العضلي لدى الفقاريات، كما يسلك سلوك الكالسيوم في تخفيض استهلاك الأكسجين في الخلايا عندما يوجد بتركيز عالية. ويتركز خاصة في الجهاز الكونديري ونوى الخلايا لأنه يحفز العديد من الأنزيمات التي تختص بنقل الطاقة كال ATPase والفسفاتاز.

وغالباً ما تشترك كربونات المغنزيوم مع كربونات الكالسيوم في بناء هياكل الفقاريات. ويمكن أن تشكل أكثر من 10% من المادة المعدنية الكلية لدى بعض المنخريات، والزنبقيات Crinoides وقناذ البحر والقناعاتيات. وتصل إلى نحو 10% لدى القشريات عشاريات الأرجل وبعض كثريرات الأهداب. ويمكن أن تتجاوز 5% لدى الإسفنجيات الكلسية وبعض السرطانات. وتتألف بقية المادة المعدنية لدى هذه الأنواع في أغلبها من كربونات الكالسيوم وتترافق أحياناً مع كميات قليلة من كبريتات وفسفات الكالسيوم.

2-2- المغنزيوم والوسط:

تقلد الدورة البيوجيوكيميائية للمغنزيوم، في خطوطها العامة، مثلتها لدى الكالسيوم، والتي تشترك معها غالباً في القشرة الأرضية. ومن المصادر الأساسية للمغنزيوم نذكر الصلصال Argile والصخور الخضراء (Serpentines) والتي هي عبارة عن سيليكات المغنزيوم المائية، بالإضافة إلى المغنيزيت (Magnésite) والصخور البازلتية.

ويوجد المغنزيوم في التربة إما على شكل معقد غير قابل للانحلال (معادن حديدية ومغنزية، دولوميت حبيبي، وبعد الدولوميت أقل انحلالاً في الماء الحامضي من الكالسييت) أو على شكل قابل للمبادلة. وهكذا يوجد المغنزيوم في شروط مماثلة لشروط الكالسيوم، ويرافق المغنزيوم الكالسيوم في معقد التربة الماص absorbant. ولنتذكر أن المغنزيوم في البحار أكثر غزارة بثلاث مرات من الكالسيوم، على الرغم من أن المياه العذبة تنقل إلى البحار كمية من الكالسيوم أكثر من المغنزيوم، ويرجع ذلك إلى قلة استعماله من قبل الكائنات الحية.

3- قساوة الماء:

توافق قساوة الماء مجموع تراكيز الكاتيونات، باستثناء أيونات الهيدروجين H^+ وكاتيونات المعادن القلوية، وتعود قساوة الماء عملياً إلى كاتيونات الكالسيوم Ca^{++} والمغنيزيوم Mg^{++} . كما يضاف إليها أحياناً أيونات الحديد والألمنيوم بكميات لا بأس بها.

3-1- القساوة الوقتية والقساوة الدائمة:

يتم التمييز عادة بين القساوة الوقتية التي تسببها الكربونات والبيكربونات والتي يمكن التخلص منها بغلي الماء، وبين القساوة الدائمة التي يسببها الكلور والكبريتات شديدة الانحلال والتي تبقى منحلة بعد ترسيب الكربونات. وتعد كبريتات المغنيزيوم $MgSO_4$ بخاصة هي المسؤولة عن القساوة الدائمة للماء. ويمكن التخلص من نوعي القساوة بإضافة كربونات الصوديوم Na_2CO_3 . وبما أن المياه القارية تشتمل عادة على قساوة وقتية، فإن هذه القساوة تحدد بمحتوى الماء من كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ ، وتقاس القساوة عادة بالدرجة الفرنسية التي تعادل تركيز 10 مغ كربونات كالسيوم/لتر (يساوي جزء كربونات كالسيوم في 100000 جزء ماء).

3-2- المياه القاسية والمياه اللينة:

توصف المياه بأنها لينة إذا كانت تشتمل على أقل من 9 مغ كربونات كالسيوم/لتر (إذا أقل من درجة فرنسية)، والمياه متوسطة القساوة هي المياه التي تشتمل حتى 25 مغ/ل، أما المياه القاسية فهي تشتمل على أكثر من 25 مغ/ل.

3-3- قساوة المياه وصلاحياتها للشرب:

لكي يكون الماء صالحاً للشرب يجب أن تتراوح قساوته الكلية بين 15 و 20° فرنسية، وقساوته الدائمة بين 5 و 15° كحد أقصى. وفي القساوة الكلية يجب أن

لا تقل النسبة بين Ca و Mg عن ثلاثة إلى واحد، وتجدر الإشارة إلى أن الزيادة النسبية المفرطة للمغنيزيوم، والتي يمكن أن تصل فيها نسبة Ca/Mg إلى 5/3 في بعض المياه شديدة القساوة، تجعل المياه غير صالحة للشرب. ويرجع السبب الأساسي في عدم صلاحية هذه المياه للشرب إلى التضاد بين هذين الأيونين ثنائيي التكافؤ. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط الزيادة النسبية لـ Mg في المياه الشاطئية متغيرة الملوحة بما يصل إليها من مياه البحر.

3-4- أثر قساوة الماء في توزيع الكائنات:

إن الدور الذي تؤديه قساوة الماء في إنتاجية المياه ما زال غير معروف بشكل جيد على المستوى الفيزيولوجي، وفي الحقيقة يمكن أن يتعلق هذا الدور بشكل خاص بدرجة الحموضة (PH) الذي تسهم القساوات المختلفة في تحديده، وبالنتائج الفيزيائية الكيميائية المترتبة على ذلك. وبصورة عامة، يمكن التأكد من أن المياه القاسية نسبياً، ولكن بدون إفراط، تمثل بالنسبة للحياة وسطاً أكثر ملاءمة من المياه اللينة.

ولقد جرت محاولات عديدة لتصنيف رخويات المياه العذبة استناداً إلى توزيعها بين "أنواع مياه قاسية" و"أنواع مياه لينة". مع أن هذا التصنيف لا يملك سوى قيمة تطبيقية (أنواع المياه القاسية هي بالأحرى أنواع ذات إمكانيات بيئية ضعيفة من وجهات نظر عديدة) إلا أنه يوضح أن عدداً من الأنواع التي تدعى صراحة "أنواع مياه قاسية" لا تتساهل مع تراكيز منخفضة جداً من الكالسيوم. وهذه هي بصورة عامة، الأنواع ذات القواقع الثخينة، وأيضاً الأنواع التي يكون عدم التساهل لديها منخفضاً.

وعلى العكس هناك بعض الأنواع يمكنها المعيشة بدون تمييز بين مياه قاسية ومياه لينة نذكر منها النوع *Ancylastrum fluviatile* الذي يعد من أكثر

بطيئات القدم تساهلاً، حيث يستطيع المعيشة في مياه لينة جداً، منبثقة مباشرة من الغرائيت، والتي تلائم صفاتها البيئية فيزيولوجية الأنواع أليفة التيار *Rhéophile*، وتبدي قوقعته حينئذ مظهراً غشائياً تقريباً وشفافاً، بسبب رقتها المتناهية.

ومن جهة أخرى، وبما أن الرخويات وجميع الكائنات المائية، تنزود بالشوارد من الماء المحيط أكثر من الغذاء والركيزة، فإنه ليس مستغرباً وجود أشد الأنواع ألفة للكلس من بطيئات القدم وهو النوع *Theodoxus fluviatilis* في مناطق غرائيتية، إذا كانت المياه التي يعيش فيها قاسية، نتيجة اجتيازها مناطق كلسية أو انبثاقها عبر صخور رسوبية غنية بالكربونات، وهذا ما يحصل في قلب مناطق سيليسية في جزيرة سردينيا.

إضافة للرخويات، هناك العديد من الكائنات التي يكون الكلس ضرورياً لها من أجل بناء قواقعها، لا تستطيع المعيشة في مياه لينة جداً. نذكر منها على سبيل المثال بعض قشريات الماء العذب كسرطان *otamobius* وسرطان *Astacus*. كما تتطلب وصرطانات منطقة البحر المتوسط العذبة التي تمتلك قوقعة ثخينة كميات كبيرة من الكلس أيضاً، وتعود هذه الحاجة إلى الدور الأساسي الذي يؤديه الكالسيوم وأيونات أخرى في النفوذ الخلوية وبالنتيجة في الضغط الأسموزي.

الفصل السابع
الأكسجين كعامل بيئي



الفصل السابع

الأكسجين كعامل بيئي

١- الدور البيئي للأكسجين:

يعد الأكسجين عاملاً محرقاً Combrant ضرورياً لأكسدة المواد العضوية، لذا فإنه يؤدي دوراً بيئياً مهماً في تنفس معظم الكائنات الحية وفي استفادتها من الغذاء، ويكون هذا الدور أكثر وضوحاً في الوسط المائي منه في الوسط الهوائي. ففي الوسط الهوائي، لا يوجد إلا القليل من الأماكن التي يهبط تركيز الأكسجين فيها إلى مستويات متعارضة مع الحياة، والمقصود هنا الأماكن التي تتبدى فيها مظاهر بركانية ثانوية هامة، كمغارة الكلاب قرب Pozzuoli (نابولي) التي يوجد فيها تركيز عال من CO_2 حتى ارتفاع 30 سم، لذلك فإن الحيوانات القصيرة كالكلاب لا تستطيع المعيشة فيها. أو وديان الموت في بلدان مختلفة.

في هذه الأماكن يطرد غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من أصل بركاني الغازات الخفيفة ومنها غاز الأكسجين من طبقات الهواء السفلى. ويجب عدم الخلط بين هذه الظواهر ومظاهر أخرى من منشأ بركاني أيضاً، أو أحياناً من منشأ صناعي كالضبخان (Smogs) حيث تكون العناصر الغازية السامة (SO_2 , CO , H_2S) مسؤولة مباشرة عن موت الكائنات.

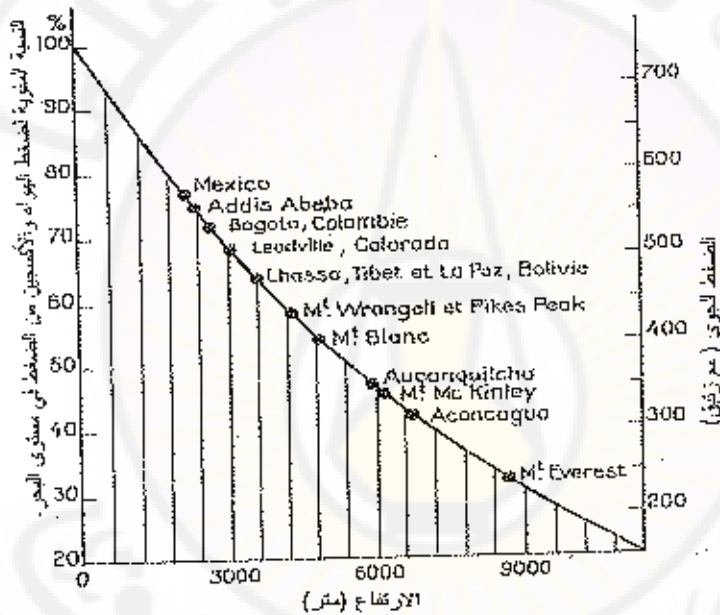
كما يندر وجود نقص حقيقي للأكسجين في التربة، ولا سيما عندما تكون هذه التربة جيدة التصريف (الجدول 3). وفي المرتفعات، فإن حالات نقص الأكسجين المرتبطة بتغيرات الضغط الجوي لا تؤثر إلا في الفقاريات الحساسة وفي المرتفعات الشاهقة فقط (الشكل 25).

أما في الماء فعلى العكس، هناك أوساط عديدة فقيرة جداً بالأكسجين، وأوساط لا يوجد بها من الأكسجين ما يكفي للتنفس. وبالإضافة إلى ذلك، فإن فرط

الأكسجين الجوي يسبب اضطرابات يمكن أن تؤدي إلى موت الكائنات الهوائية، وخاصة الفقاريات، أما فرط إشباع وسط الماء بالأكسجين فلا يبدو أنه يسبب أية أضرار للكائنات المائية.

الجدول (3) التركيب الجزيئي للهواء المحجوز في التربة على أعماق مختلفة

تربة طينية		طمي رملي		عمق (مم)
O ₂ (%)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	CO ₂ (%)	
18.2	1.7	19.9	0.8	30
15	3.7	19.1	1.5	90
8.8	10.6	17.9	2.7	150



الشكل (25) ضغط الأكسجين والضغط الجوي في المرتفعات

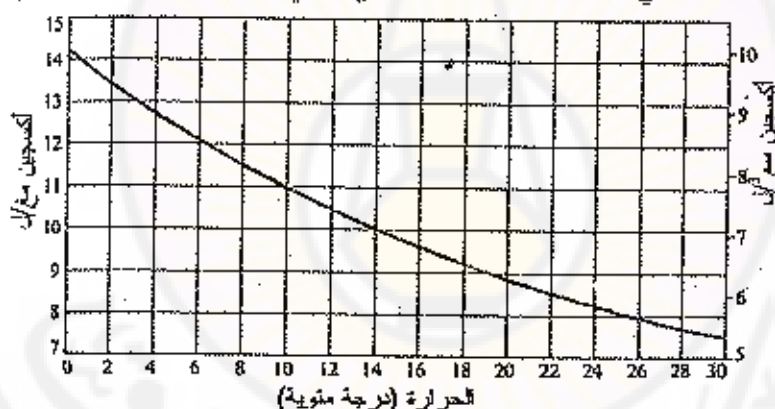
2- انحلالية الأكسجين في الماء:

في الحقيقة، يكون الأكسجين دائماً قليلاً الغزارة نسبياً في الماء، مقارنة مع الهواء، ويعود ذلك إلى قلة انحلاله في الماء، ويتأثر تركيز الأكسجين في الماء بدرجة الحرارة والملوحة: فالماء الأقل ملوحة والأشد برودة يحل نسبياً كمية أكبر

من الأكسجين (الشكل 26). وقد تم البرهان على أن انحلالية الأكسجين في الماء في ضغط جوي عادي، ترتبط بالحرارة بالعلاقة الآتية:

$$Cs = 475/33.5 + t$$

حيث Cs كمية الإشباع التي يعبر عنها بالـ مغ/ل. ففي المياه الطبيعية، يقتر إشباع الأكسجين، أي الكمية العظمى من الأكسجين المنحلة بالماء في درجة حرارة وملوحة ماء، وإذا لم تتدخل ظواهر بيولوجية لزيادته، ببضعة مليغرامات/ل فقط (الجدول 4)، أما في الهواء فعلى العكس، يمثل الأكسجين 21% تقريباً من مجموع مكوناته، وهي كمية كبيرة جداً. وأثناء الانتقال من الحياة المائية إلى الحياة على اليابسة، مثل التحول من التنفس المائي إلى التنفس الهوائي مرحلة تطورية مهمة جداً؛ وإذا أخذ هذا الأمر من زاوية تنفسية بحثية، فإن هذه الخطوة وضعت الكائنات في وسط أكثر ملاءمة، أي غني بالأكسجين بشكل دائم.



الشكل (26) منحنى إشباع الأكسجين المنحل في الماء النقي، حسب درجة الحرارة، وفي الضغط الطبيعي (760 مم زئبق)

الجدول (4) تركيز الأكسجين المقابل للإشباع في الماء العذب وماء البحر.

O ₂ ml/l	O ₂ ml/l	O ₂ mg/l	درجة الحرارة
ماء بحر	ماء عذب		
8.0	10.3	14.2	0
5.8	7.2	9.8	15
4.5	5.6	7.5	30

3- الحياة الهوائية والحياة غير الهوائية:

يمكن تقسيم الكائنات الحية في الوسط المائي (بما في ذلك الأوساط الداخلية للطفيليات) إلى مايلي:

أ- كائنات غير هوائية إجبارية: نذكر منها على سبيل المثال البكتيريا الكبريتية (sulfobacteries)، والتي تستمد الأكسجين الضروري لحياتها من تفكك المواد العضوية.

ب- كائنات غير هوائية اختيارية: تستطيع هذه الكائنات إما استعمال الأكسجين الحر، أي "تنفس"، أو تأخذ الأكسجين من تحلل السكر (Glycolyse)، أو من تفاعلات بيوكيميائية أخرى. غير أنه غالباً ما تصبح بعض البكتيريا غير الهوائية الاختيارية أقل نشاطاً إذا وجدت نفسها بعيدة عن الوسط المؤكسج. فمثلاً تفكك زراعات بكتريا *Aerobacter* غليكوز ركازتها بشكل كامل عندما تكون هوائية، أما عندما تصبح لاهوائية فلا تفكك إلا ثلثه تقريباً. وفي هذه الحالة الأخيرة يستعمل أقل من نصف كربون الغليكوز لتشكيل الخلية البكتيرية، مقابل نحو 50% في حالة التفكك الهوائي.

كما يوجد حالات أخرى نادرة، يتطلب فيها الكائن عملياً تركيزاً منخفضاً جداً من الأكسجين، والمثال على ذلك عصية التيتانوس *Bacille de tetanus*. وهناك العديد من الكائنات المائية التي تخضع في فصل الصيف لفقر هائل في الأكسجين، كما يوجد كائنات لا تستطيع استعمال أكسجين الهواء مع أنها توجد في أوقات معينة في وسط هوائي، هذه الكائنات تستطيع البقاء حية فترات مختلفة تتراوح بين بضعة أيام وعدة أشهر. وتختلف فترة البقاء هذه حسب الأنواع وأحياناً لدى النوع نفسه حسب الموقع الإحيائي المأهول من قبل الأفراد المختلفة. والمقصود هنا في المقام الأول حيوانات منطقة المد والجزر (الرخويات وبلح البحر *Balanes*) والمياه الوقئية. كما يُسجل سلوك مشابه لدى صفيحيات

الخلاصم وبعض بطنديات القدم في القاع الطيني البحري، وقاع البحيرات والمستنقعات، ولدى الديدان الخيطية وكثيرات الالهلاب، ويرقات الحشرات التي تعيش في الشروط البيئية نفسها.

على العموم، تستعمل هذه الحيوانات مكوناتها العضوية كمصدر للأكسجين، فتستعمل بداية السكريات ثم الليبيدات، أما البروتينات فتؤجلها كمصدر أخير، وقد لوحظ مثل ذلك التسلسل عند أفراد بلح البحر قبل أن تنفق إذا لم تصعد المياه أو إذا لم تتوقف أزمة الصيف.

ويبدو جلياً أن من بين النتائج التي تترتب على قيام الكائنات الحية بإنتاج أشكال مقاومة كالأكياس Kystes والدريرات في الفصول غير الملائمة هو تخفيض الاستقلاب التنفسي إلى حده الأدنى، والسماح للنوع بالاستعمال الأمثل لكمية الأكسجين القليلة الموجودة تحت تصرفه.

ومن بين الأدلة على الاستعمال الأمثل لأكسجين الوسط، هو ظهور الهيموغلوبين لدى يرقات الحشرات، والعلق، ورخويات الماء العذب أو قاع البحر. وهذا الصباغ، الذي تكون ألفته بالأكسجين أقوى من ألفة الهيموسيانين، عبارة عن صباغ تنفسي نموذجي لدى الرخويات، مما يسمح لبعض الأنواع (Solen, Planorabes) بالمعيشة في مياه فقيرة بالأكسجين.

جـ - كائنات هوائية إجبارية: هذه المجموعة واسعة جداً، ويتمثل بكائنات يقتصر استقلابها الطاقى على التنفس، أي الكائنات التي عليها حرق المواد التي تشكل الوقود الخلوي بواسطة الأكسجين الواصل مباشرة من الوسط.

4- دور التركيب الضوئي في أكسجة الوسط.

أ- التركيب الضوئي والأكسجين في المحيط الحيوي:

يعود جزء من الأكسجين الموجود في الطبيعة إلى عمليات كيميائية حدثت قبل تشكل المحيط الحيوي. أما الجزء الأكبر فينتج من التركيب الضوئي للنباتات

اليخضورية، التي تفقر الجو شيئاً فشيئاً بغاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 ، بينما تغنيه بالمقابل بالأكسجين O_2 ، حتى وصلت النسبة الحالية إلى 21%. ويعد التركيب الضوئي ضرورياً لاستمرار الحياة على الأرض، فلو أوقفت أوراق النباتات الخضراء عملها لبضعة أعوام، لتلاشت كل الكائنات الحية على الكرة الأرضية بما فيها الإنسان. وهناك مصادر أخرى للأكسجين مهمة عملياً، تعزى إلى تفاعلات بيوجيوكيميائية ثانوية، أما الفقر بالأكسجين المسجل في بعض المراكز الصناعية، فلا يعدو كونه ظاهرة حديثة جداً ومحلية.

ب- التركيب الضوئي والأكسجين في الوسط المائي، الطلب الحيوي على الأكسجين (D.B.O):

- ينتج الأكسجين الموجود في الأوساط المائية من المصادر الآتية:
- من الانحلال المباشر لأكسجين الجو، والذي يكتسب أهمية كبيرة في المياه المتحركة حيث تقدم سطحاً واسعاً للتبادل الغازي مع الجو مقارنة بحجمها، أما في المياه المضطربة، حيث يزيد الخلط من سطح الاحتكاك بين الوسطين، فإنه يتشكل الزبد، الذي هو مستحلب حقيقي للهواء في الماء.
 - من التركيب الضوئي للنباتات ذات الاستقلاب المائي، ممثلة بالنباتات القاعية أو العوالق النباتية. أما الأكسجين الذي تنتجه البكتيريا فيكون مهماً تقريباً. وبالمقابل، يعد الأكسجين الذي تستهلكه البكتيريا دليلاً مهماً عن النشاط البيولوجي للوسط. والطلب الحيوي على الأكسجين (DBO) Demande Biologique d'oxygène هو كمية الأكسجين التي تستهلكها البكتيريا الهوائية التي يشتمل عليها لقر واحد من الماء خلال خمسة أيام وفي درجة حرارة 20 مئوية. ولكي يكون الماء صالحاً للشرب يجب، بالإضافة إلى شروط أخرى، أن يكون DBO أقل من 5 مغ/5 يوم $[DBO (5) < 5 \text{ mg}]$.

أما الطلب الكيميائي على الأكسجين (DCO) Demande Chimique d'Oxygène، فهو كمية الأكسجين التي تستهلكها المادة الحية أو الجامدة (inerte) التي يشتمل عليها الماء في وقت معين. وتستخدم قيم DBO و DCO بشكل خاص في البيئة التطبيقية للدلالة على تلوث الماء، وفي دراسات تنقية المياه.

ويختلف الدور المتبادل الذي تؤديه العوامل الفيزيائية والجماعات النباتية والحيوانية في أكسجة الوسط، وبالتالي في التكيفات الفيزيولوجية للكائنات، بشكل كبير حسب نماذج الوسط المختلفة. ونستطيع توضيح ثلاث مجموعات بيئية كبيرة هي: المياه الجارية القارية، والبحار، والأوساط القارية الهادئة والمغلقة قليلة العمق كالبحيرات الصغيرة والمستنقعات والأهوار (lagunes) والبرك (étang).

4-1- المياه الجارية وألفة التيار Rheophilie:

يغتنى التيار القوي نسبياً، والذي يصل إلى حد الاضطراب وتكوين الزبد، بالأكسجين عن طريق التماس المباشر مع الجو. ويؤدي فيه البلانكتون دوراً ضعيفاً، حيث يكون التيار سريعاً، وبالتالي تكون كمية البلانكتون قليلة. كما يكون دور القاعيات النباتية هامشياً أيضاً، لأن التيارات السريعة لا تسمح إلا للقليل من النباتات بالتثبيت على طول مجراها، وتكون الكتلة الحيوية الكلية محدودة، بحيث لا تؤثر، بنفسها، في مصادر الأكسجين. ومع ذلك يمكن أن يشاهد فيها محلياً مناطق هادئة، بحيث تكون النباتات غنية نسبياً وكثيفة وتمثل مصدراً مهماً للأكسجين.

ويمكن تمثيل توازن الأكسجين المنحل في الماء في محطة محددة على طول
المجرى بالمعادلة الآتية:

$$Q = P \pm D - R$$

حيث:

Q: هو خسارة أو ربح الأكسجين في وحدة المسطح بين المحطات المتوضعة في أعلى وأسفل
المحطة ذات العلاقة

P: كمية الأكسجين المنتجة بالتركيب الضوئي.

D: كمية الأكسجين المكتسبة مباشرة بالانحلال اعتباراً من الجو (أو المفقودة إذا كان الماء قد
وصل إلى المحطة المدروسة وهو فائق الإشباع بالأكسجين).

R: كمية الأكسجين المفقودة نتيجة العمليات التنفسية للنباتات والحيوانات.

تسمح هذه المعادلة بالتنبؤ بالخطر الذي يمثله التلوث العضوي على الحياة
الهوائية، وحتى ذلك التلوث الذي تنتجه مواد هي بحد ذاتها غير سامة.
وبالإضافة إلى ذلك، فإن جزءاً من المواد التي تنتجها الفضلات يرتبط غالباً مع
الأكسجين المنحل وتسحب إلى دورتها البيولوجية الطبيعية. وعندما تكون هذه
المواد غزيرة جداً، فإن البكتريا الهوائية لا تستطيع تفكيكها، لأن هذا التفكك
يتطلب كميات من الأكسجين غير متوفرة لها. حينئذٍ تتدخل البكتريا اللاهوائية
الاختيارية ولكنها، من دون الأكسجين، لا تتوصل إلى إنهاء تفكك هذه المواد
ويكون عملها غير تام وبطيء. وتصبح اللاهوائيات مهيمنة وتتسبب مواد مستقلبة
(Catabolites) سامة للحياة الهوائية.

مع ذلك، عندما يتحقق توازن طبيعي، فإن كمية الأكسجين O_2 في التيارات
السريعة لا تخضع لتغيرات مفاجئة، لأنها تتعلق بعوامل فيزيائية جوهرية (ذاتية)
للتيار، قليلة التغير مع الفصل والساعة.

وتدعى الكائنات التي تعيش عادة في التيار أليفة التيار (Rhéophiles) ومن
بين النباتات أليفة التيار هناك طحلب المناقع (Sphaignes) والطحالب الزرقاء

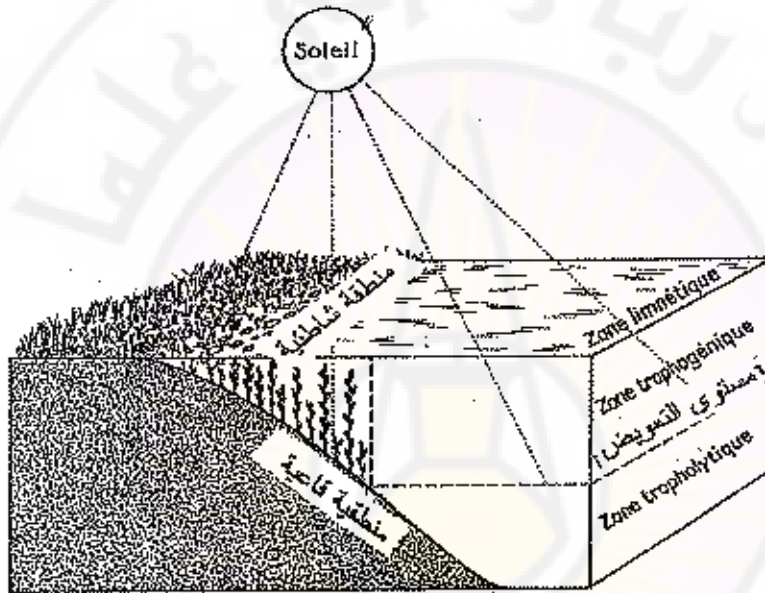
(Cyanophycées) والطحالب الخضراء الكبيرة. ومن الحشرات نذكر يرقات الرعاشات (Odonates) واليوميات (Ephémères) وشعريات الأجنحة (Tricoptères) ومطبات الأجنحة (Pléoptères) وبعض يرقات ثنائيات الأجنحة (Diptères)... إلخ. كما أن كثير من الرخويات تعد أليفة تيار، نذكر منها: *Theodoxus fluviatilis* و *Ancylastrum fluviatile*.

وللدلالة على جماعات المياه الجارية، يستعمل مصطلح جماعات المياه السريعة *Communauté lotique*، بينما ينطبق مصطلح *Communauté lénétique* على جماعات المياه الهادئة. وتكون الجماعات أليفة التيار بالمعنى الدقيق ضيقة الهواء (Stenoaérobiontes) ولا تتحمل إلا تغيرات طفيفة في محتوى الأكسجين المحيط، وأعضاؤها غير متكيفة لتحمل انخفاض في ضغط الأكسجين المنحل.

4-2- ماء البحر:

يعرف مستوى التعويض (niveau de compensation) بأنه العمق الذي تنتج فيه النباتات اليخضورية في البحر (أو البحيرية العميقة) كمية من الأكسجين تعادل الكمية التي تستهلكها في التنفس (الشكل 27)، وشدة الإضاءة الموافقة هي شدة التعويض. ولا يمثل مستوى التعويض العمق الأعظمي الذي يمكن أن يتم فيه التركيب الضوئي، ولكن تحت هذا العمق، تصبح نتائج التركيب الضوئي سلبية أكثر فأكثر، لأن النباتات تستهلك كمية من الأكسجين أكثر من الكمية التي تنتجها، وتسدعى هذه المنطقة منطقة تحلل الغذاء *zone tropholitique*. ويستمر ذلك حتى العمق الذي تختفي فيه آثار الضوء نهائياً والذي يصل إلى حوالي 200 م. وعلى العكس، فوق هذا المستوى، تصبح

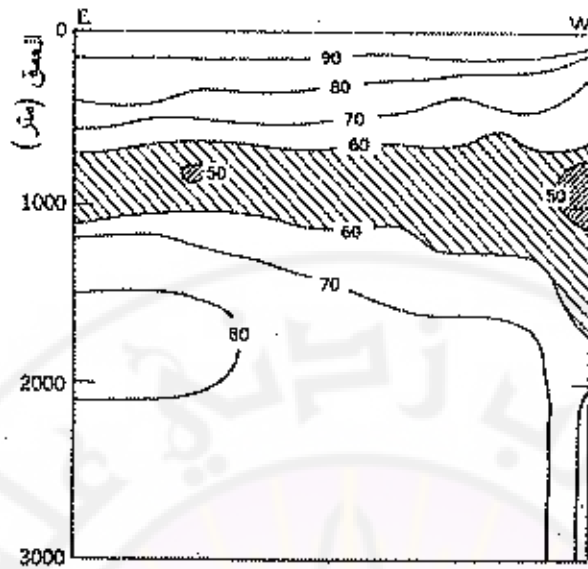
الموازنة إيجابية أكثر فأكثر باتجاه السطح، وذلك حتى عمق معين تحت هذا السطح. وتدعى هذه المنطقة منطقة إنتاج الغذاء zone trophogénique. أما على سطح الماء بالذات، فتسبب الشدة الضوئية المفرطة انخفاضاً في معدل التركيب الضوئي (إشباع ضوئي). ويختلف المستوى الأمثل للتركيب الضوئي، وكذلك عمق التعويض حسب الأنواع وحسب الفصل، وخطوط العرض وضبابية السماء.



الشكل (27) شكل تمثيلي للتطبيق العمودي للأكسجين في منطقة هادئة من إحدى البحيرات، على علاقة مع موازنة تركيب ضوئي- تنفس

أ- سطح البحر:

ويكون سطح البحر الملامس للجو غنياً بالأكسجين دائماً (الشكل 28)، ويؤدي أكسجة أعظمية على طول الساحل، ليس فقط بسبب غزارة النباتات القاعية، ولكن أيضاً بسبب الأمواج، والتي بتكسرها على الشاطئ، تؤثر تأثيراً فيزيائياً سببها بتأثير تيارات الأنهار السريعة، أي تزيد من انحلال الأكسجين في الماء.



الشكل (28) التوزيع العمودي لأوكسجين (بالنسبة المئوية للإشباع) في المحيط الأطلسي الشمالي، بين خطي عرض 20 و 25 شمالاً.

وهكذا يمكن التحدث في الوسط البحري عن أنواع " أليفة تيار " وحتى أحياناً عن جماعات مياه سريعة (Lotique). وهذه المصطلحات لا تعني الأنواع والجماعات التي يرتبط انتشارها بالتيارات، ولكنها تعني الأنواع التي تحتل الأوساط المضطربة السطحية، وتمتلك الخصائص الفيزيولوجية نفسها للأنواع أليفة التيار التي تعيش في الأنهار السريعة والسيول، وتكون مثلها ضيقة الهواء Stenoacrobiose. ومن الطبيعي أن يترافق تماثل الأوكسجة بين أوساط أليفة تيار نهريّة و أوساط أليفة تيار بحرية بتشابه إيكولوجي آخر يتعلق بالتركيب الفيزيائي للركيزة Substratum. وفي هذه المناطق التي تكون حركة الأمواج فيها دائمة ومهمة، فإن الركيزة تتشكل من صخور وحجارة ورمل خشن، وتتميز باهتمامها على قاعيات متنبهة قليلة ومتخصصة ومحدودة.

ب- التيارات البحرية:

أما التيارات البحرية بالذات، فإن دورها في مزج الماء مهم وبالتالي في إيصال الأكسجين إلى الطبقات العميقة، التي ينعلم فيها التركيب الضوئي. ويقوم بهذا المزج التيارات البحرية العمودية أو الأفقية التي تخترق مناطق مختلفة الأكسجة، بسبب اختلاف العمق والكثافة، والشفافية، والضوء والملوحة والنباتات... الخ.

ج- المد والجزر:

بالإضافة إلى ذلك، يقوم المد و الجزر بدور مهم في خلط مياه مصبات الأنهار الملوثة غالباً. وتؤدي المياه قليلة العمق، كأغلب المياه الشاطئية نباتات قاعية يخضورية كبيرة وصغيرة، يمكن أن تشكل عاملاً مهماً في إغناء الماء بالأكسجين المنحل. ويكون هذا الغنى أشد وضوحاً في الخلجان، ومصبات الأنهار، وبصورة عامة في الأوساط المغلقة. كما يتم الشيء نفسه بمحاذاة الشواطئ المفتوحة نسبياً، وفي مروج ظاهرات الالتفاف، أو في وسط التشكلات الطحلبية الكبيرة والممتدة كاللاميناريات Laminaires مثلاً من الطحالب السمراء. ويمثل نشاط هذه النباتات مصدراً مهماً للأكسجين. وفي الوقت الهادئ يمكن ملاحظة دورية يومية واضحة للأكسجين. حيث ينعى الوسط بالأكسجين نهائياً نتيجة التركيب الضوئي ويفتقر ليلاً. فالحيوانات المثبتة على النباتات أو التي تعيش في وسطها، تدخل في مجموعة الأنواع واسعة الهواء Euryaerobiontes. كما تعد حيوانات منطقة المد والجزر واسعة الهواء أيضاً، وتم بيان تواتر تنفسي وتواتر نشاط لديها من أصل داخلي المنشأ (Endogène) غالباً، لكنه متزامن مع تغيرات المد والجزر.

د- قاع البحر:

ويكون قاع البحر، خاصة في الأماكن الهادئة أو العميقة نسبياً وقليلة الاضطراب، ملوئاً بالأسود وغنياً بحمض الكبريت أو الكبريت، على عمق بضعة

سننيمترات أو بالأحرى بضعة ميليمترات تحت سطحه. وغالباً ما تتكدس الحيوانات القاعية الدقيقة ذات الاستقلاب الهوائي (مجدافيات أرجل، محاربات درقة، هديبات، ديدان خيطية... الخ) في الطبقة السطحية الرقيقة المؤكسجة. في الحقيقة، يستطيع كثير من هذه الحيوانات المعيشة بضعة أيام وحتى أسابيع في غياب تام للأكسجين. أما الحيوانات الكبيرة وخاصةً بعض كثرات الأهلاب الحافرة والعديد من صفيحيات الغلاصم، فإنها تختبئ أيضاً في الأعماق، ولكنها تشتمل على وسائل اتصال توصلها إلى الماء الحر، كأنفاق كثرات الأهلاب وممصات Siphones ثنائيات المصراع، وتسمح لها بالإبقاء على النشاط التنفسي. ومن جهة أخرى تقوم هذه المتعضيات، إما بالاستفادة القصوى من الكميات القليلة من الأكسجين بمساعدة صبغات تنفسية شديدة الألفة للأكسجين، أو باللجوء إلى تحلل الجلوكوز للمحافظة على البقاء بحالة لاهوائية. أما إذا تشكلت أوساط لاهوائية واضحة فوق القاع، كما هو الحال في البحر الأسود، فإن كل الحيوانات صغيرها وكبيرها تختفي فور هبوط المستوى الثابت للأكسجة تحت 5% من الإشباع.

4-3- الأوساط الهادئة و المغلقة و الدورات اليومية :

في مستنقع أو بحيرة صغيرة وقليلة العمق، أو في خليج محمي تبقى المعادلة:

$$Q = P \pm D - R$$

قابلة للتطبيق. وفي هذه المعادلة، ولاسيما في فترة الهدوء، يكون عاملا التركيب الضوئي P والتنفس R أكثر أهمية مما هما عليه في المياه الجارية. وتكون المياه الهادئة، بشكل عام، غنية بالكتلة الأحيائية Biomasse، إن كان بالنسبة للقاعيات أو البلاكتون أو السوابح، ويؤدي فيها التركيب الضوئي والتنفس دوراً أساسياً ولاقئاً للنظر.

ويمكن للنشاط الاستقلابي للنباتات أن يغني الماء بالأكسجين حتى قيم هائلة تصل إلى 300% من الإشباع، وذلك بالقرب من الكتل النباتية. وبصورة عامة، يكون هذا النشاط أشد وضوحاً لدى الطحالب منه لدى ظاهرات الإلقاح المغسورة، لأن هذه الأخيرة لا تخصص للتركيب الضوئي إلا أنسجة محدودة، بينما تقوم جميع خلايا الطحالب بهذا التركيب.

وفي الأوساط المغلقة قليلة الاتساع، وفي الأوقات الهادئة والمشمسة، يمكن أن يصل نشاط النباتات إلى شدة تسمح للأكسجين المنتج أن ينطلق على شكل فقاعات تغني المياه المحيطة. ويمكن للطحالب أن تنتج كمية من الأكسجين تتجاوز 300% من الإشباع في المياه المحجوزة بين هذه الطحالب. بينما بالكاد يصل إلى الإشباع في الماء الحر الموجود على بعد نصف متر من هذه الطحالب.

وأثناء الليل، تتوطد اختلافات عكسية نتيجة النشاط التنفسي للنباتات والفاعيات الحيوانية التي تزويها وتوقف التركيب الضوئي. والوسط الدقيق المغلق بين النباتات يمكن أن يفتقر إلى الأكسجين و يغتني بـ CO_2 أكثر من الماء الحر المجاور. وهكذا تخضع الأوساط المغلقة لدورات يومية من الأكسجة، يسببها تعاقب الليل و النهار. وتعود هذه الدورات ليس فقط للاختلافات الحرارية التي يسببها هذا التعاقب، ولكن أيضاً، وبصورة أشد وضوحاً، إلى تغير استقلاب الكائنات الحية، فأثناء الليل ينعدم التركيب الضوئي P معدوم و يبقى التنفس R العامل الحيوي الأوحدها القيمة. ولو فرضنا أن هذه الدورية لا تتعلق إلا بالحرارة فسوف تبدي الدورة اليومية للأكسجين مظهراً معكوساً، لأننا نعرف أن الماء الأشد حرارة يحل كمية أقل من الأكسجين.

5- الأكسجين في التربة:

تكون الحياة الهوائية *aerobiose* هي السائدة في التربة جيدة الصرف، والمؤلفة من حبيبات متوسطة النعومة. والحيوانات التي تعيش في هذا النوع من التربة لا تعاني أي صعوبة في التنفس، حيث ينتشر الأكسجين عبر الفجوات، وتزود الحيوانات كبيرة الحجم، كالثدييات الصغيرة التي تعيش تحت الأرض، أنفاقها بمأخذ هواء، كما هو الحال لدى الخلد. وتكون بيئة اللاقاريات الأرضية أليفة هواء دقيقة *Micro-aerophile*، وهذه حالة العديد من القرايات والديدان الخيطية *Nematodes* وقليلات الأملاب *Oligochètes*.

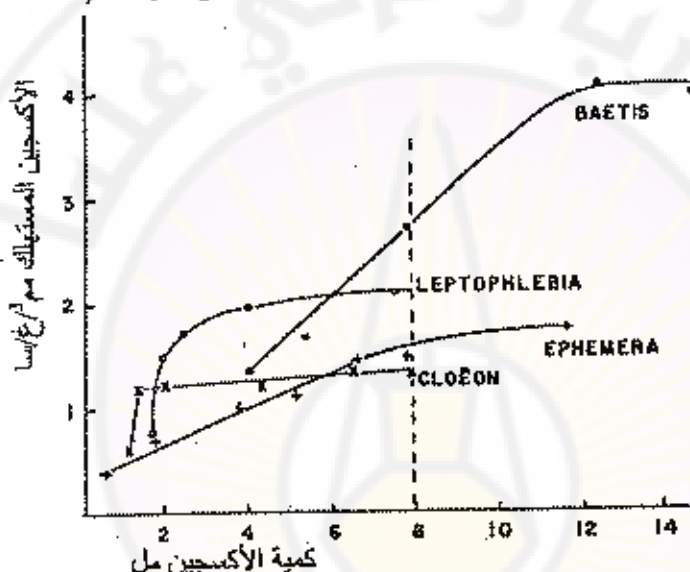
وتحتفظ مفصليات الأرجل الصغيرة بقدرتها على التنفس الهوائي، حتى عندما تكون التربة مبللة بالماء، وذلك عن طريق فقاعات الهواء المحبوسة بين الحبيبات. ويمكن أن تلعب تهوية التربة دوراً محدوداً في الهجرة العمودية الفصلية لحيوانات التربة. وهناك عامل آخر يسبب الإفقار المحلي بالأكسجين، يتمثل بالتراكم الزائد للمواد العضوية الآخذة بالتأكسد البكتيري. كما يظهر لدى بعض مجموعات حيوانات التربة تكيفات شكلية و فيزيولوجية خاصة، تذكر بالتكيفات الموجودة لدى الأنواع المائية التي تعيش في أوساط فقيرة بالأكسجين، مثال على ذلك، استطالة جسم دودة الأرض والذي ينتج منه زيادة نسبية للسطح المخصص للتبادل الغازي.

6- التكيفات التنفسية ودور الصباغات التنفسية:

يستند الحل الجذري لمشاكل التنفس، بالنسبة لأي نوع حيواني، على الانتقال لتعقب شروط الوسط المثلى بالنسبة له. غير أن هذا الحل لا يتم تبنيه إلا من قبل عدد محدود من الكائنات. وغالباً لا يوجد في الوسط المائي أي "وسط مثالي" يكون في متناول الحيوانات قليلة الحركة.

وتستجيب بعض الحيوانات لتغير نسبة الأكسجين بتغيير معدل تنفسها مباشرة. ويدعى هذا النمط من رد الفعل برد فعل غير منظم *non régulatoire*.

ويتظاهر هذا النمط لدى أنواع يوميات المياه الجارية Ephémères مثل: Baetis و Ephemera. أما الحيوانات الأخرى، فعلى العكس، تحافظ على استقلالها التنفسي مستقلاً عن أكسجة الوسط ضمن فجوة واسعة نسبياً، ما لم يهبط ضغط الأكسجين إلى مستوى شديد الانخفاض وخلال فترة زمنية طويلة، ويدعى هذا النمط من رد الفعل برد فعل منظم (régulateur). كما هو الحال لدى أنواع يوميات المياه الراكدة مثل: Leptophlebia و Clocon (الشكل 29).



الشكل (29) ردود الفعل المنظمة وغير المنظمة للتنفس لدى يرقات اليوميات Ephémères

حسب كمية الأكسجين في الماء. يقابل الخط العمودي المقطع قيمة إشباع الأكسجين في الماء. تزداد نسبة استهلاك الأكسجين حسب تركيز هذا الغاز في الماء لدى أنواع المياه الجارية: Baetis و Ephemera، على العكس تظهر أنواع المياه الراكدة تنظيمًا لاستهلاك الأكسجين. وهذه هي: Leptophlebia و Clocon.

ويؤدي نمط ردود الفعل بجلاء دوراً تكيفياً مع شروط الأكسجة المختلفة للوسط. فبالنسبة للكائنات التي تعيش في وسط خاضع لتغيرات تهوية شديدة، وغالباً فقير جداً بالأكسجين، فإن رد الفعل غير المنظم يسمح بتخفيض معدل الاستقلاب حسب الجهوزية الفعلية للوسط. ويعد هذا التكيف ضرورياً للكائنات

القاعية والمنظومة Endogé، أما الحيوانات التي لا تتعرض لشروط أكسجة غير كافية إلا في مناسبات قصيرة ونادرة، كالمسابحات Nectons على سبيل المثال، والمتحركات السريعة، أو حيوانات اليابسة غير المنظومة. فيكون الاستقلاب التنفسي لها من نمط منظم. وهناك حالات انتقالية ممكنة بين هاتين المجموعتين المبسطتين. ويؤدي وجود الصباغات التنفسية والعمل الذي تقوم به دوراً مهماً في هذه التكيفات المختلفة والمعقدة.

6-1- المدلول البيئي لوجود الصباغات:

يرتبط وجود الصباغات التنفسية غالباً، لدى اللافقاريات، بالحياة في وسط فقير بالأكسجين، على الأقل وقتياً، أو بالأصل السلالي الذي يذكر بشروط الحياة هذه. ومن المفيد إذاً التذكير ببعض النقاط الأساسية للصباغات التنفسية:

أ- يعد الهيموغلوبين صبغاً شديداً للأففة للأكسجين، ويمكن أن يتوضع في تشكيلات خلوية مختلفة: فقد يوجد منحلاً في اللف الدموي لللافقاريات، أو متوضعاً في خلايا دموية خاصة أي في كريات، كما يمكن أن يوجد في العضلات بحالة خضاب عضلي myoglobine.

ب- قد يكون لوجود الهيموغلوبين لدى نوع محدد مدلولاً تصنيفياً عاماً، أي لا يكون مرتبطاً بشروط بيئية خاصة. مثلاً، يشكل وجود الهيموغلوبين لدى الفقاريات صفة تصنيفية مشتركة، كما يمكن اعتبار وجود هيموغلوبين اللافقاريات erythrocrurine لدى الحفقيات بمثابة صفة مشتركة لهذه الشعبة الحيوانية.

ج- لا يتضمن وجود الهيموغلوبين لدى اللافقاريات (والذي هو بصراحة مجموعة غير متجانسة من وجهة نظر كيميائية) أي معنى بيئي إلا عندما تنتسب الأنواع التي تشتمل عليه إلى مجموعة تصنيفية مجردة عادة من الهيموغلوبين.

د - لا تكون وظيفة هيموغلوبين اللافقاريات مماثلة دائماً لوظيفة هيموغلوبين الفقاريات. فمثلاً، يقوم الهيموغلوبين لدى دودة الرمل *Arenicola* بوظيفة تخزين الأكسجين، ولا يتخلّى عن أكسجينه إلا عندما يصبح ضغط هذا الغاز في المتعضية منخفضاً جداً. ويمثل هذا الإجراء وسيلة دفاع ضد فرط الأكسجة لدى هذه الحيوانات التي تعيش عادة في الطين وتكون متكيفة مع وسط قليل الأكسجة.

هـ - يتناقص تركيز الهيموغلوبين في المتعضيات اعتباراً من الفقاريات متجانسات الحرارة، وحتى البحرية منها، مروراً باللافقاريات متغيرة الحرارة، حتى اللافقاريات. وغالباً ما يصادف لدى السباحات تركيز أعلى من التركيز الموجود لدى القاعيات بطيئة الحركة. كما يمكن إجراء مقارنة مماثلة، فيما يخص قدرة الدم على نقل الأكسجين، والذي يكون ضعيفاً لدى اللافقاريات، ويزداد لدى الفقاريات متغيرة الحرارة، حتى يصبح مرتفعاً جداً لدى متجانسات الحرارة وبخاصة الغطاسية منها. وتعرف قدرة نقل الأكسجين بأنها كمية الأكسجين التي يمكن أن ينقلها 1 سم³ من الدم في نوع حيواني محدد.

6-2- توزع الصبغات التنفسية لدى اللافقاريات وتكيفاتها:

يمكن تمثيل توزع الصبغات التنفسية على النحو الآتي:

1- الحلقيات *Annelides*:

لا يتوضع الهيموغلوبين لدى الحلقيات *Hirudines* وقليلات الأهلاب *Oligochètes* في كريات، إنما يكون منحلأ في البلازما. أما لدى كثيرات الأهلاب *polychètes* فيتوضع غالباً في داخل الكريات. ويقوم هيموغلوبين الحلقيات وقليلات الأهلاب بوظيفة نقل الأكسجين، غير أنه لا ينقل إلا جزءاً بسيطاً من الأكسجين الذي يتنفسه الحيوان.

ويتكيف معدل التنفس لدى دودة الأرض *lumbricus* بشكل واضح ومباشر مع كمية الأكسجين المتاحة في الوسط، أما لدى الحلقيات، فعلى العكس، لا يتناقص معدل التنفس بشكل محسوس إلا في التراكيز المنخفضة جداً من أكسجين الوسط، والذي يكون على علاقة واضحة مع مسكن الحلقيات (أوساط راکدة، قادرة على التشبع بالأكسجين وقتياً).

2- الديدان الخيطية *Nematodes*:

بعد الهيموغلوبين غير الكريتي والصبغ التنفسي الوحيد المعروف لدى العديد من أنواع الديدان الخيطية الطفيلية على الحيوانات. كما يصادف أحياناً في السوائل وأحياناً أخرى في النسيج. المقصود هنا هو الهيموغلوبين الخاص بالدودة، وليس المأخوذ من المضيف.

أما بالنسبة للأنواع الحرة والطفيلية على النباتات فلم يكشف عن وجوده لديها حتى الآن، ويوجد لدى الطفيليات التي تعيش في الأنثروب المعوي لمضيفها هيموغلوبين شديد الألفة للأكسجين، بحيث لا يتم التخلي عنه إلا عندما يصبح ضغط الأكسجين النسيجي منخفضاً جداً. ويوجد لدى الإسكاريس نمطان من الهيموغلوبين: الأول في جدار الجسم ويعمل كغلوبين عضلي *myoglobine* يقوم بوظيفة خزن الأكسجين، والآخر في سوائل الجوف العام الكاذب.

ونشير إلى أن العديد من الأوساط النموذجية للديدان الخيطية الحرة تصبح وقتياً أوساطاً غير هوائية (طين قاع البحار والبحيرات، ترب مشبعة بالماء)، ولذا فإن الديدان الخيطية التي تعيش فيها تكون لا هوائية اختيارية.

على غرار العديد من الكائنات الأخرى المتكيفة نموذجياً مع أوساط قليلة الأكسجين، فإن الأكسجة المرتفعة يمكن أن تؤدي إلى نتائج خطيرة، وينطبق ذلك على الأشكال الحرة والأشكال الطفيلية. وهكذا يمكن تحريض طرح الإسكاريس عن طريق ضخ تيار من الأكسجين في الأنثروب الهضمي للمضيف.

3- مفصليات الأرجل Arthropodes:

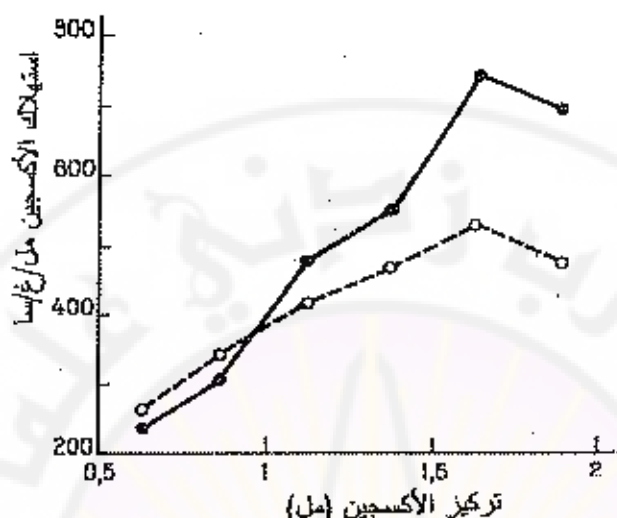
يعد الهيموسيانين Hémocyanine الصباغ التنفسي الأساسي لدى القشريات والعنكبديات والرخويات. المقصود سواء بالنسبة لمفصليات الأرجل أو الرخويات، مجموعة صباغات غير حديدية (non prophyrinique) تحتوي على النحاس بدلاً من الحديد. ويختلف هيموسيانين القشريات بشكل واضح عن هيموسيانين الرخويات، حيث يكون لدى الرخويات أغنى بالنحاس وقدرته التنفسية أعلى، وخاصة لدى رأسيات الأرجل كالأخطبوط والحبار.

3-1- القشريات: لقد وجد الهيموغلوبين لدى حشرات الدرقسة Entomostracés ووجد الهيموسيانين لدى لينات الدرقسة Malacostracés، ولكن من المستبعد وجود هذين الصباغين معاً لدى القشريات، وهذا ما يعطيه قيمة عامل تصنيفي تقريباً.

ولقد أمكن البرهان تجريبياً على الوظيفة التكيفية للهيموغلوبين لدى عديمات الدرقسة الـ Anostracés (*Artemia salina*) فالأفراد الطبيعية تستهلك كمية من الأكسجين أعلى بشكل واضح من استهلاك الأفراد التي يكون الهيموغلوبين لديها مشغولاً بغاز CO_2 (الشكل 30)، كما أن الإقامة لفترات قصيرة في مياه فقيرة بالأكسجين تعرض على اصطناع كميات كبيرة من الهيموغلوبين، بينما العودة إلى أوساط غنية بالأكسجين تعرض على الاختفاء السريع للهيموغلوبين. كما يمكن لدرجة الحرارة المرتفعة أن تعرض تأثيراً مماثلاً لدى برغوث الماء *Daphnia*، ويتمثل العامل المحرض حينئذ بنقص الأكسجة النسبية للأنسجة المرتبط بانخفاض ألفة أكسجين الهيموغلوبين وزيادة معدل الاستقلاب العام.

وتكون زيادة نسبة الهيموغلوبين لدى *Artemia* على علاقة مع الوسط فائق الملوحة (Hypersaline) لهذه القشريات. فالماء فائق الملوحة يحل كمية قليلة

من الأكسجين. وتعيش *Artemia* في أوساط تصل ملوحتها حتى 200‰، وهذا الوسط لا يحتوي إلا على ثلث الأكسجين المنحل في مياه البحر العادية.



الشكل (30) الأهمية النسبية للهيموغلوبين لدى *Artemia Salina* في وسط فقير بالأكسجين وسط التربية: ماء ملوخته 195‰، درجة حرارة 23.5، إشباع بالأكسجين المنحل 2 مل/ل. استهلاك الأكسجين من قبل الأفراد الطبيعية (الخط المتصل) أعلى بشكل واضح من استهلاك الأفراد التي يكون الهيموغلوبين لديها مشغولاً بأكسيد الكربون (الخط المنقطع). تبدو الوظيفة التكيفية للهيموغلوبين الـ *Artemia* كصياغ تنفسي واضحة.

3-2- الحشرات: يعرف الهيموغلوبين لدى يرقات *Chironomides*

(ثنائيات الأجنحة) ويوجد حراً في البلازما. كما يوجد الهيموغلوبين لدى الأنواع التي تعيش في الأوساط البحرية الهادئة، أو في أوساط مائية ملوثة جداً بالفضلات العضوية، أي تلك التي تكون فقيرة بالأكسجين. ويمكن أن يؤدي الهيموغلوبين دوراً محدوداً كمستودع للأكسجين. ومع أنه مشبع بالأكسجين إلا أنه لا يؤدي أي دور في نقله ما دام هذا الأكسجين لا يهبط تحت ضغط 7 مم زئبق.

وعندما يصل ضغط الأكسجين إلى هذا المستوى، يبدأ الهيموغلوبين بالتخلي عن أكسجينه جزئياً إلى الأنسجة. وهكذا فإن هيموغلوبين الـ *chironomides* لا يعمل كناقل للأكسجين إلا في شروط عوز خطيرة لأكسجين الوسط.

4- الرخويات:

لقد تم توضيح العلاقة الموجودة بين معدل اصطناع الهيموغلوبين ونقص الأكسجين في الوسط لدى فصيلة *planorbides* (الرئويات *pulmonés*)، على الأقل لدى الصغار. وتذكر هذه الظاهرة بالحالة التي جرت دراستها لدى عديمات الدقة *Anostracés*، وتبدو الوظيفة التكيفية واضحة، لأن *planorbes* حيوانات مياه راكدة. ويعد النوع *planorbarius corneus* هو الأغنى بالهيموغلوبين، ويكون هذا الغنى على علاقة، ليس فقط بالبيئة المفضلة للنوع المتمثلة بمياه راكدة خاضعة لتغيرات أكسجة واضحة جداً على المستوى اليومي والفصلي، ولكن أيضاً بسلوك النوع، الذي يتعرض لفترات غمر طويلة. كما يغزر الهيموغلوبين أيضاً لدى أنواع من *planorbes* لا تتعرض عادة للغمر.

وينتشر الهيموغلوبين والميوغلوبين (غلوبين عضلي) بشكل واسع لدى الرخويات، كما هو الحال لدى متعددة الصفائح *polyplacophores* كالكيثون *chiton* ولدى العديد من الأنواع التي تنتسب إلى بطنيات القدم وزورقيات القدم *Scaphopodes* وثنائيات المصراع. ويتركز الهيموغلوبين لدى هذه الأخيرة في الكريات (كريات حمر *Hematocytes*). وبالمقابل وجد الهيموغلوبين في قلب وعضلات العديد من الأنواع. كما وجد الهيموغلوبين العضلي لدى مزدوجات الأعصاب *Amphineures* وبطنيات القدم.

5- شوكيات الجلد:

لم تظهر الدراسات وجود أي صبغ أصباغ تنفسي لدى النجمانيات والأفعوانيات والزيفانيات. كما لم يتم التأكد من الاكتشافات السابقة التي تشير إلى وجود الهيموغلوبين لدى الأفعواني *ophiure*. وبالمقابل، تشتمل بعض أنسجة قنفذ البحر *Echinides* على صبغ أحمر بنفسجي *Echinochrome* يتوضع في القوقعة والأشواك، ومن المحتمل أن يكون له دور تنفسي.

ويوجد لدى القنانيات صبغ *Erythrocrurine* يتوضع في الكريات الحمر الدموية الوعائية والجوفية. وقد تم التأكد من قيام هذا الهيموغلوبين بوظيفة نقل وتخزين الأكسجين لدى بعض الأنواع.

6- الحيوانات الأولية:

يوجد الهيموغلوبين لدى بعض أنواع الهدبيات *Ciliés* كالبرميسوم ولكن وظيفة هذا الصباغ مازالت مجهولة. ويبدو أنها لا تتدخل بشكل مباشر في عمليات تنفس هذه الحيوانات في الشروط البيئية الطبيعية.



الفصل الثامن
أساسيات النظام البيئي
Principles of Ecosystem



الفصل الثامن

أساسيات النظام البيئي

Principles of Ecosystem

1- مكونات النظام البيئي Component of the ecosystem

النظام البيئي: هو عبارة عن وحدة تنظيمية تحتل حيز معين يحتوي على عناصر حية وغير حية، تتفاعل هذه العناصر بعضها مع بعض وتؤدي إلى تبادل للمواد والطاقة فيما بينها. والنظام البيئي بما يشملته يعني بصورة عامة التفاعل الديناميكي لجميع مكوناته البيئية. ويُعد الموطن البيئي (Habitat) وحدة النظام البيئي وتُعد المواطن الدقيقة (Microhabitats) أصغر الوحدات البيئية المأهولة، وتوجد مصطلحات أخرى لتحديد المتغيرات الدقيقة المتداخلة مع وظيفة الكائن الحي منها المناخ الدقيق (Microclimate) والحيز الوظيفي (النيتش Niche).

ويتسألف أبسط صورة للنظام البيئي من مكونات غير حية Abiotic components ومكونات حية Biotic components وتسمى هذه المكونات بالعوامل لأنها تؤثر وتتأثر بعضها ببعض في النظام البيئي.

1-1- المكونات (العوامل) غير الحية Abiotic components

- 1- المواد اللاعضوية
- 2- المواد العضوية
- 3- عناصر المناخ
- 4- عناصر فيزيائية

1-2- المكونات (العوامل) الحية Biotic components

وتشتمل على الكائنات الحية التي تعيش في النظام البيئي، ويمكن أن تضم المكونات الآتية:

أ- المنتجات **Producers**: وتتمثل بالنباتات بشكل أساسي، وتحتاج هذه الكائنات إلى الماء وثاني أكسيد الكربون والأملاح المعدنية ومصدر للطاقة وبعض المعادن لكي تنمو وتنتج، وهي تقوم بتحويل المركبات غير العضوية ذات الطاقة المنخفضة إلى مركبات عضوية ذات طاقة مرتفعة.

تُعدُّ جميع النباتات الخضراء ذاتية التغذية (Autotrophs) حيث تقوم بصناعة غذائها من خلال عملية التركيب الضوئي. وكذلك تُعدُّ بعض البكتيريا كائنات منتجة لأنها تقوم بعملية التركيب الضوئي كالجراثيم الخضراء المزرقية *Cyanobacteri*، أو التركيب الكيميائي حيث تستعمل البكتيريا لصنع غذائها في هذه العملية مركبات كيميائية معينة دون الحاجة للضوء، وتستمد الطاقة اللازمة لعملية التركيب الكيميائي من أكسدة بعض المواد غير العضوية. ومن الأمثلة على التركيب الكيميائي ما تقوم به بعض أنواع البكتيريا من أكسدة الأمونيا وتحويلها إلى نيتريت NO_2 والتي بدورها تتأكسد إلى نترات NO_3 من خلال عملية تُسمى بالنترجة.

يُمثل التركيب الضوئي القدرة الإنتاجية لجميع النظم البيئية المحتوية على النباتات الخضراء، فهو الوسيلة التي تتحول بها الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية. ويتضمن هذا البناء العضوي سلسلة متكاملة من التفاعلات الكيميائية التي تحتاج إلى الأنزيمات والعديد من المركبات الوسيطة المعقدة ويمرُّ هذا البناء بمرحلتين أساسيتين هما:

- 1- تفاعل ضوئي **Light reaction**: وينتج عنه مركب الـ **ATP**
- 2- تفاعل ظلام **Dark reaction**: وهو عبارة عن حلقة كالفن **Kalven** وينتج عنه الغلوكوز الذي يشكل اللبنة الأساسية لبناء مركبات عضوية معقدة. وتجري هذه التفاعلات في الظلام وتستغل المنتجات التي تم إنتاجها في النهار.

ومنه نجد أنَّ الكربون والأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكبريت والفسفور تُشكِّل أهم العناصر الكيميائية لصناعة المواد العضوية الحيوية.

ب- المستهلكات Consumers: وهي الكائنات التي تستعمل المواد العضوية المنتجة من قبل الكائنات ذاتية التغذية بصورة مباشرة أو غير مباشرة، لأنها غير قادرة على إنتاج غذائها بنفسها وبذلك تكون هذه الكائنات غيرية التغذية (Heterotrophs)، وتضم الحيوانات والفطريات وبعض الطلائعيات ومعظم البكتيريا، وتُصنَّف حسب مصدرها الغذائي إلى ما يأتي:

- 1- آكلات الأعشاب Herbivores: وتُعدُّ هذه المجموعات مستهلكات أولى.
- 2- آكلات اللحوم Carnivores: وتُعدُّ هذه المجموعة مستهلكات ثانية أو ثالثة حسب مستوياتها ودورها الغذائي في سلسلة الغذاء.
- 3- آكلات الأعشاب واللحوم Omnivores: وتُسمى بالكائنات القارئة وهي تُعدُّ مستهلكات أولى وثانية وثالثة في الوقت نفسه.

وتنتمي الطفيليات إلى المستهلكات، فتتخذ الطفيليات النباتية المستوى الغذائي نفسه لآكلات الأعشاب حسب تدفق الطاقة عبر النظام البيئي. أمَّا الطفيليات الحيوانية فتحلل المستوى الغذائي نفسه لآكلات اللحوم. أمَّا الحيوانات الكناسة أو آكلة القمامة (Scavengers) فهي تأخذ دور آكلة اللحوم أيضاً.

ج - المحللات Decomposers: هذه الكائنات لا يمكن عَدُّها ذاتية التغذية ولا يمكن أيضاً عَدُّها كائنات مستهلكة لأنها تقوم بعملية تحليل الكائنات الحية بعد انتهاء عملية التحلل الذاتي (Autolysis)، وتشمل البكتيريا والفطريات. وتُصنَّف إلى ثلاثة أنواع حسب متطلبات الأكسجين:

الكائنات الدقيقة الهوائية: وتحتاج إلى الأكسجين الكافي حسب المعادلة الآتية:



وتعرف هذه العملية بعملية التحلل الهوائي وهي تشبه عملية التنفس داخل الخلايا الحية وتعرف أحياناً بتنفس النظام البيئي.

الكائنات الدقيقة اللاهوائية **Anaerobes**: مثل بكتريا الميثان.

الكائنات الدقيقة الاختيارية **Facultative anaerobes**: وهي الكائنات التي تستطيع التكيف حسب الوسط الذي تعيش فيه ومثالها بكتريا التربة (**Aerobacter**).

ويشارك في عملية التحلل العديد من الكائنات الحية بدءاً بالحيوانات الكناسة، ومن ثم الحيوانات الكناسة الأصغر من سابقتها ومن ثم الحيوانات اللافقارية، وأخيراً الفطريات والبكتريا. وتتوقف أعداد المحللات على عدة عوامل بيئية: كنوع التربة ومستويات الرطوبة والحرارة و المادة الغذائية نفسها وغيرها من العوامل البيئية الأخرى. ويتطلب إنجاز عملية التحلل وجود عدة أنواع من البكتريا والفطريات تعمل على التوالي لإتمام هذه العملية. وبالإضافة إلى التحلل تقوم المحللات بإنتاج مركبات أيضية تؤثر في الكائنات الحية الأخرى، مثل المضادات الحيوية كالبنسلين (**Penicillin**) التي تثبط حياة بعض أنواع البكتريا، وهذه المركبات الأيضية تعرف بالهرمونات البيئية.

2- أنواع النظم البيئية **Types of Ecosystems**:

2-1- تقسيم على أساس المكونات الحية وغير الحية.

أ- نظام بيئي طبيعي (مكامل): وهو النظام البيئي المفتوح. يحتوي على جميع المكونات الأساسية الأولية الحية وغير الحية (غابة - نهر - مستنقع)، ويمتد أساساً على المنتجات الأولية (النباتات).

ب- نظام بيئي غير مكامل: وهو النظام البيئي المغلق. يفتقر إلى أحد المكونات الرئيسية ألا وهو المنتجات الأولية. وتعد أعماق المحيطات السحيقة والكهوف مثلاً جيداً عن هذا النظام.

2-2- تقسيم حسب مصدر الطاقة:

- أ- نظام بيئي طبيعي يُدار بالطاقة الشمسية مثل الغابات والمحيطات.
 - ب- نظام بيئي بشري يُدار بالطاقة الشمسية كالأنظمة الزراعية.
 - ج- نظام بيئي صناعي يُدار بطاقة الوقود (المدن - المجتمعات الصناعية).
- وفيما يلي الفروقات الأساسية بين النظام البيئي الطبيعي وباقي الأنظمة.
- 1- في النظام البيئي الطبيعي تُعد الشمس مصدر الطاقة، في حين يعتمد مصدر طاقة النظام البيئي البشري على الثروة الطبيعية (الطاقة الأحفورية والطاقات البديلة).
 - 2- في النظام البيئي الطبيعي تتوافر الحلقة المغلقة لمخلفات هذا النظام، أما في بقية الأنظمة فتكون هذه الحلقة مفقودة.
 - 3- يحوي النظام البيئي البشري على مجموعة من النظم الفرعية لا تتوافر في غيره من الأنظمة.

3- اتزان النظام البيئي Ecosystem homeostasis:

إنَّ اتزان النظام البيئي يعني التوازن في مجمل الدورات الغذائية الأساسية والمسالك المتداخلة للطاقة داخل نظام بيئي ما. ويقود مفهوم الاتزان على مستوى النظام البيئي إلى البحث في المكونات الآتية:

- مدخلات بيئية (Inputs) تأتي من الوسط المحيط.
 - مخرجات بيئية (Outputs) تطرح في الوسط المحيط
- ولكي يتحقق الاتزان يجب أن يتوافر شرط التساوي في معدل دخول المدخلات وخروج المخرجات. ويتحقق ذلك الاتزان داخل المجتمعات النباتية والحيوانية من

خلال طريق التغذية الراجعة (Feed back Mechanism) والتنظيم الذاتي (Self-regulation).

ويتحقق مثل هذا الاتزان في النظام البيئي المائي، ففي هذا النظام تُؤدّي زيادة درجة حرارة الماء في فصل الربيع، إلى زيادة في معدل النشاط الأيضي أو الاستقلابي وبالتالي إلى زيادة في تركيز CO_2 ونقص في تركيز O_2 . ويؤدي ازدياد تركيز CO_2 وارتفاع درجة حرارة الماء إلى تسريع عملية التركيب الضوئي والتي بدورها تُؤدّي إلى زيادة استهلاك CO_2 وإنتاج O_2 ، وهكذا تعود هذه المواد إلى حدودها المناسبة. أمّا عند انخفاض درجات الحرارة فتنعكس العملية، وحينها يقل تركيز CO_2 المذاب بالماء وبسبب انخفاض معدل الاستقلاب، فيتحدد نمو النبات إلى أن يزيد تركيز CO_2 الذائب في الماء، عن طريق تحليل المواد العضوية، ويعود إلى الحدود الطبيعية.

ويستطيع النظام البيئي الاستجابة للتغيرات البيئية التي تحدث داخله عن طريق تعديل فيزيولوجية أو سلوك الكائنات التي تعيش فيه بما يتناسب مع الوضع الجديد. وتستجيب الأنظمة البيئية للمتغيرات أو تأرجحات الوسط المحيط فقط عن طريق الجماعات السكانية (Populations) وبالأخصّ عن طريق الأفراد المؤلفة لها.

ونستنتج من ذلك أنّ مستوى نجاح النظام البيئي للتعامل مع تأرجحات العوامل ينبع من قابلية الأفراد للتعامل والتفاعل، وإنتاج أفراد قادرة على التعامل مع تغيرات الوسط المحيط، وتختلف هذه الجماعات كثيراً فيما بينها في معدل الاستجابة للظروف البيئية.

وللنظام البيئي قدرة ذاتية على البقاء (Persistence) والعودة إلى الاتزان الطبيعي بطريقتين:

1- المرونة البيئية **Ecological Resilience**: وهي القدرة على امتصاص التغير ومن ثمّ البقاء وأخيراً العودة إلى الوضع الطبيعي عند تحسن الظروف. وهناك من يعتقد بأنّ أهم نقطة يركز عليها اتزان النظام البيئي هي السرعة في العودة إلى الأصل (الحالة العادية) بعد التعرض لمؤثر معين، ويتميز النظام سريع المرونة بكثرة التزاوج والتناسل، وبالتالي بالقدرة على البقاء رغمًا عن الظروف البيئية.

2- المقاومة البيئية **Ecological Resistance**: وهي قدرة النظام البيئي على مقاومة التغير بأقل ضرر ممكن. وتنتج المقاومة من مكونات النظام البيئي نفسه، ويمتاز النظام المقاوم بقدرة حيوية عالية وبطاقة مخزنة تساعد على البقاء. ويبرز بعض المؤلفين النتائج السلبية لاختفاء نوع ما أو أنواع معينة من السلسلة الغذائية، والتي تُعدّ من العوامل التي تدفع بنظام متزن إلى حالة عدم الاتزان.

وتقوم وجهة النظر هذه على أنّ النظام البيئي المتزن هو النظام الذي تكون مكوناته الحياتية بشكلٍ خاصٍّ متكاملة إلى أقصى حدٍّ ممكن. وإنّ اختفاء أو انقراض أو هجرة الأنواع يسبب اختلالاً في التوازن البيئي، لأنّها تعطل مسارات الطاقة الطبيعية. ويوجد مفهومان أساسيان للاتزان البيئي الأول، وهو الاتزان المحلي (Local stability)، والثاني هو الاتزان العام (الشامل Global stability).

ولا يملك النظام البيئي المائي قوة تخزين حيوية أو طاقة مرتفعة فهو يتأثر بسرعة بالمؤثرات الخارجية، ويعود عند توقفها لوضعه الطبيعي.

مما سبق نستخلص ملحوظتين حول اتزان الأنظمة البيئية هما:

أولاً: تتصف معظم الأنظمة البيئية بالمرونة أو بالمقاومة، ونادراً ما تتصف بالميزتين معاً وعادةً ما يكون النظام البيئي المقاوم قليل المرونة والعكس صحيح.

ثانياً: تمتلك النظم البيئية قدرة على التنظيم الذاتي ضمن حدود احتمالها، ولكن إذا تجاوزت هذه الحدود فلن يعود بمقدورها أن تؤدي دورها. وتختلف قدرة الكائنات الحية على التكيف، فالكائنات الأقدر هي التي تسهم بشكل أكبر في إعطاء ذرية كبيرة ومقاومة، ويُعبر عن ذلك بالتلاؤم (Fitness). ويُقاس التغير في النظام بازدياد التلاؤم أو نقصانه عند الأفراد، وهو الذي يؤثر في قدرة الإنتاج لدى الأفراد، وهذا ما يعرف بالانتخاب الطبيعي (Natural selection) الذي شكّل مع زيادة تكيفات الأفراد عبر الأزمان ظاهرة التطور في النظام البيئي (Evolution).

4- تطور النظام البيئي (التعاقب Succession).

يُعدّ التعاقب ظاهرة طبيعية في الأنظمة البيئية، ويتسبب في نشوء مجتمع حيويّ جديد بدلاً من مجتمع حيويّ سابق في المكان نفسه. ويمكن تلخيص تطور النظام البيئي في بحيرة حديثة التكوين بالمراحل الآتية:

1- انتشار الطحالب داخل البحيرة ومن ثمّ النباتات الخضراء.

2- استيطان جماعات الفسريات والرخويات والحشرات المائية وبعض الديدان.

3- ظهور جماعات من البرمائيات والأسماك.

وتتجه الأنظمة البيئية بشكلٍ طبيعيّ إلى تكوين مجتمعات مستقرة تحتوي على أكبر كمية من المادة الحية، وتُدعى المراحل التطورية بالأطوار التسلسلية (Serial stages)، ويُسمى المجتمع الأخير بمجتمع الذروة (Climax) وهو الأكثر استقراراً.

5- التوازن الطبيعي Natural balance:

وهو ما يُعبر عن حالة الاتزان بين الإمكانية الحيوية لكل حيوان والمقاومة البيئية، ويترتب على ذلك ثبات عدد أفراد النوع الواحد.

وتتألف الإمكانية الحيوية Biotic Potential مما يأتي:

- الإمكانية التناسلية: وهي قدرة الحيوان على إنتاج أفراد عديدين.
- إمكانية البقاء: وهي قدرة الحيوان على رعاية أفراد عديدين.

وهناك تناسب عكسي بينهما.

أما المقاومة البيئية Environmental Resistance: فهي القوة المعاكسة لأي زيادة غير طبيعية لا يتحملها الوسط في عدد أفراد النوع، وتؤدي إلى حالة الاتزان، وتشمل العوامل الحية وغير الحية.

وبالتالي فإنه كلما اشتدت مقاومة عوامل البيئة ضد نوع ما، فإن إمكانيته الحيوية تزداد لمواجهة هذه العوامل. وبالمقابل تتحقق حالة توازن بين الكائنات الحية بحيث لا يطغى نوع على حساب نوع آخر.



الفصل التاسع

تدفق الطاقة في النظام البيئي



الفصل التاسع

تدفق الطاقة في النظام البيئي

Energy Flow in the Ecosystem

1- مصدر الطاقة في النظام البيئي الطبيعي

ترتبط الطاقة بقوانين الديناميكا الحرارية. وينص القانون الأول منها على أن الطاقة عملية فيزيائية أو حيوية لا تفنى ولا تتجدد وإنما تتغير من شكل إلى آخر. ويُعد الضوء مثلاً لهذا القانون. أما القانون الثاني فينص على أن الطاقة تتسرب وتتبعثر أثناء عملية التحول من شكل إلى آخر، ويكون هذا التسرب على شكل حرارة.

والشمس هي مصدر الطاقة الرئيسي لجميع الكائنات الحية، وإشعاعها مكون من أمواج كهرومغناطيسية تقاس بالنانومتر. ويتكون الإشعاع الشمسي وفقاً لأطوال الموجات من ثلاث مجموعات.

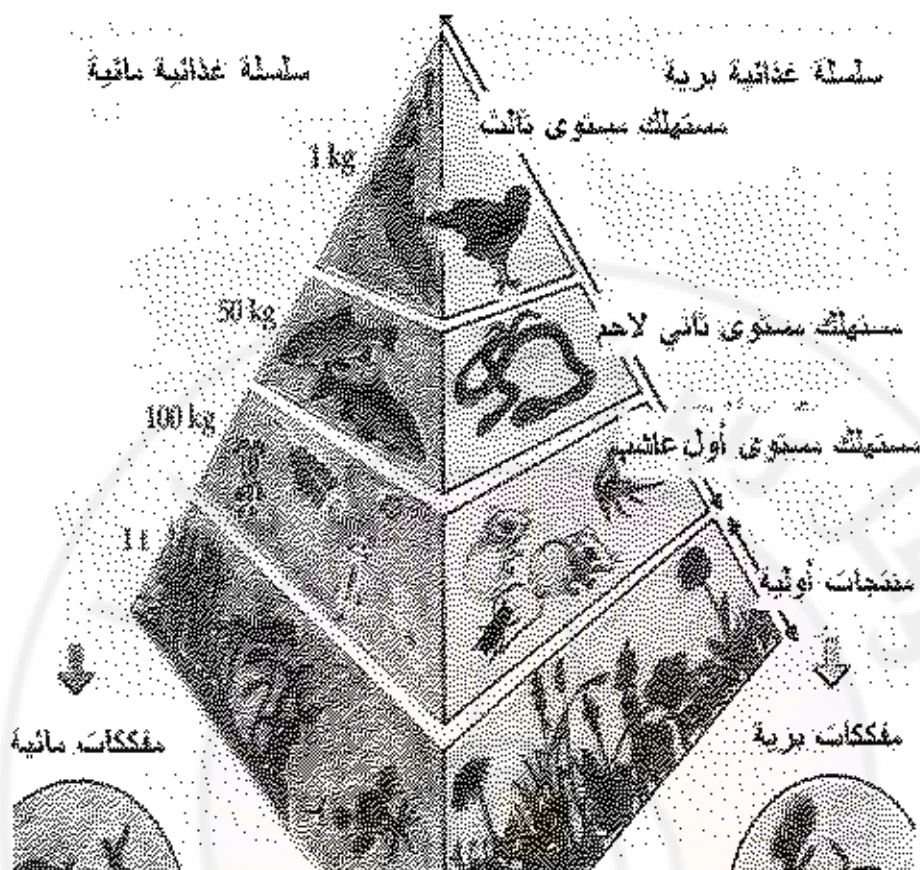
- الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Light: وتقل طول موجاتها عن 400 نانومتر وتكون 6-7% من الأشعة الشمسية، وهي مهمة لصحة الإنسان ولا يصل منها إلى الأرض إلا جزء بسيط بسبب امتصاصها من قبل طبقة الأوزون.

- الأشعة المرئية Visible Light: وتتراوح أطوال موجاتها بين 300-740 نانومتر وتكون 42% من الإشعاع الشمسي وتشمل الأشعة الزرقاء والحمراء والصفراء والخضراء وهي ضرورية لعملية التركيب الضوئي وللرؤية عند الحيوانات والإنسان.

• الأشعة تحت الحمراء **Infrared Light**: وتتراوح أطوال موجاتها بين 4000-750 نانوميتر وتكون حوالي 51% من الإشعاع الشمسي. ويستعمل الجزء الأكبر منها في رفع درجة حرارة سطح الأرض والغلاف الجوي. وعند سقوط الأشعة الشمسية على سطح الأرض ينعكس جزء منها، ويمتص الباقي الذي ينتشر ويتحول قسم منه إلى طاقة. وفي النباتات الخضراء ينعكس حوالي 98% من الأشعة، ويمتص حوالي 2% فقط، حيث يستعمل نصف هذه الكمية تقريباً (1%) في عملية التركيب الضوئي. وبهذا تكون الكفاءة البيئية باستغلال الطاقة الضوئية عادة 1% أو أقل. أمّا في المحيطات، فينعكس قسم من الأشعة الشمسية الواصلة إلى سطح الماء حيث يتعلق بزاوية سقوط الأشعة، ويخترق الباقي العمود المائي لينتشر أو يمتص من قبل الطحالب (العوالق والقاعيات النباتية) وبالتالي لا تخزن النباتات إلا قسماً بسيطاً من الطاقة الضوئية تقدر بحوالي 0.04% كإنتاجية صافية و0.18% يستفاد منها في النمو والتكاثر والعمليات الحيوية الأخرى. وتعدّ الطاقة الشمسية من أنظف مصادر الطاقة وأقلها تلويثاً.

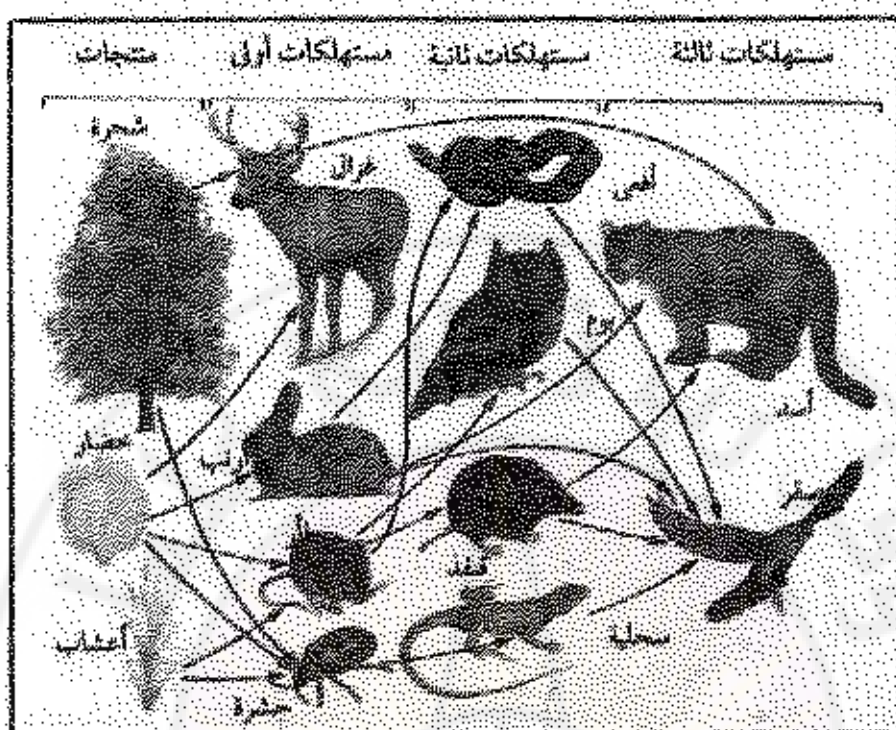
2- السلسلة الغذائية والشبكة الغذائية:

إنّ معظم العلاقات بين الكائنات الحية هي علاقات غذائية. ويُسمى انتقال الطاقة من المنتجات إلى المستهلكات بالسلسلة الغذائية. ولا بدّ للسلسلة أن تبدأ بالمنتجات وهي تُمثّل المستوى الغذائي الأول أو المستوى الإنتاجي. ومن ثمّ أكلات النبات أو العاشبات (Herbivores) والتي تُشكّل المستوى الاستهلاكي الأول. ومن ثمّ أكلات اللحوم أو اللاحمات (Carnivores) لتمثّل المستوى الثالث. وتعتمد المستويات على طول السلسلة الغذائية في النظام الغذائي البيئي (الشكل 1-9).



الشكل (9-1) مخطط لسلسلتين غذائيتين برية ومائية

إن تشعب السلسلة الغذائية وتعقدها يكون ما يُعرف بالشبكة الغذائية Food web (الشكل 9-2). وتسعى الكائنات الحية إلى توسيع قاعدة الغذاء لديها لتشمل أنواعاً عديدة، وذلك من أجل المحافظة على بقائها في حال ندرة أو انقراض أنواع معينة، ومن أجل تنويع مصادر الطاقة الغذائية. وتسمى الأنواع المعتمدة على نوع واحد في غذائها بالأنواع المتخصصة (Species specific) أو ضيقة الغذاء، أمّا المعتمدة على أنواع عديدة فتسمى بالأنواع العامة (Generalized specie) أو واسعة الغذاء.



الشكل (9-2) مخطط لشبكة غذائية برية

3- العوامل التي يعتمد عليها عدد المستويات الغذائية:

تتمثل العوامل التي تعتمد عليها المستويات الغذائية في طبيعة البيئة المحيطة وما تحتويه من موارد بيئية، وفي الطبيعة الفيزيائية للمكان وما يحوي من مواطن بيئية (Habitats)، وفي الأماكن التي تمارس الكائنات الحية أدوارها الوظيفية فيها (Niches). وكذلك أنواع الكائنات المكونة للسلاسل الغذائية وطبيعة غذائها وأدوارها الوظيفية وأحجامها.

تعد السلسلة الغذائية المائية أطول من باقي السلاسل وذلك لصغر حجم أكلات الأعشاب بشكل أساسي، ولصغر الكائنات الحية التي تأثي بعدها. وكلما قصرت السلسلة الغذائية كبرت الكتلة الحية التي يمكن أن تنتج من قدر معين من

الطاقة. وسبب ذلك أن جزءاً كبيراً من الطاقة، والذي يُقدَّر وسطياً بـ 90% في السلاسل الغذائية البحرية، يفقد عند الانتقال من حلقة لأخرى. وهكذا تكون السلسلة القصيرة أكثر كفاءة من السلسلة الطويلة. وتكمل المحلات حلقة سريان الطاقة في النظام البيئي حيث تحلل بقايا المنتجات والمستهلكات إلى عناصرها الأولية وتعيدها إلى البيئة لتستفيد منها المنتجات.

3-1- نماذج السلاسل الغذائية:

1. السلسلة الغذائية الرمية **Detrital food chain**: سميت هذه السلسلة

بالرمية لأنه عندما تموت المتعضيات، تقوم الكائنات الدقيقة الرمية كالفطور والبكتريا بتحليلها والتغذي عليها. فيما بعد تصبح هذه الكائنات الدقيقة غذاءً لأكلات الحثات **Detritivores** كالحلزون وديدان الأرض. وتنتشر هذه السلاسل في جميع الأنظمة البيئية وتسود في الأنظمة البرية أو المائية الضحلة أو المناطق الشاطئية حيث تنتشر الكتلة الحيوية. من المميزات التي تحققها الدورات الرمية هي إعادة دوران المادة الغذائية في الوسط.

2. السلسلة الغذائية الرعوية **Grazing food chain**: وتسود في المياه

السطحية، حيث يقل المحتوى الغذائي ويكثر دوران الكائنات الحية بحثاً عن الغذاء، مما يؤدي إلى ارتفاع معدل الاستفادة. وسميت بالرعوية لارتفاع نسبة الاستفادة آكلات الأعشاب من المنتجات.

ويقسم الرعي في البراري أو المناطق العشبية إلى: رعي فوق الأرض (**Above-ground grazing**)، ورعي تحت الأرض (**Below-ground grazing**). وتختلف نسبة الاستهلاك عند الكائنات الرعوية باختلاف نوع البراري والأنظمة البيئية. فالكائنات المسؤولة عن الرعي تحت الأرض في معظمها ديدان خيطية (**Nematods**) وخنفاص (**Beetles**). وتصل نسبة استهلاكها إلى

81.7% من مجمل استهلاك الكائنات الرعوية في الحقول صغيرة الأعشاب غير المرعية، وإلى 49.5% في الحقول قليلة الرعي، وإلى 29.1% في الحقول منهكة الرعي، وعندما تُضاف مبيدات الديدان الخيطية فإن نسبة الرعي فوق الأرض تزيد بمقدار 30-60%، وتصل نسبة استهلاك الكائنات فوق الأرض 30-50% من الإنتاج النباتي الصافي، ويعود للنظام البيئي 40-50% من الطاقة المستهلكة من الحيوانات الرعوية كبراز يدخل في السلسلة بعد تحلله، ويلاحظ أن تدفق الطاقة (Energy Flow) في المستهلكات يتناقص من مستوى لآخر في السلاسل الرعوية.

3. سلاسل غذائية ثانوية **Supplementary food chains**: ومنها سلاسل الكائنات الكئاسة (أكلات الجثث) والكائنات المتطفلة. وتعد السلسلة الغذائية الطفيلية مهمة جداً في النظام البيئي، ومعقدة جداً، فيمكن أن تنتقل الطفيليات من عائل لآخر بواسطة المفترسات أو النواقل كالحشرات، أو تنتقل بنفسها كالطفيليات الخارجية. كما أن هناك سلاسل خاصة بالطفيليات فيما بينها، فمثلاً الذباب الذي يتطفل على الثدييات والطيور، يتطفل عليه نوع من الأوليات. ويلاحظ في السلاسل الطفيلية أنها تبدأ بالعائل وتتقدم باتجاه الطفيل الأصغر فالأصغر، وكلما انتقلنا للطفيلي الأصغر تزداد عادة الكثافة العددية للطفيل.

تشتمل النظم البيئية أو الغلاف الحيوي بوجه عام على سلاسل غذائية عديدة لا يمكن فصلها عن بعضها بعضاً، بل بالعكس ترتبط وتتداخل فيما بينها لتشكل أنظمة غذائية معقدة من الشبكات الغذائية التي يكون أولها المنتجات وتنتهي بالمحلات. وفي الشبكات الغذائية تصبح نماذج تدفق الطاقة من التعقيد بحيث لا يمكن معرفة جميع العلاقات الممكنة.

يمكن الاستفادة من فهم ديناميكية الشبكات الغذائية على النحو الآتي:

1- مكافحة البيولوجية Biological control: حيث يمكن مكافحة الكائنات الضارة مثل الحشرات التي تلحق ضرراً بالإنسان والنبات والحيوان عن طريق نقل الفيروسات والطفيليات التي تحد من انتشار الحشرات إلى المنطقة المعالجة. وهي بديل للمكافحة الكيميائية التي تلوث عناصر البيئة وتقضي على أنواع مفيدة من الكائنات الحية.

2- وقف ظاهرة انقراض الحيوانات والنباتات: حيث يفيد تفهمنا للشبكة الغذائية في معرفة المفترسات وآكلات الأعشاب التي تتغذى على الأنواع النادرة أو المهددة بالانقراض وبالتالي حمايتها من هذه الكائنات. وكذلك وضع المعايير البيئية وخصوصاً من الناحية الغذائية لإعادة الحيوانات المنقرضة إلى شبكة غذائية معينة.

3- تسهم الشبكة الغذائية في توفير مؤشرات للسماح بنقل أو عدم نقل نوع معين من الكائنات الحية إلى بيئة جديدة، وبالتالي تقدير ما قد تسببه هذه العملية من خلل في التوازن البيئي. ومن الأمثلة على ذلك ما حدث بأستراليا حيث أدخل في سنة 1788 ثلاثة أرانب لم تكن معروفة من قبل. ونتيجة توفر الغذاء وموارد المعيشة ولعدم وجود تفاعلات سلبية مع حيوانات أخرى ازدادت أعدادها بشكل هائل حتى أصبحت في سنة 1950 حوالي 750 مليون أرنب، قضت على الغطاء النباتي وأثرت في توزيع العديد من الكائنات الحية التي كانت تعيش هناك. طبق نظام مكافحة البيولوجية عن طريق حقنها بفيروس Myxomycosis فآدى إلى انتشار المرض بينها، وبالتالي انخفضت أعدادها بنسبة 80-90% خلال 3 سنوات. وهي مشكلة لازالت تؤثر في أستراليا حيث استطاعت الأرانب مقاومة الفيروس.

4- تتبّع تراكيز المواد السامة المتراكمة في أجسام الكائنات الحية. فقد لوحظ أن هنالك زيادة في تركيز بعض المواد والمبيدات في أجسام الكائنات الحية بشكل تصاعدي في السلسلة الغذائية. فمثلاً لوحظ تضاعف في تركيز الفسفور المشع في أجسام الكائنات الحية بمقدار 2 مليون مرة عنه في مياه الأنهار. كما لوحظ زيادة في تركيز مركب الـ D.D.T في أجسام الكائنات الحية، حيث تكون نسبته غير ضارة في الماء لكنها تصبح ضارة كلما ارتفعت للأعلى في السلسلة الغذائية نتيجة لتراكمها في أجسام الكائنات. ويحصل ذلك أيضاً لمركبات الزئبق والعديد من المعادن الثقيلة ويُعرف ذلك بظاهرة التراكم الحيوي Bioaccumulation، وعندما يكون أخذ الملوثات من عدة مصادر فيمكن أن نتكلم عن التعاطم الحيوي.

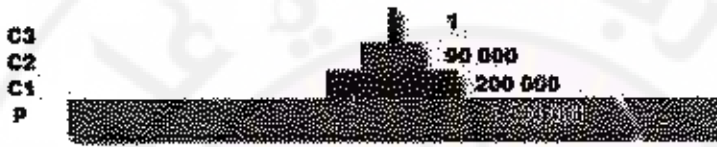
4- الأهرامات البيئية Ecological pyramids :

وهي عبارة عن تدرج للمستويات الغذائية للكائنات الحية بحيث يتوزع كل حسب دوره الغذائي الوظيفي على شكل هرم، تُشكّل قاعدته المنتجات ويتبعها آكلات الأعشاب ثم مستويات مختلفة من آكلات اللحوم إلى أن نصل إلى أقوى المستهلكات في قمة الهرم. ولا يمكن أن نهمل الطفيليات والمحللات في المستويات الغذائية. فيمكن عدها آكلات أعشاب أو لحوم حسب دورها الغذائي، فمثلاً المحللات التي تتغذى على بقايا النباتات الميتة، والبكتيريا التي تعيش في معد بعض المجترات يمكن عدها من ناحية وظيفية آكلات أعشاب. والمحللات التي تتغذى على الحيوانات الميتة وكذلك آكلات الجثث يمكن عدها من ناحية وظيفية آكلات لحوم. أمّا الطفيليات فتصنف حسب العائل الذي تتطفل عليه حيث يمكن عدها أيضاً آكلات أعشاب أو لحوم. ومن هنا يمكن لأي كائن حي مهما كان نوعه أن يحتل مستوى غذائياً معيناً في الهرم البيئي.

النماذج الرئيسية للأهرامات البيئية:

1- الهرم العددي أو هرم الغزارة **Pyramid of numbers**: ويهتم هذا

النوع بالعدد الكلي للكائنات الحية في مستوى غذائي في الهرم وبهمل التركيب النوعي. وبالتالي فإن أعداد الكائنات الحية تكون وافرة في المنتجات، تنخفض تدريجياً إلى أن تصل إلى الأقل عدداً لتأخذ شكل الهرم العددي. وهذا الهرم يمكن قله في الطبيعة (الشكل 9-3).



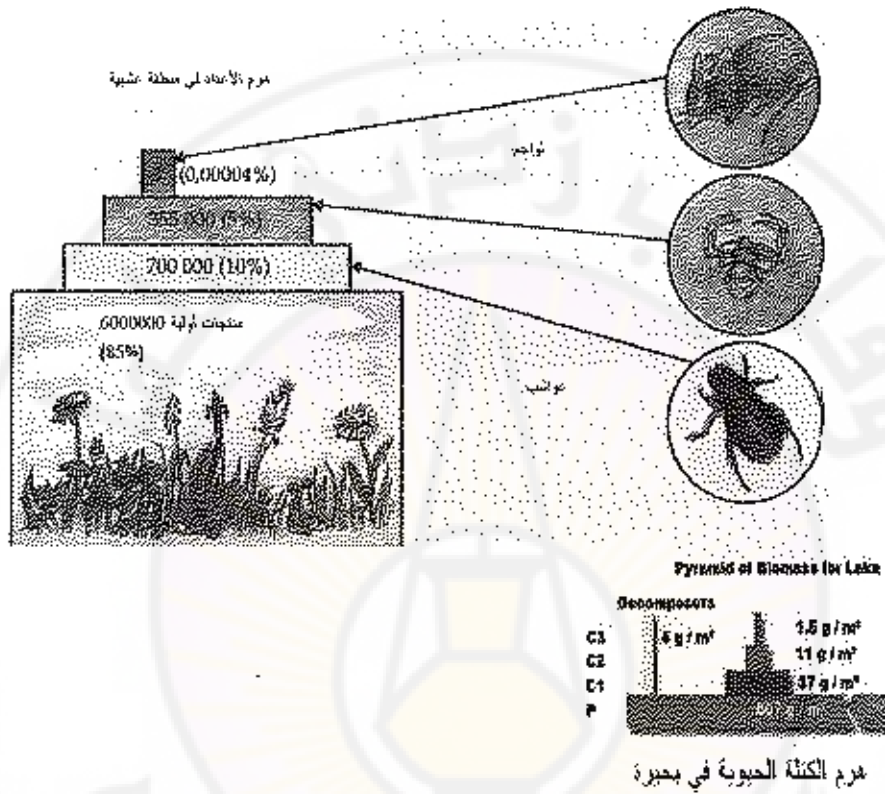
مخطط مبسط لهرم الغزارة

الشكل (9-3) هرم الأعداد أو الغزارة في منطقة عشبية (أعلى) ومخطط مبسط (أسفل)

2- هرم الكتلة الحية **Pyramid of biomass**: ويُعبّر عن كمية المادة

الحية في مستوى معين من الهرم حيث تتناقص تدريجياً كلما صعدنا للأعلى نحو قمة الهرم (الشكل 9-4). ولا يُعد هذا النموذج ممثلاً كاملاً للأهرامات في الطبيعة، حيث يمكن أن يقلب وخصوصاً إذا كانت أعداد الكائنات في المستويات الدنيا من الهرم قليلة بالنسبة للأعداد في المستويات العليا فإن هذا سيؤدي إلى انخفاض في الكتلة الحية الكلية للمستويات الدنيا بالنسبة للمستويات العليا، وبالتالي ينقلب الهرم. وعلى سبيل المثال فإن الكتلة الحية للمنتجات الموجودة في مساحة محددة من مياه بحرية تبلغ 4غم/م² بينما تكون الكتلة الحية من العوالق الحيوانية والحيوانات القاعية 21غم/م². ويعود سبب ذلك إلى التكاثر السريع للعوالق النباتية حيث يكون معدل نموها وتكاثرها أسرع من نمو وتكاثر

المستهلكات، وهذا ما يُؤمن مادة حية كافية لتغذية المستهلكات بطيئة النمو والتكاثر.



الشكل (4-9) مخطط لهرم الكتلة الحيوية في بحيرة

3-هرم الطاقة **Pyramid of energy**: وتُعبّر هذه الأهرامات عن انسياب الطاقة في الشبكات الغذائية حيث تتناقص الطاقة تصاعدياً نحو قمة الهرم (الشكل 5-9)، وهذا النموذج لا يمكن قلبه وهو مثالي لتمثيل الأهرامات البيئية. ويمكن أن يُطبّق في جميع البيئات المائية والبرية. ويعود سبب نجاح هذا النموذج في كونه يسير على مبدأ الديناميكية الحرارية الثاني والذي ينصّ على أنّ جزءاً من الطاقة يتبعثر أو يضيع كلما تحولت من شكلٍ لآخر.



الشكل (9-5) مخطط لهرم الطاقة في وسط مائي

5- الإنتاجية البيئية Ecological Productivity:

5-1 الإنتاجية الأولية Primary Productivity:

يرتبط موضوع الإنتاجية بشكل أساسي بالمنتجات، التي تستعمل طريقة التركيب الضوئي أو التركيب الكيميائي في توفير الطاقة وتخزينها على شكل مواد عضوية. وهذه المواد العضوية المخزنة في أنسجة الكائنات الحية المنتجة تسمى بالإنتاجية الأولية.

ومن المهم أن نميز بين نوعين من الإنتاجية الأولية، الإنتاجية الأولية الإجمالية والإنتاجية الأولية الصافية. الإنتاجية الأولية الإجمالية:

Gross Primary Productivity والتي تعني الإنتاج الكلي للمادة العضوية في وحدة المساحة وفي وحدة الزمن شاملة الطاقة الضائعة على شكل تنفس *Respiration*.

وبمعنى آخر هي معدل عملية التركيب الضوئي في مساحة معينة وفي زمن معين. وتتباين إنتاجيات النظم البيئية النموذجية من نصف غرام من المادة العضوية /م²/ يوم إلى ما يقارب من عشرين غراماً /م²/ يوم، وقد تصل إلى 60 غراماً /م²/ يوم في المناطق الزراعية المكثفة، إلا أن هذه الإنتاجية سرعان ما تتناقص أو تتوقف نتيجة لنقص الموارد الغذائية.

أما الإنتاجية الابتدائية الصافية *Net Primary Productivity* فهي عبارة عن المقدار المتبقي من المواد العضوية في أنسجة المنتجات بعد استيفاء الاحتياجات اللازمة لتنفس النبات (التنفس هو العملية التي تحدث في جميع الكائنات الحية والتي بواسطتها تتأكسد المركبات العضوية لتعطي الطاقة مع ثاني أكسيد الكربون والماء كنواتج ثانوية، وتلك الطاقة تُستعمل في العمليات الاستقلابية والحركة والدفاع عن النفس وغيرها).

الإنتاجية الابتدائية الصافية = الإنتاجية الأولية الإجمالية - كمية التنفس

وبشكل مبسط، تقاس الإنتاجية عن طريق تقدير المحصول المتكوّن في وحدة المساحة وخلال فترة زمنية محددة، وعادة ما يقدر المحصول بالوزن الرطب أو الوزن الجاف أو وزن المادة العضوية أو غيرها.

ويقدّر علماء البيئة أن الإنتاجية الصافية في الطبيعة تُشكّل حوالي 5% من الإنتاجية الإجمالية في النظم البيئية المختلفة.

وهناك أيضاً مصطلح الإنتاجية الصافية وهي معدل تخزين المادة العضوية في الأنسجة النباتية التي لا تستهلكها الكائنات غيرية التغذية *Heterotrophs* خلال فصل النمو أو السنة.

الإنتاجية الصافية = الإنتاجية الأولية الصافية - استهلاك الكائنات غيرية التغذية
 ويلاحظ أنَّ الإنتاجية الأولية تتأثر بشكل فعال بعوامل أهمها درجة الحرارة
 وهطول الأمطار، لذا فإنَّ أكثر النظم البيئية إنتاجية هي الغابات الاستوائية التي
 تتميز بنسبة عالية من هطول الأمطار، وارتفاع درجة الحرارة. بينما تُعدُّ الصحراء
 والمناطق القطبية الأقل إنتاجية في الأنظمة البيئية.

5-1-1- العوامل المؤثرة في الإنتاجية الأولية.

أولاً: في المجتمعات البحرية Marine Communities

أ - الضوء: يُعدُّ العامل الأهم المؤثر في الإنتاجية الأولية في البحار، والمهم
 في الأمر هو العمق الذي يمكن أن يصله الضوء، والذي يُمثِّل منطقة الإنتاجية
 الأولية. ويلاحظ أنَّ الماء يمتصُّ ما مقداره نصف الإشعاع الشمسي الساقط في
 أول متر عمق في الماء، ويشمل ذلك معظم الأشعة تحت الحمراء. وحتى في
 المياه الصافية، فإنَّ ما نسبته 5-10% من الإشعاع تصل إلى عمق 20 متراً.
 وهذا التناقص يمكن تفسيره عن طريق المعادلة الآتية:

$$di/dt = ki$$

حيث: i - كمية الإشعاع الشمسي

t - العمق

k - معامل التناقص (الاختفاء) للضوء وهو ثابت.

وهكذا تتحدد كمية الإشعاع الشمسي i بالعمق t ، ويتعلق كلاهما بمعامل
 التناقص k ، وقد ثبتت عملياً أنَّه كلما كان المعامل k عالياً دلَّ ذلك على شدة
 عكارة الماء. وقد تكون العكارة ناتجة أساساً عن ارتفاع في معدل الإنتاجية
 الناتجة عن وجود كميات كبيرة من العوالق البحرية وخاصة النباتية منها، وهذا ما
 يقلل من نسبة اختراق الضوء مع العمق، أمَّا المناطق الصافية فهي دليل على

فقرها بالعوالق النباتية وبالتالي انخفاض معدل الإنتاجية، وهذا ما يسمح للضوء باختراق أعماق أكبر.

كما أن سقوط كميات كبيرة من الضوء على المياه السطحية ، كما يحدث في المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية، يُثبِّط من عملية التركيب الضوئي مما يقلل الإنتاجية في المياه السطحية نتيجة لارتفاع درجة الحرارة غير المناسبة الناتجة عن الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية وتثبيطها لعملية التركيب الضوئي، لذلك نلاحظ أن منطقة الإنتاجية العظمى تكون على عمق بضعة أمتار تحت المياه السطحية.

ويُعدُّ الضوء عاملاً محدداً في إنتاجية البحار، ويمكن حساب إنتاجية البحار من خلال المعادلة الآتية:

$$p = R/K \times C \times 3.7$$

P - معدل التمثيل الضوئي للعوالق النباتية (غ كربون / 2م / يوم).

R - المعدل النسبي للتركيب الضوئي مقارنة بكمية الضوء الساقط (تحسب من منحنى يمثل العلاقة بينهما).

K - معامل اختفاء الضوء في كل متر (يتغير بدرجة عكازة الماء).

C - عدد غرامات الكلوروفيل في المتر المكعب من الماء في عمود مائي.

أمَّا الرقم 3.7 فهو ثابت جرى تحديده بالتجربة ويشير إلى أن 3.7 غ كربون جرى تثبيته بواسطة 1 غ كلوروفيل / ساعة في ظروف الإضاءة الضوئي.

ب - **المغذيات Nutrients**: وخصوصاً عنصران النيتروجين والفسفور اللذان يُعدَّان من العوامل المحددة للإنتاجية في البحار وكذلك عنصر السيلييس الضروري لنمو المشطورات Diatoms. ومن المعروف أن مياه البحار السطحية (حيث توجد العوالق النباتية) تحتوي تراكيز قليلة من النيتروجين والفسفور بعكس

المياه العميقة التي تكون أغنى بها نتيجة لتفكك المواد العضوية وعدم استهلاك تلك العناصر من قبل العوالق النباتية بسبب غيابها.

وقد لوحظ من خلال التجارب أنَّ إضافة النيتروجين والفسفور لا تُؤدِّي لزيادة الإنتاجية الأولية، وأنَّ إضافة معادن أخرى وخاصة الحديد يُعدُّ عاملاً مساعداً في رفع الإنتاجية. ويعتقد أنَّ عنصري النيتروجين والفسفور هما الأهم في تحديد نسبة الإنتاجية إذا توفرَّا بالنسب المطلوبة.

وتتميز المحيطات وخاصة في شواطئها الشرقية بظاهرة الانبثاق أو صعود الماء Upwelling نتيجة لجرِّ الرياح للطبقة السطحية من مياه الشاطئ نحو عرض البحر وبالتالي صعود مياه من الأسفل لتعويض ذلك بشكلٍ متتابع، وتلك المياه تكون أبرد وأغنى بالأملاح المغذية مما يشري المياه السطحية بالمغذيات وبالتالي ترتفع الإنتاجية الأولية ويتبعها بذلك ارتفاع في الإنتاجية الثانوية وخاصة الأسماك، وتعد مناطق الانبثاق من أغنى مناطق الانتاج الأولي والإنتاج السمكي (شواطئ موريتانيا والمغرب مثلاً).

بشكل عام، فإنَّ إنتاجية البحار أقل من اليابسة، ويعود ذلك لمحدودية الضوء والمغذيات بشكلٍ أساسي.

ثانياً - في مجتمعات المياه العذبة:

1 - العوامل الرئيسية:

أ - الضوء ودرجة الحرارة حيث يُقَدَّر مستوى الإنتاجية لبحيرة ما بكمية الإشعاع الشمسي الساقط عليها.

ب - عنصر الفسفور (يؤثر في الطحالب عامة) والسيلييس (يؤثر في المشطورات بشكلٍ رئيسي).

2 - عوامل متوسطة التأثير:

النيتروجين والحديد والمنغنيز والموليبدنوم.

3 - عوامل ضعيفة التأثير:

الكربون - الكوبالت - الكبريت وعناصر أخرى مهمة للنمو.

لقد ثبت عملياً أنه يمكن زيادة الإنتاجية في البحيرات عند إضافة الأسمدة وخصوصاً الفوسفات وسلفات الأمونيوم. حيث ترتفع الإنتاجية إلى أربعة أو خمسة أضعاف مقارنة مع البحيرات التي لم تتعرض لمثل هذه الأسمدة. علماً أن مضاعفة كمية الأسمدة المضافة سوف ترفع معها الإنتاجية إلى حد معين وتقف عند ذلك.

ولقد ظهرت في الفترة الأخيرة مشكلة تدهور بعض البحيرات. حيث تتعرض هذه البحيرات لسيول من الملوثات والمياه العادمة مما سبب زيادة في تركيز الطحالب. فقد انتقلت البحيرات من حالة مسطح مائي تسود فيه العوالق النباتية والمشطورات إلى مسطح مائي تسود فيه الطحالب الخضراء المزرققة وهذا ما يُعرف بيئياً بالإثراء الغذائي Eutrophication والذي يعني زيادة كبيرة جداً في كمية الأملاح المغذية.

ومن المعلوم أن آلية الاتزان البيولوجية موجودة في البحيرات بحيث تتحكم وتنصح نسبة الكربون والنيتروجين وتعيدها إلى الحدود الطبيعية.

ويوجد الكربون والنيتروجين في الجو بالصورة الغازية CO_2 ، N_2 . ومع أن العوامل الفيزيائية يمكن أن تؤثر في إذابة CO_2 في الماء إلا أنه من النادر أن يصبح عاملاً محدداً لنمو الطحالب. أمّا النيتروجين فتتم عملية تثبيته من قبل الطحالب أو الجراثيم الخضراء المزرققة، ولكن في حالة زيادة كمية الفسفور بشكل كبير لأي سبب كان فإنه يتعذر على الطحالب الاستفادة من النيتروجين والفسفور، لذا نستطيع القول إنه يجب ضبط كمية الفسفور الواصلة إلى البحيرات على شكل ملوثات أو مياه عادمة، حيث إن الفسفور يمكن أن يكون من أكثر العوامل المؤثرة بتوازن المسطحات المائية العذبة.

ثالثاً- في مجتمعات اليابسة Terrestrial Communities:

يتبين من الدراسات العديدة أن إنتاجية مجتمعات اليابسة تتحدد بالعوامل الآتية:

1 - درجة الحرارة، فالتفاوت في درجة الحرارة بين البيئات البرية أكثر بكثير منه في البيئات المائية مما يؤدي إلى تفاوت كبير في مستوى الإنتاجية بين النظم البيئية المختلفة في اليابسة.

2 - عامل الضوء.

3 - معدل هطول الأمطار.

وقد تمكن الباحثون من إثبات أن معدل ما يُسمى بالتبخر النتحي (معدل انتقال الماء إلى الغلاف الجوي بعملية التبخر من الأرض، وعملية النتح من النباتات) هو الذي يُحدّد الإنتاجية. كما يضاف للتبخر النتحي عوامل أخرى كطول فصل نمو النباتات ودرجة الحرارة ومعدل هطول الأمطار، وقد لوحظ أن الإنتاجية تختلف باختلاف طول فصل النمو ومعامل مساحة الورقة.

فمثلاً في الأشجار الصنوبرية تكون مساحة سطح الورقة أعلى مما هو عليه عند أوراق الأشجار متساقطة الأوراق، مما يزيد من الإنتاجية. وكذلك فإنّ الأشجار ذات الأوراق العريضة تكون عالية الإنتاجية مقارنة بالأشجار ذات الأوراق الإبرية.

ويلاحظ أنّ عاملي درجة الحرارة والمغذيات ليس لهما أهمية تذكر في إنتاجية الغابات، إذ إنهما عادةً ما يكونان أعلى من الحد الأدنى المطلوب، إلا أنّ عامل المغذيات قد يكون هاماً جداً في مجتمعات يابسة أخرى.

5-1-2- طرق حساب الإنتاجية الأولية:

هناك عدة طرق لحساب الإنتاجية الأولية في المجتمعات البيئية ولكل طريقة مزاياها وهي تعطي النتيجة إما بوحدة الكتلة (غ/مساحة معينة/ زمن) أو الطاقة (كالوري/ مساحة معينة/ زمن) وهذه الطرق هي:

1 - طريقة الكتلة الحيوية Biomass أو الحصاد:

وتعتمد على تحديد مساحة معينة تمنع المستهلكات الأولى (العاشبات) من دخولها، وبعد انقضاء فترة زمنية محددة غالباً ما تكون سنة يتم حساب وزن كل ما في هذه المساحة من مواد عضوية. بشكل مختصر، الإنتاجية هنا هي الزيادة في وزن النباتات أو المنتجات الأولية في وحدة المساحة ووحدة الزمن.

2 - طريقة قياس الأكسجين:

هناك علاقة طردية بين الأكسجين المنتج والمواد العضوية المتكونة من قبل النباتات الخضراء، وبالتالي فإن معدل إنتاج الأكسجين قد يستعمل كمقياس للإنتاجية الأولية، وتُستعمل هذه الطريقة في النظم البيئية المائية ويصعب استعمالها في النظم البيئية الأرضية، فمن الممكن حساب زيادة كمية الأكسجين في كمية من الماء وخلال فترة معينة لتعطي مقياساً تقريبياً عن الإنتاجية الابتدائية.

3 - طريقة قياس ثاني أكسيد الكربون:

وتستعمل في النظم البيئية الأرضية وتعتمد على مقدار استهلاك ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو والمستعمل في عملية التركيب الضوئي في نبتة معينة وفي مدة محددة من الزمن، ومن ثم تُطبق على جميع أنواع النباتات الموجودة في مساحة معينة، ويتم إحصاء عدد النباتات التي تنتمي لكل نوع ويضرب هذا العدد في الإنتاجية المحسوبة للنبتة الواحدة من النوع نفسه، ثم يجمع مجمل الإنتاجية لجميع الأنواع ليعبر عن الإنتاجية الأولية.

4 - طريقة تناقص المواد المغذية (الأولية) للنباتات:

تتطلب وجود حالة اتزان متكامل بين التربة والنبات، ويُقاس معدل تناقص المعادن (المواد المغذية للنباتات) من التربة للتعبير عن مقدار ما صنع من غذاء في عملية التركيب الضوئي. حيث يُستعمل عنصرٌ معينٌ للقياس مثل النيتروجين أو الفسفور وتزود التربة بتركيز معين من هذا المعدن مرةً واحدةً في بداية السنة ويُعبّر معدل تناقص تركيز المعدن في فترة زمنية محددة عن مقدار الإنتاجية الابتدائية.

5 - طريقة استخدام المواد المشعة Radioactive marking:

يُستعمل فيها الكربون المشع، حيث يوضع في الماء على شكل كربونات، ثم تجمع النباتات (الطحالب) وتفصل عن الماء وتجفف، وتوضع في جهاز لقياس كمية المواد المشعة وبالتالي تعرف الكمية التي اختزنت في أنسجة هذه النباتات أثناء عملية التركيب الضوئي وتعطي هذه الطريقة نتائج دقيقة نسبياً ولكنها مكلفة.

6 - طريقة الكلوروفيل Chlorophyll Content:

تُحسب كمية الكلوروفيل الموجودة في النباتات وبالتالي في النظام البيئي بأكمله على فترتين كتعبير عن مقدار ما يمكن إنتاجه من الغذاء أثناء عملية التركيب الضوئي، كما ورد سابقاً عند حساب إنتاجية البحار اعتماداً على وزن الكلوروفيل في العوالق النباتية وتعطي هذه الطريقة نتائج دقيقة نسبياً.

5-2 - الإنتاجية الثانوية أو إنتاجية المستهلكات:

Secondary Productivity Or Consumer production

تستهلك المستهلكات والمحللات الإنتاجية الصافية المتوفرة في بيئتها، وبالتالي تتدفق الطاقة عبر كائنات أخرى، وهنا يُعبّر عن الطاقة المخزنة في مستويات

المستهلكات والمحلات بالإنتاجية الثانوية، وبالطبع ستكون أقل مما هي عليه في الإنتاجية الأولية نتيجة لتبعض الطاقة كلما انتقلنا من مستوى غذائي لآخر، وكذلك بسبب الاستهلاك الذي حصل في المستوى الغذائي الأول حسب قانون الديناميكا الحرارية الثاني.

وتستعمل كائنات المستوى الثاني الطاقة في عمليات النمو والتكاثر والتنفس والحرارة وإخراج فضلات الجسم وصيانة أنسجة الجسم.

وتبدأ عملية تغذي المستهلكات بتناول ما يتوفر حولها من المنتجات، إلا أن هناك كميات كبيرة ليست في متناول هذه المستهلكات، كما أن المادة الحية غالباً ليست بمتناول المحلات أو الكائنات الرميّة. وتختلف الإنتاجية الصافية المتوفرة لأكل أعشاب معين من وقت لآخر خلال السنة وكذلك من مكان لآخر. وبعد تناول المنتجات، هناك جزء من الغذاء تمتصه أجهزة الهضم عند المستهلكات ويستعمل في العمليات الحيوية ويستفيد منه الكائن الحي وهو ما يُسمى التمثيل الغذائي Assimilation ، وجزء لا يهضم فيخرج على شكل براز Feces ، وكذلك هناك مخلفات عمليات الأيض التي تخرج على شكل بول Urine وكلاهما يدخل السلسلة الرميّة. ويمكن حساب الإنتاجية الثانوية بالمعادلة الآتية:

$$P = C - FU - R$$

P - الإنتاجية الثانوية كيلو كالوري / m^2 سنة (Kcal/ m^2 /yr)

C - الطاقة المستهلكة كيلو كالوري / m^2 سنة (Kcal/ m^2 /yr)

R - الطاقة الضائعة بعملية التنفس.

FU - الطاقة الضائعة على شكل بول، غازات وأي عوامل أخرى.

أما العوامل التي تحدد الإنتاجية الثانوية فهي نوعية الغذاء (محتواها من المادة العضوية والقدرة على هضمها)، كمية الغذاء ووجوده.

ويمكن استعمال مقاييس عديدة لدراسة الإنتاجية الثانوية مثل قياس فعالية المستهلك في استخلاص الطاقة من الطعام المستهلك، وهي نسبة التمثيل (A)

Assimilation (النسبة من الغذاء التي يمتصها الجسم من الغذاء المبتلع) إلى الطعام المبتلع (I) أو (A/I). وكذلك مقياس P/A للدلالة على فعالية المستهلك في استهلاك الطاقة في أنسجته، حيث تشير P لطاقة المنتجات الصافية أي المتوفرة للمستهلك الثانوي و A لنسبة الطاقة المتراكمة. وتختلف النسبة P/A باختلاف نوع المستهلك، فيلاحظ أن اللافقاريات لها قدرة أكبر من الفقاريات في تحويل الطاقة المتراكمة إلى طاقة صافية مخزنة في الأنسجة.

6- الكفاءات البيئية Ecological Efficiencies:

وتُعرَّف على أنها النسبة المئوية للكتلة الحية الناتجة عن مستوى غذائي معين والتي ستدخل في الكتلة الحية للمستوى الغذائي الذي يليه. ويمكن حساب الكفاءة البيئية اعتماداً على عدة مقاييس مرتبطة بالمستويات الغذائية أو بالجماعات أو حتى بالأفراد.

وتختلف هذه الكفاءات باختلاف النوع أو الجماعات أو المستوى الغذائي، فمثلاً كفاءة النمو تكون أكبر في الحيوانات كبيرة الحجم والفتية، عن الحيوانات صغيرة الحجم أو المتقدمة في العمر. وتكون كفاءة الامتصاص الغذائي أعلى في الحيوانات آكلة اللحوم عنها في آكلة الأعشاب، إلا أن عملية التنفس بالنسبة للطعام المتناول وامتصاصه تكون مرتفعة في المستويات الغذائية العليا. وبالرغم من اختلاف الآراء، إلا أن معظم المختصين يتفقون على أن نسبة انتقال الطاقة ما بين مستوى غذائي وآخر (A/A_{n-1}) هي حوالي 10% وأن الإنتاجية الصافية ما بين المستويات الغذائية المختلفة تكاد تكون ثابتة.

7- ميزانية الطاقة في النظام البيئي:

يشمل تدفق الطاقة عناصر داخلية إلى النظام البيئي وأخرى خارجة منه، فيمكن تقدير الفعالية والإنتاجية لنظام بيئي معين عن طريق حساب ما يدخل إليه

من طاقة وما يخرج منه عبر المستويات الغذائية المختلفة، وهذا ما يعرف بإنتاجية النظام البيئي الصافية Net ecosystem production، وتسمى غالباً إنتاجية المجتمع الصافية ويمكن حسابها على النحو الآتي:

$$\text{إنتاجية النظام البيئي الصافية (مجموع الكتلة الحية)} =$$

الإنتاجية الأولية الإجمالية - التنفس النباتي - التنفس الحيواني - تنفس المخلات.

ويمكن توضيح ذلك بمثال لمجتمع بيئي ذاتي التغذية، مثل المستنقعات المالحة.

المدخلات كضوء الشمس	600000 كيلو كالوري /م ² / سنة
الفقدان بعملية التمثيل الضوئي	563620 أو 93.9 % من طاقة الضوء.
الإنتاجية الإجمالية	36.38 أو 6.1 % من طاقة الضوء.
تنفس المنتجات	28.175 أو 77% من الإنتاج الإجمالي.
الإنتاجية الصافية	8.205 كيلو كالوري /م ² / سنة.
تنفس البكتيريا	3.890 أو 47% من الإنتاجية الصافية.
تنفس المستهلك الأول	0.596 أو 7 % من الإنتاجية الصافية.
تنفس المستهلك الثاني الصافية	0.048 أو 0.6% من الإنتاجية.
مجموع مقدار الطاقة الضائعة عن طريق المستهلكات	4.5340 أو 60% من الإنتاجية الصافية.

$$\text{إنتاجية النظام البيئي الصافية} =$$

$$205.8 - 4.534 = 3.67 \text{ أو } 45\% \text{ من الإنتاجية الصافية.}$$

الفصل العاشر
الإيقاعات البيولوجية في البيئة



الفصل العاشر

الإيقاعات البيولوجية في البيئة

Les Rythmes Biologiques en Ecologie

1- مقدمة: العالم المتناغم L'univers rythmique

تندرج جميع الكائنات الحية ضمن الإطار البيولوجي للعالم الفيزيائي الذي يتذبذب تبعاً لعدد كبير من الإيقاعات الخارجية: يومية، مد وجزر، فصلية، شمسية، كوكبية (sideraux). وعندما نتبع الأنواع نذبذب هذه الإيقاعات فإن ذلك يعزز من إمكانية صمودها وبقائها. ولقد عرف الإنسان البدائي وفرائسه برنامج نشاط مبني على دورة مدتها 24 ساعة. أما الحيوانات متغيرة الحرارة والمسببة (hibernants) فتتبع التغيرات الفصلية للحرارة. كما تنتقل حيوانات المد والجزر إلى أعلى الشاطئ وأسفله تبعاً للمد والجزر.

بناءً على ذلك، يجب أن تشمل بنية الكائنات الحية على مكونات قادرة على القيام بالوظيفة الإيقاعية، ولو لم تكن مكونة لهذه الغاية بالتحديد، ولو لم تكن مشروطة بالوسط بصورة مطلقة. وعندما توجد هذه المكونات، أياً كان سبب وجودها، فإنها ستواصل أحياناً وظائفها الإيقاعية حتى لو تغيرت أو ألغيت شروط الوسط الخارجي التي استجابت لها.

عندما يجري فرض الإيقاعات البيولوجية من قبل العوامل المحددة الخارجية مباشرة، و بمعنى آخر: عندما تكون الإيقاعات خارجية المنشأ فإن التذبذبات الوظيفية تكون بكل بساطة منفعة.

وفي حالات أخرى، عندما تكون التذبذبات فعالة وتعبّر عن الأجهزة التي تتذبذب تلقائياً مع الأدوار الطبيعية، فإن هذه الإيقاعات تدعى داخلية المنشأ (endogène). وقد ساعد التطور الاصطفائي، من بين الآليات الإيقاعية داخلية

المنشأ، تلك التي لها تواترات معادلة تقريباً لتواترات إيقاعات الوسط الخارجي؛ وفي هذه الحالة تضطلع العوامل البيئية بدور المزامن للإيقاعات البيولوجية. ويمكن أن يتوافق تواتر العوامل المزامنة مباشرة مع تواتر الإيقاعات داخلية المنشأ. كما يمكن التوصل إلى مزامنة تامة للإيقاع داخلي المنشأ مع إيقاع العوامل المزامنة. وفي حالة غياب المزامنة الدقيقة، فإن التواتر الداخلي الطبيعي هو الذي يقوم بهذه المهمة.

2- إيقاع تخزين الطاقة Rythmes d'emmagasinement de l'énergie :

يوجد لدى الكائنات الحية إيقاع تناوب بين أطوار نشاط وأطوار راحة: أي إن هناك تعاقباً إيقاعياً لأطوار التزود بالطاقة وأطوار استعمال هذه الطاقة التي جرى تخزينها أثناء طور النشاط. وهذه الظاهرة الفيزيولوجية الأساسية هي التي تتحكم ببقائها. قد يوجد تحت تصرف حيوان ما كمية من الغذاء تكفيه لعدة أيام، ولكن حتى لو كان هذا الحيوان محاطاً بهذه الكمية الكبيرة من الغذاء فلن يستطيع استهلاكها بصورة مستمرة، وسوف يناوب أطوار تناول الطعام مع أطوار الراحة. من جهة أخرى، قد تتعرض الحيوانات في أي لحظة من حياتها إلى احتمال صرف الطاقة المتراكمة مباشرة (بشكل عاجل). في هذه الحالة عليها أن تسارع في الذهاب للبحث عن الغذاء، وتناول كمية كافية منه لتأمين الطاقة الضرورية. بالتأكيد، يجب تعويض الطاقة المستهلكة بالطاقة المدخرة سريعاً. إذاً هناك تناوب دائم بين الحصول على الطاقة وصرفها. وبشكل الشهية الهائلة للحيوان الخارج من السبات الشتوي دليلاً قاطعاً على ذلك. وقد يكون التناوب بين مراكمة الطاقة وصرفها منتظماً أو غير منتظم. ويعد تعاقب النوم (راحة) والصحو (نشاط) مثلاً عن التناوب الإيقاعي.

من الواضح أن لتخزين الطاقة هدفاً آخر يتمثل في تخفيض الاستهلاك الاستقلابي *metabolique* العام، أي توفير الطاقة. ونشير في هذا الصدد إلى وجود حالات خاصة فقط تكون فيها الكائنات غير قادرة على تخزين الطاقة، نذكر منها الطفيليات وحيدة الخلية، والجنين داخل جسم الأم، أي الكائنات التي تسبح في "بحر من الغذاء"، وهذه الكائنات لا تعرف إيقاع تخزين/صرف. ولكن فور انفصال هذه الكائنات عن المصدر الدائم للغذاء فسوف يكون مصيرها الموت، إذا لم يكن باستطاعتها تركيب مواد ادخارية غير قابلة للانحلال كالجليكوجين والدهن.

3- الإيقاعات اليومية *Rythmes circadiens*:

تتزامن الإيقاعات البيولوجية للكائنات الحية مع حركات ومواقع الأرض باعتبارها جرمًا فلكيًا. فالدوران حول محور الأرض يسبب تناوب النهار والليل، أما ميلان هذا المحور فيسبب، بالاشتراك مع الدورة السنوية للأرض حول الشمس، تعاقب الفصول. أما المد والجزر فيحصل نتيجة تآثر جذب القمر والشمس، مع أن هناك عوامل أخرى تتدخل أيضاً في تغيير إيقاعه وأهميته: كالعوامل الهيدرولوجية، واضطراب الماء والضغط الجوي.

لقد أسندت الدورة اليومية للكائنات الحية، لوقت طويل، إلى أصل خارجي صرف. كما اعتبرت كنتيجة بسيطة لتعاقب النهار والليل، واختلاف الإضاءة والحرارة، والرطوبة الجوية، وتركيز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون المنحل في الماء... الخ التي يسببها هذا التعاقب. أما في الواقع، فقد برهنت عدة تجارب على أن حتمية هذه الإيقاعات ليست بسيطة، وأنها تشمل على عامل داخلي المنشأ هو الساعة البيولوجية، وهذا العامل يومي نموذجي، أي يعبر تبعاً لدورية

مدتها 24 ساعة تقريباً، مع فارق كبير نوعاً ما بالنسبة لهذه الفترة، فالدورية ذات المدة 24 ساعة بالضبط ليست سوى حالة خاصة للإيقاع اليومي.

يفضل الاحتفاظ بمصطلح الإيقاع الليلي النهاري nycthémeral للأحداث البيئية التي تجري تبعاً لتعاقب النهار والليل دون الإشارة إلى أسبابها إن كانت خارجية أو داخلية المنشأ. وهكذا يمكن أن نستشهد بالإيقاعات النهارية الليلية للرطوبة، وتركيز العناصر المغذية والغازات المنحلة في الماء، ومن البديهي أن تلعب النباتات دوراً في مثل هذه الإيقاعات. كما يمكن الحديث عن الإيقاعات الليلية النهارية للتركيب الضوئي وإيقاع الهجرات العمودية لكائنات التربة والماء. وغالباً ما تتضمن هذه الإيقاعات عاملاً داخلي المنشأ، ولكن الظاهرة الأساسية المتمثلة بالتناوب بين الليل والنهار هي التي تؤثر فيها بشكل راجح. ومن الواضح أن الإيقاعات الليلية النهارية للعوامل المحيطة، بتأثيرها المزمن للإيقاعات اليومية، هي التي تسبب تقريباً هذه الشبكات المتعددة والمعقدة من النشاطات والعادات الدورية التي تؤكد عمومية الظواهر الإيقاعية في الطبيعة. وسوف نتطرق فيما يأتي إلى بعض الأمثلة المأخوذة من أعمال سميت (1966) Smith.

3-1- السنجاب الأمريكي الطائر *Glaucomys volant*:

هذا الحيوان ليلي يبدأ نشاطه فور هبوط الليل، سواء في الطبيعة أو في المخبر. ويجري إخضاعه في المخبر لفترة 12 ساعة إضاءة و 12 ساعة ظلام، وقد تختصر فترة الظلام إلى 8 ساعات وترفع فترة الإضاءة إلى 16 ساعة. وفي كل الأحوال ينجز دورته الكاملة دائماً خلال 24 ساعة.

ولكن الدورية الضوئية للسنجاب تكون، في الحقيقة، أعقد من ذلك. فعندما أخضع الحيوان لظلام دائم، استمر في التعبير عن إيقاع النشاط والراحة، لكن

إيقاع نشاطه ينحرف عن الدورية ذات 24 ساعة، التي تتجلى عند التعاقب المنتظم للضوء والظلام. فالدورة الكاملة تتراجع وسطياً بضع دقائق، متأرجحة ما بين 23 ساعة تقريباً و 24 ساعة و 20 دقيقة.

أما إذا حفظ السنجاب في ضوء مستمر، والذي يمثل قطعاً حالة غير طبيعية بالنسبة لهذه الحيوانات الليلية، فإن دورة النشاط، على العكس، تمتد، ربما لأن الحيوان يحاول تأخير بدء طور نشاطه الذي يتوجب عليه اتباعه في ظرف استثنائي أكثر ما يمكن.

لقد أجريت التجارب السابقة في درجة حرارة 20 درجة مئوية. ومع ذلك فقد أمكن التأكد من أن الحرارة لا تؤثر في الإيقاع. ونشير إلى أن هذا السلوك الملاحظ لدى السنجاب معروف أيضاً لدى قواضم ليلية أخرى.

2-3 - عطاءة البحر المتوسط *Lacerta cicula*:

رأبنا في المثال السابق أن الإيقاعات اليومية المتعلقة بتناوب النهار والليل تكون مستقلة عن الحرارة، شريطة عدم وصول هذه الأخيرة إلى قيم استثنائية بالنسبة لفيزيولوجية النوع. ومع ذلك هناك إيقاعات يومية متعلقة بالتغيرات الحرارية. وهذه هي حالة عطاءة البحر المتوسط. فعندما حفظت هذه الحيوانات في شروط الاضاءة المستمرة والثابتة، ولكنها أخضعت لتغيرات حرارية محصورة بين 20 و 26 درجة مئوية، فإن دورة نشاط هذه العطاءة تكيفت مع هذه الدورة الحرارية، حيث يبدأ نشاط هذه الحيوانات مع بداية "الصباح الحراري"، ويتوقف بتأثير القمة الحرارية للنهار. أما في حالة الحرارة الثابتة 26 درجة مئوية، فإن النشاط يحدث خاصة عند الساعة العاشرة صباحاً إلى الساعة السادسة مساءً.

3-3- كثيرات الأرجل Myriapodes:

إضافة إلى الدور الذي تلعبه الحرارة في الإيقاعات اليومية، فإن التغيرات اليومية للرطوبة تؤدي أيضاً دوراً مهماً كمزامن للإيقاع اليومي لكائنات اليابسة التي تتميز ببيئتها بخسارة الماء عبر اللحافات النفوذة، مما يمنعها من التعرض لأوساط جافة جداً.

وتعد كثيرات الأرجل من بين هذه الكائنات، حيث تختبئ أثناء النهار في الشقوق وتحت الحجارة، أو تنغرس في التربة أو في ملاذات أخرى ندية نسبياً ومظلمة ورطبة. وقد تم التأكد من أن لدى هذه الحيوانات ميلاً متزايداً للهروب من الضوء متناسباً مع فترة حياتها في الظلام. من جهة أخرى، تتناقص شدة استجابتها للنسبة الضئيلة من الرطوبة مع الظلام: فهي تتسحب بسرعة إلى مخابئها المظلمة فور بزوغ الفجر، لكنها تخرج في الليل إلى أوساط جافة نسبياً. أخيراً، تجدر الإشارة إلى تأثير العادات في الإيقاعات اليومية: فكثير من الأيائل Cervidés والأرانب تكون عاداتها نهائية إذا لم يجر اصطفاؤها من قبل الإنسان، ولكنها تصبح ليلية إذا كان الإنسان يطاردها.

4- إيقاعات المد والجزر Rhythmes tidaux:

تُترجم تأرجحات المد والجزر، في محصلتها البيولوجية، بالتناوب المنتظم لنشاط وعدم نشاط الكائنات التي تسكن هذه المنطقة. ويعتمد هذا التناوب حسب الكائنات المدروسة، على إيقاع داخلي حقيقي، أو على استجابة خارجية بسيطة لظاهرة المد والجزر.

فمثلاً يعيش بطني القدم *Littorina neritoides* حياة يرقانية بلانكتونية، أما البالغ فيستقر في قاع الطابق الشاطئي العلوي supralittoral بعيداً نسبياً عن سطح البحر أي في منطقة رذاذ الأمواج. ولا تقوم إناث هذا الحزون بإطلاق

بيوضها إلا عندما تصل أمواج المد العالي إلى الطابق الشاطئ العلوي وتبليه. ولقد أمكن البرهان على وجود إيقاع داخلي للمد والجزر. فعندما تُرست جماعة من Littorina تعيش على رصيف مرفأ في مدينة بلايموث Plymouth (بريطانيا)، في شروط من الغمر المستمر تقريباً، تم التأكد أنها تتبع أيضاً إيقاع مد وجزر، حيث لم تكن تحرر بيوضها في الماء إلا في لحظة المد العالي.

كما أمكن البرهان على وجود إيقاع تنفسي، لدى مجموعة من حيوانات منطقة المد والجزر على علاقة مع المد والجزر: حيث يبلغ استهلاك الأكسجين حده الأقصى في وقت المد العالي. وقد يستمر هذا الإيقاع لعدة أسابيع أو حتى عدة أشهر لدى عدد من الأنواع عندما توضع في أحواض من دون مد وجزر.

علاوة على ذلك، يوجد لدى أقحوان البحر *Actinia equina* رد فعل أكثر بساطة يتمثل بانكماش المجسات. ويبدو أن هذا الانكماش يعود حصراً للتكيف المباشر مع إيقاع المد والجزر الذي يتم في الوسط. ويعد انكشاف الحيوان من الماء هو السبب المباشر لرد الفعل الحماي للحيوان.

يبدو أن الإيقاع الليلي النهاري لنشاط أقحوان البحر هو من نمط خارجي المنشأ (exogène). فبكل بساطة يمد الحيوان مجساته في الظلام، ويسحبها أثناء تعرضه للضوء أي يصبح غير نشيط. ويوجد هذا الإيقاع كظاهرة عامة يندرج ضمنها إيقاع المد والجزر كظاهرة ثانوية.

وتكون آلية مزامن الإيقاع أقل وضوحاً لدى بعض قشريات منطقة المد والجزر، ولاسيما مزدوجات الأرجل ومتماثلات الأرجل التي تقيم في القاع الرمل. والمقصود غالباً أنواع تجوب منطقة المد والجزر، أي تتبع المد والجزر. بمعنى أنها تصعد إلى الشاطئ مع المد لتختبئ في الرمل، ومن ثم تستأنف السباحة بحرية فور تراجع المد، مما يسمح لها بتجنب البقاء في الجفاف في الشاطئ المكشوف. ويمكن التحقق في المخبر أن الحد الأقصى للنشاط الحركي لهذه

القشريات يتزامن مع بدء طور الجزر. وأحياناً يتلاشى هذا الإيقاع بسرعة في المخبر بسبب غياب المد والجزر.

كما أمكن توضيح أن إيقاع المد والجزر لدى المحار *Mytilus edulis* يستند إلى معدل تصفية الماء، وأن هذا الإيقاع لا يتطابق مع الإيقاع اليومي، كما أنه مستقل عن الحرارة والإضاءة. ويستمر هذا الإيقاع في المخبر لعدة أسابيع، متوافقاً بالطور مع إيقاع المنطقة التي جاء منها المحار. وعندما تثقل ثنائيات المصراع إلى شاطئ ذي نظام مد وجزر مختلف، فإن إيقاعها الفيزيولوجي يتكيف معه بسرعة. ولقد فُسر هذا السلوك على أنه ناجم عن قابلية التكيف مع إيقاع داخلي المنشأ مستقل عن إيقاعات العوامل المحيطة.

5- الإيقاعات القمرية Rythmes lunaires:

تعد الأونيسة الخضراء *Eunice viridis* مثلاً واضحاً عن الإيقاع القمري في منطقة المحيط الهندي - الهادي، حيث تتجزأ هذه الدودة إلى قطعتين تكون الخلفية منها جنسية وتشكل مستودعاً حقيقياً للأعراس Gamètes، تصعد هذه القطع الجنسية إلى السطح وتشكل ما يدعوه سكان تلك المناطق بالولو Païolo، ثم تتفرق essaime هذه القطع وتنتشر على مسافات كبيرة. ويكون هذا التفرق أو التشتت على علاقة مع الأطوار القمرية لأشهر الصيف. كما تنتج أنواع أخرى من فصيلة Eunicidés بالولو يدعى "أطلسي" والذي يبلغ تفرقه حده الأقصى في مهلة خمسة أيام بدءاً من الربع الأخير لشهر تموز. جدير بالذكر أن أغلب أفراد *Eunice* تتجزأ إلى بالولو عند اقتراب الفجر.

أما بالنسبة للنوع *Platynereis dumerilii* من الديدان كثيرات الأهداب، فعندما يصل إلى النضج الجنسي يتفرق خلال بضع ساعات على سطح البحر، حيث يتكاثر هناك ويموت. في البحر المتوسط يتم هذا التفرق بين الربع الأخير

والأول للقمر، أي حول القمر الجديد. أما جماعات المحيط الأطلسي، فعلى العكس، تتفرق كل أسبوعين. ولا يوجد إلا القليل من الأفراد التي تتفرق عند اكتمال القمر.

ولقد أمكن الحصول على ظاهرة التفرق المتزامنة مع أطوار القمر في المخبر عن طريق إنتاج الضوء القمري (شدة ضوئية تساوي 3 لوكس تقريباً). وتؤدي الإضاءة الصناعية الثابتة إلى تفرق فجائي خلال الشهر القمري. وعلى العكس، إذا أخضعت الحيوانات خلال مدة 24 يوماً إلى 12 ساعة إضاءة و 12 ساعة ظلام، تليها ستة أيام إضاءة مستمرة، فإنه ينتج تفرقاً أعظماً مقارنة بالتفرق الذي ينتج مع نهاية الإضاءة الثابتة.

وإذا تساءلنا عن المعاني التكيفية التي يمكن إسنادها إلى هذه الإيقاعات داخلية المنشأ المتزامنة مع القمر، فإننا نذهب بالتفكير أولاً إلى تأثير الأطوار القمرية في تعاقب المد والجزر وسعته، وما ينتج عنه من تحديد لنشاط كائنات المد والجزر في أوقات معينة من السنة والشهر واليوم. بالإضافة إلى ذلك ينسب إلى هذه الظواهر تأثير مباشر على مزامنة أطوار تكاثر الحيوانات والنباتات. تمتلك جميع أفراد النوع الواحد إيقاعاً داخلي المنشأ للتطور القمري وتخضع للتكاثر في الوقت نفسه. ويستمر هذا التزامن حتى عندما تكون الظواهر الخارجية للأطوار القمرية غير محسوسة، ولاسيما عندما تحجب الغيوم القمر.

6- الإيقاعات السنوية Rythmes annuels

يسبب تعاقب الفصول اختلافات في مدة كل من الليل والنهار، ويكون لهذه التغيرات انعكاسات واضحة على معدل نشاط الكائنات واستقلابها ونموها. وهناك عدد من الأمثلة تطرقنا إلى بعضها سابقاً. نذكر منها تحريض الدورة الضوئية للسكون، والإيقاعات الفصلية للتنفس، وظواهر السبات الشتوي. ومن الأمثلة على ارتباط النشاط بالدورة الضوئية نُذكر بحالة السنجاب *Glaucomys* الذي يؤخر

بدء نشاطه الليلي تدريجياً أثناء الانتقال من الشتاء إلى الصيف، ويقوم بعكس ذلك بدءاً من الخريف. كما توجد ظواهر مماثلة لدى الطيور المغردة، حيث تبدأ التغريد الصباحي حالما يصل ضوء الشمس إلى شدة معينة. وتؤخر هذه الطيور تغريدها أو تقدمه حسب الاختلافات الفصلية للإضاءة.

كما يتبع النشاط التكاثري لأغلب الحيوانات والنباتات، على الأقل في المناطق المعتدلة، إيقاعاً سنوياً معروفاً جيداً. ويعتمد هذا الإيقاع على اختلاف طول كل من النهار والليل، أي على الدورة الضوئية، والتي تطرقنا إليها سابقاً. وكمثال عن تأثير الدورية الضوئية في تبديل وبر الثدييات، نذكر أرنب الثلج الذي يبدأ بمقايضة وبر الصيف البني بوبر الشتاء الأبيض فور بدء تطاول الليل، دون أدنى علاقة مباشرة مع الوجود الحقيقي للثلج في الوسط، ولا مع الحرارة. أي بكل بساطة عبارة عن رد فعل على قصر النهار.

كما درست الدورية الضوئية وتغيراتها لدى الحشرات ولاسيما لدى الأرقبيات أو المن Aphidiens، حيث تؤدي الفترة الضوئية دوراً محدداً بالنسبة لظهور الأطوار الجنسية المختلفة لحشرات المن، ضمن مجال حرارة وسطي يتراوح بين 15 و 20 درجة مئوية. فأفراد النوع *Megoura viciae* العذرية virginipares التي تنمو في ظروف النهار الطويل (16 ساعة إضاءة يومية) تنتج أفراداً عذرية أخرى. أما في ظروف النهار القصير (12 ساعة إضاءة يومية) فتنتج الأفراد العذرية إناثاً بيوضة قابلة للإلقاح، وهذه الأخيرة تضع في الشروط الطبيعية بيوض شتاء مهينة للدخول في السكون. في درجة الحرارة 20 درجة مئوية تكون الفترة الضوئية الحرجة 14 ساعة ونصف، وفيما بعد هذه الفترة يتوقف إنتاج الإناث البيوضة. وهكذا، فإن ظهور الإناث البيوضة يتوافق مع الاستجابة للنهار القصير. بالمقابل، لا يتأثر إنتاج الذكور بتبدلات الفترة الضوئية.

وعندما تؤدي الدورية الضوئية دوراً أساسياً في الدورة البيولوجية لنوع واسع الانتشار الجغرافي، فإن تزامن أطوار النمو المختلفة يحدث بطريقة مختلفة حسب خطوط العرض، ما يعني وجود تغيرات جغرافية في الاستجابة للدورات الضوئية. تشير التكيفات المتعلقة بخطوط العرض مسائل فيزيولوجية بيئية جدية لدى الأنواع التي تستجيب للنهار القصير، لأن من نتائج الصعود إلى خطوط العرض العليا، في نصف الكرة الشمالي، إطالة فترة الإضاءة في الصيف وانخفاض مطرد في درجة الحرارة.

فضلاً عن ذلك، يمكن التطرق إلى التناوب في النظام الغذائي للحيوانات غير المهاجرة حسب النشاط الدوري لفرائسها. حيث يكون لهذا التناوب دوراً تكيفياً واضحاً، كما يمكن أن يهيئ مثلاً لدخول الحشرات في طور السكون.

7- الإيقاعات الحيوية لدى الإنسان:

يتجلى لدى الإنسان أيضاً مجموعة من الإيقاعات تشكل حالياً مادة لأبحاث متعددة: فيزيولوجية وفيزيولوجية بيئية وطبية واجتماعية. فالإنسان يمتلك جهازاً من الغدد الصماء داخلية الإفراز endocrine يتم التحكم به من قبل غدة تدعى ما تحت المهاد أو الوطاء hypothalamohypophysaire. تلعب هذه الغدة دوراً أساسياً في تحديد الإيقاعات الحيوية. كما أن الجهاز العصبي المركزي الحساس جداً لتغيرات الوسط المحيط، يؤثر بالمقابل في السيطرة المزاجية على الإيقاعات الحيوية للإنسان، كما في بقية الفقاريات.

ومن بين الإيقاعات الحيوية التي تستحوذ على اهتمامات البيئي بشكل مباشر، نذكر تلك التي تتزامن بشكل واضح مع الدورات اليومية والفصلية للوسط، والتي يعاد توزيع أطوارها بكل وضوح عندما تتغير عناصر الوسط.

7-1- الإيقاعات السنوية:

من بين الإيقاعات ذات الدورية السنوية التي حازت على اهتمام كبير من قبل الباحثين، نذكر تلك التي تخص عمل القلب (متوسط تواتر النبض) وتركيب الدم (pH، كمية الهيموغلوبين وبروتين البلازما) التي تصل إلى الحدود القصوى في فصل الصيف. وهذه في الحقيقة ليست سوى ظواهر مختلفة لدورة الاستقلاب الفصلية، الشائعة لدى متجانسات الحرارة. كما يظهر هذا الإيقاع أيضاً على شكل دورة فصلية للاستقلاب الأساسي، وعلى شكل ظواهر أخرى قابلة للمراقبة بسهولة، حيث يمكن بسهولة إثبات أهمية الاستجابة للنهار القصير أو الطويل.

وتتداخل هذه الإيقاعات مع الإيقاعات داخلية المنشأ اليومية. وهكذا، يطرأ انحراف فصلي على الإيقاعات اليومية لإفراغ الماء والبوتاسيوم: ففي فصل الخريف يقع الحد الأقصى للإفراغ بين الساعة الثامنة والساعة الثانية عشرة. أما في فصل الربيع فيقع الحد الأقصى بين الساعة السادسة عشرة والساعة العشرين. كما يمكن ملاحظة تغيرات أخرى في هذا الانحراف تبعاً لخطوط العرض، فذروة إفراغ البوتاسيوم تكون مختلفة على نحو واضح لدى سكان أوروبا الشمالية عنها لدى سكان جنوب أوروبا.

كما يعتقد بوجود إيقاعات فصلية للحساسية إزاء الأمراض لدى الإنسان، مستقلة عن التغيرات الفصلية لفوعة virulence العوامل الممرضة، أو أنها مرتبطة نوعاً ما بتغيرات مناخية فصلية. فعلى سبيل المثال، تم إثبات وجود علاقة مباشرة بين مناخ فصل الشتاء البارد الرطب وبين حساسية الجهاز التنفسي إزاء العوامل الممرضة.

7-2- الإيقاعات اليومية:

من الممكن إقامة الدليل على أن مقاومة الإنسان للعدوان تتغير تبعاً لإيقاع يومي، غير أن هناك إيقاعات أخرى أكثر تحديداً ومعروفة بشكل أفضل. ويعد تناوب الصحو والنوم من أشد هذه الإيقاعات وضوحاً. من المعروف أن هذا التناوب يستند إلى إيقاع داخلي المنشأ تزيد دورته قليلاً عن أربع وعشرين ساعة. وفي الشروط الأحادية وأثناء غياب المنبه الضوئي (ظلام أو ظل مستمر) فإن الأشخاص الخاضعين للتجربة يغيرون تدريجياً نشاطهم نسبةً إلى الزمن الحقيقي، ما قد يستدرجهم شيئاً فشيئاً إلى دورية شخصية قريبة من 48 ساعة. في هذه الحالة، فإن وقت الراحة الذي يعتبره الشخص المعني كقيلولة، يلعب دور الاستراحة الليلية في الشروط الطبيعية، ويستعيد الإيقاع اليومي الأساسي.

يتوطد الإيقاع اليومي لتناوب صحو- نوم تدريجياً خلال مرحلة الطفولة، ليترسخ نهائياً في السنة العاشرة. قس على ذلك الإيقاع اليومي للحرارة الداخلية. وفي كلتا الحالتين، لا يتم ترسخ هذا الإيقاع نتيجة التعلم، إنما نتيجة اتقان الساعة البيولوجية البشرية، المرتبط بالنمو التام للمراكز العصبية والعلاقات المتبادلة المزاجية العصبية للكائن.

ترتفع الحرارة لدى الأشخاص ذوي النشاط الطبيعي (النهار) خلال النهار وتتناقص أثناء الليل. ويسبب الانعكاس المفاجئ لإيقاع النشاط تغيراً في الطور بين الإيقاعين لا يخف إلا بعد بضعة أيام. وفي الشروط المطلقة، أي في إضاءة دائمة أو ظلام دائم، فإنه يلاحظ عدم تزامن بين الإيقاع الحراري وإيقاع النشاط، ويصبحان غير متطابقين. حيث يحتفظ الإيقاع الحراري باستقلالية بالنسبة لإيقاع النشاط، ويبدو أنه يعزى بالنتيجة إلى آلية داخلية المنشأ مستقلة.

كما تتوافق أيضاً إيقاعات نشاط قشرة الكظر وإفراغ الساء واليوغاسوم مع منحنى النموذج السابق نفسه. ففي حال قصور قشرة الكظر (مرض أديسون) فإن

الدورة اليومية لإفراز الستيروئيد القشري cortisteroides تتعطل، ويتبعها تعطل الدورة اليومية لإفراز البوتاسيوم، أما إفراز الماء فيبقى ولكن حده الأقصى ينتقل إلى الليل. بالإضافة إلى ذلك، تمت البرهنة على أن إعطاء الهرمون خارجي المنشأ للمرضى حسب دورة تقلد الانتاج الطبيعي للستيروئيد القشري لدى الأشخاص الأصحاء يضيفي فعالية كبيرة على المعالجة.

وتؤثر التغيرات اليومية لوظائف جسم الإنسان في سلوكه الاجتماعي وفي فعاليته. وهكذا، فإن فعالية العمال تبدي تغيراً يومياً موازياً لتغيرات الحرارة الداخلية، حيث يتطابق أفضل مردود مع الحد الأقصى للحرارة الداخلية، أي مع الفترات التي يكون فيها النشاط الاستقلابي في الذروة. وبعد انعكاس إيقاعات النشاط أو تغيرها المفاجئ أو الحاد هو السبب في اختلال التوازن الفيزيولوجي والنفسي على المدى الطويل. كما أن السفر عبر القارات بسرعة كبيرة، أو بكل بساطة التغيير المتكرر لمواعيد العمل، بشكل متناوب بين الليل والنهار، هذه الأمثلة وغيرها تجعل مزامنة الساعة البيولوجية مع العوامل المحيطة أمراً غير ممكن، و يترافق ذلك مع كثير من التعب.

بالنتيجة، يجب على المشتغلين بالبيئة وعلم الاجتماع والاقتصاد والطب أن يأخذوا الإيقاعات الحيوية للإنسان بالحسبان، من أجل تنظيم نشاطاته بطريقة تضعه في شروط يكون فيها استهلاكه الاستقلابي في حده الأدنى، وفعالية العمل في حدها الأقصى، ورد فعله على عدوانية الوسط المحيط بالشكل الأمثل.

الفصل الحادي عشر
حماية الطبيعة
La protection de la nature



الفصل الحادي عشر

حماية الطبيعة La protection de la nature

مقدمة:

يتميز المحيط الحيوي، بصورة عامة، بثبات كبير إزاء العوامل الخارجية، مما يعكس حقيقة تحمله لتبدلات كبيرة في بنيته. وتشكل هذه المرونة وسيلة مهمة للإنسان لأنها تسمح له بتغيير المحيط الحيوي، واستثمار بعض عناصره حسب حاجته. إلا أن هذا التغيير لا يمكن أن يتجاوز حدود معينة، وإلا فسوف يهدد التوازن الديناميكي للمحيط الحيوي. ولقد تم تجاوز هذه الحدود في مناطق شاسعة من العالم مما أدى إلى إتلاف جزء مهم من المحيط الحيوي، كما تسبب باستنفاد التربة ومصادر الماء العذب، واختفاء العديد من الأنواع النباتية والحيوانية. ويشكل الإنسان والمجتمع الإنساني جزءاً مكماً من المحيط الحيوي، ويتعلقان بشكل دقيق بموارده، لذا فإن المحافظة على هذا المحيط الحيوي تشكل أهمية جوهرية بالنسبة للإنسانية جمعاء.

1- تأثير الإنسان في المحيط الحيوي:

1-1- النمو الديموغرافي:

تعد الزيادة المتسارعة في أعداد البشر حالياً هي الظاهرة التي يجب الوقوف عندها إذا ما أريد فهم سبب التغيرات المتزايدة المقررة بحق الطبيعة. ويمكن أن تعطي بعض تقديرات التطور الديموغرافي العالمي (الجدول الآتي) فكرة عن أهميتها.

الزمن	عدد السكان
6000 قبل الميلاد	5 مليون
عام 1000 م	250 مليون
عام 1850	1100 مليون
عام 1930	2000 مليون
عام 1950	2500 مليون
عام 1975	4000 مليون
عام 2000	6000 مليون
عام 2020	أكثر من 7000 مليون

لقد انتقل زمن تضاعف الجماعة من 2500 سنة في العصر الحجري الأخير néolithique إلى 100 سنة عام 1900 وإلى 35 سنة عام 1960. وإذا ما استمرت هذه الزيادة على هذا النحو فسوف نصل إلى وضع مقلق: 12 مليار في عام 2025 و 190 مليار إنسان عام 2150 أي بكثافة مقدارها 1000 إنسان في الكيلومتر مربع على عموم الأرض المكشوفة (اليابسة).

1-2- إتلاف الموارد الطبيعية:

تتعلق جل المسائل التي تطرح حالياً بالنسبة لحماية الوسط الطبيعي تقريباً بالظاهرة الديموغرافية المترافقة بسرعة تبديد الموارد الطبيعية والتي تسارعت بشكل كبير في القرن العشرين. ولقد حدثت الزيادة السكانية بإيقاع أسرع من زيادة المردود الزراعي، وهذا ما قضى على مجهودات العديد من البلدان لتغذية سكانها. ولم تشكل محاولات التوسع بالزراعة، ولا سيما في البلدان المدارية، بالنجاح دائماً بل أدت غالباً إلى عمليات حث وتصحّر نتيجة الاستصلاح المكثف. حتى "الثورة الخضراء" في الهند، التي استندت على إدخال أصناف جديدة من القمح لم تحل

مشكلة الغذاء في هذه البلاد. فقد توقعت خطط 1959 انتاج 110 ملايين طن من القمح بدءاً من عام 1966، والذي لم يتم التوصل إليه حتى عام 1972 بسبب تقلب الأمطار الموسمية، وفي هذه السنة طالت المجاعة نحو 75 مليون هندي، مما أوجب استيراد ثلاثة ملايين طن من الحبوب. على أي حال، أكد بورلانج BORLANG الحائز على جائزة نوبل وأحد آباء الثورة الخضراء أن هذه الوسيلة ليست إلا وسيلة مؤقتة وأن الحل الوحيد الناجع هو التوقف عن النمو السكاني.

من المؤكد أن ازدياد المردود الزراعي لا يمكنها أن تستمر إلى ما لا نهاية. والأرقام التي أعطاها أودم ODUM تشير إلى أن مضاعفة العائد الزراعي يحتاج إلى مضاعفة كمية السماد والمبيدات الحشرية والطاقة المستعملة عشر مرات. ومن الطبيعي أن يكون لهذه الزيادة الأسية حدوداً لا يمكن تجاوزها.

يجب التمييز بين الموارد الطبيعية المتجددة وغير المتجددة. فالمواد غير المتجددة تتمثل بالوقود الأحفوري ومختلف المواد الأولية كالفلزات. ويجري استهلاك الوقود الأحفوري حسب منحني آسي، ومن المتوقع نفاذه في زمن ليس بالبعيد.

ويستوجب النقص المرتقب في هذه المواد اتخاذ بعض التدابير الضرورية: كتوقف السباق على الطاقة وإدخال البترول للاستعمالات النبيلة (كالصناعات البتروكيميائية مثلاً). كما يفترض أيضاً البحث عن مصادر طاقة بديلة: كالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وطاقة المد والجزر، التي تتميز بكونها مستدامة وغير ملوثة.

أما الموارد الطبيعية المتجددة فهي تلك التي تمدنا بها الكائنات الحية الحيوانية والنباتية. ويمكن توضيح استعمالاتها الفوضوية ببعض الأمثلة. فحرائق الغابات تتلف سنوياً مليوني طن من المادة العضوية. يضاف إلى ذلك الكميات الهائلة

من الأشجار التي تقطع من أجل تزويد الجرائد والمطبوعات بالورق. والغابات الاستوائية التي تتعرض للحرق ويتم زراعتها بعد ذلك بمحاصيل زراعية بضع سنوات، فإنها تتحول إلى صحراء. ونتيجة لهذه الممارسات أصبحت تسعة أعشار أراضي جزيرة مدغشقر عديمة الجدوى الزراعية. كما تستهلك الزراعة الوحيدة والمتكررة لقصب السكر والقهوة ونباتات أخرى في المنطقة المدارية التربة، ويعد ذلك يتم ترك هذه الأراضي بعد أن تكون قد دُمِرت زراعياً. أما الصيد الذي يمارس على نطاق واسع فيسبب تدريجياً ندرة العديد من أنواع الأسماك البحرية، حيث تتناقص كمية الصيد السنوية بانتظام بالرغم من المساعي المبذولة لزيادة الصيد.

ومن بين الظواهر التي تلعب دوراً في تراجع الموارد المتاحة يجب التشديد على الحت والتجفيف. ففي كثير من المناطق ينزع الحت الشديد التربة ويسبب تصحراً متدرجاً. ويعدّ الإنسان هو المسؤول الأول عن تلك الممارسات، فهو الذي يدمر الغطاء النباتي عندما يقوم بزراعة أنواع مخلة بالبيئة (كزراعة البادية بالحبوب)، وهو الذي يقوم بحرق الغابات، ويقوم بالرعي الجائر ولاسيما بالأغنام والماعز. فلقد كانت بلدان الشرق الأوسط واليونان وشمال أفريقيا مغطاة قديماً بالغابات وأصبحت حالياً شبه صحراء. كما فقدت ربع أراضي الصين خصوبتها، حيث ينزع الحت سنوياً 2.5 مليار طن من التربة الصفراء الخصبة. وإذا تحدثنا على مستوى العالم، فإن خمسة ملايين كم² من الأراضي الزراعية الصالحة للزراعة فقدت نتيجة أخطاء الإنسان.

ويسبب إتلاف النباتات جفافاً شديداً باضطراد. كما يضاف إلى ذلك التجفيف الإرادي للعديد من المناطق الرطبة كالمستنقعات، وتنفذ المياه الجوفية بالسرعة التي تزداد فيها الحاجات اليومية للماء. وتنتج الصناعة كميات كبيرة من الماء؛ فصناعة طن واحد من الورق تستهلك 250 م³ من الماء، وتستهلك صناعة طن

واحد من السماد 600 م³ من الماء. ومنذ عشرات السنين بدأ الماء بالنفاد في كثير من المناطق في العالم، وسوف تتفاقم هذه الظاهرة مستقبلاً مع تقلبات الأمطار.

وبعد التجفيف الممنهج للمستنقعات في المناطق المعتدلة خطاً فادحاً، فالمستنقعات تعمل كإسفنجة حقيقي، فهي تنظم مستوى المياه الجوفية عن طريق إعطاء الماء في الصيف، وامتصاص مياه الأمطار الغزيرة في الشتاء، مما يحول دون حدوث الطوفان. كما أن إنتاجية المستنقعات تكون مرتفعة: حيث تساوي إنتاجية هذه النظم البيئية أو تتجاوز إنتاجية الزراعات الأكثر عائدية. كما تشكل أماكن لحماية النباتات والحيوانات المهددة بالاختفاء. بالإضافة إلى أن تجفيفها باهظ التكاليف وليس مربحاً اقتصادياً في كثير من الحالات.

1-3- تلوث المحيط الحيوي:

تزداد أسباب تلوث المحيط الحيوي يوماً إثر يوم. ويمكن تصنيفها في ثلاثة أنماط: تلوث بالفضلات الصناعية، وتلوث بالمبيدات، وتلوث إشعاعي. وكنا قد درسناها في مقرر أساسيات علم البيئة الحيوانية بشيء من التفصيل سابقاً، ولا حاجة لتكرارها مرة أخرى.

1-4- إتلاف الأنواع والنظم البيئية:

1-4-1- الأنواع المنقرضة:

لقد أفضى تأثير الإنسان في المحيط الحيوي إلى ندرة أو إبادة كثير من الأنواع الحيوانية والنباتية. ويمكن تقديم بيانات دقيقة بالنسبة للثدييات والطيور بسبب سهولة التعرف على مواضعها وتحديدتها في الحقل مقارنة باللافقاريات. فمنذ عام 1600 م حتى الآن أباد الإنسان 162 نوعاً من الطيور، وهناك 381 نوعاً ينتظر المصير نفسه. أما بالنسبة للثدييات فقد اختفى نحو 100 نوع على

الأفل، وهناك 225 نوعاً في طريقها إلى الاختفاء. وبالنسبة لتسلسل تاريخ الاختفاء فمن السهل تتبعه، مع الأسف. وسوف نكتفي بذكر أربعة أمثلة معروفة بشكل خاص:

1627: نفوق آخر ثور بري (أرخص) *Aurochs* (*Bos primigenius*) في بولونيا. وهو سلف الثيران الأهلية، وكان موجوداً في فرنسا في العصور الوسطى.

1681: اختفاء طائر درونت *Dronte* من جزيرة موريس *Maurice*، وبعد أرخبيل *Mascareignes* (جزر موريس وريونيون *Reunion* ورودرiguez *Rodriguez*) مجرداً تماماً من الثدييات الأصيلة *Autochtones*، ويؤوي طيوراً فقدت القدرة على الطيران نتيجة لغياب المفترسين. واعتباراً من القرن السابع عشر والذي شكل بداية استيطانها من قبل الإنسان، أخذت فونة هذه الجزر بالتراجع بشكل سريع، حيث اختفى 24 نوعاً من الطيور من أصل 28. والأنواع الأكثر أهمية من هذه الطيور هي الأنواع كبيرة القد والتي كان يصل وزنها إلى نحو 20 كغ وتتنسب إلى فصيلة الحمام، نذكر منها:

طائر *dodo* (*Raphus cucullatus*) في جزيرة موريس، وطائر *dronte* (*R. solitaries*) في جزيرة رودريغز. فقد قام البحارة الذين كانوا يصلون إلى هذه الجزر بقتل هذه الطيور المجردة من وسائل الدفاع.

1870-1880: أبيد نوعان من الحمير الوحشية *Zebres* في جنوب أفريقيا: حمار الوحش *Buchell* وحمار الوحش *Quagga* على يد شعب البوير *Boers*.

1914: نفوق في الأسر في حديقة حيوان سينسيناتي *Cincinnati* (الولايات المتحدة الأمريكية) آخر طائر حمام مهاجر *Ectopistes migratorius*. هذا الطائر الأمريكي الشمالي كان يشكل مستعمرات واسعة، وتجاوزت أعداده عدة مليارات من الأفراد في عام 1810. ولقد أدى القنص الجائر إلى اختفائه من الطبيعة في عام 1909.

1786: انقرضت البقرة البحرية *Rhytina stelleri* من رتبة الخيلانيات Sireniens من الثدييات، والتي كانت تعيش في الجزء الشمالي من المحيط الهادي في قطعان كبيرة في المياه قليلة العمق وتتغذى بالطحالب البحرية، وقد انقرضت هذه البقرة بسبب الصيد الجائر لأنها قليلة الحركة ولحمها لذيذ الطعم. وكان يصل طولها إلى 8 أمتار ويبلغ وزنها 3000 كغ.

التسلسل التاريخي لانقراض الحيوانات في سورية:

تشير الدراسات إلى انقراض عدد من الأنواع الحيوانية في سورية. حيث يعتقد أن الفيل السوري *Elephas maximus asurus* قد اختفى قبل الميلاد. أما الدب السوري *Ursus arctos syriacus* فقد ظل موجوداً في سوريا ولبنان حتى عام 1927، وهناك وادي في جبال لبنان الشرقية باسمه (وادي الدب)، إلا أنه وبعد فترة غياب طويلة فقد سجلت مشاهدات له في عام 2015 في جبال لبنان الشرقية.

كما اختفى الأيل ويحمور بين النهرين *Diana mesopotamica*، في حين أن الغزال العربي *Gazella Arabica* هو الآن في طور الانقراض، إذ لم يبق منه إلا أعداد محدودة. ويتعرض هذا الحيوان للإبادة أمام أعيننا، حيث يستعمل في إبادته أحدث وسائل الصيد.

أما بالنسبة للطيور، فبالرغم من عدم وجود بيانات عن الأنواع التي انقرضت أو المهددة بالانقراض في بلادنا، إلا أن أعداد الكثير منها انخفض بشكل واضح كالقطا وغيرها.

1-4-2- الأنواع المهددة بالانقراض:

يمكن سرد قائمة طويلة بالأنواع المهددة بالانقراض. فقد تم إنقاذ بيزون Bison أمريكا وخاصة بيزون أوروبا بصعوبة قبل وقت قصير من اختفائه. أما أسد آسيا فلم يبق منه إلا 150 فرداً في غابة في الهند، وفي فرنسا يجري مطاردة

الذب والجوارح Rapaces بحمافة، حيث تتناقص أعدادها يوماً بعد يوم، وقد حان الوقت للتفكير جدياً في حمايتها. كما تجدر الإشارة إلى اللافقاريات المهددة بالمبيدات، وبتخريب مواقعها الحيوية أو نتيجة الجني المفرط لأغراض تجارية.

1-4-3- تهديد الأنظمة البيئية:

يطال التهديد بعض الأنظمة البيئية أيضاً، مثلها مثل الأنواع التي تشتمل عليها. ومن بين هذه الأنظمة الأكثر تهديداً نذكر ما يأتي: فالكتبان والشواطئ الرملية الساحلية مع نباتاتها وحيواناتها المتخصصة جداً لا تفتأ تتراجع شيئاً فشيئاً أمام الإنشاءات المختلفة كالمباني، وتجفيف المخشبات Tourbières. كما أن تآكل الغابة الاستوائية الأفريقية جرى إتلافها حالياً. ويجري إتلاف الغابات إما بالقطع أو الحرق، وتعيث هذه الممارسات فساداً كبيراً في بلدان البحر المتوسط. ومن نتائج إزالة الغابات استبعاد الغطاء النباتي الذي يحمي التربة من الحت، كما أن هكتاراً واحداً من الزان Hêtres يحتجز 300 إلى 500 م³ من الماء ويخزن 2000 م³. لهذا ينبغي إعادة التحريج كلما كان ذلك ممكناً. وقد ثبت أن زراعة الراتنجيات Résineux السائدة حالياً سيئة في أغلب الحالات. فالراتنجيات تحمض التربة وتجعلها جدياً شيئاً فشيئاً، كما أنها قابلة للاحتراق بسهولة ولا تقدم ملجأ جيداً للحيوانات. لذا فإن الغابة الوريقة feuillus مفضلة في أغلب الحالات.

2- الحفاظ على الطبيعة:

يتضح مما سبق ذكره أن المحافظة على الطبيعة تشكل أحد الواجبات الأكثر أهمية بالنسبة للبيولوجي حالياً.

2-1- وقاية التربة:

تعد وقاية التربة من الضرورات القصوى، ويمكن أن تتم هذه الوقاية بطرائق متنوعة جداً والتي يجب أن تطبق حسب كل حالة على حدة. ومن هذه الطرائق

إعادة تحريج الأراضي المهجورة مما يجنبها الحت، واستعمال تقانات زراعية منطقية وترك تلك التقانات المخلة كالزراعات الأحادية المتكررة (الزراعة المجذبة). كما يجب تجنب الرعي الجائر، واستبعاد الماعز التي تقتلع الأعشاب وتحرم النباتات من أية إمكانية لإعادة نموها، ولاسيما من المناطق ذات التوازن البيئي الهش كمناطق البحر المتوسط، والتي كان لها دور كبير في تخریبها. أما الزراعة المتنقلة، المنتشرة في المناطق الاستوائية، فليست مبررة إلا عندما يكون عدد السكان محدوداً. ففي أفريقيا الوسطى تكون الأرض الزراعية قليلة المساحة ومحاطة بالأدغال، وبعد زراعتها ثلاث إلى خمس سنوات تترك، وتبقى خلال 40 سنة بدون زراعة، مما يسمح بعودة النباتات الأولية وتجدد التربة. أما عندما تكون أعداد السكان كبيرة، فإن العودة إلى زراعة الأرض تكون سريعة مما يسبب تخریباً سريعاً للتربة.

2-2- المحافظة على الأنواع والأنظمة البيئية:

تشكل المحافظة على الأنواع والأنظمة البيئية مظهراً آخر من مظاهر المحافظة على الطبيعة. ويمكن أن ندرك سريعاً صعوبة حماية النوع المأخوذ بشكل منعزل، لذا فإن الضرورة تحتم صون مجموع النظام البيئي الذي يعيش فيه هذا النوع. وهناك مبررات يمكن الاستناد إليها لتبرير صون الأنواع والمحافظة عليها.

أ- أسباب جمالية: يمكن تبرير صون المناظر الجميلة والحيوانات الفريدة والرائعة التي توجد فيها من وجهة نظر جمالية بالفقر نفسه الذي يبرر فيه حماية الآثار القديمة.

ب- أسباب علمية وعملية: لقد حصل تنوع الكائنات الحية نتيجة تطور طويل، والذي شكّل أحد أهم شروط استقرار وتوازن المحيط الحيوي خلال الزمن.

ويؤدي إفقار الأنظمة البيئية بسبب إنقاص أعداد أفرادها وأنواعها إلى تعريض توازنها للخطر، وإلى الحد من نشاطها البيوجيوكيميائي. كما يجب أن تتمتع المناطق الطبيعية بالحماية لأنها تقدم وسائل لتحسين العروق الأهلية، وتهيء الفرصة لاكتشاف مواد كيميائية تسمح بالدفاع ضد الحيوانات الضارة كالبيرثر Pyrether أو الروتينون Roténone المستخلصة من النباتات، بالإضافة إلى إنتاج مواد طبية. من يعلم إن لم يكن هناك بعض المواد أكثر فعالية من البنسلين ومن البيريترين Pyrethrin ستختفي من على وجه الأرض قبل أن يتم اكتشافها من بين ملايين الأنواع المعروفة أو التي لم تكتشف بعد، أو إن لم تكن النظم البيئية التي تحتوي على هذه الأنواع التي أُلغيت؟

منذ وقت طويل، يستعمل هنود نيفادا Nivada مادة مستخلصة من نبات Larrea لمنع زرع الزبدة. وفي عام 1950 حصل ريشتاين T.Reichstein على جائزة نوبل في الطب عن أعماله المتعلقة بتركيب الكورتيزون من بذور نبات Strophanthus. كما أثبتت دراسات أخرى أن البطاطا الحلوة Ignames المكسيكية تشكل مصدراً جيداً للكورتيزون أيضاً. ومن وقت لآخر، تظهر أمراض جديدة على نباتات القمح والأرز وعلى الماشية، وتتمثل الوسيلة الناجعة لمقاومتها في استنباط سلالة مقاومة. وفي كل الحالات تقريباً يتم الاستعانة بالنماذج البرية للنوع، والتي بسبب تنوع جماعاتها الطبيعية تقدم أفضل الفرص لاكتشاف الخواص المطلوبة. هذه الأصول البرية لا يمكن زراعتها في الحقول أو تربيتها في حظائر، خوفاً من أن تفقد قابليتها للتغير بسرعة، لذا يجب أن تستمر في جماعاتها الأصلية معرضة للتنافس داخل أفراد النوع الواحد وبين أفراد الأنواع المختلفة، الذي يفرضه وجودها في وحدة أحيائية غير مبدلة من قبل الإنسان.

كما يتطلب المحافظة على الطبيعة أيضاً إعادة النظر بمفهوم الأنواع الضارة، والتي لا تشكل فعلياً إلا أعداداً قليلة. فالكواسر في أوروبا الغربية تعاني تناقصاً

مريضاً، بسبب القنص الجائر، وبسبب تسمم العديد من الأنواع نتيجة تراكم متبقيات المبيدات في أجسامها. يؤخذ على هذه الكواسر أنها تصطاد كمية كبيرة من الطرائد، غير أن هذه المأخذ غير مبررة، حيث لا تلجأ هذه الطيور إلى التقاط الطرائد إلا عندما تقل أعداد القواضم والتي تشكل غذاءها الأساسي، كما أنها لا تلتقط عادة إلا الأفراد المريضة، بحيث تسهم على هذا النحو بالحفاظ على حالة صحية جيدة للطرائد.

كما أن للحيوانات المفترسة دوراً في الحفاظ على التوازن البيئي، حيث تقضي على الفرائس المريضة وبذلك تقضي على المرض وتوقف انتشاره. والأمثلة على ذلك كثيرة، ففي بولونيا اتهم الصيادون القنص بأكل الأسماك فقصوا عليه عن طريق الصيد الجائر، ولكنهم فوجئوا باستمرار تناقص السمك. وتبين لهم بعد أن القنادس كانت تأكل الأسماك المريضة سهلة الاصطياد. وهكذا كانت تحافظ على الحالة الصحية لجماعات الأسماك. وفي الوقت الحاضر، تخضع القنادس لحماية وتربية تسمحان بإعادة أعداد هذا الحيوان إلى ما كانت عليه.

ويجب أن لا ننسى دور الطيور في تخليص النباتات من كثير من الحشرات الضارة والقوارص التي تشكل جزءاً من غذائها. فالبومة الواحدة تقضي على حوالي 1000 فرد من الفئران في العام، وتوفر بالتالي نصف طن من الحبوب. كما تمنع الطيور التي تعيش على جثث الحيوانات انتشار الأمراض.

ولا يقل دور الزواحف عن بقية الحيوانات الأخرى، إذ تشكل الحشرات الضارة 62% من غذاء السحالي وغيرها من الزواحف. حتى الأفاعي لها دور إيجابي في النظام البيئي، فهي تتغذى على الفئران، كما أن سمها يستعمل في علاج العديد من الأمراض.

2-3- سبل حماية الحيوانات الطبيعية والأنظمة البيئية:

أ- إصدار التشريعات الخاصة بتنظيم الصيد:

لقد سمحت بعض الإجراءات القانونية بإنقاذ أنواع كانت على وشك الانقراض، فبيزون أوروبا استعاد شيئاً فشيئاً أعداده في محمية بياالويزا Bialowciza على حدود بولونيا وروسيا. كما أن ظبي Saiga الذي كان ينتشر قديماً من بولونيا إلى منغوليا كاد يختفي في عام 1920، أما الآن فيعد نحو مليوني فرد، وهذا ما يسمح باصطياد 300000 فرد سنوياً والحصول على 600 طن من اللحوم ذات المواصفات الجيدة.

علاوة على حماية وإنقاذ الأنواع المهددة، هناك أنظمة بيئية خاصة مهمة تخضع أيضاً لقوانين خاصة، تتمثل هذه الأنظمة بالمتنزهات الوطنية أو المحميات الطبيعية مما يسمح بوضع حد لتدهورها. وعلى هذا النحو يمكن المحافظة على شواهد ذات قيمة علمية نفيسة جداً للأجيال القادمة. وتتطلب المحافظة على الأنظمة البيئية إجراء دراسات بيئية دقيقة. حيث يجب التفكير ملياً في كل تدخل وبناتججه المرتقبة. ففي المتنزه الوطني السويسري تكاثرت أعداد أفراد الأيل Cerf بشكل كبير جداً، نظراً لغياب المفترسين الطبيعيين الذين كانوا يحدوا من انتشار جماعاته كالدب والوشق Lynx والذين تم القضاء عليهما، وهذا ما دعى إلى الخوف من تدهور الغطاء النباتي بسبب الرعي الجائر لهذا الأيل. لذلك كان من الضروري السماح بصيد 250 فرداً في العام. يبين هذا المثال بشكل جلي صعوبة المحافظة على المحمية وصيانتها.

ب- إنشاء المتنزهات الوطنية والمحميات الطبيعية:

لقد تزد القلق الخاص بحماية بعض المناطق الطبيعية والتي مازالت حتى الآن سليمة بإنشاء متنزهات وطنية ومحميات طبيعية في كثير من البلدان. فإذا لم يكن بمقدورنا المحافظة على كل الأوساط البيئية من عبث العابثين، فعلى الأقل،

يجب علينا المحافظة على شواهد من هذه الطبيعة نحميها ونحفظها لنا ولأجيالنا القادمة. ومن هنا جاءت فكرة إنشاء المحميات الطبيعية والمنتزهات الوطنية. ويختلف هذان النظامان عن بعضهما من حيث صرامة الحماية لكل منهما. فالمحمية الطبيعية المتكاملة عبارة عن منطقة مخصصة لحماية الوسط بنباتاته وحيواناته بشكل صارم، حيث يمنع فيها كل أشكال النشاط الإنساني، ويقتصر الوصول إليها على بعض العلماء فقط. ومن هذه المحميات محمية كامارغ Camargue جنوب فرنسا، والمحمية الوطنية Garamba في الكونغو والتي تبلغ مساحتها 491000 هكتار وتشكل محمية متكاملة وغير مأهولة بالسكان.

أما المنتزه الوطني فهو عبارة عن منطقة ذات أهمية بيولوجية، وهي ليست محظورة على الجمهور، ولكن يمنع فيها كل أشكال النشاط الصناعي والتجاري وغيره الذي يمكن أن يسبب ضرراً للتطور الطبيعي للحيوانات والنباتات. ويعد منتزه بيلوستون Yellowstone في الولايات المتحدة الأمريكية أقدم منتزه وطني في العالم. وجاء بقانون حمايته الذي صدر عن الكونغرس بتاريخ 1 آذار 1872 "من أجل المحافظة على هذه المنطقة كمنتزه وطني وشعبي لفائدة وسعادة الشعب". ويشكل هذا المنتزه إقليماً واسعاً تحظى فيه الحيوانات والنباتات بالحماية والأمان من أي هجوم أو إصابة. ومنذ ذلك الحين بدأت المحميات والمنتزهات بالانتشار في العالم. حيث تغطي المحميات الطبيعية حالياً أكثر من 700000 كم²، أي ما يعادل 0.5% من مساحة اليابسة. ففي الولايات المتحدة تشكل المحميات 1% من المساحة الكلية، كما تغطي المحميات ربع مساحة نيوزيلندا. كما يوجد حالياً أكثر من 1200 منتزه وطني في أكثر من 100 دولة مختلفة.

ونشير إلى أن الاهتمام بالمحميات الطبيعية والمنتزهات الوطنية في العالم العربي مازال محدوداً. ومع ذلك هناك بعض الأقطار العربية التي أخذت زمام المبادرة في هذا المجال وقامت بتأسيس المحميات الطبيعية والمنتزهات الوطنية،

وذلك لحماية أنواع الأحياء البرية فيها من الانقراض. ومن بين أقدم المتنزهات في الوطن العربي نذكر متنزه جرجرة القومي في الجزائر الذي تأسس عام 1930، ومتنزه الشريعة القومي الذي تأسس في عام 1930 أيضاً، ويُسمح بزيارة هذين المتنزهين للتسلية والترفيه عن النفس فقط.

أما في سورية، فيعد موضوع إنشاء المحميات حديثاً نسبياً، فقد تم إنشاء محمية التليلة القريبة من تدمر، ومحمية سبخة الجبول، ومحمية أم الطيور الشاطئية والبحرية. وتجدر الإشارة إلى أن حماية الطبيعة لن تكون مجدية إلا إذا شارك المجتمع بكامله في حمايتها وكان حارساً حقيقياً عليها.

المراجع REFERENCES

- Dajoz, R., Précis d'écologie Dumod 2003.
- Dreux, Ph., Précis d'écologie, Puf, 1980.
- Pérès, J. M., Océanographie biologique et biologie marine, I: La vie benthique, Puf, 1961.
- Pérès, J. M., La pollution des eaux marines, ouvrage collectif, Gauthier villars 1976.
- Ramade, F., Elément d'écologie, écologie appliquée, McGraw-Hill, 1982.
- Sacchi, C. F. and testard, P.9, écologie animale. Organismes et milieu, Doin Editeurs. 1971.
- أبو جعفر ماهر، المتنزهات القومية والمحميات الطبيعية في الوطن العربي، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، تونس، 1984.
- العويدات محمد، التلوث وحماية البيئة، الأهالي للطباعة والنشر والتوزيع، دمشق، 1988.
- النعمة محمد، قباقيب محمد ماهر، علم البيئة الحيوانية، جامعة دمشق، 2013.
- النعمة محمد، قباقيب محمد ماهر، أساسيات علم البيئة الحيوانية، جامعة دمشق، 2009.
- حموي عادل، النعمة محمد، علم البيئة الحيوانية، جامعة دمشق، 1981.
- حاتوغ - بوران علياء، أبو دية محمد حمدان، علم البيئة، دار الشروق للنشر والتوزيع عمان، 1994.



المصطلحات

-A-

Abyssale	سحيق
Acclimatation	تأقلم
Amphineure	ثنائي الأعصاب
Anostracées	عديمات الدرقة
Anthozoaires	زهريات
Aphotique	لاضوئي
Aphyllé	عديم الأوراق
Argile	صلصال
Arthropodes	مفصليات أرجل
Association	تشارك
Autoécologie	علم بيئة فردي

-B-

Balane	بلح بحر
Biocénose	وحدة أحيائية
Biomasse	كتلة أحيائية
Biosphère	محيط حيوي
Bourçons	طنانات

-C-

Calcification	تكلس
Capacité thermique	سعة حرارية
Calciphilie	الفة الكلس

Catabolite	مواد مستقلبة
Cephalopodes	راسيات أرجل
Cilliés	هديات
Circadien	يومي
Combrant	محرق
Crinoides	زنبقيات
Cyanophyceé	طحالب زرقاء

-D-

Décapodes	عشاريات أرجل
Déserticole	أليف صحراء
Dessalé	عديم الملح
Détritivore	قارت
Diapause	سكون
Dipncuste	ثنائي التنفس
Dulcicole	أليف الماء العذب

-E-

Ecologie	علم البيئة
Ecologie Ethologique	علم بيئة العادات
Ecophysiologie	فيزيولوجيا بيئية
Endocrine	داخلي الافراز
Endogé	مطمور
Endogène	داخلي المنشأ
Entomostracées	حشريات الدرقة
Ephémères	يوميات
Epilimnion	منطقة مائية سطحية

Essaime	تفرق
Estivation	جمود صيفي
Ethologie	علم السلوك
Euryaerobionte	واسع الهواء
Euryhaline	واسع الملوحة
Eurytherme	واسع الحرارة
Evapotranspiration	بخر نتحي
Exogène	خارجي المنشأ

-F-

-G-

Garrigue	براح
Glycolyse	تحلل السكر
Glycophilie	الفة الحلو

-H-

Halomorphose	تحول شكلي ملحي
Halophile	أليف ملح
Hibernation	سبات شتوي
Hirudinées	علقيات
Homeotherme	متجانس حرارة
Homeothermie	تجانس حراري
Homing	عودة للمنزل
Hyperhaline	شديد الملوحة
Hypolimnion	منطقة مائية عميقة

-I-

-J-

-K-

Kyste

كيس

-L-

Lumbricus

دودة الأرض

-M-

Malacostracées

ليزات الدرقة

Mégatherne

عالي الحرارة

Mésolimnion

منطقة مائية وسطى

Mésotherme

متوسط الحرارة

Microtherme

دقيق الحرارة

Monovalent

وحيد التكافؤ

Mousses

حزازيات

Myoglobine

خضاب عضلي

-N-

Nectons

سباحات

Nématodes

ديدان خيطية

Nychtemeral

ليلي -نهاري

-O-

Odonates

رعاشات

Oligochètes

قلايات أهلاب

Ophiures

أفعوانيات

Organogène

عضوي المنشأ

Osmorégulation

تنظيم حلولي

-P-

Packis

جليديات طافية

Paléozoïque	العصر القديم
Paramètre	ثابت
Pécilotherme	متغير الحرارة
Peuplement	مجمع
Photique	مضاء
Photoperiodisme	فترة ضوئية
Phototaxie	حركة ضوئية
Phototropisme	انتحاء ضوئي
Plécoptère	مطبات أجنحة
Polychètes	كثيرات أهلاب
Polyplacophores	متعددات الصفائح
Pool génique	مجمع مورثي
Population	جماعة
Primaire	العصر الأولي
Pulmonnés	الرئويات
-Q-	
Quiescence	النوم (الهدوء)
-R-	
Refléctivité	انعكاسية
Reproduction	تكاثر
Rhéophile	أليف تيار
Rhéophilic	ألفة التيار
Rythme	نواث، إيقاع
-S-	
Sauropsidés	شعلائيات

Scaphopodes	زورقيات القدم
Sciaphile	أليف ظل
Scolytide	قتع
Scotophile	أليف ظلام
Scototropisme	انجذاب نحو الظلمة
Serpentine	صخور خضراء
Sidéral	كوكبي
Silification	تسليك
Siphone	ممص
Smogs	ضبخان
Soie	هلب
Sphaigne	طحلب المنامع
Sténoaerobionte	ضيق الهواء
Sténohaline	ضيق الملوحة
Sténotherme	ضيق الحرارة
Stimuli	محفز
Substrat	ركيزة
Sulfobactérie	بكتريا كبريتية
Sursalé	فائق الملوحة
Synécologie	علم بيئة جماعي

-T-

Taux d'extinction	معدل الانطفاء
Température létale	حرارة مميتة
Thalassophilie	آلفة البحر
Thermocline	تطبيق حراري

Thermogenèse

إنتاج حراري

Trace

أثر

Tradigrades

عناكب

Tricoptères

شعريات أجلحة

-V-

Virginipare

عذري

Virulence

فوعة

-X-

Xénopus

ضفدع عديم الذيل

Xéromorphose

تحول شكلي جفافي



اللجنة العلمية:

أ. د. محمد بكر

أ. د. أميرة أومري

أ.م. د. أحمد داود

المدقق اللغوي:

أ.د. زاهر الشماع

حقوق الطبع والترجمة والنشر محفوظة لمديرية الكتب





