المحاضرة الثالثة

أساسيات النظام البيئي

Principles of Ecosystem

د. نضال حسن

النظام البيئي

Ecosystem

هو أي مساحة من الطبيعة بما تحويه من كائنات حية ومواد غير حية، تكون الكائنات الحية والمواد غير الحية في أي نظام بيئي في تآثر (تأثير وتأثّر) بعضها مع بعض، وجميع التفاعلات المتبادلة بين مكونات النظام البيئي مبنية على تبادل المواد والطاقة فيما بينها، ومن أمثلة الأنظمة البيئية الطبيعية نذكر: الغابة، والبحر، والنهر، والبحيرة وغيرها.

لذا فالنظام البيئي بما يشمل من جماعات ومجتمعات وموائل بيئية مختلفة، يعني بصورة عامة التفاعل الديناميكي لجميع أجزاء البيئة مع التركيز بصورة خاصة على تبادل المواد والطاقة بين الأجزاء الحية وغير الحية.

يمثل الموئل (الموطن) البيئي Habitat وحدة النظام البيئي؛ إذ يمثل الملجأ أو المسكن للكائن الحي ليشمل جميع معالم البيئة الفيزيائية والكيميائية والحيوية.

مكونات النظام البيئي

Components of the ecosystem

يتكون النظام البيئي من:

أولاً: مكونات (عوامل) غير حية Nonliving (Abiotic) components: وتتمثل بـ:

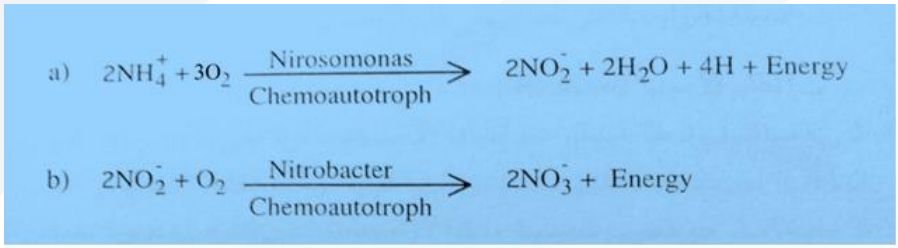
1. **عوامل المناخ:**
   - درجة الحرارة.
   - الرطوبة النسبية، وكمية الأمطار.
   - الضوء المرئي (ألوان الطيف الضوئي).
   - عوامل مناخية ثانوية: الرياح، والضغط الجوي.
2. **عوامل التربة:**
   - الخواص الفيزيائية كالانحدار، والعمق، وحجم الحبيبات.
   - الخواص الكيميائية كالمحتوى من الماء، والشوارد، والغازات، والمواد العضوية.
3. **عوامل الماء:**
   - الخواص الفيزيائية كدرجة الحرارة، واللزوجة والكثافة، والتيارات والحركات المائية.
   - الخواص الكيميائية كالمحتوى من الغازات المذابة (أهمها الأوكسجين وثاني أوكسيد الكربون)، والشوارد والأملاح المذابة، ودرجة الحموضة pH.
4. **عوامل فيزيائية:**
   - الجاذبية.
   - الإشعاع.

ثانياً: مكونات حية Living (Biotic) components: وتشمل جميع الكائنات الحية الموجودة ضمن النظام البيئي المعني بالدراسة من نباتات وحيوانات وكائنات دقيقة، وتقسم إلى:

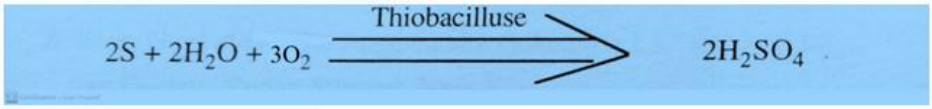
1. **الكائنات المنتجة Producers**

تحتاج هذه الكائنات إلى الماء وثاني أوكسيد الكربون والأملاح المعدنية ومصدر للطاقة لكي تبقى حية، وتختلف هذه الكائنات عن الكائنات الأخرى بأنها تقوم بتحويل المركبات غير العضوية ذات الطاقة المنخفضة إلى مركبات عضوية ذات طاقة مرتفعة (السكريات) كالنباتات الخضراء بما في ذلك الطحالب الخضراء (وحيدات ومتعددات الخلايا) التي تصنع غذاءَها بنفسها (الكائنات ذاتية التغذية Autotrophs) بوساطة عملية التركيب (التمثيل الضوئي) Photosynthesis.

بعض أنواع الجراثيم تعد أيضاً كائنات منتجة (ذاتية التغذية) لأنها تقوم بعملية التركيب الضوئي كالجراثيم الزرقاء Cyanobacteria، وجراثيم أخرى تقوم بالتركيب الكيميائي Chemosynthesis؛ حيث تستخدم مركبات كيميائية معينة لتصنع الطاقة دون الحاجة للضوء، فمثلاً تقوم بعض أنواع الجراثيم المثبتة للنتروجين التي تعيش في التربة بأكسدة شوارد الأمونيوم NH_4^+ إلى شوارد النتريت Nitrite (NO_2^-) والتي بدورها تتأكسد إلى شوارد النترات Nitrate (NO_3^-) يمتصها النبات، وتسمى هذه العملية بالنترجة أو النترنة (تكوين النترات) Nitrification كما تبيّنها المعادلتين الآتيتين:



وهناك أيضاً جراثيم الكبريت التي تؤكسد الكبريت أو أية مركبات كبريتية للحصول على الطاقة كما يظهر بالمعادلة الآتية:



2. **الكائنات المستهلكة Consumers**

وهي التي تستعمل المواد العضوية المنتجة من قبل الكائنات ذاتية التغذية سواء بصورة مباشرة أو غير مباشرة وبذلك تعد من الكائنات غير ذاتية التغذية Heterotrophs، وتشمل: الحيوانات العاشبة Herbivores (المستهلكات الأولية) التي تتغذى على النباتات الخضراء، أو الكائنات المائية التي تتغذى على العوالق النباتية Phytoplanktons (التي تقوم بعملية التركيب الضوئي)، والحيوانات اللاحمة Carnivores التي تقتات على الحيوانات العاشبة أو غيرها من الحيوانات (المستهلكات الثانوية أو الثالثة أو الرابعة ...)، والفطريات، وبعض الطلائعيات.

أما الكائنات الحية التي تتغذى على كل من النباتات والحيوانات معاً تسمى الكائنات القارتة Omnivores وهي بذلك يمكنها أن تكون مستهلكات أولية وثانوية وثالثة في نفس الوقت كالإنسان.

الطفيليات تنتمي أيضاً إلى المستهلكات وتعد كائنات متخصصة غير ذاتية التغذية تتطفل على كائن آخر يسمى العائل أو المضيف Host للحصول على غذائها دون أن يؤدي ذلك مباشرة إلى موته. هناك طفيليات النباتات التي تتخذ مستوى المستهلكات الأولية، وطفيليات الحيوانات التي تتخذ مستوى المستهلكات الثانوية. والطفيليات قد تكون خارجية تعيش على جسم العائل من الخارج وتتغذى بامتصاص الدم من جسمه، مثل القمل والبق والبعوض والبراغيث والقراد، أو قد تكون داخلية تعيش داخل جسم العائل لتشاركه غذاءه المهضوم، أو تتغذى على محتويات أنسجته وخلاياه مثل الدودة الكبدية ودودة الإسكارس والدودة الشريطية.

أما الحيوانات الكنّاسة أو آكلة البقايا (القمامة) Scavengers مثل الضباع، وبعض أنواع النسور فهي تتخذ مستوى آكلات اللحوم لكنها تتغذى على الحيوانات الميتة وبالتالي تلعب دوراً في تفكيك الجثث إلى قطع صغيرة.

3. **الكائنات المفكّكة (المحللة) Decomposers**

هي الكائنات التي تقوم بتفكيك جثث الكائنات الحية وبقاياها للحصول على الطاقة، وتحولها إلى مواد وعناصر بسيطة تعاد إلى البيئة من جديد، كالفطريات والجراثيم. تؤدي المفككات دوراً جوهرياً في الدورات الطبيعية للعناصر (إعادة التدوير) وتخليص النظم البيئية من المخلفات الحيوية القابلة للتفكك والتحلل.

تصنّف الأحياء الدقيقة المفككة حسب حاجتها للأوكسجين إلى:

- **الأحياء الدقيقة الهوائية Aerobes:** تحتاج إلى تركيز كافي من الأوكسجين للاستمرار في حياتها ونشاطها.
- **الأحياء الدقيقة اللاهوائية Anaerobes:** تحتاج لاستمرار حياتها ونشاطها وسطاً لا يتوفر فيه الأوكسجين، وفي حالة وجوده يكون ساماً أو قاتلاً لها.
- **الأحياء الدقيقة الاختيارية Facultative:** وهي تلك التي تستطيع أن تكيّف نفسها حسب الوسط الذي تعيش فيه، فإذا توفر الأوكسجين كانت هوائية وإذا لم يتوفر أصبحت لا هوائية.

يشارك في عملية التفكك العديد من الكائنات الحية الأخرى إلى جانب الفطريات والجراثيم؛ حيث يبدأ التفكك عادة بالحيوانات الكبيرة (الحيوانات الكنّاسة كما ذكرنا سابقاً) التي تقطع الجثث إلى قطع أصغر، لتأتي بعد ذلك حيوانات لافقارية كالحشرات والديدان التي تقوم بتقطيع وتصغير البقايا العضوية، مما يؤدي إلى زيادة المساحة المعرضة للتفكك والتحلل من قبل الفطريات والجراثيم.

تدفق الطاقة في النظام البيئي الطبيعي

The Flow of Energy in the Ecosystem

إن المصدر الأساسي للطاقة لجميع الكائنات الحية هو الشمس التي ترسل إشعاعاً مكوناً من أمواج كهرومغناطيسية تقاس بالنانومتر، وبالتالي يتكون الإشعاع الشمسي من ثلاث مجموعات رئيسة وفقاً لأطوال الموجات وهي:

- **الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Radiation:** تتراوح أطوال موجاتها بين 10- 400 نانومتر، وتشكل حوالي 6 - 7% من الأشعة الشمسية، وتعد خطرة على صحة الانسان.

- **الأشعة الضوئية أو المرئية Visible Radiation:** تتراوح أطوال موجاتها بين 400- 740 نانومتر، وتشكل حوالي42% من الأشعة الشمسية.
- **الأشعة تحت الحمراء Infrared Radiation:** تتراوح أطوال موجاتها بين 740 نانومتر وحتى مليمتر واحد، وتشكل حوالي 51% من الأشعة الشمسية، ويستخدم الجزء الأكبر منها في تسخين الغلاف الجوي، وسطح الأرض، وتحريك الرياح، وتبخير المياه.

تسير الطاقة في النظام البيئي الطبيعي في اتجاه واحد أي من الطاقة الشمسية إلى المنتجات ثم إلى المستهلكات وأخيراً إلى الكائنات الحية المحللة. وفي كل خطوة يفقد قسم من هذه الطاقة على شكل حرارة. ويفسّر القانونان الأول والثاني في الترموديناميك (الديناميكية الحرارية) هذا الفقدان الحراري.

وحسب القانون الأول فإنه في أي عملية فيزيائية أو كيميائية فإن الطاقة لا تفنى ولا تتجدد وإنما تتحول من شكل إلى آخر، ومن الأمثلة على ذلك الطاقة الشمسية التي تتحول بواسطة عملية التركيب الضوئي في النباتات الخضراء إلى طاقة كيميائية تختزن داخل المادة السكرية والتي تستهلك النباتات الخضراء قسماً من هذه الطاقة الكيميائية أثناء عملية التنفس في الليل.

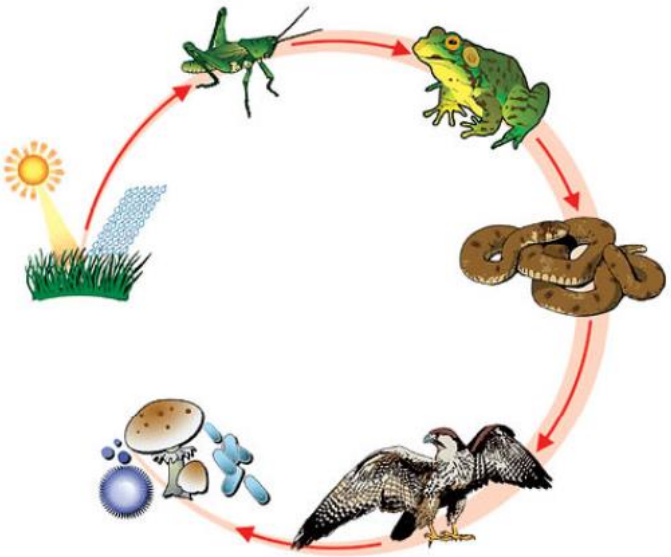
أما القانون الثاني فيفسّر تسّرب وتبعثر الطاقة على شكل حرارة خلال عمليات تحويل الطاقة من شكل إلى آخر؛ إذ أنه خلال عملية تحويل الطاقة من شكل إلى آخر لا بدّ من أن يهدر قسم من الطاقة على شكل طاقة حرارية إلى الوسط المحيط بحيث لا يستفاد منها. وتعتمد كمية الطاقة الحرارية المهدورة على كفاءة الاستفادة من الطاقة، فكلما كانت كفاءة الاستفادة من الطاقة أو تحول الطاقة من شكل إلى آخر عالية، كلما كانت كمية الطاقة الحرارية غير المستفاد منها قليلة، ولكن لا يمكن بأية حال من الأحوال جعل فقدان الطاقة على شكل حرارة أثناء عملية التحويل معدوماً.

- **السلسلة الغذائية** Food Chain

إن أبسط صورة لسريان الطاقة في النظام البيئي الطبيعي هي السلاسل الغذائية، وتعني السلسلة الغذائية تحويل الطاقة الكيميائية أو طاقة الطعام المستغلة من مصدر ما عن طريق سلسلة من الأنواع المختلفة بحيث يأكل بها كل نوع من الكائنات الحية النوع الذي يسبقه.

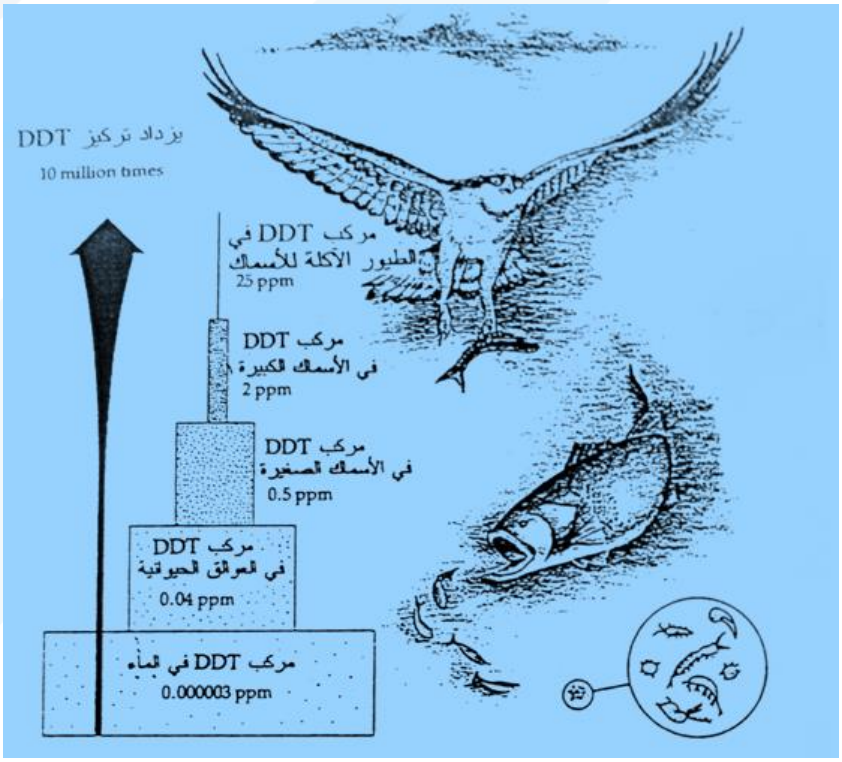
يلاحظ أن السلسلة الغذائية يجب أن تبدأ بالكائنات المنتجة التي تمثل المستوى الغذائي الأول أو المستوى الانتاجي First Trophic Level، ثم تأتي المستهلكات الأولية التي تتغذى على المنتجات لتحتل المستوى الغذائي الثاني Second Trophic Level، وتشكل المستهلكات الثانوية التي تغذى على آكلات الأعشاب المستوى الغذائي الثالث Third Trophic Level، بينما تمثل المستهلكات التي تتغذى على آكلات اللحوم المستوى الغذائي الرابع Fourth Trophic Level، وهكذا لتنتهي السلسلة بالكائنات المفككة الشكل (1)، وتسمى كمية الطاقة المختزنة في المادة العضوية عند كل مستوى غذائي بالكتلة الحية Biomass.

لقد تم توضيح السلاسل الغذائية الافتراسية التي تأكل فيها الكائنات الحية الكبيرة الكائنات الحية الصغيرة، ولكن هناك أيضاً سلاسل غذائية طفيلية تتغذى فيها الكائنات الحية الصغيرة على كائنات حية أكبر منها، كما توجد سلاسل غذائية رمية تتغذى فيها الكائنات على المواد العضوية الميتة وتحللها Detritus Feeders.



الشكل (1): سلسلة غذائية.

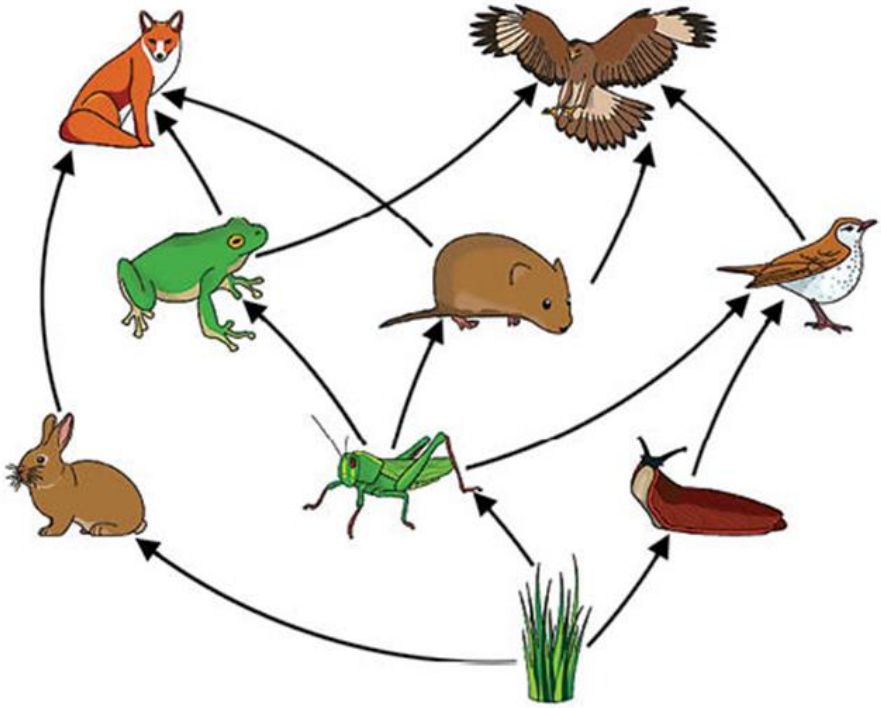
ومن خلال السلاسل الغذائية يمكن أن نفهم كيفية تراكم وانتقال الملوثات إلى جسم الإنسان؛: حيث يتضاعف تركيز الملوثات الكيميائية (كمبيد الـ D.D.T المستعمل للقضاء على البعوض في البحيرات والمستنقعات) عشرات الآلاف من المرات خلال مرورها عبر مستويات السلاسل الغذائية، أي من المنتجات حتى الإنسان نتيجة قدرة الخلايا على تجميعها وتركيزها في آن واحد فيما يعرف بالتضخيم الحيوي Biological Mangnification، الشكل (2).



الشكل (2): زيادة تركيز مبيد الـ D.D.T عبر سلسلة غذائية مائية.

- الشبكة الغذائية Food Web

تكون السلاسل الغذائية في الطبيعة متداخلة ومعقدة نظراً لأن معظم الكائنات الحية المستهلكة لا تتخصص في نوع واحد من الغذاء وإنما تستطيع الاستعاضة عن افتراس حيوان من نوع معين بافتراس حيوانات من أنواع أخرى مما يشكل تداخلاً بين السلاسل الغذائية يترتب عليه تكوين شبكات غذائية معقدة، وتعرّف الشبكة الغذائية بالمجموع الكلي للعلاقات الغذائية في النظام البيئي الطبيعي، وتوجد أبسط الشبكات الغذائية في المناطق القطبية نظراً لقلة الأنواع، وأعقدها في المناطق الاستوائية لكثرة عدد الأنواع، ويبين الشكل (3) جزءاً من شبكة غذائية برية.

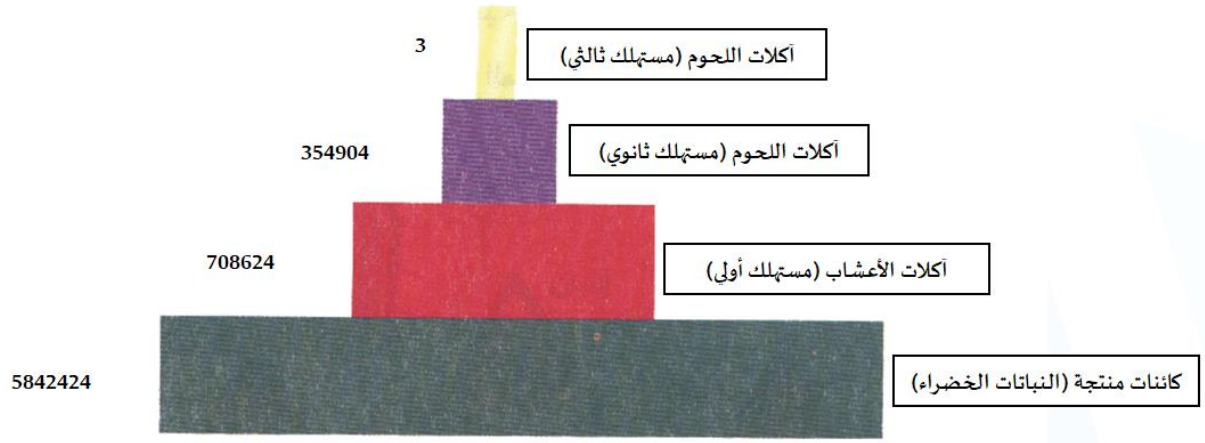


الشكل (3): شبكة غذائية برية.

- الأهرام البيئية Ecological Pyramids

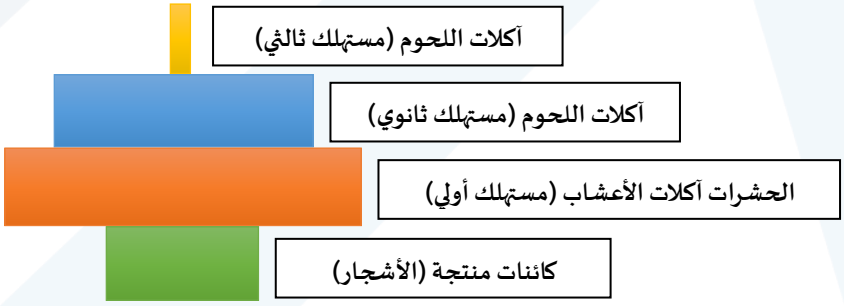
يشكل التناقص في الأعداد، والكتلة الحية، والطاقة في المستويات الغذائية ما يعرف بالهرم البيئي ، والذي يوضح عدد الكائنات (هرم الأعداد)، والكتلة أو المادة الحية (هرم الكتلة الحيوية)، وكمية الطاقة (هرم الطاقة) في كل مستوى غذائي في النظام البيئي الطبيعي.

عند دراسة السلاسل الغذائية المبتدئة بالمنتجات نلاحظ تدرجاً في أعداد الكائنات الحية فيها، حيث نجد أعداداً كبيرة جداً من المنتجات وانخفاضاً متدرجاً في عدد المستهلكات التي يتغذى كل منها على الآخر، وازدياد حجم الكائنات الحية كلما ارتفع مركزها في السلسلة الغذائية (هناك تناسباً عكسيّاً بين عدد الأحياء، وحجم الفرد الواحد، فكلّما زاد الحجم؛ قلّ العدد). وتأخذ أعداد أفراد السلسلة الغذائية في النهاية شكل هرم تمثل قاعدته المنتجات أو المستوى الغذائي الأول وقمته نهاية السلسلة الغذائية ويسمى هرم الأعداد، الشكل (4).



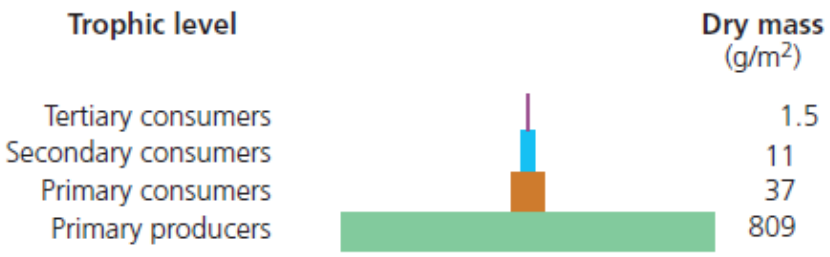
الشكل (4): هرم الأعداد في إحدى المروج الخضراء في الولايات المتحدة الامريكية.

يمكن لهرم الأعداد أن ينقلب وخاصة عندما تكون أعداد الكائنات الحية في المستويات الدنيا من الهرم قليلة بالنسبة للأعداد في المستويات العليا، وعلى سبيل المثال، تعيش أعداد هائلة من اللافقاريات كالحشرات على شجرة واحدة وفي شقوق قلفها وتتغذى عليها، لذا يصبح عدد آكلات الاعشاب أكبر من عدد المنتجات، الشكل (5).



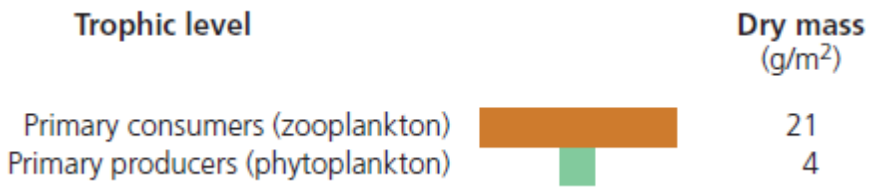
الشكل (5): هرم الأعداد المقلوب في إحدى الغابات المتساقطة الأوراق في انكلترا.

يمثل الشكل (6) هرم الكتلة الحيوية ويعبر عن كمية المادة الحية ضمن كل مستوى مقدرة بالغرام من الكتلة الجافة على المتر المربع؛ حيث يلاحظ تدرج لهذه الكتلة من المنتجات وحتى المستهلكات الثالثية.



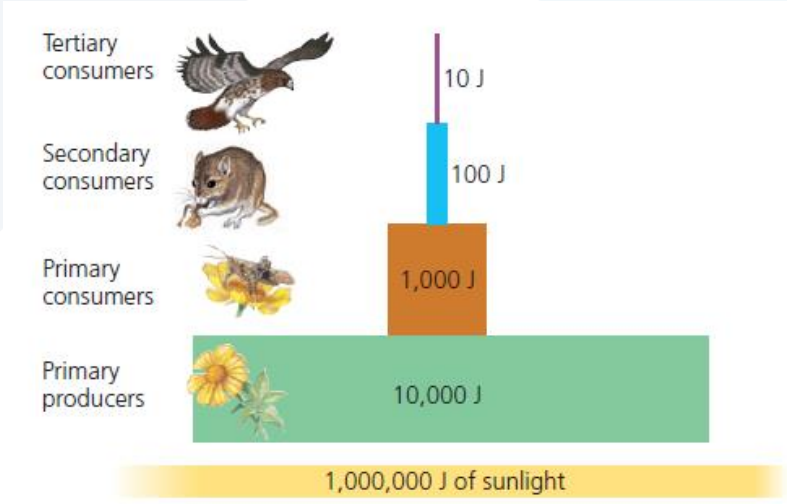
الشكل (6): هرم الكتلة الحيوية في أحد المستنقعات Bog في فلوريدا في الولايات المتحدة الأمريكية.

يمكن لهذا الهرم أن ينقلب أيضاً، على سبيل المثال، تبلغ الكتلة الحيوية للعوالق النباتية (المنتجات) 4 غ/م^2 في بعض الأنظمة المائية كقناة انكترا English Channel، بينما تكون الكتلة الحيوية للعوالق الحيوانية 21 غ/م^2 ، ويعود هذا إلى التكاثر السريع لآكلات الاعشاب المتمثلة هنا بالعوالق الحيوانية، الشكل (7).



الشكل (7): هرم الكتلة الحيوية المقلوب ضمن قناة مائية في انكلترا.

ويمثل الشكل (8) هرم الطاقة المعبّر عن انسياب الطاقة في السلاسل والشبكات الغذائية، هذا النموذج لا يمكن قلبه، ويعد من النماذج المثالية ويمكن أن يطبق في جميع البيئات المائية والبرية، وسبب نجاح هذا النموذج كونه بسير على مبدأ القانون الثاني للترموديناميك؛ إذ نلاحظ أن جزءاً من الطاقة يضيع أو يتبعثر كلما تحولت من شكل إلى آخر، وأن النباتات الخضراء لا تستطيع تثبيت سوى 1% من الطاقة الشمسية وتحويلها إلى طاقة كيميائية.



الشكل (8): هرم الطاقة.

يوصف النظام البيئي المتوازن بأنه النظام الذي يتميز بقدرة بيئته المادية وموارده الحيوية وشبكته الغذائية على دعم مجتمعات الأحياء، وتحمل التغيير الكارثي و/أو القدرة على التعافي منه، وضبط التوازن الوظيفي بين المُتاح من موارده واحتياجات أنواعه منها، وتنوع تعاقب مراحله وتركيب مجتمعاته بما يوفر موائل لكثير من الأنواع وكل العمليات الأساسية فيه. ويُعبر عن النظام البيئي السليم بمفهوم النظام المتكامل، ويقصد به سلامة مكوناته وبنائه ووظائفه وديناميكية أنواعه.

تعد دورتا المادة والطاقة أساس توازن النظام البيئي؛ فالسلاسل الغذائية أساسية تضمن استمرارية الحياة، ووجودها مرتبط بالتفاعلات المتوازنة بين الأحياء وبينها وبين العوامل البيئية؛ ويرتبط عمل النظام البيئي بتنوع الأنواع وعلاقاتها المختلفة، ويزداد ثبات النظام البيئي واستقراره بزيادة تعقيد العلاقات بين مكوناته؛ فالحيوانات المفترسة التي تعتمد في غذائها على نوع واحد من الفرائس غالباً ما تكون عرضة للخطر إذا نقصت أعداد الفريسة، أما إذا كانت تعتمد

في غذائها على عدد من الأنواع؛ فإنها ستتحول إلى التغذي بها عند انخفاض أعداد الفريسة، أي يكون أمامها كثير من فرص للاختيار، وهذا يحفظ للنظام البيئي توازنه واستقراره، وبهذا فإن أحد العوامل الرئيسة في سلامة النظام البيئي واستقراره هو تعقيد العلاقات بين مكوناته وتشابكها، وأي تغير يؤدي إلى خفض أعداد الكائنات الحية في النظام البيئي أو انقراضها؛ سيقود إلى انخفاض تعقيد النظم البيئية والإخلال بتوازنها، ويجعلها أكثر عرضة للتدهور.

انتهت المحاضرة .... بالتوفيق للجميع