مفهوم الطاقة في الانظمة البيئية Concept of Energy in Ecosystems

تعرف **الطاقة بانها المقدرة على انجاز شغل**، ويوصف سلوك الطاقة بالقانونين الآتيين: **القانون الأول** للقوة الحرارية الحركية The first law of thermodynamics يبين بان الطاقة يمكن ان تتحول من شكل الى آخر ولكنها لا تستحدث ولا تفنى، فالضوء مثلاً شكل من اشكال الطاقة لانه يمكن ان يتحول الى شغل، وحرارة أو طاقة كامنة في الغذاء معتمداً على الوضعية غير أن اياً منها لا يفنى. **والقانون الثاني** للقوة الحرارية الحركية The second law of thermodynamics يمكن ان يصاغ بعدة طرق منها الآتي : لا يمكن لاية عملية تتضمن تحويلاً في الطاقة ان تحصل تلقائيا مالم يكن هناك انحلال degradation للطاقة من الشكل المركز الى الشكل المتفرق. فالحرارة في موضع حار، على سبيل المثال ، سوف تميل تلقائياً الى الانتشار في الوسط الأبرد وهكذا.

وبمعنى أشمل لتفسير هذه القوانين نستنتج بأن الطاقة يجب ان يكون لها مصدر مجهز لهذه الطاقة ، وعملية انتقالها تتطلب توفر وسط ناقل لهذه الطاقة ، ماء ، هواء ، تربة ، أو أجسام الكائنات الحية ، أو أي وسط بيئي معين ، وبصورة أدق فإننا نتكلم عن العلاقة بين الطاقة مهما تنوع مصدرها وبين الأنظمة البيئية المختلفة في الغلاف الحيوي biosphere التي تحتوي على هذه الأوساط الناقلة للطاقة وتحولاتها ، أي عملية انسياب الطاقة Energy flow ضمن مكونات النظام البيئي . ومن خلال الدراسات التي قام بها الباحثون في هذا المجال وجدوا بأن عملية التدفق هذه لا تكون فعاله 100%% ، بسبب أن بعض الطاقة يتفرق دائماً الى طاقة حرارية عديمة الفائدة فلا يكون هناك تحويل تلقائي للطاقة (الضوء (مثلاً) الى طاقة كامنة (بروتوبلازم مثلاً) بنسبة فعالة 100%، فالكائنات والانظمة البيئية والبيئة الحياتية بكاملها تملك خصائص القوة الحرارية الاساسية في قدرتها على احداث حالة عالية من نظام داخلي وادامتها او حالة واطئة من الانتروبيا entropy (مقياس للاضطراب او لكمية الطاقة غير المستفاد منها في نظام ما) .

يتضح مما ذكر ان المفاهيم الاساسية الفيزيائية اعلاه ذات ارتباط بعلم البيئة ، فالمظاهر المتنوعة للحياة تكون جميعها مصحوبة بتغيرات في الطاقة على الرغم من عدم استحداث او افناء للطاقة (**القانون الأول للقوة الحرارية الحركية**) . ان الطاقة التي تدخل سطح الأرض كضوء توازن بالطاقة التي تترك سطح الارض بهيئة اشعاع حراري غير مرئي. وان جوهر الحياة هو عبارة عن تعاقب مثل هذه التغيرات كالنمو والتكاثر الذاتي وبناء علاقات معقدة من المادة، وبدون تحولات في الطاقة ترافق مثل هذه التغيرات جميعاً لا يمكن ان توجد حياة او انظمة بيئية، لذا فالعلاقات بين النباتات المنتجة والحيوانات المستهلكة، وبين المفترس والفريسة ، بغض النظر عن اعداد ونوعيات الكائنات في بيئة معينة ، فانها جميعاً محدودة ومحكومة بالقوانين الاساسية نفسها التي تحكم الانظمة غير الحية كالمحركات الكهربائية والمركبات.

سنة بعد سنة والضوء والاشعاعات المصاحبة له تترك الشمس وتمر في الفضاء، فبعض هذا الاشعاع يسقط على الأرض ماراً خلال الغشاء الجوي ، فيصطدم بالغابات والاراضي العشبية والبحيرات والمحيطات والحقول والصحاري والبيوت الزجاجية والصفائح الجليدية ومئات من نماذج أخرى من انظمة بيئية تغطي الأرض وتؤلف البيئة الحياتية . وعندما يمتص الضوء من قبل موضع ما ، يصبح ادفأ نتيجة لذلك وتكون الطاقة الضوئية قد تحولت الى نوع آخر من الطاقة تعرف بالطاقة الحرارية . وتتألف الطاقة الحرارية من ذبذبات وحركات الجزيئات التي تكون الموضع وتنتج عن امتصاص اشعة الشمس من الارض والماء مناطق حارة واخرى باردة ، وهذا يؤدي اخيرا إلى تدفق الهواء الذي يحرك الطواحين الهوائية وينجز شغل مثل ضخ الماء بعكس قوة الجاذبية، وهكذا في هذه الحالة تكون الطاقة الضوئية قد تحولت الى طاقة حرارية ارضية ثم الى طاقة حركية kinetic energy من الهواء المتحرك والتي انجزت عملاً في رفع الماء. فالطاقة لم تفن برفع الماء ولكنها اصبحت طاقة كامنة، وقد تتحول الى نموذج آخر من الطاقة.

والقانون الثاني للقوة الحركية يهتم بتحويل الطاقة باتجاه تكون فيه اقل تجهيزا واكثر تفرقا ، وبقدر ما يخص الأمر النظام الشمسي، فان الحالة المتفرقة بالنسبة الى الطاقة ، هي حالة تكون فيها الطاقة بشكل طاقة حرارية موزعة بالتساوي.

والارض ما تزال في الوقت الحاضر بعيدة ان تكون في حالة من الثبوت بالنسبة الى الطاقة وذلك بسبب وجود طاقة كامنة هائلة وفروق حرارية تبقى ثابتة بالتدفق المستمر للطاقة الضوئية من الشمس. ومع ذلك فان عملية التوجه نحو الحالة الثابتة هي المسؤولة عن التعاقب في تبدلات الطاقة التي تؤلف الظواهر الطبيعية على الأرض. وهكذا عندما تصطدم الطاقة الشمسية الأرض فانها تميل الى ان تتحول الى طاقة حرارية . وان جزءاً صغيراً جداً من الطاقة الضوئية المختص من قبل النباتات الخضراء يتحول الى طاقة كامنة او طاقة غذائية ويذهب معظمها الى طاقة حرارية تخرج من النبات اي من النظام البيئي ثم من البيئة الحياتية ، وان بقية العالم الحياتي يحصل على طاقته الكيمياوية الكامنة من مواد عضوية منتجة بعملية التركيب الضوئي للنبات او التركيب الكيمياوي للكائنات المجهرية . فالحيوان مثلاً ، ياخذ طاقة كيمياوية كامنة من الغذاء ويحول قسماً كبيراً منها الى حرارة لتمكن قسماً صغيراً من الطاقة لان يتثبت ثانية على هيئة طاقة كيمياوية كامنة في البروتوبلازم الجديد . وفي كل خطوة من تحويل الطاقة من كائن لاخر يتحولقسم كبير من الطاقة الى حرارة .

بيئة الطاقة The energy environment

تكون الكائنات عند سطح الأرض أو بالقرب منه مغمورة في بيئة اشعاعية مؤلفة من الاشعاع الشمسي ومن اشعاع حراري طويل الموجة بتدفق من السطوح المجاورة وكلاهما يسهم في البيئة المناخية (درجة الحرارة تبخر الماء حركة الهواء والماء .. الخ) ، غير ان جزءا صغيرا فقط من الاشعاع الشمسي يمكن ان يتحول بالتركيب الضوئي ليجهز طاقة للمكونات الحياتية في النظام البيئي . يصل ضوء الشمس من خارج جو الارض الى البيئة الحياتية ، ولكنه يخفف اسياً عند مروره عبر الجو على الاغلب بنسبة 67% على سطح الارض عند الظهيرة في نهار صيف صاف. يخفف الاشعاع الشمسي الى ابعد من ذلك وان التوزيع الطبقي لطاقته يتغير كثيراً عندما يمر عبر غطاء الغيم والماء والخضرة . ان الاختلاف في تدفق مجموع الاشعاع ضمن الطبقات تكون مختلفة من نظام بيئي الى اخر، مثلما تختلف من فصل لاخر على سطح الارض يكون هائلاً، وان توزيع افراد الكائنات الحية يستجيب تبعاً لذلك.

ان الوحدة الاساسية للطاقة هي غرام - سعرة gcal او cal = كمية الحرارة الضرورية لرفع غرام واحد (ملليتراً) من الماء درجة مئوية واحدة بدرجة 15م° ، كيلو غرام - سعرة kcal او Cal = 1000غم - سعرة (كمية الحرارة الضرورية لرفع كغم واحد (لتراً) من الماء درجة مئوية واحدة بدرجة 15م°)، جول Joule (3) = 0.24 غم - سعرة = 10^7، واط Watt جول / ثانية = 14.3 غم سعرة / دقيقة = 103.7 قدرة حصانية / ساعة اضافة الى وحدات اخرى.

الاشعاع الذي يخترق الجو يخفف اسياً بوساطة الغازات الجوية والغبار ولكن بدرجات متفاوتة اعتماداً على التكرار وطول الموجة. ويكون **الاشعاع المرئي** هو الاقل تخفيفاً عندما يمر عبر غطاء من سحاب كثيف أو ماء ، والذي يعني ان التركيب الضوئي (الذي يكون مقصورا على المدى المرئي) يمكن ان يستمر في الايام الغائمة ولعمق ما في ماء صاف. تمتص الخضرة بشدة أطوال الموجات الزرقاء والحمراء المرئية ، واقل شدة الخضراء وتحت الحمراء القريبة بشكل ضعيف جداً، وتحت الحمراء البعيدة بشدة وهكذا تمتص النباتات الخضراء بكفاءة الضوء الازرق والاحمر الاكثر فائدة في عملية التركيب الضوئي .

والمكون الآخر لبيئة الطاقة **الاشعاع الحراري** يأتي من أي سطح او موضع يكون عند درجة حرارة فوق الصفر المطلق، وهذا يشمل ليس التربة والماء والخضرة فحسب، بل الغيوم التي تسهم بكمية مهمة من الطاقة الحرارية المشعة باتجاه النظام البيئي. وقد سبقت الاشارة الى تأثير البيت الزجاجي greenhouse effect بخصوص نظرية ثاني اوكسيد الكاربون في المناخ. أن جريان الاشعاع الطويل الموجة ، يكون بالطبع ساقطاًincident في جميع الاوقات ويأتي من جميع الاتجاهات ، في حين يكون المكون الشمسي توجيهياً ويوجد اثناء النهار فقط . وهكذا فالحيوان في العراء أو ورقة نبات اثناء يوم صيف يمكن ان تتعرض لمجموع ٢٤ ساعة من تدفق اشعاع حراري صاعداً ونازلاً بضع مرات بقدر الزاد الشمسي الموجه نازلاً ، فالاشعاع الحراري يمتص من قبل الكتلة الحياتية بدرجة أكبر من امتصاص الاشعاع الشمسي والاختلاف في اليومي ذو اهمية بيئية كبيرة ففي اماكن كالصحاري أو التندرا الالبية يكون التدفق النهاري اعظم مرات عديدة من التدفق الليلي . في حين يمكن ان يكون مجموع اشعاع البيئة ثابتاً عمليا خلال مدة 24 ساعة في الماء العميق أو في داخل غابة استوائية.

ومع أن مجموع تدفق الاشعاع يحدد ظروف البقاء، التي يجب ان تتكيف لها لكائنات فان الاشعاع الشمسي المباشر المتكامل الى طبقة ذاتية التغذية اي ان طاقة الشمس المتسلمة من قبل النباتات الخضراء على مدى الأيام والشهور والسنة ، هي التي تكون ذات اهمية كبيرة بمفهوم الانتاجية وتدوير المغذيات ضمن النظام البيئي .

ان ما يعرف **بالاشعاع الصافي** net radiation على سطح الارض ذو اهمية خاصة ، وهو الفرق بين كل تدفقات الاشعاع النازل ناقصاً جميع التدفقات الاشعاعية الصاعدة .ان هذه الحزمة الهائلة من الطاقة تتبدد في تبخير الماء وفي توليد الرياح الحارة وتمر في النهاية في الفضاء كحرارة بحيث تبقى الأرض ككل في موازنة تقريبية من الطاقة.

مفهوم الانتاجية Concept of Productivity

من المعروف ان الكائنات الحية على الكرة الأرضية تستمد طاقتها بصورة مباشرة أو غير مباشرة من الشمس التي تنبعث منها الطاقة بصورة مستمرة، ويتم استغلال هذه الطاقة الضوئية اساساً في عملية البناء الضوئي Photosynthesis بالنباتات الخضراء حيث تقوم صبغة الكلوروفيل بامتصاص الطاقة الضوئية الصادرة من الشمس وتحويلها إلى طاقة كيمياوية تساهم في عملية تثبيت CO_2 على هيئة مركب عضوي سكر الكلوكوز Glucose وهذا يمكن ان يتحول إلى مركبات عضوية أخرى . ويسمى هذا الانتاج بالانتاج الحيوي Biological productivity. يتميز الانتاج الحيوي عن الإنتاج الكيمياوي او الصناعي يكون الإنتاج الحيوي عبارة عن عملية مستمرة في حين ان الإنتاج الكيمياوي أو الصناعي ينتهي التفاعل بانتاج كمية معينة من المادة.

يقسم الإنتاج الحيوي إلى نوعين أساسيين هما:

1- **الانتاجية الاولية او الاساسية Basic or Primary productivity**

تعرف الانتاجية الاولية لنظام بيئي أو لمجتمع أو لأي جزء منه بانها المعدل الذي تحول فيه الطاقة الاشعاعية بفعالية البناء الضوئي والتركيب الكيمياوي للكائنات المنتجة (النباتات الخضراء بصورة رئيسية) على شكل مواد عضوية يمكن ان تستعمل كمواد غذائية.

2- Secondary productivityالإنتاجية الثانوية

يشار إلى إلى الإنتاجية الثانوية معدلات خزن الطاقة على المستويات الغذائية للمستهلك ، وفيها تتحول الطاقة الكيميائية إلى طاقة كيميائية أخرى(النمو) أو طاقة حرارية (التنفس) اي كطاقة متمثلة أو كفضلات.

ومن المهم التمييز بين الأنواع الاتية في عملية الانتاج كما يأتي:

- **الانتاجية الاجمالية الأولية** Gross primary productivity (GPP) وهي المعدل الكلي للتركيب الضوئي من ضمنه المادة العضوية المستعملة في التنفس اثناء مدة القياس. ويعرف هذا ايضا بالتركيب الضوئي الكلي Total photosynthesis او التمثيل الكلي Total assimilation.
- **الانتاجية الأولية الصافية** Net Primary productivity (NPP) وهي معدل خزن المادة العضوية في انسجة النبات زيادة على الاستهلاك التنفسي من قبل النباتات اثناء مدة القياس (ويعرف هذا ايضاً بالتركيب وفي . net assimilation أو التمثيل الصافي apparent photosynthesis الضوئي الظاهر التطبيقات العملية تضاف كمية التنفس عادة الى قياسات التركيب الضوئي الظاهر كتصحيح لغرض الحصول على تقديرات الانتاج الاجمالي.
- **الانتاجية الصافية للمجتمع** Net Community productivity (NCP)هي معدل خزن المادة العضوية غير المستعملة من قبل معتمدات التغذية اي انها صافي الانتاجية الأولية ناقصاً ما يستهلكه معتمدو التغذية) خلال المدة التي تحت الدراسة وهو عادة فصل نمو أو سنة .

طالما ان المستهلكين يستعملون مواد غذائية منتجة سابقا فقط مع خسارات تنفسية مناسبة، ويحولونها الى انسجة مختلفة عن طريق العملية الكلية للكائن، لذا يجب ان لا نقسم الانتاجية الثانوية الى كميات إجمالية وصافية . ان تدفق الطاقة الكلي على مستويات معتمدة التغذية والذي يكون مماثلاً للانتاجية الاجمالية الذاتية التغذية يجب ان يشار اليه بالمثل assimilation وليس بالانتاج Production .

وفيما يتعلق بالقانون الثاني للقوة الحرارية الحركية ، كما وضحناها سابقاً فان تدفق الطاقة يتناقص عند كل خطوة ، كما هو مدون عن طريق فقدان الحرارة الذي يحصل في كل تحول للطاقة من شكل لاخر.

العوامل المحددة للانتاجية The determining factors of productivity

هناك العديد من العوامل التي تؤثر على الانتاجية وهي:

1- قابلية النبات على تمثيل أو تثبيت CO_2 في عملية البناء الضوئي حسب نوع النبات، اما بطريقة كالفن وبنسن – Calvin (C3 Plants) Bensen Pathway او طريقة هاج وسلاك (C4 Plants) Hatch and Slack Pathway فان النباتات التي تمثل CO_2 بالطريقة الثانية تكون نسبة بنائها الضوئي اكثر كفاءة كما في النباتات.
2- درجة الحرارة.
3- نوع الضوء الساقط وشدته.
4- توفر الماء.
5- تركيز CO_2 و والعناصر الغذائية المختلفة.
6- هناك عوامل تخص النبات مثل صبغة الكلوروفيل والمساحة الكلية للورقة، وكثافة النباتات، ومستويات المجتمع النباتي.

قياس الانتاجية الاولية Measurement of primary productivity

بسبب أهميتها العظيمة ، يجب اعطاء نظرة مختصرة الى طرق قياس الانتاجية في الانظمة البيئية ، فان الطريقة المثالية لقياس الانتاجية هي قياس تدفق الطاقة خلال النظام ، غير أنها صعبة لحد الآن . وان معظم القياسات قد وضعت على كمية غير مباشرة ، مثل كمية المادة المنتجة أو كمية المادة الأولية المستعملة أو الكمية المنطلقة من الناتج الثانوي . و يجب التأكيد أنه لا توجد طريقتان من الطرائق المختلفة ان تقيس بالضبط الجانب نفسه للعملية المعقدة للعلاقة الايضية لذاتي - معتمدي التغذية . **وهناك طرق مختلفة لقياس الانتاجية وهي:**

1- **طريقة الحصاد The harvest method**
2- **قياس الاوكسجين Oxygen Measurement**
3- **قياس ثنائي اوكسيد الكاربون Carbon Dioxide Methods**
4- **طريقة الرقم الهايدروجيني The pH Method**
5- **اختفاء المواد الأولية Disappearance of Raw Materials**

6- تحديد الانتاجية بالنظائر المشعة Radioactive Materials
7- طريقة الكلوروفيل The Chlorophyll Method

السلاسل الغذائية والشبكات الغذائية والمستويات الغذائيةFood Webs and Trophic Levels and Chains

ان تحول الطاقة الغذائية من المصدر النباتي عن طريق سلسلة من الكائنات تكرر الاكل وتؤكل هي بالتالي، يشار اليه بالسلسلة الغذائية food Chain أو يمكن تعريفها بانها عملية انتقال الطاقة الغذائية ، المصنعة بعملية التثبيت العضوي في النبات إلى المستهلكات الأولية ومنها إلى الثانوية التالية وهكذا صعودا إلى المحللات بطريقة الالتهام المباشر أو الترمم بالسلاسل الغذائية ، او انه الوصف الخطي للعلاقات الغذائية بين الاحياء المختلفة.

السلسلة الغذائية Food chain في حقيقة الأمر هي مخطط توضيحي لسريان الطاقة الغذائية خلال مكونات النظام البيئي وان نسبة كبيرة 80 - 90٪ من الطاقة الكامنة تفقد على شكل حرارة عند كل تحولك، ولذلك يكون عند الخطوات أو الوصلات links في تسلسل ما محدد عادة باربعة أو خمسة، وكلما كان السلسلة الغذائية اقصر (أو كلما كان الكائن اقرب الى بداية السلسلة) كانت الطاقة الجاهزة أكبر. وقد يتباين التفضيل الغذائي كثيرا باختلاف المواقع والمواطن للكائن الحي وباختلاف وفصول السنة وعمر (دورة حياة) الكائن الحي فالفراشة مثلا تلتهم الاوراق الخضراء في طور اليرقة في حين تمتص الرحيق في دور البلوغ كما ان للهجرات والتغيرات الموسمية في توافر بعض الاغذية دوراً في تعقيد وتشعب السلسلة الغذائية.

تكون السلاسل الغذائية على نموذجين او نوعين اساسيين:

1- السلسلة الغذائية الرعوية grazing food Chain وتبدأ بقاعدة نباتية خضراء ثم الى كائنات تتغذى على النباتات الحية ثم الى للواحم.
2- السلسلة الغذائية الحطامية detritus food chain وتمر من المادة العضوية الميتة الى الكائنات المجهرية ثم الى الكائنات التي تتغذى على الحطاميات detritivores ومفترساتها .

والسلاسل الغذائية ليست تسلسلاً منفصلاً ولكنها ذات علاقات متداخلة مع بعضها البعض. وغالباً ما يقال عن هذا النموذج من التداخل **بالشبكة الغذائية food Web** . ويقال عن الكائنات التي تحصل على غذائها في المجتمعات الطبيعية المعقدة بنفس عدد الخطوات بأنها تعود الى المستوى الغذائي نفسه tropical level . لذا تحتل النباتات الخضراء (مستوى المنتج المستوى الغذائي الأول وتحتل العواشب المستوى الغذائي الثاني (مستوى المستهلك الأولي) ، وتحتل اللواحم التي تأكل العواشب المستوى الغذائي الثالث (مستوى المستهلك الثانوي) ، وتحتل اللواحم الثانوية المستوى الرابع (مستوى المستهلك الثالثي)، ويسمى هذا التركيب **بالمستوى الاغتذائي**

ويجب تأكيد أن هذا التصنيف الغذائي هو على اساس وظيفي وليس على اساس تصنيفي وقد يحتل سكان نوع معين واحداً او اكثر من المستويات الغذائية.

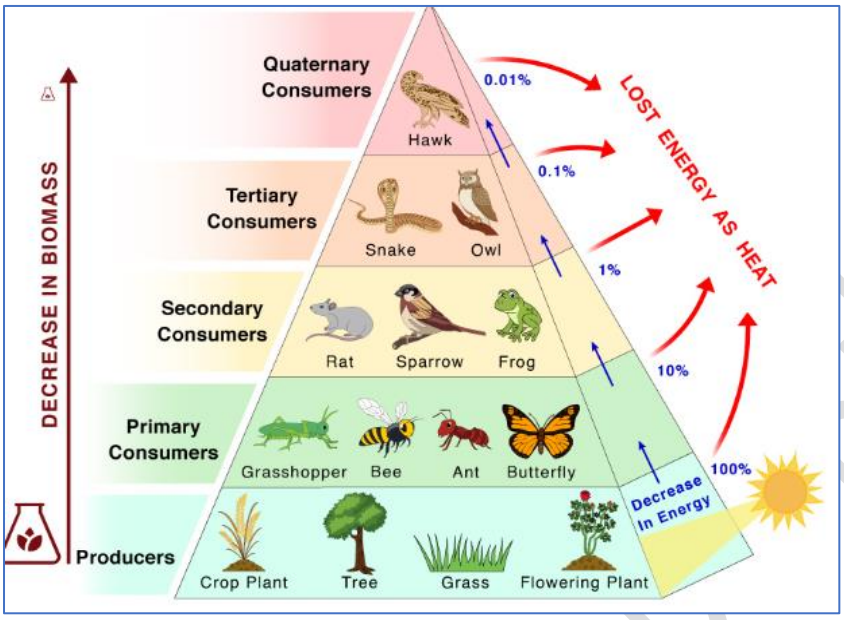
ان مايجدر الاشارة اليه في هذا المجال هو ان النظم البيئية ذات التراكيب الاغتذائية البسيطة (Simple trophic structure) تكون عادة اكثر تعرضا لتغيرات عنيفة بالمقارنة بالنظم البيئية ذات التراكيب الاغتذائية المعقدة وعلى سبيل المثال لا الحصر في البيئة المائية في القطب الجنوبي حيث انه عند ازالة الروبيان عن طريق حادث صغير سوف يكون هناك انحدار مأساوي لجميع الثديات البحرية والطيور والأسماك التي تعتمد جميعا على الروبيان في غذائها .

بينما يلاحظ في النظم البيئية الأخرى والتي توفر مؤونات غذائية بديلة مثل المناطق المعتدلة والاستوائية فان الفقدان الؤقت لاي نوع لايرض بالضرورة النظام بجملته الى الخطر وبطبيعة الحال هناك استثناءات لهذه القاعدة فاذا ازيل نوع واحد سائد من الاعشاب في مروج فسوف تتضرر جميع انواع اكلة الاعشاب (العشبيات) ولكن في الطبيعة يلاحظ ان التركيب الاغتذائي للمروج يتضمن عادة عشرات الانواع من الاعشاب والحشائش.

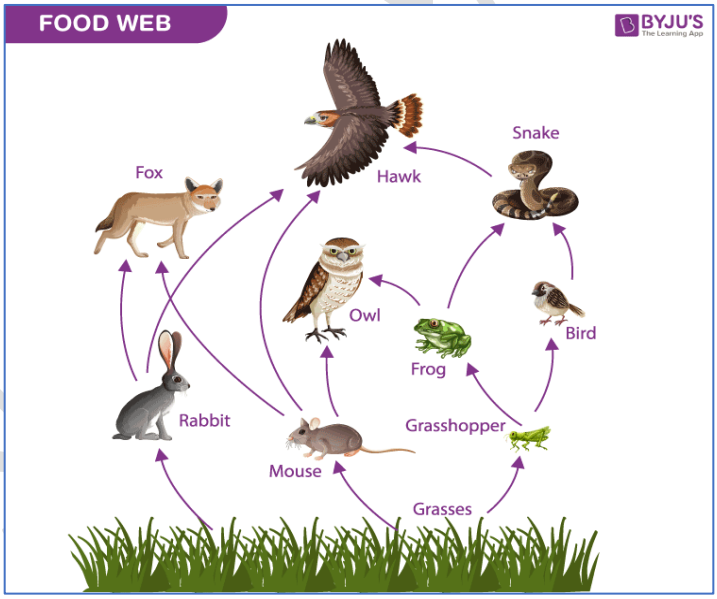
ان الحاجة الملحة للغذاء جعل الانسان يفتش عن طرائق مختلفة لزيادة الكفاءة البيئية وبالتالي زيادة الانتاجية في المحاصيل . وما الزراعة الا ادارة تطبيقية لسلاسل الغذاء تشجع النظم البيئية البسيطة وتختزل سلاسل الغذاء الى ابسط صورها . فما حراثة الاراضي والقضاء على الادغال بانواعها واستزراع نوع واحد مثل الحنطة او الذرة الا وسيلة لتبسيط السلسلة الغذائية وزيادة المحصول ولكنها في نفس الوقت يزيد ايضا من سرعة التاثر وعدم الثبات حيث انه عندما يكون هناك حقل نقي من الشعير يزداد احتمال الاضرار البيئي بالامراض او الحشرات فقد يكتسح المحصول مثلا من قبل الجراد بصورة فجائية ويدمر الجزء الاعظم من النظام ، وتنطبق نفس الحالة على تربية الدواجن (نوع واحد فقط) .

وكثيرا مايسأل المرء مافائدة هذا النوع او ذاك ولماذا هذه الانواع الكثيرة نباتية كانت او حيوانية وماذا يحدث اذا اندثرت بعض منها . اسئلة مثل هذه يصعب الاجابة عليها بسهولة وبتعبيرات محددة ولكن لو توضحت المفاهيم الاساسية للبيئة فيتبين انه قد لاتحدث مأساة بيئية

مباشرة فيما اذا اختفى فعلا نوع واحد ولكن النظام ككل قد يتضرر في حالة نشوئه بصورة طبيعية ويكون اكثر تعرضا لعدم الثبات من الناحية البيئية .



شكل يوضح السلاسل الغذائية والمستويات الغذائية وسريان الطاقة عند كل مستوى



شكل يوضح الشبكة الغذائية Web Food

الكفاءة البيئية Ecological Efficiency

ان النسب بين تدفق الطاقة عند نقاط مختلفة على طول السلسلة الغذائية لها اهمية كبيرة وحيث ان الطاقة المتوافرة في مستوى اغتذائي لاتستخدم او تمثل كلياً في المستويات الاعلى كما لوحظ سابقا، عليه يعبر عن سير الطاقة بين المستويات الغذائية المختلفة بنسب مئوية تدعى بالكفاءة البيئية (Ecological efficiency) وان العالم ليندرمان Linderman (1942) وصف العلاقة بين الطاقة المستهلكة في مستويين اغتذائيين متتاليين لاول مرة وسميت بالكفاءة التصاعدية (Progressive efficiency) ومنذ ذلك الحين اعطى لهذا الموضوع اهمية واضحة في علم البيئة . وتم تقدير عدد من النسب بين تنقلات الطاقة في خطوات مختلفة ضمن السلسلة الغذائية ومن بين هذه النسب هي كفاءة ليندرمان (Linderman´s efficiency) وكفاءة اخذ الطاقة لـ اودم Odum وكفاءة الانتاجية لـ (كوسلوفسكي) Koslovsky والتي تعرف بانها النسبة بين كميات الطاقة الممثلة في مستويين غذائيين متتاليين وان قيمتها تختلف

عادة بين 1-5% للكائنات المنتجة و 10- 20% للمستويات الاغتذائية الاعلى . وهناك نسبة مهمة اخرى هي كفاءة النمو البيئي (Ecological growth efficiency) وهي النسبة بين الانتاج الصافي والطاقة الممثلة في مستوى اغتذائي معين وتختلف قيمتها عادة بين 10-50%.

وقد يشير الصناعيون الى ان هذه الكفاءات هي ضعيفة نسبيا عند مقارنة كفاءة المكائن (25-90%) بصورة عامة مع كفاءة النباتات (1%) اوالحيوانات (5-20%) ولكن يجب ان يتوضح بان هذه المقارنات هي ليست سليمة بصورة كلية حيث ان الكائنات الحية تقوم بعمليات النمو والتكاثر والانتشار والصيانة الذاتية وهي جميعا عمليات لاتقوم بها المكائن علما بان جميع هذه البنود تدخل ضمن ميزانية الطاقة .

وبصورة عامة يمكن القول بان الكائنات الصغيرة تستخدم جزءاً كبيراً من الطاقة الممثلة في النمو اما الكائنات الكبيرة فان جزءاً كبيراً من الطاقة الممثلة يضيع بواسطة التنفس.

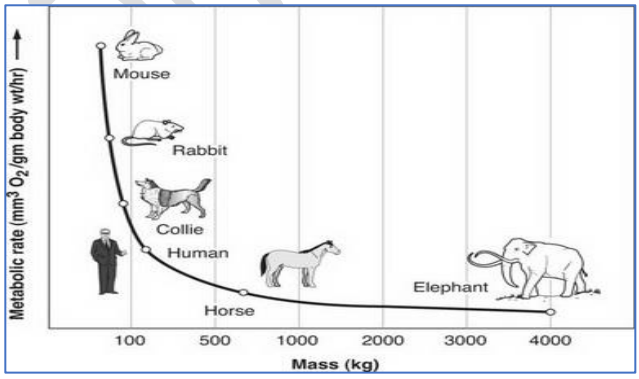
العلاقة بين حجم الكائن الحي ومعدل الايض Relation between size of individual and rate of metabolism

ان الكتلة الحياتية محصول قائم (معبراً عنها بالوزن الكلي الجاف او المحتوى الحراري الكلي للكائنات الموجودة في اي وقت من الاوقات) التي يمكن امدادها بتدفق مستمر من الطاقة في سلسلة غذائية ، تعتمد لدرجة كبيرة على حجم الكائنات المفردة . فكلما صغر الكائن كان ايضه بالغرام الواحد (أو بالسعرة) من الكتلة الحياتية أكبر. وبالنتيجة ، كلما صغر الكائن صغرت الكتلة الحياتية التي يمكن امدادها على مستوى غذائي معين في النظام البيئي، وبالعكس كلما كبر الكائن كانت الكتلة للمحصول الراهن أكبر. لذا فإن كمية البكتريا الموجودة في أي وقت تكون اصغر بكثير من محصول السمك أو اللبائن ، حتى لو كان استهلاك الطاقة هو نفسه في المجموعتين.

يكون الايض بالغرام من الكتلة الحياتية في النباتات والحيوانات الصغيرة كالطحالب والبكتريا والحيوانات الابتدائية اكبر بكثير من معدل الأيض في الكائنات الكبيرة كالاشجار والفقريات ، ينطبق هذا على كل من التركيب الضوئي والتنفس. الاجزاء المهمة من المجتمع من ناحية الايض في كثير من الحالات هي ليست الكائنات الواضحة الكبيرة القليلة ، بل الكائنات الهائلة العدد التي لاترى بالعين المجردة في كثير من الاحيان . وهكذا فالطحالب الصغيرة (العوالق النباتية) التي تؤلف قليلاً من الباونات في اية لحظة في بحيرة ما ، يمكنها ان تمتلك من الايض مثلما يمتلك حجم اكبر بكثير من اشجار الغابة او عشب في مرج. وبالمثل فان باونات قليلة من القشريات الصغيرة (عوالق حيوانية) ترعى على الطحالب يمكن ان تملك مجموعاً من التنفس مساوياً لباونات كثيرة من البقر في مرعى .

ان العلاقة بين حجم الكائنات الحية ومعدل الافعال الحيوية هي علاقة عكسية بصورة عامة على الرغم من ان هذه العلاقة تعتمد على عوامل كثيرة جدا منها عوامل محيطية وفسلجية وغيرها . وكثيراً ما يقدر معدل الأيض لكائنات أو لمعشر من الكائنات عن طريق قياس المعدل الذي يستهلك فيه الاوكسجين (أو المنتج في حالة التركيب الضوئي) . وهناك ميل عام واسع بان معدل الايض للكائن الحي بالغرام ينقص عكسيا مع الزيادة في الطول بالنسبة الى الحيوانات .

ويمكن ملاحظة العلاقة العكسية بين الحجم والايض في تاريخ حياة الفرد الواحد من الانواع فالبيوض مثلا تظهر معدلا بالغرامات اعلى من المعدل الذي يظهره الحيوانات البالغة الاكبر حجما ، فقد بين اودم Odum ان الايض بالغرامات في الديدان المسطحة الطفيلية يكون اقل بمعدل عشر مرات في اليرقات الصغيرة للديدان المسطحة ، ولتجنب الارباك يجب ان نلاحظ بان **معدل الايض** هو الذي يزداد بزيادة الحجم وليس الايض الكلي للفرد ، لذا يلاحظ ان الانسان البالغ يتطلب غذاءا كليا اكثر من مايتطلبه الطفل ولكن الحاجة تكون بكمية اقل من الغذاء لكل كيلوغرام من وزن الجسم .



شكل يوضح العلاقة العكسية بين الكتلة الحيوية ومعدل الايض للكائن

الأهرام البيئية Ecological Pyramids

ان التفاعل في ظواهر السلسلة الغذائية (فقدان طاقة عند كل تحول) والعلاقة بين الحجم والايض يفضي الى مجتمعات تملك تركيباً غذائياً محدداً ، والذي كثيراً ما يكون خاصاً بنموذج معين من النظام البيئي (بحيرة ، غابة، بركة، مرعى ... الخ). ويمكن قياس ووصف التركيب الغذائي اما على اساس المحصول القائم بوحدة مساحة أو على اساس الطاقة المثبتة بوحدة مساحة في وحدة زمن على مستويات غذائية متعاقبة .

ويمكن توضيح التركيب الغذائي والوظيفة الغذائية ايضا تمثيلياً بوساطة الاهرام البيئية (Ecological Pyramids) وهي عبارة عن تمثيل هندسي يمثل سريان الطاقة او انتقالها في المستويات الاغتذائية المتعاقبة في الطبيعة وبشكل تصاعدي حيث تقل الطاقة في المستويات المتعاقبة .

- فالأهرامات البيئية وسيلة لتحديد العلاقات الكمية بين الأحياء وهي بذلك تختلف عن السلاسل الغذائية والشبكات الغذائية بالتمثيل الكمي للعلاقات .

- في الهرم يشكل فيها القاعدة المستوى الأول أو المنتج ثم المستهلك الأولي وثم المستهلك الثانوي ألا إن المستهلك لا يعني نوع واحد من الأحياء .

-قد يكون لنفس الكائن الحي عدد من الأهرامات تختلف حسب الموسم او العمر او حسب المنطقة الجغرافية .

في الأهرامات البيئية تنعكس تعقيدات الطبيعة وذلك لعدة أسباب منها :-

1- وجود كائنات حية تتغذى بصورة مختلطة مثل الإنسان لذلك يتداخل موضوعه ضمن الهرم البيئي .
2- أحيانا يلاحظ اختلاف تغذية الكائن الحي باختلاف مراحل عمره، ففي المراحل البدائية من عمره تختلف مصادر طاقته عن مراحل عمره الأخرى .

أنواع الأهرامات البيئية

ويمكن ان تكون الاهرام البيئية على ثلاثة نماذج عامة :

1- **هرم الاعداد** The Pyramid of Numbers : والذي يكون فيها عدد افراد الكائنات مصوراً.
2- **هرم الكتلة الحياتية** The Pyramid of Biomass : وضع على اساس الوزن الكلي الجاف أو القيمة الحرارية او مقياس آخر للكمية الكلية من المادة الحية.
3- **هرم الطاقة** The Pyramid of Energy: الذي يوضح فيه معدل تدفق الطاقة اوالانتاجية اوكليها على المستويات الغذائية المتعاقبة هي الاطارات التي تكون القمة.

وفي حالة اهرام العدد والكتلة الحياتية يمكن ان تكون مقلوبة (او تقلب جزئياً) اي يمكن ان تكون القاعدة اصغر من الاطار (القمة) او اكثر من الأطار (القمة) العليا ، اذا كان معدل حجم الى الفرد في الكائنات المنتجة اصغر من حجم الفرد في الكائنات المستهلكة. ومن ناحية اخرى يجب أن يكون هرم الطاقة بشكل هرم في وضعه الصحيح دائماً بشرط الاخذ بنظر الاعتبار جميع مصادر الطاقة في النظام.

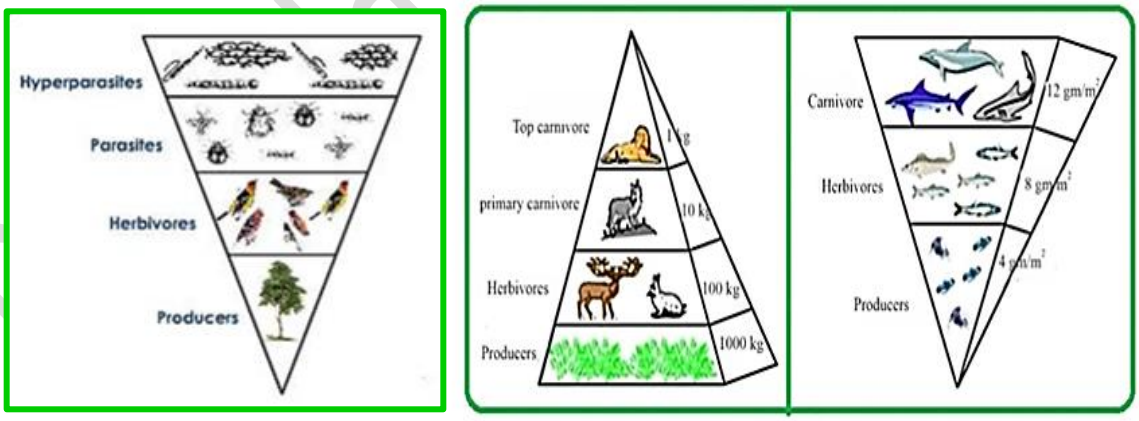


Figure: Pyramid of Number & Biomass and Inverted Pyramid

هرم الاعداد The Pyramid of Numbers

ان هرم الاعتماد في الحقيقة هو نتاج **ثلاث ظواهر** تعمل في آن واحد. احدى هذه الظواهر هي **الحقيقة الهندسية** المألوفة ، يتطلب عدداً كبيرا جداً من وحدات صغيرة ليساوي كتلة وحدة كبيرة واحدة ، بغض النظر عن كون الوحدات كائنات حية أو قطعاً من حجر البناء ، لذا حتى لو كان وزن الكائنات الكبيرة مساوياً لوزن الكائنات الصغيرة ، فان عدد الكائنات الاصغر سيكون اعظم من عدد

الكائنات الأكبر بدرجة كبيرة . وبسبب العامل الهندسي ، فان وجود هرم اعداد صحيح في مجموعة طبيعية من الكائنات لا يعني بالضرورة وجود عدد اقل من الكائنات الأكبر على أساس الوزن .

والظاهرة الثانية التي تسهم في ايجاد نسق من كائنات صغيرة كثيرة وكائنات كبيرة قليلة نسبياً هي السلسلة الغذائية، فأن الطاقة المفيدة تفقد دائما (بشكل حرارة) في التحول خلال كل خطوة في السلسلة الغذائية . وبالتالي تكون هناك طاقة مفيدة متاحة اقل على المستويات الغذائية العليا، الا حيث يوجد استيراد في المادة العضوية. **والعامل الثالث** المشمول في هرم الاعداد هو النموذج العكسي لعلاقة الحجم بمعدل الايض.

والواقع ان هرم الاعداد غيراساسي كأدة توضيحية للعوامل الهندسية و السلسلة الغذائية ، و الحجم غير مشار اليها . ان شكل هرم الاعداد يختلف كثيراً باختلاف المجتمعات وذلك بالنسبة الى الافراد المنتجة ، أهي صغيرة (عوالق نباتية ، عشب) ام كبيرة (اشجار بلوط) فضلا عن ذلك فان الاعداد تختلف كثيرا بحيث يصعب تبيان المجموعة بكاملها على المقياس العددي نفسه وهذا لا يعني ان عدد الافراد الموجودة غير مهم ، ولكن معلومات كهذه ربما يكون من الافضل تقديمها بشكل جدول .

هرم الكتلة الحياتية The Pyramid of Biomass

اما هرام الكتلة فهو ذو اهمية أكثر اساسية حيث يستبعد العامل الهندسي وتكون العلاقات الكمية للمحصول القائم مبينة بشكل جيد. وبصورة عامة يعطي هرم الكتلة صورة عن التأثير الكلي العلاقات السلسلة الغذائية للمجموعة البيئية ككل. فعندما يرسم الوزن الكلي للافراد في المستويات الغذائية المتعاقبة تتوقع هرما منحدراً بالتدريج، مادام حجم الكائنات لا يختلف كثيراً جداً. ومع ذلك فعندما يكون معدل حجم الكائنات في المستويات الواطئة اصغر كثيراً من حجم كائنات المستويات العالية ، فان هرم الكتلة يمكن ان يكون مقلوباً. فمثلاً عندما يكون حجم المنتجين صغيراً جداً وحجم المستهلكين كبيراً فان الوزن الكلي للمستهلكين يكون أكبر في أية لحظة، وفي هذه الحالات ، على الرغم من ان طاقة اكثر تمر خلال المستوى الغذائي للمنتج منه خلال مستويات المستهلكين (والتي يجب ان تكون عليه الحالة دائماً) ، فان الايض السريع والتحول في الكائنات المنتجة الصغيرة ، ينجز حاصلاً نهائياً أكبر عندما تكون الكتلة الحياتية لمحصول قائم اصغر.

تمتاز هذه الأهرام بخواص موسمية تختلف باختلاف الفصول فتكون في فترة الازدهار ذات كتلة أكبر وتقل في فترات الجفاف او البرد .فالنباتات العوالق النباتية في البحيرات والبحر تفوق العوالق الحيوانية التي تتناولها في الحجم عادة خلال مدد الانتاجية الأولية العالية ، كما في وقت الازهار الربيعي ولكن في اوقات اخرى ، كما في الشتاء قد يكون العكس هو الصحيح. كما تمتاز باختلافها من مكان لآخر لنفس النوع من الكائنات وكذلك من نظام بيئي لآخر فيما اذا كان حديث النمو ام انه مستقر ومتوازن .ففي الانظمة البيئية للبابسة والمياه الضحلة حيث يكون المستهلكون كباراً وتعيش طويلاً نسبياً فاننا نتوقع هرماً ذا قاعدة واسعة وثابتة نسبياً والمجتمعات المتكونة حديثاً تميل الى ان يكون لها مستهلكون اقل نسبة إلى المنتجين (أي ان قمة هرم الكتلة الحياتية سيكون صغيراً)، وفي مواقع المياه المكشوفة أو المياه العميقة حيث يكون المنتجون صغارا وقصيري العمر فان موقع المحصول القائم في أية لحظة قد يختلف لدرجة كبيرة وان هرم الكتلة الحياتية قد يكون مقلوباً وكذلك فان الحجم الكلي للمحصول القائم باكمله قد يبدو بانه أصغر وهكذا.

هرم الطاقة The Pyramid of Energy

هرم الطاقة يعطينا ، لحد بعيد افضل صورة كلية للطبيعة الوظيفية للمجتمعات، كل طالما ان عدد ووزن الكائنات التي يمكن اسنادها في اي مستوى لاي موقع لا يعتمد على كمية الطاقة المثبتة الموجودة في أي وقت في المستوى الأوطأ تماما فقط ولكن بالأحرى على المعدل الذي ينتج فيه الغذاء. وعلى العكس من هرمي العدد والكتلة اللذين هما صور للحالات الراهنة ، أي الكائنات الموجودة في اية الحظة ، فهرم الطاقة هو صورة لمعدلات مرور كتلة الغذاء خلال السلسلة الغذائية ولا يتأثر شكله بالاختلافات في الحجم ومعدل الأيض للافراد ، واذا ما اخذت بنظر الاعتبار جميع مصادر الطاقة يجب ان تكون دائما بوضع صحيح بسبب القانون الثاني للديناميكة الحرارية .اذ يمتاز هرم الطاقة بقاعدة عريضة تعقبها مستويات ذات قيم أوطأ بقليل مما يعطي الهرم تدرج صحيح او طبيعي ، والطاقة المصروفة لأغراض التنفس تكون غير محسوبة في هذه الأهرامات ، وأحيانا تضاف للهرم قاعدة هي الطاقة الشمسية التي تستهلكها النباتات .

Energy of pyramid