ما هي الإنتاجية الأولية؟

الإنتاجية الأولية هي العملية التي تصنع بها الكائنات الحية غذائها (أي مواد عضوية) من مصادر غير عضوية.

غالبية المنتجين الأساسيين هم من النباتات الأرضية والحياة الميكروبية، مثل الطحالب. تُعرف هذه الكائنات باسم (**Autotrophs**)، حيث يمكنها استخدام مواد غير عضوية والطاقة الشمسية عن طريق عمليات التركيب الضوئي (**Photosynthesis**) ومن ثم بناء المواد الخلوية.

الهرم البيئي او الغذائي
Environmental or food (Trophic) pyramid

يمكن تعريفه على انه:

- الهيكل الأساسي للتفاعل الحيوي في جميع المجتمعات البيولوجية التي تتميز بالطريقة التي تنتقل بها الطاقة الغذائية من مستوى غذائي إلى آخر على طول السلسلة الغذائية.
- عبارة عن تمثيل هندسي يمثل سريان الطاقة او انتقالها في المستويات الغذائية المتعاقبة في الطبيعة وبشكل تصاعدي حيث تقل الطاقة في المستويات المتعاقبة.
- اوهي عبارة عن تدرج للمستويات الغذائية للكائنات الحية بحيث يتوزع كل حسب دوره الغذائي الوظيفي على شكل هرم تكون قاعدته المنتجات ويتبعها اكلات الاعشاب ثم مستويات مختلفة من كلات اللحوم الى ان نصل الى اقوى المستهلكات في قمة الهرم.

تلعب المحللات **Decomposers** والطفايات **Parasites** دور مهم في المستويات الغذائية، فيمكن اعتبارها اكلات اعشاب او لحوم حسب دورها الغذائي، فمثلا المحللات التي تتغذى على بقايا النباتات الميتة والبكتريا التي تعيش في معدة المجترات يمكن اعتبارها من ناحية وظيفية اكلات اعشاب.

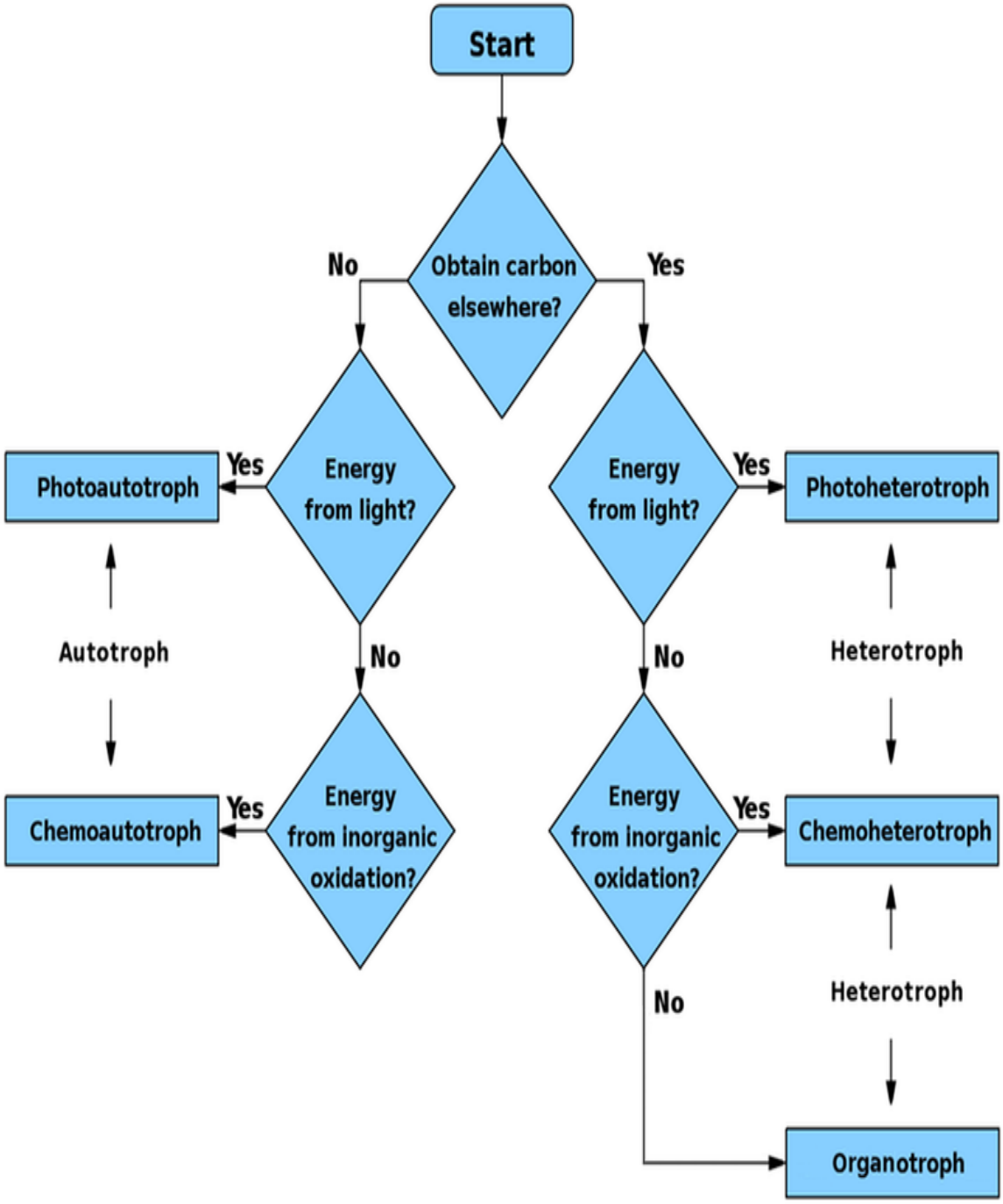
المحللات التي تتغذى على الحيوانات الميتة وكذلك اكلات الجثث يمكن اعتبارها من ناحية وظيفية كلات لحوم. اما الطفيليات فتقسم حسب العائل الذي تتطفل عليه حيث يمكن اعتبارها ايضا كلات اعشاب او لحوم، وبهذه الاعتبارات يمكن لأي كائن حي مهما كان نوعه ان يحتل مستوى غذائي معين في الهرم البيئي.

تتكون قاعدة الهرم مـن أنواع تسمى **Autotroph or Primary producer** أي المنتجين الأســـــاسيين للطاقة فـــــي النظام البيئي لجميع الكائنات الحية الأخرى وهي مســتهلكون والتي يطلق عليهم اســـــم الكائنات غير ذاتية التغذية **Heterotrophs (non-autotrophic)** او التي تعتمد بشكل مباشر أو غير مباشر على المنتجين الأساسيين لإنتاج للطاقة الغذائية.

(يمكن تعريف **Autotroph** وهي الكائنات الحية التي يمكنها إنتاج طعامها باستخدام الضوء والماء وثاني أكسيد الكربون ومواد كيميائية أخرى).

Autotroph هي الكائنات التي تنتج مركبات عضوية معقدة (مثل الكربوهيدرات والدهون والبروتينات) باستخدام الكربون من مواد بسيطة مثل ثاني أوكسيد الكاربون باســـــتخدام طاقة ضوء الشمس بعملية (التمثيل الضوئـــــي **photosynthesis**) وتسمى هذه الأحياء **photoautotrophs**، أو من خلال التفاعلات الكيميائية غير العضـوية وعند اذ تسمى (التصنيع الكيميائي **Chemosynthesis**) وغالباً ما توجد هذه الاحياء في فوهات الينابيع الحارة وفي أعماق المحيط، وبصوره عامة فان هذه الاحياء لها القابلية على تحويل مصدر غير حيوي للطاقة (مثل الضوء) إلى طاقة مخزنة في المركبات العضوية، والتي يمكن أن تستخدمها من قبل الكائنات الحية ذاتها إضافة الى الكائنات الحية الأخرى (الكائنات غير ذاتية التغذية **Heterotrophs**)، وهذه الاحياء من اهم الأسباب التي تجعل الأرض تحافظ على الحياة حتى يومنا هذا.

Autotrophs → Heterotrophs



مخطط لتحديد ما إذا كان النوع ذاتي التغذية autotroph أو معتمد التغذية heterotroph

مميزات الاهرامات البيئية

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

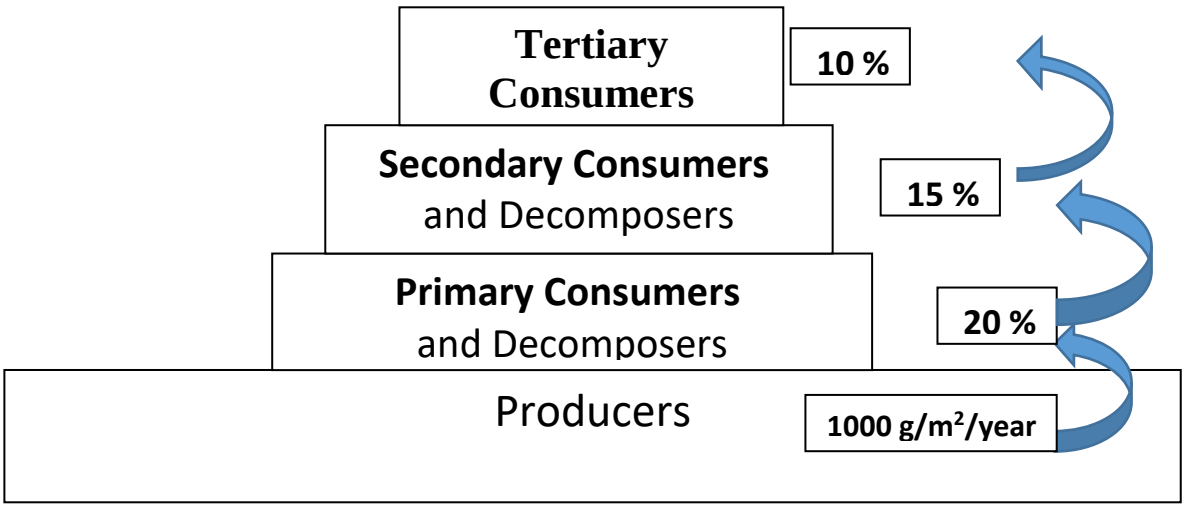
2- تكون المنتجات autotroph عادة في قاعدة الهرم ثم المستهلك الأولي وثم المستهلك الثانوي ثم المستهلك في المرتبة الثالثة وهكذا بقية المراتب.

2- قد يكون لنفس الكائن الحي عدة اهرامات تختلف حسب الموسم او العمر او المنطقة الجغرافية.

4- في الأهرامات البيئية توجد تعقيدات طبيعة وذلك لعدة أسباب منها: -

أ- وجود كائنات حية تتغذى بصورة مختلطة مثل الإنسان لذلك يتداخل ترتيبه ضمن الهرم البيئي.

ب-أحيانا يلاحظ اختلاف تغذية الكائن الحي باختلاف مراحل عمره ففي المراحل البدائية من عمره مصادر طاقته عن مراحل عمره الأخرى.



Efficiency of energy transfers between trophic level
كفاءة نقل الطاقة بين المستويات الغذائية

1- الهرم البيئي العددي Number of Pyramid

يُعبر هذا النوع من الاهرامات البيئية بالعدد الكلي في كل مستوى غذائي ويهمل التركيب النوع، كما يمكن ملاحظة ان اعداد الكائنات الحية تكون وافرة في المنتجات وتنخفض تدريجيا الى ان تصل الاقل عدد عند المستهلكات) لتأخذ شكل الهرم العددي شكل هندسي قائم ويمكن ان يكون بشكل مقلوب.

مميزاته:

1-تكون المنتجات دائما في قاعدة الهرم ومن ثم يأتي المستهلك الاول ثم المستهلك الثاني ولا تدخل الكتلة في الحساب مطلقا (العدد فقط) أي الكائن الحي الصغير يتساوى مع الكائن الحي الكبير.

2-تشكل المنتجات الأولية الأنواع الأكثر عددا والمتمثلة بالنباتات الصغيرة التي تكون قاعدة الهرم وكلما تقدمنا نحو القمة تختزل الأعداد وتكبر الأحجام وتقل الأنواع، ولكن أحيانا لا تكون النباتات الصغيرة والكثيرة العدد هي المستوى الأول بل قد تكون النباتات قليلة ولكن بأحجام كبيرة فيكون الهرم بالمقلوب.

3- ان شكل هرم الأعداد يختلف كثيرا باختلاف المناطق والمجتمعات والفصول فضلا عن نوعية الكائنات الحية الموجودة في النظام البيئي.
فمثلا الأفراد المنتجة قد تكون صغيرة مثل العوالق والهائمات النباتية في المسطحات المائية في البرك والبحيرات اوقد تكون من أشجار الحمضيات والبلوط في الغابات فضلا عن ذلك فان الأعداد تختلف كليا ويصعب حصرها كما ان احتمالات الخطأ في تقدير الأعداد شائعة مثل استخدام طريقة المربع على ارض جرداء.

4- في الأهرام العددية تتساوى النبتة الكبيرة مع الصغيرة وتحسب كل منها كوحدة واحدة في حين ان كمية الطاقة والكتلة الحية مختلفة.

5- تحقيق العدالة العددية بين المنتج والمستهلك في نظام بيئي محدد وليس لها قيمة عند مقارنة بين النظم البيئية المختلفة.

هرم الأعداد
في هرم الأعداد، يمثل كل مستوى أعداد المخلوقات الحية التي يستهلكها المستوى الذي فوقه.

المحيط

2-الهرم البيئي الكتلويBiomass of Pyramid

عبارة عن نموذج هندسي يوضح ما جري من تفاعلات وعلاقات بين المستويات الغذائية على أساس أوزانها (الوزن الجاف او الرطب) وهو تعبير أكثر دقة لما يجري في النظام البيئي فميا يتعلق بسريان الطاقة وخزنها بشكل كتلة حية وغالبا ما يكون الشكل الناتج أقرب من شكل الهرم ويساعد على ذلك إذا كان حجم الأفراد متجانسا والعامل الرئيس المسبب للاختلافات هو وزن الماء في الكائنات الحية، لذلك يجب تحدد فما إذا كان الوزن رطب ام جاف وكون الحساب بأحدهما لجميع المستويات.

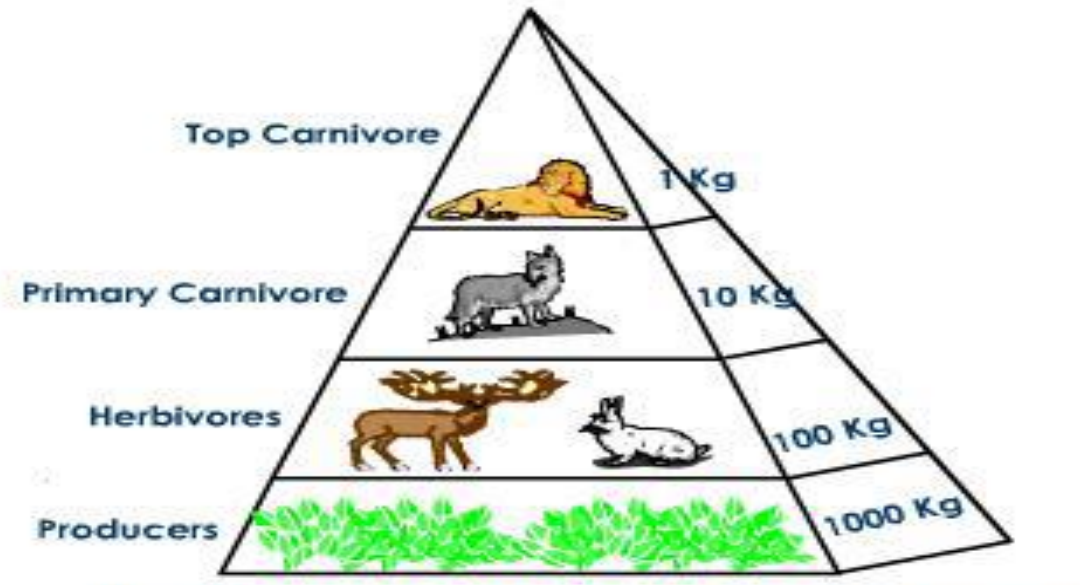
<u>مميزات أهرام الكتلة:</u>

1-تعد من الأهرامات التي يكون شكلها قائم بشكل صحيح وقد يكون بشكل مقلوب لاسيما في حالة الكائنات الصغيرة التي تنمو موسمياً مثل الإنشات والدايتومات.

2- تمتاز بخواص موسمية تختلف باختلاف الفصول فتكون فً فترة الازدهار ذات كتلة أكبر وتقل في فترات الجفاف او البرد

3-تمتاز باختلافها من مكان آخر لنفس النوع من الكائنات وكذلك من نظام بيئي الى اخر فُما إذا كان حديث النمو او انه مستقر ومتوازن

4-وحدات هرم الكتلة كغم/م^2/سنة أو غرام /م^2/يوم



Upright Pyramid of biomass in a Terrestrial Ecosystem

3- هرم الطاقة Pyramid of Energy

وتعبر هذه الاهرامات عن انسياب الطاقة في الشبكة الغذائية حيث تتناقص الطاقة تصاعديا نحو قمة الهرم اي نحو المستهلكات. وهذا النموذج لا يمكن قلبه ويعد مثاليا لتمثيل الاهرامات البيئية ويمكن ان يطبق في جميع البيئات المائية والبرية، ويعود سبب نجاح هذا النموذج في **كونه يسير على مبدا قانون الديناميكية الحرارية الثاني** والذي ينص على ان جزء من الطاقة يتعثر او يضيع كلما تحولت من شكل الى اخر. يختلف هرم الطاقة عن الهرم العددي او الكتلوي حيث انه لا يعبر عن حجم او وزن العدد الكائنات في النظام البيئي بينما يعبر عن مخزون الطاقة او معدلات مرور الطاقة بالسلسلة الغذائية وحين تأخذ جميع مصادر الطاقة ومساراتها ضمن السلسلة الغذائية يكون الهرم دائما بوضع صحيح.

<u>مميزات هرم الطاقة:</u>

1- يمتاز الهرم بقاعدة عريضة تعقبها مستويات ذات قيم أوطأ بقليل مما يعطي الهرم تدرج صحيح او طبيعي.

2- الطاقة المصروفة لأغراض التنفس تكون غير محسوبة في هذه الأهرامات.

3- أحيانا تضاف للهرم قاعدة هي الطاقة الشمسية التي تستهلكها النباتات.

4- وحدات هرم الطاقة هي: - سعره /م^2 /سنة او كيلو سعره /م^2 \سنة أو كيلو جول/ م^2\سنة.

يعبر الهرم البيئي الكتلوي عن كمية المادة الحية في تدرج معين من الهرم ممثلا كاملا للأهرامات في الطبيعة حيث يمكن ان يقلب وخصوصا اذا كانت اعداد الكائنات في المستويات الدنيا من اهرم قليلة بالنسبة للأعداد في المستويات العليا فان هذا سيؤدى الى انخفاض في الكتلة الحية الكلية للمستويات الدنيا بالنسبة للمستويات العليا وبالتالي ينقلب الهرم وعلى سبيل المثال الكتلة الحية في المنتجات (الطحالب) الموجودة في مساحة محددة من مياه بحرية تبلغ 4 غم/م^3 بينما تكون الكتلة الحية في العوالق الحيوانية والحيوانات القاعية 21 غم/م^3 ويعود هذا الى التكاثر السريع لأكلات الاعشاب حيث يكون معدل انتاج الكتلة في المستهلكات اعلى منه في المنتجات.

مميزات أهرام الكتلة:

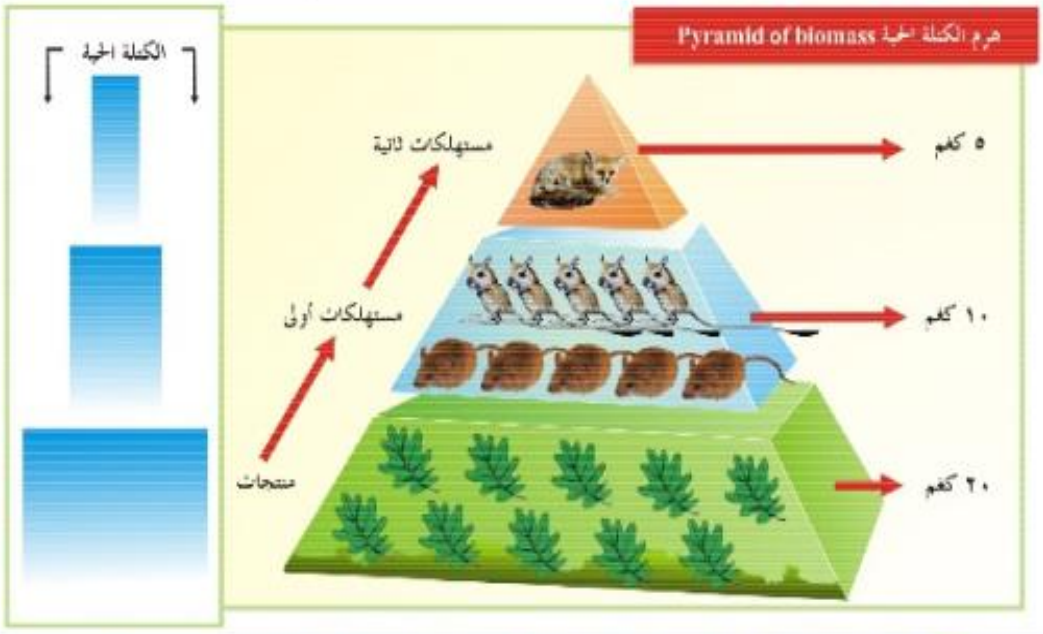
1- تعد من الأهرامات التي يكون شكلها قائم بشكل صحيح ومن الممكن ان يكون بالمقلوب لا سيما في حالة الكائنات الصغيرة التي تنمو موسميا مثل الإنشات والدايتومات.

2- تمتاز هذه الأهرام بخواص موسمية تختلف باختلاف الفصول فتكون في فترة الازدهار ذات كتلة أكبر وتقل في فترات الجفاف او البرد.

3- تمتاز باختلافها من مكان لآخر لنفس النوع من الكائنات وكذلك من نظام بيئي لآخر فيما إذا كان حديث النمو ام انه مستقر ومتوازن.

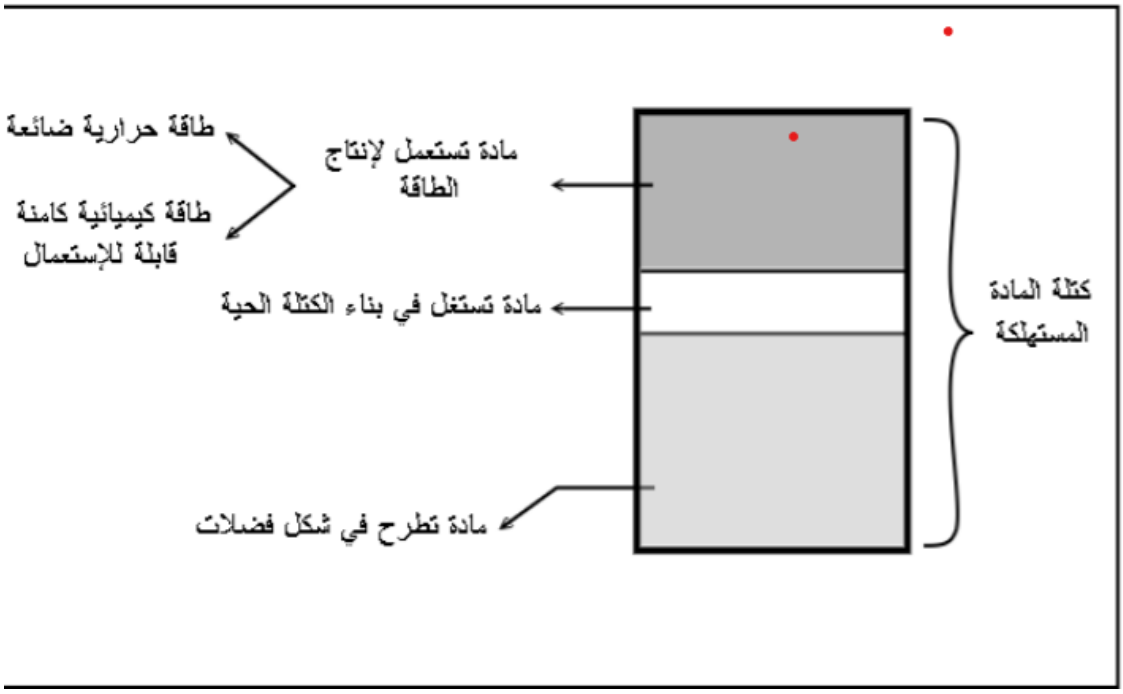
4- **وحدات هرم الكتلة كغم \ م^2\سنة أو غرام \م^2\ يوم.**

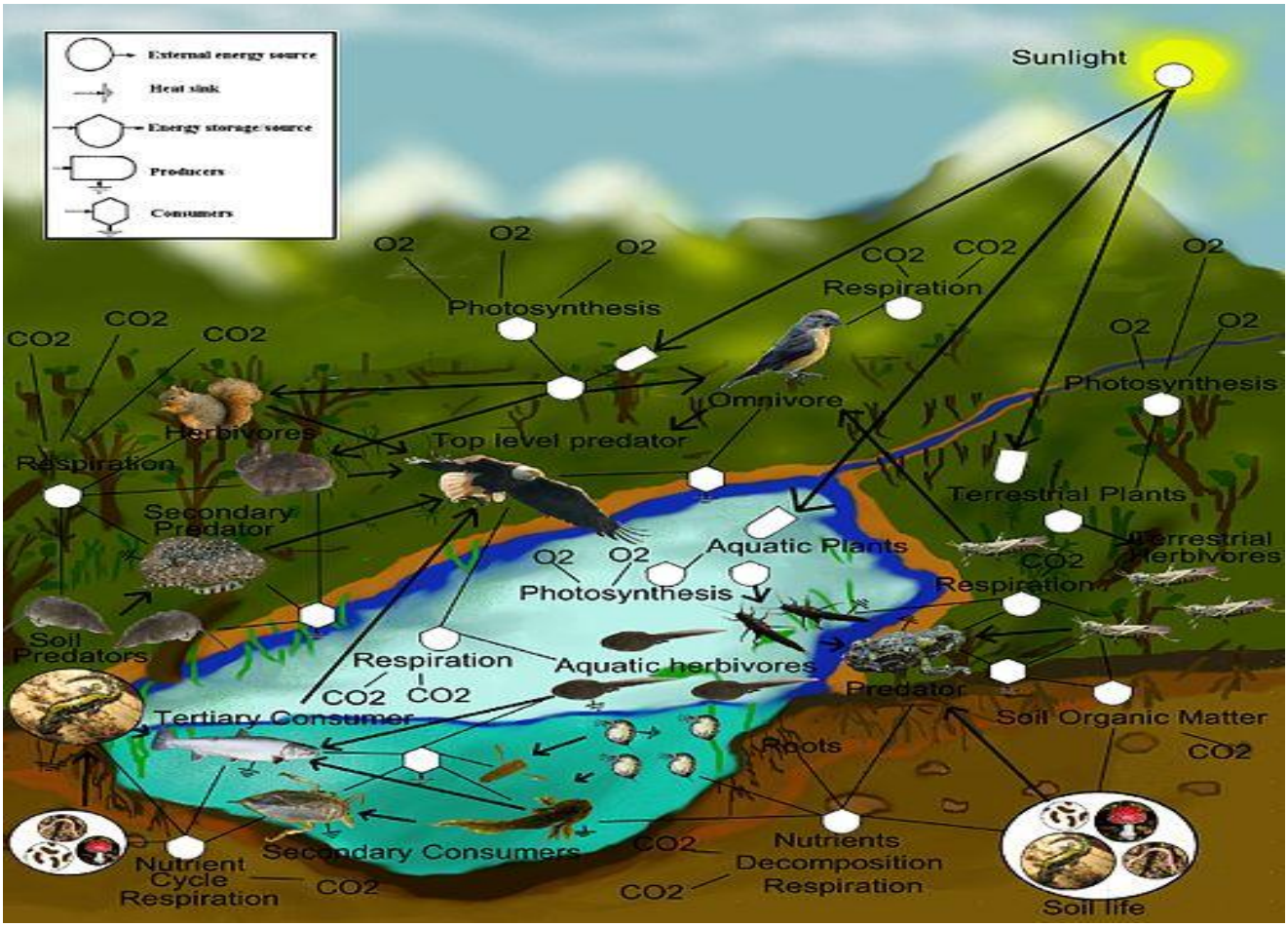
ب- هرم الكتلة الحية Pyramid of biomass



يمثل هرم الكتلة الحية وزن كمية المادة الحية لأفراد الكائنات الحية في كل مستوى غذائي. يكون وزن الكتلة الحية عادة كبيراً عند قاعدة الهرم في المستوى الإنتاجي الذي تمثله المنتجات، ثم يقل تدريجياً في طبقات المستويات الغذائية العليا التي تمثلها المستهلكات، وذلك بالاتجاه نحو قمة الهرم.

ومن خلال الرسم التوضيحي ادنا يمكن معرفة نسب المادة التي تستغل في بناء الكتلة الحية من أصل كتلة المادة المستهلكة





س: ما العلاقة بين طول الضلع ونسبة المساحة السطحية الي الحجم لخلية ما؟

مساحة السطح هي المساحة التي يلامس بها الجسم البيئة المحيطة (لنفترض المساحة مربع).

ما هي مساحة سطح المكعب/ إذا كان طول الضلع= a

مساحة سطح واحد تساوي= الطول X العرض اي a^2

للمكعب ستة أسطح لذلك مساحة سطح المكعب هي: $6a^2$

على فرض وحدة قياس المساحة هي سم^2.

الحجم= هو الحيز الذي يحتله الجسم في الفضاء المحيط.

يمكن حساب حجم المكعب بواسطة ضرب: الطول x العرض x الارتفاع

ما هو حجم المكعب اذا كان طول الضلع a سم ؟

$a \times a \times a = a^3$ وحدة قياس الحجم هي سم^3

وهي ناتج قسمة مساحة السطح على الحجم وفي المثال السابق: $6a^2/a^3$

النسبة المساحة السطحية الى الحجم = $\frac{\text{المساحة السطحية } (6a^2)}{\text{الحجم } (a \times a \times a = a^3)}$

كلما كان الحجم أصغر كلما كانت النسبة بين مساحة السطح والحجم أكبر

*ظاهرة الجفاف خطيرة جدا لدى الكائنات الحية. تتناسب كمية الماء التي يفقدها الجسم تناسبا طرديا مع مساحة سطح الجسم (اي: كلما كانت مساحة سطح الجسم أكبر كلما كانت كمية الماء التي يفقدها الجسم أكبر). في ظروف الجفاف يشكل حجم الجسم الصغير امرا سلبيا، فللكائنات الحية الصغيرة النسبة بين مساحة السطح والحجم كبيرة مما يزيد من فقدان الماء.

*تمتد من خلايا الابيديرميس في الجذور زوائد طويلة، دقيقة جدا وعديدة هذه الخلايا تدعى: خلايا الشعيرات الماصة وظيفتها زيادة مساحة سطح التلامس ما بين الجذور والتربة لكي تزيد من امتصاص الماء والاملاح عبرها. كذلك، جدرانها دقيقة جدا لكي تسهل من عبور الماء والاملاح

*كريات الدم الحمر وظيفتها: نقل الاكسجين الى جميع انحاء الجسم هذه الخلايا صغيرة، عديمة النواة، مرنة وشكلها كالقرص. هذا الشكل المقعر من الطرفين يزيد من مساحة سطح تلامس الخلية مع الدم مما يزيد من وتيرة انتشار الاكسجين عبر غشائها نحو الخلايا.

مثال: إذا كان طول ضلع مكعب 2 سم فما هي مساحته السطحية؟

بما ان قانون مساحة السطح= لطول X العرض

4 =2 X2 =

إذا مساحة السطح الواحد= 4 سم

بما ان للمكعب 6 أسطح

اذن المساحة الكلية لأسطح المكعب= 4 x 6=**24 سم**

نحتاج الى معرفة الحجم لكي نقدر المساحة السطحية بالنسبة للحجم

قانون الحجم / حجم المكعب= الطول x العرض x الارتفاع

=2x2x2=**8 سم^3**

النسبة المساحة السطحية الى الحجم = $\frac{\text{المساحة السطحية } (6a^2)}{\text{الحجم } (a \times a \times a = a^3)}$

النسبة المساحة السطحية الى الحجم= 8/24= **3سم**

اما إذا كان طول ضلع المكعب = 10

اذن المساحة الكلية لأسطح المكعب= 10 x 6=**60 سم**

حجم المكعب = 10x10x10=**1000 سم^3**

اذن النسبة المساحة السطحية الى الحجم=100/10=**0.1 س**

هناك عدة طرق لقياس الإنتاجية الاولية منها:

1- طريقة استخدام المواد المشعة C^{14}

يستخدم الكاربون المشع عـــن طريق وضعه فـي الماء على شكل كربونات، وبعد فترة تجمع النباتات وتفصل عن الماء وتجفف وتوضع في جهاز لقياس نسبة المواد المشعة وبالتالي تعرف الكمية التي تـم تخزينها فـي انســـجة هذه النباتات اثناء عملية التركيب الضوئي. تعطى هذه الطريقة نتائج دقيقة نسبيا.

تتضمن النظرية الكامنة وراء اســـتخدام C^{14} لقياس الإنتاجية اســـتخدام أداة تتبع C^{14} ذات علامـــات لتحديد كمية الكربون المستوعب. تقدر طريقة C^{14} امتصاص واســتهلاك الكاربون غير العضوي المذاب ويرمز لــه بالرمز (**DIC**) (Dissolved Inorganic Carbon) بواسطة الطحالب او العوالق النباتية في عمود الماء. تعتمد الطريقة على افتراض أن الامتصاص البيولوجي لـ C^{14} المسمى DIC يتناسب مع الامتصاص البيولوجي لـ C^{12} (DIC) الأكثر شيوعاً. من أجل تحديد الامتصاص، يجب معرفة تركيز (DIC) في عينة الماء، وكمية C^{14} (DIC) المضافة، وكمية C^{14} المحتفظ بها في جسم الكائن الحي (C^{14}-POC) في نهاية تجربة الحضانة.

يمكن كتابة معادلة حساب الأيضي بنسبة 5٪ عن طريق البيانات المستنتجة، علما ان الكائنات الحية تفضل اخذ نظائر أخف، ومن ثم يمكن قياس امتصاص الكربون بالمعادلة التالية:

C uptake= (naturally occurring DIC x C^{14}-POC x 1.05)/ (C14-DIC added)

الكاربون الممتص =تركيز عنصر الكاربون الطبيعي X ^{14}C-POC في جسم الكائن x 1.05/ (^{14}C-DIC المضاف)

هناك عدة طرق لقياس معدلات الإنتاجية الأولية عبر C^{14} ولكن تبقى الفكرة الأساسية كما هي:

من خلال جمع العينات قبل الفجر (شروق الشمس) من المياه في عدد من الزجاجات بشكل عام زجاجتان شفافتان وزجاجتان بلون داكن لا يمكن للضوء اختراقها. يتم تلقيح عينات المياه بـ C^{14} وتغطيتها ووضعها في البيئة التي تم جمعها منها لمدة يوم واحد (قد يختلف هذا الوقت من مكان الى اخر). بعد الحضانة يتم جمع العينات في ظل ظروف الإضاءة المنخفضة وترشيحها من خلال مرشح 0.2 ميكرومتر. يوضع المرشح في قارورة جهاز المطياف الضوئي ويتم تحميضها للتخلص من C^{14} الزائد مع ملاحظة وجوب إبقاء الراشح بارداً حتى يمكن تحليله في جهاز المطياف الضوئي.

2-طريق اختفاء المواد الغذائية (الاولية) للنباتات

تتطلب هذه الطريقة وجود حالة اتزان متكامل بين التربة والنبات اذ يقاس معدل اختفاء المعادن (المواد المغذية للنبات) من التربة للتعبير عن مقدار ما صنع من غذاء خلال عملية التركيب الضوئي، حيث يستخدم معدنا معينا للقياس مثل **الفوسفور** او **النايتروجين**، حيث تزود التربة بتركيز معين من هذا المعدن مرة واحدة في بداية السنة ويعتبر معدل تناقص تركيز المعدن في فترة زمنية محددة عن مقدار الانتاجية الابتدائية.

3- طريقة قياس الكلوروفيل في البيئة المائية

https://www.youtube.com/watch?v=rXGDg_g-8Ik

يتم حساب كمية الكلوروفيل الموجودة في الطحالب الموجودة بمساحة معينة والتي تعطي صوره واضحة لكميته في النظام البيئي بأكمله والتي تعبير عن مقدار الإنتاجية الأولية في تلك بيئة (البحار او المحيطات على سبيل المثال)، وتعتبر هذه الطريقة من الطرق الدقيقة لقياس الإنتاجية الاولية في البيئات المائية.

اتبعت الطريقة الموضحة من قبل **Lind (1979)** لقياس كمية الكلوروفيل-أ في العوالق النباتية اذ يرشح 1 لتر من عينة ماء يتم اخذها من الحقل (ويفضل حفضها في جو بارد حتى موعد القياس والذي يكون بأسرع وقت ممكن) عبر ورقة ترشيح نوع **GF/C** مع إضافة كميه قليله (1مل) من **$MgSO_4$** الى نهاية **100 مل** من الماء أثناء عملية الترشيح (**لمنع تفسخ الكلوروفيل**)، بعدها تطحن الورقة جيداً مع 10 مل من الأسيتون (90%) وتحفظ في قنينة معتمه في الثلاجة على درجة حرارة 4 °م لمدة ثماني عشرة ساعة مع ملاحظة رج القنينة في فترات متعاقبة، ثم يتم نبذ العينة مركزياً لمدة ربع ساعة على سرعة **3000 دوره/دقيقه** ويوضع الراشح في جهاز قياس الطيف الضوئي لقياس شدة اللون الناتج وعلى طول موجي **665 و750 نانوميتر** ثم أيضاف قطرتان من حامض الهيدروكلوريك (0.1 عياري) الى مستخلص الصبغة ويعاد القياس على الأطوال الموجية السابقة.

يحسب تركيز الكلوروفيل-أ بالاعتماد على المعادلة التالية، ويعبر عن النتائج بـ ملغم/م^3

$$\text{Chl.-a } (mg/m^3) = \frac{26.7\ (665_0 - 665_a) \times v}{V \times L}$$

حيث:

v = حجم الأسيتون المستخدم بعملية الاستخلاص المقاسة مليلتر.
V = حجم العينة المقاسة باللتر.
L = عمق خلية القياس بالسنتيمتر.
665_0= الكثافة الضوئية لمستخلص الأسيتون 90٪ قبل عملية التحمض.
665_a= الكثافة الضوئية لمستخلص الأسيتون 90٪ بعد عملية التحمض.
26.7= ثابت.

مثال/ ما مقدار تركيز الكلوروفيل الموجود في عينة 1 لتر من ماء نهر الفرات إذا علمت ان:

حجم الأسيتون المستخدم بعملية الاستخلاص=10 مل

عمق خلية القياس= 1 سم

الكثافة الضوئية لمستخلص الأسيتون قبل عملية التحمض = 0.11

الكثافة الضوئية لمستخلص الأسيتون 90٪ بعد عملية التحمض 0.01

الجواب:

يمكن حساب تركيز الكلوروفيل في العينات المائية من خلال المعادلة التالية:

$$\text{Chl.-a } (mg/m^3) = \frac{26.7\ (665_0 - 665_a) \times v}{V \times L}$$

$$\text{Chl.-a} = \frac{26.7\ (0.11 - 0.01) \times 10}{1 \times 1}$$

$$\text{Chl.-a} = 26.7\ mg/m^3$$

4-طريقة قياس الاوكسجين المذاب

Method for measuring dissolved Oxygen

يمكن قياس للإنتاجية الأولية بالطريقة الموضحة من قبل

Strickland and Parsons (1972) او **Lind 1979** .

يتم قياس الإنتاجية الأولية باستخدام قناني معتمة وشفافة سعة الواحدة منها 125 مليلتر، اذ يتم طلاء القناني المعتمة بطلاء أسود، ومن ثمَ تغلف بطبقة من ورق الالمنيوم (لضمان عدم نفاذ الضوء الى الداخل القنينة).

تملأ القناني عن طريق غمرها بالوعاء البلاستيكي الذي جمع بوساطته الماء من الحقل ثم تحضن على عمق 15 سم (او عمق مناسب ويفضل على عمق تكون اشعة الشمس فيه كافية) عن طريق تعليقها قطعة خشب مناسبة مربوط بطوافات بلاستيكية أُعدت لهذا الغرض مع مراعاة كون مكان الحضن بعيد عن أي مصدر للظل، تستمر عملية الحضن فترة لا تقل عن ثلاث ساعات لكل محطة، بعد انتهاء فترة الحضن يتم قياس الاوكسجين المذاب بطريقة ونكلر **Winkler 1979** عبر الخطوات التالية:

1- يضاف 1 مل من محلول كبريتات المنغنيز $MnSO_4$

2- بعدها مباشرتا يضاف 1 مل من محلول الازايد القاعدي والذي يتكون من ثلاث مكونات أساسية: أ- هيدروكسيد الصوديوم NaOH

ب- ايوديد الصوديوم NaI

ج- صوديوم ازايد NaN_3

تغلق القنينة بواسطة السدادة وترج جيدا (حوالي 10-20 مره) حتى يتجانس المحلول. بعد فترة من الزمن تتراوح ما بين 15-30 دقيقة تتكون غيمة بيضاء تستقر في الجزء السفلي من القنينة

3- بعدها يضاف 1 مل من حامض الكبريتيك المركز H_2SO_4.

4- تسحيح 100 مل من العينة (المثبتة حقلياً) مع محلول ثايوسلفات الصوديوم القياسي (0.0125 N) (المعايرة مع أيوديد البوتاسيوم (KIO3) بعد إضافة 1 مل من دليل النشأ.

5- تسجل القراءة بعد اختفاء اللون يعبر عن الناتج بوحدات ملغم/لتر mg-at O_2/liter (مع ملاحظة أخذ معدل ثلاث قراءات لكل محطة).

يتم حساب تركيز الأوكسجين المذاب بالاعتماد على المعادلة الأتية:

$$\textbf{mg-at } O_2\textbf{/liter} = 0.1006 \times f \times V$$

حيث: **f**= ناتج معايرة الثايوسلفات مع أيوديد البوتاسيوم (KIO3) = 1

V= حجم الثايوسلفات النازل عند قياس كمية الاوكسجين للعينة

يتم حساب **صافي الإنتاجية الأولية** من خلال المعادلة التالية ويعبر عن النتائج **بالملغرام كاربون/م^3.ساعة** بعد تحويل قراءة الاوكسجين الى كاربون

$$\text{Net photosynthesis, mg C/m}^3 \text{ per hr} = \frac{605 \times f \times [V_{(LB)} - V_{(DB)}]}{N \times PQ}$$

حيث:

f= ناتج معايرة الثايوسلفات مع ايوديد البوتاسيوم (KIO_3) = 1

$\mathbf{V_{(LB)}}$= ناتج قياس الاوكسجين المذاب في القناني الشفافة بعد عملية الحضن

$\mathbf{V_{(DB)}}$= ناتج قياس الاوكسجين المذاب في القناني المعتمة قبل عملية الحضن

N= عدد ساعات الحضن (ثلاث ساعات)

PQ= 1.2

605= ثابت

الإنتاجية الثانوية Secondary productivity

عند متابعة سريان الطاقة داخل النظام البيئي يلاحظ انها تستخدم في تحويل العناصر الى مركبات وجزيئات معقدة وعندها تتشتت الطاقة وتتحرر العناصر مرة اخرى. ونتيجة لهذه العملية تتكون مركبات عضوية مختلفة تعمل كمخزن للطاقة والعناصر داخل النظام البيئي ويسمى هذا الانتاج بالإنتاج الحيوي (**Biological Productivity**)، يتميز الانتاج الحيوي عن الانتاج الكيمياوي او الصناعي بكون الاول عملية مستمرة طبيعية بينما الاخر هي دالة لنهاية التفاعل صناعي.

يمكن تعريف الإنتاجية الثانوية بانها تحول الطاقة الكيمياوية الى طاقة كيمياوية اخرى كطاقة متمثلة (تتحول الطاقة الكيمياوية الى طاقة كيمياوية اخرى تستخدم في عمليات شتى مثل النمو) او طاقة حرارية (تستخدم في عملية التنفس)

يتبين من هذه الحقائق ان كتلة المنتج يجب ان تزيد دائما عن كتلة المستهلك الاولي والتي تزيد كتلتها عن المستهلك الثانوي اخذين بنظر الاعتبار ان الكتلة هي احدى الوسائل للتعبير عن الطاقة التي ينطبق عليها قانون **نيوتن الثاني** والتي تتضح جليا من خلال أهرام الحية الكتلة **Pyramid of Biomass** او ما يسمى **الهرم البيئي الكتلوي** وهو عبارة عن نموذج هندسي لما يجري من تفاعلات وعلاقات بين المستويات الاغتذائية على أساس أوزانها (الوزن الجاف او الطري) وهو تعبير أكثر دقة لما يجري في النظام البيئي فيما يتعلق بسريان الطاقة وخزنها بشكل كتلة حية وغالبا ما يكون الشكل الناتج قريب من الهرم ويساعد على ذلك اذا كان حجم الأفراد متجانسا والعامل الرئيس المسبب للاختلافات هو وزن الماء في الكائنات الحية لذلك يجب تحديد فيما اذا كان الوزن رطب ام جاف ويكون الحساب بأحدهما لجميع المستويات. يمكن تعريف الإنتاجية الثانوية بانها أجيال من الكتلة الحيوية غير ذاتية التغذية (مستهلك)، او هي الكائنات الحية في النظام التي تعمل على نقل المواد العضوية بين مستويات التغذية غير المستوى الأول المنتج والتي تتمثل بكمية الأنسجة الجديدة المكونة في عملية التمثيل الضوئي. وتكون الإنتاجية الثانوية في الكائنات المستهلكة فقط مثل آكلات الأعشاب وآكلات اللحوم.

الطرق المتبعة لقياس الإنتاجية الثانوية طريقة قياس الكتلة الحية Biomass

(ونأخذ مثال هنا العوالق الحيوانية)

1-قياس حجم الماء المزاح Displacement Water Volume

يتم جمع عينات العوالق الحيوانية بواسطة شبكة العوالق وتحفظ مجمدة لحين اجراء عملية الحساب عليها (او تبرد في الحقل لحين العودة للمختبر) بدون إضافة أي مادة كيميائية عليها، إضافة الى قياس حجم الماء المفلتر لمعرفة كمية العوالق المتواجدة في وحدة المساحة.

يتم يقاس حجم الازاحة وذلك بإذابة العينة التي تم تجمدها سابقا بعد ذلك توضع العينة في دورق حجمي volumetric flask سعة 1 لتر (مثلا) ومن ثم يكمل الحجم الى العلامة النهائية بعد ذلك يرشح الماء والعوالق الموجودة في الدورق من خلال شبكة قطر فتحاتها أقل من فتحات الشبكة التي جمعت بها العينة (50 ما يكرون على سبيل المثال) في دورق حجمي اخر سعته 1 لتر أيضاً، ثم يكمل الحجم الى العلامة بوساطة أسطوانة صغيرة مدرجة (10 مل على سبيل المثال) وبذلك فإن حجم الماء المضاف يكون هو حجم الماء المزاح والذي يعادل حجم العوالق الحيوانية، ومن ثم نحول الناتج الى المتر المكعب الواحد (مل/م^3).

2-المحصول الدائم

يتم حساب قيمة المخزون الدائم Standing crop للعوالق الحيوانية وذلك بضرب ناتج قياس حجم الازاحة في عامل التحويل Conversion factor (65) ويعبر عن النتائج بدلالة ملغم كاربون/م^3.

3-الوزن الرطب والوزن الجاف Wet weight and dry weight

يحسب الوزن الرطب والوزن الجاف للعينات وذلك بتسجيل الوزن الجاف والوزن الرطب لورقة الترشيح وهي فارغة باستخدام ميزان حساس، ومن ثم يتم ترشيح العينة خلال ورقة الترشيح الرطبة، بعدها يسجل الوزن الرطب لورقة الترشيح الحاوية على العوالق الحيوانية بعدها يسجل صافي الوزن الرطب للعينة من ناتج طرح قيمة ورقة الترشيح الحاوية على العينة من قيمتها وهي فارغة.

بعد إتمام عملية الترشيح تنقل العينة الى الفرن (Oven) وتجففت تحت درجة حرارة 60 م لمدة 24 ساعة ومن ثم يسجل وزنها الجاف ومن ثم يسجل صافي الوزن الجاف للعينة أيضا من ناتج طرح قيمة ورقة الترشيح الحاوية على العينة من قيمتها وهي فارغة ومن ثم يحول الوزن الرطب والوزن الجاف بدلالة (ملغم/م^3) لصافي وزن العوالق الحيوانية.

مثال/ احسب المحصول الدائم لعينة من العوالق الحيوانية كانت قد سجلت حجم إزاحة للماء في دورق سعته 500 مل مقداره 10 مل إذا علمت ان حجم الماء المفلتر للعينة يساوي 5 م^3؟

الجواب:

نحول النتائج حجم الازاحة من 5 م^3 الى 1 م^3

وذلك بقسمة الناتج من عملية قياس حجم الازاحة على حجم الماء المفلتر

أي $\frac{\text{ناتج قياس حجم الازاحة}}{\text{حجم الماء المفلتر}}$

$$= \frac{10}{5}$$

$$= 2 \text{ مل/م}^3$$

لحساب المحصول الدائم يضرب مقدار حجم الازاحة في عامل التحويل ومقداره 65

وبما ان حجم الازاحة يساوي 2 مل لكل 1 م^3

اذن فان المحصول الدائم= 2 X 65

= 130 ملغم كاربون/م^3