الانتاجية الحيوية Biological Productivity

تستمد الكائنات الحية طاقتها بصورة مباشرة او غير مبشرة من الشمس التي تنبعث منها الطاقة بصورة مستمرة ومستدامة ويمكن استغلال هذه الطاقة اساسا في عملية البناء الضوئي التي تقوم بها النباتات الخضر التي تحتوي على صبغات الكلوروفيل او اليخضور وهذه الصبغات هي التي تقوم بامتصاص الطاقة الضوئية وتحويلها الى طاقة كيمياوية والتي تساهم في عملية تثبيت ثنائي اوكسيد الكربون على هيئة مركب عضوي وهو سكر سداسي (الكلوكوز Glucose) ومن هذا المركب العضوي يمكن ان يتحول الى مركبات عضوية اخرى بوصفها تعمل مخزنا للطاقة والعناصر داخل النظام البيئي ويسمى هذا الانتاج بالانتاج الحيوي.

اولا/ تعريف الانتاجية الحيوية Definition of Biological Productivity

تشير الإنتاجية الحيوية Biological Productivity إلى معدل إنتاج الكائنات الحية لمادة عضوية جديدة (كتلة حيوية Biomass) أو طاقة Energy خلال زمن محدد في منطقة أو نظام بيئي معين. وتقيس هذه الإنتاجية الكمية الإجمالية للمواد الحية، أو عملية تحويل المواد غير العضوية إلى مركبات عضوية، والتي غالبًا ما تُدار بواسطة الكائنات المنتجة الأولية Producers، مثل النباتات والطحالب التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي او من خلال ما تقوم بعض انواع البكتريا مثل بكتريا الكبريت وبكتريا الحديد حيث تعمل على اكسدة بعض المركبات والعناصر كالكبريت والحديد وغيرها لتصنيع مادة عضوية مشابهة لما يحدث في التمثيل الضوئي ولكن بطريقة تسمى التثبيت الكيميائي. وتُعدّ الإنتاجية الحيوية مفهومًا أساسيًا لفهم وظيفة النظام البيئي، ودورة المغذيات، والصحة العامة للبيئة حيث تُحرك شبكاته الغذائية وتؤثر على الدورات البيوجيوكيميائية العالمية، مثل دورة الكربون.

وبقول اخر يعرف علماء البيئة الانتاجية الحيوية الاولية Primary Productivity او الاساسية لاي نطام بيئي او مجتمع حيوي او جزء منهما بأنها المعدل الذي تخزن فيه الطاقة الاشعاعية Solar radiationبواسطة عملية البناء الضوئي Photosynthesis والتركيب او التثبيت الكيميائي Chemosynthesisللكائنات المنتجة وبصورة رئيسة النباتات الخضراء على شكل مادة عضوية يمكن استخدامها كمصدر او مادة غذائية من قبل الاحياء الاخرى وهذا يعني حساب الزمن الذي تجري فيه هذه

العملية الحيوية وان تلك العملية تحصل بدرجات متفاوته في الكائنات المنتجة المختلفة وتتاثر بالعوامل المرتبطة بالكائن الحي من جهة وخصائص الوسط البيئي من جهة اخرى.

تحتوي النباتات سواء البرية منها او المائية على صبغات تمثيلية Chlorophylls متباينة ومتعددة الانواع تختلف في قدرتها على امتصاص وتثبيت ضوء الشمس. كما ان عملية البناء الضوئي بحد ذاتها تشترك في انجازها عدة عوامل مثل الماء وثنائي اوكسيد الكربون والعناصر المغذية الاساسية في التربة. لذلك فالانتاج الحيوي هوعبارة عن عملية مستمرة ترتفع او تنخفض تبعا للمعطيات والظروف المذكورة سابقا لا سيما العمر الفسلجي للكائن الحي فيكون الكائن الحي عالي الانتاجية في السنوات المبكرة من عمره اذا كان معمرا او الايام الاولى من عمره اذا كانت دورة حياته محدودة (كالنباتات الحولية والطحالب و الاعشاب الفصلية وغيرها) ويصبح قليل الانتاج عندما يتقدم بالعمر او تقل مادته الخضراء لاي سبب من الاسباب.

يؤكد علماء البيئة على ضرورة التفريق بين مفهوم الانتاج ومفهوم الانتاجية. فالاول سواء كان كيميائي او صناعي هو عبارة عن عملية محسوبة تبدأ برقم وتنتهي برقم. او انه تفاعل تشترك فيه عدة مواد كيميائية وعناصر تؤدي البنهاية الى انتاج كمية معينة معلومة من مادة كيميائية مستندا الى القوانين الكيميائية والفيزيائية الخاصة بذلك. كأن نقول مثلا ان مصنع لالنتاج المواد البلاستيكية المنزلية يحتاج الى طن من الحبيبات المطاطية الصناعية لانتاج الف قطعة بلاستيكية كما يحتاج الى مواد ملونة واصباغ ومواد اخرى ويحتاج الى افران بدرجات حرارة معينة وهكذا فهذا يسمى انتاج.

اما في البيئة والمجتمعات الحية فاننا نحسب الانتاجية الحيوية من خلال حساب انتاجية النوع الواحد او مجموعة من الانواع المكونة لمجتمع معين خلال مدة او زمن محدد وذلك من خلال حساب المادة العضوية التي قام النظام البيئي وافراه بتثبيتها في انسجة الكائنات المنتجة الموجودة فيه على شكل غذاء عضوي ($C_nH_nO_n$) حيث (n) تمثل عدد الذرات وطبيعة المركب العضوي المثبت خلال ساعات النهار وتوفر الطاقة الشمسية او اكسدة المركبات كما في بعض انواع البكتريا سابقة الذكر.

كما يجب التفريق بين مفهوم الكتلة الحيوية Biomass والمحصول الراهن Standing crop فالكتلة الحيوية هي المادة العضوية الموجودة لجميع الكائنات الحية أو التي وُجدت حديثًا في مساحة أو حجم معين. اما المحصول فهو قياس لتلك الكتلة الحيوية في وقت محدد، مع التركيز غالبًا على المادة الحية

المتوفرة في تلك اللحظة أي انه الجزء المحدد من هذه الكتلة الحيوية الذي ينمو لغرض معين، عادة ما يكون للغذاء أو الوقود، ويُزرع في ظروف خاضعة للرقابة.

وباختصار فالمحصول القائم هو صورة خاطفة للكتلة الحيوية للنظام البيئي، تمثل المادة الحية المتراكمة الموجودة في منطقة محددة في لحظة معينة وبمعنى آخر، الكتلة الحيوية مفهوم أوسع يشمل كل المواد العضوية المتجددة، بينما المحصول هو منتج معين ضمن الكتلة الحيوية، مثل الذرة او القمح أو قصب السكر، يُمكن حصاده واستخدامه لأغراض معينة.

هناك مفهومين او قسمين للانتاجية الحيوية هما:

1. الانتاجية الاولية Primary Productivity (PP) :

يُشكل هذا المصطلح (كما ذكر سابقا) أساس معظم الشبكات الغذائية. وتعرّف بأنها معدل تحويل الكائنات المُنتِجة (النباتات والطحالب) للمواد غير العضوية إلى مواد عضوية، إما من خلال التمثيل الضوئي أو التمثيل الكيميائي تستخدم الكائنات ذاتية التغذية الضوئية (مثل النباتات والعوالق النباتية) عملية البناء الضوئي لتحويل المواد غير العضوية والطاقة (عادةً ضوء الشمس) إلى مادة عضوية.

وتصنيف الإنتاجية الأولية الى قسمين:

أ. الإنتاجية الأولية الاجمالية Gross Primary Productivity (GPP): هي المعدل الكلي للتركيب الضوئي والتثبيت الكيميائي ويمثل مقدار المادة العضوية المثبته في خلايا وانسجة الكائنات المنتجة في زمن محدد في مساحة او حجم معينين متضمنة كمية المادة العضوية المستهلكة كطاقة لغرض تنفس ونمو هذه الكائنات. (إجمالي المادة العضوية المُنتَجة)

ب. الإنتاجية الأولية الصافية Net Primary Productivity (NPP): ويمثل مجموع معدلات خزن المواد العضوية الفائضة عن حاجة النبات ولا تتضمن الطاقة المستهلكة في التنفس والنمو (الطاقة المُتاحة للمستهلكين بعد التنفس).

2. الانتاجية الثانوية Secondary Productivity (SP) : معدل تحويل الكائنات المُستهلكة (الحيوانات) للمواد العضوية من الكائنات الحية الأخرى إلى كتلتها الحيوية.يحدث هذا عندما تستهلك

الكائنات الحية المواد العضوية التي ينتجها المنتجون الأوليون أو المستهلكون الآخرون، محولةً إياها إلى كتلتها الحيوية الخاصة.

قياس الانتاجية الحيوية Biological productivity Measurement

قبل التطرق الى الوسائل والطرائق المعتمدة في قياس وتقدير الانتاجية الحيوية نذكر اولا وحدات قياس الانتاجية الحيوية حيث تقاس:

أ. وحدات الطاقة الحرارية (السعرات) في وحدة المساحة او الحجم في وحدة الزمن فنقول سعرة/متر مربع/ سنة او كيلو سعرة/متر مربع/سنة في البيئة اليابسة ام في البيئة المائية فتكون سعرة/متر مكعب/ سنة او كيلو سعرة/متر مكعب/سنة.

ب. استخدام وزن النسيج المثبت للمادة العضوية (كمية الغذاء المثبت) كوزن في وحدة المساحة او الحجم في الزمن في وحدة فنقول غرام/ متر مربع / سنة او كيلوغرام/ متر مربع/ سنة في البيئة البرية او اليابسة ونقول غرام/متر مكعب/ سنة او كيلو غرام/مترمكعب /سنة في البيئة المائية.

ان من اهم طرائق قياس الانتاجية الحيوية في بيئة اليابسة ما ياتي:

1. طريقة الحصاد Harvest method

تعد طريقة الحصاد الطريقة الافضل لدراسة انتاجية النباتات الحولية او الاعشاب حيث يتم حصد هذه النباتات في متر مربع واحد في نهاية موسم النمو بعد النضج وتجفف العينات تحت درجة حرارة لا تتجاوز 80 درجة مئوية ولعدة مكررات بعد ذلك تسجل الاوزان لكل نموذج ويستخرج المعدل العام بوحدة غم/م^2 او كغم/م^2 او طن/هكتار/سنة.

2. طريقة حساب الكلوروفيل Chlorophyll estimation method

يمكن تطبيق هذه الطريق على الاجزاء الخضراء من النبات لاسيما الاوراق وذلك باخذ كمية من الاوراق وسحقها جيدا في هاون خزفي ثم اضافة محلول مذيب مثل الاسيتون او الميثانول ثم يؤخذ محلول الصبغة بعد ترشيحة وتحسب كمية ونوعية الصبغات الموجودة في المحلول باستخدام جهاز قياس الطيف الضوئي (Spectrophotometer).

3. طريقة قياس ثنائي اوكسيد الكربون CO_2-measurment method

تشير التقديرات الى ان نسبة ثنائي اوكسيد الكربون في الهواء بحدود 0.03 % وعلى الرغم من حدوث تبدلات مستمرة في الغلاف الغازي الا ان نسبة هذا الغاز لا تتغير بشكل يؤثر في انتاجية البيئة اليابسة. تعد طريقة الديناميكية الهوائية Aerodynamic method افضل الطرائق لتقدير نسبة ثنائي اوكسيد الكربون المستهلك (المثبت في النبات) او المنتج (الذي يطرح الى الهواء) بعمليتي البناء الضوئي والتنفس على الترتيب من قبل النباتات في المجتمعات النباتية البرية البسيطة. حيث تعتمد الطريقة على وضع اجهزة قياس ثنائي اوكسيد الكربون في اعلى النباتات ووضع اجهزة اخرى اسفل النباتات ومن خلال حساب الفرق بين قرائتي الجهازين يمكن تقدير كمية ثنائي اوكسيد الكربون المثبت في عملية البناء الضوئي كما يمكن حساب كمية ثنائي اوكسيد الكربون المطروحة من النبات بعملية التنفس. وقد تم تطوير هذه الطريقة لغرض امكانية تقدير تركيز ثنائي اوكسيد الكربون في الغابات والاشجار الكبيرة وذلك بقياس تجمع ثنائي اوكسيد الكربون عموديا عند استقرار حركة الهواء.

4. طريقة تقدير اختفاء المواد الاوليةDisappearance materials method

يمكن ان تقاس الانتاجية في النباتات باسلوب معاكس لعملية تثبيت الغذاء وذلك من خلال تقدير كمية المواد الاولية المغذية التي يتم سحبها من التربة (كالنتروجين والفسفور والكالسيوم وغيرها من المغذيات) لان هذه العناصر لا تسحب م قبل النبات باستمرار انما يحتاجها بشكل واضح اثناء عملية النمو والنشاط الحيوي. حيث تضاف هذه المواد بشكل منظم ومدروس الى التربة كما في عمليات التسميد وبذلك ومن خلال حساب معدل اختفاء هذه المواد من التربة وتناقص تركيزها يمكن حساب معدل التثبيت الضوئي الذي يمثل تخمينا اجماليا لتقدير الانتاجية النباتية.

اما في البيئة المائية فاهم طرق القياس هي:

1. طريقة قياس الرقم الهيدروجيني pH method

تستخدم هذه الطريقة في حساب الانتاجية في الانظمة البيئية المائية بالرغم من وجود صعوبات مرافقة لها بسبب ان الرقم الهيدروجيني (pH) داخل الماء يتغير باستمرار تحت تاثير العديد من العوامل كالتلوث العضوي او زيادة ايونات الكربونات والبيكربونات. ان الاساس الذي تعتمد عليه هذه الطريقة في تحديد وقياس الانتاجية هو كون الرقم الهيدروجيني داخل الماء دالة او مؤشر على محتوى ثنائي اوكسيد الكربون الذائب في الماء لان البيكربونات HCO_3 في الوسط المائي تقوم بوظيفتين هما تزويد الماء بايون الهيدروجين لغرض تكوين محلول منظم وتزويده بثنائي اوكسيد الكربون المطلوب لانجاز عملية البناء الضوئي وتحصل هذه العملية بصورة متبادلة للمحافظة على حالة التوازن كما في المعادلة:

$$CO_2+H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3+H+HCO_3$$

2. طريقة النشاط الاشعاعي للمواد Radiation materials method

نتيجة للتطور التقني في استخدام النظائر المشعة في كافة المجالات اصبح من الممكن استعمال اثار النشاط الاشعاعي في الدراسات البيئية وهناك فرع متخصص في علوم البيئة يعنى بهذه الدراسات يسمى علم البيئة الاشعاعي Radioecology ودراسة الانتاجية الحيوية هي واحدة من تطبيقات هذا العلم ويتم ذلك بادخال نظائر العناصر المشتركة في عملية البناء الضوئي مثل الكربون C^{14} والمغذيات كالفسفور المشع P^{32} من خلال تجهيزها في الوسط المائي وبذلك تقوم النباتات المائية لاسيما الطحالب والديتومات بامتصاصها وسحبها من الماء بعملية التغذية والتثبيت كجزء من متطلبات عملية البناء الضوئي وبعد ذلك تجمع النباتات المدروسة وتجفف وباستخدام اجهزة الكشف عن العناصر المشعة يمكن تقدير كمية هذه العناصر التي تم تثبيتها من قبل النبات.

3. طريقة قياس الاوكسجين O_2-measurment method

توجد هناك علاقة تكافؤ بين الاوكسجين والغذاء المنتج في النباتات. ان هذه العلاقة الطردية بين الاوكسجين الناتج من عملية البناء الضوئي وكمية المادة العضوية المتكونة داخل انسجة النبات يمكن ان

تسنخدم كدالة لتقدير انتاجية ذلك النبات. ومن الطرائق الشائعة لتقدير انتاجية البيئة المائية باستخدام القناني المضيئة والمعتمة Light and dark bottles التي استخدمها العالم Winkler.

مستويات الانتاجية في النظم البيئية Productivity levels in ecosystems

تقسم النظم البيئية في الطبيعة على اساس كمية الانتاج العضوي المثبت والقدرة على استغلال الطاقة البينية المتاحة وتويلها الى طاقة غذائية الى اربعة مستويات هي:

1. النظم البيئية عالية الانتاجية Highly productive ecosystems

هي النظم البيئية التي تتراوح الانتاجية الحيوية فيها والمقاسة على اساس استخدام وحدات الطاقة الحرارية في وحدة المساحة في وحدة الزمن ما بين عشرة الاف الى خمسة وعشرون الف كيلوسعرة/متر مربع/سنة وتتمثل هذه الانظمة في المناطق المعتدلة والاستوائية التي تكون فيها درجات الحرارة والرطوبة غير ضاغطة بشكل مؤثر على الكائنات المنتجة وكذلك تمتاز بوفرة المغذيات النباتية والمعدنية باستمرار ومثالها الغابات الاستوائية المطيرة والمحميات البيئية والاراضي الخاضعة لعمليات المكننة الزراعية.

2. النظم البيئية متوسطة الانتاجية Medium-productivity ecosystems

وتشمل النظم والمواقع البيئية التي تكون فيها الانتاجية الكلية تتراوح بين ثلاثة الاف الى عشرة الاف كيلوسعرة/متر مربع/سنة. تتميز هذه النظم بكون عوامل الحرارة والرطوبة والمغذيات لا تكون محدودة بشكل يؤثر على المنتجات مثالها مناطق الغابات المعتدلة والبحيرات قليلة العمق او الضحلة جيدة المحتوى العضوي وكذلك اراضي الحشائش في المناطق الرطبة والمناطق الساحلية وبعض المزروعات الحقلية المسيطر عليها.

3. النظم البيئية قليلة الانتاجية Low-productivity ecosystems

تتراوح الانتاجية في مثل هذه النظم بين خمسمائة الى ثلاثة الاف كيلوسعرة/متر مربع/سنة وتتميز هذه النظم البيئية بكون العوامل المساعدة لانتاج الطاقة لا تكون ميسرة بدرجة كافية للاحياء المنتجة وان تأثير العوامل البيئية المحيطة يكون ملحوظا اثناء تغير الفصول لاسيما فصول النمو ويمكن مشاهدة مثل هذه النظم البيئية في مناطق الاحراش (السفانا) المختلفة والغابات فقيرة الغطاء النباتي ومناطق الشجيرات

والاراضي الزراعية ذات الترب الفقيرة كما في الاراضي الرملية وكذلك في المسطحات المائية فقيرة الانتاجية كالبحيرات والواحات الصحراوية.

4. النظم البيئية منخفضة الانتاجية (الفقيرة) Poorly productive ecosystems

يكون مستوى الانتاجية في مثل هذه النظم دون خمسمائة كيلوسعرة/متر مربع/سنة وهي نظم تمتاز بكونها متطرفة المناخ وقاسية الظروف البيئية والتي تظهر فيها بوضوح عمليات الاجهاد البيئي والفسلجي للكائنات المنتجة سواء بسبب مصادر الطاقة الشمسية من حيث الشدة اوالانخفاض الواضح او من العوامل البيئية المساعدة كالحرارة والرطوبة والمغذيات. اذ تصل الى مستويات تفوق او تنخفض عن مستوى التحمل في بعض اوقات السنة متمثلة بالجفاف الشديد او البرد القارس او الحرارة الشديدة. توجد هذه النظم في مناطق الصحارى الجافة والصحارى الباردة والناطق المفتوحة في البحار والمحيطات والبحيرات الصحراوية اذ تتميز هذه المناطق بقلة التنوع الحيوي وسيادة الانواع المرنة بيئيا.