الفصل الرابع

بيئة الأحياء الدقيقة
Microbial Ecology

تضم الأحياء الدقيقة مجموعة هائلة من الكائنات الحية تشمل البكتيريا، والبكتيريا الزرقاء، والفطريات، والطحالب. وهذه الكائنات الحية الدقيقة أوجدها الله في هذا الكون الفسيح لتشكل جزءاً مهماً وأساسياً في البيئة والنظام البيئي ممثلة للمحللات Decomposers. وأودع فيها الخالق سبحانه وتعالى من الخصائص والصفات ما يمكنها من القيام بدورها في النظام البيئي على أكمل وجه وبكل مهارة واقتدار، مثل إفرازها لعدد كبير من الأنزيمات والأحماض العضوية. وسوف أستعرض في الفصول التالية من هذا الكتاب أبرز الصفات والخصائص لجميع الكائنات الحية الدقيقة، والأهمية الاقتصادية لها في حياة الإنسان. وسيتم التطرق بشيء من التفصيل إلى البكتيريا؛ لأهميتها الاقتصادية الكبيرة؛ ولكونها أوسع الكائنات الحية الدقيقة انتشاراً؛ وأحد المحللات الرئيسة في النظام البيئي.

يطلق العلماء لفظ البيئة على مجموع الظروف والعوامل الخارجية التي تعيش فيها الكائنات الحية وتؤثر في العمليات الحيوية التي تقوم بها. ويمكن تعريف علم البيئة

بأنه (العلم الذي يهتم بدراسة التفاعلات المتبادلة بين الكائن الحي وعوامل الوسط الذي يعيش فيه). وقد ترجمت كلمة Ecology إلى اللغة العربية بمصطلح "علم البيئة" الذي وضعه العالم الألماني إرنست هيجل Ernest Haeckel عام ١٨٦٦م بعد دمج كلمتين يونانيتين، هما Oikes ومعناها مسكن، و Logos ومعناها علم، وعرَّفه بأنه العلم الذي يدرس علاقة الكائنات الحية بالوسط الذي تعيش فيه ويهتم هذا العلم بالكائنات الحية وتغذيتها، وطرق معيشتها ووجودها في مجتمعات أو تجمعات سكنية أو شعوب، كما يتضمن أيضاً دراسة العوامل غير الحية، مثل: خصائص المناخ (الحرارة، الرطوبة، الإشعاعات، الغازات والمياه والهواء) والخصائص الفيزيائية والكيميائية للأرض والماء والهواء.

ويتفق العلماء في الوقت الحاضر على أن مفهوم البيئة Concept of Ecology يشمل جميع الظروف والعوامل الخارجية التي تعيش فيها الكائنات الحية وتؤثر في العمليات التي تقوم بها (Mick Crawley ١٩٩٦). فالبيئة - بالنسبة للإنسان - هي الإطار الذي يعيش فيه الذي يحتوي على التربة والماء والهواء وما يتضمنه كل عنصر من هذه العناصر الثلاثة من مكونات جمادية وكائنات حية، وما يسود هذا النظام من مظاهر شتى من طقس ومناخ ورياح وأمطار وجاذبية ومغناطيسية، ومن علاقات متبادلة بين هذه العناصر. فالحديث عن مفهوم البيئة إذن هو الحديث عن مكوناتها الطبيعية وعن الظروف والعوامل التي تعيش فيها الكائنات الحية.

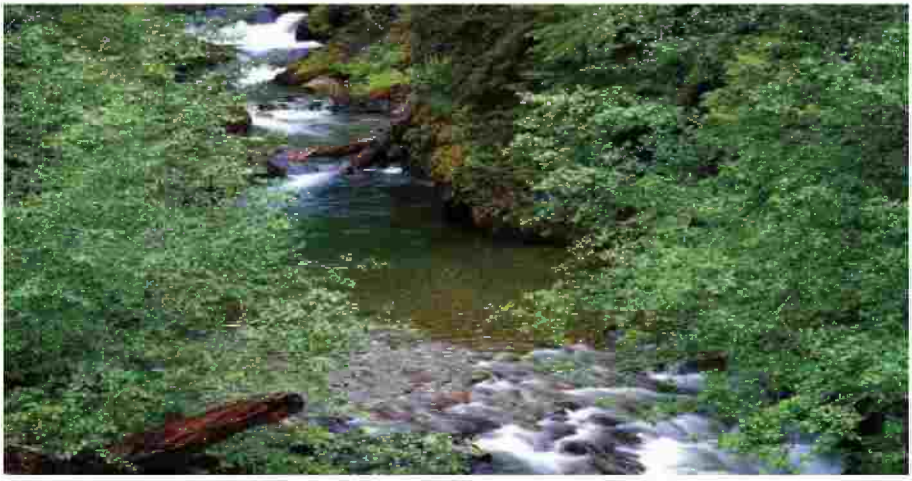
والبيئة هي كل متكامل يشمل إطارها الكرة الأرضية، أو لِنقُل: كوكب الحياة، وما يؤثر فيها من مكونات الكون الأخرى. ومحتويات هذا الإطار ليست جامدة بل إنها دائمة التفاعل مؤثرة ومتأثرة. ويعد الإنسان من مكونات البيئة فنجده يتفاعل مع مكوناتها حوله في الوسط الذي يعيش فيه يتأثر بها ويؤثر فيها، وعلم البيئة ينقسم إلى

قسمين أساسيين هما: علم البيئة الذاتية Autecology وعلم البيئة الاجتماعية Synecology.

(٤,١) النظام البيئي Ecosystem

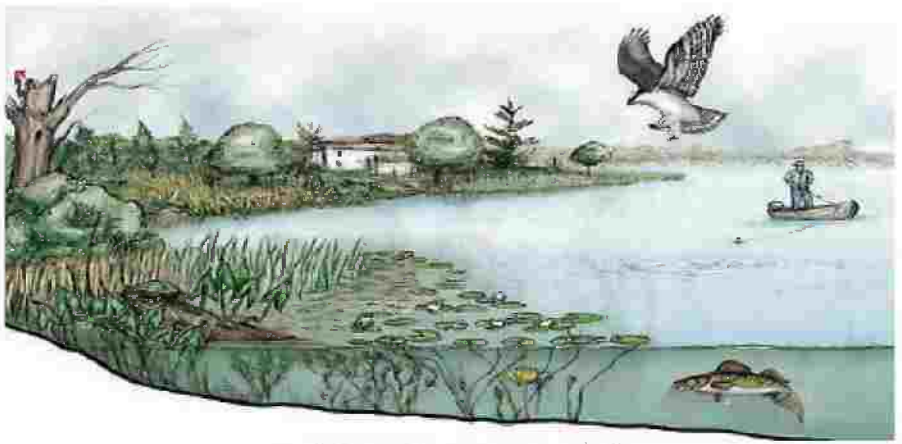
البيئة هي الطبيعة، بما فيها من أحياء وغير أحياء، أي العالم من حولنا فوق الأرض. وعلم البيئة هو العلم الذي يحاول الإجابة عن بعض التساؤلات عن كيف تعمل الطبيعة وكيف تتعامل الكائنات الحية مع المكونات الأخرى أو مع الوسط المحيط بها سواء الكيماوي أو الطبيعي. وهذا الوسط يطلق عليه النظام البيئي Ecosystem.

إن البيئة مكونة من عدد من النظم البيئية التي تشكل في مجموعها البيئة التي تميز هذه المنطقة أو تلك. يطلق العلماء لفظ النظام البيئي على أي مساحة من الطبيعة وما يحتوي عليها من كائنات حية، ومواد غير حية وتفاعلها مع بعضهما، ومن أمثلة النظم البيئية: الغابة، والبحيرة، والبحر، والنهر، كما في الشكل رقم (٤,١).



الشكل رقم (٤,١). نظام بيئي في نهر.

لهذا نجد أن النظام البيئي يتكون من مكونات حية وأخرى ميتة أو جامدة. فعلم البيئة هو دراسة الكائنات الحية وعلاقتها بما حولها من مكونات الأرض. والنظام البيئي هو كل العوامل غير الحية والمجتمعات الحية للأنواع في منطقة ما. والنظام البيئي يقوم تلقائياً بعملية التدوير للأشياء التي استعملت ليعيدها لأشياء نافعة مرة أخرى في البيئة المحيطة (الشكل رقم٤,٢).



الشكل رقم (٤,٢). مخطط للنظام البيئي.

وفي النظام البيئي هناك ما يسمى بالسلاسل الغذائية، ويتم في السلسلة الغذائية انتقال الطعام بين الكائنات الحية من نباتات وحيوانات، وتعد صورة لإظهار تدفق الطاقة الغذائية في البيئة حيث فيها يتوجه الطعام من كائن حي لآخر ليعطي طاقة للحيوان الذي يهضم الطعام. ومن الجدير بالذكر أن كل سلسلة غذائية تبدأ بالنبات الأخضر الذي يأخذ الطاقة الضوئية من الشمس ويحولها إلى طاقة كيميائية في صورة مركبات غذائية تختزن في أنسجة جسمه. والحيوانات -بما فيها الإنسان- لا يمكنها صنع غذائها. فلهذا لابد أن تحصل على طاقاتها من النباتات (المنتجة) أو الحيوانات

الأخرى؛ لهذا تعتبر الحيوانات مستهلكة. وبعد موت الحيوانات والنباتات يتم تحللهما بواسطة الكائنات الحية الدقيقة (بكتيريا وفطريات) ليصبحا جزءاً من الأرض بالتربة لتمتصها النباتات مرة أخرى لصنع غذاء جديد. وهذا ما نسميه سلسلة الغذاء.

ومن العوامل الطبيعية في النظام البيئي التي لها تأثيرها: ضوء الشمس، والظل، ومتوسط درجة الحرارة، والتوزيع الجغرافي، والرياح، والارتفاعات، والمنخفضات، وطبيعة التربة والمياه (مجاهد وآخرون، ١٤٠٨هـ). ومن العوامل البيئية المؤثرة على النظام البيئي: مستوى المياه والهواء في التربة، ومعدل ذوبان المغذيات النباتية في التربة والمياه، ووجود المواد السامة بهما وملوحة المياه للبيئة البحرية، والأكسجين الذائب بها.

وفي البيئة نجد كائنات حية تصنع المواد، وأخرى تلتهم الغذاء، وثالثة تعيش متطفلة، وتحلل المواد أو تفترس الآخرين. والنظام البيئي يتبع الدورات التدويرية كالدورة الكيماوية الحيوية، حيث تأخذ الكائنات الحية موادها الغذائية لتعيش وتنمو ثم تعيدها للبيئة بعد موتها وتحللها. كما نجد أن الكربون له دورته في البيئة حيث يتكون ثاني أكسيد الكربون الذي يتصاعد في الجو أو يذوب في الماء. ويعتبر الكربون المادة البنائية الأساسية للنشويات، والدهون، والبروتينات، والأحماض النووية، وغيرها من المواد العضوية الضرورية للحياة. وهناك أيضاً دورة النيتروجين الذي يصنع منه البروتين والأحماض الأمينية. كما أن تثبيت النيتروجين من الجو للتربة يخصب النباتات، وهذا يتم عن طريق بكتريا التربة أو الماء (Al-Falih, ٢٠٠٢). كما نجد تدوير الفسفور في ذوبانه في الماء وتكوين العظام وفي الأحياء وقشرة الأرض. ونجد دورة الكبريت الذي يتصاعد من البراكين، أو تحلل المواد العضوية، في شكل غاز كبريتيد الكبريت، أو في شكل كبريتات كما في رذاذ مياه البحر، أو من خلال الأنشطة البشرية.

ودورة الأكسجين الذي يتحرر من عملية البناء الضوئي في النباتات، ودورة المياه التي لها أثرها في تحرير العناصر الغذائية في النظام البيئي أو خارجه. إن التفاعل بين مكونات البيئة عملية مستمرة تؤدي في النهاية إلى احتفاظ البيئة بتوازنها ما لم ينشأ اختلال نتيجة لتغير بعض الظروف الطبيعية كالحرارة والأمطار أو نتيجة لتغير الظروف الحيوية أو نتيجة لتدخل الإنسان المباشر في تغير ظروف البيئة.

فالتغير في الظروف الطبيعية يؤدي إلى اختفاء بعض الكائنات الحية وظهور كائنات أخرى، مما يؤدي إلى اختلال في التوازن الذي يأخذ فترة زمنية قد تطول أو تقصر حتى يحدث توازن جديد. وأكبر دليل على ذلك هو اختفاء الزواحف الضخمة نتيجة لاختلاف الظروف الطبيعية للبيئة في العصور الوسطى؛ مما أدى إلى انقراضها فاختلت البيئة ثم عادت إلى حالة التوازن في إطار الظروف الجديدة بعد ذلك. كذلك فإن محاولات نقل كائنات حية من مكان إلى آخر والقضاء على بعض الأحياء يؤدي إلى اختلال في التوازن البيئي.

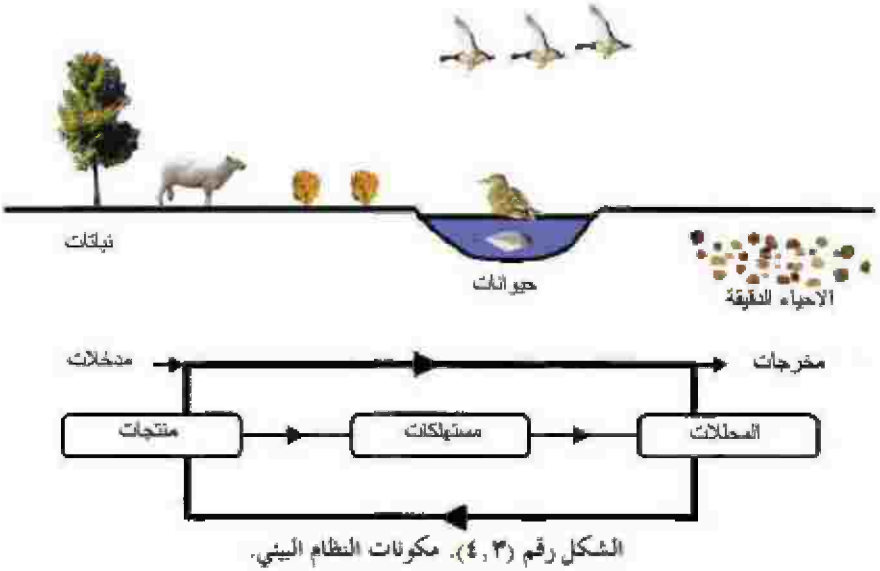
(٤,٢) مكونات النظام البيئي

تقسم مكونات النظام البيئي إلى مجموعتين رئيستين هما:

١- مكونات غير حية (العوامل الطبيعية): وهي مجموعة من العوامل غير الحية التي تؤثر في حياة الكائنات الحية، وتحدد نوعيتها وأماكن وجودها، كما تحدد نوعية العلاقات بين الكائنات الحية.

٢- مكونات حية (العوامل الحيوية): وهي جميع الأحياء في النظام البيئي. ويشمل ذلك أنواعاً مختلفة من الحيوانات والنباتات والكائنات الحية الدقيقة والإنسان.

ويطلق على مجموعة الكائنات الحية التي تعيش في نظام بيئي وترتبط فيما بينها بعلاقات متبادلة اسم "المجتمع الحيوي". ففي نظام بيئي -كبحيرة مثلاً- تعيش مجموعة الكائنات الحية التي في البحيرة وترتبط فيما بينها بعلاقات غذائية تسمى مجتمعاً حيوياً كما في الشكل رقم (٤,٣).



الشكل رقم (٤,٣). مكونات النظام البيئي.

ويمكن تقسيم مكونات النظام البيئي على النحو الآتي:

(٤,٢,١) أولاً: مكونات غير حية Abiotic Components

المكونات غير الحية في النظم البيئية متنوعة وتتباين في نسبها من نظام بيئي لآخر حسب طبيعة كل نظام وتشتمل على ما يأتي:

- **مواد غير عضوية:** مثل المعادن والماء وغاز الأوكسجين وغيره من الغازات الأخرى.

- **مواد عضوية:** مثل البروتينات والكربوهيدرات والدهون، والدبال.
- **عوامل بيئية:** وتتضمن الظروف المناخية، مثل: الحرارة والرطوبة والمطر والضوء والرياح وغير ذلك من العوامل إضافة إلى عوامل التربة.

(٤,٢,٢) ثانياً: مكونات حية Biotic Components

يقصد بالمكونات الحية في النظم البيئية المنتجات Producers والمستهلكات Consumers. فالمنتجات هي كائنات ذاتية التغذية أي أنها تستطيع أن تبني غذاءها بنفسها من مواد غير عضوية بسيطة بواسطة عملية البناء الضوئي، وتتمثل في النباتات الخضراء (الشكل رقم ٤,٤).

الشكل رقم (٤,٤). المنتجات (النبات الأخضر).

أما المستهلكات Consumers فهي كائنات غير ذاتية التغذية حيث إنها لا تستطيع أن تكون غذاءها بنفسها نظراً لخلوها من صبغ الكلوروفيل (صبغ اليخضور)، ويمكن تقسيمها إلى قسمين:

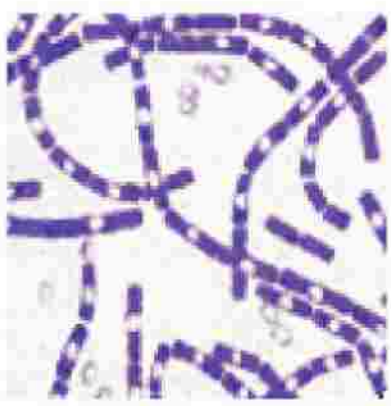
(٤,٢,٢,١) مستهلكات كبيرة Macroconsumers

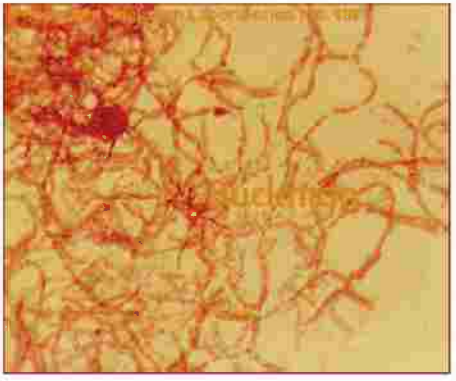
وهي الكائنات التي تتغذى على غيرها من الكائنات وتضم :

المستهلكات الأولى Primary Consumers التي تسمى بآكلات العشب Herbivorous مثل الوضيحي والأغنام والإبل ؛ والمستهلكات الثانية Secondary Consumers وهي آكلات اللحوم Carnivores مثل الأسد والذئب، هذا بالإضافة إلى آكلات العشب واللحوم Omnivorous مثل الإنسان، وتسمى مستهلكات ثالثة.

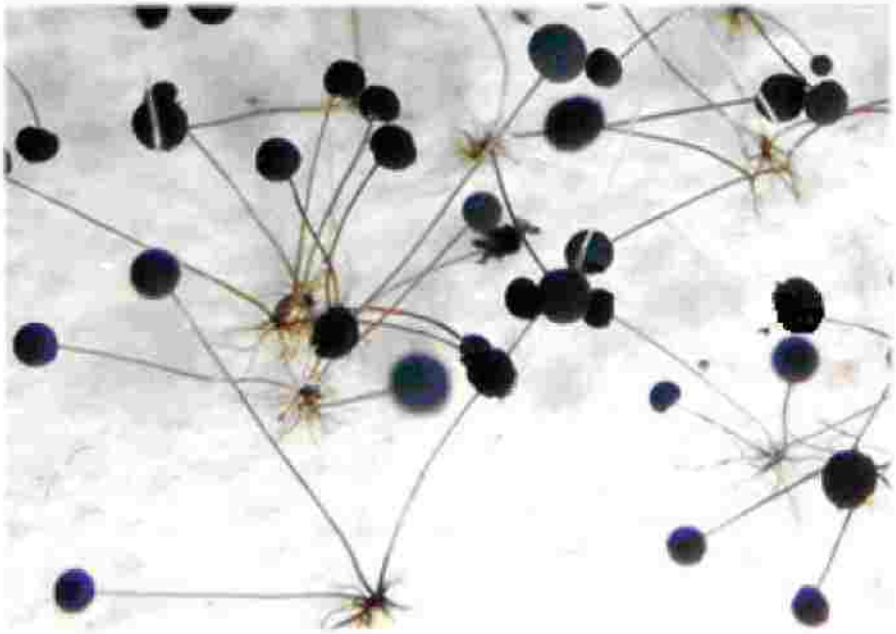
(٤,٢,٢,٢) مستهلكات صغيرة Microconsumers

وتعرف بالكائنات المحللة Decomposers ومن أمثلتها البكتيريا (الشكل رقم ٤,٥)، والفطريات (الشكل رقم ٤,٦)، وبعض الكائنات المترممة، وهذه الكائنات تعتمد في غذائها على تفكك المواد العضوية المعقدة في بقايا الكائنات الميتة وتحولها إلى مركبات بسيطة يسهل امتصاصها من قبل النبات مرة ثانية.





الشكل رقم (٤,٥). أنواع من البكتيريا.



الشكل رقم (٤,٦). فطر عفن الخبز.

(٤,٣) خصائص النظام البيئي

(٤,٣,١) أولاً: تعدد مكوناته

يتكون النظام البيئي من العديد من الكائنات الحية والعوامل غير الحية كما سلف ذكره، وتتفاعل مكونات هذا النظام مع بعضها البعض لتشكل كلاً متوازناً ومستقراً، حيث تقوم النباتات بتثبيت الطاقة الشمسية وصنع المواد الكربوهيدراتية فتدخل بذلك الكربون والطاقة في حلقة الحياة، ثم تنتقل الطاقة التي ثبتتها النباتات إلى أجسام الحيوان والإنسان عن طريق الأكل، ثم تقوم الكائنات المحللة بتفكيك بقايا وجثث تلك الكائنات الحية وتحولها إلى مواد بسيطة تستعملها النباتات في غذائها مرة

أخرى. وللمحللات أهمية خاصة في كل نظام بيئي إذ إنها تسمح بإعادة استعمال المواد الغذائية بشكل مستمر وبذلك يتم ضمان استمرار النظام البيئي.

(٤,٣,٢) ثانياً: استعمال الفضلات

من خصائص النظام البيئي أنه يستخدم فضلاته، فإذا أخذنا النظام البيئي البحري مثلاً فإننا نجد أن الأسماك تخرج فضلات عضوية تقوم البكتيريا بتحويلها إلى مركبات غير عضوية تستعملها الطحالب التي تتغذى عليها الأسماك، وهكذا لا تبقى فضلات في ماء البحر الذي يظل محتفظاً بصفائه.

ونشير في هذا المجال إلى أن قدرة النظام البيئي على التخلص من الفضلات التي ترد عن طريق نشاط الإنسان- قدرة محدودة؛ وأن تجمع هذه الفضلات دون أن تدخل في حلقة من التفاعلات الحيوية يشكل خطراً، ونذكر على سبيل المثال تراكم المواد البلاستيكية غير القابلة للتحلل الذي يعطل النظام البيئي، وتراكم مخلفات المصانع في مياه البحيرات يؤدي إلى القضاء على الكائنات الحية.

(٤,٣,٣) ثالثاً: التوازن البيئي

تخضع البيئة لقوانين وعلاقات معقدة تؤدي في نهايتها إلى وجود اتزان بين جميع العناصر البيئية حيث تترابط هذه العناصر بعضها ببعض في تناسق دقيق يتيح لها أداء دورها بشكل وبصورة متكاملة. فالتوازن معناه قدرة البيئة على إعالة الحياة على سطح الأرض دون مشكلات أو مخاطر تمس الحياة البشرية. فالمواد التي تتكون منها النباتات، يتم امتصاصها من التربة، ليأكلها الحيوان الذي يعيش عليه الإنسان. وعندما تموت هذه الكائنات تتحلل وتعود إلى التربة مرة أخرى. فالعلاقة متكاملة بين جميع

العناصر البيئية. فأشعة الشمس، والنبات، والحيوان، والإنسان، وبعض مكونات الغلاف الغازي في اتزان مستمر.

ولو تصورنا أن بكتيريا واحدة من بكتيريا الكوليرا تكاثرت بالانقسام لمدة ٢٤ساعة وكانت جميع ظروف الحياة ملائمة؛ لبلغ عدد الأفراد ما يقارب من ١٠×١٦^{١٤} أو ما يقدر وزنه نصف رطل تقريباً.

ولو تصورنا أن ذكراً وأنثى من الضفادع أتيحت لهما ولذريتهما جميع الظروف الملائمة؛ لنتج عن ذلك بعد خمسة أجيال نحو بليوني ضفدعة، غير أن كل هذا لا يتحقق في الحياة؛ لأن الظروف الملائمة لا تتجمع لكائن حي لمدة طويلة، حيث إن هناك عوامل بيئية طبيعية وحيوية تحد من زيادة النسل إلى هذه الدرجة التقديرية حتى إلى درجة قريبة منها. فقدرة الموارد الطبيعية على إمداد الكائنات الحية بمتطلباتها تصبح في بعض الأحيان محدودة، وكثيراً ما يحدث أن يصبح الغذاء أو الماء أو الشمس أو العناصر المعدنية محدودة (في حالة النبات) غير متوفرة بصورة مواتية لأي زيادة في أعداد أفراد جماعة معينة من الكائنات.

وتجب الإشارة هنا إلى أن التوقف في زيادة عدد أفراد إحدى الجماعات لا يكون مرده التحديد المطلق لمصادر الغذاء فقط، بل يعود أيضاً إلى التنافس الذي يحصل بينها وبين كائنات حية أخرى على هذه المصادر، والتوازن الذي تحدثه عوامل البيئة يعرف بالتوازن الطبيعي.

وتقوم الكائنات آكلة اللحوم والمتطفلات بدور مهم وفعال في حفظ التوازن بين الكائنات الحية، فعندما يزداد عدد جماعة ما من الكائنات، فإن هناك أنواعاً كثيرة من كائنات أخرى تكون على أهبة الاستعداد لحصد أفراد هذه الجماعة، واستعمالها كغذاء لها، ومن ثم تقوم بحفظ التوازن بطريقة بيولوجية، وهذا ما يعرف بالتوازن

البيولوجي. ومن المعروف أن عدد أفراد نوع ما من الكائنات الحية يتوقف على معدل سرعة تكاثره، ومدى مقاومة البيئة الطبيعية والحيوية لهذا الكائن. وبديهي أن التفاعل بين مكونات البيئة عملية مستمرة تؤدي في نهاية الأمر إلى احتفاظ البيئة بتوازنها ما لم يطرأ أي تغير طبيعي أو حيوي يؤدي إلى الإخلال بهذا التوازن، فإذا ما اختل توازن نظام بيئي ما؛ تطلب الوصول إلى توازن جديد فترة زمنية، تطول أو تقصر حسب الأثر الذي أحدثه الاختلال.

إن أي نظام بيئي على جانب من التعقيد لما يحتويه من كائنات حية متنوعة وعلاقات متبادلة فيما بين الكائنات من جهة، وبينها وبين الظروف البيئية من جهة أخرى ، ومعنى هذا وجود شبكة من العلاقات هي أساس التنظيم الذاتي المتبادل بين الطبيعة والحياة. وهذا التعقيد هو أحد العوامل الأساسية في سلامة كل نظام بيئي، إذ إنه يحد من أثر التغيرات البيئية، أما إذا تتابعت التغيرات البيئية فإنها تحدث خلخلة في توازن النظام البيئي واستقراره.

إن التفاعل بين مكونات البيئة عملية مستمرة تؤدي في النهاية إلى احتفاظ البيئة بتوازنها، ما لم ينشأ اختلال نتيجة لتغير بعض الظروف الطبيعية، كالحرارة، والأمطار؛ أو نتيجة لتغير الظروف الحيوية، أو نتيجة لتدخل الإنسان المباشر في تغير ظروف البيئة. فالتغير في الظروف الطبيعية يؤدي إلى اختفاء بعض الكائنات الحية وظهور كائنات أخرى، مما يؤدي إلى اختلال في التوازن البيئي الذي يأخذ فترة زمنية – قد تطول أو تقصر– حتى يحدث توازن جديد.

(٤,٤) العلاقة بين الأحياء الدقيقة والكائنات الحية الأرقى

في النظام البيئي يطلق على العلاقة بين الأحياء الدقيقة والكائنات الحية الأرقى مصطلح العوامل الأحيائية Biotic factors، وهي من العوامل المهمة التي تؤثر على الكائنات الحية الدقيقة. إذ لا يخلو كائن حي من وجود صلة بينه وبين كائن حي آخر سواء أكان نباتاً أم حيواناً، فمثلاً تعتمد النباتات الفصيلة البقولية Leguminosea على بكتيريا العقد الجذرية في الحصول على احتياجاتها من النيتروجين، كما يوجد بين الكائن الحي وبين ما يجاوره من كائنات حية أخرى تنافس في الحصول على ما يلزمها من مواد غذائية وماء وضوء.

تتباين العلاقة بين الكائنات الحية، فهي إما أن تكون مبنية على تبادل المنفعة بين الطرفين أو تعود بالنفع على أحدهما والضرر على الآخر. فتلعب الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة دوراً مهماً في تحليل بقايا النباتات والحيوانات، وينتج عن ذلك تحرر العناصر الغذائية في التربة بالإضافة إلى تكوين ثاني أكسيد الكربون والمواد العضوية المستمدة التي تساعد في تحلل التربة. وبذلك تساهم الأحياء الدقيقة في توفير العناصر الغذائية اللازمة لنمو الكائنات الحية الأخرى الأرقى منها المتمثلة في النباتات بجميع أنواعها.

هذا بالإضافة إلى العديد من العلاقات الغذائية التي تنشأ بين الكائنات الحية الدقيقة والكائنات الحية الأرقى، وفيما يأتي بعضها بإيجاز:

(٤,٤,١) الإفادة أو المعايشة Commensalism

في هذا النوع من العلاقة يحصل أحد الشركاء على منفعة بينما لا يحصل الطرف الآخر على أي منفعة، ولكنه غالباً لا يضار من هذه العلاقة. حيث يعيش كائن حي

مع آخر مضيف ويعود النفع كله على الكائن المتعايش أما المضيف فلا يستفيد أو يضار، من أمثلة المعايشة تلك العلاقة بين بعض الطحالب والنباتات التي تتخذها دعامة تتسلق عليها، وكذلك بين فطر الكمأة Truffles ونبات الأرقة *Helianthemum lippii*.

(٤,٤,٢) التكافل Symbiosis

خلال هذه العلاقة تتبادل بعض النباتات المنفعة ؛ إذ يعتمد كل نبات على الآخر في الحصول على نوع من الغذاء دون أن يتضرر أحدهما، وتعرف هذه الطريقة من المعيشة بالتعاون أو التكافل (Symbiosis). وهو أن يتشارك كائنان في تبادل المنفعة بينهما دون أن يلحق بأيهما ضرر. وهناك أمثلة عديدة لكائنات حية دقيقة تتبع هذه الطريقة في معيشتها، مثل:

١- الأشنات (Lichens): يتكون جسم الأشنة من فطر وطحلب يعيشان معاً، حيث تتحد فطرة أو أكثر مع طحلب أو أكثر، ويمد الطحلب الفطرة بالمواد الكربوهيدراتية خلال عملية البناء الضوئي التي يقوم بها لاحتوائه على اليخضور، بينما يقوم الفطر بحماية جسم الأشنة وإمداد الطحلب بالماء والمواد الغذائية الأخرى، وباتحاد الاثنين معاً تستطيع الأشنة أن تقاوم ظروف الجفاف القاسية التي تتعرض لها (الشكل رقم ٤,٧).

٢- الجذر فطريات Mycorrhiza وبكتيريا العقد الجذرية: يوجد نوعان من الجذر فطريات، أحدهما خارجية (Exotrophic) ؛ وأخرى داخلية (Endotrophic)، ففي الأولى تغطي الخيوط الفطرية الجذر مكونة غطاءً كاملاً حوله دون أن تخترق أنسجته، ولكن تحل محل الشعيرات الجذرية وتقوم بعملية الامتصاص. وفي جذر

الفطريات الداخلية تعيش بعض الخيوط الفطرية في دخل خلايا القشرة للجذر، وتكون على اتصال بالخيوط الفطرية الموجودة على سطح الجذر، ويتم تبادل المواد الغذائية بين الفطرة والنبات الراقي، وبهذا الاتحاد يستطيع الطرفان مقاومة الظروف القاسية أكثر مما لو كانا منفردين.

الشكل رقم (٤,٧). أشنات تمثل علاقة تبادل المنفعة (التكافل).

٣- في نباتات العائلة البقولية يظهر على جذورها عقد بكتيرية (Bacterial nodules) ويمد النبات الراقي البكتيريا العقدية Rhizobium التي تعيش في هذه العقد بالمواد الكربوهيدراتية، وفي مقابل ذلك تمد البكتيريا النبات بالمواد النيتروجينية (النترات Nitrate) التي تثبتها من النيتروجين الجوي خلال عملية التآزت Nitrogen fixation (Al-Falih ٢٠٠٢).

(٤,٤,٣) التطفل Parasitism

وهو أن يعتمد كائن حي (الطفيل) في الحصول على غذائه على كائن حي آخر (العائل) مسبباً له الضرر. فالتطفل هو علاقة سلبية بين كائنين مختلفين يستفيد خلالها أحدهما ويتضرر الكائن الحي الآخر. فهي طريقة من المعيشة يكون فيها أحد الكائنات الحية متطفلاً على الآخر، ويعرف الأول باسم الطفيل (Parasite)، والثاني باسم العائل (Host)، ويستفيد الطفيل من العائل بما ينتج منه من مواد غذائية، بينما يلحق الضرر بالعائل.

وهناك أمثلة عديدة للتطفل، منها جميع الأنواع البكتيرية الممرضة Pathogenic bacteria، والميكوبلازما والريكتسيا التي تسبب أمراضاً للإنسان والنباتات والحيوانات. مثل مرض ذات الرئة Pneumonia الذي تسببه في كثير من الحالات بكتيريا ديبلوكوكس *Diplococcus pneumoniae* إلا أنه في بعض الحالات قد ينجم المرض عن بكتيريا ليجيونيلا *Logionella pneumophila* والسل الرئوي (التدرن) Tuberculosis وهو عبارة عن مرض معدٍ صدري خطير تسببه بكتيريا ميكوباكتيريوم *Mycobacterium tuberculosis* والسيلان Gonorrhoea: وهو من الأمراض التناسلية الناجمة عن الإصابة ببكتيريا نيسيريا *Neisseria gonorrhoeae* والدفتريا (الخناق) Diphtheria وهو من أخطر أمراض الطفولة التي تنتقل بالعدوى بفعل الرذاذ أو الإفرازات المخاطية للمريض، وتسببه البكتريا كورينباكتيريوم *Corynebacterium diphtheriae*، والحمى المالطية Brucellosis، وتسببه بكتيريا بروسيلا *Brucella abortus*، والكزاز Tetanus وهو مرض خطير للإنسان تسببه البكتيريا *Clostriduim tetani*.

كما تسبب البكتيريا المتطفلة أمراضاً مختلفة للحيوانات، منها مرض الجمرة الخبيثة *Anthrax* لدى الأغنام والأبقار الناجم عن الإصابة ببكتيريا *Bacillus anthracis*،

ومرض الحمى المالطية لدى الأبقار والماعز الناجم عن الإصابة ببكتيريا البروسيلا *Brucella*، ومرض اسوداد سيقان البقر الناجم عن البكتيريا *Clostridium chanvei*. وتسبب البكتريا للنباتات أيضاً بعض الأمراض مثل مرض قرحة الليمون Citrus canker الناجم عن الإصابة ببكتيريا زانتوموناس *Xanthomonas citri*، وهناك أيضاً مرض شحوب أوراق نبات الأرز الناجم عن الإصابة ببكتيريا *Xanthomonas oryzae*.

إضافة إلى ذلك هناك بعض الفطريات المتطفلة على النباتات والحيوانات والإنسان التي تسبب أمراضاً جلدية وباطنية والتهابات في المجاري التنفسية. مثل فطر سابروليجنيا *Saprolegnia* الذي يعيش في الماء ويتطفل على الطحالب والنباتات والأسماك، و فطر فيتوفثورا إنفستانس *Phytophthora infestans* الذي يسبب مرض اللفحة المتأخرة للبطاطا، وفطر بلازموبارا فيتيكولا *Plasmopara viticula* الذي يسبب مرض البياض الزغبي على أوراق العنب، وفطر البوجو كانديدا *Albugo candida* الذي يسبب مرض الصدأ الأبيض لعائلة النباتات الصليبية (Landecker, ١٩٨٢).

(٤,٤,٤) المضادات الميكروبيولوجية Antimicrobial agents

إن المواد المضادة لنشاط ونمو الكائنات الحية الدقيقة هي عبارة عن مواد كيميائية طبيعية أو منتجات صناعية تقتل أو تثبط نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة. فالمواد الطبيعية يتم إنتاجها بواسطة العديد من الأحياء الدقيقة، وتكون ذات قوة مضادة للكائنات الحية الدقيقة، وتسمى بالمضادات الحيوية Antibiotics. أما المنتجات الصناعية ذات القوة المضادة للكائنات الحية الدقيقة فتسمى بناءً على تأثيرها، فإذا كانت قاتلة تسمى مبيدات: Germicides، وإذا كانت مثبطة فتسمى: Germistatic. وعليه فالمواد الصناعية القاتلة للبكتيريا تعرف باسم: Bactericides، ومبيدات الفطريات يطلق

عليها : Fungicides، ومبيدات الطحالب تسمى : Algicides. بينما تسمى مثبطات البكتيريا : Bacteriostatic ، وتسمى مثبطات الفطريات : Fungistatic، ومثبطات الطحالب تعرف باسم : Algistatic.

(٤,٤,٥) المضادات الحيوية Antibiotics

المضادات الحيوية هي مواد كيميائية تنتجها الأحياء الدقيقة، وتكون ذات قوة مضادة لكائنات حية أخرى ، فتقتلها أو تثبط نموها بدرجة كبيرة مما يحد من انتشارها وسرعة تكاثرها وإيقاف نشاطها. يعتبر البنسلين Penicillin أول مضاد حيوي تم اكتشافه صدفة بواسطة العالم الأسكتلندي فلمنج أثناء دراسته على الفطر *Penicillium sp*.. وكان ذلك في عام ١٩٢٩م، وتم إنتاجه على نطاق تجاري لمعالجة الجنود من عدد من الأمراض البكتيرية خلال الحرب العالمية الثانية. ثم توالت جهود العلماء بعد ذلك ، وتم اكتشاف الآلاف من المضادات الحيوية.

يتم إنتاج المضادات الحيوية بواسطة عدد من الأحياء الدقيقة خصوصاً بعض أنواع البكتيريا والفطريات المنتشرة في التربة. ومن أهمها البكتيريا الخيطية الأكتينوميسيتات Actinomycetes التابعة لجنس Streptomyces ، حيث تم استخلاص عدد من المضادات الحيوية من هذه البكتيريا مثل الإستربتوميسين Streptomycin والتتراسيكلين Tetracycline ، والكلورامفينكول Chloramiphinicol ، والإرثروميسين Erythromycin. وهناك الباستراسين Bacitracin ، والبوليمكسين Polymyxin التي تم إنتاجها من البكتيريا العصوية Bacillus.

والمضادات الحيوية تختلف في تأثيرها على الكائنات الحية الدقيقة ، حيث يلاحظ تخصص في فاعلية بعضها على أنواع ومجاميع معينة دون الأخرى. فبعض المضادات

الحيوية يؤثر على الكائنات الحية الدقيقة بدائية النواة، والبعض الآخر يؤثر على حقيقية النواة دون غيرها من الأحياء الدقيقة.

كما أن بعض المضادات الحيوية تؤثر في البكتيريا السالبة لصبغة جرام، بينما نجد أن بعضها تأثيره يكون على البكتيريا الموجبة لصبغة جرام. علماً بأن هناك مضادات حيوية تسمى Broad spectrum antibiotics وهي التي تكون ذات مدى واسع في تأثيرها على الكائنات الحية المتنوعة.

(٤,٤,٦) مبيدات الأحياء الدقيقة Germicides

إن مبيدات الكائنات الحية الدقيقة تشمل عدداً من المواد السامة Toxic materials بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة ويطلق عليها أيضاً اسم المطهرات Disinfectants، وقد تتسبب هذه المواد في موت الكائنات الحية الدقيقة، أو أنها تثبط نموها دون أن تقتلها، وتعود الأحياء الدقيقة إلى النمو بعد إزالة آثار المادة السامة. وتم استخدام هذه المواد على نطاق واسع في المستشفيات، والمختبرات، ومياه الشرب، وفي صناعة الأدوية، والصناعات الغذائية، ومياه الصرف الصحي قبل ضخها في البيئة؛ وذلك لتقليل التلوث الميكروبي وخطورته قدر الإمكان. ومن هذه المواد الهالوجينات (كالكلور واليود) التي تعمل على أكسدة وتخريب المواد العضوية البنيوية في الخلية البكتيرية. ومركبات السلفا التي تتداخل مع الأنزيمات الخاصة بعملية التنفس ونقل الطاقة بالخلية. بالإضافة إلى الكحولات، والمعادن الثقيلة، والمعقمات الغازية التي تعمل على تغيير طبيعة الأنزيمات، والبروتينات، والأحماض النووية بالخلية. كما أن هناك الصابون والمنظفات الصناعية التي تعمل على اختزال التوتر على سطح الخلايا الميكروبية، ومن ثم تثبط النمو دون أن تقتل الكائن الحي. فلا تعني المعاملة بمبيدات الأحياء الدقيقة تمام

التعقيم، ولكن يتم من خلالها قتل معظم البكتيريا الممرضة Pathogenic bacteria غير المتجرثمة.

إن تقسيم المواد المضادة للكائنات الحية الدقيقة إلى مبيدات قاتلة ومثبطات هو في الواقع لا يعدو أن يكون تقسيماً تقريبياً؛ وذلك لأن بعض المواد المثبطة عند تركيز منخفض قد تكون مبيدة عند التركيزات المرتفعة من نفس المادة. كما أنها قد تقسم المواد المبيدة للأحياء الدقيقة Germicides وفقاً لتأثيرها على الجلد والأغشية المخاطية إلى قسمين: القسم الأول هو مواد مطهرة للجلد Antiseptics، وهذه مواد قاتلة للكائنات الحية الدقيقة ومأمونة الاستعمال تستخدم لتطهير الجلد، والجروح، والأغشية المخاطية. والقسم الثاني من المبيدات للأحياء الدقيقة هو مواد مطهرة للأسطح Disinfectants تقتل الكائنات الحية الدقيقة، لكنها ليست مأمونة الاستعمال مع الجلد، أو الجروح، أو الأنسجة الحية؛ لذا تستخدم فقط لتعقيم الأسطح والأرضيات والأطباق.

(٤,٤,٧) المقاومة البيولوجية Biological antagonism

المقاومة البيولوجية تعني محاولة القضاء على كائن حي معين بواسطة كائن حي آخر يفترس الكائن الأول دون أن يضر بالكائنات الأخرى، وأبرز مثال على ذلك استخدام الإنسان لعدد من الكائنات الحية الدقيقة لتثبيط نمو أو قتل كائنات حية أخرى. فبدراسة المقاومة البيولوجية لبكتريا العفن البني التي تعيش في التربة Ralstonia solanacearum وجد أنها ذات قدرة على التضاد مع بكتريا العفن البني Pseudomonads fluorescent، وكذلك البكتيريا Streptomyces greases المعزولة من التربة المحيطة بدرنات البطاطس.

وتم إجراء عدد من الدراسات والأبحاث في هذا المجال في عدد من دول العالم وفي مراكز الأبحاث المتخصصة، أدت إلى إيجاد تطبيقات زراعية وصناعية على عدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة. وهذا يقود الباحثين إلى توظيف هذه الخاصية لدى بعض الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة بغية إكثارها وخصوصاً الأنواع المفيدة المرغوب فيها. وفي المقابل محاربة الكائنات الحية الدقيقة الضارة أو الحد من خطورتها من خلال استغلالهم لعملية المقاومة البيولوجية على نطاق واسع، وفي مجالات تطبيقية مفيدة للبشرية.

والجدير بالذكر أن لكل كائن حيٍّ في أي نظام بيئي عدد من الأحياء- في وسطه المحيط- يؤثر فيها أو يتأثر بها سلباً أو إيجاباً، ووجودها في الطبيعة كأعداء أو منافسين على مصادر غذائية في البيئة المحيطة التي يوجد فيها أي كائن حي من الكائنات الحية الدقيقة. لذلك تكون سيادة نوع معين على حساب عدد من الأنواع يعود إلى ما لديه من خصائص وما يتمتع به من قدرات ومزايا تركيبية تجعله يؤثر على غيره من الكائنات الحية ذات الاحتياجات الغذائية نفسها ويبعدها من خلال عملية المقاومة البيولوجية. وساعد علم الوراثة من خلال الطفرات المتنوعة في الكائنات الحية الدقيقة على إثراء هذا الميدان.

(٤,٥) العوامل البيئية Environmental Factors

يتضمن كوكب الأرض عدداً كبيراً من النظم البيئية التي يمكن تصنيفها إلى نظم بيئية على اليابسة وأخرى مائية. ويتكون كل نظام بيئي رئيس من عدة نظم بيئية فرعية، مثل: الصحاري، والغابات، والمياه العذبة والمالحة، والمستنقعات. علماً بأن لكل نظام بيئي مجموعة من المكونات الحية وغير الحية، والموارد الطبيعية الخاصة به.

وجميع هذه النظم البيئية تتأثر بالأنشطة البشرية وتؤثر فيها. تكون هذه النظم البيئية مختلفة وواضحة بشكل كبير على اليابسة ويتحكم في هذا الاختلاف- بشكل كبير جداً- العوامل البيئية. وتنقسم العوامل البيئية التي تؤثر على نمو الكائنات الحية الدقيقة في البيئات الحيوية وتوزعها وانتشارها إلى:

١- عوامل بيئية غير حيوية، وهي العوامل التي تتعلق بالظروف البيئية الخارجية في بيئة الكائن الحي من العوامل الفيزيائية والكيميائية في المناخ والتربة، مثل درجة الحرارة، والضوء، والرطوبة، والتربة، وغيرها.

٢- عوامل بيئية حيوية تدرس العلاقات المتبادلة بين الكائنات الحية، مثل التكافل، والتطفل، وغيرها.

ولا تستجيب الكائنات الحية الدقيقة للمؤثرات البيئية المختلفة بطريقة متماثلة، بل على خلاف ذلك تماماً، فبعض المؤثرات البيئية الضارة لبعض الكائنات الحية الدقيقة قد تكون مفيدة لأحياء دقيقة أخرى والعكس صحيح. إن لكل كائن حي مدى تحمل ضيقٍ أو واسع للظروف البيئية المختلفة في بيئته التي يعيش فيها، ويختلف هذا المدى حسب نوع الكائن الحي، فقد يكون مدى تحمله ضيقاً لعامل معين وواسعٍ لعامل بيئي آخر، وعادة لا تتوفر الظروف البيئية المثالية لحياة الكائن الحي بسبب تداخل العوامل البيئية بعضها مع بعض (Bold, ١٩٨٩). العوامل البيئية المختلفة يرتبط كل منها بالآخر، وتؤثر مجتمعةً في انتشار وتوزع الكائنات الحية في النظام البيئي مما يكون سبباً في استقرار وتوازن النظام البيئي.

قسم العالمان الأمريكيان ويفر وكلمنتس (Weaver & Clements, ١٩٣٨) في عام ١٩٣٨م العوامل البيئية إلى عوامل مباشرة وعوامل غير مباشرة، وذلك في تأثيرها على نشاط الكائنات الحية والنوع الثالث تلك التي يظهر أثرها على الكائن الحي من بعيد. ويقسم دوبنمير (Daubenmire, ١٩٧٤) العوامل البيئية إلى أقسامها الثلاثة المعروفة الآتية:

(٤,٥,١) العوامل المناخية Climatic Factors

تضم هذه العوامل سقوط الأمطار Rain fall، ودرجة حرارة الهواء Air temperature، والرطوبة الجوية Humidity، والضوء Light، والرياح Wind، وغيرها من العوامل المناخية التي سيأتي شرحها بالتفصيل.

(٤,٥,٢) عوامل التربة Soil factors

تشمل عوامل التربة عدداً من العناصر، مثل: رطوبة التربة Soil Moisture، وقوام التربة Soil Texture، وتفاعل التربة Soil Reaction، وملوحة التربة Soil Salinity، وغيرها.

(٤,٥,٣) العوامل الأحيائية Biotic Factors

يقصد بها جميع العوامل المرتبطة بالعلاقات المتبادلة والمباشرة بين الكائنات الحية المتنوعة، مثل: عامل التطفل Parasitism، والتكافل Symbiotic، وغيرها.

(٤,٦) تأثير العوامل البيئية على نمو الأحياء الدقيقة

تؤثر العوامل البيئية للوسط الذي تعيش فيه الكائنات الحية الدقيقة على فعالية ونشاط الأنزيمات داخل خلايا الكائنات الحية الدقيقة، مع أن الكائنات الحية الدقيقة تستطيع تحمل بعض العوامل البيئية غير المناسبة أثناء نموها. فهناك فرق كبير بين تأثير العوامل البيئية على نشاط وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة، وبين تأثير العوامل البيئية على حياة تلك الكائنات الحية الدقيقة. واستناداً إلى ذلك تتأثر معدلات نمو وانقسام

الخلايا سلباً أو إيجاباً بعدد من العوامل البيئية (جبر، ٢٠٠١م) ، وفيما يلي شرح موجز لأهم هذه العوامل وكيفية تأثيرها على نمو الكائنات الحية الدقيقة:

(٤,٦,١) درجة الحرارة

تعتبر درجة الحرارة من العوامل الهامة التي تؤثر في نمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة تأثيراً مباشراً. وتعتبر البكتيريا بسبب كونها بسيطة التركيب وحيدة الخلية أكثر الكائنات الحية الدقيقة حساسية لدرجة حرارة الوسط. تؤثر الحرارة بشكل فعلي على النشاط الأنزيمي في خلية الكائنات الحية الدقيقة ، فمن المعروف أن المعامل الحراري Temperature quotient لمعظم التفاعلات البيوكيميائية يتراوح ما بين ٢ – ٣ وهذا يعني أن معدل التفاعلات في خلية الكائنات الحية الدقيقة يتضاعف مع ازدياد الحرارة بمعدل عشر درجات. ويقصد بالمعامل الحراري مقدار الزيادة في سرعة التفاعلات الحيوية مع ازدياد درجة الحرارة بمعدل عشر درجات مئوية في المجال الحيوي (Gunashekaran, ٢٠٠٠). ونتيجة لذلك يزداد نشاط ونمو خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلى حد يصبح معه الاستمرار في ارتفاع الحرارة مثبطاً أو مميتاً للخلية.

كما هو الحال مع جميع الكائنات الحية يختص كل نوع من أنواع الكائنات الحية الدقيقة بمجال حراري Cardinal temperature ينمو ضمنه بشكل مثالي، ويتحدد هذا المجال بدرجة حرارة دنيا Minimum temperature وهي أقل درجة حرارة يحدث عندها نمو للكائن الحي، ولا يحدث بعدها نمو إذا انخفضت درجة الحرارة عنها. وفي المقابل هناك درجة حرارة قصوى Maximum temperature وهي أعلى درجة حرارة يحدث عندها نمو للكائن الحي، ويتوقف النمو إذا ارتفعت عنها درجة الحرارة، ويتضمن هذا المجال درجة حرارة مثلى Optimum temperature وهي تعبِّر عن درجة الحرارة التي يصل

عندها نمو خلايا الكائنات الحية الدقيقة إلى أقصى معدلاته. أي أن درجة الحرارة المثلى هي أفضل درجة حرارة للنمو، أو درجة الحرارة التي تنمو عندها الكائنات الحية الدقيقة بأعلى معدل للنمو.

الجدير بالذكر أن درجات الحرارة الدنيا، والقصوى، والمثلى تختلف من كائن حي لآخر. فالمدى الذي تنمو فيه الكائنات الحية الدقيقة كبير، فمنها ما ينمو حتى تحت الصفر وقد تصل إلى درجة حرارة -١٢م°، بينما تستطيع بعضها أن تنمو حتى عند درجة حرارة غليان الماء ١٠٠ م°. كما وجد أن بعض الكائنات الحية الدقيقة لها درجات حرارة مثلى تتراوح بين ٥- ١٠ م°، بينما البعض الآخر له درجات حرارة مثلى تصل إلى ٧٥- ٨٠ م°. أما الحدود المثلى لمعظم الكائنات الحية الدقيقة فتكون عادة بين ٣٠ - ٤٠ م°.

استناداً إلى ما تقدم يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة بحسب مجال نموها الحراري إلى:

١- الكائنات الحية الدقيقة المحبة للبرودة Psychrophiles: تفضل هذه الأنواع النمو في درجات حرارة منخفضة بين (٠- ١٥ م°)، وتستطيع هذه الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة بفضل احتواء غشائها الخلوي على نسب عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة مقاومة درجات منخفضة من الحرارة تصل أحياناً إلى بضع درجات تحت الصفر. تسبب هذه الأنواع فساد الأطعمة التي تُحفظ عند درجات حرارة منخفضة في الثلاجة.

٢- الكائنات الحية الدقيقة الوسطية Mesophiles: وهي تشمل الغالبية العظمى من أنواع الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الهواء أو الماء أو التربة، وهذه الأنواع تعيش ضمن مجال حراري يقع بين (٢٠- ٤٥ م°)، وإذا ارتفعت درجة الحرارة عن

ذلك تتسبب في موتها، وتنتمي معظم أنواع الطحالب والفطريات والبكتيريا الممرضة Pathogenic bacteria للإنسان إلى هذه المجموعة.

٣- الكائنات الحية الدقيقة المحبة للحرارة المرتفعة Thermophiles: يقع المجال الحراري لهذه الكائنات الحية الدقيقة ما بين (٤٥- ٦٥ م°)، وهي تلعب دوراً هاماً في تحلل بقايا المواد النباتية والأسمدة العضوية؛ وبذلك تفيد في زيادة خصوبة التربة. وقد وجد أن بعض أنواع هذه الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في الينابيع الحارة تستطيع تحمل درجات حرارة عالية قد تصل إلى ٨٠ أو ٩٠ م°.

من المعروف أن البروتين وهو مكون الخلية الميكروبية الأساسي يتعرض للتغير الطبيعي Denaturation إذا ارتفعت درجة حرارته إلى ٧٠ م° ؛ مما يؤدي إلى توقف نشاط خلية الكائن الحي وموتها ؛ لذا كان تفسير مقاومة الكائنات الحية الدقيقة لدرجات الحرارة المرتفعة محل جدل بين العلماء لفترة طويلة، ويُعتقد الآن أن ذلك يرجع إلى السببين التاليين:

أ) احتواء الغشاء الخلوي لبعضها على كميات كبيرة من الأحماض الدهنية المشبعة، الأمر الذي جعل غشاءها الخلوي أكثر ثباتاً في درجات الحرارة العالية.

ب) انخفاض المحتوى المائي للخلايا مما يُمكّنها من مقاومة درجات الحرارة المرتفعة، حيث وجد بالتجربة أن بروتينها (ومن ثم أنزيماتها) لا يتعرض للتغيير الطبيعي حتى لو رفعت درجة حرارته إلى ١٢٠ م°. كما أن بعض الأنواع البكتيرية تلجأ إلى التجرثم Sporelation لمقاومة درجات الحرارة العالية.

(٤,٦,٢) الماء

يعتبر الماء عنصر أساس وهام للحياة بالنسبة لجميع الكائنات الحية على سطح الأرض، وبدونه لن يكون هناك صورة من صور الحياة على وجه الأرض ؛ لذلك يقول الخالق سبحانه رب العالمين في كتابه الكريم عن أهمية الماء في حياة الكائن الحي:

﴿ أَوَلَمْ يَرَ ٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَنَّ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَٰهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴾ (الأنبياء: ٣٠). فجميع الكائنات الحية الدقيقة والنباتات والحيوانات والإنسان تعتمد عليه اعتماداً كبيراً للاستمرار في الحياة. والماء إما أن يكون على صورة بخار في الهواء؛ أو ماء سائل في الأنهار والبحيرات والبحار والمحيطات؛ أو متجمداً على هيئة برد أو جليد في القطبين.

ولا تعيش الكائنات الحية الدقيقة بدون الماء؛ لأنه يدخل بنسبة عالية في تركيب خلاياها، ويشكل وسطاً مذيباً لمكوناتها المتنوعة، ولكن حاجتها للماء تختلف من كائن حي لآخر. وهناك أحياء دقيقة تتميز بسعة انتشارها وتنوعها في المناطق المعتدلة، لحاجتها المعتدلة للماء، كما تتحمل تغيرات مستويات الرطوبة في أوساطها البيئية التي تعيش فيها.

والجدير بالذكر أن بخار الماء في جميع صوره المتنوعة يعد من أكثر العوامل البيئية التي تؤثر مباشرة على نمو وتكاثر وانتشار الكائنات الحية الدقيقة بجميع أنواعها. بل يعد هذا العامل في حقيقة الأمر من أهم وأبرز العوامل البيئية المحددة Limited factor لتوزيع وانتشار جميع الكائنات الحية في البيئات المختلفة على سطح الأرض، كما أن تشكل المستعمرات البكتيرية والغزل الفطري والخيوط الطحلبية، وكثافة النمو الميكروبي، وتباين وانتشار الأنواع- مرتبطٌ ارتباطاً وثيقاً بدرجة توفر الماء في البيئة المحيطة ومناسبته للنمو الميكروبي.

وبشكل عام يمكن تقسيم الكائنات الحية الدقيقة من حيث احتياجاتها المائية إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي ما يأتي:

١- الكائنات الحية الدقيقة المحبة للرطوبة Hygrophytes: إن معظم الأنواع البكتيرية والفطريات والطحالب تقع ضمن هذا القسم. حيث يزدهر نمو الكائنات الحية

الدقيقة وتنتشر في ظل وفرة المياه وزيادة مستوى الرطوبة. وعليه تشكل الأوساط الرطبة بيئات مناسبة لنمو وتكاثر وانتشار الأنواع المختلفة من الكائنات الحية الدقيقة.

٢- الكائنات الحية الدقيقة الوسطية Mesophytes: يكثر هذا النوع من الكائنات الحية الدقيقة في الترب الرطبة والسطوح المبللة. حيث إن احتياجاتها المائية معتدلة، فتوفر الماء ولو بكميات بسيطة يتيح لها فرصة النمو والانتشار.

٣- الكائنات الحية الدقيقة الجفافية Xerophytes: يشمل هذا القسم من الكائنات الحية الدقيقة تلك التي تمتاز بخصائص بيئية وقدرات تنافسية عالية تجعلها تقاوم الجفاف وندرة الماء في الأوساط البيئية الجافة. ويكون الضغط الأسموزي داخل خلاياها أكبر بكثير من الوسط الخارجي مما يمكنها من امتصاص الماء المتاح بيسر وسهولة.

يمكن القول إن كمية الماء وخصائصه التركيبية وما يحتوي عليه من أملاح ومعادن تختلف من بيئة لأخرى. ولكن توفر الماء للكائنات الحية الدقيقة لا يعتمد فقط على المحتوى المائي للبيئات المختلفة، بل يخضع أيضاً لعوامل أخرى مختلفة مثل الإدمصاص Adsorption والإذابة، وإلى أي مدى تكون قوة الإدمصاص أو تركيز العناصر الذائبة، وإلى قدرة الكائن الحي على التغلب على هذه العوامل مجتمعة واستخلاص هذا الماء بصورة ميسرة. حتى يتمكن من الاستمرار في مزاولة نشاطاته البيولوجية وبقاءه على قيد الحياة في هذه البيئة أو تلك. لذا يمكن القول إن نشاط الماء يكون أكثر ما يمكن في حال عدم وجود مواد مذابة فيه، وعلى العكس نجد أنه يقل نشاط الماء كلما ارتفع تركيز المواد المذابة فيه. لأجل هذا نجد أن نشاط الماء في بيئات الأنهار أكبر منه في بيئات البحار، فالبحر الميت مثلاً لا تعيش فيه الكائنات الحية

لارتفاع الأملاح فيه مما تسبب في قلة نشاط الماء فتكون عاجزة عن الامتصاص وتموت. كذلك الحال بالنسبة للعسل والعصائر المركزة ذات التركيز المرتفع من المواد المذابة.

(٤,٦,٣) الأكسجين

يعتبر الأكسجين من الغازات الهامة لكل صور الحياة تقريباً؛ لأنه ضروري في عملية التنفس، إلا أن الكائنات الحية الدقيقة تتفاوت في درجة حاجتها لهذا الغاز أو عدم الحاجة إليه إطلاقاً. ويحتوي الهواء الجوي على ٢٠٪ أكسجين، وعلى ذلك فإن استجابة الأحياء الدقيقة للهواء تختلف اختلافاً كبيراً من نوع أو جنس لآخر. ويمكن التحكم في نمو كثير من الأحياء الدقيقة بالتحكم في الأكسجين، وتم توظيف هذه الخاصية في صناعة تعليب الأغذية بواسطة عملية التعقيم التجاري. وبشكل عام تقسيم الكائنات الحية الدقيقة على الأقل إلى ثلاث مجموعات تبعاً لاحتياجاتها من الأكسجين:

١- كائنات حية هوائية إجبارياً Microorganisms Obligate aerobic: وهي كائنات حية دقيقة تتنفس تنفساً هوائياً، ويعتبر غاز الأكسجين أساسياً لحياتها، أي لا تستطيع هذه الكائنات الحية الدقيقة النمو إلا مع وجود الأكسجين، ومن أمثلتها معظم الفطريات، والطحالب، ومن البكتيريا النوع *Bacillus subtilis*.

٢- كائنات حية لا هوائية إجبارياً Microorganisms Obligate anaerobic: وهي أحياء دقيقة تتنفس لا هوائياً فقط ولا يمكنها أن تحيا في وجود الأكسجين. فهي لا تحتاج إلى الأكسجين مطلقاً في نموها، كما أن وجود الأكسجين في بيئتها يعتبر سماً بالنسبة لخلاياها ويتسبب في موتها، ومن أمثلتها من البكتيريا أنواع الجنس *Clostridium*.

٣- كائنات حية اختيارية Facultative aerobic Microorganisms: وهي الكائنات الحية الدقيقة التي تستطيع النمو سواء أكان الأكسجين موجوداً أم غائباً، ويمثل هذا الطراز أغلبية أنواع البكتيريا، ومنها النوع إنتروكوكس *Enterococcus faecalis*.

(٤,٦,٤) الضغط الأسموزي

عند وضع خلايا الكائنات الحية الدقيقة في وسط ذي ضغط أسموزي (تركيز) أعلى من الضغط الأسموزي لسيتوبلازم الخلية الميكروبية فإن الماء سوف يخرج من داخل خلية الكائن الحي إلى الوسط المحيط؛ مما يؤدي إلى انكماش الغشاء السيتوبلازمي، وتدخل خلية الكائن الحي في حالة بلزمة Plasmolysis وجفاف تنتهي بالموت نظراً لخروج ما بها من ماء إلى الوسط الخارجي.

ولما كان الضغط الأسموزي العالي مانعاً لنمو أغلب الأنواع البكتيرية والفطريات فقد استخدمت هذه الظاهرة أو الخاصية أثناء عمليتي التمليح والتسكير لبعض الأغذية بغرض حفظها أطول فترة ممكنة، وتسويقها بدون أن تفسد أو تفقد خواصها الكيميائية أو الفيزيائية بسبب العفن الناجم عن نمو ونشاط الكائنات الحية الدقيقة.

إلا أن الأنواع من الكائنات الحية الدقيقة تختلف في درجة تحملها للضغوط الأسموزية العالية، فهناك بعض الأجناس البكتيرية المحبة للملوحة ولديها القدرة على العيش في محاليل مشبعة من الملح، كالجنس هالوباكتيريوم *Halobacterium* الذي يُفضل النمو في محاليل لا يقل تركيزها عن ١٥٪ من ملح كلوريد الصوديوم NaCl. وهذه البكتيريا يكون لونها أحمر نتيجة لوجود صبغة Bacteriorhodopsin ذات اللون القرمزي التي تستطيع تثبيت الضوء وإنتاج ATP على الرغم من خلو هذه البكتيريا من صبغ

الكلوروفيل، وذلك بميكانيكية تختلف عن عملية التمثيل الضوئي، والملاحظ أنها لا تستطيع تحويل غاز ثاني أكسيد الكربون إلى مركبات عضوية كما يحدث في عملية التمثيل الضوئي فهذه البكتيريا تعتبر غير ذاتية التغذية كيميائياً. كما توجد كائنات حية دقيقة محبة لتركيزات متوسطة من الملح تسمى Moderate halophiles وهي الأحياء التي تتطلب الملح لنموها، ولكنها لا تنمو في المحاليل المشبعة بالملح.

(٤,٦,٥) الرقم الهيدروجيني (pH)

يعرف الرقم الهيدروجيني بأنه اللوغاريتم السالب لتركيز أيون الهيدروجين في المحلول، ويتراوح بين ١- ١٤، وكل وحدة تمثل عشرة أضعاف التغير الحاصل في تركيز الهيدروجين. يعد الرقم الهيدروجيني بمثابة مقياس لدرجة الحموضة والقلوية، فالماء النقي يكون فيه الرقم الهيدروجيني يساوي ٧، وكلما قل الـ pH عن ٧ يمثل درجات من الحموضة، بينما أكثر من ٧ يمثل درجات من القلوية. ولكل نوع من أنواع الكائنات الحية الدقيقة مدى محدد من الـ pH يستطيع فيه أن يواصل نموه، ويقع الرقم الهيدروجيني الأمثل لغالبية الكائنات الحية الدقيقة في المجال مابين (pH: ٩- ٥) وهذا المدى يمثل معظم البيئات الطبيعية، إلا أن بعضها مثل معظم الفطريات يفضل الأوساط الحامضية (pH<٦)، وبعضها الآخر يعيش في الأوساط القلوية (pH > ٨). والجدير بالذكر أن هناك أحياءً دقيقةً مثلَ بعض الخمائر والفطريات تنمو عند درجات متعادلة لكنها في الوقت نفسه تستطيع تحمل درجات منخفضة من الحموضة، وتسمى Facultative acidophiles. أما الأحياء الدقيقة التي يتطلب نموها توفر أوساط حامضية فتسمى محبة للحموضة إجبارية Obligate acidophiles مثل بعض الأنواع البكتيرية المؤكسدة للكبريت *Thiobacillus*.

(٤,٦,٦) الإشعاعات

تتطلب بعض الكائنات الحية الدقيقة وجود الضوء المرئي لكي تنمو وتتكاثر مستعملة الطاقة الضوئية التي تصدر من ضوء الشمس، وتقوم بتحويلها إلى طاقة كيميائية بواسطة ما يعرف بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis. وهذه الكائنات الحية الدقيقة القادرة على القيام بعملية التمثيل الضوئي -وهي البكتيريا، والبكتيريا الخضراء المزرقة، والطحالب- تحتوي على صبغات مختلفة أهمها الصبغات الخضراء التي تشبه الكلوروفيل النباتي. تحمل الإشعاعاتُ القصيرةُ Short wave radiations التي يقل طول موجتها عن ٣٠٠ نانوميتر طاقةً عاليةً، ويزداد المحتوى الطاقي لهذه الإشعاعات كلما كانت أمواجها أقصر. وتعتبر الإشعاعات القصيرة الأمواج ضارة لجميع الخلايا الحية، ويزداد ضررها بالنسبة للخلايا البكتيرية التي تعتبر بسيطة وعارية، حيث تعمل الطاقة العالية لهذه الأمواج على تأين الخلية Ionizing وموتها، أو إحداث تغيرات في مادتها الوراثية (طفرات). وتعتبر الأشعة فوق البنفسجية Ultra violet (UV) من أهم الإشعاعات القصيرة القاتلة للبكتيريا، ولذا تستخدم هذه الإشعاعات في تعقيم الأدوات، والمختبرات، وغرف العمليات للحد من التلوث الميكروبي.

(٤,٦,٧) المواد السامة

هناك عدد من المواد السامة Toxic materials بالنسبة للكائنات الحية الدقيقة يطلق عليها أيضاً اسم المطهرات Disinfectants، وقد تتسبب هذه المواد في موت الكائنات الحية الدقيقة، أو أنها تثبط نموها دون أن تقتلها، وتعود الأحياء الدقيقة إلى النمو بعد إزالة آثار المادة السامة. وتتعدد هذه المواد بالنسبة للخلايا الميكروبية وتتنوع

طريقة تأثيرها فمنها على سبيل المثال الهالوجينات (كالكلور، واليود) التي تعمل على أكسدة وتخريب المواد العضوية البنيوية في الخلية البكتيرية. ومركبات السلفا التي تتداخل مع الأنزيمات الخاصة بعملية التنفس ونقل الطاقة بالخلية. بالإضافة إلى الكحولات، والمعادن الثقيلة، والمعقمات الغازية التي تعمل على تغيير طبيعة الأنزيمات، والبروتينات، والأحماض النووية بالخلية. كما أن هناك الصابون، والمنظفات الصناعية التي تعمل على اختزال التوتر على سطح الخلايا الميكروبية، ومن ثم تثبط النمو دون أن تقتل الكائن الحي. الجدير بالذكر أن استخدام المواد الكيميائية لعلاج عدد من الأمراض التي تسببها بعض الكائنات الحية الدقيقة المرضة يعتبر من أهم الاكتشافات في مجال الطب. ففي عام ١٩٠٠م اكتشف العالم الألماني إيرلخ Paul Ehrlich ما أسماه بالسمية الاختيارية Selective toxicity لبعض المواد الكيميائية التي تصيب الأحياء الدقيقة المرضية، ولا تؤثر على خلايا الشخص المريض، مثل مادة السالفرسان Salvarsan التي استخدمت لعلاج مرض الزهري Syphilis.

(٤,٦,٨) الغلاف الجوي

يلعب الغلاف الجوي دوراً مهماً من الوجهة البيئية في انتشار وتوزيع الكائنات الحية الدقيقة في الطبيعة، فجميع الكائنات الحية الدقيقة من بكتيريا وطحالب وفطريات لها حدود في تأثير وتحمل Tolerance العوامل الجوية المختلفة إذا تَعدَّتها لا تنمو الكائنات الحية الدقيقة طبيعياً، ولا يمكن لكائن حي أن يحقق نمواً وانتشاراً في منطقة ما من مناطق العالم إلا إذا تأقلم تماماً مع الظروف الجوية المساعدة في تلك البيئة. وتحدد العوامل الجوية أو المناخية تشكل الفلورا النباتية Flora وتكوين التربة في كل منطقة، وتعتبر درجة الحرارة والأمطار من أهم العوامل المحددة للتربة، وبالإضافة إلى ذلك فإن

العوامل الجوية تعد من أهم العوامل المؤثرة على عوامل التعرية في التربة ؛ خاصة في المناطق الجافة (Eddy Van Der Maarel, ٢٠٠٤). ويشتمل الغلاف الجوي على درجة الحرارة والضوء والترسيب Precipitation والرطوبة الجوية Atmospheric Humidity وحركة الهواء والبحر.

يتباين المطر - بدرجة كبيرة - من حيث كميته وتوزيعه في المناطق الجغرافية المختلفة إذ يتراوح بين مطر مستمر كما في الغابات المطيرة حيث تصل كميته في السنة حوالي ٢٥ متراً أي ما يعادل ٢٥,٠٠٠ ملل، وبين مطر يقرب من حد الانعدام في بعض المناطق الصحراوية الشديدة الجفاف. ويختلف كذلك الترسيب من حيث تركيبه بين الجليد والمطر والضباب والندى.

وتعد الأمطار من أكثر أشكال الماء تأثيراً على الكائنات الحية الدقيقة في البيئات الطبيعية، ومع ذلك هناك أهمية كبيرة وواضحة لأشكال الماء الأخرى في حياة ونمو الكائنات الحية الدقيقة. ويتوفر الماء في البيئة على ثلاث صور أساسية، هي:

١- الرطوبة، وتمثل بخار الماء غير المرئي.

٢- السحب والضباب، وتمثل بخار الماء المرئي.

٣- الماء المترسب، إما على شكل قطرات ماء سائل كالأمطار أو في شكل صلب، مثل البرد والثلج.

قد تتبيَّن فاعلية الترسيب Efficiency of Precipitation في أي منطقة بيئية من خلال تأثيرها على رطوبة التربة، حيث تعد التربة هي المستقبل الرئيس أو السطح الأكبر الذي تتجمع عليه كميات الترسيب في شتى صورها ؛ لذا فإن رطوبة التربة تعكس الكمية أو المقدار الحقيقي الناتج عن عملية الترسيب. وهنالك بعض المعادلات التي يمكن استعمالها في تقدير فاعلية المطر ومن أمثلتها المعادلتان التاليتان:

$$\text{كمية المطر الفعالة} = \frac{\text{كمية المطر (سم)}}{\text{متوسط درجة الحرارة (م) + ١٠}}$$

ويمكن تقدير فاعلية المطر أيضاً باستعمال المعادلة الآتية :

$$\text{فاعلية المطر} = \frac{\text{كمية المطر (سم)}}{\text{النقص في الضغط البخاري عن درجة التشبع (مم زئبق)}}$$

وهناك طرق عديدة ومتنوعة لتقدير فاعلية الأمطار أو درجة الجفاف Degree of Aridity في الغلاف الجوي، وبعض هذه الطرق تعتمد في تقدير فاعلية الأمطار على إدخال عوامل مناخية متعددة، مثل : سرعة الرياح والرطوبة النسبية وعدد الساعات التي تشرق فيها الشمس بالإضافة إلى درجة الحرارة ، وهذه طرق حديثة ودقيقة لكنها معقدة. ومن المعادلات التي تتبع في تقدير فاعلية الأمطار المعادلة الحرارية التالية (Peter ١٩٩٩)التي اقترحها Emberger :

$$Q = \frac{P}{(M + M)(M - m)} X\,100$$

حيث :

Q = درجة الجفاف أو فاعلية الأمطار.

P = كمية الترسيب في السنة (سم).

M = متوسط النهاية العظمى لدرجة الحرارة في الشهور الأشد حرارة.

m= متوسط النهاية الصغرى لدرجة الحرارة في الشهور المنخفضة في درجة الحرارة.

وكلما زادت قيمة Q، دل ذلك على ارتفاع فاعلية الأمطار أو النقص في درجة الجفاف.

(٤,٦,٩) الرطوبة الجوية Atmospheric Humidity

تعتبر الرطوبة الجوية إحدى العوامل المهمة التي تؤثر مباشرة على تبخر الماء من سطح النبات بالنتح ومن سطح التربة. وقدرة الهواء على التبخير تتأثر برطوبة الهواء

ودرجة الحرارة وحركة الهواء. وهناك عدة طرق للتعبير عن كمية بخار الماء الموجودة في الهواء، منها: طريقة الرطوبة النسبية، وهي تعبر عن النسبة المئوية بين كمية بخار الماء الموجودة في الهواء، وكمية بخار الماء اللازمة لتشبع الهواء تحت نفس درجة الحرارة.

والطريقة الأخرى تعتمد على تقدير الضغط البخاري في الهواء وهناك علاقة مباشرة بين الضغط البخاري للهواء ومعدل التبخر من سطح النبات أو سطح التربة فكلما زاد الفرق بين الضغط البخاري للهواء والضغط البخاري من سطح التبخر، زاد معدل التبخر، ويعتبر الضغط البخاري عند سطح التبخر هو الضغط البخاري للهواء المشبع بالرطوبة عند درجة حرارة الهواء.

ويمكن تقدير الضغط البخاري للهواء بالمعادلة الآتية:

الضغط البخاري للهواء= الرطوبة النسبية للهواء× الضغط البخاري للهواء المشبع بالبخار عند نفس درجة الحرارة

إن بخار الماء في جميع صوره المتنوعة من أكثر العوامل البيئية التي تؤثر مباشرة على توزيع وانتشار الكائنات الحية الدقيقة. بل يعد هذا العامل من أهم وأبرز العوامل المحددة لتوزع وانتشار جميع الكائنات الحية في البيئات المختلفة على سطح الأرض، كما أن تشكل المستعمرات البكتيرية، والغزل الفطري، والخيوط الطحلبية، وكثافة النمو الميكروبي، وتباين وانتشار الأنواع، مرتبط ارتباطاً وثيقاً بدرجة توفر الماء في البيئة المحيطة.

تزداد رطوبة التربة في أي بيئة من البيئات الطبيعية مع زيادة الرطوبة الجوية. لذا تعتبر الرطوبة الجوية مصدراً مهماً لرطوبة التربة، حيث يلاحظ أن المناطق التي يكثر فيها الضباب والندى تتكاثف قطرات الماء الدقيقة على سطح التربة وتغمرها بالماء فيزيد

من رطوبة التربة. ويحدث ذلك أيضاً في المناطق المرتفعة حين يلامس السحاب سطح الأرض.

من أشهر الأمثلة على الكائنات الحية الدقيقة التي تمتص بخار الماء من الجو مباشرة تلك المحبة للرطوبة Hygrophytes التي لا تتحمل الجفاف وتعيش في البيئات ذات الرطوبة العالية (الفالح وعياش، ١٤٢٤هـ). ومنها الطحالب التي تكثر في الغابات الاستوائية المطيرة، والأشنات المعلقة التي تنمو على أشجار العرعر في المرتفعات الجنوبية الغربية من المملكة، مثل: أبها والباحة (الشكل رقم ٤,٨)، حيث تستطيع الكائنات الحية الدقيقة المحبة للرطوبة أن تمتص بخار الماء من الهواء مباشرة دون أن يتكاثف خصوصاً عندما ترتفع الرطوبة عن ٨٥٪.

(ب) (أ)

الشكل رقم (٤,٨). أشنة خيطية (أ) وأشنة ورقية (ب) على جذع شجرة.

(٤,٧) البيئة المائية

توجد الكائنات الحية الدقيقة في البيئة المائية عند درجات حرارة واسعة المدى، وتكون جزءاً كبيراً من الكساء الخضري للبحار والمحيطات والبحيرات وغيرهما من المسطحات المائية. والكائنات الحية الدقيقة شائعة الوجود في المياه الراكدة، وبعضها

خصوصاً الطحالب تعيش حرة على سطح الماء مكونة طبقة سطحية من العوالق النباتية Phytoplankton، بينما البعض الآخر يكون ملتصقاً بالحجارة المغمورة أو ملتصقاً بالنباتات المائية.

تعد البيئة المائية من أهم البيئات الطبيعية التي توجد فيها الكائنات الحية الدقيقة، وتستمد أهميتها من أهمية الماء في حياة الكائنات الحية. فالماء هو أساس الحياة داخل خلايا الكائنات الحية وفي الوسط الذي تعيش فيه، لذا تصل نسبته إلى ٩٧٪ في خلايا الكائنات الحية. تنقسم البيئة المائية إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي: المياه العذبة، والمياه المالحة، والمياه قليلة الملوحة. ولكل بيئة ما يناسبها من كائنات حية دقيقة تتأقلم مع ظروفها البيئية وتتكيف مع خصائصها بما يكفل معيشتها وتكاثرها في هذه البيئة أو تلك وفق قدرات تنافسيه ينفرد بها كل نوع.

(٤,٧,١) المياه العذبة Fresh Water

توجد المياه العذبة في الأنهار والجداول والبحيرات والبرك والمستنقعات. وتجدر الإشارة هنا إلى أن المياه العذبة لا تزيد نسبتها على سطح الأرض عن ٣ ٪ فقط من مجمل كمية الماء الموجودة وأن ٩٨ ٪ من هذه المياه العذبة موجودة على صورة جليد في القطبين. وتمتاز المياه العذبة بقلة الأملاح فيها، ودرجة الحموضة pH أي تركيز أيون الهيدروجين فيها يكون أقرب للمتعادل. مما يوفر بيئة مناسبة لعدد كبير من الكائنات الحية الدقيقة غير المحبة للملوحة Non Halophytic microorganisms. تنقسم بيئة المياه العذبة إلى قسمين رئيسيين وهما بيئة المياه الجارية وبيئة المياه الساكنة:

١ – **المياه الجارية (المتحركة)**: وتضم مياه الأنهار والجداول.عادة يكون منبع النهر في منطقة مرتفعة ويبدأ بالانحدار تدريجياً. فلذلك تكون سرعة المياه عالية في مقدمة

النهر وتبدأ بالانخفاض كلما قل ارتفاع السهول، ويبدأ حجم الماء المتدفق يزداد وينتشر حتى يصبح المجرى راكداً أو شبه راكد، عند الانتقال من مياه سريعة إلى بطيئة تزداد درجة الحرارة وكمية الأكسجين تقل، وبالإضافة إلى ذلك يصبح قاع النهر رملياً أو طينياً بعدما كان صخرياً مزحلقاً.

٢- المياه الراكدة: وتشمل البحيرات والبرك والمستنقعات. إن بيئة المياه الراكدة يمكن تقسيمها إلى ثلاثة أقسام. أولها خط الشاطئ، ويقع هذا النطاق على حافة البحيرة أو البرك المائية ويمتد من خط الشاطئ إلى مكان انتهاء المجتمعات النباتية التي لها جذور في القاع. وتحتوي هذه المنطقة على البكتيريا وبعض الفطريات والطحالب. ثم يأتي القسم الثاني من المياه الراكدة ويسمى بالماء المفتوح المضيء، وهو النطاق في عرض البحيرة الذي يخترقه الضوء وهو يحتوي على كائنات منتجة مثل: الدياتومات، والطحالب، والبكتيريا الزرقاء مكونةً العوالق النباتية Phytoplankton. أما القسم الثالث والأخير من المياه الراكدة فهو الماء المفتوح المظلم، وهو يقع تحت النطاق المضيء، وهذا الجزء يمكن أن يكون صغيراً في البرك، ولكنه يشكل جزءاً كبيراً في البحيرات الكبيرة والعميقة. إن هذا النطاق يعتبر ممراً للفتاتات من النطاق الأعلى ويحتوي على مجتمع المحللات على قاعه الطيني. وتوجد أنواع هائلة من البكتيريا المترممة والفطريات في هذا النطاق.

(٤,٧,٢) مياه قليلة الملوحة Brackish Water

تكون المياه قليلة الملوحة وسطاً في خصائصها الفيزيائية والكيميائية بين المياه العذبة ومياه البحر الغنية بالأملاح. وهذا بلا شك ينعكس على صفاتها البيولوجية، وعلى ما يعمرها من كائنات حية دقيقة أو حتى راقية. تشتمل هذه المياه على أنواع

مختلفة من المستنقعات المائية تشمل المستنقعات الساحلية، ومن أهمها مصب النهر بالبحر حيث يلتقي الماء العذب بالمالح، وتوجد كائنات حية دقيقة تكيفت لهذه البيئة المتذبذبة. وتضم كذلك بعض المستنقعات المتأثرة بالمد والجزر، وكذلك مستنقعات المانجروف Mangroves التي تكثر في المناطق الاستوائية.

بالإضافة إلى ذلك هناك المستنقعات القارية، وهذه من أهمها البوك Bog الذي ينتشر في المناطق الرطبة، ومناطق الغابات الباردة في أمريكا الشمالية وأوروبا، وتكون المياه مغلقة الجوانب وتصعب حركة المياه الجوفية منها وإليها. كذلك يوجد غطاء نباتي متماسك، ويتميز لون الماء باللون الأحمر الفاتح نتيجة لإفراز المواد العضوية من الكائنات الحية الدقيقة والنباتات المتفسخة، وتوجد كمية قليلة من النيتروجين. وتكثر في المستنقعات القارية أنواع من البكتيريا التي تكوّن كبريتيد الهيدروجين، كما توجد في هذه البيئة بعض الطحالب، والحشائش، والنباتات آكلة الحشرات.

وتضم المستنقعات القارية كذلك مستنقعات الغابات التي تشبه البرك المائية غير أنها تحتوي على أشجار، وتوجد كائنات حية دقيقة مختلفة في هذه البيئة. بالإضافة إلى ذلك توجد المستنقعات الملحية التي تكثر في المناطق الصحراوية وخصوصاً في الأجزاء المنخفضة كما هي الحال في المستنقعات الملحية والسبخات Marshes في المناطق الجافة من المملكة العربية السعودية.

(٤,٧,٣) المياه البحرية Marine Water

تغطي المحيطات ٣٦١ مليون كم٢ أي حوالي ٧١٪ من سطح الكرة الأرضية. ويبلغ معدل عمق المحيطات ٣٧٥٠م، وأعمق نقطة هي خندق ماريانا ترنش Mariana Trench في المحيط الهادي حيث يبلغ عمقه ١٠٧٥٠م . ونسبة الملوحة تعادل حوالي

٣٪، ولكن تتغير بالعمق والموقع الجغرافي، فمثلاً معدل التبخر يكون عالياً حول خط الاستواء مسبباً ارتفاعاً في معدل الملوحة أكثر منه في المناطق المعتدلة. وحوالي ٩٠٪ من صنع الغذاء وتكوين الأكسجين يحدث في المياه؛ لذلك معظم الحياة على الأرض تعيش في الماء. الاختلاف في درجة الحرارة في البحار يكون قليلاً مقارنة باليابسة؛ لذلك بيئات البحار تكون أكثر ثباتاً. ودرجة حرارة الأعماق هي حوالي ثلاث درجات مئوية. ومن مميزات المحيطات وجود الأمواج بسبب وجود اختلافات في درجة الحرارة من مكان لآخر، وبسبب وجود حركة الرياح فوق البحار.

وعلى طول خط الاستواء يوجد ارتفاع في درجة حرارة الماء، وهذا الذي يسبب حركته في اتجاه القطبين. تسبب الرياح ودوران الأرض اختلالاً لهذه الحركة مكونة خلايا مائية دوامة، وتلك تكون باتجاه عقرب الساعة شمال خط الاستواء، أما في الجنوب فالحركة تكون عكس عقارب الساعة. يحدث خلط لمياه البحر في المناطق الساحلية الضحلة، وفي الطبقات العليا المضيئة في الماء المفتوح في عرض البحر (المنطقة السابحة). وتكون كمية المغذيات العضوية ضعيفة نتيجة للخلط القليل بين مياه المناطق العميقة والسطحية المضيئة.

تزخر مياه البحار والبحيرات بالعديد من الأحياء الدقيقة المائية، وهي تعد مصدراً متجدداً لكثير من المواد الغذائية والعناصر الكيميائية الهامة، ومواد متنوعة الاستخدام كاللؤلؤ، والمرجان، والإسفنج، والصدف إلى جانب دورة الماء العذب بين الأرض، والجو، والكائنات الحية. وتحفظ البحار الحرارة على الأرض وتشعها على اليابسة بفضل احتفاظ الماء بالحرارة وفقدها ببطء، مما يتيح ظروفاً مناسبة للحياة في مياهها وعلى أعماق مختلفة. كما تعمل البحار على تلقي كل ما يسيل على اليابسة من مركبات وملوثات، وترشحها ليعود استخدامها في دورات جديدة بين الأحياء المختلفة.

وتمد البحار جو الأرض بكمية كبيرة من الأكسجين خلال عملية البناء الضوئي للطحالب البحرية المنتشرة على مياهها السطحية، وللبحار دور كبير في الملاحة والسفر والتجارة الدولية، كما توفر شواطئها أماكن جيدة للترفيه والرياضة المائية.

وتبدأ الأحياء البحرية بسلسلة المنتجين، وهي الطحالب البحرية، والهائمات المجهرية النباتية التي تشكل قاعدة هرم الغذاء في البحر. ويليها عدة سلاسل غذائية من المستهلكين. وتتوفر في البحر سلسلة من الأحياء الدقيقة المحللة Decomposers على شكل بكتريا وفطريات تقوم بتحليل أجسام الأحياء الميتة أو الفضلات العضوية إلى عناصر غير عضوية تتاح من جديد للاستخدام في بناء أجسام الأشكال المنتجة بفضل طاقة الشمس وثاني أكسيد الكربون والماء. وتشكل المياه البحرية بيئة خصبة للأحياء المختلفة. فهي تتفاوت في العمق من عشرات الأمتار في بعض البحار والخلجان الضحلة إلى أكثر من عشرة آلاف متر في بعض المحيطات. ومتوسط عمق البحار ٣٨٠٠م، وهي مأهولة بالأحياء بدرجات متفاوتة، فتتوفر في الطبقات العليا، وتقل مع زيادة العمق؛ لظروفها الشديدة البرودة، والظلام، وزيادة الضغط، وندرة الغذاء.

تشكل الطحالب جزءاً كبيراً من مصادر الأحياء المائية، ولها ألوان وأحجام مختلفة، فمنها الأزرق، والأحمر، والبني، والأخضر، والذهبي بسبب اختلاف أصباغها وتنوعها في العمق "لاصطياد" موجات أشعة الشمس المختلفة، واستخدامها في البناء الضوئي. وأكثر المياه البحرية إنتاجاً هي المياه الساحلية الغنية بالمصبات والتيارات، وهي تغطي ٤٩٪ أيضاً، والكمية القليلة الباقية ٢٪ يتم اصطيادها من مياه البحر المفتوح الذي يشكل حوالي ٩٠٪ من مساحة سطح البحر. فهو فقير في الإنتاج لبعده عن الشواطئ ونقص العناصر التي تنزل إلى البحر من اليابسة. ويمكن تقسيم بيئة المياه البحرية إلى المناطق الآتية:

١- منطقة الشاطئ: يقصد بها منطقة المد والجزر حيث يتقابل البحر باليابس. هذه المنطقة وما فيها من كائنات حية دقيقة أو راقية معرضة للأمواج العنيفة وكذلك للعوامل البيئية الأخرى كالشمس والرياح والأمطار، وللتغير الكبير في درجة الحرارة. بالإضافة إلى ذلك تكون معرضة لعوامل التعرية والترسيب. لقد تكيفت الكائنات الحية في هذه المنطقة إلى تلك التغيرات والظروف، فعلى السواحل الصخرية تتميز الكائنات الحية باحتوائها على أعضاء ماسكة تمكنها من مقاومة الأمواج، وفي المناطق الرملية تتميز بأعضاء تثبيت كالحراشف تمكنها من العيش على الرمال. تقسم هذه السواحل إلى نوعين رئيسين هما السواحل الرملية ؛ والسواحل الصخرية، ويحتوي كل نوع على أنواع من الكائنات الحية الدقيقة، وتحتوي الشواطئ الصخرية عادة على عدد أكبر من الكائنات الحية.

٢- منطقة الرف القاري: تمثل منطقة الرف القاري الامتداد الخارجي لليابسة تحت الماء قبل الانحدار الفعلي الحاد إلى المناطق العميقة في البحار. وتمتد هذه المنطقة من المنطقة الساحلية متدرجة إلى أن يكون عمق الماء حوالي ٢٠٠م. هذه المنطقة غنية بالأملاح المعدنية القادمة من الأنهار ومن التيارات الصاعدة من حافة الرف القاري ؛ فلذلك نمو الأحياء الدقيقة والنباتات يكون فيها وفيراً، ومن ثم فإنه يدعم أحياء متنوعة ؛ لذلك تشتمل هذه المنطقة على معظم مصايد أسماك العالم. إن ٨٠٪ من الأسماك البحرية تؤخذ أو تصطاد عادة من عمق لا يزيد عن ٢٠٠م.

٣- منطقة التيارات الصاعدة: إن منطقة التيارات الصاعدة هي منطقة منحدرة صغيرة تقع عند حافة الرف القاري حيث تتعرض للتيارات الصاعدة من قاع المحيط مسببة دفع المياه من الأعماق إلى حزام المنطقة المضيئة. وتعيش بعض الطحالب المائية في هذه المنطقة، مع أنها غير مستوية بل متدرجة في الانحدار، وتبدأ منها صعود التيارات المائية إلى الأعلى ؛ مما يسبب عدم استقرار الكائنات الحية الدقيقة فيها.

٤- المنطقة السابحة: المنطقة السابحة هي المنطقة الواسعة في عرض البحر حيث تشكل حوالي ٩٠٪ من مساحة المحيط ومعظم أجزاء هذه المنطقة تقع تحت المنطقة المضيئة. هذه المنطقة فقيرة نسبياً من الناحية البيولوجية؛ وذلك لأن الكائنات الحية تموت ثم تترسب خارج نطاق المنطقة المضيئة. وتضم الكائنات الحية الدقيقة في هذه المنطقة الأحياء الطافية Phytoplankton، وتقسم هذه المنطقة عمودياً إلى أربع مناطق أولها العلوية وهي المنطقة المضيئة ربما تصل إلى عمق ١٠٠م. تقوم عملية التمثيل الضوئي بتدعيم الحياة في هذه المنطقة.

توجد في هذه المنطقة الدياتومات والطحالب التي تعتبر هي الكائنات الحية الدقيقة الرئيسة. ثم الوسطى وتوجد أسفل المنطقة المضيئة مباشرة. وهناك السفلية، وهي أسفل السابحة الوسطى وكلتا المنطقتين تعتمدان على الغذاء من المناطق الأخرى وبالأخص المنطقة العلوية المضيئة. أما المنطقة الرابعة فتسمى بالبيئة القاعية. وهذه تتميز بالضغط الهائل، والظلام الدائم، ودرجة الحرارة الثابتة القريبة من الصفر؛ نظراً لوجود حاجز حراري ثابت. وتتميز بالضغط الهائل بسبب وجود المياه من فوقها، فالضغط يعادل ١٠٥٠ ضغطاً جوياً في منطقة الترنش الفلبيني والكائن على عمق ١٠٥٠٠م. ورغم هذه الظروف البيئية القاسية توجد كائنات حية كثيرة تحورت لتكون قادرة على تحمل الضغط والتغذية في ظلام دامس. هذه المنطقة عرضة لسقوط الفتات والأجسام الميتة التي تعطي طاقة للكائنات الدقيقة المترممة Saprophytic في هذه المنطقة والمكونة من المحللات.

إن الإنتاج الأولي بواسطة البلانكتون يشكل حوالي ٩٠٪ من إنتاج البحر والمتبقي هو ١٠٪ مسئول عنه المنتجات الجالسة كالطحالب الحمراء، والبنية، والخضراء التي توجد في المناطق الساحلية والرف القاري حيث تتوفر السطوح المناسبة لنموها. بعد غطاء طحالب البحر امتداداً إلى منطقة الرف القاري تنتشر الدياتومات

والدينوفلاجيليت حيث تنتشر الأولى في البحار المعتدلة بينما تنتشر الأخيرة في مناطق خط الاستواء. وتوجد الطحالب الخضراء والحمراء الخيطية مطمورة في البنيان المرجاني حيث تساعد هذه الطحالب على تقويم البنيان المرجاني؛ وذلك لمساعدة البوليب المرجاني على تكوين الهيكل الخارجي الصلب من مادة الجير.

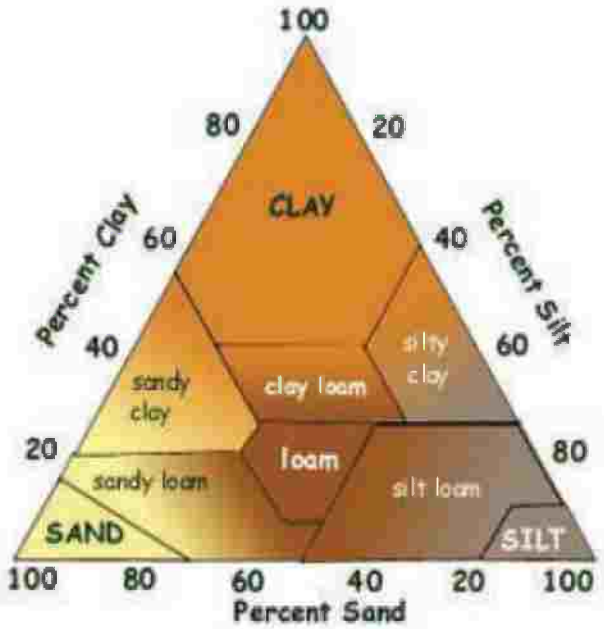
٥- منطقة الشعاب المرجانية: هي مجتمعات توجد عادة في المحيطات المدارية مكونة كشرائط حول الجزر أو مكونة جزر حلقية أو شعاب حاجزيه بعيدة عن الشاطئ. المرجان هو حيوان جوفمعوي ذو علاقة بالأسماك الهلامية وشقائق النعمان، وهو يكون مستعمراً ذي هيكل خارجي مكون من كربونات الكالسيوم. وتوجد في داخل خلايا المرجان العديد من خلايا الطحالب المتعايشة (الدينوفلاجيليت) حيث تقوم الطحالب بتموين الغذاء ومقابل ذلك يعطي المرجان هيكلاً مدعماً لنمو الطحالب وكذلك مواد مغذية. وهناك أيضاً بعض التعاون بين الطحالب الخضراء الخيطية والمرجان لتكون الهيكل الخارجي للمستعمرات.

(٤,٨) التربة Soil

تشكل التربة الجزء الأعلى من سطح الأرض، ويعبر عن التربة الزراعية بطبقة الحراثة، وهي التي تصل إلى عمق متر واحد تقريباً من قشرة الأرض السطحية. والتربة تختلف اختلافاً كبيراً من مكان لآخر ومن بيئة إلى أخرى من حيث اللون والتركيب الكيميائي، والفيزيائي، والقوام، والمحتوى الرطوبي، وغير ذلك من الخصائص البنائية. وتتكيف الكائنات الحية مع خصائص التربة التي تعيش عليها من حيث الاحتياجات الغذائية، والعوامل الفيزيائية، والكيميائية، والبيولوجية.

تتكون التربة نتيجة لتفتت وتحلل الصخور، والمواد النباتية والحيوانية، ويشغل الفراغات التي تتخلل حبيباتها-جزئياً- الهواء والماء. وفي المناطق الجافة تسود العوامل الفيزيائية، والعوامل الكيميائية في تكوين التربة، بينما يحدث العكس في المناطق الرملية. وتختلف نسبة المادة العضوية باختلاف نوع التربة، ففي الأراضي الرملية الصحراوية تصل نسبة المادة العضوية إلى الحد الأدنى، وتزداد نسبتها في أراضي الغابات حيث يكون الغطاء النباتي كثيفاً.

وتشمل عمليات تكوين التربة Soil Formation القوى الطبيعية التي تؤدي إلى التفتيت والتغيير الكيميائي للأشياء المحيطة بنا. وتلعب الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة دوراً مهماً في تحليل بقايا النباتات والحيوانات، وينتج عن ذلك تحرر العناصر الغذائية في التربة بالإضافة إلى تكوين ثاني أكسيد الكربون والمواد العضوية المستمدة التي تساعد في تحلل التربة. تتركب التربة من حبيبات تختلف في أحجامها، ويمكن فصل حبيبات التربة إلى مجاميع مختلفة على أساس حجم الحبيبات. ويتكون قوام التربة Soil Texture من حبيبات ذات أحجام مختلفة، وهي الحصى والرمل والغرين والطين. ومن أهم العوامل التي تؤثر على الكائنات الحية الدقيقة والنباتات التي تعيش عليها النسب بين أوزان هذه المجاميع من حبيبات التربة، وهو ما يعرف بالتركيب الميكانيكي، أما التحليل الميكانيكي للتربة فيقصد به عملية فصل هذه المجاميع المكونة للتربة وتعيين وزن كل منها ثم رسم مثلث قوام التربة (Mick Crawley, ١٩٩٦) الموضح في الشكل رقم (٤,٩).



الشكل رقم (٤,٩). مثلث تحديد قوام التربة.

ولقد اتفق في الجمعية الدولية لعلوم التربة (Brower & Zar, ١٩٧٧) على تحديد حجم الحبيبات في كل مجموعة على النحو الآتي:

الحصى Gravel هي تلك الأجسام الصلبة التي يزيد قطرها عن ٢,٠مم.

الرمل الخشن Coarse Sand يتراوح قطر حبيباته ما بين ٢,٠ ـ ٠,٢مم.

الرمل الناعم Fine Sand يتراوح قطر حبيباته ما بين ٠,٢ ـ ٠,٠٢مم.

الغرين (الطمي) Silt يتراوح قطر حبيباته ما بين ٠,٠٢ ـ ٠,٠٠٢مم.

الطين Clay يصل قطر حبيباته إلى ٠,٠٠٢مم فأقل من ذلك.

والحبيبات الكبيرة في حجمها تحتجز بينها كميات ضئيلة من الماء، ولذلك تعد خاملة ولا تحمل الأراضي الرملية ذات الحبيبات الكبيرة كساءً خضرياً وافراً مع أن الجذور تنمو فيها بسهولة وتحمل فروعاً غزيرة.

أما حبيبات الطين فهي غروية، ونظراً لدقة حجمها فتحصر بينها فراغات شعرية دقيقة؛ ولذلك فإن قدرتها على حمل الماء تكون كبيرة جداً، كما أن قدرتها على حمل الكاتيونات المتبادلة تكون كبيرة، وبذلك تتوفر في التربة الطينية العناصر الغذائية اللازمة للنبات. ومن مساوئ التربة الطينية أنها عندما يضاف إليها الماء تتشرب حبيباتها بالماء وتنتفخ وتصبح لزجة، وعندما تجف تبقى حبيباتها ملتصقة بإحكام مع بعضها مما يؤدي إلى ظهور شقوق كبيرة وعميقة تتسبب في تمزق الجذور كما في الشكل رقم (٤,١٠).

الشكل رقم (٤,١٠). التشقق في التربة الطينية.

المقصود ببناء التربة Soil structure هو ترتيب الحبيبات أو الهيئة التي تتجمع بها حبيبات التربة بعد حرثها، ويتوقف على ذلك حجم الفراغات الذي يؤثر على درجة التهوية في التربة، وتشتمل المسامية في التربة على الجزء الذي شغله الماء والجزء الذي يشغله الهواء. وتصل المسامية عادةً إلى ٥٠٪، وتنخفض هذه النسبة في الأراضي الرملية، وترتفع في الأراضي الطينية، ولا يمكن معرفة درجة التهوية في التربة من المسامية وحدها، بل يجب لمعرفة ذلك تعيين حجم الفراغات؛ إذ إن الفراغات الواسعة غير الشعرية هي التي يشغلها الهواء بعد رشح الماء الذي يعقب سقوط الأمطار أو الري. والفراغات الضيقة الشعرية هي التي يشغلها الماء الشعري في معظم الأوقات ويتعذر مرور الهواء فيها. وتحدد نسبة الفراغات الشعرية كمية الماء الذي تحتفظ به التربة عقب الري أو سقوط الأمطار.

وتعتبر التربة النموذجية هي التي تكون فيها نصف المسامية من فراغات غير شعرية تسمح بمرور الغازات، والنصف الآخر من فراغات شعرية تحتفظ بنسبة وافرة من الماء، أما التربة التي تحتوي على نسبة عالية من الفراغات غير الشعرية ونسبة ضئيلة من الفراغات الشعرية؛ وذلك لكبر حجم حبيباتها فتعتبر جيدة التهوية وقليلة الاحتفاظ بالماء، وتعد هذه الصفة الأخيرة من أبرز عيوب التربة الرملية. والتربة الطينية ذات الحبيبات الدقيقة المنفردة على العكس من ذلك، فهي رديئة التهوية، وكثيرة الاحتفاظ بالماء، ولكي تعالج رداءة التهوية في الأراضي الطينية يضاف إليها مواد عضوية أو جيرية؛ إذ إن هذه المواد تعمل على تجميع الحبيبات الدقيقة على صورة حبيبات مركبة تحصر بينها فراغات واسعة، وبذلك تزداد نسبة الفراغات غير الشعرية، ومن ثم تتحسن التهوية في هذه الأراضي.

وهناك نوع من الأراضي الطينية عندما تبتل تنتفخ حبيباتها بدرجة كبيرة وتسد جزءاً من مسامها وتصبح رديئة التهوية، ولا تصلح لنمو الجذور فيها. وتزداد المسامية في التربة بتحلل الجذور التي تخترقها تاركة القنوات التي كانت تشغلها فارغة، وبذلك تملؤها الغازات، وكذلك تعمل حركة الديدان في التربة على زيادة المسامية فيها وتؤدي عملية الحرث على تفكيك الطبقة السطحية للتربة فتتباعد حبيباتها وتزداد التهوية.

ويقصد بتفاعل التربة Soil Reaction أي درجة تركيز أيون الهيدروجين في محلول التربة، ويعبر عن تفاعل التربة أو حموضة التربة بالرقم الهيدروجيني (pH). تعتبر التربة حامضية إذا كانت أيونات الهيدروجين في محلول للتربة أعلى في تركيزها من أيونات الهيدروكسل، وتعتبر التربة قاعدية إذا كانت أيونات الهيدروكسيل في محلول للتربة أعلى في تركيزها من أيونات الهيدروجين، ويتساوى تركيزهما في التربة المتعادلة. وتتأثر كمية المحصول - لدرجة كبيرة - بالرقم الهيدروجيني للتربة. وتشير الدراسات والأبحاث البيئية إلى أن الرقم الهيدروجيني المناسب لنمو معظم النباتات هو الواقع بين ٦,٥ - ٧,٥، أي أن التربة الضعيفة الحامضية أو القلوية هي الملائمة لنمو معظم النباتات.

وتكون الطبقة السطحية من التربة عادة أكثر حموضة من الطبقة تحت السطحية؛ ويرجع ذلك إلى وجود الأحماض الناتجة من تحلل المواد العضوية في الطبقة السطحية، ولتسرب الماء الذي يحمل القواعد من الطبقة السطحية للتربة إلى الطبقات السفلى، كما أن للتضاريس تأثيراً كبيراً على الرقم الهيدروجيني للتربة، فعند قمم التلال يكون الرقم الهيدروجيني أقل منه في الوديان؛ ويرجع ذلك إلى أن الأمطار تحمل القواعد من المرتفعات إلى المنخفضات حيث تتجمع فيها، والتربة في المناطق الجافة الحارة تختلف ما بين المتعادلة وشديدة القلوية؛ وذلك لقلة سقوط الأمطار،

وهذا من شأنه إبقاء القواعد في الطبقة السطحية دون تسربها؛ وأيضاً لقلة تكوين الأحماض الناتجة من تحلل المواد العضوية، أما التربة في المناطق الباردة الغزيرة الأمطار فتختلف ما بين الحامضية البسيطة والحامضية الشديدة. وثبت أن هناك علاقة بين الرقم الهيدروجيني وبعض الخواص الطبيعية والكيميائية للتربة (Stern, ٢٠٠٠).

كذلك يحدد الرقم الهيدروجيني درجة ذوبان أملاح الحديد والمنجنيز والمغنيسيوم والزنك في التربة، ففي المحاليل شديدة القلوية تصبح أملاح الحديد البسيطة عديمة الذوبان نسبياً؛ مما يسبب فقدان اللون الأخضر في النباتات، ويرجع ذلك إلى أن عنصر الحديد يعمل كوسيط في تكوين الكلوروفيل. وفي التربة شديدة الحامضية تزداد درجة ذوبان هذه العناصر مثل الألمنيوم، والحديد، والمنجنيز، والزنك إلى درجة كبيرة تجعلها سامة. من هذا يتبين أن الأراضي القريبة من المتعادلة هي الأنسب لنمو معظم النباتات.

وتوجد علاقة أيضاً بين الرقم الهيدروجيني والخواص الطبيعية للتربة، فمن المعروف أن الحبيبات الغروية في التربة تحمل شحنات سالبة على سطحها وهذه الشحنات لا تتعادل إلا إذا تجمعت على سطح الغروية الأيونات القاعدية، خاصة ثنائية التكافؤ، مثل الكالسيوم، والمغنيسيوم، أما أيونات الهيدروجين فلا تكفي لتعادل هذه الشحنات السالبة، ففي التربة شديدة الحامضية تكون كمية أيونات الكالسيوم والماغنسيوم غير كافية لتعادل الشحنات السالبة الموجودة على سطح الحبيبات الغروية، وبذلك تبقى الأخيرة في حالة تنافر، ولا تتجمع لتكون حبيبات مركبة؛ مما يؤدي إلى قلة نفاذية التربة للماء ورداءة تهويتها.

وفي التربة القريبة من نقطة التعادل تستطيع أيونات الكالسيوم والمغنيسيوم معادلة الشحنات السالبة الموجودة على سطح الحبيبات الغروية، وعندئذ تتجمع هذه

الحبيبات البسيطة لتكون حبيبات مركبة، وتصبح التربة منفذة للماء وجيدة التهوية. وفي التربة شديدة القلوية يزداد عدد أيونات الصوديوم والبوتاسيوم الموجودة على سطح الحبيبات الغروية؛ مما يؤدي إلى تنافرها وعدم تجمعها، وهذا من شأنه إفساد الخواص الطبيعية للتربة.

(٤,٨,١) ملوحة التربة Soil salinity

تختلف الكائنات الحية الدقيقة فيما بينها من حيث درجة تحملها لملوحة التربة، ويمكن تقسيمها على هذا الأساس إلى ثلاثة أقسام:

١- كائنات حية دقيقة تنمو في الماء المالح أو الأراضي التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح وتعرف هذه المجموعات بالملحية Halophytes.

٢- كائنات حية دقيقة لا تستطيع أن تعيش إلا في الأراضي التي تحتوي على نسبة قليلة من الأملاح وتسمى بالوسطية Mesophytes.

٣- كائنات حية دقيقة تستطيع أن تعيش في كلتا البيئتين، وتعرف هذه بالملحية الاختيارية Facultative Halophytes.

يتأثر توزيع الأملاح في الطبقات المختلفة من التربة باختلاف العوامل الجوية في الفصول المختلفة، ففي فصل الجفاف يتبخر الماء على سطح التربة ويتحرك الماء الشعري إلى أعلى عند السطح حيث يتبخر، وباستمرار عملية التبخر تتجمع الأملاح في الطبقات السطحية، وفي الفصل الذي تسقط فيه الأمطار يحمل ماء المطر- أثناء رشحه- الأملاح من الطبقات السطحية إلى الطبقات العميقة. من العوامل التي تساعد على تراكم الأملاح على سطح التربة وجود طبقة صلبة أو غير منفذة للماء بالقرب من

السطح، وكذلك فإن قرب مستوى الماء الأراضي Water table من السطح يعمل على تراكم الأملاح أيضاً.

تنقسم الأراضي التي تحتوي على نسبة عالية من الأملاح التي تضر بنمو الكائنات الحية الدقيقة ووجودها فيها إلى ثلاثة أقسام:

١- أراضٍ ملحية Saline soils، وهي الأراضي التي تحتوي على كميات زائدة من الأملاح المتعادلة أو غير القلوية القابلة للذوبان، خاصة الكلوريدات والكبريتات، إضافة إلى الأملاح القليلة أو غير القابلة للذوبان نسبياً، مثل كبريتات الكالسيوم، وكربونات الكالسيوم، والمغنيسيوم، وتزيد نسبة الكالسيوم والمغنيسيوم في القواعد المتبادلة. وهذه الخاصية تساعد على تجمع الحبيبات البسيطة مما يجعل التربة منفذة للماء، وبذلك يسهل علاجها بالغسيل والصرف، ولا يزيد الرقم الهيدروجيني في هذه التربة عن ٨.٥. وهذه الأراضي كانت تعرف قديماً بالقلوية البيضاء White Alkali؛ وذلك لتجمع الأملاح على هيئة قشرة بيضاء فوق سطح الأرض في أغلب الأحوال. وتعالج هذه الأراضي بالغسيل بالماء الكافي والصرف الجيد لإزالة الأملاح من المنطقة التي تنتشر فيها الجذور إلى الطبقات السفلى من التربة.

٢- أراضٍ ملحية قلوية Saline Alkali Soils، ويشبه هذا النوع من الأراضي النوع السابق في احتوائها على نسبة عالية من الأملاح، ولكن يختلف عنه في زيادة نسبة الصوديوم في القواعد المتبادلة وهو ما سيكون من شأنه زيادة القلوية في الأرض، وإفساد خواصها الطبيعية عن طريق تفرق الحبيبات الغروية؛ مما يؤدي إلى تقليل نفاذية التربة للماء، وعدم توفر الظروف الملائمة لنمو الجذور

ويتلاشى تأثير الصوديوم في التربة في وجود الأملاح الذائبة ويظهر مؤقتاً عند رشحها وتسربها إلى الطبقات السفلى.

٣- أراضٍ غير ملحية وقلوية Non-Saline Alkali Soils ويتميز هذا النوع من الأراضي باحتوائه على نسبة أقل من الأملاح الذائبة، ونسبة عالية من الصوديوم المتبادل، ونظراً لقلة الأملاح الذائبة يظهر تأثير الصوديوم. لذلك تتصف هذه الأراضي بزيادة القلوية فيها (يتراوح الرقم الهيدروجيني بين ٨,٥- ١٠)، كما تتميز هذه الأراضي بقلة تغذية التربة للماء ويتعبأ الصوديوم الموجود على سطوح الغرويات، وقد تتكون كميات بسيطة من كربونات الصوديوم. وتوجد المادة العضوية في حالة تفرق شديد وتتوزع على الحبيبات، وتضفي على التربة لوناً قاتماً؛ لذلك أطلق على هذا النوع من الأراضي اسم القلوية السوداء Black Alkali Soils.

إن زيادة تركيز الأملاح المتعادلة تتبعه زيادة في الضغط الأسموزي لمحلول التربة، وهذا بدوره يؤثر على نمو ووجود الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في التربة. فتأثير الأملاح يكون عن طريق رفعها للضغط الأسموزي لمحلول التربة، ولكن هناك نوع آخر من التأثير الخاص ببعض الأملاح لا تقل أهميته كثيراً عن السابق يتمثل في العمليات الفسيولوجية والبيوكيميائية للكائنات الحية الدقيقة. وتتناسب درجة تحمل الكائنات الحية الدقيقة للأملاح مع درجة انتشارها وكثرتها في الطبيعة، فكلما قل انتشار ملح من الأملاح في الطبيعة، قلت قدرة الكائنات الحية الدقيقة على تحمل هذا الملح حتى في محاليله المخففة، ومثال ذلك التأثير السام الذي ينجم عن وجود أملاح

كبريتات النحاس حتى في محاليل مخففة في الوقت الذي تتحمل فيه الكائنات الحية الدقيقة العادية محاليل من كبريتات الكالسيوم يصل تركيزها إلى درجة عالية.

(٤,٨,٢) المادة العضوية Organic Matter

للمادة العضوية أثر كبير على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للتربة، وهذا يؤثر على نمو الكائنات الحية الدقيقة. وتشمل المادة العضوية بقايا النباتات والحيوانات سواءً الموجودة في التربة أو التي تضاف إلى التربة بما في ذلك جذور النباتات والأوراق التي تسقط على التربة وغيرها من مكونات المجموع الخضري. إن أنسجة النبات تتركب عامة من ٧٥٪ ماء و ٢٥٪ تقريباً مادة جافة، وتتركب المادة الجافة للنباتات من الكربون والهيدروجين والأكسجين، وهذه تكون ٩٠٪ من وزن المادة الجافة، أما الجزء الباقي فيتركب من النيتروجين، والكبريت، والكالسيوم، والفسفور، والبوتاسيوم، وبعض العناصر الأخرى، وهذه العناصر التي تدخل في تركيب المادة الجافة توجد على صورة مركبات عضوية، مثل المواد الكربوهيدراتية كالسكريات، والنشا، والسليلوز، واللجنين؛ ومن المواد البروتينية، والدهون، والزيوت، والشمع، والأحماض العضوية. أما المركبات غير العضوية أو المعدنية فتشتمل على مركبات الفسفور والكالسيوم، والمغنيسيوم، والبوتاسيوم، والألمنيوم، والحديد، والمنجنيز، وتدخل هذه العناصر أيضاً في تركيب أملاح عضوية كما تكون أملاحاً غير عضوية (Schumaker, ١٩٩٦). ويمكن تقسيم المركبات الكيميائية التي تدخل في تركيب المادة العضوية إلى ثلاثة أقسام رئيسة هي ما يأتي:

- مركبات عضوية غير نيتروجينية.
- مركبات عضوية نيتروجينية.

- مركبات غير عضوية أو معدنية.

وتتحلل النشويات، والسكريات، والبروتينات، والأحماض الأمينية سريعاً بواسطة العديد من الكائنات الحية الدقيقة، ويصحب ذلك عملية بناء للمواد القلوية للكائنات الدقيقة كما تتحلل المواد السليلوزية، خاصة النصف سليلوزية، بفعل العديد من الكائنات الدقيقة، أما اللجنين فإنه بصفة خاصة يقاوم التحلل تحت الظروف اللاهوائية، ولكن تحت الظروف الهوائية يحدث له بعض التغيير.

وتتحل البروتينات النباتية والحيوانية ومشتقاتها إلى أميدات Amides وأحماض أمينية Amino acids مختلفة الأنواع، وهذه تتحل بدورها إلى ثاني أكسيد الكربون ومركبات الأمونيا وغيرها من المركبات البسيطة النهائية. وتستغل الأمونيا بواسطة الكائنات الحية الدقيقة وتتأكسد إلى نيترات وتتحرر الأيونات المعدنية في أثناء تحلل المادة العضوية وتكوين الدبال Humus (الشكل رقم ٤.١١). وهذه العناصر المعدنية إذا لم تمتص بواسطة النباتات، فإنها تتسرب إلى الأعماق البعيدة من التربة بالغسيل وتشتمل هذه العناصر الأساسية على الكبريت، والفسفور، والبوتاسيوم، والمغنيسيوم، والكالسيوم.

وفي أثناء عملية تكوين الدبال من بقايا النباتات يحدث نقص سريع في المكونات القابلة للذوبان في الماء وزيادة نسبية في اللجنين ومركباته المعقدة وزيادة كذلك في البروتينات، ومن المرجح أن هذه البروتينات تنشأ نتيجة نشاط الكائنات الحية الدقيقة أي أنها من نوع آخر يقاوم التحلل ويختلف عن بروتينات النباتات التي تتحل سريعاً.

الشكل رقم (٤,١١). تحلل بقايا النباتات وتكون الدبال.

والدبال مادة غروية سوداء عديمة الذوبان في الماء (الشكل رقم ٤.١١)، ويتركب من نسبة عالية من اللجنين (٤٠- ٤٥٪) والبروتينات (٣٠- ٣٥ ٪) أما الجزء الباقي من الدبال فيتكون من الدهون والشموع وغيرها من المواد المقاومة للتحلل، وهذا المركب المعقد من اللجنين والبروتينات يجعل الدبال مقاوماً للتحلل. ولبطء تحلل الدبال أهمية كبيرة بالنسبة للنباتات ؛ إذ إنه يعد بمثابة مخزن للمواد النيتروجينية التي تتحرر تدريجياً، وبهذا يتمكن النبات من امتصاصها دون أن تفقد بالغسيل بماء المرشح.

ويلعب الدبال دوراً مهماً في تحسين خواص التربة الطبيعية والكيميائية، فهو يعمل على زيادة قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء، ويقلل من فقدان الماء بالتسرب السفلي إلى الأعماق، ويزيد من تهوية التربة خاصة التربة الطينية الثقيلة، كما يحسن

بناء التربة؛ إذ إنه يعمل على تكوين الحبيبات المركبة، وبذلك يقلل من الخسارة الناتجة عن عوامل التعرية بفعل الرياح.

ويحسن الدبال الخواص الكيميائية للتربة؛ إذ إنه يجعل من التربة مخزناً يمد النباتات بالمركبات النيتروجينية تدريجياً، كما أنه يساعد على تكوين الأحماض العضوية وغير العضوية التي تعمل كمذيبات للعناصر المعدنية المهمة للنباتات، وكذلك تكوين ثاني أكسيد الكربون ثم حامض الكربونيك وهو مذيب قوي أيضاً للعناصر المعدنية، كما أن للطبيعة الغروية للدبال أثرها الكبير في الاحتفاظ بمكونات الأسمدة والعناصر الغذائية المعدنية على سطوح الدبال الغروية ويتجنب فقدانها بالرشح. وللمادة العضوية أثر كبير على نشاط الكائنات الحية الدقيقة في التربة؛ إذ إن هذه الكائنات تحول المواد الغذائية في التربة إلى صورة مواد وعناصر بسيطة يمكن امتصاصها بواسطة النباتات واستغلالها (Wainwright and Al-Falih, ١٩٩٦).