الفصل الخامس

أهمية الأحياء الدقيقة

The role of Microorganisms

يبرز دور الأحياء الدقيقة في جانبين أساسيين: أولهما الأهمية البيئية للأحياء الدقيقة وهذه تشمل دور الأحياء الدقيقة في خصوبة التربة والتحلل الحيوي وثانيهما إكمال دورات العناصر المختلفة في الطبيعة ومنها الكربون والأكسجين والنيتروجين والفسفور والكبريت والماء. ويمكن تلخيص هذا الدور في الأتي:

تضم الأحياء الدقيقة مجموعة هائلة من الكائنات الحية تشمل البكتيريا والفطريات والطحالب. وهذه الكائنات الحية الدقيقة أوجدها الله في هذا الكون الفسيح لتشكل جزءاً مهماً وأساسياً في النظام 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. وسوف أستعرض فيما يأتي أبرز الجوانب التطبيقية والصفات والخصائص لكل منها، والأهمية الاقتصادية لهذه الكائنات الحية الدقيقة التي تعكس أهمية الدور الذي تقوم به هذه الكائنات الحية الدقيقة في البيئة المحيطة بنا وبجميع مكونات النظام البيئي.

وبالإضافة إلى النشاطات التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة في الطبيعة سواءً ما كان منها متعلقاً بتحليل المواد أو زيادة خصوبة التربة أو دورات المعادن، فهناك العديد من النشاطات الميكروبية التي تعود على الإنسان بالنفع والفائدة، والتي تشمل الاستخدامات الكثيرة للكائنات الحية الدقيقة في حياتنا اليومية، واستغلالها مباشرة كغذاء للإنسان وكدواء، وتستعمل أيضاً في بعض العمليات الصناعية الخاصة بإنتاج بعض المواد الغذائية.

(٥,١) الأهمية البيئية للأحياء الدقيقة

يبرز دور الأحياء الدقيقة في عدد من الجوانب الأساسية في البيئة، منها دور الأحياء الدقيقة في إكمال دورات العناصر المختلفة في الطبيعة مثل الكربون والأكسجين والنيتروجين والفسفور والكبريت والماء، وأكسدة هذه المعادن والمركبات في صورة متاحة للنبات يستفيد منها في تغذيته وإعادة تدويرها في النظام البيئي. إضافة إلى الأهمية البيئية للأحياء الدقيقة وهذه تشمل دورها في خصوبة التربة والتحلل الحيوي والتخلص من الفضلات وتكوين الوقود الحفري والصناعات الكيميائية والغذائية والدوائية. ويشهد هذا القرن الحالي الواحد والعشرين ثورة علمية هائلة في استغلال الأحياء الدقيقة صناعياً وتوظيفها لخدمة الإنسان في شتى نواحي حياته المتنوعة. وفيما يلي استعراض لأبرز الأدوار التي تقوم بها الفطريات والطحالب والبكتيريا في حياة الإنسان وفي البيئة من حوله.

حيث تعمل الفطريات إلى جانب البكتيريا على تفكيك المواد العضوية وتحليلها إلى عناصرها الأولية، فتزيد بذلك من خصوبة التربة، وتخلص البيئة من الآثار السلبية لهذه المواد، (Al-Falih and Al-Jaloud, 2003). كما تكتسب بعض الفطريات أهمية

غذائية كبيرة بالنسبة للإنسان، فبعض أنواعها تحتوي على كميات عالية من البروتين والدهون والفيتامينات كفطر عيش الغراب Mushrooms وفطريات الكمأة Truffles، وبعضها الآخر يفيد في تحضير بعض أنواع الجبن وحَمض الخل وتخمير العجين. وبعض أنواع الفطريات تحتوي على أنزيمات عديدة ومتنوعة تساعد على إتمام بعض التحولات الكيميائية التي ينتج عنها مواد ذات أهمية اقتصادية، مثل الكحول وحَمض الستريك Cetric acid وبعض الأحماض الدهنية المستخدمة في الطب، وتفرز بعض الفطريات أنزيمات تساعد على نضج أنواع من الجبن، مثل جبن الروكفورت.

ومن الناحية الطبية نجد أن بعض الأجناس الفطرية كفطر البنيسيليوم *Penicillum* وغيره من الفطريات تتمتع بأهمية طبية، حيث يستخرج منها بعض المضادات الحيوية كالبنسيلين الذي يستخدم في علاج كثير من الأمراض البكتيرية التي تصيب الإنسان والحيوان، حيث يعمل على إيقاف نمو هذه البكتيريا وقتلها. وفي الوقت نفسه تشكل الطحالب العالقة في المياه أو ما يعرف بالفيتوبلانكتون Phytoplankton المصدر الغذائي الرئيس للأسماك و لأحياء مائية أخرى، كما أنها تُغني الوسط المائي من خلال قيامها بالبناء الضوئي بغاز الأكسيجين اللازم لتنفس الكائنات الحية. وتعد الطحالب الحمراء مصدراً غذائياً مهماً للإنسان، يستمد منها البروتين النباتي والفيتامينات وبعض العناصر المعدنية المهمة. يستفاد من الطحالب البحرية في صناعة وتحضير الورق. يُستخدم مسحوق هياكل طحالب الدياتومات Diatomae في عمليات الترشيح وفي تحضير دهانات المعادن المختلفة ومعاجين الحشو والمواد العازلة الصناعية، ويستخدم مسحوق الطحالب المجففة في صناعة عدداً من المواد الطبية والصناعية، مثل الألجينات Algins والآجار Agar والكاراجين Carrageen كما يتم خلطه مع أعلاف الحيوانات. كما تُستخدم بعض

الطحالب كنباتات طبية لمعالجة بعض الأمراض، مثل اضطرابات الغدة الدرقية Goiter، والاضطرابات الهضمية، (السراني وآخرون، ٢٠٠٠م).

أما البكتيريا فيُنظر إليها بشكل عام على أنها عدو للإنسان، ولكن الحقيقة مغايرة لذلك. صحيح أن البكتيريا تفسد أغذيتنا وتسبب لنا العديد من الأمراض، ولكن فوائدها للإنسان أكبر بكثير من أضرارها. وسيتم التطرق في هذا الكتاب بشيء من التفصيل إلى البكتيريا؛ لأهميتها الاقتصادية الكبيرة في حياة الإنسان؛ ولكونها أوسع الكائنات الحية الدقيقة انتشاراً؛ وأحد المحللات الرئيسة في النظام البيئي.

فمن الناحية الطبية يُستفاد من بعض الأنواع البكتيرية في إنتاج مضادات حيوية تكون مثبطة لنمو غيرها من الأنواع البكتيرية. وتفيد أنواع بكتيرية أخرى في إنتاج عدد من الأنزيمات التي تستخدم في الصناعات الطبية كأنزيم البروتييز المحضر من البكتيريا *Bacillus subtilis*. كما تعتبر بعض الأنواع البكتيرية مصدراً مهماً للحصول على الفيتامينات كفيتامين ب١٢ (كوبال أمين) المحضر من البكتيريا *Pseudomonas denitrificans*.

تعمل البكتيريا إلى جوار الفطريات على إعادة تدوير المواد العضوية الناجمة عن بقايا وجثث الحيوانات والنباتات وتحويلها إلى عناصرها المعدنية الأولية (كربون، هيدروجين، أوكسجين، نيتروجين، كبريت، فسفور، كالسيوم، .....) التي يمكن أن تستخدم مرة ثانية في إعادة تصنيع الغذاء العضوي لدى النباتات الخضراء عبر عملية البناء الضوئي. كما تعمل بعض الكائنات الحية الدقيقة ومنها البكتيريا على تخمير العديد من المواد العضوية المعقدة محولة إياها إلى مركبات كيميائية ذات أهمية كبرى بالنسبة للإنسان، مثل الخل والكحول الإيثيلي والأسيتون. كما تساهم بكتيريا حَمض

اللاكتيك في تخمير الحليب وتحثره محولة إياه إلى حليب متخمر يمكن أن يفيد في إنتاج مشتقات الألبان المختلفة كالجبن والزبدة والقشدة واللبن.

(٥,٢) خصوبة التربة

مما لا شك فيه أن للكائنات الحية الدقيقة دور بارز وفعال في زيادة خصوبة التربة. ويأتي في مقدمة هذا الدور أكسدة المعادن الأساسية في تغذية النبات وتحويلها إلى صور متاحة يسهل على النبات امتصاصها من محلول التربة وتوظيفها في بناء أنسجته وتراكيبه المختلفة، وذلك خلال دورات المعادن Mineral Cycles. فالبكتيريا لها دور بارز وكبير في دورة النيتروجين في الطبيعة من خلال عملية تثبيت النيتروجين الجوي وتحويله إلى نيتروجين في التربة على هيئة نيتريت Nitrate يمتصه النبات من التربة ويحتجزه في مركبات عضوية في جسم النبات تنتقل بعده إلى الحيوان والإنسان عبر السلسلة الغذائية في النظام البيئي (Al-Falih, 2002). وبذلك تساهم البكتيريا كأحد الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة في زيادة خصوبة التربة نتيجة تحسين خواص تلك التربة. فالترب القلوية يمكن استصلاحها من خلال إضافة الكبريت بهدف تشجيع نمو البكتيريا التي تقوم بعملية أكسدة الكبريت Sulfar Oxidation وإنتاج غازات ثاني أكسيد الكبريت وثالث أكسيد الكبريت المعروفة بخواصها الحَمضية فتخفف بذلك من قلوية التربة وتحسن من تفاعل التربة pH وتجعلها خصبة ومناسبة لنمو النبات. وعلى العكس من ذلك نجد أن الترب الحَمضية يعمد المزارعين إلى استصلاحها من خلال ريها بمحاليل مخففة من سماد الأمونيا بهدف زيادة محتوى الأرض من النيترات القلوية بفعل بكتيريا Nitrosomonas وبكتيريا Nitrobacter المسئولة عن أكسدة مركبات النيتروجين في التربة، وذلك خلال عملية تسمى أكسدة النيتروجين N_2-Oxidation. كما إن أساليب

الحرث والري الجيدة تساعد على نمو وتكاثر الكائنات الحية الدقيقة في التربة مما ينعكس إيجاباً على تحسين خواص التربة وزيادة خصوبتها.

إن وجود البكتيريا في التربة يفوق بأضعاف مضاعفة وجودها في البيئات الأخرى مثل الماء والهواء. حيث تعتبر التربة الموطن الطبيعي للكائنات الدقيقة، وقد نشأت التربة نفسها نتيجة نشاط الكائنات الدقيقة على الصخور المعدنية، ومن وجهة النظر البيولوجية تعتبر التربة نظام حي " Living system " معقد ديناميكي غير ثابت نتيجة الأنشطة الحيوية المختلفة للكائنات الحية الموجودة بها.

ومن الممكن تقسيم مكونات التربة إلى (Alexander, 1971) :

١- **جزيئات التربة من الحصى والرمل والطين.**

٢- **بقايا النبات والحيوان**، والتي بعد تحللها تكون الدبال Humus.

٣- **المـــاء.**

٤ - **الغازات**، مثل: غاز الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى التي توجد بين حبيبات التربة.

٥- **الكائنات الحية**. وتشمل جذور النباتات والحيوانات الأولية والحشرات والديدان والطحالب والفطريات والاكتينوميسيتات والبكتيريا. وتتراوح أعداد البكتريا الموجودة بالتربة في الأحوال العادية بين $١٠^{٦} - ١٠^{٧}$ لكل جرام من التربة في المتوسط، وتتأثر أعداد البكتريا الموجودة بالتربة بعدة عوامل منها ما يأتي :

أ) **طبيعة التربة:** فالتربة الطينية تختلف عن التربة الصفراء أو الرملية من حيث تركيبها ومكوناتها ومحتوياتها. وجد أن التربة الغنية بالمواد العضوية تكون دائماً غنية بالكائنات الحية الدقيقة ومنها البكتريا.

ب) تفاعل التربة pH: تؤثر درجة حموضة التربة التي يعبر عنها بتفاعل التربة بشكل مباشر في نوعية وعدد البكتريا الموجودة في التربة.

جـ) المحتوى المائي للتربة: مما لاشك فيه أن ماء التربة يلعب دوراً أساسياً وبارزاً في وجود الأحياء الدقيقة بها. ويظهر ذلك بوضوح في المناطق الجافة حيث يقل وجود الأحياء الدقيقة في الترب الصحراوية مقارنة بأعدادها في الترب الزراعية الرطبة (Taurop, 1997).

د) نقص بعض العناصر الغذائية، مثل الفسفور أو المواد الغذائية الذائبة مثل النترات – يؤثر في وجود البكتريا في التربة.

هـ) الملوحة: تساعد ملوحة التربة على ازدهار بعض أنواع البكتريا المحبة للملوحة مقابل اختفاء معظم الأنواع البكتيرية في الترب الملحية.

و) العمق: حيث تقل أعداد البكتريا بزيادة عمق التربة فيكثر وجود البكتيريا في الطبقات السطحية عنها في الأعماق.

ز) التهوية ودرجة حرارة التربة: دلت البحوث والدراسات على أن من العوامل الرئيسة في وجود بكتيريا التربة درجة الحرارة وعامل التهوية. حيث تتأثر البكتيريا سلباً بارتفاع درجة الحرارة وقلة التهوية.

تقسم البكتريا حسب وجودها بالتربة إلى المجموعات الثلاث الآتية:

١–بكتريا متوطنة: هذه البكتيريا توجد في التربة بأعداد كبيرة نسبياً وثابتة ولا تتأثر بوجود أو غياب بعض المواد الغذائية ونشاطها التخميري ضعيف مثل بكتيريا Arthrobacter.

٢-بكتريا تخميرية: البكتيريا التخميرية تكون ذات نشاط تخميري مرتفع وأعدادها غير ثابتة وترتبط بوجود المادة التي تخمرها substrate حيث تزيد مادة التخمير في وجودها. من أمثلتها البكتريا محللة السليلوز والبكتريا التي تؤكسد الكبريت، و بكتريا تثبيت النتروجين ...الخ، ومنها جنس Bacillus، وجنس Pseudomonas.

٣-بكتريا غير متوطنة: البكتيريا غير المتوطنة تكون غير موجودة أصلا بالتربة ولكنها تدخل التربة عن طريق الإنسان، مثل البكتريا المغذية التي يضيفها الإنسان عند زراعة المحاصيل البقولية أو عن طريق زراعة المحاصيل البقولية أو عن طريق فضلات الإنسان والحيوان وتعيش هذه الأنواع بالتربة لفترة معينة ثم تختفي.

(٥,٣) التحلل الحيوي في التربة

وجود الأحياء الدقيقة في التربة بأعداد هائلة له دور مهم في تكوين التربة، حيث تقوم هذه الكائنات الحية الدقيقة من طحالب وفطريات وبكتيريا بأنشطة متنوعة تعود بالنفع على خصائص التربة وقوامها وتركيبها مما ينعكس إيجاباً على النبات ثم الحيوان والإنسان. ويمثل تحلل المادة العضوية من بقايا النباتات والحيوان بالتربة الدور الأساسي الذي تلعبه الكائنات الحية الدقيقة. وقد تكون المادة العضوية بالتربة نيتروجينية أو غير نيتروجينية (Alexander, 1977). وفيما يأتي شرح تفصيلي لأبرز الأنشطة الحيوية التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة في التربة:

(٥,٣,١) أولا: تحلل المركبات غير النيتروجينية

تشمل هذه المجموعة من المركبات غير النيتروجينية كلاً من الكربوهيدرات بأنواعها المختلفة، والأحماض العضوية والهيدروكربونات والدهون والزيوت، وكذلك الشموع.

١- تحلل السكريات البسيطة: تتوقف عملية التحلل هذه على طبيعة السكر ونوع الكائن الحي والظروف البيئية المختلفة وخصوصاً التهوية. ففي الظروف غير الهوائية يتحول الجلوكوز مثلاً إلى حَمض اللاكتيك Lactic acid أو كحول إثيلي أو حَمض بيوتيريك Butyric acid ، وفي الظروف الهوائية تتأكسد الأحماض والكحولات الناتجة إلى غاز ثاني أكسيد الكربون وماء.

٢- تحلل النشا: يتحلل النشا بفعل البكتريا إلى دكسترينات Dextrine ثم سكر شعير Maltose ثم جلوكوز ويقوم بهذه العملية العديد من أنواع البكتريا العصوية المتجرثمة مثل *Bacillus amylotoroue*. بعض السلالات التابعة لهذه الأنواع تكون محبة للحرارة وتنتج أنواعاً من أنزيم الأميليز amylase وهي نشطة عند درجات حرارة تصل إلى ١٠٠م°.

٣- تحلل السليلوز: تنتج البكتريا المحللة للسليلوز أنزيم السليوليز Cellulase الذي يحلل السليلوز إلى سليوبيوز Cellubiose الذي يتحلل بدوره بفعل أنزيم Cellubiase إلى جلوكوز. يقوم بعملية تحليل السليلوز في التربة مجموعتين مختلفتين من البكتريا، الأولى هوائية، والثانية لاهوائية.

وتعمل البكتريا الهوائية على تحليل السليلوز تماماً وينتج في النهاية غاز ثاني أكسيد الكربون، ومن أمثلتها البكتريا Cytophase والبكتيريا Sporocytophase. أما في حالة البكتريا غير الهوائية، فان عملية التحلل ينتج عنها بعض الأحماض العضوية والكحولات، ومن أمثلة البكتريا غير الهوائية التي تحلل السليلوز جنس clostridium.

٤- تحلل الهيموسليلوز: تشمل مركبات الهيموسليلوز مجموعة من السكريات العديدة، مثل بنتوزان Pentozan وأربان Aroban، كما ينتمي البكتين Pectin واليورنيدات Uronider إلى مركبات الهيموسليلوز. وتتحلل هذه المركبات بفعل البكتريا

إلى سكريات بسيطة، وينتمي معظم أنواع البكتيريا التي تسبب أمراضاً للنبات إلى هذه المجموعة، ومنها البكتيريا المسببة للعفن الطري في النباتات، وبكتيريا *Clostridium tutyricum* التي يستخدم في عملية تعطين الكتان.

٥- تحلل الدهون: يعتقد أن السبب الرئيس في تكوين الرواسب البترولية هو تحول المواد الدهنية في ظروف غير هوائية بفعل الكائنات الدقيقة في باطن الأرض. فقد أثبتت الدراسات البيئية أن بكتريا *Clostridium perfrinee* لها دور بارز في تحول الأوليات Oleates إلى سائل أسود قابل للاشتعال يشبه بعض منتجات البترول. وتنتج بعض أنواع البكتريا أنزيم Lipase الذي يحلل الدهون إلى أحماض دهنية وجليسرين.

(٥,٣,٢) ثانياً: تحلل المركبات النيتروجينية

تعد المركبات النيتروجينية من أهم المكونات في التربة. حيث تلعب دوراً بارزاً في خصوبة التربة وإمدادها بالعناصر الغذائية الأساسية في نمو النبات. ويمكن تقسيم المركبات النيتروجينية في التربة إلى قسمين أساسيين (Marshall, 1985) هما ما يلي:

(٥,٣,٢,١) مركبات نيتروجينية عضوية

من أهم هذه المركبات البروتينات، وتوجد المركبات النيتروجينية في التربة بنسب تتراوح بين ١,٥- ٢٠٪. فهي في بذور الحبوب ونشارة الخشب تصل إلى ١,٥٪. بينما تصل إلى ٢٠٪ في بعض الأسمدة الحيوانية، مثل سماد الدجاج وسماد الأبقار. تعمل البكتريا في التربة على تحلل البروتينات وذلك بواسطة مجموعة من الأنزيمات المحللة للبروتين Proteolytic enzymes ومن هذه البكتريا B.subtilis. وتعتبر اليوريا من المركبات

النيتروجينية العضوية المهمة بالتربة وتستطيع العديد من بكتريا التربة تحليلها وتحويلها إلى نشادر أو إلى أمونيا ثم إلى نيترايت NO_2 ونيتريت NO_3.

(٥,٣,٢,٢) مركبات نيتروجينية غير عضوية

تشمل هذه المركبات النيتروجين الغازي والأمونيا وأملاح النيتريتات والنترات. ومن الممكن تلخيص الدور الذي تلعبه البكتريا في هذا الصدد في العمليات التالية:

العملية الأولى تسمى تثبيت النيتروجين N_2-Fixation ويتم ذلك إما تكافلياً كما هو الحال في بكتريا العقد الجذرية والتي تنتمي إلى جنس *Rhizobium* أو لا تكافلياً كما هو الحال في بكتريا التربة Clostridium وكذلك *Azotobacter*.

العملية الثانية تسمى أكسدة النيتروجين N_2-Oxidation ويتم ذلك إما بتحويل النشادر إلى نيتريتات (NO_2) وتقوم بذلك بكتريا *Nitrosomonas* أو بتحويل النيتريتات إلى نترات (NO_3) وتقوم بذلك بكتريا *Nitrobacter*.

العملية الثالثة تسمى Denitrification وهي استغلال النترات بعد تكوينها بواسطة الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة. ويتم ذلك إما مباشرة أو بعد اختزالها إلى نيتريتات أو حتى إلى نيتروجين غازي. ويقوم بهذه العملية العديد من البكتريا نذكر منها *Micrococus , denitriflosan Thiobacillus , denitrificens , Escherichia coli*.

(٥,٣,٢,٣) ثالثاً: تحلل مركبات الكبريت

تلعب الكائنات الحية الدقيقة في التربة دوراً مهماً في التفاعلات البيوكيميائية التي تحدث للكبريت من أكسدة واختزال وتحلل لمركبات الكبريت المختلفة. ويمكن تلخيص هذه التفاعلات في الآتي:

١- يوجد الكبريت في التربة في صورته المعدية S. ومعلوم أن النباتات الراقية والحيوانات لا تستطيع استغلال الكبريت في صورته العنصرية. ولكن تقوم بعض أنواع البكتيريا بأكسدة الكبريت في صورته العنصرية وتحويله إلى كبريتات، مثل البكتيريا العضوية *Thiobacillus thiooxidans*. وبذلك يكون الكبريت متاحاً ويمكن الاستفادة منه وتوظيفه في جسم النبات وينتقل عبر السلسلة الغذائية إلى الحيوان والإنسان.

٢- تستغل النباتات الكبريتات في تكوين البروتين، وعند تحلل البروتين في التربة تنتج بعض الأحماض الأمينية التي تحتوى على الكبريت، مثل أحماض: السستين والسستاتين والمثيونين. كما تستطيع بعض أنواع البكتيريا غير ذاتية التغذية استغلال هذه الأحماض في غذائها ويتحرر الكبريت.

٣- تستطيع بعض أنواع البكتيريا من جنس Desulfovibrio اختزال الكبريتات إلى كبريتيد الهيدروجين H_2S. وتقوم بعض أنواع البكتيريا ضوئية التغذية بأكسدة كبريتيد الهيدروجين وتحويله إلى كبريت عنصري مرة أخرى.

(٥,٤) إكمال دورات المعادن والماء في الطبيعة

هناك عدد كبير من المعادن والعناصر الغذائية التي يحتاجها النبات في تغذيته. وتقسم إلى عناصر كبرى يستهلكها النبات بكميات كبيرة، وعناصر صغرى وهي التي يحتاجها النبات بكميات قليلة. وتشمل هذه العناصر الكربون والنيتروجين والفسفور والبوتاسيوم والكبريت والمغنيسيوم والحديد والمنجنيز والزنك والرصاص وغيرها من المعادن الثقيلة (Paul and Clark, 1989).

وتعتمد التغذية المعدنية للنبات من التربة على المعادن المتاحة في محلول التربة. وهذه المعادن متجددة بفعل دور الكائنات الحية الدقيقة (بكتيريا وفطريات) في تحليل

البقايا النباتية والحيوانية وتفتيتها إلى مكوناتها الأساسية من العناصر والمعادن التي تضاف إلى مكونات التربة، ليستخدمها النبات في تغذيته من جديد.

فالأحياء الدقيقة لها دور مهم وأساسي في دورة هذه المعادن في الطبيعة وتحويلها من مركباتها المعقدة الكبيرة إلى صور بسيطة تتحرر منها إلى التربة لتشكل معادن وعناصر خام يستخدمها النبات في تغذيته مرة أخرى بالحصول عليها من التربة في بناء جسم النبات وإنتاج الثمار والحبوب والخضار والفواكه المتنوعة في الخصائص والتركيب (Al-Falih and Wainwright 1995; Hughes and Poole, 1989). ومن ثم يتغذى الإنسان والحيوان على هذه النباتات المختلفة وتعاد دوراتها.

وبعد موت هذه الكائنات الحية تتحلل جثثها بفعل الكائنات الحية الدقيقة إلى مكوناتها الأساسية التي تضاف إلى التربة من جديد فيتغذى عليها النبات (الشكل رقم ٥,١)، ويعيد هذه الدورة باستمرار حتى يرث الله الأرض ومن عليها. وفيما يأتي عرض موجز لدورات أهم العناصر والمعادن الغذائية في الطبيعة :

الشكل رقم (٥,١). نباتات في الغابات الاستوائية المطيرة.

(٥,٤,١) دورة الكربون

إن المصدر الوحيد للكربون الذي تستخدمه النباتات ذاتية التغذية للقيام بعملية بناء المادة العضوية هو غاز ثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو أو المذاب في الماء. إن كربون الصخور الموجود على شكل كربونات لا تستفيد منه النباتات في هذه العملية. والكربون عنصر أساسي للحياة، فلا توجد حياة دون كربون (وهذا شيء مطلق). وباستثناء الماس فإن الكربون مصدره الكائنات الحية. ويعد الغلاف الغازي والغلاف المائي المستودع الرئيس للكربون غير العضوي (Carbon Sink). ويوجد الكربون في الطبيعة في حالة صلبة في الطبقات الصخرية، وفي المركبات العضوية، وفي حالة سائلة في خلايا الكائنات الحية وفي المياه، كما يوجد الكربون في حالة غازية في الغلاف الجوي وهواء التربة. وبين هذه الحالات يتم التفاعل والتبادل في دورة الكربون (الفالح، ١٤٢٦هـ). تبدأ دورة الكربون بأن تقوم النباتات الخضراء والطحالب الخضراء بأخذ ثاني أكسيد الكربون من الهواء المحيط، وبأخذ الماء من التربة بواسطة الشعيرات الجذرية ثم تستخدم الطاقة الشمسية للقيام بعملية التمثيل الضوئي وإنتاج المركبات العضوية حسب المعادلة التالية :

$$6H_2O + 6CO_2 \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

وتتوقف في أثناء الليل عملية التمثيل الضوئي ويحل محلها عملية التنفس، وينتج عن ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يعود إلى الغلاف الغازي. وفي المناطق التي ترتفع فيها كثافة النباتات تزداد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الليل إلى حوالي ٢٥٪ عن المعدل الطبيعي وبخاصة في الجزء القريب من التربة. ومع طلوع الشمس تأخذ نسبة ثاني أكسيد الكربون بالعودة إلى معدلها الطبيعي. وعندما تتغذي المستهلكات على المواد العضوية تتحول تلك المواد إلى كتلة حيوية، وينطلق غاز ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الغازي عن طريق التنفس، وينتج عن الكائنات الحية المنتجة والمستهلكة

إفرازات وفضلات، وبعد موت هذه الكائنات الحية (بعد فترة من الزمن بحكم قوانين الطبيعة) تتعرض إفرازاتها إلى عمليات تحلل ويعود معها ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الغازي ثانية (ريفن وآخرون، ٢٠٠٢م). ويترتب على عمليات تجوية الصخور الكلسية العضوية (Organic Limestone) والدولوميت (Dolomite) والتي أسهمت في تكوينها المواد العضوية، عودة قسم من الكربون المثبت إلى الغلاف الغازي، وكذلك البراكين تقوم بإعادة قسم من الكربون إلى الغلاف الغازي، حيث تأخذ النباتات الخضراء والطحالب من جديد ثاني أكسيد الكربون وتدور الدورة. وتجدر الإشارة إلى أنه لكل جزء من دورة الكربون أهمية خاصة، فإذا قضي على النباتات الخضراء والطحالب مثلاً لا يمكن أن يخرج الكربون من المستودع الجوي، حيث إن الكائنات المستهلكة لا تستطيع أن تستفيد من غاز ثاني أكسيد الكربون الجوي وتحويله إلى مركبات عضوية، ولو قضي على الكائنات المحللة، فإن المادة العضوية المتخلفة عن إفرازات الكائنات الحية وعن بقايا أجسامها ستتراكم بسرعة، ولا يعود الكربون إلى الغلاف الغازي وبذلك تختل الدورة. إن أهم وظيفة تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة، هي إعادة تفتيت وتحليل المواد العضوية محررة غاز CO_2 الضروري لعملية البناء الضوئي. ويمكن أن يستدل على نشاط الكائنات الحية الدقيقة بمعرفة نواتج تحلل المواد العضوية (أبو زنادة، ١٤٠٣هـ؛ Hughes and Poole, 1989).

(٥,٤,٢) دورة النيتروجين

يشكل غاز النيتروجين حوالي ٧٨٪ من حجم الهواء الجاف، وهو غاز خامل عديم النفع لمعظم الكائنات الحية. وللاستفادة من النيتروجين المتوفر في الغلاف الغازي بكميات كبيرة لا بد من تحويل هذا الغاز الخامل إلى مركبات نيتروجينية تستطيع

الكائنات الحية الاستفادة منها، وتسمى عملية التحويل هذه تثبيت النيتروجين (Nitrogen Fixation) (أبو زنادة، ١٤٠٣هـ).

النيتروجين عنصر ضروري لحياة الكائنات الحية، حيث يدخل في تركيب كثير من المركبات المهمة كالأحماض النووية والبروتينيات. يتحد النيتروجين مع الأكسجين في الجو بسبب الشرر الكهربائي الناتج عن البرق، فتتكون أكاسيد نيتروجينية تذوب في ماء المطر ثم تتحول في التربة بوساطة بكتريا النيتروباكتر Nitrobacter إلى نترات Nitrate (NO_3) يمتصها النبات، ثم تتحول إلى مركبات نيتروجينية مهمة داخل جسم النبات.
ويثبت النيتروجين أيضاً بوساطة بعض أجناس من البكتريا مثل كلوستريديم *Clostridium* وأزوتوباكتر Azotobacter وبعض الطحالب في صورة مركبات عضوية تتخلف في التربة ويمتصها النبات. كما تقوم بكتريا العقد الجذرية، التي تعيش في جذور النباتات البقولية - وهي من جنس ريزوبيم Rhizobium - بتثبيت النيتروجين في صورة أحماض أمينية تستفيد منها النباتات (الغنيم وآخرون، ١٩٩٦م).

وتنتقل المركبات النيتروجينية من النباتات إلى الحيوانات الآكلة العشب، ومنها إلى آكلات اللحوم، وتعود المركبات النيتروجينية إلى التربة مرة أخرى في صورة مخلفات الحيوانات وأجسام النباتات والحيوانات الميتة، حيث تتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة في التربة إلى مركبات نيتروجينية بسيطة تمتصها النباتات. كما يكون من بينها النشادر الذي يذوب في الماء ويمتص بواسطة النباتات والكائنات الحية الدقيقة، حيث يتحول إلى أحماض أمينية يتحد بعضها مع بعض لتكوين البروتينات.

وينطلق النتروجين من بعض بكتريا التربة إلى الهواء مرة أخرى ليشكل مع النتروجين المتصاعد من البراكين غاز النيتروجين في الهواء الجوي. وبذلك تستمر دورة

النتروجين . وفي دورة النيتروجين تمتص النباتات النترات Nitrate من التربة، وتستعملها في صنع البروتينات وغيرها من المركبات العضوية النتروجينية.

وتستهلك الحيوانات جانباً من البروتينات التي تنتجها النباتات بغذائها عليها، وتستعملها في بناء بروتيناتها. وتحلل البكتريا والفطريات النباتات والحيوانات بعد موتها، وينتج عن ذلك تكوين النشادر والمركبات النشادرية. التي تتأكسد إلى نتريتات ونيتراتات بفعل البكتريا الموجودة في التربة (ويلسون وآخرون، ١٩٨٩م).

(٥,٤,٣) دورة الفسفور

تعد دورة الفسفور من أهم الدورات الرسوبية وذلك لأهمية الفسفور في تركيب المادة الحية والمادة الوراثية والعظام، علاوة على أهمية الفسفور في تزويد خلايا الكائنات الحية بالطاقة، كما يعد من العناصر الغذائية الكبرى.

وتشكل صخور الفوسفات المستودع الرئيس لدورة الفسفور، فبواسطة عملية التجوية (وهي جميع العوامل التي تؤدي إلى تفكك وتفتيت وتحلل الصخور إلى مواد هشة تعرف بالمواد الأولية التي تتكون منها معادن التربة فيما بعد) يتم إطلاق قسم من الفوسفات إلى الدورة. كما تسهم البراكين أيضاً بإضافة قسم من الفوسفات الموجودة في باطن الأرض إلى دورة الفسفور (الطرابلسي، ٢٠٠١م).

وتبدأ دورة الفسفور بأن تقوم المنتجات بأخذ الفسفور على شكل أيونات بواسطة الجذور الشعرية لاستخدامه في عملية البناء الخلوي، وتحصل المستهلكات على الفسفور من المنتجات حسب قانون السلسلة الغذائية. وعند موت الكائنات الحية المنتجة والمستهلكة تقوم الكائنات الحية الدقيقة المحللة بتحليل المركبات العضوية المكونة لأجسام الكائنات الميتة وتحويلها إلى مواد بسيطة وعناصر معدنية مفككة تمتصها

النباتات من جديد وبذلك تغلق الدورة. وتفقد غالبية مركبات الفسفور عند انجراف التربة بواسطة التيارات السفلية ولا تعود إلى المستودعات الأرضية أو إلى الدورة إلا عند حدوث اضطرابات تكوينية فتظهر مع الصدوع بعد فترة طويلة جداً من الزمن. ولكن يعود قسم من الفوسفات إلى دورة الفسفور من جديد عندما تقوم المنتجات المائية بأخذ الفسفور المذاب في الماء ومن الرواسب الساحلية الضحلة وتستوعبه في خلاياها ومن ثم تتغذى عليه المستهلكات، على سبيل المثال يقوم سمك السلمون بنقل الفسفور داخل عظامه من البحار والمحيطات إلى مياه الأنهار الداخلية العذبة (عبدالمعطي، ١٩٩٩م).

وترمي الطيور البحرية التي تتغذى على الأسماك فضلاتها على الشواطئ حيث يقوم الإنسان بجمع هذه المخلفات واستعمالها في الزراعة من ثم تكون كمية الفسفور المفقودة في النظام البيئي المتوازن قليلة جداً، ولكن عند إزالة الغطاء النباتي تتعرض التربة للانجراف بفعل المياه والرياح مما يؤدي إلى فقدان كميات كبيرة من الفسفور وذلك أن الفسفور يبقى- غالباً- في الطبقات العليا من التربة ولا يتحرك إلى الأسفل إلا في حالات قليلة.

ويقوم الإنسان في الوقت الحاضر بتعدين الفوسفات من الصخور الفوسفاتية لتصنيع الأسمدة الفوسفاتية والمنظفات الكيماوية والمبيدات وغير ذلك من الاستعمالات ومن ثم إدخالها إلى دورة الفسفور، مما يزيد من سرعة دورة الفسفور واستهلاك المخزون الفوسفاتي. إذ يعتقد أن هذا المخزون سينضب قبل نهاية القرن الواحد والعشرين (Subbarao, 1981).

وتدخل كميات من الفسفور بواسطة المياه العذبة وانجراف التربة وغير ذلك من الطرق إلى مصادر المياه السطحية بحيث يؤدي ذلك إلى حدوث عملية الإثراء الغذائي،

وتؤدي الفوسفات المذابة - ولو بتركيز قليل - إلى زيادة الكتلة الحية من الطحالب الخضراء ونباتات مائية خضراء والتي عند موتها تترسب وتبدأ بالتحلل مستهلكة الأكسجين المذاب في الماء. مما يؤدي إلى استهلاك الأكسجين، والقضاء على الكائنات الحية الهوائية، وانقلاب عملية التحلل الهوائية إلى عملية تحلل لا هوائية ينتج عنها الغازات السامة والروائح الكريهة، مثل غاز كبريتيد الهيدروجين والميثان والأمونيا.

ويدخل الفسفور في تركيب كثير من المركبات المهمة في الكائنات الحية كالأحماض النووية وكثير من الأنزيمات، كما تشكل الدهون الفوسفاتية جزءاً مهماً من الغشاء البلازمي للخلايا الحية. ويوجد الفسفور في صورة صخور فوسفاتية في الأرض، ونتيجة لتفتت هذه الصخور ينتقل الفسفور في صورة مركبات غير عضوية إلى التربة التي تنمو بها النباتات، كما يضاف إلى التربة كأسمدة عضوية. وتمتص النباتات الفسفور من التربة لتستفيد منه في بناء جسمها وينتقل منها إلى الحيوانات آكلة العشب ومنها إلى آكلات اللحوم.

ويعود الفسفور إلى الأرض ضمن مخلفات الحيوانات وأجسام النباتات والحيوانات الميتة، وبتحلل هذه الأجسام تنتج مركبات فوسفاتية قابلة للذوبان في ماء التربة حيث يمتصها النبات مرة أخرى. أما بعض المركبات غير العضوية فتترسب في الأرض وتتمعدن لتصير معادن فوسفاتية. وفي البحار والمحيطات تعيش كائنات بحرية نباتية وحيوانية أهمها الطحالب والأسماك تحصل على حاجتها من الفوسفات من المركبات الفوسفاتية الذائبة في مياه البحار. وتتغذى بعض الكائنات البرية والطيور البحرية على الكائنات البحرية فتنتقل إليها مركبات الفسفور. ومن هذه الكائنات يعود الفسفور مرة أخرى إلى الأرض في شكل مخلفات حيوانية وأجسام نباتية وحيوانية ميتة. وهكذا تستمر دورة الفسفور.

(٥,٤,٤) دورة الكبريت

يوجد الكبريت في التربة الزراعية في الصورة المعدنية والصورة العضوية حيث يصل الكبريت إلى التربة، إما في صورة مخلفات زراعية، أسمدة معدنية مع مياه الأمطار، أو مع المكونات المعدنية للتربة والناتجة من عمليات التجوية للصخور الغنية بالكبريت والناتجة من النشاط البركاني.

كما يوجد معدن الكبريت في تركيب بعض المعادن الأرضية ومنها البيريت خاصة في الأراضي الغدقة، في حين يوجد الجبس أو كبريتات الكالسيوم في المناطق الجافة، ويزداد تراكم الكبريت مع بعض مركبات الكبريتات لعناصر المغنيسيوم والصوديوم (الطرابلسي، ٢٠٠١م).

يعتبر الكبريت العضوي هو الصورة الأكثر وجوداً في الطبقة السطحية من الأرض الزراعية، حيث تعتبر المادة العضوية مصدراً رئيساً للكبريت في الأرض الزراعية خاصة في المناطق الرطبة، ويوجد الكبريت في تركيب الأحماض الأمينية، مثل: السيستين والميثونين، وهذه المكونات تتحلل بفعل الكائنات الأرضية وينطلق منها الكبريت المعدني في عملية تعرف بعملية المعدنة.

(٥,٤,٤,١) الكبريت المضاف للتربة مع مياه الأمطار والأنهار

كنتيجة لاحتراق المركبات الكبريتية كالفحم والمواد البترولية ،وأيضاً مع الأبخرة الناتجة من النشاط البركاني تنطلق بعض الأكاسيد الكبريتية مثل: أكسيد الكبريت SO_2. إلى الهواء الجوي .وهذه الغازات تصل إلى الأرض مرة أخرى عن طريق مياه الأمطار، كذلك يمكن للنبات امتصاص الكبريت على هذه الصورة (SO_2)، علما بأنه إذا زاد تركيز هذه الغازات في الهواء الجوي عن حد معين، قد يؤدي إلى أضرار كبيرة بالنباتات

النامية بهذه المناطق خاصة إذا كانت هذه المناطق ممطرة: حيث تكون الأمطار حامضية التأثير مما يضر بالنباتات، وخير مثال على ذلك تلف مساحات واسعة من الغابات المتاخمة للمناطق الصناعية في أوروبا نتيجة لهذه الأمطار الحامضية (Taurop, 1997).

وتعتبر دورة الكبريت في الطبيعة دورة متوازنة في ظل الظروف الطبيعية المعتادة التي خلقها الله والتي لها فوائد متعددة، مادامت في مجال الظروف الطبيعية التي خلقها الله. وإن أي تغيير في هذه الظروف من قبل الإنسان يؤدي إلى حدوث أضرار عديدة سواء بالبيئة أو بالحيوان أو بالإنسان.

ويعد الكبريت من العناصر الأساسية اللازمة للكائنات الحية، ولا تفتقر التربة أو الكائنات الحية من نبات و حيوان إلى الكبريت. وتأخذ النباتات الخضراء الكبريت من الوسط التي تعيش به على شكل أيونات الكبريتات (SO_4 Sulfate) وتستعمله في بناء البروتينات الخلوية. ومن خلال السلسلة الغذائية تستفيد الكائنات الحية الأخرى من هذه المركبات الكبريتية في بناء الخلايا (الغنيم وآخرون، ١٩٩٦م).

(٥,٤,٥) دورة الأكسجين

يوجد الأكسجين في الهواء بشكل حر بنسبة ٢١٪، ويوجد مذاباً في الماء بنسب متفاوتة أو متحداً مع عناصر ومركبات معينة. إن كمية هائلة من الأكسجين يتم تكوينها بواسطة النباتات الخضراء كناتج عرضي من عملية البناء الضوئي. حيث تستهلك النباتات غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يضاف إلى الهواء الجوي باستمرار من الإنسان والحيوان وتستخدمه في عملية البناء الضوئي محررة غاز الأكسجين الأساسي في عملية تنفس الكائنات الحية. وبهذه الدورة البسيطة يبقى جو الأرض حاوياً الكمية المناسبة من الأكسجين وبشكل مستمر.

وتطرأ على الأكسجين تغيرات عديدة في الطبقات العليا لجو الأرض حيث يتحول جزيء الأكسجين إلى الأكسجين الذري أو إلى الأوزون. ويتوفر الأوزون في الطبقات العليا لغلاف الأرض، ويساعد ذلك في امتصاص نسبة كبيرة من الأشعة فوق البنفسجية القادمة من الشمس وعرقلة تدفقها إلى سطح الأرض إلا بكميات ضئيلة.

ويسبب اختراق هذه الأشعة للغلاف الجوي بكميات زائدة إحداث طفرات في المادة الوراثية أو موت الكائنات الحية المتنوعة. وعندما يمتص الأوزون الأشعة فوق البنفسجية فإنه يتحول إلى الأكسجين تلقائياً، ومن ثم يحدث توازن طبيعي مستمر في طبقة الأوزون في الجو. ويمتص الأوزون ما نسبته حوالي ٩٩٪ من الأشعة فوق البنفسجية، وتصنف الأشعة فوق البنفسجية إلى ثلاثة أنواع:

١- الأشعة فوق البنفسجية A: هي أشعة ذات طاقة قليلة نسبياً وتعد الأقل خطراً على صحة وسلامة الإنسان.

٢- الأشعة فوق البنفسجية B: هي أشعة ذات طاقة أعلى وتشكل خطراً كبيراً على صحة الإنسان وسلامته. وهنا يقوم حزام الأوزون بامتصاص القسم الأعظم منها، ويصل قسم بسيط من هذه الأشعة إلى سطح الأرض ومن الجدير بالذكر أن لهذه الأشعة تأثيراً إيجابياً على جسم الإنسان إذ تكون فيتامين (د) ولكنها خطيرة جداً إذا تعرض الإنسان لها لفترة طويلة.

٣- الأشعة فوق البنفسجية C: هي أشعة ذات طاقة عالية جداً وخطرة جداً على صحة الإنسان وسلامته، ولحسن الحظ فإنه يتم امتصاصها من قبل حزام الأوزون والغلاف الغازي كلياً. والأوزون عبارة عن غاز يتكون من ثلاث ذرات من الأكسجين، وهو شديد الأكسدة وذو رائحة نفاذة ويميل لونه إلى الزرقة. والجدير بالذكر أن غاز الأوزون هو الغاز الوحيد في الجو الذي يمنع

وصول الأشعة فوق البنفسجية إلى الأرض، ويتكون غاز الأوزون في طبقة الستراتوسفير في الغلاف الجوي بواسطة تفاعلات ضوئية معقدة إن الأكسجين المستخدم في عمليتي التنفس و الاحتراق يمكن إن يرجع إلى الغلاف الجوي عن طريق عملية البناء الضوئي التي تقوم بها النباتات. ويؤدي التوازن الدقيق بين كمية الأكسجين المسحوبة من الغلاف الهوائي وكمية الأكسجين المضافة إليه إلى الحفاظ على نسبة الأكسجين الثابتة بالغلاف الهوائي، والتي تبلغ حوالي عشرين بالمائة.

وترتبط دورة الأكسجين بدورة الكربون إذ تقوم الكائنات الحية الهوائية بتنفس الأكسجين وإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تستعمله النباتات الخضراء في عملية التمثيل الضوئي وبذلك تغلق الدورة. وببساطة تتمثل دورة الأكسجين في أن هذا الغاز يمتص من البيئة خلال التنفس الهوائي ويطلق إلى البيئة كنتيجة للتمثيل الضوئي للنباتات (عبدالحافظ، ١٩٩٨م).

يوجد أيضاً تبادل مستمر للأكسجين بين ٢٠.٩٪ في الجو، ومناطق الماء على الأرض كافة. وتكاد تكون الكمية الكلية للأكسجين في الغلاف الجوي ثابتة نسبياً، وهذا يعني أن دورة الأكسجين تكون مستقرة. غير أنه يمكن لتأثيرات التلوث أن تسبب نقصاً في الأكسجين في بعض المواقع البحرية المحلية.

ونظراً لأن كمية الأكسجين في الهواء كبيرة فان التغيرات التي يمكن أن تطرأ على كميته في الهواء ليست لها أهمية بيئية كبيرة على النباتات، ولا يعاني المجموع الخضري للنباتات المعرضة للهواء من أي نقص في كمية الأكسجين، ولكن يختلف الأمر بالنسبة للنباتات المائية وأجزاء النبات المطمورة في التربة، ذلك أن كمية الأكسجين في هواء التربة أقل منها في الهواء الجوي ويعود هذا إلى استهلاك أكسجين هواء التربة في

عمليات تنفس المجموع الجذري للنباتات والكائنات الدقيقة وفي عمليات تحلل المادة العضوية الموجودة في التربة وغيرها، وينتج عن ذلك انخفاض تركيز الأكسجين في هواء التربة كثيراً، لذا نجد أن النباتات التي تعيش في البيئات الرطبة و النباتات المائية تمتلك بعض الخواص والقدرات التي أعطاها إياها الخالق سبحانه لتمكنها من التغلب على نقص الأكسجين في بيئتها.

وقد تبين للعلماء بتجارب دقيقة (عبد الحافظ، ١٩٩٨م) أن الأكسجين المنطلق في عملية البناء الضوئي ينتج من الماء، أما الأكسجين الذي يدخل في تكوين المواد الغذائية المتكونة فمصدره ثاني أكسيد الكربون، وفي عملية التنفس _ وهي عملية مضادة للبناء الضوئي _ يدخل الأكسجين بطريقة أو بأخرى إلى أجسام الكائنات الحية فيؤكسد المواد الغذائية وتتحرر الطاقة الحبيسة فيها، كما ينتج الماء وثاني أكسيد الكربون وهما مادتان تخرجهما الأحياء خارج أجسامها في الغالب، والتنفس والبناء الضوئي عمليتان متضادتان تسهمان بشكل كبير في ثبات واتزان الهواء، ولولا هذا التضاد لنفد الأكسجين من الجو خلال ٢٠٠٠ عام وثاني أكسيد الكربون خلال ٣٠٠ عام. من جهة أخرى تستهلك كميات كبيرة من الأكسجين لتحقيق عمليات الاحتراق بما فيها وسائل النقل ذات المحركات الداخلية والتي تضاعف استخدامها خلال القرن الحالي ومن ثم تزايد استخدامها للأكسجين بكميات أكبر. وتستهلك الكرة الأرضية كمية هائلة من الأكسجين، وهذه الكمية ليست أقل بكثير من تلك الكمية من الأكسجين الناتجة عن عمليات البناء الضوئي أو من قبل البلانكتونات النباتية البحرية. وفي العصر الحالي يقوم الإنسان بأنشطة مختلفة تؤدي إلى تحطيم حزام الأوزون الواقي للأرض من أخطار الأشعة المدمرة، وذلك مثل أنشطة التفجيرات النووية والطائرات

العسكرية النفاثة التي تصل إلى حزام الأوزون والمواد الكيميائية المختلفة مثل أكاسيد النيتروجين والكلوروفورم وميثيل البروميد الذي يستعمل في تطهير التربة الزراعية ومركبات الكلور والفلور العضوية Chlorofluorocarbons (CFC) التي تسمى -تجارياً - الفريون.

(٥,٤,٦) دورة المـــاء

يعتبر الماء أهم عنصر للحياة على سطح الأرض، فالنبات والحيوان والإنسان يعتمدون عليه اعتماداً كلياً للاستمرار في الحياة كما قال تعالى: ﴿ أَوَلَمْ يَرَ ٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَنَّ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَٰهُمَا ۖ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّ ۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴾ (سورة الأنبياء، آية ٣٠). والماء في الطبيعة على سطح الأرض أوجده الله سبحانه وتعالى في عدة صور. فإما أن يكون على صورة بخار في الهواء أو ماء سائل في الأنهار (الشكل رقم ٥,٢) والبحيرات والبحار والمحيطات (الشكل رقم ٥,٣) أو متجمد على هيئة جليد (الشكل رقم ٥,٤) كما في القطبين.

تقدر كمية الماء الموجودة في المحيطات بحوالي ٩٧٪ من كمية الماء على سطح الأرض، ويتبخر منها حوالي ٨٧٥ كم^{٣} يومياً، ويعود ٧٧٥ كم^{٣} على هيئة أمطار أما الباقي فيكون على صورة بخار ماء متطاير في الهواء. بالإضافة إلى ذلك هناك ١٦٠ كم^{٣} من الماء تتبخر يومياً من اليابسة نفسها وتصعد إلى السماء على هيئة بخار ماء (عبدالمعطي، ١٩٩٩م).

الشكل رقم (٥,٢). تدفق المياه على سطح الأرض.

الشكل رقم (٥,٣). منظر لمياه البحر.

الشكل رقم (٥,٤). المياه المتجمدة على هيئة كتل جليدية.

وجميع هذه الصور التي يوجد فيها الماء مسخرة لخدمة الإنسان بقدرة الله سبحانه وتعالى وبفضل منه وحده، حتى يتمكن من إعمار الأرض وعبادة الله وحده الموجد لها والقادر على ذهاب بها إذا شاء في أي وقت أو مكان يشاء ويقدر سبحانه جل في علاه. ولكل بيئة ما يناسبها من كائنات حية تتأقلم مع ظروفها البيئية وتتكيف مع خصائصها بما يكفل معيشتها وتكاثرها في هذه البيئة أو تلك.

ولأهمية الماء بالنسبة للكائنات الحية من إنسان وحيوان ونبات فقد جعله الله أكثر المواد انتشاراً على سطح الكرة الأرضية. حيث إن ثلاثة أرباع سطحها مغطى بالماء. وترجع أهمية الماء للكائن الحي أولاً، من كونه مركباً مهماً في جسم كل الكائنات الحية. فثلثا وزن أجسامها تقريباً مكون من الماء، ولا يمكنها العيش بدون الماء، فالبيئة الداخلية للخلايا هي بالأساس بيئة مائية، والماء ضروري لتنفيذ العمليات البيوكيميائية التي تحدث داخلها. فضلاً عن ذلك، يساعد الماء في نقل المواد الذائبة داخل الخلية ومن مكان إلى آخر في الجسم.

تجدر الإشارة هنا إلى أن 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 الادمصاص أو تركيز العناصر الذائبة، وإلى قدرة الكائن الحي على التغلب على هذه العوامل مجتمعة واستخلاص هذا الماء بصورة ميسرة. ودور الخاصية الأسموزية والجهد المائي الكهربائي في عملية دخول وخروج السوائل من وإلى داخل الخلية وخارجها فهي مهمة في حياة الأحياء الدقيقة بشكل خاص حتى تتمكن من الاستمرار في مزاولة نشاطاتها البيولوجية وبقاءها على قيد الحياة في هذه البيئة أو تلك. وكما ذكرت سابقاً إن نشاط الماء يكون أكثر ما يمكن في حال عدم وجود مواد مذابة فيه، والعكس 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. فعند تنمية كائن حي دقيق في محلول ذو نشاط مائي منخفض فإنه يبذل مجهوداً إضافياً لاستخلاص الماء من ذلك المحلول وإلا سوف يموت، وهذا يؤدي إلى بطء النمو وقلة الناتج من خلايا الكائنات الحية الدقيقة.

فالضغط الأسموزي للسيتوبلازم في خلايا الكائنات الحية الدقيقة يكون عادة مرتفعاً عن الوسط الخارجي بما يسمح بمرور الماء من الخارج إلى داخل الخلية من خلال الخاصية الأسموزية والجهد المائي الكهربائي التي تنظم وتتحكم في عملية دخول وخروج السوائل من وإلى داخل الخلية وخارجها. لذا كما ذكرت سابقاً فإنه عند وضع خلايا الكائنات الحية الدقيقة في وسط ذو 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.

والكائنات الحية الدقيقة تختلف في درجة تحملها للضغط الأسموزي، فهناك أحياء دقيقة محبة للعيش في الضغوط الأسموزية العالية الناتجة عن ارتفاع تركيز السكر وتسمى Osmophilic. وبعض الأجناس البكتيرية محبة للعيش في محاليل لها ضغوط أسموزية عالية ناتجة عن ارتفاع الملوحة تسمى Halophiles، كالجنس هالوباكتيريوم *Halobacterium* الذي يُفضل النمو في محاليل لا يقل تركيزها عن ١٥ ٪ من ملح

كلوريد الصوديوم NaCl. 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 من الملح.

وتستهلك النباتات والحيوانات والإنسان الماء، (الشكل رقم ٥,٥) ،الذي ما يلبث أن يعود إما على هيئة بخار كما هو الحال في عملية النتح والعرق والزفير وأبخرة المصانع، أو سائل كما في مياه الصرف المنزلية والصناعية. وتعتمد كل هذه العمليات اعتماداً مباشراً على عناصر الطقس المختلفة من حرارة وضغط جوي ورياح وعمليات جريان الماء وتسربها إلى التربة ، أو وصولها إلى الأنهار والبحار.

الشكل رقم (٥,٥). نباتات نامية على ضفاف مجرى مائي .

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.

ويتميز الماء الموجود فوق سطح الأرض بالحركة الدائمة والدوران المستمر. وهذه الدورة الدائمة لمياه الأرض تسمى دورة الماء Water cycle أو بالدورة الهيدرولوجية Hydrologic cycle.

وفي هذه الدورة تبدأ المياه بالتبخر عندما تسخن الأرض وبما أن الهواء يصعد للأعلى عندما ترتفع درجة حرارته فيصعد بخار الماء إلى طبقات الجو العليا وحيث إن هذه الطبقات باردة، فإن البخار يبدأ بالتكثف ليشكل الغيوم وهنا تبدأ قطرات الماء الموجودة في الغيوم بالاتحاد مع بعضها لتشكل قطرات أكبر، وهذه القطرات يزداد وزنها وتصبح ثقيلة بحيث لا يمكن للغيم أن يحملها. إن هذه القطرات هي عبارة عن قطرات المطر التي تسقط على سطح الأرض بإذن الله ليذهب جزء منها إلى المياه السطحية كالبحار والمحيطات والأنهار، ويذهب الجزء الآخر إلى المياه الجوفية، وعندما ترتفع درجة حرارة الأرض تبدأ المياه السطحية بالتبخر مرة أخرى، وهكذا تعاد العملية مرة أخرى. وهذا ما يسمى "بدورة الماء في الطبيعة" أو "الدورة الهيدرولوجية" (عبد المعطي، ١٩٩٩م).

الجدير بالذكر أن حركة بخار الماء في الجو وتشكل السحب ثم نزول المطر ليست عملية ميكانيكية بحتة تتم بطريقة تلقائية، بل هي ظاهرة كونية تدل على قدرة الله سبحانه، فهو المتصرف في هذه الأمور كلها، حيث تسير السحابة بأمره وحده، وتتجمع السحب وتتكاثف بأمره، وتتلبد السماء بالغيوم بعلمه وبسلطانه، بل لا تنزل قطرة واحدة من السماء إلا بعد أن يأذن لها رب العالمين ويسوقها إلى الأرض التي أمرها أن تنزل فيها. وهذا المعنى ورد في آيات عديدة نذكر منها ما يأتي:

يقول الله سبحانه وتعالى: ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَىْ رَحْمَتِهِۦٓ ۖ حَتَّىٰٓ إِذَآ أَقَلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُقْنَٰهُ لِبَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَنزَلْنَا بِهِ ٱلْمَآءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ مِن كُلِّ ٱلثَّمَرَٰتِ ۚ كَذَٰلِكَ نُخْرِجُ ٱلْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ

﴿ أَكَّرُونَ ﴾ (سورة الأعراف، آية ٥٧). ويقول تبارك وتعالى: ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى أَرْسَلَ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَىْ رَحْمَتِهِۦ ۖ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً طَهُورًا ﴾ (سورة الفرقان، آية ٤٨). وقال عز من قائل: ﴿ وَأَرْسَلْنَا ٱلرِّيَٰحَ لَوَٰقِحَ فَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَسْقَيْنَٰكُمُوهُ وَمَآ أَنتُمْ لَهُۥ بِخَٰزِنِينَ ﴾ (سورة الحجر، آية ٢٢). ﴿ وَٱللَّهُ ٱلَّذِىٓ أَرْسَلَ ٱلرِّيَٰحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَسُقْنَٰهُ إِلَىٰ بَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَحْيَيْنَا بِهِ ٱلْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا ۚ كَذَٰلِكَ ٱلنُّشُورُ ﴾ (سورة فاطر، آية٩). ثم ذكر الحي القيوم أنه وحده المتصرف في هذه العملية في قوله: ﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ يُزْجِى سَحَابًا ثُمَّ يُؤَلِّفُ بَيْنَهُۥ ثُمَّ يَجْعَلُهُۥ رُكَامًا فَتَرَى ٱلْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَٰلِهِۦ ۚ وَيُنَزِّلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مِن جِبَالٍ فِيهَا مِنۢ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِۦ مَن يَشَآءُ وَيَصْرِفُهُۥ عَن مَّن يَشَآءُ ۖ يَكَادُ سَنَا بَرْقِهِۦ يَذْهَبُ بِٱلْأَبْصَٰرِ ﴾ (سورة النور، ٤٣).

امتن المولى سبحانه على العباد بنزول هذا المطر وما يصاحبه من إنبات لشتى أنواع الأشجار المثمرة بأصناف وأنواع الثمار من فواكه وخضار وحبوب وغيرها كما قال تعالى: ﴿ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلْمُعْصِرَٰتِ مَآءً ثَجَّاجًا ﴿١٤﴾ لِّنُخْرِجَ بِهِۦ حَبًّا وَنَبَاتًا ﴿١٥﴾ ﴾ (سورة النبأ، آية ١٤-١٥). وقال سبحانه: ﴿ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءًۢ بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّٰهُ فِى ٱلْأَرْضِ ۖ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍۭ بِهِۦ لَقَٰدِرُونَ ﴿١٨﴾ فَأَنشَأْنَا لَكُم بِهِۦ جَنَّٰتٍ مِّن نَّخِيلٍ وَأَعْنَٰبٍ لَّكُمْ فِيهَا فَوَٰكِهُ كَثِيرَةٌ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿١٩﴾ ﴾ (سورة المؤمنون، آية ١٨-١٩).

وعندما يتحول الماء من سائل إلى بخار غير مرئي يسمى بخاراً، وتعرف عملية التحول بالتبخر. ويعتبر بخار الماء من أهم المواد المكونة للغلاف الجوي؛ لأنه الأساس الذي تتوقف عليه معظم الظواهر الجوية الناتجة عن التكاثف كالغيوم والأمطار ...الخ، ويتبخر الماء من المساحات المائية ومن التربة. كذلك تعتبر عملية النتح من النباتات والأشجار هي شكل من أشكال التبخر، حيث تطلق كميات كبيرة من بخار الماء، بالإضافة إلى تبخر كمية من الأمطار في أثناء سقوطها من الغيوم قبل أن تصل إلى الأرض.

ويعتبر الإشعاع الكلي (الأرضي والشمسي)، ودرجة حرارة الهواء والسطح، وسرعة الريح عند سطح التبخر، والرطوبة النسبية قرب سطح التبخر، والضغط الجوي، وطبيعة السطح نفسه (يابسة، ماء ...إلخ)، ومساحة سطح التبخر، ونوعية المياه ، وعمق منسوب وكمية الماء في التربة ، والارتفاع أو الانخفاض عن سطح البحر، كلها من العوامل التي تؤثر في كمية التبخر.

ويعرف معدل التبخر على أنه حجم الماء السائل الذي يتبخر من وحدة المساحات في وحدة الزمن أو سمك الماء مُقَاساً بالملميتر الذي يفقده السائل بالتبخر في يوم كامل (٢٤ ساعة) من المساحة الكلية. وتعتمد الكمية الفعلية للمياه المتبخرة على نوعية التربة وعلى الغطاء النباتي ووفرة رطوبة التربة وعمق طبقة المياه الجوفية، حيث ترتفع كميات التبخر في الصيف، بينما تقل في فصل الشتاء وذلك بسبب تذبذب درجات الحرارة وسرعة الرياح، حيث إن سرعتها أعلى في فصل الصيف عن فصل الشتاء بالإضافة إلى أن صفاء السماء في الصيف يسمح لأشعة الشمس بالوصول إلى سطح الأرض، ووجود الغيوم في السماء شتاءً لا يسمح للإشعاع الشمسي بالوصول إلى الأرض.

وتعتبر الغيوم هي مصدر الأمطار والثلوج والحاجز الذي يؤثر على الإشعاع الشمسي والأرضي يومياً، (الشكل رقم ٥.٦) حيث تتألف السحابة من بلايين من القطرات الدقيقة من الماء ومن البلورات الجليدية العالقة والتي تسبح بتأثير التيارات الهوائية الصاعدة والهابطة. والسبب في بقاء الغيوم سابحة في الجو وعدم سقوطها إلى الأرض بفعل الجاذبية هو دفع الرياح الصاعدة لها.

الشكل رقم (٥,٦). سماء مليدة بالغيوم.

إن جميع أنواع الغيوم تتكون نتيجة التغير في درجة حرارة ورطوبة الهواء الصاعد، وحسب الطريقة التي يصعد بها، والارتفاع الذي يصله عند التبريد إلى درجة الندى.

أما المطر فهو عبارة عن جسيمات من الماء على شكل قطيرات صغيرة أو قطرات يصل قطرها إلى نصف ملم والكبيرة إلى ٥ ملم.

وتمر عملية تشكل الأمطار في سلسلة من الحلقات المتصلة تعرف بدورة المياه. وتعتبر عمليات التبخر والتكاثف وتسرب المياه إلى جوف الأرض أو الأنهار والمحيطات - جزءاً من هذه الدورة، مما يساهم في خلق توازن في هذه الدورة، أي أن مجموع ما يسقط من أمطار، ثلوج، بَرَد... وغيرها من الأشكال، يساوي مجموع ما يتبخر من المحيطات والأنهار وغيرها.

وبعد عملية التبخر يصعد بخار الماء إلى الطبقات الجوية العليا ليستمر صعود الهواء الذي يحتوي على بخار الماء حتى تنخفض درجة حرارته إلى ما دون نقطة الندى، حيث يتكاثف بخار الماء على شكل سحب محملة بالجسيمات المائية التي تستمر في

الزيادة في الحجم والوزن ثم تسقط بتأثير عدة عوامل، منها: رطوبة الهواء المحيطة بالجسيمة، وطبيعة النويات، وتأثير الشد السطحي لغشاء القطيرة، وسرعة انتقال الحرارة الكامنة المنطلقة إلى الهواء.

والأمطار في جميع أنحاء المعمورة هي المصدر الرئيس لجميع الموارد المائية قال تعالى: ﴿ وَفِي ٱلسَّمَآءِ رِزْقُكُمْ وَمَا تُوعَدُونَ ﴾ (سورة الذاريات، آية٢٢). فالأمطار هي المصدر الرئيس للمياه السطحية والمياه الجوفية ومياه العيون والآبار.

وتعتبر دورة الماء في الطبيعة التي طبع الله عليها الكون وتغيراته من حالة إلى أخرى - من أهم ظواهر الطبيعة التي ترتبط بتغير درجة الحرارة. ولهذه الظاهرة دور مهم في حياة الإنسان والنبات والحيوان. ويمكن تلخيص التغيرات التي تحدث في هذه الظاهرة في ما يلي:

١- يتبخر الماء من البحار والمحيطات بتأثير حرارة الشمس.

٢- يصعد البخار إلى الأعلى بسبب صغر كثافته (مقارنة بالهواء الجوي).

٣- عندما يصل بخار الماء إلى طبقات الجو العليا- وهي منطقة باردة جداً - يتكثف، فيتحول إلى قطرات مائية صغيرة جداً (لا يمكننا رؤية القطرة الواحدة منها بالعين المجردة، لكننا يمكننا رؤية مجموعات منها على هيئة سحب بيضاء).

٤- وتحمل الرياح هذه السحب من مكان لآخر وفق نظام إلهي دقيق محكم.

٥- حتى إذا مرت تلك السحب على منطقة جوية باردة، وتهيأت لها فرصة - بأمر الله - وتجمعت تلك القطرات في المجموعات تؤلف كل واحدة منها قطرة ماء فتسقط نحو الأرض.

(٥,٥) الإنتاج الصناعي للميكروبات ونواتجها

يجتاح العالم اليوم أزمة في وفرة الغذاء وجودته وإنتاجه بكميات كافية لمواجهة النمو السكاني المتزايد يوماً بعد يوم، ومما لاشك فيه أن هناك أسباب لهذه الأزمة العالمية في الغذاء التي يعيشها الكون بأسره وبدأ العالم أجمع في الاهتمام بها وعقد من أجلها العديد من الندوات والمؤتمرات وورش العمل. ويأتي في مقدمة هذه الأسباب من وجهة نظري تزايد أعداد سكان العالم بشكل كبير، والاتجاه العالمي إلى استنزاف المصادر البيئية الطبيعية وتلوث البيئة وتدمير الغطاء النباتي وتحويل كثير من المناطق والأراضي الزراعية إلى مناطق سكانية وصناعية مما نتج عنه بطبيعة الحال نقص في الإنتاج الغذائي.

ولمواجهة هذه المشكلة العالمية في نقص الغذاء تبرز ثلاثة حلول عملية ينبغي تضافر الجهود العالمية من قبل الدول والمنظمات العالمية والشعوب في الأخذ بها والمبادرة في تفعيلها. أولهما العمل على زيادة إنتاج المواد الغذائية على المستوى العالمي بشكل موسع ونطاق كبير، وثاني الحلول يكمن في حسن استغلال المواد الغذائية المنتجة حالياً في الأسواق وحفظها من أسباب الفساد والتلف المبكر من خلال التسويق والتخزين الجيد، أما الحل الثالث فقد يكون في العمل على تخفيض معدل الزيادة السكانية في العالم عن معدلها الحالي. فأعداد السكان في دول العالم في زيادة مضطردة ومتنامية مع الوقت، وربما يرجع ذلك إلى زيادة مستوى الصحة في العالم والنجاح الكبير في

مكافحة عدد من الأمراض والأوبئة الفتاكة التي كانت في الماضي تهلك الحرث والنسل.

وفيما يتعلق بالإنتاج الصناعي للميكروبات ومشاركتها في سد احتياج البشر من المواد الغذائية، فإنه بالإضافة إلى النشاطات التي تقوم بها الكائنات الحية الدقيقة في الطبيعة والتي أشرت إليها سابقاً سواءً ما كان منها متعلقاً بتحليل المواد أو زيادة خصوبة التربة أو دورات المعادن، فهناك العديد من النشاطات الميكروبية التي تعود على الإنسان بالنفع والفائدة. فهناك الاستخدامات الكثيرة للكائنات الحية الدقيقة في حياتنا اليومية مثل تحضير الخبز ومختلف أنواع الألبان ومشتقاتها كالأجبان واستغلال الفطريات مباشرة كغذاء للإنسان كفطر عيش الغراب وكدواء، وتستعمل أيضاً في بعض العمليات الصناعية الخاصة بإنتاج بعض المواد الغذائية. ولقد دعت حاجة الإنسان في الوقت الحاضر إلى الكثير من المنتجات الصناعية الميكروبية وإلى استخدام الكائنات الحية الدقيقة في إنتاج هذه المواد الصناعية على نطاق تجاري واسع لسد الاحتياج العالمي المتنامي يوماً بعد يوم. ويطلق على معظم عمليات إنتاج المنتجات الميكروبية على نطاق واسع لفظ التخمرات Fermentation، ويقصد بها عمليات التخمر الهوائية واللاهوائية للكائنات الحية الدقيقة. مثل التخمرات الكحولية وإنتاج الكحول الإثيلي Ethyl alcohol وإنتاج حَمض الستريك Citric acid والجلوكونيك Gluconic acid وحَمض الجاليك Gallic acid وحَمض الإيتاكونيك Itacotic acid وحَمض الكوجيك Kojic acid والبنسلين Penicillin وبعض الأنزيمات مثل Amylase, Invertase. فاستخدم الميكروب في صناعة بعض أنواع الغذاء (مثل: الزبادي، الجبن الروكفورت، الخبز، الكحول، المخللات، الخل). وكذلك في صناعة الأمصال، والمضادات الحيوية، والأحماض العضوية، والأحماض الأمينية، ومنظمات النمو،

ومضادات الطفيليات، ومحسنات الطعم، والهرمونات الجنسية، ومعالجة مياه الصرف الصحي، وتنقية المواد الخام.

نظراً لأن الميكروبات من أكثر الكائنات الحية وجوداً على الأرض وأكثرها إثارة للدهشة لوجودها في مناطق في غاية البرودة، أو الحرارة و في المناطق الإشعاعية أو الحَمضية أو ذات الضغط الجوي العالي أو المياه شديدة الملوحة. توجد في الطبيعة في كل مكان من حولنا، في التربة والهواء والماء وفي الطعام وفي أجسامنا. تم الاستفادة من بعض خواص الميكروبات في صناعة الطعام والتغليف والتعليب. ومع وصول السلاسل الوراثية الكاملة لهذه الميكروبات فإن التطبيقات ستصبح أكثر قوة و تعقيداً نظراً لأنه أصبح بالإمكان البحث عن الخواص التي يمكن الاستفادة منها في هذه الميكروبات بشكل لم يكن ممكنا من قبل. من أجل هذا قامت إدارة الطاقة الأمريكية (DOE) بإنشاء مشروع خاص بجينوم الميكروبات عام ١٩٩٤م يدعى (Microbial Genome Program (MGP)) من أجل البحث في خواص الميكروبات ذات العلاقة بإنتاج الطاقة وتنظيف البيئة من بعض المخلفات الصناعية.

إن الحصول على المعلومات الكاملة التي تحتويها هذه الميكروبات يمكن العلماء من دراسة هذه الميكروبات على نطاق واسع بأدق المستويات ويمكنهم من عزل الجينات التي تمكن بعض هذه الميكروبات من العيش في ظروف لا يمكن لأي كائن حي آخر العيش فيها.

ومن فضل الله على العالمين أن العلم الحديث أسهم في كشف أسرار الكثير من الكائنات الحية الدقيقة، فبعد أن كانت النظرة العامة للميكروبات قديماً تنحصر في كونها كائنات ضارة شريرة وأعداء للإنسان، وذلك بسبب عجز الإنسان عن التعامل معها وفهم طبيعتها، أصبحت النظرة الحديثة للميكروبات مختلفة تماماً. ففي ظل

التكنولوجيا الحديثة للميكروبات أصبحت هذه الكائنات مفيدة وصديقة للإنسان، بحيث أصبح الإنسان يعتمد على كثير من الميكروبات في صناعاته الدوائية والغذائية وغيرها، وأكثر من هذا، فقد أصبحت الميكروبات تمثل أدق أسرار الصناعات الحديثة لبعض الدول.

في الماضي القريب كانت الميكروبات تمثل مصدراً للخوف والذعر لدى الإنسان، واليوم أصبحت تمثل مصدراً للربح والثروة والتقدم والرفاهية. وبعد أن كانت في نظر الإنسان مصدراً للمرض والموت، أصبحت سلاحاً سرياً يستخدمه الإنسان في الحرب والسلام. ويرجع ذلك إلى التغير الجذري في مفاهيم الإنسان عن الميكروب بفضل الله أولاً وما سخره من علم للناس ثم التقدم السريع في مجالات العلوم الحديثة الخاصة بالميكروبات.

وهنا يأتي دور التكنولوجيان الحديثة التي تسخر هذا النشاط الميكروبي إلى أعلى مراتب الاستغلال، فمع بداية القرن الحادي والعشرين، وباستخدام المعلومات الحاضرة في مجال الهندسة الوراثية، يمكن الوصول إلى قمة الصناعات في مجال الهندسة البيوكميائية خلال السنوات القادمة، مثل التحول الجذري من الصناعات الكيماوية إلى طاقة الصناعات الميكروبية، التحول الجذري في مجال الطاقة المعتمدة على البترول إلى طاقة معتمدة على الإيثانول الناتج من السليلوز باستخدام الميكروب، التخلي عن الأسمدة التخليقية باستخدام ميكروبات مثبتة للنيتروجين بالتربة، إنتاج بروتين ميكروبي ذي قيمة عالية، القضاء على التلوث الصناعي والبيئي وتهديد السموم الفطرية، اكتشاف نواتج ميكروبية نشطة ضد السرطان وارتفاع ضغط الدم والتهاب المفاصل، المقاومة البيولوجية بدلاً من المبيدات الحشرية الكيماوية. وأخيراً قد يكشف لنا المستقبل في ظل الثورة العلمية الهائلة التي يشهدها العالم اليوم إنتاج مواد ميكروبية

جديدة لم يسمع عنها الإنسان من قبل، فهذه الأحياء الدقيقة من خلق الله العظيم وهي مليئة بالأسرار العديدة.

وفي مجال تقنية الميكروبات وتطور صناعة النفط فقد اتجهت الآن في هذه المرحلة الأبحاث الميكروبية إلى هندسة الجينات مثل الصناعات الميكروبية وخاصة تلك التي تساعد في حل بعض مشاكل الصناعة النفطية. فالغاز الطبيعي الذي يتسرب إلى سطح الأرض من طبقات النفط والغاز العميقة تتغذى عليه البكتيريا التي تتجمع عند مخارج الغاز. وبذلك يتم الاستدلال على وجود طبقات من الغاز والنفط في الأعماق. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن هناك توجهاً عالمياً جديداً لاستخدام التقنية الميكروبية لحقن الطبقات النفطية بدلاً عن الماء، وهي كما تؤكد الدراسة رخيصة وبسيطة وغير ضارة بالبيئة. وقد ذكرت جمهورية نتارستان الروسية بأنها تقوم باستنبات كتلة حيوية من البكتيريا والبوليمرات على السطح لتحقن في الطبقة النفطية ويحقن معها وحل فعال وبقايا دقيق المصانع وهواء وأملاح النيتروجين والفسفور. وعندما يصل هذا الخليط إلى الطبقة النفطية يزيد من تكاثر البكتيريا ونشاطها الحيوي فتطلق غاز ثاني أكسيد الكربون وتشكل الكحول والأحماض العضوية التي تساعد جميعها على تحرير النفط من فراغات الصخور الخازنة، كما أنها تشكل كميات إضافية من CO_2 ، $4CH_2H$ التي تنحل من النفط فتسهل حركته داخل الطبقة. وقد ساعدت هذه الطرق الجديدة على زيادة إنتاج بعض الحقول الروسية من ١,٥-٤ مرات وتأثيرها يظهر خلال سنة.

وبحسب الدراسات النفطية الحديثة فإن احتياطي العالم من النفط الثقيل يقدر بحوالي ثلاثة تريليونات برميل، يحتاج استخراجها إلى تكنولوجيا معقدة ومكلفة، وتحتل التكنولوجيا الحيوية المجهرية مركزاً متقدماً في معالجة مشاكل الاستخراج. وقد زادت كمية المواد المحقونة في السنوات الأخيرة عن ١٦.٠٠٠متر مكعب. أما البكتيريا

المجهرية النباتية فقد شكلت أحماضاً دهنية وكحولاً وحَمض الفحم وجزيئات من الهيدروجين، وقد تميزت هذه المواد المتشكلة من خصائص النفط والغاز والمياه الطبقية وأدت إلى زيادة الإنتاج بمقدار ٣٠ ٪.