الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية (الدورات البايوجيوكيميائية) Biogeochemical Cycles

تعتمد الكائنات الحية في عملية بناء أجسامها على العناصر الطبيعية، ويحتاج الكائن الحى الى ستة عناصر اساسية من المغذية بشكل اساسي وهي الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين والفسفور والكبريت، بالاضافة الى عناصر يحتاجها بكميات ضئيلة وتشمل الصوديوم، البوتاسيوم، الحديد، المغنيسيوم .....الخ.

من المعروف ان قشرة الأرض تحوي كافة عناصر الجدول الدوري الطبيعية (غير المصنعة في المختبرات)، وتتفاوت نسبة وجود هذه العناصر في الطبيعة، فمنها الشائع، ومنها النادر. والعناصر التالية هي الأكثر شيوعاً (تشكل أكثر من 99 % من مكونات صخور قشرة الأرض): الأوكسجين، السيليكون، الالمنيوم، الحديد، المغنيسيوم، الكالسيوم، الصوديوم والبوتاسيوم. غير ان العناصر الرئيسية في النظام البيئي الحيوي هي: الأوكسجين والكاربون والنيتروجين والفوسفور والكبريت. وتدخل هذه العناصر في تكوين المادة الحية (الكتلة الحية) في الكائنات على شكل مركبات كيميائية مختلفة، مثل الكاربوهيدرات والبروتينات والدهون والفيتامينات، وغيرها. وتمثل هذه العناصر نقطة ارتباط بين المكونات الحية واللاحية في النظم البيئية ، وتحصل الأحياء على هذه العناصر بواسطة السلسلة الغذائية وتبدأ النباتات بامتصاصها من التربة او المياه او الهواء

يتبع النظام البيئي دورات تدويرية حيث تأخذ الكائنات الحية موادها الغذائية لتعيش وتنمو ثم تعيدها للبيئة بعد موتها وتحللها. وقد سميت هذه الدورات بهذه التسمية (الدورات الحيوية الأرضية الكيميائية أو الدورات البيوجيوكيميائية Biogeochemical Cycles) بسبب ان هذه العناصر اغلبها ذات منشأ ارضي وتتحول بعمليات كيمياوية ثم تدخل أجسام الكائنات الحية مكونة جسم الكائن الحي، أي ان هذه المواد الكيميائية تنتقل من العالم الحيوي الى العالم الجيولوجي، وبالعكس، ولكل مركب او عنصر كيميائي دورته الخاصة به. كما تسمى في بعض الكتب بدورات العناصر The Cycle of Element.

ان هذه العناصر والمواد يجري تدويرها في النظام البيئي بصورة مستمرة، لذا فإن جميع المواد أو العناصر الموجودة في أجسام الأحياء كالماء والكربون والنتروجين والأوكسجين وغيرها من العناصر والتي تكون موجودة اساساً في قشرة الأرض أو في الصخور أو في المحيط الجوي يجري تدويرها جميعاً في النظام البيئي بصورة مستمرة، وتمر هذه العناصر والمواد في مسارات متعددة تشمل الكائنات الحية والمياه والهواء والتربة والصخور.

هناك أشياء مشتركة بين جميع الدورات البيوجيوكيميائية ، ففي كل دورة هنالك أجزاء منها تسمى مستودع التخزين Reservoir pool وتشمل المكونات الغير حية، حيث يتم إحتجاز العناصر فيها لفترة طويلة من الزمن، وبالمقابل هنالك أيضاً المستودع الدوراني Cycling pool تحجز فيها العناصر لفترة قصيرة من الزمن ويمثل الانتقال بين الكائنات الحية.

تسمى الفترة الزمنية التي يستغرقها المركب او العنصر في المستودعات بفترة المكوث Residence Time فالمحيطات على سبيل المثال تمثل مستودعات التخزين للماء، بينما تمثل الغيوم المستودع الدوراني للماء. كذلك بالنسبة للمجتمعات الحيوية، فان الأنواع الحية فيها تمثل المستودعات الدورانية.

وتختلف العناصر فى سرعة دورانها فمنها ماهو سريع ويتمثل بدورة العناصر التى تتواجد فى الحالة الغازية مثل الكربون والنيتروجين ويعتبر مستودع التخزين هنا هو الجو او المحيطات ومنها ما هو بطىء ويتمثل بدورة العناصر التي فى الحالة الرسوبية مثل الفوسفور والكبريت وتمثل القشرة الارضية هنا مستودع التخزين.

تكون بعض الدورات مقتصرة على مواقع محددة اساساً وتسمى الدورات الموقعية Local cycles والأخرى الدورات المحيطية (الشاملة) Global cycles.

تشتمل الدورات الموقعية على العناصر ذات الحركة المحدودة أي العناصر التي لا تمتلك ميكانيكية الانتقال إلى مسافات بعيدة.

في حين ان الدورات المحيطية الشاملة تشتمل على مركبات غازية تتعلق أو تتوثق مع جميع الكائنات الحية على الكرة الأرضية. بمعنى انها تشمل المحيط الحيوي كله.

وهناك ثلاثة أنواع من الدورات يمكن ملاحظتها في النظام البيئ

١. الدورة المائية Hydrologic cycle: التي تمتاز بدوران مركد
٢. الدورة الغازية Gaseous cycle: التي يتم فيها تدوير الغازات الحية ومحيطها.
٣. الدورة الرسوبية Sedimentary cycle: التي يتم فيها تدوير وتساهم فيها الكائنات الحية ومحيطها.

أولا"- دورة الماء **Hydrologic cycle**

يعتبر الماء عنصر هام للحياة على سطح الأرض، فالنبات والحيوان والإنسان يعتمدون عليه اعتمادا كبيرا للاستمرار في الحياة.

ان الماء المتواجد في أي مكان هو الذي يحدد طبيعة أنواع الكائنات الحية التي يمكن ان توجد فيه ومدى وفرة اعدادها.

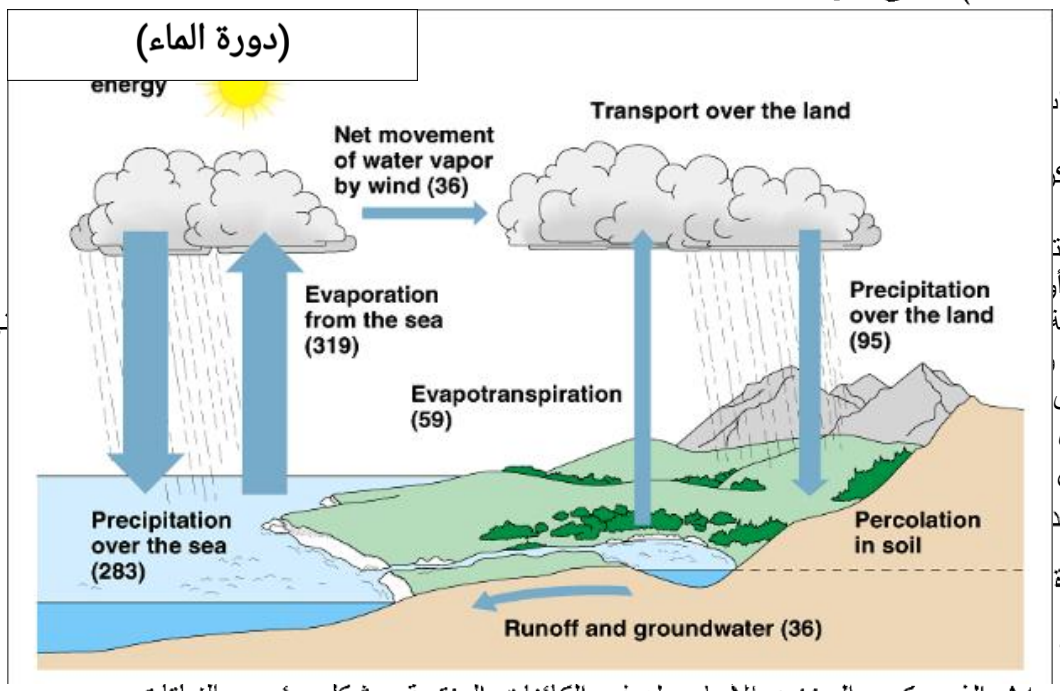
قال الله سبحانه وتعالى ((وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاء كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ)) .

تستهلك النباتات والحيوانات والإنسان الماء الذي ما يلبث أن يعود أما على هيئة بخار كما هو الحال في عملية النتح والعرق والزفير وأبخرة المصانع، أو سائل كما في المياه العادمة المنزلية والصناعية. وتعتمد كل هذه العمليات اعتمادا مباشرا على عناصر الطقس المختلفة من حرارة وضغط جوي ورياح وعمليات جريان الماء وتسربها الى التربة، أو وصولها الى الأنهار والبحار. وتجدر الإشارة هنا الى أن المياه العذبة لا تزيد نسبتها على سطح الأرض عن 3% فقط من مجمل كمية الماء الموجودة وأن 98% من هذه المياه العذبة موجودة على صورة جليد في القطبين.

إن دورة المياه تمثل في الطبيعة نظاماً هائلاً تحركه الطاقة الشمسية، ويعمل فيه الغلاف الجوي جسراً بين المحيطات والقارات.فماء المحيطات بصورة رئيسية وماء القارات بصورة فرعية، يتبخران

بإستمرار في الغلاف الجوي.وتعمل الرياح على نقل الهواء الحامل لبخار الماء الى مسافات بعيدة والى إرتفاعات شاهقة، حيث تبدأ عمليات معقدة في تكوين الغيوم، وحدوث الهطل.والماء الساقط على سطح المحيط ينهي بذلك دورته،أما الماء الساقط على اليابسة فأمامه رحلة طويلة الى المحيط.

تعتبر المحيطات المصدر الأساسي لدورة المياه في الطبيعة . حيث تتبخر المياه نتيجة للطاقة الحرارية الشمسية من سطوح المحيطات وبقية المسطحات المائية كالبحار والبحيرات والأنهار فضلاً عن التبخر من أجسام الأحياء حيوانية كانت ام نباتية. ويعود هذا الماء المتبخر إلى الأرض مرة أخرى ساقطاً على المسطحات المائية المختلفة وعلى اجسام الكائنات الحية (نباتات وحيوانات) وعلى التربة.



ثانيا"- الدورا

(1) دورة الك

يعت

كما أن ثاني أو

الكائنات الحية

منها الخلايا،

قشرة الأرض

والهيدروجين

دورات جميع

تعد

هذه الدورة

التي يزول

Atmosphere الذي يكون المخزن الاساس له في الكائنات المنتجة وبشكل رئيسي النباتات الخضراء ومن ثم الكائنات المستهلكة ومن هاتين المجموعتين إلى الكائنات المحللة التي تتمثل بالبكتريا والفطريات ومنا تعود إلى المحيط الجوي.

يكون الكاربون مخزون بشكل غاز CO الموجود في الهواء الجوي أو ذائباً في الماء. وبالرغم من قلة كمية غاز CO في الهواء الجوي حيث تبلغ نسبة حوالي (٠,٠٣%) فإنه يلعب دوراً اساسياً ومهماً لسببين هما:

أ. قدرته على امتصاص الحرارة القادمة من الشمس والمنعكسة من سطح الأرض وبالتالي يقوم بتدفئة طبقات الجو السفلية.

ب. يعتبر المصدر الأساس في عملية البناء الضوئي في النباتات Photosynthesis.

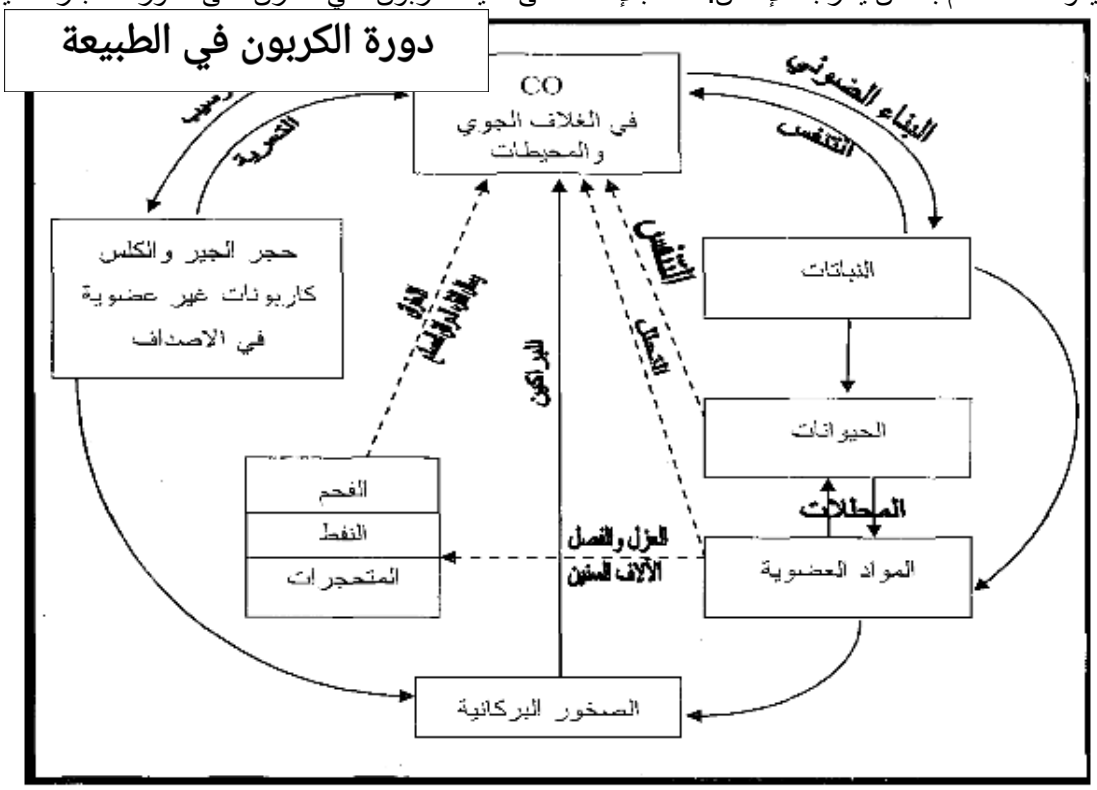
تبدأ دورة الكاربون في الطبيعة بعملية التمثيل الضوئي Photosynthesis فهي التي تحرك الكاربون في الطبيعة، ولو توقفت لتوقف وجود هذا العنصر في الإشكال الأخرى الحاملة له. وفي هذه العملية يأخذ

النبات غاز ثاني أوكسيد الكاربون من الجو، والضوء من أشعة الشمس، والماء من التربة،ليصنع منها الكاربوهيدرات في مجموعة من المعادلات.

خلال عملية البناء الضوئي فإن الكربون اللاعضوي الذي هو على هيئة غاز ثاني اوكسيد الكربون CO يتحول إلى كربون عضوي يثبت في الخلايا النباتية ويعود الكربون مرة أخرى الى الجو على هيئة غاز CO خلال عمليات التنفس للكائنات الحية المختلفة. وبعد موت الكائنات الحية وخلال عمليات التحلل التي تقوم بها البكتريا والفطريات تتحلل فيها المادة العضوية وتتحول إلى غاز CO فضلاً عن الاكسدة بالعوامل اللااحيائية كارتفاع درجة الحرارة.

غاز **2CO** يسير بدوره مغلقة، يستهلك في خلالها من قبل عدد من الكائنات، وفي بعض التفاعلات، ثم ما يلبث أن يعود الى الغلاف الجوي. المعروف أنه يذوب في مياه البحار والمحيطات وقد يعود من هذه المياه الى الجو. وهو يخرج من غازات البراكين، ومن حرق الغابات الإستوائية. فاحتراق الوقود والغابات، وعملية التنفس عند الإنسان من شهيق وزفير، وحرق البترول والفحم، وتحلل المواد العضوية، كلها تطلق غاز ثاني أكسيد الكربون، الذي ما يلبث أن يعود من خلال الأمطار الحمضية أو بامتصاصه من قبل المسطحات المائية.

كذلك فإن نسبة كبيرة من الكربون تتحول الى مواد مختزنة كالفحم والبترول، الذي يبقى مختزن في جوف الأرض، ثم ما يلبث أن يعود للاستخدام بعد أن يخرجه الإنسان. هذا بالإضافة الى كمية الكربون التي تختزن على صورة أحجار كلسيه.



تعد دورة الكربون من الدورات الكاملة في الطبيعة وذلك بسبب تميز مكوناتها الأساسية ولان الكربون يعود الى المحيط بنفس السرعة التي يزال فيها من المحيط الجوي (المخزن الرئيسي) الى الكائنات المنتجة ومن ثم الى الكائنات المستهلكة ومن المجموعتين الأخيرتين الى الكائنات المحللة .

(2) دورة النتروجين **Nitrogen Cycle**

تحتاج جميع الكائنات الحية الى عنصر النتروجين، الذي يدخل في تراكيب الأحماض الأمينية، والبروتينات، والمادة الوراثية (Deoxyribonucleic Acid (DNA. يختلف النيتروجين عن معظم العناصر المعدنية الموجودة بالتربة الزراعية فى أن مصدره الأصلي هو الهواء الجوي. يشكل غاز النيتروجين 78 % من الغلاف الجوي، ولا تستطيع المنتجات (النباتات) في النظم البيئية الطبيعية الاستفادة من النتروجين الغازى N_2 مباشرةً الا إذا تحول عنصر النيتروجين من الحالة الغازية الخاملة الى اَيونات الأمونيوم NH_4 أو النترات NO_3 وتسمى هذه العملية تثبيت النتروجين Nitrogen Fixation التي يمكن ان تتم بطرق: التثبيت الحيوي، والتثبيت الجوي، والتثبيت الأصطناعي. وبعد عملية التثبيت تتمكن النباتات من الإستفادة منه وإستعماله في بناء جزيئات البروتين النباتي. وفي هذه العملية يدخل النتروجين الجوي فى سلسلة من التفاعلات والتى تقوم بها كثير من الأحياء الدقيقة الموجودة بالتربة والتى تعيش إما حرة فى التربة أو تعيش فى داخل جذر النبات، حيث تثبت النتروجين الغازي وتحوله إلى نيتروجين عضوي(نترات) ثم تتحول داخل أجسامها الى أحماض أمينيه وبروتينات، وعند موت هذه الكائنات فإن النتروجين العضوى الموجود بها تحت ظروف معينة يتحلل وينتج نتروجين معدنى فى صورة NH_4^+ ثم NO_3^-. هذا وتعتبر فضلات الكائنات الحية وتحللها مصدرا مهما للنيتروجين، حيث تقوم البكتيريا بتحويلها الى نتريت NO_2 ثم الى نترات NO_3 ، وبعد ذلك إما يتم امتصاصها عن طريق الجذور أو تتحول الى غاز النيتروجين N_2 الذي يعود الى الجو.

يمكن تقسيم مصادر النتروجين الى:

أ. المعادن الأولية والصخور أو مادة الأصل التي تكونت منها التربة.

ب. عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة.

ج. المادة العضوية الناتجة من تحلل مخلفات النباتات والحيوانات.

هناك عامل آخر وهو المصدر الصناعي أي إضافة الأسمدة الصناعية

ان دورة النتروجين في السلسلة الغذائية معقدة بعض الشيء ولكنها تبدأ بواسطة بعض أنواع البكتريا والطحالب التي تثبت النتروجين من حالته الغازية إلى صورة أملاح النتريت والنترات، وتسمى هذه الكائنات بالكائنات المثبتة للنتروجين. وهي :

أ. البكتريا غير التعايشية المثبتة للنتروجين

.Asymbiotic nitrogen fixing bacteria

-١

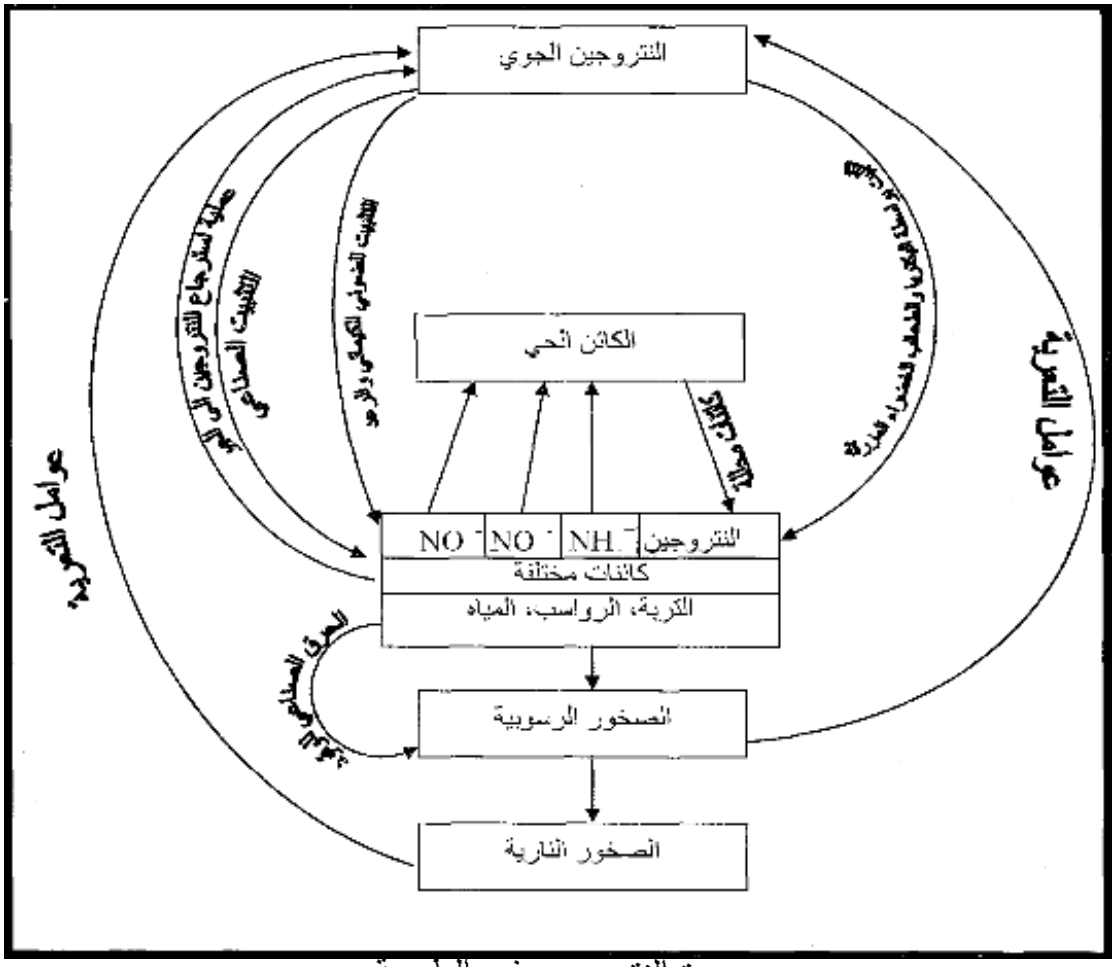
أو تسمى البكتريا حرة المعيشة مثل البكتريا الهوائية أزوتوباكتر Azotobacter والبكتريا اللاهوائية كلوستيريديوم Clostridium.

-٢

ب. البكتريا التعايشية المثبتة للنتروجين:Symbiotic nitrogen fixing bacteria المتواجدة في العقد الجذرية لبعض النباتات البقولية كالبرسيم والجت والباقلاء مثل بكتريا العقد الجذرية رايزوبيوم Rhizobium.

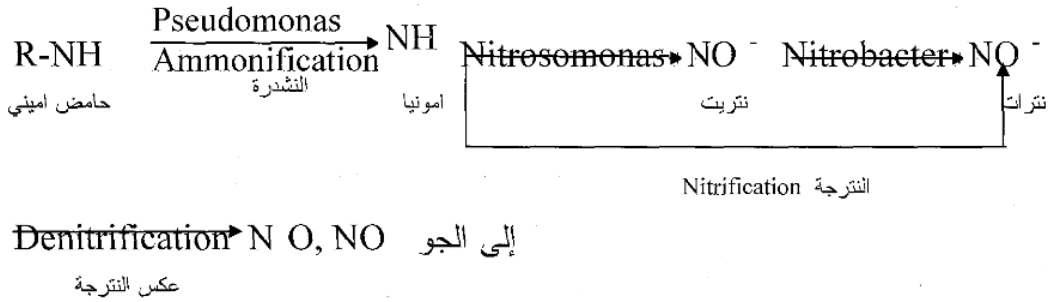
ج. بعض الطحالب الخضراء المزرقة: Blue green algae تثبت النتروجين مثل الطحلب الانابينا Anabaena في حقول نبات الرز وطحلب النوستوك Nostoc .

د. ويمكن ان تتم عملية تثبيت النتروجين الجوي بواسطة التأثير المؤين للبرق تسمى Electrification الكهربة، ويصل إلى التربة كأكاسيد للنتروجين.



دورة النتروجين في الطبيعة

ان للبكتريا دوراً واضحاً في عمليات التحلل للمركبات النتروجينية خلال عمليات ثلاثة هي: أ. **النشدرة** Ammonification ، ب. **النترجة** Nitrification ج.**عكس النترجة** Denitrification التي يشارك فيها أكثر من نوع من البكتريا. إذ تساعد بكتريا النشدرة في تحلل الحوامض الامينية (-NH group) وانتاج الامونيا NH. وهذه الامونيا بدورها تتأكسد وتتحول إلى نتريت NO^- بسرعة بواسطة بكتريا النتريت مثل نايتروسوموناس Nitrosomonas ومن ثم تتحول إلى النترات NO^- بواسطة بكتريا النترات مثل نايتروباكتر Nitobacter

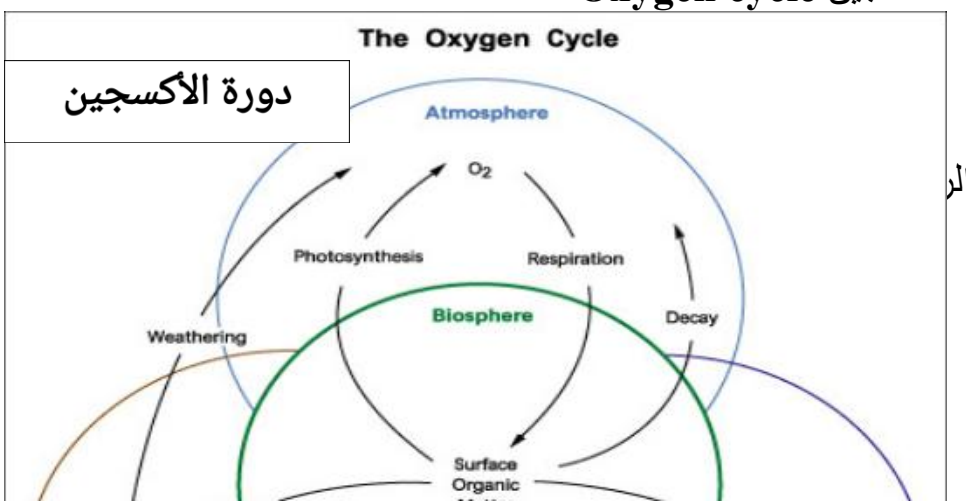


Denitrification N O, NO إلى الجو
عكس النترجة

هناك بعض الأنواع من البكتريا تساعد على ارجاع النتروجين إلى صيغته في الجو أي تعيد النتروجين المثبت من التربة إلى المحيط الجوي بواسطة عملية تسمى عكس النترجة Denitrification وهي عملية اختزال ميكروبي للنترات أو النتريت إلى غازات النتروجين يفقد ويتطاير في الجو. وهذه البكتريا هي الثايوباسيليس Thiobacillus denitrificans وبكتريا مايكروكوكس Micrococcus denifrificans ان وجود هذه الانواع من البكتريا له أهمية كبيرة في المحافظة على الانسياب الدوري للنتروجين من خلال أي نظام بيئي

وتعد عملية اخذ النبات للنتروجين في أشكاله اللاعضوية كالنترات مقياساً جيداً للتوازن بين التحلل البروتيني والتأثير البكتيري والإنتاجية الأولية. فعند تواجد النترات في تراكيز عالية في أي مسطح مائي يمكن ان يكون دليلاً على الإثراء الغذائي Eutrophication وهي عملية تشجع نمو الاشنات والنبات في المسطحات المائية نتيجة زيادة المحتوى الغذائي للمياه

(3) دورة الأكسجين **Oxygen cycle**



ثالثا"- الدورات الر

١-دورة الفسفور **Phosphorus cycle**

الفسفور من العناصر الأساسية الضرورية للحياة فهو يدخل في تركيبة الخلية لجميع الاحياء، ويؤدي دوراً رئيسياً في خطوات متعددة في العمليات الايضية فهو من العناصر الأساسية في بنية جزيئة الـــ DNA والـــ RNA . ومن العناصر الأساسية في مركبات الطاقة ATP ثلاثي فوسفات الادينوسين . فضلاً عن اشتراكه في تركيب الليبيدات المفسفرة التي تدخل في تركيب العضيات والأغشية الخلوية. اما الفسفور اللاعضوي فيكون على هيئة ايونات الفسفور PO و HPO و H PO والتي تمتصها النباتات وتثبت في الخلايا خلال العمليات الأيضية. ان الأحياء تحتاج الى هذا العنصر بكميات كبيرة فمثلا يتحدد نمو النباتات في حالة نقص الفسفور في التربة وتحتاج اليه الأحياء في بناء العظام .

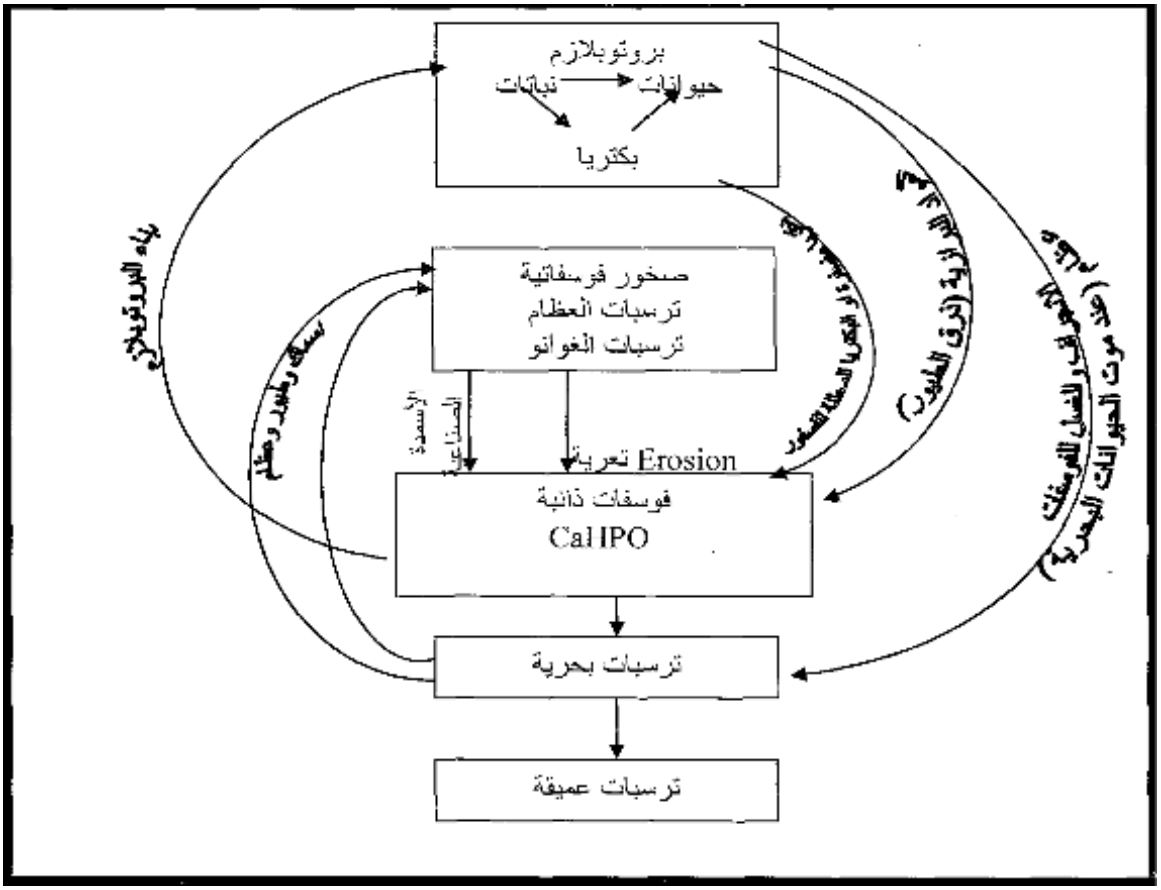
على عكس الكربون والنتروجين، لا يوجد الفُسفور في الجوّ، لكنّه يوجد في القشرة الأرضية كعنصر على شكل فوسفات، حيث تتحد 4 ذرات من الأوكسجين مع ذرة واحدة من الفوسفور مشكلة اَيون الفوسفات، الذي يتحد بدوره مع اَيون موجب، كأيون الكالسيوم، مكوناً معدن الأباتيت Apatite (يحتوي على نسبة عالية من فوسفات الكالسيوم) والموجود في كثير من صخور القشرة الأرضية النارية منها والرسوبية.

ان الدورة الكيمياوية الأرضية الحياتية للفسفور تبدأ بالنباتات التي تمتص الفسفور اللاعضوي كأحد المغذيات الرئيسية ويتحول الى الحالة العضوية ومنها ينتقل الى الحيوانات التي تتغذى عليها وعند موت هذه الكائنات تعمل المحللات في التربة او الماء على إرجاع الفسفور الى حالته اللاعضوية فضلا عن ما يخزن ضمن الرواسب والصخور الرسوبية التي بدورها تطلق الفسفور اللاعضوي خلال عمليات التعرية .ويعرف عن دورة الفسفور استغراقها لملايين السنين لكي تكتمل لكنها تبقى ناقصة من حيث الكمية الراجعة من العنصر اذ تفقد كميات من الفسفور على أشكال متعددة ومعقدة لا يمكن استرجاعها بسهولة مثل العظام و الأسنان.

أسباب ركود دورة الفسفور في الطبيعة ؟

١-موت الحيوانات يؤدي الى فقدان كميات فسفورية موجودة في عظامها بسبب تعذر تحليلها من قبل المحللات، فالمحللات قادرة على تحليل الفسفور الموجود في الخلايا النباتية بحيث يكون قابل للامتصاص بينما يتعذر عليها تحليل الفسفور الموجود في العظام وهذا هو احد جوانب ركود الدورة.

٢-توقف او فقدان في كميات الفسفور في الترسبات البحرية في البحار والمحيطات ، حيث تفقد كميات أخرى بسبب موت الأحياء البحرية وبقائها مطمورة في القاع وقد يعود قسم منها بالذوبان بفعل ثورات البراكين والزلازل في قعر البحار و المحيطات . ويمكن ان تساهم الطيور البحرية ولو بدور محدود بإعادة الفسفور الى اليابسة حيث تتغذى على الأسماك البحرية وتطرح فضلاتها على اليابسة وتكون هذه الفضلات على اليابسة والتي تعرف باسم (Guano) قد ساهمت في نقل كميات من الفسفور تقدر بعدة أطنان سنويا ، الا ان هذا الرجوع للفسفور يعتبر موقعيا ولا يشمل جميع أنحاء الكرة الأرضية .



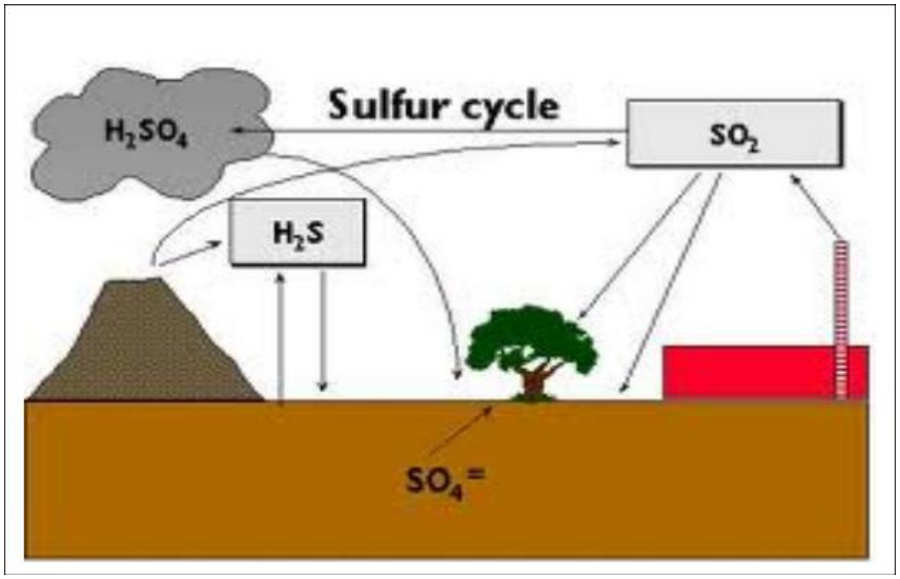
دورة الفسفور في الطبيعة

١)دورة الكبريت cycle Sulfur

يدخل الكبريت في تركيب المواد العضوية الحيوانية والنباتية. لذا يعد من العناصر الأساسية اللازمة لحياة الكائنات الحية. وتبدأ دورته بخروجه من بعض أنواع الصخور التي تحتويه، مثل صخور الجبس، التي تتكون من معدن الجبس 4CaSO وخام الكبريت الحر Native Sulfur خلال عملية التجوية الكيميائية. وينتقل الكبريت على شكل كبريتات ذائبة 4SO مع المياه السطحية أو الجوفية الجارية، حيث يصل الجزء الأكبر منه لمياه البحار والمحيطات. وجزء أقل يصل الى التربة. وينتهي المطاف بالكبريتات الذائبة في البحار والمحيطات الى ترسيبها على شكل رسوبيات تتحول مع الزمن الطويل الى صخور، مثل صخور الجبس والآنهيدريت. وبذلك تغلق دورة الكبريت على هذا الوجه.

أما الكبريت الذي يصل الى التربة، فيمكن للنباتات أن تمتصه على شكل كبريتات ذائبة، حيث يدخل الكبريت في تركيب موادها العضوية، وخاصة البروتينات النباتية. ويمكن ان ينتقل هذا الكبريت الى المستهلكات برتبها المختلفة خلال السلسلة الغذائية. وبعد موت المستهلكات والنباتات تقوم المحللات بتحليل المواد العضوية المحتوية على الكبريت إما هوائياً أو لا هوائياً. وتكون النتيجة في كلتا الحالتين عودة الكبريت الى التربة لتعود

فتمتصه نباتا أخرى، أو ينتقل خلال غسيل التربة بواسطة مياه الأمطار الراشحة خلالها الى المياه السطحية الجارية او المياه الجوية. وهذه بدورها تصل في النهاية الى البحار والمحيطات لتترسب بعد ذلك وتكون الرسوبيات، ومن ثم الصخور الرسوبية المحتوية على الكبريت خلال الزمن الجيولوجي الطويل.

وتمتاز دورة الكبريت عن دورة الفوسفور بتكون طور غازي للكبريت لا تجد مثله في دورة الفوسفور. إذ يمكن ان يصل الكبريت الى الغلاف الجوي على شكل عدة أنواع من الغازات، ومنها: ثاني أوكسيد الكبريت 2SO وكبريتيد الهيدروجين H2S.وينتج غاز ثاني أوكسيد الكبريت بشكل رئيسي من حرق الوقود الأحفوري المحتوي أصلاً على الكبريت بإحدى أشكاله، مثل معدن البايريت (2Pyrite) FeS) او المواد العضوية المحتوية على الكبريت والموجودة في الفحم الحجري. وعادة يتفاعل الغاز المذكور مع الماء ليكون حامض الكبريتيك 4H2SOالذي يسهم في تكوين المطر الحمضي Acid Rain والذي يهطل على سطح الأرض ويسبب العديد من المشكلات البيئية. وأيضاً يمكن ان ينتج غاز

ثاني أوكسيد الكبريت من أكسدة الكبريت من مركباته بفعل بكتريا الكبريت Thiobacillus ذاتية التغذية الكيميائية. أما مصدر غاز كبريتيد الهيدروجين، الذي يصل الى الغلاف الجوي، فهو التحلل اللاهوائي للمركبات العضوية المحتوية على الكبريت. وغاز كبريتيد الهيدروجين واحد من ملوثات الجو وهو غاز سام وله رائحة كريهة تشبه رائحة البيض الفاسد، قد يصل غاز ثاني أوكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين الى الغلاف الجوي عن طريق البراكين.