المحاضرة الثالثة: الدورات الطبيعية لأهم مكونات البيئية

1- دورة الماء water Cycle:

الماء هو العنصر الأساسي للحياة على الأرض، إذ تبدو معظم مساحة الأرض من المياه عند النظر إلى الكوكب من الفضاء مع محيطاته الشاسعة والعميقة، ودورة المياه ديناميكية تصف حركة الماء المستمرة بين سطح الأرض والغلاف الجوي وانتقاله من حالة لأخرى، إذ تبدأ دورة المياه بالتبخر ولان الغلاف الجوي لا يمكنه حمل كمية الماء المتبخرة من البحار والمحيطات جميعها فإن الماء المتبخر ينتقل من المكان الأكثر رطوبة وحرارة إلى مكان أقل منه، ويعد الهطول والتبخر والتجمد والذوبان والتكاثف جزءا من دورة المياه الهيدرولوجية على كوكب الارض. إذ تنتقل من الغيوم إلى اليابسة والمحيطات ثم تعود إلى الغيوم مرة أخرى. وترتبط دورة المياه هذه ارتباطا وثيقا بتبادل الطاقة بين الغلاف الجوي والمحيطات واليابسة. وتمر دورة الماء في الطبيعة بالمراحل التالية:

- **التبخر:** هذه العملية يتحول الماء السائل لبخار، وهي إحدى العمليات الرئيسية في الدورة، إذ تنتقل المياه من سطح الارض إلى الغلاف الجوي عن طريق التيارات الهوائية المتصاعدة التي تنقل الماء المتبخر بفعل حرارة أشعة الشمس الساقطة على مصادر الماء المختلفة، ويحدث هذا النقل عندما تصل بعض جزيئات الماء إلى الطاقة الحركية الكافية لتفككها من سطح الماء، وتؤثر العديد من العوامل الرئيسية على التبخر وهي درجة الحرارة والرطوبة وسرعة الرياح والإشعاع الشمسي. ويعد المصدر الرئيسي لبخار الماء هو المحيطات والبحار، لكن التبخر يحدث أيضا في التربة والثلوج والجليد، ويعد بخار الماء الشكل الرئيسي للرطوبة الجوية إذ يعد مهما للغاية في تكوين مصدر الرطوبة للندى والصقيع والضباب والسحب والهطول.
- **التكاثف:** هي المرحلة التي يتحول بها الماء من حالة البخار إلى الحالة السائلة، وهو من أهم مراحل دورة الماء، وفيه تتشكل السحب التي هي البخار المتصاعد الذي يتعرض لدرجة حرارة باردة في طبقات الغلاف الجوي، ويتحول لسحب.
- **الهطول:** وهو المرحلة النهائية لدورة الماء، وفيها يسقط الماء من السحب على شكل أمطار وثلوج أو برد. (هليل، 2020)

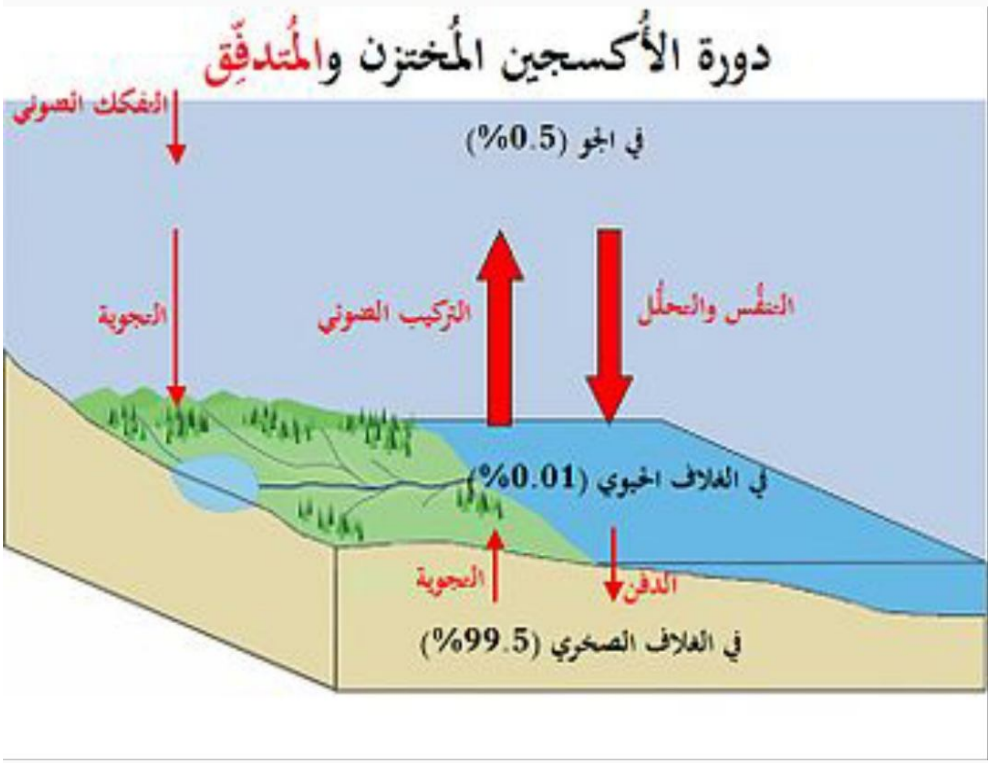
شكل رقم (07)يوضح دورة المياه

2- **دورة الأكسجين** oxygen Cycle:

يمثل الأكسجين الموجود في الهواء نسبة ثابتة حوالي (20%) من التركيب الحجمي للهواء، ويوجد عادة في حالة اتزان ديناميكي، وهذه النسبة الثابتة ناتجة من تساوي معدل امتصاصه في عملية التنفس مع معدل إضافته في عملية البناء الضوئي.

ومن المعروف أن صور الحياة كلها لا تحيا بدون الأكسجين، فأحياء البر تحصل عليه من الهواء، وأحياء الماء تحصل عليه ذاتيا في الماء.

وقد تبين أن الأكسجين المطلق في عملية البناء الضوئي ينتج من الماء، أما الأكسجين الذي يدخل في تركيب المواد الغذائية المتكونة فمصدره ثاني أكسيد الكربون، وفي عملية التنفس يدخل الأكسجين 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 بارز في ثبات واتزان الهواء ولولا هذا التضاد لنفذ أكسجين الجو. (الطنطاوي، 2008، 49-50)

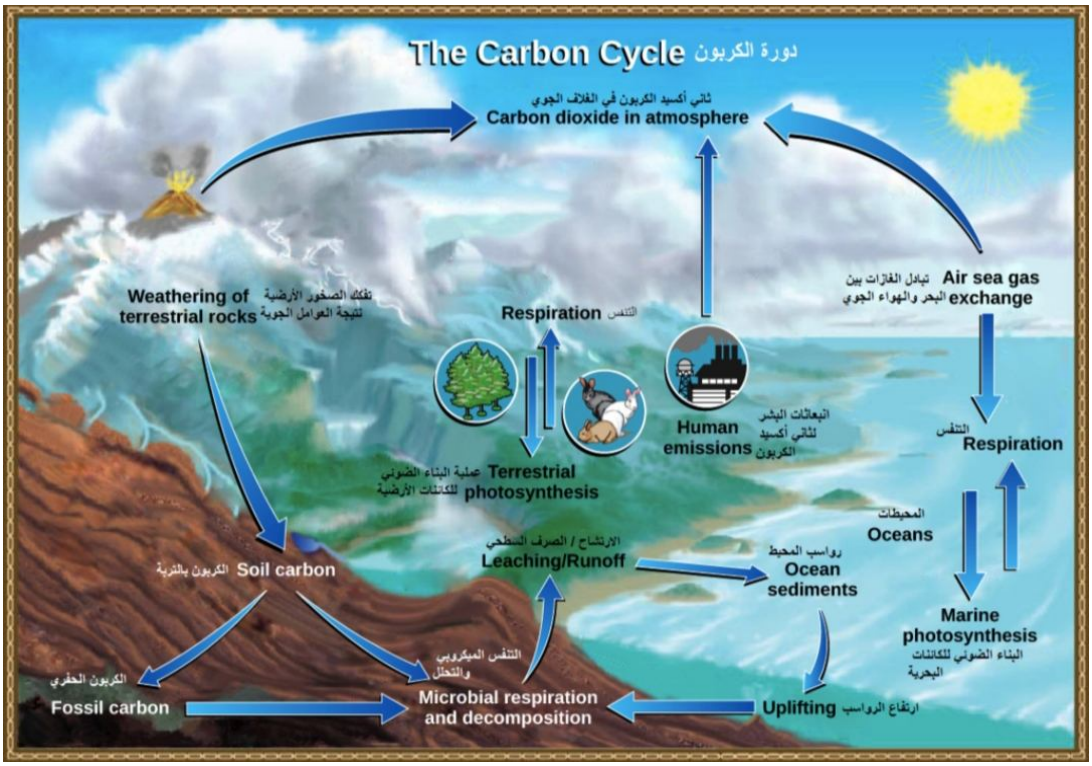


شكل رقم (08) يوضح دورة الأكسجين

3- **دورة الكربون** carbon Cycle:

يوجد الكربون في الجو على شكل غاز ثاني أكسيد الكربون CO2، وعلى صورة سائلة كما في خلايا الكائنات الحية وعلى صورة صلبة كما في الطبقات الصخرية وفي المركبات العضوية كالدبال. وتقوم النباتات الخضراء والطحالب بتثبيت ثاني أكسيد الكربون الجوي على شكل مركبات كربوهيدراتية، أما الحيوانات فتحصل على الكربون نتيجة تغذيتها على النباتات الخضراء، ويعود عنصر الكربون إلى الطبيعة بإحدى الطرق التالية:

- عمليات التنفس في الكائنات الحية المختلفة.
- البراكين والينابيع المعدنية.
- عمليات الاحتراق لأنواع الوقود المختلفة.
- تحلل أجسام الكائنات الحية.
- في البيئات المائية يوجد الكربون إما ذائبا في الماء أو في حالة صلبة (على شكل كربونات كالسيوم CaCo3) في أصداف وقشور الكائنات الحية التي تندمج وتحجز مع الصخور الرسوبية. وقد يعود الكربون إلى التربة بفعل عملية التعرية والحت نتيجة لجفاف المياه ة وتعري الصخور.
- قد يترسب الكربون على شكل مواد عضوية غير محللة في البيئات المائية فتبقى هذه المواد الكربونية محجوزة لمدة طويلة إلى أن يتم استخراجها على شكل وقود حفري. (القحطاني، 2010، 12-13)



شكل رقم (09) يوضح دورة الكربون

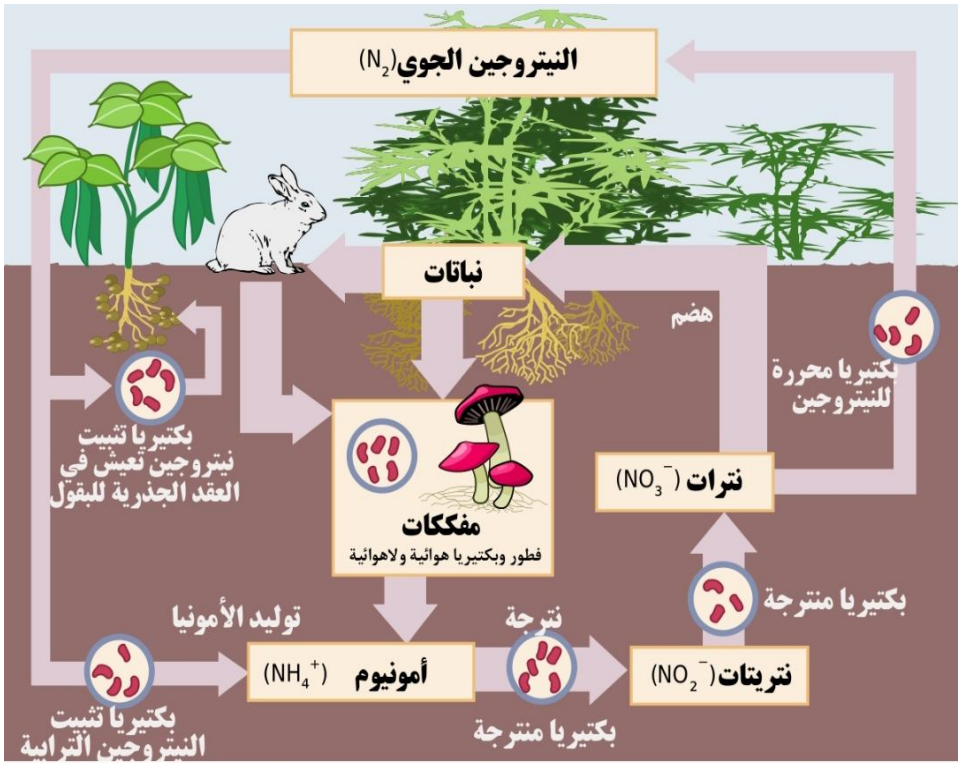
4- **دورة النيتروجين** nitrogen Cycle:

دورة النيتروجين هي دوران النيتروجين بين الجو والتربة والماء ونباتات الأرض وحيواناتها، وتحتاج كل الكائنات الحية إلى النيتروجين، ولكن أغلب الأحياء لا تستطيع استعمال النيتروجين الغازي (N2) والذي يشك 78% من الهواء، إذ يجب أن تحصل على نيتروجين متحد مع عناصر أخرى لتكون مركبات. ولكن إمداد هذا النيتروجين الثابت محدود، لذا توجد أساليب معقدة في الطبيعة لإعادة دوران النيتروجين.

بعد موت النباتات والحيوانات تتعرض للتحلل بواسطة بكتيريا وفطريات معينة، وتنتج هذه الأحياء الدقيقة النشادر (NH3) من مركبات النيتروجين في المادة العضوية الميتة وفي مخلفات الأجسام التي تفرزها الحيوانات. ثم تمتص بعض النباتات النشادر وتستخدمه لصنع البروتينات وبعض المواد الأخرى الضرورية للحياة. ويتحول النشادر الذي لا تمتصه النباتات إلى نترات مركبات (NO3) بواسطة بكتيريا النترتة. وهناك نوعان من بكتيريا النترتة بكتيريا النتريت التي تحول النشادر إلى نتريتات (مركبات NO2)، وبكتيريا النترات التي تحول النتريات إلى نترات. تمتص النباتات معظم النترات تستخدمها بنفس الطريقة مثل النشادر. أما الحيوانات فإنها تحصل على النيتروجين من أكل النباتات أو الحيوانات الأخرى التي تأكل النباتات.

تضع عملية تدعى تثبيت النيتروجين مزيدا من النيتروجين في الدورة البيولوجية. وتحصل بكتيريا تثبيت النيتروجين والطحلب على النيتروجين من الهواء وتحولها إلى نشادر، وتمتص النباتات معظم النشادر لكن بعضها يتبدد في الجو.

وعلى الرغم من أن تثبيت النيتروجين يأخذ النيتروجين من الجو، إلا أن هناك عملية معاكسة تسمى إعادة النيتروجين ترجع كمية مماثلة تقريبا من النيتروجين إلى الهواء. وتحول بكتيريا إعادة النيتروجين بعض النترات في التربة إلى نيتروجين غازي أو أكسيد نيتروز (N2O) إلا أن النيتروجين الثابت قد يدور عدة مرات بين الأحياء والتربة قبل أن ترجعه إعادة النيتروجين إلى الجو. (خنفر وخنفر، 2016، 39)



شكل رقم (10) يوضح دورة النيتروجين

5- دورة الكبريت sulphur Cycle:

يعد الكبريت من العناصر الأساسية اللازمة للكائنات الحية، ولا تفتقر التربة أو الكائنات الحية من نبات وحيوان غلى الكبريت. ويوجد في الطبيعة مصادر متعددة للكبريت أهمها:

- تحلل المواد العضوية في التربة والتي ينتج عنها مركبات الكبريت بالإضافة إلى مركبات أخرى.
- تجوية بعض الصخور المحتوية على الكبريت.
- البراكين والتي تنقل معها غازات الكبريت إلى مسافات بعيدة.
- التلوث الناتج عن أنشطة الإنسان المختلفة كالصناعة والمواصلات والتدفئة حيث تنطلق الملوثات ومن ضمنها الكبريت إلى الغلاف الغازي ويسقط الكبريت مع مياه الأمطار مكونا في بعض الحالات الأمطار الحمضية. وتصل كمية الكبريت الساقطة مع مياه الأمطار في بعض المناطق حوالي 60 كغم في السنة على الهكتار الواحد. كما تذهب بعض المركبات الكبريتية مع المياه في مجاري المياه.

وتأخذ النباتات الخضراء الكبريت من الوسط الذي تعيش به على شكل أيونات الكبريتات (so4-) وتستعمله في بناء البروتينات الخلوية. ومن خلال السلسة الغذائية تستفيد الكائنات الحية الأخرى من هذه المركبات الكبريتية في بناء الخلايا، وعند موت الكائنات الحية يتم تحلل المواد العضوية إما هوائيا أو لا هوائيا، ففي الظروف اللاهوائية كالتربة الرطبة والمستنقعات ينتج غاز كبريتيد الهيدروجين الذي يلعب دورا أساسيا في البيئة للأسباب الآتية:

- له تأثير سام على الكائنات الحية.
- رائحته الكريهة التي تحد من استعمال المياه وخاصة كمصدر للشرب.
- إحداث الأضرار بالأسمنت والمعادن عند أكسدته إلى كبريتات.
- إحداث تآكل ببعض المنشآت المعدنية عند تحوله إلى أحماض كبريتية.

وفي الظروف الهوائية ينتج عن تحلل المواد العضوية المحتوية على الكبريت أكاسيد الكبريت، وهنا يتم أكسدة غاز كبريتيد الهيدروجين إلى كبريتات بواسطة بكتيريا الكبريت Theobacilluse للحصول على الطاقة نظرا لان هذه البكتيريا من الكائنات الحية الدقيقة ذاتية التغذية كيميائيا.

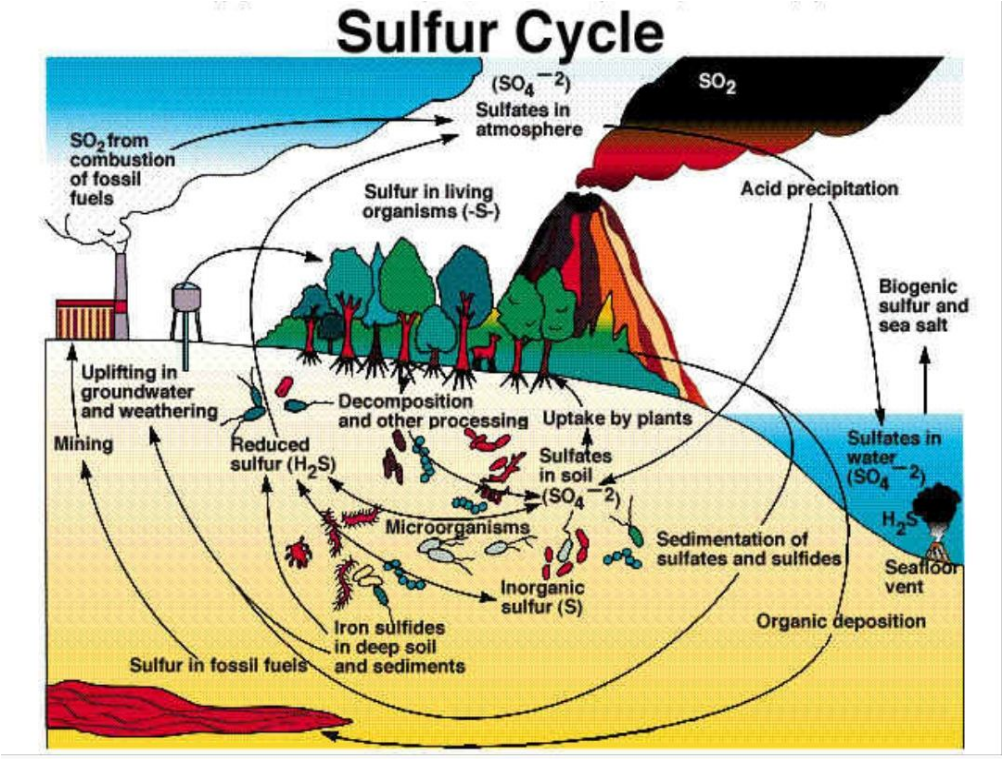
وعند تحول الظروف الهوائية إلى ظروف لا هوائية يتم اختزال الكبريتات إلى غاز كبريتيد الهيدروجين بواسطة بكتيريا Sporovibio حسب المعادلة:

$$H_2S \underset{\text{[Red] Sporovibio anaerob}}{\overset{\text{[O] Theobacilluse aerob}}{\rightleftharpoons}} SO_4^{--}$$

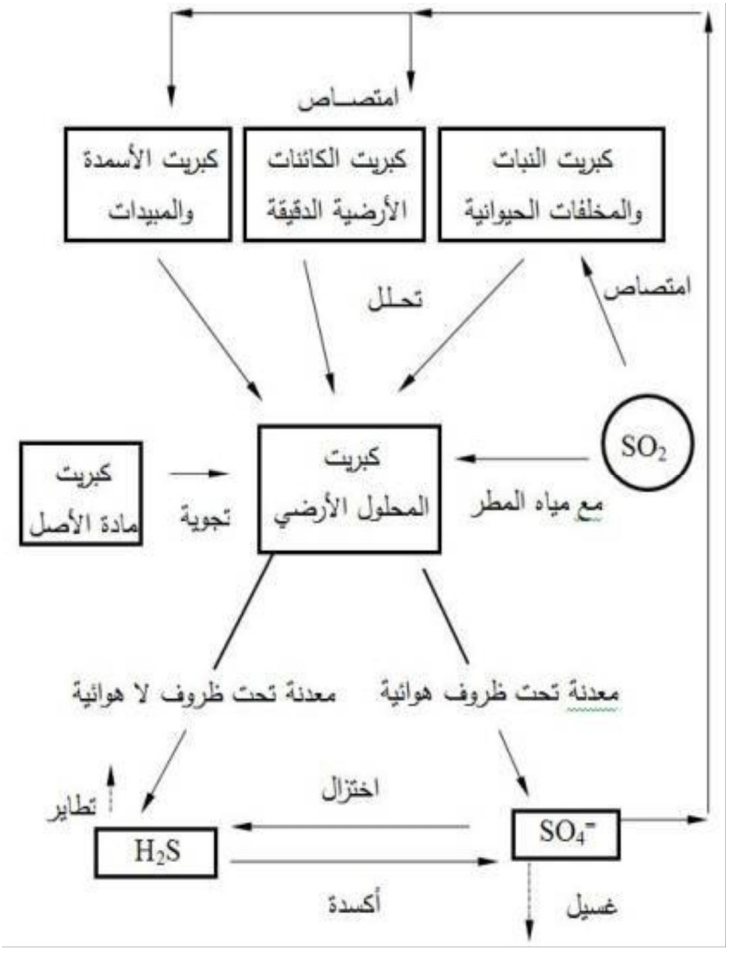
كما تقوم بكتيريا الكبريت بأكسدة الكبريت العنصري أو أية مركبات كبريتية أخرى للحصول على الطاقة حسب المعادلة:

$$2S + 2H_2O + 3O_2 \xrightarrow[\text{chemoautotroph}]{\text{Theobacilluse aerob}} 2H_2SO_4$$

ويلعب حامض الكبريتيك دورا هاما في تجوية الصخور عن طريق إذابة وترسيب المعادن، كما يساعد على تمكين النباتات من الاستفادة ببعض العناصر الغذائية عن طريق إذابة الفسفور من الصخور الحاوية على معدن الابتايت apatite صعبة الذوبان. (السروري، 2016، 56)



شكل رقم (11) يوضح دورة الكبريت



مخطط رقم (01) يوضح دورة الكبريت في الطبيعة

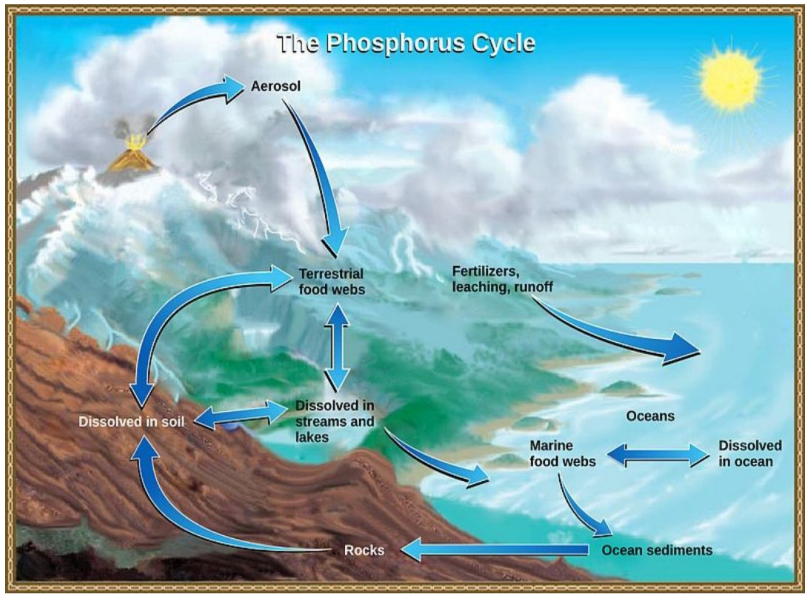
6- دورة الفسفور phosphorus Cycle:

يوجد الفسفور في الغلاف الجوي على شكل جسيمات غبار فقط، لذلك فإن دورة الفسفور تعتمد على انتقالاته داخل المحلول، وداخل الحالة الصلبة، وبين كل من الحالة السائلة والصلبة، وتتميز انتقالات الفسفور بأنها محدودة بسبب الذوبانية المنخفضة لمعظم مركبات الفوسفات الموجودة في الطبيعة، وخاصة فوسفات الكالسيوم والألمونيوم والحديد.

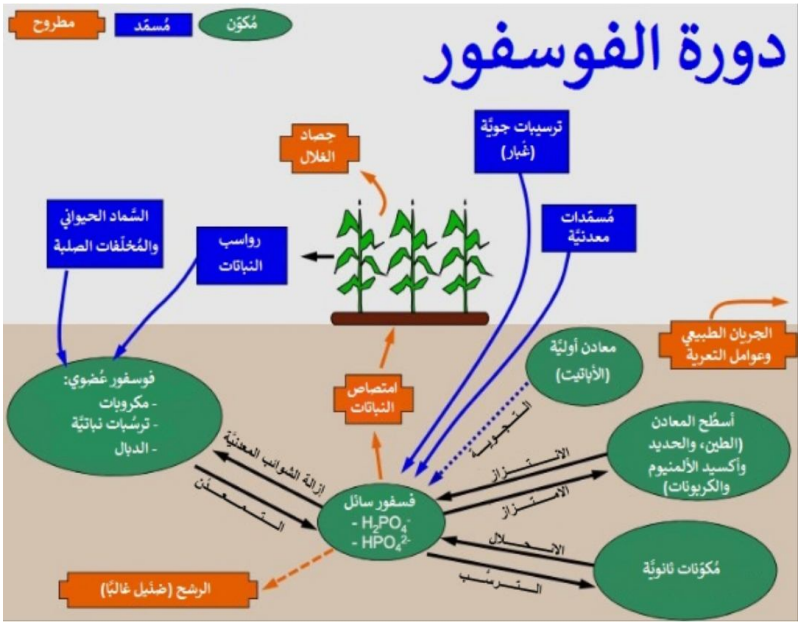
ويعد الفسفو ر مغذيا أساسيا للنباتات إلا أنه محدود، لأن طريقة دوراته خلال دورته الطبيعية بطيئة، وهذا ما يجعل لإضافة الأسمدة الفوسفاتية للتربة تأثيرا مهما وجوهريا على نمو النباتات، إلا أن هذه الأسمدة يتم تثبيتها بسرعة وتصبح غير متاحة للنباتات نتيجة لعاملين: الأول هو امتصاص الطفل والمعادن داخل التربة لهذه الأسمدة. والعامل الثاني: هو اشتراكها في تكوين أملاح غير ذائبة تتوقف على كل من الرقم الهيدروجيني للتربة ونوع التربة.

ويمكن التعبير عن دورة الفسفور في الطبيعة على النحو التالي:

- يوجد الفسفور في الطبيعة في صخور الفوسفات (الموجودة في الصخور الرسوبية) التي تتفتت بفعل الماء والرياح وأشعة الشمس وجذور النباتات.
- تذوب الأملاح الفسفورية في ماء التربة أو المسطحات المائية.
- تمتص النباتات الأملاح الفسفورية بواسطة جذورها.
- ينتقل الفسفور بعد ذلك من كائن إلى آخر في حلقات السلاسل الغذائية، حتى يعود مرة أخرى إلى التربة بعد موت الكائنات الحية وتحلل أجسامها. ويستطيع الإنسان أن يؤثر على دورة الفسفور في الطبيعة باستخدامه للمنظفات الصناعية المحتوية على الفوسفات، التي ينتهي بها الحال إلى المحيط المائي فتعمل كمصدر غذائي للنباتات المائية. (الطناوي، 2017، 84-85)



شكل رقم (12) يوضح دورة الفوسفور



7- دورة الصخور في الطبيعة:

الصخور هي مواد صلبة ناتجة إما من تجمع معدن واحد أو أكثر، أو من تجمع مواد معدنية مع قطع صغيرة من صخور أخرى، أو من تجمع مواد عضوية صلبة. هذا يعني أن الصخور تتكون من عدد من الحبيبات المعدنية المنفردة، ليس من الضروري أن تكون من نوع واحد، أو من حبيبات معدنية زائد قطع صخرية، وجميعها متماسكة بثبات مع بعضها في كتلة واحدة. تقسم الصخور اعتمادا على طريقة تكونها إلى ثلاثة أصناف هي:

- **الصخور النارية** (Igneous Rocks): وهي تنشأ من تصلب مادة سلكاتية ذائبة تعرف بالصهير (Magma). وعند خروج الصهير إلى سطح الأرض فإنه يعرف بالحمم (Lava). تقسم الصخور النارية بصورة رئيسة إلى نوعين اعتمادا على العمق الذي تتكون فيه الصخور والذي يعكس بدوره حجم البلورات المعدنية المكونة للصخرة النارية، هذين النوعين هما:

الصخور النارية الجوفية (Intrusive Igneous Rocks): هي التي تتكون من تصلب الصهير تحت سطح الأرض. ولأنها تتكون نتيجة لعملية التبريد البطيئ للصهير فإن بلوراتها تملك فرصة جيدة للنمو، لذلك تكون ذات أحجام كبيرة ممكن مشاهدتها بالعين المجردة، مكونة نسيجا يعرف بالنسيج الفانيري (Phaneritic Texture). هذا النوع من الصخور يعرف أيضا بالصخور النارية البلوتونية (Plutonic Igneous Rocks) نسبة ل (Pluto) إله العالم السفلي عند الإغريق.

الصخور النارية الخارجية (Extrusive Igneous Rocks): هي التي تتكون من تصلب الصهير فوق أو بالقرب من سطح الأرض. ولأنها تتكون نتيجة لعملية التبريد السريع بلوراتها لا تملك فرصة جيدة للنمو،

لذلك تكون ذات أحجام صغيرة يصعب تميزها بالعين المجردة، مكونة نسيجا صخريا يعرف بالنسيج الأفانيتك (Aphanitic Texture) وأحيانا نسيجا زجاجيا (GlassyTexture). هذا النوع من الصخور يعرف أيضا بالصخور النارية البركانية (Volcanic Igneous Rocks) لأنها عادة تتكون نتيجة لتصلب الحمم البركانية.

- **الصخور الرسوبية** (Sedimentary Rocks): وهي تنشأ من تماسك الرواسب (Sediments) المفككة التي تتكون نتيجة العمليات التعرية (التفتيت والنقل) والترسيب، سواء كانت رواسب فتاتيه، وكيميائية أو عضوية. هذه العمليات تتكون بسبب نشاط الرياح والمياه والجليديات. وتقسم إلى ثلاث أنواع هي:

- **الصخور الرسوبية الفتاتية** (Clastic Sedimentary Rocks): تتكون نتيجة لتصلب الفتات الصخري والقطع المعدنية التي تتفتت نتيجة للعمليات الجوية وتنقل و تترسب ومن ثم تتصلب.
- **الصخور الرسوبية الكيميائية** (Chemical Sedimentary Rocks): تتكون نتيجة لتصلب الرواسب الناتجة من المحاليل المائية المشبعة، والذي يحصل كنتيجة لبعض التفاعلات اللاعضوية في المياه.
- **الصخور الرسوبية العضوية** (Organic Sedimentary Rocks): تتكون من تجمع هياكل الكائنات البحرية أو بقايا النباتات وتماسكها، وهي عادة ما تكون مترافقة مع رواسب أخرى فتاتية أو كيميائية والتي تعمل كمادة لاحمة تربط قطع المواد العضوية مع بعضها مكونة الصخور الرسوبية العضوية، لذلك يعد هذا النوع من الصخور تابعا لكل من النوعين السابقين. (المطوري، 2006)

- **الصخور المتحولة** (Metamorphic Rocks): وتعني التغيير المعدني والتركيبي والنسيجي الذي يطرأ على صخور صلبة نتيجة للظروف الكيماوية والفيزيائية. إذ قد تتحول الصخور من شكل إلى آخر أو يتغير ترتيب وتنظيم بلوراتها وقد تندمج البلورات المنفردة مع بعضها أو قد تضاف مواد للصخور قادمة من مصادر أخرى. (الحلاوي، 2018). وتنقسم إلى:

- **الصخور المتحولة الصفائحية أو الوريقية** (Foliated Metamorphic Rocks): وتتشكل تحت ضغط مباشر أو إجهاد قص. وتتكون عادة من كميات كبيرة من معادن الميكا والكلوريت، ولهذه المعادن انقسامات مميزة جدا حيث تنقسم الصخور المتحولة المورقة على طول خطوط الانقسام الموازية للمعادن التي تتكون منها الصخور، وللنسيج الوريقي أنواع عدة منها ما يأتي:

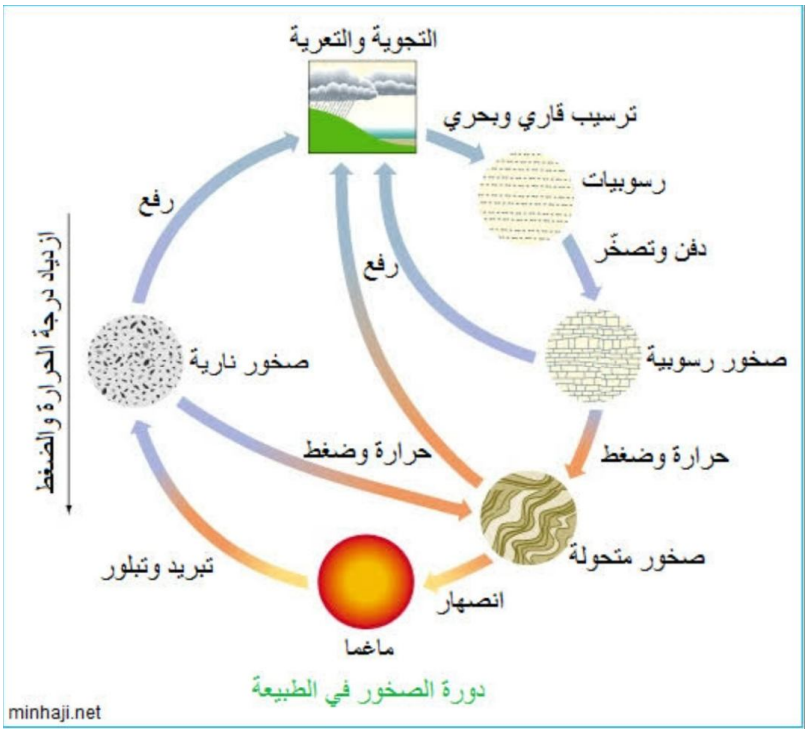
- **النسيج الإردوازي:** الصخور التي تمتلك النسيج الإردوازي تمتلك حبيبات دقيقة الحجم من الصعب رؤيتها بالعين المجر دة، وتكون ذات سطوح باهتة لا تظهر أي بريق، ويمكن أن تنقسم بسهولة.
- **النسيج الفليتي:** تتشابه الصخور التي تمتلك النسيج الإردوازي في كونها تتألف من حبيبات صغيرة الحجم، ولكنها تظهر على شكل خطوط مموجة أو مجعدة ذات سطوح لامعة، ويمكن أن تنقسم

بسهولة، كما أن صخور النسيج الفليتي يختلف مظهرها عن الصخور الأصلية بقدر أكبر من صخور النسيج الإردوازي.

- **النسيج الشستوزي:** تتميز صخور النسيج الشستوزي بحبيباتها المرئية الواضحة للعين المجردة، وفي الغالب تتشكل من المعادن الصفائحية مثل الميكا، وتختلف صخور النسيج الشستوزي في مظهرها عن الصخور الأصلية بقدر أكبر من صخور النسيج الفليتي، وقد تتكون هذه الصخور من مجموعة متنوعة من الصخور الأم.
- **النسيج النيسي:** تترتب المعادن في صخور النسيج النيسي على شكل شرائط فاتحة وغامقة.

الصخور المتحولة غير الصفائحية (Nonfoliated Metamorphic Rocks)**:** تتشكل هذه الصخور تحت ظروف الضغط المنخفض أو تحت تأثير الضغط الحاصر المتساوي في جميع الاتجاهات مما يجعلها لا تبدو وريقية المظهر، وفي معظم الحالات يكون هذا بسبب عدم دفنها بعمق كاف، ويجدر بالذكر أن حرارة التحول في هذا النوع من الصخور تأتي من الصهارة التي انتقلت إلى الجزء العلوي من القشرة، حيث يسمى هذا التحول بسبب القرب من الصهارة باسم التحول التماسي. ومنها ما يأتي:

- **الكوارتزيت:** وهو صخر متحول من الحجر الرملي البروتوليث، حيث تتضخم حبيبات الكوارتز من الحجر الرملي الأصلي وتتشابك عن طريق إعادة التبلور. والسمة المميزة لتمييز الكوارتز عن الحجر الرملي هي أنه عند كسره بمطرقة صخرية فإن بلورات الكوارتز تتكسر عبر الحبيبات.
- **الرخام:** وهو حجر جيري متحول أو دولوستون يتكون من الكالسيت أو الدولوميت، إذ ينتج عن إعادة التبلور عادة بلورات متشابكة أكبر من الكالسيت أو الدولوميت، وغالبا ما يبدو الرخام والكوارتزيت، كما يمكن تمييز الرخام عن الكوارتزيت باستخدام قطرة من حمض الهيدروكلوريك المخفف، حيث ستظهر الرغوة على الرخام إذا كان مكونا من الكالسيت.
- **الصخور القرنية:** يمكن معرفة الصخور القرنية من كثافتها، وحبيباتها الدقيقة، وصلابته، والتكتل أو النسيج المنشق المكون من العديد من معادن السيليكات، حيث يزداد صغر بلورات الصخور القرنية مع الاستمرار في عملية التحول إلى أن تصبح صغيرة جدا. (الوهادين، 2021)



شكل رقم (13) يوضح دورة الصخور في الطبيعة

أمثلة على الصخور المتحولة

صخر النايس "gneiss"

صخر الإردواز "سجيل" "slate"

صخر الكوارتزيت "quartzite"

صخر الشست "schist"

صخر الرخام "marble"

صخر الفيليت "phyllite"