# الكيمياء البيئية ـ نظري

**المحاضرة السادسة** **اعداد: م. د. عمر ادريس صالح**

## اساسيات كيمياء الماء *Basics of the Water Chemistry*

### مقدمة: *Introduction*

الماء سر الحياة لقوله تعالى: (وجعلنا من الماء كل شيء حي) من الآية الكريمة ومن منطلق أهمية الماء في ديمومة الحياه نبدأ بإعطاء مقدمة عن الغلاف المائي الذي يقدر بحوالي 1.4 بليون كيلومتر مكعب من المياه السائلة و المتجمدة التي تكون المحيطات و البحار والبحيرات والأنهار والمياه المتجمدة عند القطبين و المياه الجوفية إضافة الى بخار الماء المتواجد في الغلاف الجوي على هيئة سحب و رذاذ و أمطار نازلة يطلق عليها البيئة المائية (hydrosphere) إلا ان النسبة العظمى منها غير صالحة للاستهلاك بسبب ملوحتها حيث ان نسبة المياه العذبة المذكور لا تتجاوز 3%, و أكثر من ثلثي هذه النسبة للمياه العذبة تتواجد على هيئة مياه متجمدة و مع ذلك فان هذه الكمية من المياه العذبة تكفي لإمداد البشرية باحتياجاتها إلا ان توزيعها مع الأسف لا يتناسب مع الكثافة السكانية حيث يلاحظ نقص في إمدادات المياه مع زيادة في استهلاكها في مناطق مكتظة بالسكان مثل أفريقيا و آسيا بينما نجد زيادة تلك الإمدادات مع قلة استهلاكها في مناطق أقل سكانا مثل أمريكا الشمالية و الجنوبية ولهذا يرى بعض المحللين ان الحروب القادمة ستكون على مصادر المياه العذبة بدلا من مصادر البترول، يمكن القول أن استخدامات المياه تنحصر في ثلاثة مجالات هي الاستعمال المنزلي والصناعي والزراعي، حيث أن الاستخدامات الزراعية تأتي في المرتبة الأولى يليها غالبا الاستخدام الصناعي وفي المرتبة الأخيرة تأتي الاستخدامات المنزلية مثل الشرب والغسيل والطبخ إلى آخره. يمكن تقسيم المياه إلى قسمين رئيسيين هما المياه السطحية وتشمل البحار والمحيطات والبحيرات والأنهار والمياه المتجمدة والتي تغطي حوالي 75% من سطح الأرض وتمثل أكثر من 99% من الحجم الكلي لمياه الكرة الأرضية أما القسم الثاني فهو المياه الجوفية التي تخرج إلى سطح الأرض عن طريق الآبار والعيون والينابيع وتمثل حوالي 0.68 % من الحجم الكلي لمياه الأرض أما مياه الأمطار فهي حلقة الوصل بين هذين القسمين.

## الخواص الفيزيائية للماء *Physical Properties of Water*

الحالة الفيزيائية الطبيعية للماء سائل عديم اللون والطعم والرائحة يغلي عند درجة حرارة (100)°C ويتجمد عند ال (0)°C، يظهر الماء خواصا قطبية حيث يعتبر اكثر المذيبات قطبيتا لذلك فهو مذيب جيد للأملاح الايونية اللاعضوية والمركبات العضوية التي تظهر خواص قطبية، تتغير كثافة الماء مع تغير درجة الحراة لكنة يظهر اعلى كثافة عند درجة (4)°C حيث تصل الى (1) g/L، استعمالات الماء سواء في الصناعة او الزراعة او

الاستخدام المنزلي هو ما يحدد نوعية الماء. بالإضافة الى ان الماء هو المركب الوحيد الذي يظهر حالات المادة الثلاثة (السائلة والصلبة والغازية) لذلك فهو يظهر استخدامات واسعة في مختلف مجالات الحياة المختلفة.

## الخواص الكيميائية للماء *Chemical Properties of Water*

تحتوي المياه الطبيعية على العديد من المواد الذائبة أو العالقة و من أهم مكونات المياه الذائبة بعض الكاتيونات مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم، و بعض الأنيونات مثل الكربونات و البيكربونات والكبريتات و الكلوريدات و النترات، بالإضافة إلى هذه الأيونات التي تتواجد في المياه بكميات ملحوظة تحتوي المياه على كميات ذائبة ضئيلة من عناصر أخرى ذات أهمية في تفسير التاريخ الجيولوجي للمياه كما ان لها تأثيرا بالغا على صحة الإنسان والحيوان و النبات مثل البورون المهم للزراعة والفلوريد المهم لصحة الإنسان و الزئبق و الرصاص و الكادميوم والزنك واليورانيوم والزرنيخ والمنغنيز و السيليكون ..... الخ. ويوجد الحديد والألومنيوم في المياه غالبا على هيئة أكاسيد أو هيدروكسيدات عالقة. عند سقوط الأمطار العالية الحمضية على اليابسة تنساب على هيئة أودية وانهار حيث يتخلل جزء منها الطبقات الصخرية ليكون المياه الجوفية والباقي ينساب الى المياه السطحية، و أثناء هذه الرحلة يتم إذابة العديد من المواد المكونة للطبقات الصخرية بواسطة ما يعرف بالتعرية الكيميائية و التي تتضمن العديد من التفاعلات بين الماء و المواد الذائبة فيه من جهة و بين مكونات الطبقات الصخرية مثل تفاعلات الأكسدة و الاختزال و الترسيب و التبادل الايوني و التعقيد (تكوين معقدات) و لذلك يعتمد نوع و كمية محتوى المياه على التركيب الكيميائي للطبقات الصخرية التي تمر فوقها أو خلالها هذه المياه . فمثلا عند مرور المياه خلال بعض المبادلات الأيونية الطبيعية مثل الطين أو الزيوليتات يحدث تبادل للأيونات بين المياه وتلك المبادلات مما يؤدي الى تغير التركيب الكيميائي لتلك المياه.

ويعتمد التركيب الكيميائي للمياه اما على الخواص الفيزيائية مثل الحرارة والضغط والحموضة اوعلى موقعها حيث ان تغيير في هذه الخواص أو الموقع الجغرافي سيؤدي الى تغير في التركيب الكيميائي للمياه فمثلا تترسب كربونات الكالسيوم من المياه الطبيعية عند فوهات الينابيع الحارة نتيجة لتطاير غاز ثاني اوكسيد الكربون من تلك المياه الحارة. كما نلاحظ ان أيونات الحديد الثنائي الذائبة في المياه الجوفية تترسب على هيئة هيدروكسيد حديد ثلاثي عند خروج تلك المياه الى السطح وملامستها الهواء الجوي الذي يؤكسد الحديد الثنائي الى ثلاثي.

العمليات الحيوية لبعض أنواع البكتيريا المتواجدة في المياه قد تؤدي الى تغيير التركيب الكيميائي لتلك المياه، فمثلا ينتج عن تحلل المواد العضوية بواسطة البكتيريا غاز ثاني أوكسيد الكربون كما ان أنواعا معينة من البكتيريا قادرة على أكسدة الحديد الثنائي الى ثلاثي وأكسدة الامونيا والنتروجين وبعض المركبات النيتروجينية الأخرى الى

نتريت أو نترات وأكسدة الكبريتيد الى كبريت أو كبريتات تبعا للظروف السائدة. كما ان هناك أنواع أخرى من البكتيريا تملك المقدرة على اختزال النترات الى نتريت أو نتروجين أو امونيا واختزال الكبريتات الى كبريتيد. الماء يسلك سلوك قاعدي ضعيف مع المواد الحامضية وسلوك حامضي ضعيف مع المواد القاعدية لذلك فهو يميل الى اظهار رقم هيدروجيني pH متعادل تقريبا.

## *The Water Cycle in Nature* *دورة الماء في الطبيعة*

عملية ديناميكية تصف حركة الماء المستمرة بين سطح الأرض والغلاف الجوي وانتقاله من حالة لأخرى، إذ تبدأ دورة الماء 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 الأرض، 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:

1 - **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 سـطح الماء، وتؤثر العديد من العوامل الرئيسـية 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.

2- **التكاثف**: هي المرحلة التي يتحول الماء فيها من الحالة البخارية إلى الحالة السائلة، وهي من أهم مراحل دورة الماء. وفيه تتشكل السحب التي هي البخار المتصاعد الذي يتعرض لدرجة حرارة باردة في طبقات الغلاف الجوي، ويتحول لسحب.

3 - **الهطول**: وهو المرحلة النهائية لدورة الماء، وفيها يسقط الماء من السحب على شكل أمطار وثلوج أو برد.

*دورة الماء في الطبيعة*

**ويتم تقسيم المياه الى عدة أصناف من المحاليل المائية:**

**1- محاليل مياه الامطار:**

عندما يدخل الماء إلى الغلاف الجوي على هيئة بخار يكون نقيا ثم تبدأ الغازات الجوية (الأكسجين والنيتروجين وثاني أوكسيد الكربون والأمونيا وكذلك الجسيمات) تذوب فيه وبذلك يتحول إلى محلول وهذا يعني أن مياه الأمطار ليست نقية حيث تحتوي على أملاح ذائبة ومواد عضوية وبكتيريا وإن مصدر هذه المواد بصورة عامة هي المحيطات والتربة بما فيها من أسمدة ومخصبات ومبيدات والملوثات الجوية وخاصة تلك الناتجة عن احتراق الوقود المتحجر حيث لوحظ أن التركيب الكيميائي للأمطار الساقطة على المحيطات والشواطئ يشبه تركيب مياه البحر او المحيط الذي يحتوي على بعض الأملاح مثل كلوريد الصوديوم، أما تركيب مياه الأمطار في المناطق الصناعية فهو يحتوي على كميات كبيرة من الكبريتات والنترات وثاني أوكسيد الكربون الناتجة من احتراق الفحم والنفط. وبصورة عامة تعتمد تراكيز وأنواع المواد الذائبة في مياه الأمطار على مدى عمق تلوث الهواء الجوي في منطقة الهطول.

**2- محاليل مياه البحار والمحيطات:**

عوامل عديدة تلعب دورا مهما في تحديد التركيب الكيميائي لماء البحر او المحيط، حيث ان الأنهار تحمل معها المواد الذائبة والعالقة إلى البحر. والرياح تقوم بدورها بنقل الغبار والجسيمات العالقة أيضا في الهواء إلى البحر كذلك يتسرب جزء من المياه الجوفية بما تحمله من مواد ذائبة وعالقة في الطبقات السفلة إلى البحر وتقوم الكائنات الحية المتواجدة في الجزء العلوي من المحيط بتحويل المواد الذائبة إلى مواد صلبة تستقر في قاع المحيط وكذلك تقوم تيارات الرياح بمزج مياه المحيط وتساعد في جعل التركيب الكيميائي للبحر أو المحيط قريب من التجانس، ويمكن حصر المواد الأساسية التي تشترك في تركيب محاليل مياه البحار المحيطات بالمواد التالية:

**أ- المواد غير العضوية الذائبة في مياه البحر أو المحيط:**

تتفاوت تراكيز هذه المواد من منطقة إلى أخرى إلا أن هذا التفاوت لا يتعدى نسبة ال 3% ومن أهم أيونات العناصر المكونة لمحاليل مياه البحار والمحيطات هي أيونات (الكلوريد، المغنيسيوم، الكالسيوم، الكربون غير العضوي، السلكيات، البورون، الفلوريد، الصوديوم، أيونات الكبريتات، البوتاسيوم، البروم، السترونتيوم وغيرها حيث تمثل هذه المعادن ما يقارب نسبة 99.5% من المواد الذائبة في مياه البحار والمحيطات أما الجزء المتبقي من هذه النسبة فهو يتمثل بمركبات الفسفور غير العضوي ومركبات النيتروجين غير العضوية وبعض المعادن الأخرى قليلة الأهمية من الناحية الحيوية.

**ب- المواد العضوية الذائبة في مياه البحر أو المحيط:**

يتراوح تركيز الكربون العضوي الذائب في مياه البحر بين micromoles carbon/kg water 100-500 على عدة هيئات مثل الكربوهيدرات والحوامض الأمينية وهذا التركيز يختلف باختلاف العمق. ويعتمد تواجد بعض العناصر المهمة في تغذية الكائنات الحية مثل الحديد والنحاس و الزنك على تفاعلات الكربون العضوي الذائب.

**3- محاليل مياه الأنهار والبحيرات العذبة:**

على الرغم من أننا نعتبر الماء العذب مركباً نقياً بصيغته الكيميائية $H_2O$، إلا أن مياه الأنهار والبحيرات العذبة تحتوي على العديد من المواد المذابة والمعلقة التي تجعلها مزيجاً معقداً.

- الأملاح المعدنية :مثل الكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد. تذوب هذه الأملاح في الماء وتؤثر على طعمه وتوصليه الكهرباء فيه.

- الغازات المذابة :مثل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون والنيتروجين. تلعب هذه الغازات دوراً حيوياً في الحياة المائية.
- المواد العضوية :تشمل بقايا النباتات والحيوانات ومواد عضوية أخرى. تساهم هذه المواد في تغذية الكائنات الحية الدقيقة في الماء.

**4- محاليل المياه الجوفية:**

المياه الجوفية هي عنصر مكمل لدورة الماء التي تبدأ بسقوط الامطار على اليابسة حيث ينساب جزء منها بشكل مباشر الى البحيرات والبحار من خلال الأنهار والجزء الاخر يتسرب عبر طبقات الأرض مكونا المياه الجوفية التي تشكل حوالي 97% من مجموع المياه العذبة في الأرض. كما ان للمياه الجوفية مصدران آخران غير الأمطار هما مياه بحار انحبست أثناء تكوين الصخور (مياه حفرية) ومياه ناتجة عن عمليات تحول الصخور الرسوبية إلى صخور نارية. والمياه الجوفية تكون غنية بالعديد من العناصر مثل الكالسيوم والكبريت والبوتاسيوم والفوسفور والمغنيسيوم كما تحتوي على كميات قليلة من عناصر الزنك والبروم والمنجنيز والنحاس وهناك العناصر التي توجد بكميات ضئيلة مثل الليثيوم والفضة والزئبق، وتظهر المياه الجوفية الى سطح الأرض على هيئة آبار وعيون وينابيع. ومن الآبار ما هو عادي ومنها ما هو ارتوازي يندفع منها الماء تلقائيا عندما يصل الحفر الى منطقة التشبع. ويقصد بالعيون والينابيع الأماكن التي تتدفق منها المياه الى سطح الأرض دون جهد إنساني. واغلب المواد الشائعة في مياه العيون والينابيع الكبريت وبعض الأيونات مثل الكربونات والكبريتات، والكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم. كما قد تحتوي تلك المياه بالإضافة الى الأملاح على كميات ملحوظة من الغازات مثل غاز كبريتيد الهيدروجين والتي قد تكون سببا في تدفقها فوق سطح الأرض وهذا ما يسمى المياه المعدنية.

**5- محاليل مياه الجليد:**

الجليد نقي نسبيا حيث لا يحتوي الا على عدد محدود من الايونات الغريبة والجسيمات الصلبة والغازات التي حبست بداخله اثناء تكونه. ولذلك العلماء يدرسون التغيرات في تركيب الجليد من اجل تفسير تاريخ بيئة الأرض السطحية ومدى تأثير النشاط البشري على تلك البيئة. فمثلا زيادة تركيز الرصاص في طبقات الجليد المتكونة حديثا عند القطبين الجنوبي والشمالي مقارنة بالطبقات القديمة يشير الى التلوث الناجم عن استخدام الرصاص الموجود في كازولين السيارات، كذلك زيادة تركيز ثاني أوكسيد الكربون والميثان خلال القرن الماضي في الجليد يعتبر دليل آخر على دور النشاط البشري في تلوث

البيئة فقد زاد تركيز ثاني أوكسيد الكربون بمقدار 25 % والميثان بمقدار 167 % في خليط الغازات المحبوسة في طبقات الجليد الحديثة (كفقاعات هواء) عما كانا عليه قبل 200 عام.

الكيمياء البيئية