

خواص الماء

(٢,١) الخواص الفيزيائية للماء

ومن أهم الخواص الفيزيائية في مجال المياه

(٢,١,١) التركيب الجزيئي للماء

الماء عبارة عن مركب كيميائي ينتج عن تفاعل غاز الأكسجين مع غاز الهيدروجين ويرمز له H_2O والأصح أن يرمز له $(H_2O)_n$ ويتكون الماء من أيونين هيدروجين مرتبطان بواسطة رابطة تساهمية (Covalent Bond) مع أوكسجين يحمل شحنة سالبة وبزاوية تتراوح ما بين $104 - 105^\circ$.

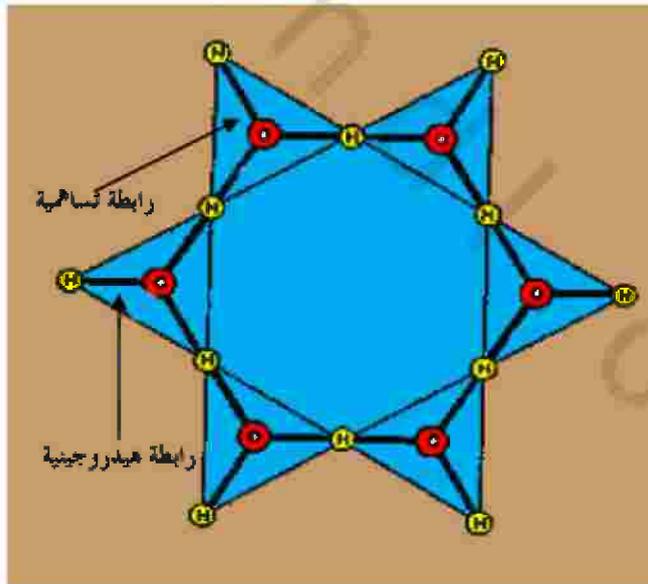
يتركب جزيء الماء من ذرة أكسجين وذرتين هيدروجين حيث تشغل ذرة الأكسجين الحيز الأكبر من جزيء الماء ويبلغ قطر جزيء الماء حوالي 2.79 إنجستروم، والإنجستروم ($A = 10^{-8} \text{ cm}$). ويرتبط الهيدروجين مع الأكسجين برابطة تشاركية قوية ويشكلان زاوية مقدارها 105 درجة ويوضح الشكل رقم (٢.١) هذه الرابطة.

ونظراً لأن الأكسجين ذو ساليه كهربية أعلى من الهيدروجين فإن الإلكترونات المكونة للرابطة التشاركية لا تتوزع بالتساوي بين الذرتين بل تتركز على الأكسجين فيتحول إلى قطب سالب وتنقص بالنسبة للهيدروجين فيصبح موجباً مما يجعل جزيء الماء قطبياً Polar حيث يحتوي على التركيب الثنائي القطب Dipolar وتلعب قطبية الماء دوراً بارزاً في تكوين سلسلة مترابطة من جزيئات الماء فالقطب

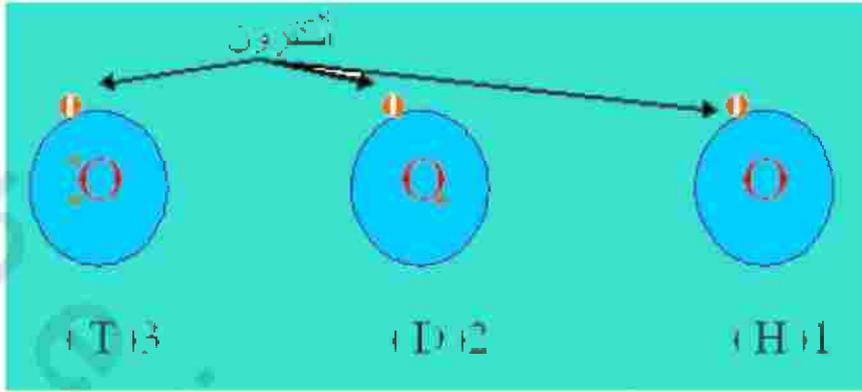
الموجب لجزيئة الماء ينجذب بقوة إلى القطب السالب لجزيئة ماء أخرى وتسمى هذه الرابطة بالرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond . وتكون هذه الجزيئات شكلاً منتظماً بصورة بناء سداسي Hexagonal (الصورة ٢،١ والشكل رقم ٢،٢). ويتميز بشكل واضح في حالة الجليد (الحالة الصلبة للماء).



الصورة (٢،١) . الشكل السداسي للحالة الصلبة للماء.



الشكل (٢،١) . توزيع أيونات الأكسجين والهيدروجين داخل جزيئات الماء في الشكل السداسي للحالة الصلبة للماء.



الشكل (٢,٢). أنواع أيونات الهيدروجين الموجودة في الماء.

● بروتون يحمل شحنة موجبة. ● إلكترون. ● نيوترون متعادل الشحنة.

في واقع الأمر هذا التعبير بالرمز (H_2O) المشار إليه سابقاً ليس وصفاً دقيقاً للماء فهو وإن كان يمثل نموذجاً مقبولاً لجزيئة الماء إلا أنه لا يمثل التركيبة الدقيقة للماء تماماً. فالماء يتكون بنسب متفاوتة من ثلاثة أنواع من الجزيئات يدخل في تركيبها ثلاثة أنواع مختلفة من غاز الهيدروجين (الشكل ٢,٢).

١- الهيدروجين المعتاد الذي تحتوي نواة ذرته على بروتون موجب واحد فقط ويرمز له بالرمز (H).

٢- الديوتريوم تتكون نواة ذرته من بروتون موجب ونيوترون متعادل ويرمز له بالرمز (D).

٣- التريتيوم والذي تتكون نواة ذرته من بروتون موجب بالإضافة إلى نيوترونين متعادلين ويرمز له بالرمز (T).

هذه الأنواع الثلاثة تتشابه في خواصها الكيماوية ولكنها تختلف في أوزانها الذرية فالوزن الذري للهيدروجين العادي = ١ والوزن الذري للديوتريوم = ٢ وللتريتيوم = ٣.

تتحد هذه الأنواع المختلفة من الهيدروجين مع الأكسجين لتكون ثلاثة أنواع من الجزيئات هي الماء المعتاد وأكسيد الديوتريوم وأكسيد التريتيوم ورموزها H_2O , D_2O , T_2O على التوالي.

ويتكون الماء في العادة من هذه الجزيئات الثلاث ولكن الجزيئة السائدة من هذه الجزيئات هي تلك الجزيئات التي يدخل في تركيبها الهيدروجين العادي (H_2O) ولهذا السبب يستخدم هذا الرمز للدلالة على التركيب العام للماء، ويوضح الجدول (٢.١) العديد من النظائر في كل من الأكسجين والهيدروجين بالنسب المختلفة لهذه النظائر.

الجدول (٢.١) نسب نظائر الأكسجين والهيدروجين. (Davis and Dewiest, 1991).

النظائر	نسبة التواجد	نصف العمر المقترض
الهيدروجين		
H^1	٩٩,٩٨٤	ثابت
H^2	٠,٠١٦	ثابت
H^3	نادرة	١٢,٤ سنة
الأكسجين		
O^{14}	غير معروف في الطبيعة	٧٦ ثانية
O^{15}	غير معروف في الطبيعة	٢,١ دقيقة
O^{16}	٩٩,٧٦	ثابت
O^{17}	٠,٠٤	ثابت
O^{18}	٠,٢٠	ثابت
O^{19}	غير معروف في الطبيعة	٢٩ ثانية

يلاحظ أن أهم النظائر في الماء هي H^1 و O^{16} والتي تمثل أكثر من ٩٩٪ من جميع الذرات في الماء النقي.

(٢, ١, ٢) درجة غليان الماء

عند رفع درجة حرارة سائل إلى حد معين فإن هذا السائل يبدأ في الغليان ويتحول إلى بخار. ويعني الغليان أن بعض الفقاعات من البخار قد بدأت تتكون تحت السطح في السائل وعادة ما تحتوي الفقاعات على أعداد كبيرة جداً من جزيئات السائل.

وفي البداية لاتصل هذه الفقاعات إلى سطح السائل حيث تختفي قبل أن تصعد إلى السطح؛ لأن ضغط البخار في الفقاعات أقل من الضغط الجوي الواقع على السطح. وعندما يصل ضغط بخار هذه الفقاعات إلى أعلى قيمة له ويصبح مساوياً للضغط الجوي فإن الفقاعات تبدأ في الخروج من سطح السائل ويقال عندئذ بأن السائل يغلي وعليه فإن درجة الغليان توصف بأنها درجة الحرارة التي يصبح عندها ضغط بخار السائل مساوياً للضغط الجوي. وتختلف درجة غليان السوائل عن بعضها البعض فالماء يغلي عند ١٠٠م° والكحول عند ٧٨.٥م° (إسلام، ١٩٩٩م، الصالحي والفريري، ٢٠٠٤م).

وهناك علاقة بين الضغط البخاري ودرجة الحرارة حيث يزيد الضغط البخاري بزيادة درجة الحرارة ويصل الضغط البخاري للماء ٧٦٠ ملم زئبق أي مساوياً للضغط الجوي عند درجة حرارة ١٠٠م° حيث يغلي الماء (إسلام، ١٩٩٩م).

درجة الحرارة م°	صفر	١٠	٢٠	٥٠	١٠٠
الضغط البخاري ملم زئبق	٤.٦	٩.٢	١٧.٥	٩٢.٥	٧٦٠

ودرجة الغليان تعتمد على الضغط البخاري فعندما يقل الضغط الواقع على سطح السائل تقل درجة غليانه فالماء يغلي على مستوى سطح البحر عند درجة ١٠٠م° حيث الضغط الجوي مساوياً واحد ضغط جوي وإذا ارتفعنا لأعلى بعيداً عن مستوى

سطح البحر فتقل درجة غليان السائل بسبب انخفاض الضغط الجوي حيث تقل إلى ٩٠م عند ارتفاع ٣٠٠٠م.

ولذا يجد سكان المناطق المرتفعة صعوبة في غلي الماء والطهي. ويعود السبب في اعتماد ضغط بخار الماء على درجة الحرارة إلى أن حركة الجزيئات تزداد بازدياد درجة الحرارة حتى تصل إلى حد معين بعدها تبدأ الجزيئات في ترك سطح السائل وتتحول إلى بخار ومن الطبيعي فإن ارتفاع الضغط فوق سطح السائل سيمنع هذه الجزيئات من مغادرة السطح ولهذا يغلي السائل في هذه الحالة في درجة حرارة أعلى من درجة غليانه كما هي الحالة في المواقع الأقل من سطح البحر، أما إذا كان الضغط الواقع على السطح منخفضاً فإن جزيئاته تبدأ في ترك السائل وتتحول إلى بخار في درجة حرارة أقل كما هي الحالة في المرتفعات.

(٣، ١، ٢) تبخر الماء

تزداد الطاقة الحركية للجزيئات كلما ارتفعت درجة الحرارة، ولا تتساوى الطاقة الحركية لكل جزيئات الماء، فبعض الجزيئات تكون عالية الطاقة وتتحرك بسرعة وبعضها منخفضة الطاقة وسرعتها قليلة، فالجزيئات عالية الطاقة تغادر سطح الماء وتتحول إلى بخار أما الجزيئات المنخفضة فلا تستطيع المغادرة وتتغلب عليها قوة الجذب الواقعة عليها بين الجزيئات والجزيئات الأخرى.

ونظراً لأن الجزيئات عالية الطاقة هي التي تغادر السطح وتتحول إلى بخار فإن أغلب الجزيئات الباقية في السائل تكون طاقتها منخفضة ولذلك يؤدي التبخر إلى خفض درجة حرارة السائل ولقد استخدم هذا المبدأ منذ فترة قبل استخدام الكهرباء في التبريد ولا يزال يستخدم في بعض المناطق في تبريد مياه الشرب وذلك بوضع الماء في أوعية فخارية وتركها بالهواء. كذلك يساعد تبخر الماء من الجلد على تبريد جسم الإنسان كما يساعد النتح من النباتات على زيادة رطوبة الجو.

(٢, ١, ٤) درجة تجمد الماء والانصهار

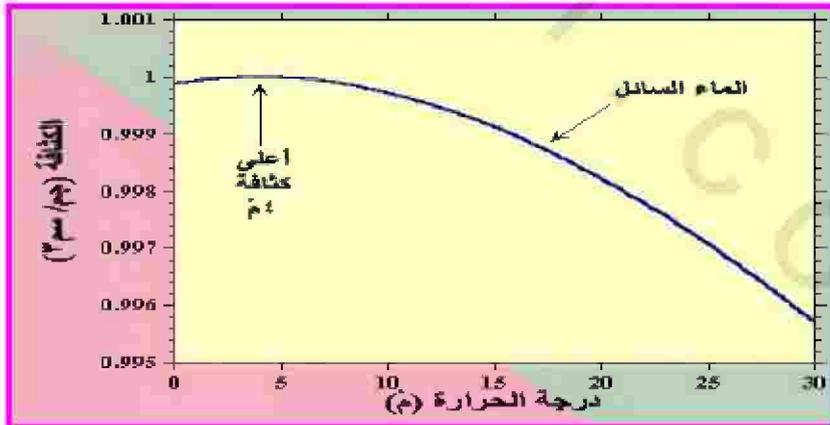
يطلق على درجة الحرارة التي تتحول فيها مادة سائلة إلى مادة صلبة " درجة التجمد" وعلى درجة الحرارة التي تتحول فيها المادة الصلبة إلى سائلة " درجة الانصهار". وتعتبر كل من درجة حرارة التجمد والانصهار شيئاً واحداً بالنسبة للمواد المتبلورة ولكنهما يختلفان قليلاً في بعض الحالات التي تكون فيها المادة الصلبة غير متبلورة كالدهون. ودرجة حرارة التجمد والانصهار للماء صفر وللحديد ١٥٣٥ م° (الشكل ٢.٣).

وتعرف درجة الحرارة اللازمة لتحويل ١ جم واحد من المادة الصلبة إلى سائل دون التغير في درجة الحرارة بالحرارة الكامنة للانصهار وهي للماء تساوي ٧١.٧ سعراً/جم ويعادل ٣٣٣.٢ جول/جم. أما الحرارة اللازمة لتحويل جرام واحد من المادة إلى بخار دون التغير في درجة الحرارة فهي الحرارة الكامنة للتبخير وتساوي ٥٣٩.٥ سعراً للماء. والحرارة النوعية هي كمية السرعات اللازمة لرفع درجة حرارة ١ جم من الماء درجة مئوية واحدة. ولقد وجد أن الماء يلزمه طاقة حرارية تقدر بواحد سعر لرفع درجة حرارة ١ جم من الماء من ١٤.٥ - ١٥.٥ م°.

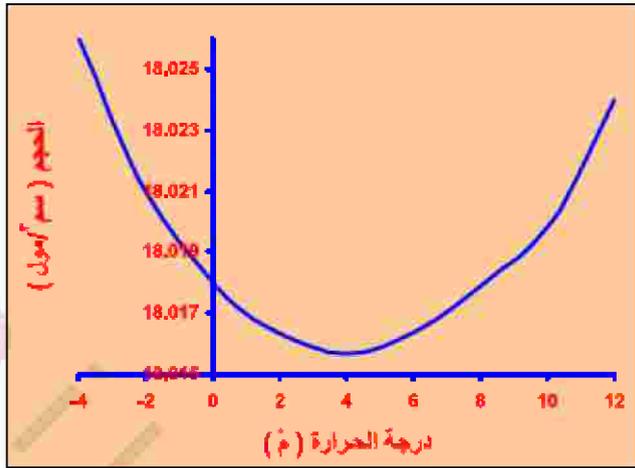
(٢, ١, ٥) الوزن النوعي أو الكثافة

يعبر عن الكثافة بكمية المادة التي تشغل حجماً معيناً ووحداتها عادة جم/سم^٣ أو كجم/م^٣ وتبلغ كثافة الماء ١ جم/سم^٣. والوزن النوعي لمادة ما هو النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء وبالتالي تتساوى كثافة الماء مع وزنها النوعي. وتعتمد كثافة أغلب المواد على درجة الحرارة فرفع درجة الحرارة للمادة يؤدي إلى تمددها فيزيد حجمها وبالتالي تقل الكثافة. وكذلك يؤدي خفض درجة حرارة المادة إلى انكماشها فيقل حجمها وتزداد الكثافة. وتنطبق هذه القاعدة على جميع المواد باستثناء الماء الذي تقل كثافته بانخفاض درجة الحرارة عن ٤ م° (الشكل ٢.٤).

يلاحظ من الشكل (٢،٤) أن كثافة الماء عند درجة حرارة ٤°م تساوي ١ جم/سم^٣. وتنخفض الكثافة بزيادة أو نقص درجة الحرارة عن هذه الدرجة. ويعود سبب انخفاض الكثافة بانخفاض درجة الحرارة عن ٤°م إلى تزايد ارتباط جزيئات الماء على شكل سداسي مما يشكل فراغات مفتوحة بين الجزيئات وبالتالي يشغل الماء حجماً أكبر وتقل كثافته. أما عند ارتفاع درجة الحرارة عن ٤°م فإن جزيئات الماء تكتسب قدرة حركية متزايدة وتقل بسببها الروابط الهيدروجينية فتحتمل الجزيئات فراغاً أكبر وبالتالي تقل كثافة الماء أيضاً. وبالتالي فإنه هناك عاملين متضادين يؤثران على كثافة الماء ودرجات الحرارة وهما مقدار الرابطة الهيدروجينية والمسافة بين الجزيئات وهذه المسافة تعتمد على الطاقة الحركية. فمن درجة ٤°م حتى الصفر يكون أثر الرابطة الهيدروجينية هو السائد حيث تتفكك بعض الروابط الهيدروجينية المسببة للتجمع وتبدأ بعض الجزيئات بالحركة بحرية أكثر فيحدث بينها تقارب مما يؤدي إلى زيادة عدد الجزيئات في وحدة الحجم، أما بزيادة درجة الحرارة عن ٤°م فإن المسافة بين الجزيئات تزداد وتتباعد المسافة بين جزيئات الماء وتقل الروابط الهيدروجينية وتنخفض كثافة الماء نتيجة لذلك.



الشكل (٢،٣). تأثير درجة الحرارة على كثافة الماء .



الشكل (٢،٤). تأثير درجة الحرارة على حجم الماء.

ويتضح بذلك أن حجم الماء يزداد بزيادة تبريد الماء من 4°C إلى الصفر ويعني ذلك أن حجم الماء يكون أكبر حيث حجم 1 م^3 من الماء يصبح $1,08\text{ م}^3$ تقريباً (الشكل ٢،٤). وزيادة حجم الماء قد تؤدي إلى بعض الأضرار في المناطق الباردة مثل انفجار الأنابيب والخنفيات، كما نجد أنه في بعض هذه المناطق يضاف إلى الماء المبرد للسيارة بعض المواد التي تؤدي إلى خفض درجة تجمد الماء.

ونتيجة لهذه الحقيقة المهمة فإن الماء يتجمد على السطح فقط (لأن الماء أقل كثافة عند الصفر المئوي عنه عند درجة حرارة 4°C وإن درجة الحرارة في الطبقات السفلى تقع ما بين 4°C أو أكثر قليلاً ولذلك نلاحظ تواجد حيوانات البحار والمحيطات تعيش تحت الماء في القطبين المتجمد الشمالي والجنوبي.

كذلك تتغير كثافة الماء بتغير الأملاح وأن زيادة الكثافة مع زيادة الأملاح يمكن أن يلاحظ من الجدول (٢،٢) بمقارنته بماء نقي.

الجدول رقم (٢,٢). تأثير تركيز الأملاح على كثافة الماء. (Hillel, 1971).

الكثافة (جم / سم ^٣ م ^٤)	تركيز الأملاح (جم / لتر)
١,٠٠٠٠٠	صفر
١,٠٠٠٨٥	١
١,٠٠١٦٩	٢
١,٠٠٢٥١	٣
١,٠٠٨١٨	٤
١,٠٢٨٢٢	٣٥

(٢,١,٦) اللزوجة

تعرف اللزوجة بأنها الاحتكاك بين جزيئات السائل الذي يسبب مقاومة انسياب وحركة السائل. وتقاس اللزوجة بوحدة البوايز Poise (جم/سم.ث) أو (داين.ث/سم^٢) وتتوقف لزوجة الماء على درجة الحرارة (الجدول ٢,٣).

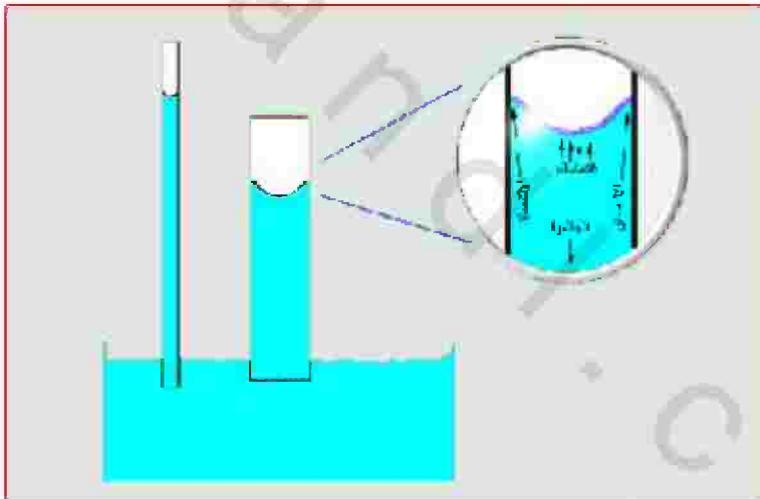
الجدول (٢,٣). تأثير درجة الحرارة على اللزوجة. (Hillel, 1971).

اللزوجة (داين.ث/سم ^٢)	درجة الحرارة (م°)
٠,٠١٧٩٢	صفر
٠,٠١٠٠٥	٢٠
٠,٠٠٥٤٩	٥٠
٠,٠٠٢٨٤	١٠٠

(٢,١,٧) التوتر السطحي

للماء خاصية مهمة تمكن النباتات من امتصاص الماء حيث يرتفع الماء إلى سطح التربة نتيجة التوتر السطحي ومن أهم مظاهر التوتر السطحي الخاصية الشعرية

وهي خاصية تجاذب جزيئات الماء. ويمكن تعريف التوتر السطحي بأنه القوة الواقعة على السطح لكل وحدة مسافة. ويعبر عنه أيضا بأنه الجهد اللازم لتفتيت السطح المشترك بين الجزيئات والسطح. ويقاس التوتر بوحدات داين /سم أو وحدات الأريج. ويعود سبب التوتر السطحي إلى عدم توازن القوى الجاذبة بين الجزيئات حيث تكون القوى السفلية أقوى في جذب جزيئات الماء. وتعتمد الخاصية الشعرية على قوى الالتصاق Cohesion وقوى التماسك Adhesion بين جزيئات الماء وجدران الجسم الصلب. ولتوضيح الخاصية الشعرية نفرض وجود أنبوباً شعرياً مغموساً في حوض فإن الماء يصعد إلى أعلى الأنبوب وتشكل سطحاً منحنياً بين السائل والهواء يعرف بـ سطح الانقصال المنحني Meniscus. (الشكل ٢,٥).



الشكل (٢,٥). تأثير قطر الأنبوب الشعري على ارتفاع الماء .

يلاحظ إنه كلما صغر قطر الأنبوبة الشعرية كلما زاد ارتفاع الماء داخل الأنبوبة بالخاصية الشعرية ويستمر ارتفاع الماء في الأنبوبة حتى يصبح هناك توازن بين

القوى المحركة لأعلى والقوة المحركة لأسفل. ويمكن التعبير عن القوى المحركة للأعلى بالمعادلة:

$$(٢,١) \dots\dots\dots F_{up} = 2\pi r \sigma \cos\theta$$

والقوى المحركة لأسفل تساوي وزن الماء ويعبر عنه بالمعادلة:

$$(٢,٢) \dots\dots\dots F_{down} = \pi r^2 h \rho_w g$$

وفي حالة الاتزان فإن القوتين تتساويان والعلاقة بينها يمكن أن توضح من المعادلات التالية:

$$(٢,٣) \dots\dots\dots 2\pi r \sigma \cos\theta = \pi r^2 h \rho_w g$$

$$2\sigma \cos.\theta = r h \rho_w g$$

$$\therefore h = \frac{2\sigma \cos.\theta}{r \rho_w g}$$

حيث:

h = ارتفاع عمود الماء في الأنبوبة الشعرية بوحدات الطول.

r = نصف قطر المسام أو الأنبوبة الشعرية بوحدات الطول.

σ = التوتر السطحي جم / ث^١.

ρ_w = كثافة الماء جم / سم^٣.

وبفرض أن الزاوية θ تساوي صفر فإن:

$$(٢,٤) \dots\dots\dots h = \frac{2\sigma}{\rho_w g}$$

وعند فرض أن التوتر السطحي ٧٥ جم / ث^١ وكثافة الماء ١ جم / سم^٣

والجاذبية ١٠٠٠ سم / ث^١ فإن قيمة (h) تساوي:

$$(٢,٥).....h = \frac{2 \times 75}{1 \times 1000 \times r} = \frac{150}{1000 \times r} = 0.15/r \text{ cm}$$

كما يمكن أن يعبر عن ارتفاع عمود الماء (h) بالضغط P حيث:

$$P = \rho_w g h \text{ وتصبح المعادلة:}$$

$$(٢,٦).....P = 2\sigma/r$$

(٢,١,٨) درجة الحرارة

إن درجة الحرارة هي إحدى الخصائص الطبيعية التي توضح الكثير من المعلومات عن مصدر الماء وحالته. والتغيير في درجة الحرارة ربما كان لتغيرات موسمية أو يومية أو من جراء التخلص من المياه الساخنة أو نتيجة التخلص من الحمئة والفضلات الصناعية أو من المحطات الحرارية مما ينتج معه تلوث حراري. وأهم مؤثرات ازدياد درجة الحرارة في المياه (أحمد، ١٩٩٥ م) ما يلي:

(أ) زيادة التفاعلات الكيميائية ومعدلاتها، إذ أن زيادة درجة الحرارة تضاعف من معدلات تفاعلات الكائنات الحية الدقيقة لكل 10°C .

(ب) نقصان درجة تركيز الأكسجين الذائب.

(ج) نقصان درجة ذوبانية الغازات.

(د) زيادة حاجة الأكسجين الحيا- كيميائي.

(هـ) زيادة معدلات التآكل والتحات.

(و) زيادة حساسية الكائنات المائية للمواد السمية الذائبة في البيئة المائية. فمثلاً الزيادة في درجة الحرارة ينجم عنها تغيرات في أنواع الأسماك التي تعيش في الأنهار التي تتلقى فضلات ساخنة، كما وأن درجة الحرارة العالية يمكن أن تساعد في نمو النباتات المائية الغير مرغوبة وطفيليات مياه المجاري.

ز) زيادة الطعم والرائحة.

ح) تؤثر على الزمن اللازم للهضم والذي يعتمد على درجة الحرارة التي يعمل عليها جهاز الهضم.

(٢,١,٩) العكارة

العكارة هي مقياس للمواد العالقة التي تؤثر على مسار حزمة ضوء عبر الماء. وعليه فإن العوامل التي تؤثر على انتشار الضوء بدورها على قياس العكارة، ومن أهم هذه العوامل (أحمد، ١٩٩٥ م):

- عدد وحجم وشكل الحبيبات.
- دليل انكسار الحبيبات.
- طول موجة الضوء الساقطة من جهاز قياس العكارة.
- خواص ونوع جهاز القياس.

(٢,١,١٠) الطعم

من المفترض أن لا تحتوي مياه الشرب على طعم للاستساغة بواسطة المستهلك. إن الطعم والرائحة من الخواص التي يصعب قياسها، وجود الطعم ربما كان من جراء الشوائب المذابة والتي غالباً ما تكون من أصل عضوي وجدت طريقها للماء. كما وأن هنالك مواد غير عضوية مؤثرة. ومثال للمواد العضوية الجالبة للطعم الفينول، والفينول المكثور، والزيت، والشحم، والدهن، والمواد الكربونية غير المشبعة. ومثال للمواد الغير عضوية الجالبة للطعم الأملاح الذائبة، والحديد، والمنجنيز، والكلوريدات، والغازات الناتجة من تحلل المواد العضوية مثل كبريتيد الهيدروجين، وتنتج هذه الغازات بفعل الكائنات الحية الدقيقة مثل الطحالب والفطريات والبروتوزوا والبكتيريا (أحمد، ١٩٩٥ م).

(٢,١,١١) الرائحة

دائماً المصدر الجيد للماء خال من الرائحة. ووجود الرائحة في الماء ربما كان

بسبب الآتي :

- (أ) تحلل مركبات النيتروجين والفسفور والكبريت العضوية والغير عضوية.
 (ب) تحلل الطحالب والكائنات الحية الدقيقة.
 (ج) إنتاج مواد مثل الأمونيا والكبريتات والكلور والسيانيد وكبريتيد الهيدروجين.

إن الروائح الكريهة عادة ما تكون لها علاقة مع مياه المجاري التي لبثت مدة طويلة في المجاري ، حيث البيئة اللاهوائية مما يغير معه لون الحمأة إلى الأسود وانبثاق غاز كبريتيد الهيدروجين والكبريتيدات العضوية والأمينات والأمونيا وغيرها.

(٢,١,١٢) اللون

تتكون الألوان في المياه من المصادر الآتية :

- مصادر طبيعية مثل مستخلصات حطام المواد العضوية مثل أوراق الأشجار والخشب وفحم المستنقعات Peat.
- مصادر صناعية مثل فضلات المناجم وصناعة النسيج والورق والأصباغ.
- الحمأة المنزلية.

إن اللون في المياه الطبيعية نتج من العديد من الجزئيات العضوية الكبيرة. والماء المطلق لا لون له. واللون في الماء يتأتى من وجود أيونات معادن طبيعية مثل أكسيد الحديد (اللون الأحمر) وأكسيد المنجنيز (اللون البني أو الأسود) والديبال والأعشاب والفضلات الصناعية مثل صناعة النسيج وأعمال الصباغة وإنتاج الورق والكيمياويات وصناعة الأغذية وأعمال المناجم والتكرير والمسالخ.

(٢,١,١٣) المواد الصلبة

تعرف المواد الصلبة بأنها تلك المواد الكلية المتبقية عند التبخر والتجفيف عند درجة حرارة ١٠٣ - ١٠٥ م°.

وتقسم المواد الصلبة إلى :

(أ) المواد الصلبة الذائبة: وهذه تتكون من الأملاح غير العضوية وبعض التركيزات للمواد العضوية في المياه الصالحة للاستعمال. إن المياه التي تحتوي على كميات عالية من المواد الصلبة الذائبة لها قبول واستساغة أقل ولا ترضي المستهلك نفسياً. أما المياه المحتوية على نسبة عالية من المعادن فهي غير مقبولة للعديد من الصناعات.

(ب) المواد الصلبة العالقة: بالنسبة للمياه تكون هذه المواد إما غير عضوية مثل الطين والغرين والتربة أم تكون عضوية مثل ألياف النبات والمواد الصلبة الحيوية كالطحالب والبكتيريا. وتعرف المواد العالقة بأنها المواد الصلبة التي يمكن فصلها بالترشيح من خلال ورقة ترشيح. والمياه الحاوية على مواد صلبة عالقة غير مرغوبة للاستحمام، كما وأنها تمثل مناطق امتزاز للمواد الكيميائية والحيوية.

(ج) المواد الصلبة الطيارة والثابتة: وهذه المواد تعطي مقياساً لكمية المواد العضوية الموجودة في العينة. يتم هذا الاختبار بحرق المواد العضوية ومن ثم تحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء عند درجة حرارة متحكم بها وتصل إلى ٥٥٠ م° ؛ وذلك بغية منع تحلل وتطاير المواد غير العضوية.

(د) المواد المترسبة: وهذه يقصد بها المواد العالقة والتي يمكن ترسيبها في حالة سكون تحت تأثير قوى الجاذبية الأرضية.

(٢,٢) الخواص الكيميائية للماء

ومن أهم الخواص الكيميائية في مجال المياه ما يلي:

(٢,٢,١) الرقم الهيدروجيني (pH)

هو عبارة عن مقياس طبيعية حمضية أو قلوية المحلول، ويؤثر على مياه الشرب ومياه المجاري. ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+] = \log(1/[\text{H}^+]) \quad \dots\dots\dots (٢,٧)$$

حيث

$\text{pH} =$ الرقم الهيدروجيني.

$[\text{H}^+] =$ درجة تركيز أيون الهيدروجين.

ويمكن الرجوع إلى الجزء العملي لمزيد من التفاصيل وكيفية قياس رقم

الحموضة pH.

(٢,٢,٢) التوصيل الكهربائي (Electrical Conductivity (EC)

يمكن قياس ملوحة المحلول والماء عن طريق التوصيل الكهربائي بإضافة قطبين كهربائيين في الماء حيث يكمل الماء الدورة الكهربائية، فمثلا محلول كلوريد الصوديوم (NaCl) يوصل الدورة الكهربائية نتيجة حركة أيون الصوديوم في الماء إلى القطب السالب بينما يتحول أيون الكلوريد إلى القطب الموجب. ويخضع المحلول لقانون أوم الذي ينص على أن:

$$I = E/R \quad \dots\dots\dots (٢,٨)$$

حيث:

$E =$ فرق الجهد بالفولت

$I =$ التيار الكهربائي أمبير

$R =$ المقاومة الكهربائية أوم

ويعبر عن المقاومة بالمعادلة التالية :

$$R = \alpha d/A \dots\dots\dots (٢, ٩)$$

حيث :

A = مساحة الأقطاب (سم^٢) .

d = المسافة بين الأقطاب (سم).

α = ثابت المقاومة ويعتمد على مادة الموصل (أوم.سم).

ويزيادة الأملاح في الماء فإن قيم المقاومة تنخفض وعليه من الأفضل استخدام معادلة توضح الزيادة في القيمة مع الزيادة في كمية الأملاح الذائبة والتي يطلق عليها التوصيل الكهربائي للخلية وهي عكس المقاومة ووحداتها ملليموز/سم.

$$EC = 1/\alpha (1/ohm.cm) = mho/cm \dots\dots\dots (٢, ١٠)$$

ويعبر بالتالي عن التوصيل الكهربائي (EC) Electrical Conductivity بالمعادلة التالية :

$$EC = d/RA$$

والمسافة بين القطبين في الخلية ليست ١ سم تماماً والمساحة أيضاً ليست ١ سم^٢ ولا يمكن إيجاد خلية بهذه الأبعاد وعليه يجب معايرة وتحديد ثابت كل خلية ويمكن تحديد ثابت كل خلية (K) بالمعادلة التالية :

$$K = A/d \dots\dots\dots (٢, ١١)$$

(٢, ٢, ٢, ١) ضبط الخلية

لضبط ثابت الخلية فإنه يجب توفير محلول معلوم قيم المقاومة R والتوصيل EC حيث يمكن استخدام محاليل مختلفة ومن أفضلها محلول كلوريد البوتاسيوم KCl حيث سرعة تحرك K و Cl متقاربة جداً في المحلول عند درجة حرارة ٢٥ م^٢ مما يقلل الخطأ في القياس (الجدول ٢.٤).

الجدول (٢، ٤). ثوابت التوصيل الكهربى لمحلول كلوريد البوتاسيوم KCl عند ٢٥م. (Richards, 1954).

EC ميكروموز/سم	تركيز محلول KCl مول/لتر
١٤٧,٠	٠,٠٠١
٧١٧,٨	٠,٠٠٥
١٤١٣,٨	٠,٠١
٢٧٦٧,٠	٠,٠٢
٦٦٦٨,٠	٠,٠٥
١٢٩٦٠,٠	٠,١٠

فتصبح معادلة التوصيل الكهربائى

$$K = A/d = EC_s R_s \quad (٢, ١٢)$$

حيث: EC_s التوصيل الكهربى للمحلول القياسى (مليموز/سم)، R_s المقاومة المقاسة للمحلول القياسى (ملى أوم). وبالتالي فإن التوصيل الكهربى لأي محلول مقاس مع قيمة R المقاسة وثابت الخلية K يساوي:

$$EC = K \frac{1}{R} \quad (٢, ١٣)$$

(٢, ٢, ٢, ٢) درجة الحرارة

قدرة التوصيل الكهربى حساسة لدرجات الحرارة نتيجة قدرة الأيونات على الحركة في المحلول عند درجات حرارة ١٥ - ٣٥م فكل زيادة في درجات الحرارة يزيد من التوصيل الكهربى بمقدار ٢٪ وعليه فعند درجة حرارة ١٨م لمحلول ذو توصيل كهربى يساوي $٠,٨٦٢ \times ١٠^{-٣}$ مليموز/سم فيرتفع التوصيل إلى $١,٠ \times ١٠^{-٣}$ مليموز/سم عند ٢٥م.

وتؤثر درجة الحرارة على قيم التوصيل الكهربائى للماء حيث يجب إدخال معامل درجة الحرارة (f_t) بالمعادلة لتعديل قيمة التوصيل الكهربى عند ٢٥م لتصبح:

$$(٢,١٤).....EC_{25} = EC_t \times f_t$$

ويمكن الحصول على الثابت من الجدول (٢,٤) (Richards, 1954) كما يمكن

أن يعبر عن قيم EC_{25} بالمعادلة التجريبية التالية :

$$(٢,١٥).....EC_{25} = EC_T - 0.02 (T - 25) EC_T$$

حيث :

T = درجة الحرارة وقت القياس.

EC_{25} = التوصيل الكهربائي المعدل معبراً عنها بوحدات ملليموز/سم أو ديسيمتز/م عند ٢٥° .

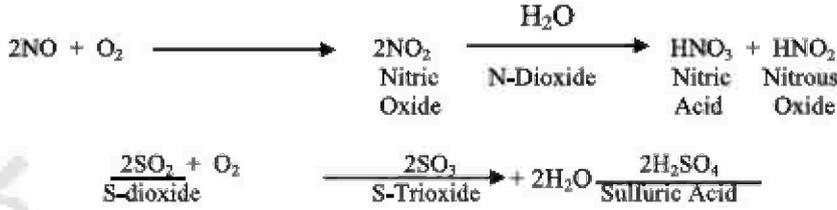
EC_T = التوصيل الكهربائي عند درجة حرارة القياس.

f_t = ثابت التغير في درجة الحرارة عن ٢٥° .

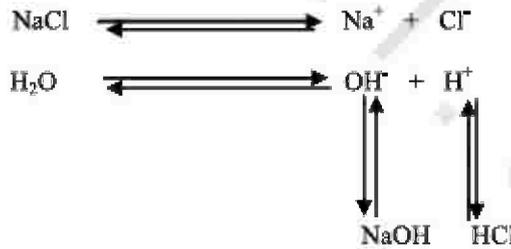
كما يمكن أن يعبر عن الملوحة بمصطلحات أخرى مثل الكمية الكلية الذائبة (TDS) ووحداتها ملليجرام/لتر أو بوحدات الجهد أو الضغط الجوي، ويمكن الرجوع للجزء العملي للمزيد من الإيضاح.

(٢,٢,٣) الماء كملدب

من أهم الخواص الكيماوية للماء هو قدرته على إذابة مختلف المواد غير العضوية والغازات، لاتوجد المياه الطبيعية نقية وخالية من الشوائب. فمياه الأمطار تعمل على إذابة المواد والغازات ومن أهمها غاز الأكسجين وثنائي أكسيد الكربون والنيتروجين بالإضافة إلى أكاسيد النيتروجين والكبريت التي تتفاعل مع مياه الأمطار في بعض المناطق من العالم وتكون الأمطار الحمضية كما هو في التفاعلات التالية :



بصفة عامة يتفوق الماء على غيره من السوائل بقدرته على إذابة كثير من المواد والسبب في هذا التفوق هو الخاصية القطبية التي يتميز بها الماء. ولتوضيح ذلك نفرض أن بلورة من كلوريد الصوديوم وضعت في الماء. من المعروف أن هذه البلورة تتكون من ارتباط أيونات الصوديوم بأيونات الكلوريد السالبة. وإذابة هذه البلورة يستلزم تكسير هذه الروابط وهذا التكسير يحتاج إلى قوة تعادل على الأقل القوة التي يرتبط بها الشقان الحمضي والقاعدي في البلورة، فالماء بحكم خاصية القطبية سوف يجذب الصوديوم بالطرف السالب ويجذب الكلوريد بالطرف الموجب لجزئته الماء بقوة تستطيع أن تفصل الصوديوم عن الكلور كما هو في التفاعلات التالية:



والواقع أن هذه القوة هي عبارة عن حرارة، وإذا كانت إذابة كلوريد الصوديوم في الماء لا ترفع درجة الحرارة فإن ذلك يعزى إلى أن الحرارة الناتجة عن الإذابة تعادل تقريباً الحرارة التي تمتص عند تكسير الروابط التي تربط الصوديوم

بالكلور في البلورة، والمحصلة النهائية هو انفصال هذه الأيونات عن بعضها البعض وذوبانها في الماء، بالإضافة إلى انفصال الأيونات فإن جزيئات الماء تحيط بهذه الأيونات أو تتجمع حولها وتحد أو تعيق من اتحادها مرة أخرى ولهذا يعتبر الماء مديباً جيداً.

(٢, ٢, ٤) المواد المذابة الأخرى

سبق الإشارة إلى أن الماء من المذيبات الجيدة، لذلك فإن معظم المواد الكيميائية تذوب في الماء أكثر من أي سائل في الطبيعة. تعتمد كمية ونوعية المواد الذائبة على الخواص الجيولوجية للمنطقة التي يوجد فيها المسطح المائي. تشكل الكلوريدات والكبريتات والكربونات والنترات والفوسفات من المواد الرئيسة المتواجدة في الماء والتي ترتبط عادة مع عناصر الصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم والكالسيوم. على العموم فإن النيتروجين والفوسفور من المغذيات الأساسية للأحياء المائية لذلك يكون تركيزها منخفضاً في البيئة المائية وذلك لأخذ هذه العناصر بشكل مستمر من قبل النباتات بكميات كبيرة.

ويستفاد من المواد المذابة في معرفة نوع الأيونات ومدى سيادتها في المياه ويعبر عن تراكيز هذه الأيونات بوحدة ملليمكافئ / لتر ومن المفترض نظرياً وحسب أسس التعادل الكهربائي أن تكون مجموع تراكيز الكاتيونات مساوية لمجموع تراكيز الأنيونات. وهذه العلاقة مهمة في كثير من الأحيان لمعرفة دقة تحليل مكونات الماء.

(٢, ٢, ٥) الأكسجين الذائب Dissolved Oxygen (DO)

الأكسجين الذائب في المياه خصوصاً في المياه الجارية مهم للحياة المائية. وهذا المعيار ليس له علاقة مباشرة بالمياه الصالحة للشرب ولكن وجوده في المياه الجارية ضروري جداً للحياة المائية وانخفاضه يدل على أن البكتيريا المحللة للمواد العضوية تستهلك معظم الأكسجين بالماء مما تترك كميات قليلة منه للحياة الأخرى. وهناك

عوامل تؤثر على ذوبانية الأكسجين في الماء وهي درجة الحرارة - الضغط الجزئي للغاز وملوحة الماء، حيث يحتوي الهواء على نسبة ٧٨٪ نيتروجين و ٢١٪ أكسجين وأعلى ضغط للأكسجين على الماء يساوي ٠.٢١ ضغط جوي.

عندما يكون المحلول مشبع بالهواء عند ١ ضغط جوي مع درجة حرارة ٢٥° م فإن كمية الأكسجين المذاب في المحلول تساوي ٨.٣٢ مليجرام / لتر ومن المعلوم بأن كمية الأكسجين التي يجب أن تكون عليها في الماء حتى تعيش الأسماك مثلاً هي ٥ - ٦ مليجرام / لتر (أحمد، ١٩٩٥ م).

مثال (١) للأكسجين الذائب يمكن حساب تركيز الغاز باستخدام المعادلة التالية (أحمد، ١٩٩٥ م)

$$C_g = P_g MW / R_u T \dots\dots\dots (٢, ١٦)$$

حيث:

C_g = درجة تركيز الغاز في حجم الغاز (جم / م^٣).

P_g = الضغط الجزئي للغاز في حجم الغاز (باسكال = نيوتن / م^٢) = $X_g \times K_H$.

MW = عدد مولات الغاز.

K_H = ثابت هنري.

"حيث": X_g = جزء مول الغاز وتساوي

$$X_g = n_g / (n_g + n_w) \dots\dots\dots (٢, ١٧)$$

n_g = عدد مولات الغاز.

n_w = عدد مولات الماء.

R_u = الثابت العالمي للغاز = ٨,٣١٤٣ جول / الكلفن × مول

$T =$ درجة الحرارة المطلقة (كلفن k)

درجة تركيز الغاز عند التشبع (C_s) من المعادلة :

$$C_g = K_D \times C_s$$

حيث :

$C_s =$ درجة تركيز التشبع للغاز (جم / م^٣).

$K_D =$ معامل التوزيع.

ويمكن حساب درجة تركيز الغاز عند تغير الضغط من المعادلة

$$C' = C_s \times (P - P_w) / (760 - P_w) \dots\dots\dots (٢,١٨)$$

حيث :

$C' =$ ذوبانية الغاز عند ضغط P ودرجة الحرارة المعطاة (ملجم / لتر).

$C_s =$ درجة التركيز للغاز عند التشبع (ملجم / لتر).

$P =$ الضغط القياسي (ممم).

$P_w =$ ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الماء. (الجدول ٢,٥)

(أحمد، ١٩٩٥م)

الجدول (٢,٥) درجات الحرارة وضغط بخار الماء.

درجة الحرارة م°	كيلو باسكال	ملم زئبق
صفر	٠,٦١١	٤,٥٨
٥	٠,٨٢٢	٦,٥٤
١٠	١,٢٣	٩,٢١
٢٠	٢,٣٣	١٧,٥

مثال (٢)

أوجد درجة تركيز التشبع لغاز الأوكسجين المذاب في عينة من الماء عند درجة

حرارة ٢٠م وضغط جوي ٧١٠ ملمم زئبق علماً بأن درجة تركيز الأوكسجين ٨,٦

ملجم / لتر.

الحل:

$$T = 20^{\circ}\text{C}$$

$$P = 710 \text{ mm Hg}$$

$$C' = 8.6 \text{ mg/L}$$

$$\text{at } T = 20^{\circ}\text{C} \quad \therefore P_w = 17.5 \text{ mm Hg} = \text{ضغط بخار الماء المشبع}$$

لإيجاد تركيز الغاز عند التشبع فإن المعادلة هي :

$$C' = C_s \times (P - P_w) / (760 - P_w)$$

$$8.6 = C_s \times (710 - 17.5) / (760 - 17.5)$$

$$= C_s \times (692.5 / 742.5) = C_s \times 0.933$$

$$\therefore C_s = 8.6 / 0.933 = 9.22 \text{ mg/L}$$

إن مصدر الأكسجين المذاب في الماء هو الطحالب الخضراء والنباتات المائية

التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي وإنتاج الأكسجين.

الطاقة الضوئية



صبغة الكلوروفيل

تعتمد كمية الأكسجين الناتجة من عملية التمثيل الضوئي على درجة إشعاع

الشمس لذلك نجد أكبر كمية لإنتاج الأكسجين هي أثناء ساعات منتصف النهار ويقل

نشاط عملية التمثيل الضوئي بعد الظهر وفي الليل تتحول هذه العملية إلى تنفس

واستهلاك للأكسجين.

كذلك هناك مصدر آخر للأكسجين حيث يحصل الماء على الأكسجين من

الغلاف الغازي عن طريق الانتشار الغازي Diffusion وذلك عندما يكون تركيز

الأكسجين في الهواء أعلى من تركيزه في الماء

تعتمد كمية الأكسجين المذابة في الماء على عدة عوامل أهمها درجة الحرارة

فكلما ارتفعت درجة حرارة الماء كلما قلت كمية الأكسجين المذاب بالإضافة إلى أن

سرعة استهلاك الأكسجين من قبل الأحياء المائية وكذلك تحلل المواد العضوية يزيد كلما زادت أو ارتفعت درجة الحرارة: وهذا يعني أن المياه في فصل الصيف قد لا تحتوي على كميات كافية من الأكسجين الذائب اللازم لإتمام عملية تحلل المواد العضوية وتنفس الكائنات الحية المائية، لذلك فإنه من الممكن أن يحدث اختناق أو موت لبعض الكائنات الحية المائية.

كذلك تعتمد كمية الأكسجين الذائب في الماء على درجة تركيز غاز الأكسجين في الغلاف الغازي الملاصق لسطح الماء فكلما زاد تركيز غاز الأكسجين كلما زادت عملية الانتشار الغازي باتجاه سطح الماء.

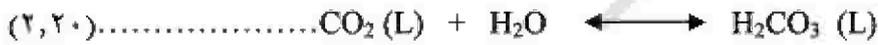
(٢, ٢, ٦) توازن ثاني أكسيد الكربون و الماء CO_2 in H_2O Equilibrium

ذوبانية ثاني أكسيد الكربون في الماء ليست بالأمر السهل حيث تحصل من خلال عدة معادلات حسب التالي (Lindsay, 1979 and Essington, 2004):



حيث ترمز (g) للغاز، (L) للسائل .

ومن ثم يتفاعل الماء وثاني أكسيد الكربون :



وقيم (pK) اللوغاريتم السالب لقيمة ثابت التفاعل لحمض الكربونيك (pK_{a,1})

(1.46 = نتيجة التوازن مع ثاني أكسيد الكربون السائل (CO₂)L)

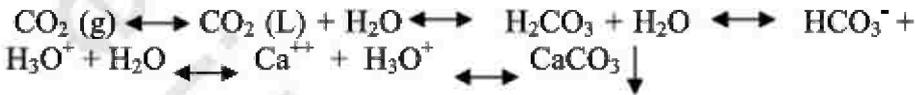


إن الكربونات CO₃²⁻ ومع وجود عناصر كل من الكالسيوم والمغنسيوم في الماء قد تنتج كربونات كالسيوم أو مغنسيوم



حيث S ثابت الذوبانية.

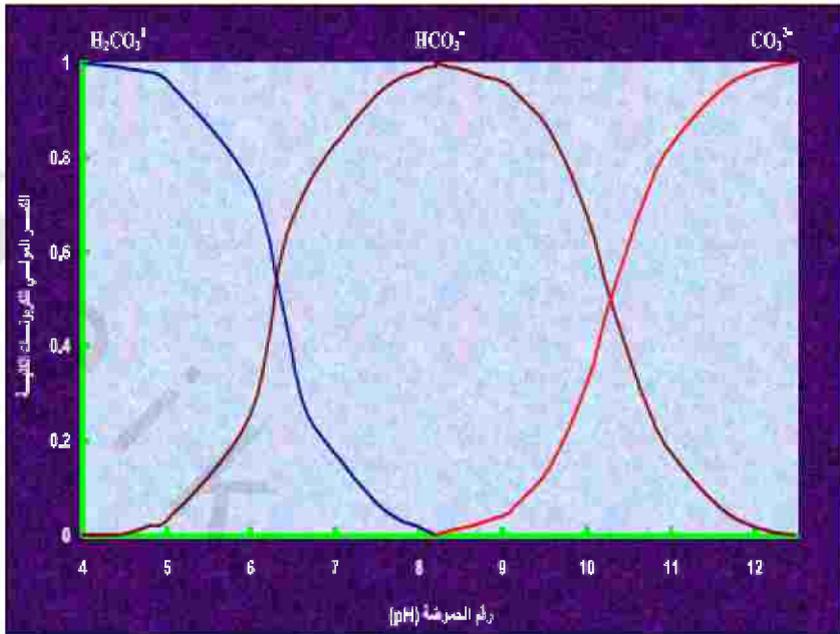
ويختصر ذلك من خلال المعادلة التالية:



نلاحظ أن تحلل حمض الكربونيك سوف يؤثر على قيم تركيز أيون الهيدروجين في الماء، فعندما يكون pH الماء حامضي (pH أقل من ٧) فيكون معظم CO_2 يكون بشكل طليق، وعندما يكون الماء في حالة تعادل أو قريبة منه ($pH > ٧$) فيكون معظم ثاني أكسيد الكربون على هيئة HCO_3^{-} وعند قيم pH المياه العالية (القاعدية) يكون ثاني أكسيد الكربون على هيئة CO_3^{-} . ومن ذلك نلاحظ أن الأيونات السالبة (البكربونات HCO_3^{-}) تزداد في حالة قيم pH القاعدية للماء مما يجعله مقاوم للتغير في قيم تركيز أيون الهيدروجين في الأنهار والبحيرات والبحار..... الخ.

بصفة عامة تتراوح قيم pH لمياه الأنهار، والبحار والمحيطات في حدود ٨,٥ - ٦ وأن أنواع وكميات المواد الذائبة والغازات والأحياء البحرية هي التي تتحكم في قيم pH المياه الطبيعية. معظم الكائنات المائية لا تستطيع الحياة إذا كانت قيم pH المياه بعيدة عن المدى المشار إليه سابقاً.

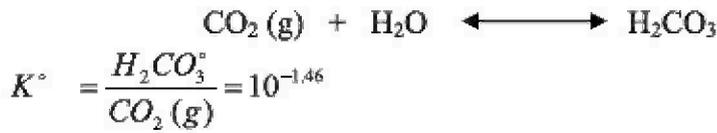
يوضح الشكل (٢,٦) مصادر ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وعلاقتها بقيم تراكيز الهيدروجين (pH).



الشكل (٢،٦). تأثير رقم الحموضة (pH) على توزيع الكربونات المختلفة في المحلول.

(Lindsay, 1979)

يوضح الشكل أن المياه ذات قيم pH أعلى من ٨.٢ يسود فيها أيون الكربونات (CO_3^{2-})، والمياه ذات قيم pH أقل من ٤.٥ يقل محتواها من HCO_3^- ولكن يسود فيها حامض الكربونيك $H_2CO_3^*$ والذي يتحلل إلى $CO_2 + H_2O$ لأنه حامض غير ثابت. والمياه التي قيم pH فيها يتراوح ما بين ٤.٥ - ٨.٢ تسود فيها أيونات البيكربونات HCO_3^- والتقاطعات في المنحنيات عند pH ٦.٣٦ و ١٠.٣٣ تمثل قيم ثوابت الإذابة الأول K1 والثاني K2 لمعادلة إذابة حمض الكربونيك والبيكربونات على التوالي. إن أيونات الهيدروكسيل (OH^-) الناتجة عن تحلل الماء تساهم ولكن بقدر ضئيل جداً. لذلك نعتبر أن مصدر القلوية في المياه هي HCO_3^- ، CO_3^{2-} ويمكن كتابة المعادلات عن ذوبانية ثاني أكسيد الكربون في الماء وثوابت الإذابة من المعادلات التالية:



$$\log K^\circ = -1.46$$

$$\text{Log } \text{H}_2\text{CO}_3 = -1.46 + \text{Log } \text{CO}_2(\text{g})$$



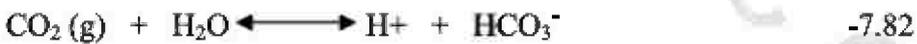
بأخذ اللوغاريتم يكون :

$$-6.36 = -\text{pH} + \text{Log} \frac{(\text{HCO}_3^-)}{(\text{H}_2\text{CO}_3)}$$

$$\text{pH} = 6.36$$

عندما تكون نسبة تركيز HCO_3^- إلى H_2CO_3 الوحدة وهذه النسبة تزداد

عشرة مرات لكل زيادة وحدة من وحدات الـ pH ويجمع المعادلتين (١ - ٢) $\log K^\circ$



$$K^\circ = \frac{(\text{H})(\text{HCO}_3^-)}{(\text{CO}_2(\text{g}))} = 10^{-7.82}$$

بأخذ اللوغاريتم تصبح :

$$-7.82 = -\text{pH} + \text{Log} (\text{HCO}_3^-) - \text{Log } \text{CO}_2$$

وكذلك HCO_3^- تفكك لتعطي:



$$K = \frac{(H)(\text{CO}_3^{=})}{(\text{HCO}_3^-)} = 10^{-10.33}$$

$$\text{Log} \frac{(\text{CO}_3^{=})}{(\text{HCO}_3^-)} = \text{pH} - 10.33$$

عندما يكون $\text{pH} = 10.33$ تكون النسبة بين تركيز الكربونات والبيكربونات الوحدة. ويجمع المعادلتين السابقتين:

$$\text{log } K^{\circ}$$



ياخذ اللوغاريتم تصبح

$$K = \text{Log} \frac{(\text{H}^+)^2 (\text{CO}_3^{=})}{(\text{CO}_2)(\text{g})} = \text{Log} 10^{-18.15}$$

$$-18.15 = -2\text{pH} + \text{Log } \text{CO}_3^{=} - \text{Log } \text{CO}_2(\text{g})$$

$$\text{Log } \text{CO}_3(\text{g}) = -18.15 + 2\text{pH} + \text{Log } \text{CO}_2(\text{g})$$

على تقدير pH من الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة PCO_2 و $^{\circ}\text{C}$

يمكن تقدير قيمة pH باستخدام الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون وتركيز ثاني أكسيد الكربون باستخدام المعادلة التالية :

$$pH = \frac{1}{2} pK_{1,A} + \frac{1}{2} pC_{CO_2} - \frac{1}{2} \log P_{CO_2} \quad (٢,٢٥)$$

السالب P = اللوغاريتم.

C CO₂ = تركيز ثاني أكسيد الكربون.

K_{1,A} = ثابت الإذابة (Lindsay, 1979).

وإذا افترضنا أن قيم pK_{1,A} عند درجة حرارة ٢٥°م تساوي ٦,٣٥ وهي قيمة pH الذي يتساوى فيها كل من H₂CO₃ و HCO₃⁻ أنظر الشكل (٢,٨) ، وعليه فإن المعادلة السابقة يمكن أن تكتب.

$$pH = 3.17 + 0.73 - \frac{1}{2} \log P_{CO_2}$$

$$pH = 3.9 - \frac{1}{2} \log P_{CO_2}$$

$$pH = \frac{7.82 - \log P_{CO_2}}{2}$$

$$pH = 3.96 - \frac{1}{2} \log P_{CO_2}$$

وعند P_{CO₂} تساوي 3.4 × 10⁻⁴ atm فإن pH

$$pH = 3.96 - \frac{1}{2} \log(3.4 \times 10^{-4})$$

$$pH = 3.96 - \frac{1}{2} (-3.52)$$

$$pH = 3.96 + 1.73 = 5.69$$

تقدير P_{CO_2} من pH و درجات الحرارة °C وتركيز البيكربونات HCO_3^-

يمكن تقدير قيمة ضغط ثاني أكسيد الكربون الجزئي PCO_2 من المعادلة :

$$P_{CO_2} = \frac{[H^+ + HCO_3^-]}{K_{1,A} C_{CO_2}} = \frac{[10^{-pH}]^a HCO_3^-}{K_{1,A} C_{CO_2}} \quad (٢,٢٦)$$

(٢,٢,٧) العلاقة بين نظام (ثاني أكسيد الكربون والماء و كربونات الكالسيوم)

($CO_2-H_2O-CaCO_3$) System

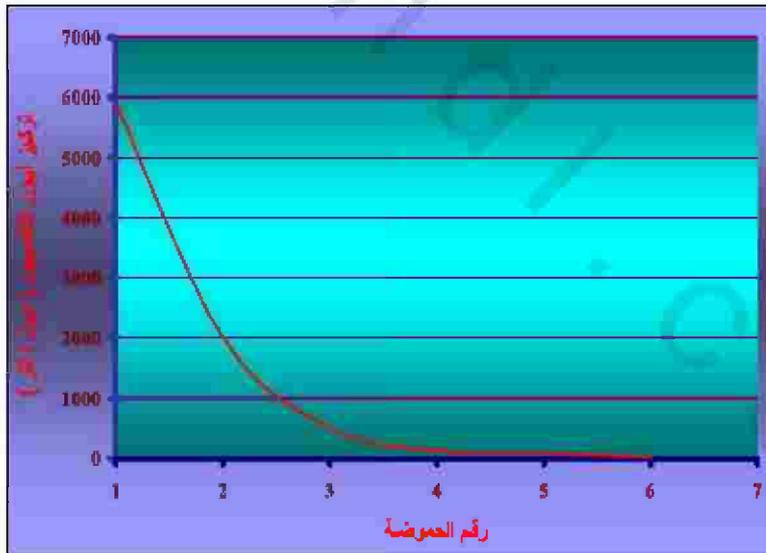
(٢,٢,٧,١) تقدير ذوبانية $CaCO_3$ من P_{CO_2} ودرجة الحرارة

يمكن تقدير الذوبانية من الشكل (٢,٧) باختلاف درجة الحرارة والضغط

الجزئي لثاني أكسيد الكربون. و بزيادة الضغط الجزئي لثاني أكسيد الكربون فإن

الذوبانية تزداد كما يمكن تصحيح ذلك باختلاف درجة الحرارة. ويوضح (الشكل ٢,٧)

العلاقة بين ذوبانية كربونات الكالسيوم و pH.



الشكل (٢,٧). العلاقة بين ذوبانية كربونات الكالسيوم ورقم الحموضة.

(Carrol and Mother, 1992)

Langelier Saturation Index (SI) دليل لانجلير للتشبع (٢,٢,٨)

إن اتجاه الماء لترسيب أو إذابة كربونات الكالسيوم مرهونة بقيمة دليل لانجلير (SI) الذي يعرف بالآتي :

$$(٢,٢٧).....SI = pH_a - pH_c$$

حيث :

pH_a = القيمة المقاسة لقيم pH.

pH_c = القيمة المحسوبة لقيم pH.

عندما تكون قيمة SI صفر فإن الماء متوازن مع كربونات الكالسيوم، وعندما تكون قيمة SI موجبة فإن الماء مشبع بكربونات الكالسيوم، وعندما تكون سالبة فإن الماء غير مشبع ويمكن أن يذوب $CaCO_3$.
ويمكن حساب pH_c من المعادلة :

$$(٢,٢٨).....pH_c = (pK'_2 - pK'_s) + p(Ca + Mg) + pAlk$$

حيث

$p(Ca + Mg)$ = اللوغاريتم السالب لتركيز الكالسيوم والمغنيسيوم مول / لتر.

$pAlk$ = اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية مول / لتر.

ويمكن تقدير هذه القيم من الجدول (٢,٦).

.(Ayers and Westcot, 1985)

الجدول (٢,٦). حساب قيم pHc.

p(Alk)	p(Ca + Mg)	$pK_2 - pK_1$	مجموع التراكيز مليمكافئ/لتر
٤,٣٠	٤,٦٠	٢,٠٠	٠,٠٥
٤,٠٠	٤,٣٠	٢,٠٠	٠,١٠
٣,٦٠	٤,١٠	٢,٠٠	٠,١٥
٣,٧٠	٤,٠٠	٢,٠٠	٠,٢٠
٣,٦٠	٣,٩٠	٢,٠٠	٠,٢٥
٣,٥٠	٣,٨٠	٢,٠٠	٠,٣٠
٣,٤٠	٣,٧٠	٢,٠٠	٠,٤٠
٣,٣٠	٣,٦٠	٢,١٠	٠,٥٠
٣,١٠	٣,٤٠	٢,١٠	٠,٧٥
٣,٠٠	٣,٣٠	٢,١٠	١,٠٠
٢,٩٠	٣,٢٠	٢,١٠	١,٢٥
٢,٨٠	٣,١٠	٢,١٠	١,٥٠
٢,٧٠	٣,٠٠	٢,٢٠	٢,٠٠
٢,٦٠	٢,٩٠	٢,٢٠	٢,٥٠
٢,٥٠	٢,٨٠	٢,٢٠	٣,٠٠
٢,٤٠	٢,٧٠	٢,٢٠	٤,٠٠
٢,٣٠	٢,٦٠	٢,٢٠	٥,٠٠
٢,٢٠	٢,٥٠	٢,٢٠	٦,٠٠
٢,١٠	٢,٤٠	٢,٣٠	٨,٠٠
٢,٠٠	٢,٣٠	٢,٣٠	١٠,٠٠
١,٩٠	٢,٢٠	٢,٣٠	١٢,٥٠
١,٨٠	٢,١٠	٢,٣٠	١٥,٠٠
١,٧٠	٢,٠٠	٢,٤٠	٢٠,٠٠
١,٥٠	١,٨٠	٢,٤٠	٣٠,٠٠
١,٣٠	١,٦٠	٢,٥٠	٥٠,٠٠
١,١٠	١,٤٠	٢,٥٠	٨٠,٠٠

مثال (١)

البيانات التالية لمياه نهر

$$^{\circ}\text{C} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{pH} = 7.7$$

$$\text{TDS} = 200 \text{ mg/L}$$

$$\text{HCO}_3' = 83 \text{ mg/L}$$

$$\text{Ca} = 14 \text{ mg/L}$$

$$\text{pK}' - \text{pK}'_s = 2.25$$

$${}^m\text{Ca} = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg}^{\text{Ca}}/\text{mM}} = \frac{14}{40} = 0.35 \text{ mM/L}$$

$$\text{pCa} = -\log(0.35 \times 10^{-3}) = 3.46$$

$$\text{pHCO}_3 = {}^m\text{HCO}_3 = \frac{\text{mg/L}}{\text{mg HCO}_3/\text{mM}} = \frac{83}{61} = 1.36 \text{ mM/L}$$

$$\text{pAlk} = -\log(1.36 \times 10^{-3}) = 2.87$$

$$\text{pH}_c = 2.25 + 3.46 + 2.87 = 8.58$$

$$\text{S.I.} = 7.70 - 8.58 = -0.88$$

وهذا يعني أن مياه النهر لها قابلية للذوبانية أكثر CaCO_3 .

مثال (٢)

س١: أحسب قيم pH في الماء المقطر والمتوازن مع الهواء عندما يحتوي:

(أ) الهواء على CO_2 عند 0.0003 atm.

(ب) عندما يحتوي الهواء على CO_2 1.0 atm.

الحل

عند تركيز 0.0003 atm

$$\text{pH} = \frac{7.82 - \log(P_{\text{CO}_2})}{2}$$

$$= \frac{7.82 - \log(.0003)}{2} = \frac{7.82 - (-3.52)}{2} = 5.67$$

وعند 1 atom

$$pH = \frac{7.82 - \log(1)}{2}$$

$$= \frac{7.82 - (0)}{2} = 3.91$$

أيضاً يمكن أن تكون

$$pH = 3.9 - \frac{1}{2} \log(P_{CO_2})$$

$$pH = 3.9 - \frac{1}{2} (-3.52)$$

$$pH = 3.9 + 1.76 = 5.66$$

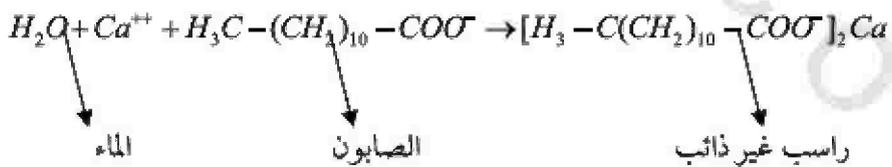
وفي الحالة الثانية فإن :

$$pH = 3.9 - \frac{1}{2} \log(1) = 3.9 - 0 = 3.9$$

(٢, ٢, ٩) عسر الماء

يعرف عسر الماء بعدم قابلية الماء لتكوين رغوة مع الصابون. وعسر الماء تسببه أيونات العناصر الموجبة ثنائية التكافؤ، (Ca^{++} , Mg^{++} وبدرجة أقل Fe^{++} , Mn^{++} , Sr^{++} , Ba^{++}). وتكون هذه العناصر مرتبطة بكل من (CO_3^{--} , HCO_3^- , OH^- , PO_4^{--}) والتي تمثل القلوية وهي مفتاح عسر الماء.

(٢, ٢, ١٠) معادلة حدوث العسر



وتقع المشكلة في المنازل باستخدام هذه النوعية من الماء في السخانات أو الغلايات حيث يترسب كل من $MgCO_3$ أو $CaCO_3$ داخل الغلايات والسخانات مما

يقلل من فعالية السخانات ويزيد من استهلاك الكهرباء. كما يمكن ملاحظتها في غليان الماء المستخدم للشاي.

ويمكن قياس عسر الماء بمعرفة مجموع الكالسيوم والمغنيسيوم باستخدام طرق المعايرة في المحمل (EDTA) حيث يتم تقدير Ca, Mg وبعدها يقدر Ca^{++} (Eaton et al., 2005).

ويمكن تقسيم عسر الماء إلى :

• **عسر مؤقت:** ويحتوي على صورة بيكربونات الكالسيوم والمغنيسيوم ويمكن إزالته بتسخين الماء حيث تترسب البيكربونات على صورة كربونات.



• **عسر دائم:** ويحتوي على كبريتات وكلوريد كل من الكالسيوم والمغنيسيوم.

عند تساوي العسر الكلي مع مجموع الكربونات والبيكربونات يسمى العسر الكربوني وعند زيادة العسر الكلي عن القلوية تسمى الزيادة العسر الغير كربوني. وعندما يتساويا أو يكون العسر الكلي أقل من القلوية الكلية، فإن كل العسر هو عسر الكربونات، ويتعدم حينها العسر الغير كربوني. ويمكن إيجاد عسر الماء من المعادلة.

$$\text{العسر الكامل} = \{((24/100) \times Mg^{++}) + ((40/100) \times Ca^{++})\} \dots (2,29)$$

حيث:

العسر = مليجرام كربونات الكالسيوم / لتر.

Ca^{++} = درجة تركيز أيون الكالسيوم مقاس بالمليجرام / لتر.

Mg^{++} = درجة أيون المغنيسيوم مقاس بالمليجرام / لتر.

يمكن إجمال الآثار الضارة لعسر الماء في الآتي (أحمد ، ١٩٩٥م) :

- فقدان اقتصادي لمستهلكي المياه لزيادة استهلاك الصابون.
- تكون رواسب في أجهزة توصيلات المياه والغلايات والمراجل والمعدات المنزلية وأحواض الطبخ وغسالات الصحون وأحواض غسيل الأيدي ومحطات توليد الكهرباء الحرارية.
- يتسبب في صبغ الملابس والصحون وغيرها من الأوعية والمعدات المنزلية.
- يمكن أن تمتك بقايا مترسبات العسر والصابون في فتحات الأحواض مما يكسبها الملمس الخشن غير المرغوب فيه.
- يسبب العسر إصابات معوية وجلدية في بعض الحالات.

أما مميزات عسر الماء فتمثل بالآتي :

- يساعد في نمو وتكلس الأسنان والعظام.
- يقلل من سمية أكسيد الرصاص (المواسير المصنوعة من الرصاص) وذلك بترسيب كربونات الرصاص (ظاهرة ذوبانية السباكة).
- الماء اليسر يشبه في أن له علاقة بأمراض القلب والشرايين.
- قتل الجراثيم نسبة لارتفاع الرقم الهيدروجيني الناتج من عملية إزالة عسر الماء.

- إزالة الحديد.
- شبه الإزالة للمركبات العضوية.
- انخفاض درجة تركيز العناصر السامة مثل الزئبق والرصاص والخاصين.

مثال (٣)

عند تحليل عينة من الماء تم الحصول عليها من منطقة العمارة بالرياض
وكانت النتائج مقاسه بالمليجرام / لتر (مختبر تحليل التربة والمياه - قسم علوم التربة).

Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Sr ⁺⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻	N-NO ₃	القلوية
206.8	8.97	207.6	55.2	26.3	497	mill	307.2	21	223.87

المطلوب :

- (أ) حول التراكيز المعطاة إلى ملليمكافئ / لتر.
 (ب) إذا قبل الخطأ تجرية في حدود ١٠٪ هل يمكن معه اعتماد النتائج أعلاه؟
 (ج) أوجد قيمة العسر الكلي والعسر الكربوني والغير كربوني للعينة.
 (د) بين الاتحادات الكيميائية المحتملة للأيونات الموجبة والسالبة لهذه العينة.

الحل

$$(أ) \text{ لإيجاد التركيز بالمليمكافئ / لتر} = \frac{\text{التركيز بالمليجرام / لتر}}{\text{الوزن المكافئ}}$$

المكونات	الوزن المكافئ	التركيز ملجم/لتر	ملليمكافئ/ لتر
الأيونات الموجبة (الكاتيونات)			
Ca ⁺⁺	٢٠	٢٠٧,٦	١٠,٣٨
Mg ⁺⁺	١٢	٥٥,٢	٤,٦٠
Sr ⁺⁺	٤٣,٨١	٢٦,٣	٠,٦٠
Na ⁺	٢٣	٢٠٦,٨	٨,٩٩
K ⁺	٣٩	٨,٩٧	٠,٢٣
الأيونات السالبة (الأنيونات)			
HCO ₃ ⁻	٦١	٢٢٣,٨٧	٣,٦٧
SO ₄ ⁻	٤٨	٣٠٧,٢	٦,٤٠
Cl ⁻	٣٥,٥	٤٩٧	١٤,٠٠
N - NO ₃	١٤	٢١,٠٠	١,٥

ب) حساب نسبة الخطأ التجريبي

$$\text{الخطأ التجريبي} = \frac{\text{مجموع الأيونات} - \text{مجموع الكاتيونات}}{\text{مجموع الكاتيونات}} \times 100$$

$$\text{الخطأ التجريبي} = \frac{24.80 - 25.57}{24.80} \times 100 = 3.1\%$$

$$\text{ج) العسر الكلي} = ((24/100) \times 55.2) + (40/100) \times 207.6 + ((87.62/100) \times 26.2)$$

$$= 30 + 230 + 519 = 779 \text{ ملجم } CaCO_3 / \text{ لتر}$$

$$\text{أو العسر الكلي} = 50 \times (0.6 + 4.6 + 10.38) = 779 \text{ ملجم } CaCO_3 / \text{ لتر}$$

$$\text{العسر الكربوني} = 50 \times 3.67 = 183.5 \text{ ملجم } CaCO_3 / \text{ لتر}$$

$$\text{العسر الغير كربوني} = 183.5 - 779 = 595.5 \text{ ملجم } CaCO_3 / \text{ لتر}$$

د) الاتحادات الكيميائية المحتمل وجودها:

HCO ₃ ⁻ 3.67	SO ₄ ⁻² 6.4	Cl ⁻ 14.0			NO ₃ ⁻ 1.5
Ca ²⁺ 10.38		Mg ²⁺ 4.6	Sr ²⁺ 0.6	Na ⁺ 8.99	K ⁺ 0.23

يحتمل أن تحتوي عينة الماء على:

بيكربونات الكالسيوم، كبريتات الكالسيوم، كلوريد الكالسيوم، كلوريد المغنسيوم، كلوريد الأسترنشيوم، كلوريد الصوديوم ونترات البوتاسيوم.

(٢,٣) الخواص الحيوية والبكتريولوجية للماء

Biological & Bacteriological Characteristics

تنقسم الكائنات الحية إلى ثلاثة ممالك تضم مملكة النبات Plantae ومملكة الحيوان Animalia ومملكة الكائنات الحية الدقيقة Protista. وهذه الأخيرة تضم وحيدة الخلية والخلايا البسيطة ومتعددة الخلايا. ويلعب علم الميكروبيولوجي دوراً أساسياً في التقنيات الحديثة ومعالجة التلوث والتغذية وغيرها كما يلي: (أحمد، ١٩٩٥م)

- صناعة الطعام مثل تخمير العجين لعمل الخبز بواسطة خميرة الخباز *Saccharomyces cerevisiae* وتخضير الخل بمساعدة بكتريا حمض الخليك، وصناعة الجبن والزبد بمساعدة بكتيريا الحمض اللبني والعصيات اللبنية (عصيات اللاكتوز) *Lactobacilli*.

- الصناعات الكيميائية كما في صناعة الأسيتون واليتانول بواسطة المطثية اسيتوبوتيليكوم *Clostridium acetobutylicum* وصناعة بعض الأحماض العضوية كحمض الليمون Citric acid والحمض الجلوكوني Gluconic acid التي تنتج بواسطة فطر الأسبرجلس نيجر *Aspergillus niger*، وإنتاج بعض الإنزيمات مثل إنتاج إنزيم ستروتوكيناز Streptokinase بواسطة العقديّة المحللة للدم *Streptococcus hemolyticus* وإنزيم انفيرتيز Invertas والذي تنتجه الفطريات مثل خميرة الخباز *Saccharomyces cerevisiae*.

- معالجة الأمراض المعدية وغيرها من تلك التي تصيب الإنسان والحيوان والنبات، مثل المعالجة بالمواد الكيميائية كالهرمونات والمضادات الحيوية. وأيضاً إنتاج البنسلين بواسطة أنواع البنسليوم *Penicillium spp.* وتخضير الأستربتوميسين Streptomycin بواسطة الأستربتوميسين ابروفاسينس والأستربتوميسين ريموزس *S. aureofaciens, S. rimosus*.

- معالجة الفضلات وتنقية المياه بالطرق الحيوية.
 - إنتاج مواد التغذية المساعدة كغذاء للطيور والحيوانات.
 - المدخلات الزراعية لتثبيت النيتروجين في التربة والجذور والمكافحة الحيوية في الحشرات والحشائش وغيرها.
 - معالجة الفضلات والمخلفات وإنتاج الأسمدة والوقود وغاز الميثان والغذاء والعلف.
 - التنقية الذاتية للأنهار ومجري المياه السطحية التي استقبلت مياه المجاري أو الفضلات الصناعية السائلة الملوثة.
- تجري التجارب والقياسات البكتريولوجية للماء لتحديد أفضل المعايير لسلامة وصلاحية المياه. وهناك أنواع من الكائنات الحية الدقيقة يعزى إليها الطعم البغيض في الماء والروائح الكريهة، وأنواع أخرى تساعد في تآكل الخرسانة والمعادن المصنع منها المنشآت، كما ويؤدي تكاثر الكائنات الدقيقة إلى تغير في نوعية الماء وتلوث البيئة المائية. وتوجد أنواع أخرى تسبب الأمراض. وعليه لابد من تحديد نوع وكمية الميكروبات في الماء للتمكن من إزالتها والقضاء عليها. غير أن هنالك أسباب عملية يصعب معها عمل التحاليل المتكاملة لتحديد وجود كل كائن على حدة. ولذا فقد اصطلح عالياً على تحديد استخدام مؤشر، عند وجوده يزيد احتمال وجود كائنات دقيقة أخرى ضارة. وهذا الكائن المؤشر من عائلة بكتيريا القولون *Escherichia coli*. وإذا ظهر في الاختبار الحيوي وجود هذه البكتيريا فغالباً ما تكون هذه المياه ملوثة بالفضلات البشرية مما يستدعي تنقية الماء قبل شربه. وقد تستدعي الضرورة أحياناً إجراء تحاليل أخرى لنوع معين من البكتيريا أو الفيروسات أو غيرها من مسببات الأمراض. ويمكن تقسيم الأمراض ذات الصلة بالمياه إلى الآتي: (أحمد، ١٩٩٥م)

(أ) الأمراض المحمولة بالمياه Water-borne diseases : وهذه الأمراض ناجمة من وجود جرثومة المرض بالماء. ومعظم هذه الجراثيم تصل إلى الماء نتيجة التلوث بالفضلات البشرية والحيوانية بطرق مباشرة أو غير مباشرة. أمثلة هذه الأمراض: الكوليرا وحمى التيفود والدوسنتاريا الباسيلية (الزحار الباسيلي) والتهاب الكبد المعدي (اليرقان) وإصابات الإسهال.

(ب) الأمراض الناجمة عن عدم الغسل بالماء أو عدم وجوده Water-washed disease : وهذه الأمراض نتيجة لعدم الاستخدام الأمثل للماء أو لقلّة استعماله للصحة العامة والنظافة الشخصية. وأمثلة هذا النوع من الأمراض: التهابات الجلد والعيون (التراكوما والرمم الصددي) والدوسنتاريا الأميبية والباراتيفود والإنكلستوما.

(ج) الأمراض المتمركزة في الماء Water-based diseases : جزء من حياة الميكروب ونقل المرض يأخذ مجراه في حيوان مائي لحين ملامسته جلد الإنسان أو ولوجه من خلال العين والأنف والأذن وفتحات المخارج. مثال لهذه الأمراض: البلهارسيا والدودة الشريطية.

(د) الأمراض وثيقة الصلة بالماء Water-related diseases : وهذه الأمراض تعتمد في وسائل انتشارها على حيوانات أو حشرات أو غيرها من ناقلات المرض التي تعيش في الماء أو بالقرب منه. ويقوم ناقل المرض بعمس أو مص دم الضحية، كما تقوم القواقع بلفظ يرقات تسبح بحرية في الماء، ثم تخترق الجلد عند الملامسة أو بالطرق المباشرة. ومن أهم هذه الأمراض: الحمى الصفراء التي تنقلها بعوضة أيدس إيجبتي ومرض الفلاريا والملاريا اللذان ينقلهما البعوض وعمى الجور الذي تنقله ذبابة السيموليم ومرض النوم الذي تنقله ذبابة التسي تسي.

(٢,٣,١) تعريف الاحتياج الكيميائي الحيوي للأوكسجين

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

BOD لعينة ماء هي مقياس لتركيز المواد العضوية القابلة للتحلل في الماء. فتحلل المواد العضوية يتطلب وجود الأوكسجين في عملية التحلل وعند زيادة هذه المواد في المياه فإن البكتيريا المحللة تستهلك كميات عالية من الأوكسجين في الماء مما يترك القليل منه إلى الأسماك والأحياء المائية الأخرى (Lamb, 1985).



(٢,٣,٢) تعريف الاحتياج الكيميائي للأوكسجين

(COD) Chemical Oxygen Demand

COD لعينة ماء هو مقياس لتركيز المواد العضوية في الماء مثل بقايا الحيوانات وغيرها. كثير من المواد العضوية يتحلل بسهولة بالأوكسجين في الماء والذي يستهلك كل الأوكسجين في الماء. إن وجود تركيزات مرتفعة من المواد العضوية في المياه الجارية يقلل من الأوكسجين الذائب نتيجة استخدام الأوكسجين في تحويل المواد العضوية إلى $CO_2 + H_2O$.

(٢,٣,٣) تعريف الاحتياج للأوكسجين **Oxygen Demand (OD)**

المتطلب للأوكسجين يقصد به كمية الأوكسجين المطلوبة لأكسدة المواد العضوية. واحتياجات الأوكسجين يمكن أن يحسب من :

(٢,٣,٤) الاحتياج الحيوي للأوكسجين كمقياس لدرجة التلوث

Biological Oxygen Demand

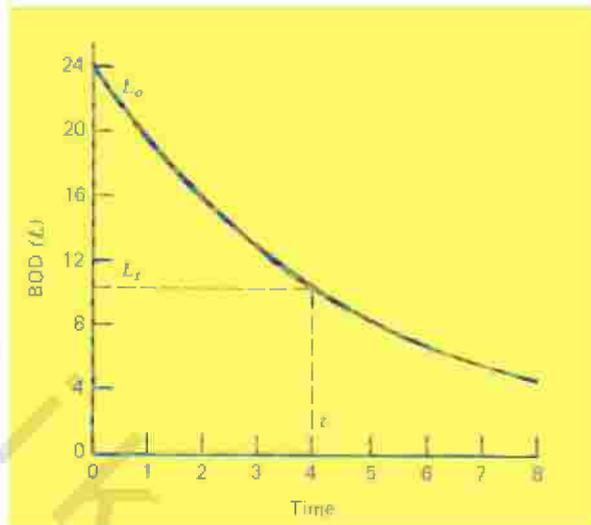
وهو مقياس لدرجة التلوث بالمواد العضوية الموجودة في الماء.

(٢,٣,٥) الاحتياج الكيميائي للأوكسجين كمقياس لدرجة التلوث

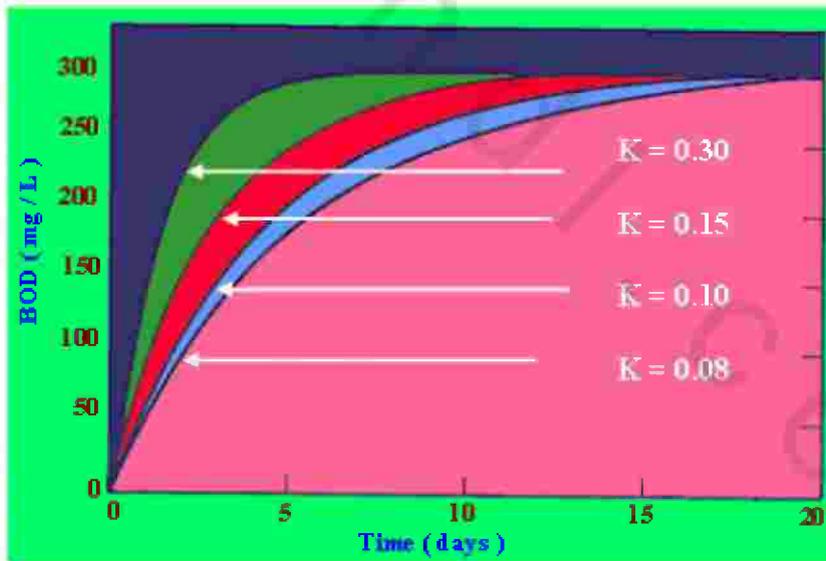
وهي أكسدة كيميائية لعينة ما باستخدام حمض الكبريتيك H_2SO_4 وثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$.

BOD وهو المعيار لقياس كمية الأوكسجين المستهلك بواسطة الكائنات الحية

الدقيقة عند أكسدتها الهوائية للمواد العضوية (الشكلان ٢.٨ ، ٢.٩).



الشكل (٢،٨). يوضح العلاقة بين الزمن والاحتياج الحيوي للأكسجين على صورة معادلة تفاعل من الدرجة الأولى. المصدر (Lamb, 1985).



الشكل (٢،٩). تأثير قيمة ثابت التفاعل (K) على الاحتياج الحيوي للأكسجين خلال فترة ٢٠ يوم. المصدر (Lamb, 1985).

إن معدل الأكسدة يتناسب طردياً مع درجة تركيز المواد العضوية المتبقية والقابلة للتحلل عند وجود النوع الأمثل من الكائنات الحية الدقيقة المطلوبة لإتمام الأكسدة ويمكن تمثيل هذا التفاعل (أحمد ، ١٩٩٥ م).

$$(٢,٣١) \dots\dots\dots dL / dt = -k_1 L$$

حيث

L = تركيز المواد العضوية المتبقية في العينة عند زمن (t) ملجم / لتر.

t = الزمن يوم.

k_1 = ثابت التفاعل .

ويتكامل المعادلة بين الزمن صفر و (t) .

$$(٢,٣٢) \dots\dots\dots L_t = L_o e^{-K_1 t}$$

أو

$$L_t = L_o 10^{-K_1 t}$$

حيث

L_t = المتطلب الحيوي للأكسجين المتبقي في العينة عند زمن t .

L_o = المتطلب الحيوي للأكسجين المتبقي في العينة عند زمن صفر.

K_1 = ثابت تفاعله الدرجة الأولى = ثابت مول التفاعل.

$$K_1 = 0.4343 \times K_T$$

وعادة ضمن الأهمية معرفة كمية الأكسجين المأخوذة والتي تعادل القيمة الموضحة في المعادلة كالآتي :

$$(٢,٣٣) \dots\dots\dots BOD_t = L_o - L_t = L_o (1 - 10^{-K_1 t})$$

المتطلب الحيوي للأكسجين في مدة خمسة أيام

$$(٢,٣٤) \dots\dots\dots BOD_5 = L_o (1 - 10^{-5K_1}) = L_o (1 - 10^{-5k_1})$$

مثال (١)

احسب المتطلب الحيوي للأكسجين للمادة العضوية لعينة وجد أن حاجة الأكسجين الحيوكيميائي لها بعد مضي ٥ أيام بلغت ٣٠٠ ملجم / لتر عند درجة حرارة ٢٠°م علماً بأن ثابت معدل التفاعل ٠.١٥ على اليوم (للأساس ١٠).
الحل

$$1- \quad t = 5 \text{ days}$$

$$K_1 = 0.15/ \text{day}$$

$$BOD_5^{20} = 300 \text{ mg/ L.}$$

$$2- \quad BOD_5^{20} = L_0 (1 - 10^{-5K_1})$$

$$BOD_5^{20} = L_0 (1 - 10^{-5 \times 0.15})$$

$$300 = L_0 (.822)$$

$$\therefore L_0 = 365 \text{ mg/ L.}$$

مثال (٢)

أوجد قيمة المتطلب الحيوي للأكسجين (BOD_5) عند درجة ٢٥°م علماً بأن قيمة المتطلب الحيوي للأكسجين في فترة حضانة ٥ أيام وعند درجة حرارة ٢٠°م تعادل ٢٠٠ ملجم / لتر وأن قيمة الثابت للتفاعل K عند الأساس (e) يساوي ٠.٢ / اليوم. وكذلك أوجد قيمة المتطلب الحيوي للأكسجين بعد فترة حضانة ثلاثة أيام عند درجة ٢٠°م.

الحل معادلة تأثير درجة الحرارة

$$1٠ \quad K_{TC} = K_1(20^\circ\text{C}) \times 1.047^{(T-20)}$$

$$1٠ \quad K_1 = 0.434 \times K' = 0.434 \times .2 = 0.0868/ \text{day}$$

$$\therefore BOD_3^{20} = L_0 (1 - 10^{-K_1 \times t})$$

$$200 = L_0 (1 - 10^{-0.0868 \times 5})$$

$$= L_0(1-0.368)$$

$$200 = L_0(0.632)$$

$$\therefore L_0 = 316 \text{ mg/L.}$$

$$(T-20)$$

$$K_{T^{\circ}}(25) = K_1(20^{\circ}\text{C} \times 1.04)$$

$$= .868 \times 1.04^{7(5)}$$

$$= .868 \times 1.2581$$

$$= 0.1092$$

$$\therefore BOD_5^{25} = L_0(1.10^{-K_1 \times t})$$

$$= 316 (1-10^{-0.1092 \times 5})$$

$$= 316 (1-.284)$$

$$= 316 \times 0.715 = 226 \text{ mg/L.}$$

$$BOD_5^{25} = L_0(1.10^{-K_1 \times t})$$

$$= 316 (1-10^{-0.0668 \times 3})$$

$$= 316 (1-.549)$$

$$= 143 \text{ mg/L.}$$

(٢, ٤) أسئلة

س ١: إذا كانت قيم التوصيل الكهربائي لمستخلص تربة EC تساوي ٢.٤ ملليموز/سم عند درجة ٢٥م، فإذا كان معامل الخلية ٠.٩ فما هي قيمة المقاومة بالأوم.

س ٢: إن معرفة خصائص المياه هامة جداً لعديد من الاسباب اذكرها؟

س ٣: أرسم العلاقة بين تركيز CO_2 وتركيز pH.

س ٤: أحسب قيمة pH في الماء المقطر والمتوازن مع الماء عندما

(أ) يحتوي الهواء على (CO_2) 0.0003 atm

(ب) يحتوي الهواء على (CO_2) 1.0 atm

س ٥: افترض ان محلولاً ملحيّاً قيست مقاومته الكهربائية فكانت ٤٨٠ اوم عند

درجة حرارة ٢٠ درجة مئوية وكان تركيز الاملاح عند درجة ٢٥م ١.٥٥

مليموز/سم فاذا كان ثابت التغير في درجة الحرارة ١,١١٢ فاحسب ثابت الخلية.

س٦: البيانات التالية لمياه بها:

$$\begin{aligned} ^\circ\text{C} &= 20 \\ \text{pH} &= 7.7 \\ \text{TDS} &= 200 \text{ mg / L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- &= 83 \text{ mg / L} \\ \text{Ca}^{++} &= 14 \text{ mg / L} \\ \text{pK}_2 - \text{pK}_1 &= 2.25 \end{aligned}$$

الوزن الذري لبعض الأيونات

$$\begin{aligned} \text{Ca}^{++} &= 40 \\ \text{Mg}^{++} &= 24.4 \\ \text{Sr}^{++} &= 87.6 \\ \text{O}^- &= 16 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Na}^+ &= 23 \\ \text{H}^+ &= 1 \\ \text{C} &= 12 \end{aligned}$$

احسب:

pH_c , K, SAR, SAR_{adj} and SI

س٧: لماذا تختلف أوزان جزيئات المياه؟

س٨: ارسم العلاقة بين درجة الحرارة والكثافة وما هو سبب الاختلاف إن وجد؟.

س٩: ما هي قيم pH التي يتواجد بها بها كربونات وبيكربونات والحمض؟.

س١٠: أخذت عينة مياه سطحية وحللت وكانت النتائج موضحة بالتالي:

$$\begin{aligned} \text{Na}^+ &= 15 \text{ mg/L} & \text{Cl}^- &= 35.5 \text{ mg/L} \\ \text{K}^+ &= 25 \text{ mg/L} & \text{HCO}_3^- &= 70 \text{ mg/L} \\ \text{Ca}^{++} &= 10 \text{ mg/L} & \text{SO}_4^{--} &= \dots \text{ mg/L} \\ \text{Mg}^{++} &= 12 \text{ mg/L} & \text{NO}_3^- &= 15 \text{ mg/L} \\ & & \text{Sr}^{++} &= 6 \text{ mg/L} \end{aligned}$$

قيمة التوصيل الكهربائي $\text{EC} = 0.31 \text{ dS/m}$

على افتراض أنه لا يوجد خطأ في التحليل:

• احسب قيمة الكبريتات.

• احسب الاملاح الكلية الذائبة.

• العسر الكلي.

• العسر الكربوني.

س١١: أوجد درجة تركيز التشبع لغاز الأكسجين المذائب في عينة ماء عند درجة حرارة ٢٥م وضغط جوي يعادل ٧٢٠ ملم زئبق علماً بأن تركيز الأكسجين ٨,٦ ملم/لتر.

س١٢: ما هي أهمية قياس كل من حاجة الأكسجين الحيوي - كيميائي وحاجة الأكسجين الكيميائي للماء ومياه الجارية؟

س١٣: لماذا يستخدم قياس حاجة الأكسجين الحيوي كيميائي لمقارنة درجات التلوث؟

س١٤: في قياس حاجة الأوكسجين الحيوي كيميائي لعينة مخففة من ماء المجاري وجدت

النتائج التالية:

الزمن (اليوم)	حاجة الأكسجين الحيوي كيميائي (ملجم/لتر)
١	٥٢
٢	٩١
٣	١١٤
٤	١٣٤
٥	١٤٢
٦	١٤٥

أوجد قيمة ثابت التفاعل للأساس ١٠.

س١٥: تتعدد مصادر تلوث المياه الجوفية منها طبيعي ومنها نشاطات الانسان المختلفة عدد هذه المصادر وشرح احدها بالتفصيل؟

(٢,٥) المراجع

أولاً: المراجع العربية

- إسلام، أحمد مدحت. ١٩٩٩م. الماء سائل الحياة. دار الفكر العربي. القاهرة، مصر.
- أحمد، عصام محمد عبد الماجد. ١٩٩٥م. الهندسة البيئية. دار المستقبل للنشر و التوزيع / عمان - الأردن.
- الصالحى، سعدية عاكول و عبد العباس فضيخ الفريري. ٢٠٠٤م. البيئة والمياه. دار صفاء للنشر والتوزيع. عمان - الأردن.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. (1985). *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage Paper 29, Rev.1, FAO, Rome, Italy, pp.174
- Carrol, J. J. and A. E. Mother. (1992). "The System Carbon dioxide water and the Krichevsky – Kasamovsky equation". *Journal of Solution Chemistry*. 21: 607:621.
- Davis, N. S. and R. J. Dewiest. (1991). *Hydrogeology*. Krieger Publishing Company Malabar, FL USA.
- Eaton, A. D., L. S. Clesceri., E. W. Rice. and A. E. Greenberg. (2005). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st Edition. American Public Health Association. Washington, DC 20001-3710.
- Essington, M. E. (2004). *Soil and Water Chemistry: An integrative approach*. CRC. Press. New York. USA.
- Hillel D. (1971). *Soil and Water: Physical Principles and Processes*. In: , Academic Press, New York (1971), pp. 131-153.
- Lamb, J. C. (1985). *Water quality and its control*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- Lindsay, W. L. (1979). *Chemical equilibria in Soils*. John Wiley and Sun. New York. USA.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agric. Handbook No. 60. Washington.