جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

مقرر "الهندسة البيئية"

Enviromental Engineering (CEVC705)

مواصفات مياه الشرب

Drinking water specifications

د. م. رائد سلمان جعفر

العام الدراسي 2023-2024

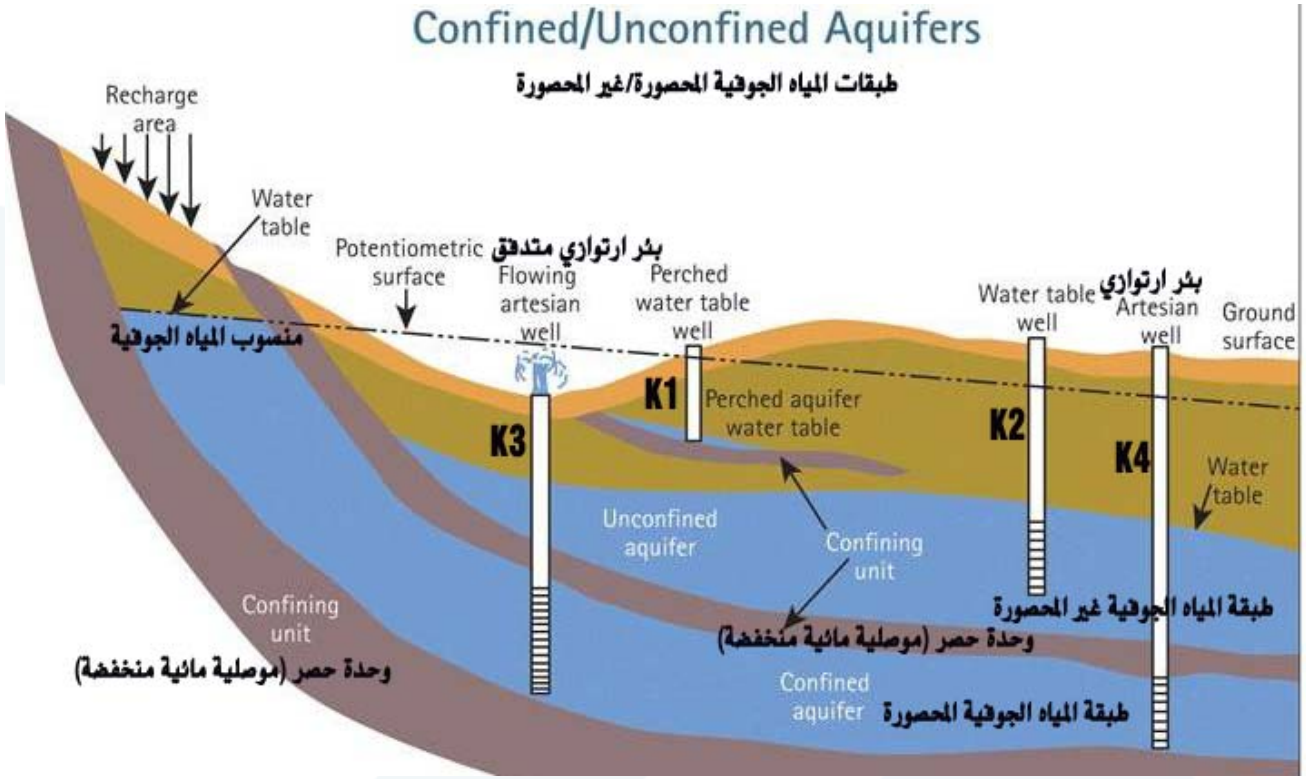
مواصفات مياه الشرب

1-1- معلومات عن المياه الجوفية والسطحية

عند اختيار مصدر مياه الشرب يؤخذ بعين الاعتبار نوعية المياه، وغزارتها، والمتطلبات الخاصة بالنوعية، والعمليات التكنولوجية الاقتصادية الأخرى.

المياه الجوفية هي المياه المتجمعة في باطن الأرض نتيجة لتغلغل المياه السطحية، والأمطار. وإما أن تكون المياه الجوفية مضغوطة أو غير مضغوطة.

لا تملأ المياه غير المضغوطة الآبار بشكل كامل، يظهر البئر K1,K2 في الشكل (1-1) مثالاً على هذا النوع من الآبار، إذ ينطبق منسوب المياه في هذه الآبار مع منسوبها في طبقات الأرض وتحتاج هذه المياه الجوفية إلى تنقية.

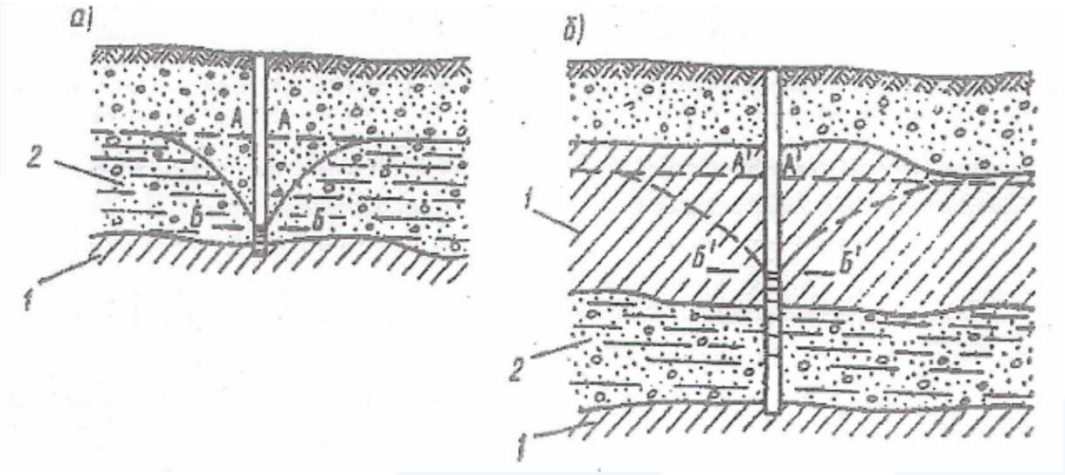


1–طبقة مياه معرضة للضغط ، 2– طبقات تحوي مصادر الينابيع والآبار K1– K4

أما المياه المضغوطة (الارتوازي) فتملأ البئر تماماً كما هو موضح في الشكل (1–1) بالبئرين K4, K3، وتمتاز المياه في هذه الآبار بنوعية عالية، ويمكن أن تستخدم في كثير من الأحيان دون تنقية.

ترتفع المياه في البئر الارتوازي حتى الخط البيزومتري، بحيث ترتفع وتنساب من البئر عندما يكون الخط البيزومتري أعلى من منسوب الأرض الطبيعية كما هو مبين في البئر K3 وتدعى هذه الآبار ذاتية الجريان ومن الممكن صعود المياه إلى السطح على شكل نبع.

يدعى المنسوب الذي تثبت عنده المياه في البئر بالمنسوب الستاتيكي، وينطبق المنسوب الستاتيكي في الآبار غير المضغوطة مع منسوب المياه الجوفية، أما في الآبار المضغوطة فينطبق مع الخط البيزومتري الشكل (1–2)



الشكل (1–2) a–مياه غير مضغوطة، b– مياه مضغوطة.

A–A المنسوب الستاتيكي، A'–A' الخط البيزومتري، B–B المنسوب الديناميكي

عند ضخ المياه البئر ينخفض منسوبها إلى منسوب يدعى المنسوب الديناميكي، كما تنخفض الخطوط البيزومترية المتشكلة حول البئر لتأخذ شكلاً منفرجاً إلى الأعلى في المقطع الأفقي كما هو مبين في الشكل السابق.

أما مصادر مياه الشرب السطحية فهي الأنهار والبحيرات ويمكن استخدام مياه البحر لأغراض صناعية، وتعالج مياه البحر لتستخدم في المنازل ولأغراض الشرب.

1-2- تأثير مختلف العناصر الموجودة في المياه الطبيعية في مواصفاتها:

يجب إجراء التحاليل الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية والجرثومية لتحديد نوعية المياه وذلك خلال فترات محددة تحددها الأنظمة المختلفة.

ويمكن تقييم نوعية المياه الطبيعية من خلال التحليل الكامل لها، ونستطيع أن نحدد درجة المعدنية الكلية M بمعرفة تركيز شوارد (الأملاح) في المياه وذلك بالعلاقة:

$$M = \sum C + \sum A$$

حيث $\sum C$ مجموع الكاتيونات mg/L، $\sum A$ مجموع الأنيونات mg/L .

تكون تحاليل المياه صحيحة من خلال المساواة التقريبية بين مجموع الأنيونات السالبة والكاتيونات الموجبة الأساسية مقدرة بـ ملغ – مكافئ/ليتر وذلك حسب المعادلة :

$$\frac{Na^{+}}{23}+\frac{K^{+}}{39,1}+\frac{Ca^{+2}}{20,05}+\frac{Mg^{+2}}{12,16}=\frac{Cl^{-}}{35,5}+\frac{HCO_3^{-}}{61,03}+\frac{SO4_4^{-2}}{48,03}+\frac{S_iO_2^{-2}}{38,03}$$

الخطأ بين الطرفين يجب ألا يتجاوز 5%

يمكن تقسيم المياه الطبيعية إلى عذبة، ومعدنية، معدنية مع ملوحة بحرية، ومحلول ملحي بتركيز للأملاح فيها على الترتيب: حتى 1g/L، 1–25 g/L، 25–50 g/L، أكثر من 50 g/L.

1-3- المواصفات الفيزيائية للمياه:

تشتمل المواصفات الفيزيائية للمياه على الحرارة واللون والعكارة والرائحة والطعم والناقلية والبقايا الجافة.

1-3-1- حرارة الماء:

تتصف مياه المصادر الجوفية بحرارة ثابتة تقريباً إذ تتراوح ما بين C° (5–12) أما حرارة مياه المصادر السطحية فتكون متقلبة خلال فصول السنة وتتراوح ما بين C° (0.1–30) أما الحرارة المثالية لمياه الشرب فهي من C° (7–11).

1-3-2- الشفافية - العكارة - المواد العالقة:

تحدد بوجود بعض الجزيئات المعلقة للرمل والغضار والطمي والبلانكتون في الماء وذلك بسبب تفتت جدران وأرضيات المجاري وجريان السيول وغيرها. فعكارة الماء عكسها الشفافية (تقاس على أجهزة قياس العكارة التي تعتمد في عملها على مقارنة المياه العكرة مع ماء صاف بأجهزة سبكتروفوتومتر (Spectrophotometer).

تقاس عكارة الماء بواحدات mg/l أو NTU (Nephelometric Turbidity Unit) وهي مكافئة لعلق 1 ملغ من السيليكا (SiO_2) في ليتر من الماء ويجب ألا تتجاوز عكارة ماء الشرب 1.5 mg/L أو 5 NTU.

يتم إيجاد محتوى المياه من العناصر المعلقة غير المنحلة بالطريقة التالية :
يمرر حجم معروف ومحدد من الماء عبر ورقة أو غشاء فلتر جاف وبمواصفات محددة ومعلوم الوزن، وبعد تمرير المياه يتم تجفيف الورقة أو الفلتر في فرن حرارته 105 C° وبعد ذلك توزن. فيكون الفرق في الوزن قبل الترشيح وبعده هو عبارة عن المواد المعلقة وتقدر بـ mg/L كما يمكن قياس كمية الأجسام الصلبة الإجمالية (TS) بتبخير عينة من الماء ووزن ما تبقى منها.

1-3-3- اللون:

ينتج اللون بسبب وجود بعض المواد المسببة لتلوين الماء مثل المواد الدبالية والدباغية والدهون ومركبات الحديد وغيرها ويقاس لون المياه بواحدات Hazen على مقياس البلاتين – كوبالت.

1-3-4- الطعم والرائحة:

تختلف المياه الطبيعية فيما بينها بالطعم والرائحة فقد تكون مرة المذاق أو مالحة أو حامضة أو حلوة وقد يكون مصدر رائحة الماء طبيعياً أو اصطناعياً.
الرائحة الطبيعية للمياه (العشبية – الغضارية –الكبريتية وغيرها) تنتج عن وجود الأحياء الدقيقة والأعشاب والرسوبيات أما الرائحة الاصطناعية (الكلورية، النفطية، الفينولية ...) فتنتج عن صب مياه المجاري في المسطحات المائية أو أثناء معالجة المياه في محطات التنقية.

تقسم الرائحة والطعم إلى خمس درجات:

1- غير ملاحظ وتكون درجته صفر.
2- خفيف جداً يلاحظه ذوو الخبرة وتكون درجته واحد.
3- ملاحظ يلاحظه المستهلكون بشكل خفيف ودرجته اثنان.
4- بسهوله يمكن ملاحظته ودرجته ثلاث.
5- واضح ويجعل المياه غير مستساغة ودرجته أربع.
6- قوي جدا ويجعل المياه غير صالحة للشرب ودرجته خمس.

5-3-1- الناقلية الكهربائية:

إن الناقلية الكهربائية للماء عبارة عن مقدار المقاومة بالأوم لعمود من الماء طوله 1 cm ومقطعه $1cm^2$ بدرجة حرارة 250 وتقدر الناقلية الكهربائية بالميكروسيمنس/سم. (µS/cm)

1-3-6- البقايا الكلية - الجافة - بقايا التحميص:

وتعطينا كمية الأملاح وتركيز الشوائب في المياه الطبيعية تنتج البقايا الكلية عن وجود الشوائب ذات الأصل اللاعضوي ويتم الحصول عليها نتيجة التبخير بدرجة حرارة 110 C° حتى الحصول على كتلة ثابتة لها.

1-3-6-1- البقايا الجافة أو المنحلة:

تنتج عن وجود الأملاح المعدنية والمركبات العضوية غير الطيارة. ونحصل على قيمتها بتبخير كمية من الماء المعلومة الحجم التي تم تمريرها عبر ورق الترشيح.

1-3-6-2- بقايا التحميص:

تنتج عن وجود الشوائب اللاعضوية وتحدد بطريقة التبخير لحجم معروف من الماء بدرجة 800 C° ووزن الباقي ويمكن التفريق بين بقايا التحميص المنحلة وبقايا التحميص الكلية حيث يتم في الحالة الأولى تمرير الماء عبر ورق الترشيح قبل تبخيره وفي الحالة الثانية لا يتم ذلك.

مما سبق نرى أن بقايا التحميص المنحلة ناتجة عن وجود الأملاح في الماء ويجب ألاً يزيد تركيزها في مياه الشرب عن 1 g/L.

1-4-المواصفات الكيميائية للمياه:

تشتمل المواصفات الكيميائية للمياه على عدد كبير منها:

1-4-1- الكلوريدات والكبريتات Chlorides and Sulphates

توجد في جميع المياه الطبيعية بسبب قابليتها الشديدة للانحلال بشكل أملاح الصوديوم والكالسيوم والمغنيزيوم حيث ينحل ملح الطعام بالماء حتى نسبة 360 g/L وكلور المغنيزيوم 545 g/L. ويتراوح تركيز شوارد الكبريتات في المياه الطبيعية من (10–2000) mg/L وعند وجود الكبريتات والكلوريدات في الماء بنسب كبيرة تؤديان إلى تخريب البيتون نتيجة تشكل الجبس(بسبب التفاعل بين الكبريتات وكلس الإسمنت) الذي يسبب ظهور الشقوق في البيتون، ويؤدي وجود كمية كبيرة من الكلوريدات في الماء إلى زيادة قلوية الماء وتخريب الحصيات البيتونية نتيجة تشكيله مع الكلس كلوريدات الكالسيوم أو المغينزيوم المنحلة.

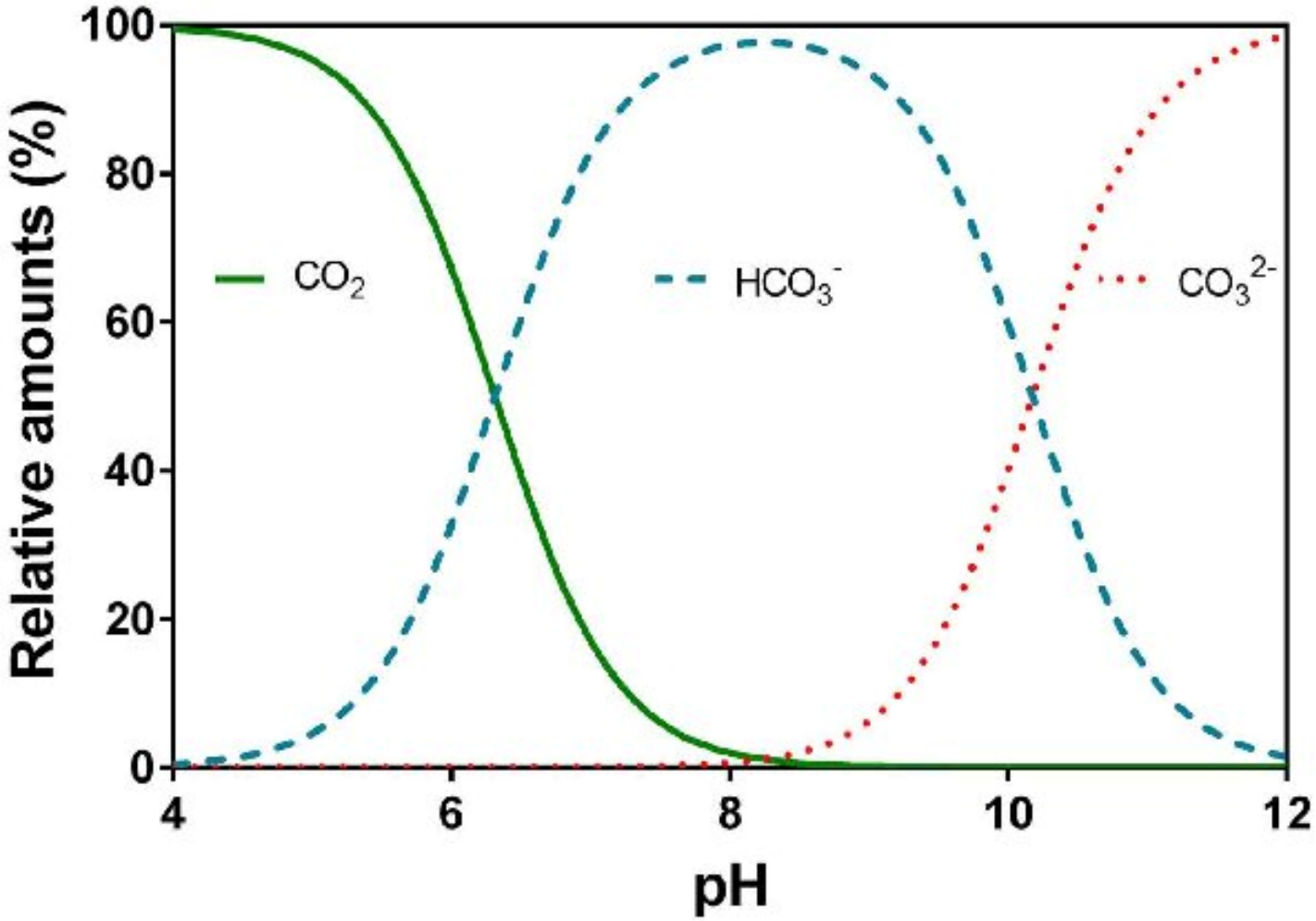
وكذلك يؤدي وجود تراكيز عالية من الكبريتات والكلوريدات في الماء(كماء البحر) إلى زيادة البقايا المنحلة للماء ويقلل من مجال استعمالها للشرب والصناعة. تؤدي الكميات الكبيرة للكبريتات في مياه الشرب إلى تخريب المجاري بين المعدة والأمعاء بالإضافة إلى ذلك إن كبريتات وكلوريدات الكالسيوم والمغنيزيوم تؤديان إلى ظهور العسارة اللاكربونية.

1-4-2- قلوية الماء Alkalinity:

تحدد قلوية الماء بمجموع وجود شوارد الهيدروكسيل (OH^-) في الماء وأنيونات الحموض الضعيفة – الكربونية والعضوية – ويمكن التفريق بين القلوية الكربونية والبيكربونية والمائية ويحدد مجموعها القلوية الكلية مع العلم أن معظم المياه الطبيعية تحتوي على أيونات البيكربونات المسببة للقلوية وذلك عندما لا تتجاوز قيمة الـ(8.4) pH، انظر الشكل (1–3).

أما عندما تتراوح قيمة الـ pH (8.4–12) فإن القلوية البيكربونية تتناقص بالتدريج في الوقت الذي تتزايد فيه القلوية الكربونية وعندما pH > 12 فإن القلوية البيكربونية تصبح مساوية للصفر ويوجد فقط في هذا المجال القلوية الكربونية.

ومن هنا يجب الانتباه إلى أنه عندما تكون قيم الـ PH > 9 من الممكن أن توجد شوارد الماءات التي تدخل أيضاً في حساب القلوية الكلية .



الشكل (1–3) العلاقة بين أشكال وجود حمض الكربون في المياه عند قيم مختلفة للـ pH ، carbonate speciation in water

1-4-3- عسر (قساوة) الماء Hardness:

تنتج عسارة المياه عن وجود أملاح الكالسيوم والمغنيزيوم وتقدر بـ ملغ مكافئ / لتر أو بالدرجات حيث تختلف طريقة قياسها ودرجة تقديرها باختلاف الدول :

- الدرجة الألمانية تساوي (10 mg/L as CaO)
- الدرجة الإنكليزية تساوي (10 mg/0.7L as CaCO3)
- الدرجة الفرنسية تساوي (10 mg/L as CaCO3)

الدرجة الأمريكية تساوي (1mg/0.7L as CaCO3)

ويمكن التفريق بين عسارة الماء الكربونية واللاكربونية والكلية. تنتج العسارة الكربونية (CH) عن وجود الأملاح الكربونية والبيكربونية للكالسيوم والمغنيزيوم في الماء ويمكن التخلص منها بسهولة عند غليان الماء حيث تتحلل البيكربونات مشكلة الحموض الكربونية ورواسب من كربونات الكالسيوم وهيدروكسيدات المغنيزيوم. تنتج العسارة اللاكربونية (NCH) عن وجود الأملاح الكبريتية والكلورية والأزوتية للكالسيوم والمغنيزيوم في الماء ويعطي مجموع العسارة الكربونية واللاكربونية العسارة الكلية (TH).

$$TH = \frac{Ca^{2+}}{20.04} + \frac{Mg^{2+}}{12.16}$$

لا تُعدّ عسارة المياه الطبيعية ضارة لصحة الإنسان بل على العكس يساعد الكالسيوم على إخراج الكادميوم Cd من الخلايا الحية والذي يؤثر سلباً في نظام عمل الأوعية القلبية مع العلم أن زيادة عسارة المياه يعطيها طعما غير مستساغاً لكن في المجال الصناعي تحدد عسارة المياه لعمل المراجل البخارية لئلا تترسب على جدرانها مؤدية إلى إنقاص فعاليتها وإلى حدوث الحرائق أحياناً.

يبين الجدول التالي (1−1) تصنيف نوعية المياه حسب درجات العسارة:

الجدول : (1−1) تصنيف نوعية المياه حسب درجات العسارة

نوعية المياه	العسرة بواحدات ملغ/ل مثل $CaCO_3$	العسرة بواحدات ملغ مكافئ/ل
ماء يسير	50−0	1−0
ماء متوسط اليسيرة	100−50	2−1
ماء خفيف العسرة	150−100	3−2
ماء متوسط العسرة	200−150	4−3
ماء عسير	300−200	6−4
ماء عسير جداً	أكثر من 300	أكثر من 6

1-4-4- الحديد والمنغنيز Iron and Manganese:

يوجد الحديد والمنغنيز في المياه الطبيعية بصيغ متعلقة بدرجة الـ pH ووجود الأكسجين وهكذا فإن الحديد يمكن أن يوجد بصيغ ثنائية أو ثلاثية التكافؤ فقد يوجد متحداً مع بعض المركبات العضوية واللاعضوية أو بشكل شوارد أو غير ذلك.

أما في المياه الجوفية وبغياب الأوكسجين يوجد الحديد والمنغنيز بشكل أملاح ثنائية التكافؤ بينما في المياه السطحية يوجد الحديد والمنغنيز بشكل مركبات عضوية معقدة غروانية أو ضعيفة الانتشار.

لذلك فإن الاستخدام الطويل للمياه المحتوية على تراكيز عالية للحديد من قبل الأشخاص يمكن أن تؤدي إلى أمراض في الكبد وتكون هذه المياه غير مستساغة للشرب، كما أن وجود الحديد والمنغنيز في الماء يمكن أن يساعد على نمو البكتريا الحديدية والمنغنيزية ومع نشاطها وتزايدها تؤدي إلى إنقاص أقطار الأنابيب والمبادلات الحرارية وأحياناً إلى إغلاقها لذلك تُحدد تراكيزها في المياه المستخدمة لإنتاج البلاستيك والورق والنسيج ...

1-4-5- قيمة الـ pH : pH Value

تعبر قيمة الـ pHعن قلوية أو حموضة الماء وهي مؤشر لتركيز أيونات الهيدروجين.

يعبر في الحياة العملية عن قيمة الـ pH باللوغاريتم العشري السالب لتركيز أيونات الهيدروجين $pH= -Lg [H^+]$ وبالتالي عندما pH=7 تكون المياه معتدلة وعندما pH < 7 تكون المياه حامضية وعندما pH > 7 تكون المياه قلوية.

تتراوح قيمة الـ pH عادة للمياه الطبيعية (6.5 – 8.5) ويفسر عدم تغير درجة الـ pH للمياه الطبيعية لوجود مزيج من الحموض أو الأسس وأملاحهما الضعيفة وهي عادة حمض الكربون وأيونات البيكربونات.

1-4-6- الأكسجين المستهلك في عملية الأكسدة :
Chemical Oxygen Demand

يقصد بالأكسجين المستهلك في عملية الأكسدة (كمية الأكسجين بـ mg/L اللازمة لأكسدة الشوائب في حجم معين من المياه) ويستهلك الأكسجين لأكسدة المواد العضوية وبعض الشوائب اللاعضوية السهلة الأكسدة مثل الحديد، H_2S...

يمكن التمييز بين المؤكسدات حسب نوعها فهي إما أكسدة بالبرمنغنات MnO_4 أو أكسدة بثاني كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$

ويقابل أكسدة 1mgO/L بـ 0.253 mg/L من مؤكسد $K\ MnO_4$.

كما أن الارتفاع المفاجئ للأكسجين المستهلك في عملية الأكسدة يدل على تلوث المياه بمياه المجاري، ولا تحدد عادة درجة الأكسدة لمياه الشرب ولكن تحدد لمياه تغذية المراجل لأنها تسبب الرغوة وتحدد أيضاً لمياه التبريد بسبب إمكانية حصول الترسبات البيولوجية للأنابيب والمعدات وتبلغ كمية الأكسجين المستهلك لأكسدة المياه الأرتوازية حوالي 2mg/L O_2 وللمياه النهرية حوالي 60mg/L O_2 ولمياه المستنقعات حوالي 400mg/L O_2.

1-4-7- العناصر المحتوية على الآزوت Nitrite and Nitrate :

تتشكل المركبات المحتوية على الآزوت (أيونات الأمونيوم NH_4^+ ، النتريت NO_2^-، النترات NO_3^-) في الماء نتيجة إرجاع نتريت ونترات الحديد، H_2S والعناصر الدبالية أو بنتيجة تفكك البروتينات المحمولة إلى المسطحات المائية مع مياه المجاري.

لذا فإن صيغ وجود مركبات الآزوت وشكلها في المياه تسمح بمعرفة زمن إلقاء مياه المجاري في المسطحات المائية فعلى سبيل المثال يدل وجود شوارد النشادر NH_3 وغياب النتريت على تلوث حديث للمياه.

عندما يزيد تركيز النترات في مياه الشرب عن 50mg فإن ذلك يؤدي إلى تخريب وظيفة الدم المؤكسدة Methaemoglobinaemia