

مقدمة المؤلفين

تعتبر جودة مياه الري أحد العوامل الرئيسة المحددة للإنتاج الزراعي خاصة في المملكة العربية السعودية بحكم ظروفها المناخية القاسية وندرة المياه وملوحتها ببعض المناطق. وتكمن أهمية الكتابة في موضوعات نوعية وجودة المياه في كونها تحدد فيما إذا كانت المياه لاتسبب أي خطورة أو تدهور للتربة أو تسبب سمية للنباتات المروية. فمن المعروف أن مياه الري لها تأثيرات مختلفة على خواص التربة والنباتات النامية بها. يتكون هذا الكتاب من سبعة فصول نظرية عن مياه الري في المملكة العربية السعودية وخواص الماء وتلوث المياه ومشكلة الملوحة والنفاذية في الترب المروية واستخدامات المياه، وكذلك يحتوي الكتاب على فصلين عن الطرق العملية لتقدير مكونات الماء، حيث اشتملت على جمع العينات وطرق التحليل، ولقد روعي أن يختتم كل فصل ببعض الأسئلة كما عرضت كثير من الأمثلة والأشكال ضمن الكتاب. ولقد روعي كذلك في الكتاب الاستفادة من الخبرة الطويلة في مجال نوعية المياه بالتدريس والأبحاث التي قمنا بها خلال أكثر من خمسة وعشرون عاماً. في الختام نود أن نشكر جميع منسوبي قسم علوم التربة بكلية علوم الأغذية والزراعة بجامعة الملك سعود في إخراج هذا الكتاب.

المؤلفون

مياه الري في المملكة العربية السعودية

(١, ١) المياه والري

يعتبر الماء هو العنصر الأساس لأي كائن (وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ) (سورة الأنبياء : ٣٠). ولقد تم الاهتمام بالمياه على مر العصور خصوصاً في المناطق الجافة ، فلقد تم في جزيرة العرب بناء سد مأرب قبل الميلاد في اليمن للتقليل من أثر الفيضانات وكذلك لتجميع المياه للاستفادة من المياه. وفي مناطق تهامة وعسير و شمال غرب اليمن تم الاستفادة من المياه باستخدام المدرجات أو المصاطب وأنشئت السدود المؤقتة (العقوم) أو السدود الدائمة ، وفي المناطق الأخرى بالمملكة وخصوصاً الواحات مثل واحة الإحساء فلقد تم حفر الآبار اليدوية والاستفادة من المياه في الري كما هو موضح في الصور (١, ١ - ١, ٣) والجداول المائية القديمة والحديثة التي تم إنشاؤها من خلال مشروع الري والصرف. ولقد زاد الاهتمام حالياً بالمياه حيث تكمن أهميته في استمرار تقدم الدول في النواحي الزراعية والاقتصادية وخاصة في دول المناطق الجافة ومنها المملكة العربية السعودية. وإيماناً من المجتمع الدولي بأهمية المحافظة على المياه وضرورة ترشيد استخدامها وإدراكاً منهم بأن المياه يجب استخدامها الاستخدام الأمثل فقد تجسد ذلك في إقرار يوم عالمي للمياه في كل عام والذي يصادف يوم ٢٢ مارس حيث تشارك المملكة العربية السعودية دول العالم الاحتفاء بهذا اليوم.

وتفتقر المملكة العربية السعودية إلى الأنهار أو المياه السطحية ولكن تجري فيها بعض السيول في الوديان ، كما توجد كميات كبيرة من المياه الجوفية مخزونة منذ آلاف السنين ضمن التكوينات الحاملة للمياه (عثمان ، ١٤٠١ هـ). ومن أهم التكوينات الجيولوجية الحاملة لتلك المياه في المنطقة هو تكوين الدمام الذي يمتد في شرق الجزيرة العربية وهو منكشف في أجزاء منه في منطقة الخليج العربي ولهذا التكوين أهمية خاصة نظراً لقلّة عمقه خاصة في المنطقة الشرقية.



الصورة (١،١). كيفية استخراج مياه الآبار قديماً (الجنادرية).



الصورة (١,٢). استخراج المياه من الآبار القديمة.



الصورة (١,٣). ري المزارع بالجداول المائية القديمة.

ومن التكوينات الكبيرة أيضاً تكوين الساق الذي يمتد من شمال المملكة ليصل إلى منطقة وادي الدواسر بجنوب المملكة. وتتراوح نوعية المياه في هذه التكوينات بين ٤٠٠-٦٠٠٠ جزء بالمليون (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٤م).

وانطلاقاً من أهمية المياه ودورها في حياة الإنسان وضرورة العناية بها والمحافظة عليها، ومن خلال أهمية هذا الموضوع في ظل واقع يشير إلى زيادة سرعة استنزافها وهي محدودة التغذية والمصادر، وحتى يمكن الابتعاد بالمجتمع عن الشعور بالفرة والنظر إلى المياه كونها مورداً متاحاً وجاهزاً للاستخدام بدون ترشيد وتعقل، لذلك أصبح البحث عن وسائل وطرق لترشيد المياه ونوعية المياه مهم جداً خصوصاً أن القطاع الزراعي يستهلك كمية كبيرة من الموارد المائية تقدر بحوالي ٨٠-٩٠٪ من الاستهلاك الكلي للموارد المائية بالمملكة العربية السعودية (الطخيس، ١٤١٧هـ).

وبترتيب المصادر المائية المتوفرة في المملكة وفقاً لأهميتها النسبية في تلبية الطلب الكلي على المياه المستهلكة، تبين أن المياه الجوفية غير القابلة للتجدد تمثل حوالي ٨٣٪ من الطلب الكلي، يليها المياه السطحية بنسبة ١٣٪ ثم المياه المحلاة بنسبة ٣,٣٪ وأخيراً مياه الصرف المعالجة بنسبة ٠,٧٪ (وزارة الزراعة، ١٤٢٧هـ).

إن الطلب على المياه يزداد سنوياً في المملكة، فمثلاً نجد أن الطلب على المياه لجميع الأغراض قد ازداد حوالي أربعة أضعاف من عام ١٩٨٠م - ٢٠٠٧م، وقدرت الكمية المستهلكة من المياه للزراعة في المملكة بحوالي ٥١٧٣ مليون متر مكعب في عام ١٩٨١م، بينما كانت ١٨٠٠٠ مليون متر مكعب في عام ٢٠٠٠م أي بزيادة مقدارها ثلاثة أضعاف وارتفعت إلى ما يقارب ٢١٠٠٠ مليون عام ٢٠٠٧م كما يظهر في الجدول (١،١)، (وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٩هـ). كما زادت المساحة المزروعة في المملكة لجميع المحاصيل إلى أكثر من مليون هكتار كما يظهر في الجدول (١،٢).

ويمكن تصنيف موارد المياه في المملكة إلى أربع مجموعات وهي المياه السطحية والمياه الجوفية ومياه الصرف الصحي المعالجة ومياه التحلية (العمران ، ١٤٢٩هـ).
تمثل المياه السطحية مياه العيون ، والينابيع الطبيعية ، والمياه التي تسيل في الشعاب والأودية بعد هطول الأمطار والتي قد تحجز أمام السدود وتقدر الكمية التي يمكن استغلالها من هذه المصادر بحوالي ٢٢٠٠ مليون متر مكعب. وتفيد هذه المياه الزراعة في الوديان ، وقرب السدود وتغذية المياه الجوفية. وتمثل مصادر المياه الجوفية المياه التي تحت سطح الأرض ، وهي إما أن تكون مياه جوفية ضحلة (غير عميقة) وإما مياه جوفية عميقة المصدر الأساسي للمياه المستخدمة للري. وبصفة عامة يمكن أيضا تصنيفها إلى مياه جوفية قابلة للتجديد ، ومياه جوفية غير قابلة للتجديد (الطخيس ، ١٤١٧هـ).

الجدول (١ ، ١). كمية المياه المستخدمة للأغراض الزراعية في المملكة العربية السعودية

(وزارة المياه والكهرباء ، ١٤٢٩هـ)

الاستهلاك بملايين الأمتار المكعبة			تقديرات العام
الإجمالي	مياه محددة	مياه عميقة	
٥١٧٣	١٦٠٥	٣٥٦٨	١٩٨١م
٥٦٥٠	١٦١٨	٤٠٣٢	١٩٨٢م
٦٠٣٥	١٦١٨	٤٤١٧	١٩٨٣م
٦٧٦٨	١٦٦٨	٥١٠٠	١٩٨٤م
٨٧٨٠	١٥٨٩	٧١٩١	١٩٨٥م

تابع الجدول (١,١).

الاستهلاك بملايين الأمتار المكعبة			تقديرات العام
الإجمالي	مياه محددة	مياه عميقة	
١٠٢٩٢	١٦٨٩	٨٦٠٣	م١٩٨٦
١٠٤٨٢	١٧٢٢	٨٧٦٠	م١٩٨٧
١١١٨١	١٤٦٣	٩٧١٨	م١٩٨٨
١٢٤٥٢	١٨٧١	١٠٥٨١	م١٩٨٩
١٣٣٢٦	٢٠٥٥	١١٢٧١	م١٩٩٠
١٣٥٣٠	٢١٥٢	١١٣٧٨	م١٩٩١
١٤٦٠٨	٢١٩٢	١٢٤١٦	م١٩٩٢
١٥٣١٤	٢٢٦٤	١٣٠٥٠	م١٩٩٣
١٥٣١٧	٢٢٥٧	١٣٠٦٠	م١٩٩٤
١٤٨١٩	٢٢٥٧	١٢٥٦٢	م١٩٩٥
١٥٣١٧	٢٢٥٨	١٣٠٥٩	م١٩٩٦
١٨٦٦٣	٦٦٥٠	١٢٠١٣	م١٩٩٧
١٨٠٥٤	٦٦٥٠	١١٤٠٢	١٩٩٨
١٨٢٠٣	٦٧٠٠	١١٦٠٣	م١٩٩٩
١٨٠٠٠	٦٧٥٠	١١٢٥٠	م٢٠٠٠
١٧٠٤٢	—	—	م٢٠٠٥
١٦٤٧٤	—	—	م٢٠٠٦
٢٠٩١٩	—	—	م٢٠٠٧

تعتمد التجمعات السكانية في المدن الكبيرة على إنتاج المياه المحلاة وتعتبر المملكة أكبر منتج لهذه المياه في العالم فهي توفر حالياً ما يقارب ٣ مليون متر مكعب في اليوم والتي تخلط بنسب معينة من مياه الآبار (وزارة المياه والكهرباء ، ١٤٢٩هـ).

تشكل مياه الصرف الصحي المعالجة مورداً هاماً يخفف العبء على المياه العذبة ، وتستخدم لري المزارع قرب مدينة الرياض ، وكذلك لري الحدائق العامة ، والمسطحات الخضراء داخل المدن ، وتقدر كمية مياه الصرف الصحي المعالجة في المملكة بما يقارب ٥٠٠ مليون متر مكعب في العام يستفاد منها للزراعة حوالي ٥١,٣ مليون متر مكعب (وزارة الزراعة والمياه ، ١٤٢٧هـ) ، أما في منطقة الإحساء فإن كمية المياه المعالجة التي تستخدم في مشروع الري والصرف في زيادة مستمرة نتيجة قلة مياه الينابيع في المنطقة ومن المتوقع وصول كمية المياه الناتجة من الصرف الصحي لأكثر من ٧٠٠ مليون متر مكعب في العام ١٤٣٥هـ .

ونظراً لأهمية الماء في حياة الناس كافة وخصوصاً للمزارعين فإنه من الضروري لاستمرار إنتاجية التربة الزراعية المحافظة على مستوى معين من الرطوبة في منطقة الجذور بالتربة حيث هذا المستوى لا يحدث أضراراً للنبات سوى بالزيادة لمنع التهوية والتنفس أو النقص لأثرها على نمو النبات ويتم تعويض ما يستهلك من النبات أو يفقد من التربة من عملية الري.

ويعرف الري بأنه إضافة المياه إلى التربة المزروعة بالمحاصيل بطرق وتصاميم مختلفة ؛ لمنع الجفاف في عديد من مناطق العالم وخصوصاً الجافة وشبه الجافة. ويمكن أن يعرف الري بأنه تغذية التربة الزراعية صناعياً بالماء لأي من الأسباب التالية : (Hanson and Kite , 1984)

- إضافة الماء للتربة لتزويدها بالرطوبة اللازمة لنمو النبات.
- تأمين المحصول ضد فترات الجفاف قصيرة المدى.

- تبريد التربة و الجو ؛ لكي تكون بيئة ملائمة لنمو النبات.
- تقليل خطر الصقيع بالمناطق التي تتعرض في فترات معينة للصقيع.
- غسل الأملاح من التربة أو تقليلها.

يمثل الري الصناعي على مستوى العالم ما يقارب ١٧٪ من الأراضي الزراعية ولكنه يساهم بأكثر من ٣٠٪ في الإنتاج الزراعي (Hillel, 2000) وتزداد أهمية المساهمة بالري في المناطق الجافة حيث تنخفض الأمطار ويزداد الطلب على مياه الري نتيجة ارتفاع درجة الحرارة و انخفاض الرطوبة.

ووجد أن الري الصناعي منذ أقدم العصور والحضارات القديمة في مصر وسوريا والعراق والهند، وفي المملكة العربية السعودية تعتبر واحة الإحساء من أقدم الواحات التي شهدت نمواً وتطوراً في أنظمة الري عبر العصور نتيجة لوجود الينابيع الطبيعية العديدة التي استخدمت لغرض الري والإنتاج الزراعي. وتشهد المملكة العربية السعودية تطوراً هائلاً في مجال الري بالأراضي الزراعية وبأنظمة الري المختلفة سوى كانت السطحية أو بالرش أو بالتنقيط السطحي وتحت السطحي (الصور ١،٤ – ١،٧). وتختلف أنظمة الري حيث منها القديمة مثل الري بالغمر وأنظمة الري الحديثة جداً مثل الري بالتنقيط تحت السطحي (العمران وآخرون، ١٤٢٥، ١٤٢٩ هـ). حيث تم استخدام نظام الري الحديث في البيوت المحمية والحقل المفتوح في إنتاجية الكوسة والطماطم باستخدام مياه عالية الملوحة (Al-Omran et al., 2005) (الصور ١،٤ – ١،٧).



الصورة (٤، ١). الري بالتنقيط السطحي للطماطم في الصوب الزجاجية.



الصورة (١,٥). الري بالتنقيط تحت السطحي للطماطم في الصوب الزجاجية.



الصورة (١,٦). الري بالتنقيط تحت السطحي للكوسة في الحقل المفتوح.



الصورة (١,٧). الري بالتنقيط السطحي للكوسة في الحقل المفتوح.

(١, ٢) كفاءات مياه الري

Irrigation Water Efficiencies

يعبر عن كفاءة استخدام المياه بمصطلحات مختلفة معتمدة على طبيعة المدخلات و المخرجات وعن ما تعنيه هذه المصطلحات للمستخدم. فيمكن أن يعبر عن كفاءة مياه الري اقتصادياً بأنها العائد المادي لكل وحدة مالية استثمرت في مياه الري، أما التعريف الفسيولوجي لكفاءة استخدام مياه الري للنبات فهو كمية ثاني أكسيد الكربون المثبت نتيجة التمثيل الضوئي إلى كمية المياه المستخدمة في النتح. أما العاملين في الري فإن كفاءة الري تدل على كيفية الاستفادة من مياه الري المتوفرة بفاعلية وهي الإنتاجية لكل وحدة حجم مياه مستخدمة. وتتأثر هذه الكفاءة بعدة عوامل منها توفر المياه، ودقة التصميم لنظام الري، وطريقة الري، ونوع التربة وخواصها، والإدارة الجيدة في الحقل.

الفوائد المائية قد تحدث في طريقة النقل ونظامها والتوزيع غير المتجانس للماء فوق سطح التربة وفي طريقة الري المستخدمة، فمثلاً الري بالرش يفقد الكثير من الماء عن طريق البحر في المناطق الجافة والحارة.

إن الغرض من الكفاءة وحسابها هو إجراء التحسينات الضرورية لرفع هذه الكفاءة سواءً في أجهزة النقل أم نظام الري إن أمكن والإدارة الجيدة كموعده الري وفترته.

ويمكن تقسيم الكفاءات إلى عدة أقسام منها ما يتعلق بالنقل أو التوصيل أو الإضافة.

(١, ٢, ١) كفاءة نقل المياه Water Conveyance Efficiency

وهو اصطلاحاً يستعمل لقياس كفاءة أنظمة نقل المياه التي تضم شبكة الجداول والقنوات الرئيسية والفرعية والحقلية. حيث يعتبر الفقد الناتج عن النقل أكبر

كمية مفقودة لمياه الري خصوصاً في أنظمة الري التقليدية كالقنوات و جداول مياه الري السطحي.

(١, ٢, ٢) كفاءة إضافة الماء Water Application Efficiency

بعد وصول الماء إلى الحقل يكون من المهم استخدام الماء بكفاءة عالية قدر الإمكان. حيث يجب المحافظة على الماء في منطقة الجذور بحيث يستفيد منه النبات ويعبر عن هذه الكفاءة بكفاءة إضافة المياه.

(١, ٢, ٣) كفاءة استخدام المياه Water use Efficiency

إن كفاءة استخدام المياه من قبل النباتات يمكن أن يعبر عنه بالماء المستخدم فعلياً من قبل النبات إلى ما يضاف إلى الحقل. أو يعبر عنها بالإنتاجية للمحصول القابل للتسويق إلى وحدة المياه المضافة.

(١, ٣) تحسين وتطوير أنظمة الري

إن من أبرز وسائل ترشيد استخدام مياه الري هي رفع كفاءة نظم الري المستخدمة مثل نظام الري بالتنقيط أو الرش ، كما أنه يمكن تقليل استهلاك المياه بوسائل أخرى مثل تغطية قنوات الري الكبيرة المكشوفة وتبطينها واستخدام أجهزة قياس الرطوبة في التربة لتحديد مواعيد الري.

لقد تطورت نظم الري في المملكة تطوراً كبيراً ففي التعداد الشامل لسنة ١٩٩٩م (وزارة الزراعة والمياه، ١٤٢٠هـ) (الجدول ١,٣). احتلت أنظمة الري الحديثة (الري بالرش المحوري والتنقيط) مركز الصدارة، إذ بلغت نسبة المساحة المروية بهذه النظم ٤٧,٦٨٪ من إجمالي المساحة الكلية لعام ١٩٩٩م، ويأتي ذلك نظام الري التقليدي (الغمر) بنسبة ٣٠,٣٪، ثم نظام الري بأكثر من طريقة بنسبة ٢٢,٢٪ خلال نفس العام (الجدول ١,٣). ويتضح من الجدول أن نسبة المساحة المروية بنظام الري

التقليدي تتراوح بين ٣,٧٩٪ في منطقة الحدود الشمالية ونسبة ٩٨,٣٨٪ في منطقة جازان. كما أن أنظمة الري الحديثة منتشرة في أنحاء المملكة حيث تبلغ نسبتها في المنطقة الشرقية حوالي ٨٢,٥٪ من المساحة المروية وفي الجوف ٨٢,١٤٪ وفي تبوك ٦٩,٣٢٪ من المساحة الكلية المروية لكل منطقة.

الجدول (١,٣). التوزيع الجغرافي لمساحة الحيازات بالألف هكتار وفقاً لنظم الري المختلفة في المملكة عام ١٩٩٩م.

المنطقة	الري التقليدي		الري الحديث		أكثر من طريقة		الإجمالي
	المساحة	%	المساحة	%	المساحة	%	
الرياض	٣٢,٧٢	١١,٣٥	١٥٤,٩٣	٥٣,٧٤	١٠٠,٦٢	٣٤,٩٠	٢٨٨,٢٦
مكة المكرمة	٤٣,٠١	٩٥,٦٢	٠,٣٨	٠,٨٥	١,٥٨	٣,٥٢	٤٤,٩٨
المدينة المنورة	٢٦,٠١	٩٠,٧٦	٠,٨٥	٢,٩٥	١,٨	٦,٢٨	٢٨,٦٦
القصيم	١١,٦٢	٥,١٦	١٤٣,٣	٦٣,٦٩	٧٠,٠٥	٣١,١٤	٢٢٤,٩٨
الشرقية	١٥,١٨	١٣,٩٢	٩٠,٠٥	٨٢,٥٥	٣,٨٥	٣,٥٣	١٠٩,٠٨
عسير	٢٢,٢٢٠	٩٨,٣١	٠,٢٢	٠,٩٩	٠,١٦	٠,٧٠	٢٢,٥١
تبوك	٣,٣١	٧,٠٢	٣٢,٧	٦٩,٣٢	١١,١٦	٢٣,٦٦	٤٧,١٧
حائل	٩,٩٧	٧,٩	٥٦,٦٠	٤٤,٨٣	٥٩,٦٧	٤٧,٢٧	١٢٦,٢٥
الحدود الشمالية	٠,٠٠٥	٣,٧٩	٠,١	٧٤,٢٤	٠,٠٣	٢١,٩٧	٠,١٣
جازان	١٧٦,٦٨	٩٨,٣٨	٠,٨١	٠,٤٥	٢,٠٩	١,١٦	١٧٩,٥٩
بجدة	٧,٦٥	٥٩,٥٢	٢,٣٠	١٧,٨٥	٢,٩١	٢٢,٦٢	١٢,٨٥
الباحة	٢,٤٨	٩١,٤٢	٠,٠٠٢	٠,٠٧	٠,٢٣	٨,٥١	٢,٧١
الجوف	١٠,٣٧	٩,٨٨	٨٦,٢٠	٨٢,١٤	٨,٣٧	٧,٩٧	١٠٤,٩٤
الإجمالي	٣٦١,٢٤	٣٠,٣٠٠	٥٦٨,٤٤	٤٧,٦٨	٢٦٢,٥٣	٢٢,٠٢	١١٩٢,٢١

المصدر: جمعت وحسبت من وزارة الزراعة والمياه، إدارة الدراسات الاقتصادية والإحصاء، التعداد الزراعي الشامل لعام ١٩٩٩م.

ولعل من أهم التقنيات الحديثة في ترشيد المياه هو نظام الري بالتنقيط، ولقد حقق بعض المطالب وتلافي بعض العيوب التي ظهرت مع أنظمة الري الأولى. ويعد نظام الري بالتنقيط أحد التطبيقات الحديثة لطرق الري وهو - بلا شك يمثل تقدماً واضحاً في تقنية الري. وتعد المملكة من الدول الرائدة في المنطقة التي طبقت نظام الري بالتنقيط. وبالرغم من عدم توافر إحصائيات شاملة، إلا أن بعض الأبحاث تؤكد أن نظام الري بالتنقيط بدأ باستخدامه في المملكة مع بداية السبعينيات من القرن العشرين الميلادي استخداماً محدوداً، وأصبح معروفاً وشائع الاستخدام في نهاية السبعينيات الميلادية من القرن الماضي. وتفيد الإحصائيات الرسمية أن المساحة المروية بالتنقيط في المملكة تطورت من ٦٦٦ هكتار عام ١٩٨١م إلى ٦٧٣٩٩ هكتار عام ١٩٩٩م. ويكثر استخدام نظم التنقيط في ري محاصيل البساتين والخضروات والفواكه وأشجار الزينة وبعض المسطحات الخضراء.

أما نظام الري بالتنقيط تحت السطحي وهو إضافة مياه الري على عمق ٢٥-٣٥ سم تحت سطح التربة عبر أنابيب التنقيط ويهدف إلى تقليل الماء على سطح التربة وتقليل التبخر، فلقد تم تطبيقه في الدول المتقدمة للترشيد في مياه الري بالمناطق الجافة والحارة ولم يتم تطبيقه على مستوى المملكة إلا على نطاق محدود جداً.

يجب اختيار طريقة الري المناسبة وفي كثير من الأحيان توجد بعض القيود التي لا تدع مجالاً للاختيار بين طريقة ري وأخرى، وفي بعض الحالات عندما يكون من الممكن نظرياً تطبيق أكثر من طريقه للري فإن الاختيار يبنى على أساس عدة عوامل يكون فيها العامل الاقتصادي هو المحدد غالباً ولكن ليس دائماً، وعلى أي حال فإن التصميم الأمثل لنظم الري يعد مطلب ضروري لضمان التجانس الأفضل لتوزيع المياه في الحقل بهدف الاستخدام الأمثل لمياه الري، وبالتالي للترشيد في المياه.

(١,٤) كفاءة استخدام المياه في ري النخيل

(١,٤,١) إنتاج التمور في المملكة

تعتبر النخلة شجرة مهمة في الجزيرة العربية خصوصاً في المملكة العربية السعودية حيث تعتبر المصدر الرئيس للغذاء في البلاد. وتعتبر التمور من أهم المحاصيل الزراعية في المملكة إن لم يكن المحصول الأول من حيث الإنتاج والمساحة (الجدول رقم ١,٤). حيث بلغت المساحة المزروعة في المملكة في ٢٠٠٥ م حوالي ١٥٠ ألف هكتار وإنتاج يقدر ب ٩٧٠ ألف طن. والزيادة في الإنتاج والمساحة نتيجة الدعم الكبير التي تقدمه الحكومة لقطاع النخيل والذي يتمثل في الإعانات التي تقدم عن زراعة الفسائل الجديدة باستخدام طرق الري الحديثة. ويوضح الجدول رقم (١,٥) إنتاج النخيل على مستوى العالم متضمناً معدل إنتاج المملكة ويتضح من الجدول أن إنتاجية التمور على مستوى العالم = ٦,٢٨ طن/هكتار ومصر = ٢٨,٣٩ طن/هكتار والسعودية = ٦,٣٠ طن/هكتار والعراق = ٦,٨٧ طن/هكتار.

(١,٤,٢) الاحتياجات المائية للنخيل

تعتمد الاحتياجات المائية لأشجار النخيل على الظروف البيئية في المنطقة وهي ترتبط بثلاثة عوامل رئيسة وهي عوامل المناخ والنبات والتربة. ولقد تم تقدير الاحتياجات المائية لأشجار النخيل حيث تراوحت الكمية بين ١٥٠٠٠ متر مكعب للهكتار (وبين ٥٥٠٠٠ متر مكعب للهكتار (Alazba, 2001) بينما أورد (الخطيب وآخرون، ٢٠٠٦م) إن متوسط الاحتياجات المائية للنخيل تتراوح بين ٢٠٠٠٠ - ٣٥٠٠٠ م^٢/هكتار حسب طريقة الري المتبعة وهي بالتنقيط أو الينابيع أو الغمر (الصور ١,٨ - ١,١٠) للري الحديث لأشجار النخيل.

وتختلف كميات المياه المقدرة للنخيل في دول العالم ، فلقد وجد (Abou-Khaleed *et al.*, 1982) على أشجار نخيل عمرها ٢٠ سنة في العراق بأن المياه المستهلكة السنوية لأصناف المكتوم والبرحي ١٨٠٠٠ م^٣/هكتار، بينما قدر (Zaid, 2002) الكمية في العراق بين ١٥٠٠٠ - ٢٠٠٠٠ وفي الجزائر (١٥٠٠٠-٣٥٠٠٠) ومصر ٢٢٣٠٠ م^٣/هكتار.

ومن متوسطات إنتاج النخيل على مستوى مناطق المملكة المختلفة (الجدول رقم ١،٤) ومتوسط استهلاك الهكتار الواحد للنخيل والمقدر ب ٢٧٣٣٠ م^٣/هكتار فقد تم حساب كفاءة إنتاجية المياه للنخيل الموضحة بالجدول (١،٦)، حيث يتضح أن أكبر كفاءة للإنتاج في المنطقة الشرقية وأقلها في مناطق مثل جازان والباحة التي لا يوصى بزراعة النخيل بها.

وللاستمرار في مستوى التنمية الزراعية، يتطلب التخطيط لتحويل مساحات أكبر من الأراضي الزراعية لتروي بأنظمة التنقيط وخاصة تحت السطحي حيث تتفوق هذه الطرق على طرق الري الأخرى، والأهم أنها تناسب البيئة الصحراوية الحارة ونوعية المياه مرتفعة الملوحة نسبياً، ولعله من المفيد أن نعلم أن المساحات المروية بالتنقيط بالنسبة للمساحات المزروعة في كثير من الدول في ازدياد.

وعموماً يمكن من خلال أنظمة الري بالتنقيط تحت السطحي المصممة جيداً توفير كميات من المياه تصل إلى أكثر من ٥٠ ٪ مقارنة بالري السطحي. ولا يتوقف التوفير عند المياه فحسب بل هناك توفير في العمالة والطاقة؛ نظراً لأن نظام الري تحت السطحي يعمل عند ضغوط تشغيل منخفضة مقارنة بأنظمة الري المحورية أو الرش.

جدول (١.٤) المساحة المروعة والإنتاج للبحيل في مناطق المملكة المختلفة المساحة بالهكتار و الإنتاج بالطن . (وزارة الزراعة ، ٢٠١٤م)

	٢٠٠١م	٢٠٠٢م	٢٠٠٣م	٢٠٠٤م	٢٠٠٥م	٢٠٠٦م	٢٠٠٧م	
المساحة	الإنتاجية	المساحة	الإنتاجية	المساحة	الإنتاجية	المساحة	الإنتاجية	المساحة
٣٣٥٥٣	٢.٧٧٠.٦	٣٣٤٣٣	٢.٩٩٣٨	٣٣٣٢٨	٣١٣٣٩٨	٣١٣٣٦١	٣١٣٣٦١	الرياض
٤١٩١	١٣٣.٥	٤٠٧٢	١٢٩٣٤	٨٩٨١	٣٨١٠.٩	٩٧٧٢	٣٩.٠٢	مكة
١٧١٨١	٤.١٢٧	١٧٥٣٦	٤.٣٩٨	١٨١٩٩	٥٨٦٦٤	١٨٨١٩	١.٠٠٤.٦	الدمية
٣٣٧٢٨	١٣٦٤٥١	٣٤٤.٢	١٣.٠٤١	٣٤٣٧٧	١٣٨٤٧٠	٣٥٨.٨	١٦.٠٤٤	القصيم
١٢.٨٥	١.٣٤٢٠	١١٧٦٦	١.٤٣٦٩	١١.٤٣	١١٨٦٣٧	١١٣٣٩	١٣٩١١١	الشرقية
٨.٦١	٨.٩١٤	٨.١٦	٨٢٨.٢	٨٣٩٢	٨.٤٤٤	٧١٥٤	٧٣٦٦٦	عسير
٤٤٦٤	٣٧٣.٠	٤٧١٥	٣٧٨١٦	٤٦٧٨	٣٩٦٦١	٤٤٣٧	٣.٠٠٨	تبوك
١٣٦٥٣	٦٤.٤٩	١٣٩٣٤	١٨٣٣٢	١٣٩٧٩	٨٥١٥٩	١٤٨٨٩	٩٧٣٨٤	حائل
١٧	٦١	٨	٦٦	١٣	٨٤	٤٤	٦٤	الشمالية
٣٦٨	١٤٧	٣٦٨	١٣.٠	٣.٥	٣٩٨	١٦٦	٣٦١	جازان
٣.٧٨	١٣٤٣٦	٣.٤٥	١٣٤٣٢	٣٤٣٨	١٤١١٥	٣٣٩.٠	١٧٩٧٣	نجران
٦٨٨	٣٥١٢	٦٨٠	٣.٠٦	٧١٢	٣٧٣٩	٩٦٢	٣٥١٧	البيشة
٤.٧٢	٣٦٨٤٩	٤.٦٥	٣٩٧٤٦	٤٦٧٨	٣٥٣٥١	٤٣٨٩	٤٥٩٧٨	الويف
١٣١.٩٩	٨١٧٨٧	١٣٩٣٧٤	٨١٣٥٤.٠	١٤٦٦٣١	٨٨٤.٨٨	١٤٨٨.١	٩٤١١٣٢	السفلى

الجدول رقم (١,٥). متوسط إنتاج النخيل في العالم .

(Erskine et al., 2005)

الدول	الإنتاجية بالطن	%	الدول	الإنتاجية بالطن	%
العالم	٦,٧٤٩,٣٣٥٦	١٠٠	اليمن	٣٢,٥٠٠	٠,٥
مصر	١,١١٥,٠٠٠	١٦,٥	موريتانيا	٢٤,٠٠٠	٠,٤
إيران	٨٥٧,٠٠٠	١٣	شاد	١٨,٠٠٠	٠,٣
السعودية	٨٣٠,٠٠٠	١٢,٣	امريكا	١٧,٦٠٠	٠,٣
الإمارات	٧٦٠,٠٠٠	١١,٣	البحرين	١٦,٥٠٨	٠,٢
باكستان	٦٥٠,٠٠٠	٩,٦	قطر	١٦,٥٠٠	٠,٢
الجزائر	٤٢٠,٠٠٠	٦,٢	الكويت	10,400	٠,٢
العراق	٤٠٠,٠٠٠	٥,٩	تركيا	٩,٤٠٠	٠,١
السودان	٣٣٠,٠٠٠	٤,٩	النيجر	٧,٧٠٠	٠,١
عمان	٢٣٨,٦١١	٣,٥	فلسطين	٥,٥٠٠	٠,١
ليبيا	١٤٠,٠٠٠	٢,١	اسبانيا	٣,٧٣٢	٠,١
الصين	١٢٠,٠٠٠	١,٨	المكسيك	٣٦,٠٠	٠,١
تونس	١١٥,٠٠٠	١,٧	أخرى	٥٣٦,٣٠٥	٧,٩
المغرب	٥٤,٠٠٠	٠,٨			

Source FAO statistics 2003,

(وزارة الزراعة، ٢٠٠٨م)

الجدول (٦، ١) . متوسط إنتاج الفراخ عن الفترة من ٢٠٠٣ - ٢٠٠٧م بمناطق المملكة.

المناطق	البيض		المواج				الغزير		فواكه أخرى		الاجمالية الغزير
	كافة استهلاك المياه كجم/م	الاجمالية المياه	كافة استهلاك المياه كجم/م	الاجمالية المياه	كافة استهلاك المياه كجم/م	الاجمالية المياه	كافة استهلاك المياه كجم/م	الاجمالية المياه	كافة استهلاك المياه كجم/م	الاجمالية المياه	
الرياض	٠,١٢	٢٢,٢٨	١٤,٤٢	٢٠,٩٥	٠,٣٨	٢٠,٩٥	٠,١١	٢٧,١١	٠,١٦	٢٢,٩	١,١٤
مكة المكرمة	١,١١	٢٢,٢٨	١١	٢٠,٩٥	٠,٤٧	٢٠,٩٥	٠,١٣	٢٧,١١	٠,٥٧	٢٢,٩	١,٢١
الدمية البصرة	٠,٢١	٢٢,٢٨	٧,٢٨	٢٠,٩٥	٠,١٢	٢٠,٩٥	٠,١١	٢٧,١١	٠,٢٢	٢٢,٩	١,١٨
القصيم	١,٠٢	٢٢,٢٨	٢٣,٨٧	٢٠,٩٥	٠,١٧	٢٠,٩٥	٠,١٧	٢٧,١١	٠,٢	٢٢,٩	١,١٥
الشرقية	٠,٧٨	٢٢,٢٨	١٨,١٩	٢٠,٩٥	٠,١٤	٢٠,٩٥	٠,٤	٢٧,١١	٠,٥٨	٢٢,٩	١,٢٢
حضر	٠,٤١	٢٢,٢٨	٩,٥٧	٢٠,٩٥	٠,٢٢	٢٠,٩٥	٠,٢١	٢٧,١١	٠,٢٧	٢٢,٩	١,١٨
تبوك	٠,٥٨	٢٢,٢٨	١٣,٥٥	٢٠,٩٥	٠,١٤	٢٠,٩٥	٠,٢١	٢٧,١١	٠,١٦	٢٢,٩	١,١١
حائل	٠,٢٨	٢٢,٢٨	٨,٩	٢٠,٩٥	٠,٤٩	٢٠,٩٥	٠,١٣	٢٧,١١	٠,١٨	٢٢,٩	١,١٣
الحدود الشمالية	٠,٤١	٢٢,٢٨	٩,١١	٢٠,٩٥	٠,٠٨	٢٠,٩٥	٠,١٤	٢٧,١١	٠,٠٨	٢٢,٩	١,٠١
جازان	.	٢٢,٢٨	.	٢٠,٩٥	٠,١١	٢٠,٩٥	٠,٠٤	٢٧,١١	٠,١٥	٢٢,٩	١,٠١
بجول	٠,٣١	٢٢,٢٨	١٧,١٨	٢٠,٩٥	٠,٤٧	٢٠,٩٥	٠,١١	٢٧,١١	٠,١٦	٢٢,٩	١,٠٢
الابفة	٠,٤٩	٢٢,٢٨	١٠,٢٤	٢٠,٩٥	٠,٣٧	٢٠,٩٥	٠,١٥	٢٧,١١	٠,٤٧	٢٢,٩	١,١١
لوف	٠,١٢	٢٢,٢٨	١٤,٣٢	٢٠,٩٥	٠,٥١	٢٠,٩٥	٠,٣٧	٢٧,١١	٠,١٢	٢٢,٩	١,١٤
المنطقة	٠,٥٢	٢٢,٢٨	١٢,٢١	٢٠,٩٥	٠,٤٢	٢٠,٩٥	٠,١٣	٢٧,١١	٠,١٥	٢٢,٩	١,١٤



الصورة (١,٨). ري النخيل بالتنقيط السطحي.



الصورة (١,٩). ري النخيل بطريقة النايح.



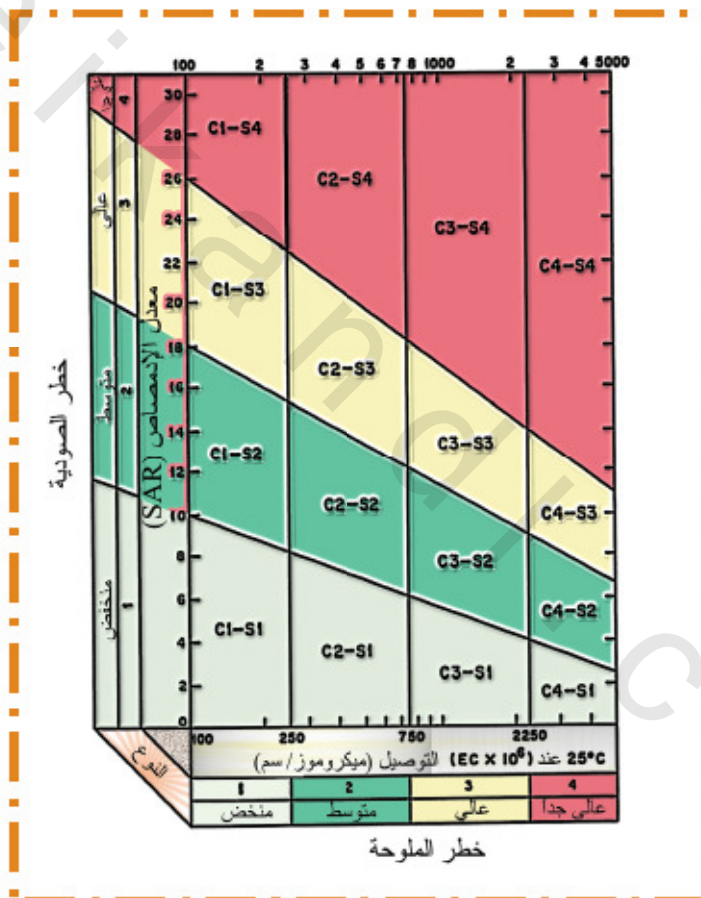
الصورة (١,١٠). ري أشجار النخيل بطريقة الري السطحي.

(١,٥) نوعية المياه

تعتبر مياه الري احد العوامل الرئيسة المحددة للإنتاج الزراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة. لذلك تعتبر نوعية هذه المياه عاملاً مهماً في تحديد صلاحية المياه للأغراض الزراعية. وتكمن أهمية دراسة و معرفة نوعية مياه الري في كونها تحدد فيما إذا كانت المياه لا تتسبب في تكوين الترب الملحية أو الصودية أو تسبب سمية للنباتات المروية. فمن المعروف أن مياه الري لها تأثيرات مختلفة على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية وعلى النباتات النامية. بعض هذه التأثيرات سلبية و البعض الآخر إيجابية وهذا يعتمد على نوعية و كمية مياه الري المستخدمة.

ومن أهم العوامل التي تحدد نوعية مياه الري التي يمكن استخدامها هو التركيب الكيميائي للماء بالإضافة إلى عوامل أخرى أقل أهمية مثل قوام التربة، نوع المحصول، العوامل الجوية، طريقة الري المستخدمة. وتعد الملوحة وخطورة الصوديوم

من أهم المكونات الأساسية في تحديد مدى صلاحية المياه وسوف يتم التطرق إلى ذلك في الفصول القادمة بشيء من التفصيل. ويمكن الاسترشاد إلى نوعية مياه الري باستخدام التقسيم الذي وضع من قبل معمل الملوحة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية رقم ٦٠ لسنة ١٩٥٤م الموضح بالشكل (١,١) وقد قسمت صلاحية المياه حسب ملوحتها إلى التالي:



الشكل (١,١). تقسيم مياه الري الذي وضع من قبل معمل الملوحة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية رقم (Richards, 1954) ٦٠ لسنة ١٩٥٤م

١- مياه ذات ملوحة منخفضة ويكون التوصيل الكهربائي لها من ١٠٠ - ٢٥٠ ميكروموز/سم، وتستعمل لري معظم أنواع المزروعات على معظم أنواع الترب.

٢- مياه ذات ملوحة متوسطة ويكون التوصيل الكهربائي لها من ٢٥٠ - ٧٥٠ ميكروموز/سم، ويمكن استعمالها إذا أمكن غسيل الأملاح الزائدة من التربة وتستخدم للنباتات متوسطة التحمل للملوحة.

٣- مياه ذات ملوحة عالية ويكون التوصيل الكهربائي لها من ٧٥٠ - ٢٢٥٠ ميكروموز/سم حيث لا ينصح باستخدام هذه المياه في الترب السيئة الصرف، ويمكن استخدامها في الترب ذات الصرف الجيد والأراضي الجيدة النفاذية وكذلك اختيار النباتات غير الحساسة للملوحة.

٤- مياه ذات ملوحة عالية جداً حيث يكون التوصيل الكهربائي لها أكثر من ٢٢٥٠ ميكروموز/سم، وهذه تعتبر غير صالحة للري تحت الظروف العادية، ولكن يمكن استخدامها تحت ظروف خاصة، عندما تكون التربة جيدة النفاذية مثلاً، ووجود صرف مناسب وكميات مياه ري عالية بحيث تؤمن غسلاً جيداً للأملاح المتراكمة في التربة.

كما أن تأثير الصوديوم قد قسم إلى أربعة أقسام هي:

- ١- مياه قليلة الصوديوم: وتستعمل هذه المياه في ري جميع الترب.
- ٢- مياه متوسطة الصوديوم: قد يسبب هذا النوع من الماء ضرراً على الترب الناعمة القوام، وخاصة تحت ظروف غسيل غير كافية إذا لم يتوافر الجبس في التربة، وتستخدم في الترب الخشنة القوام ذات النفاذية الجيدة.

٣- مياه عالية الصوديوم: يمكن أن تحدث ضرراً في معظم الترب ولذلك تتطلب وجود صرف جيد ونسبة غسيل مرتفعة.

٤- مياه عالية جداً في نسبة الصوديوم: وهي غير مناسبة لأغراض الري إلا إذا كان التركيز الكلي للأملاح قليلاً أو متوسطاً.

وتعتبر مياه الري ذات قيم توصيل كهربائي أقل من ٠,٧ ديسمنز/ م (ds/m) صالحة للاستخدام في الري الزراعي بدون مشاكل. ولقد تم تقسيم الماء إلى أربعة أقسام حسب رقم التوصيل الكهربائي كما في الجدول (١,٧).

وقد قسمت مياه الري إلى أربعة أقسام ذات حدود هامشية لك SAR عن ٢٦ غير مناسبة للري إلا في حالة المستويات المنخفضة من الأملاح في الماء ومع استخدام محسنات للتربة كما في الجدول (١,٨).

وهناك عدة تقسيمات قديمة لمياه الري تأخذ في الاعتبار بعض خواص الماء كما هو مبين في الجداول (١,٩ - ١,١٣).

الجدول (١,٧). تقسيم الماء حسب تركيز الأملاح. (Richards, 1954).

الدرجة	خطر الملوحة	التوصيل الكهربائي (ميكروموز/ سم)	الصلاحية للري
١	منخفض	١٠٠-٢٠٠	مناسب لري معظم المحاصيل
٢	متوسط	٢٥٠-٧٥٠	مناسب لري الحاصلات التي تتحمل الملوحة بدرجة متوسطة مع غسيل التربة
٣	مرتفع	٧٥٠-٢٢٥٠	مناسب لري النباتات التي تتحمل الأملاح بدرجة كبيرة مع غسيل التربة على فترات و توافر صرف جيد للتربة
٤	مرتفع جداً	أكثر من ٢٢٥٠	غير مناسبة للري عموماً إلا في حالات خاصة لتوعيه معينة من الترب و النباتات المتحملة جداً للملوحة.

الجدول (١,٨). تقسيم الماء حسب نسبة الصوديوم المدمص. (Richards, 1954).

الدرجة	خطر الملوحة	نسبة الصوديوم المدمص	الصلاحية للري
١	منخفض	صفر - ١٠	مناسب للري ماعدا المحاصيل الحساسة للصوديوم
٢	متوسط	١٠ - ١٨	مناسب للترب الرملية والعضوية مع توافر صرف جيد للتربة
٣	مرتفع	١٨ - ٢٦	يؤدي استعماله إلى ارتفاع الصوديوم في أغلب التربة ويجب أن يكون الصرف جيد مع استخدام الجبس والمواد العضوية لتحسين ظروف التربة
٤	مرتفع جداً	أكثر من ٢٦	غير مناسب للري عموماً

الجدول (١,٩). تقسيم مياه الري حسب (Wilcox, 1958).

الخاصية	المجموعة الأولى	المجموعة الثانية	المجموعة الثالثة
	ممتازة - جيدة	جيدة - مناسبة	غير مناسبة
التوصيل الكهربائي ($K \times 10^5$) عند ٢٥م	أقل من ١٠٠	١٠٠ - ٣٠٠	أكثر من ٣٠٠
البورون (جزء في المليون)	أقل من ٠,٥	٠,٥ - ٢	أكثر من ٢
الصوديوم (%)	أقل من ٦٠	٦٠ - ٧٥	أكثر من ٧٥
الكلوريد (ملييكافى/لتر)	أقل من ٥	٥ - ١٠	أكثر من ١٠

$$K \times 10^5 = EC \times 10^5$$

$$\%Na = \frac{Na}{TSC}$$

الجدول (١,١٠). الملوحة الفعالة ($Cl + \frac{1}{2}SO_4$) ملييكافى/لتر. (Doneen, 1954).

فئات الماء			حالة التربة	
٣	٢	١		
أكثر من ٥	٥ - ٣	أقل من ٣	قليلة التسرب	ثقيلة القوام
أكثر من ١٠	١٠ - ٥	أقل من ٥	متوسطة التسرب	متوسطة القوام
أكثر من ١٥	٥ - ٧	أقل من ٧	عالية التسرب	خفيفة القوام

الجدول (١،١١). تقسيم المياه حسب الملوحة و كربونات الصوديوم المتبقية (RSC). (Dregne, 1969).

التصنيف	$EC \times 10^6$ ميكروموز/اسم	RSC ملليمكافى/لتر
١	صفر - ٧٥	صفر - ١
٢	٧٥ - ٢٢٥٠	١ - ٢,٥
٣	أكثر من ٢٢٥٠	أكثر من ٢,٥

الجدول (١،١٢) الحدود المسموح بها لعنصر البورون في ماء الري. (Rowe and Abdel-Magid, 1995).

تصنيف الماء	مجموعة النباتات الحدود المتوقعة لعنصر البورون (ملجم/لتر)		
	مقاومة	معتدلة	حساسة
مياه ممتازة	أقل من ٠,٦٧	أقل من ٠,٣٣	أقل من ١,٠٠
جيدة	٠,٦٧ - ١,٣٣	١,٣٣ - ٢,٠٠	٢,٠٠ - ٣,٠٠
مسموح بها	٢,٠٠ - ٣,٧٥	٣,٧٥ - ٤,٥٠	٤,٥٠ - ٥,٠٠
مشكوك بها	٤,٥٠ - ٥,٠٠	٥,٠٠ - ٥,٥٠	٥,٥٠ - ٦,٠٠
غير مناسبة	أكثر من ٥,٥٠	أكثر من ٦,٠٠	أكثر من ٦,٥٠

الجدول (١،١٣). تأثير استخدام الري بالرش على النمو الخضري للمحاصيل. (Tanji, 1990).

تركيز الصوديوم أو الكلوريد (مول/م ^٣) المسببة لإصابة النباتات			
أقل من ٥	٥ - ١٠	١٠ - ٢٠	أكثر من ٢٠
الجوز	العنب	البرسيم	القرنبيط
المشمش	الفلفل	الشعير	القطن
المواخ	البطاطس	الخيار	عباد الشمس
البرقوق	الطماطم	السهم	البنجر

ومن التقسيمات المستخدمة حالياً و التي تعتمد في كثير من دول العالم هو تقسيم الفاو لتقييم نوعية مياه الري (Ayers and Westcot, 1985) الجدول رقم (١.١٤) و الذي يأخذ بعين الاعتبار الملوحة و خطورة مشكلة التسرب الناتجة من زيادة الصوديوم أو قلة الأملاح في مياه الري وكذلك سمية العناصر مثل الصوديوم و الكلوريد و النترات و البورون و البيكربونات و طريقة الري المستخدم. الجدول (١.١٤). معايير جودة مياه الري حسب (Ayers and Westcot, 1985).

التحفظ على استخدام ماء الري			الوحدات	المشكلة المرتبطة بالري
شديد	متوسط	بدون		
الملوحة (تؤثر على الماء المتاح) ^٢				
٣ <	٣,٠ — ٠,٧	٠,٧ >	ديسيمتر / م	EC _w
٢٠٠٠ <	٢٠٠٠ — ٤٥٠	٤٥٠	ملجم / لتر	TDS
التسرب (تؤثر على تسرب الماء إلى التربة باستخدام SAR , EC _w)				
EC _w dSm ⁻¹			SAR	
٠,٢ >	٠,٢ — ٠,٧	٠,٧ <	٣ — ٠	
٠,٣ >	٠,٣ — ١,٢	١,٢ <	٦ — ٣	
٠,٥ >	٠,٥ — ١,٩	١,٩ <	١٢ — ٦	
١,٣ >	١,٣ — ٢,٩	٢,٩ <	٢٠ — ١٢	
٢,٩ >	٢,٩ — ٥,٠	٥,٠ <	٤٠ — ٢٠	
سمية العناصر (تؤثر على النبات)				
الصوديوم (Na ⁺)				
٩ <	٩ — ٣	٣ >	SAR	الري السطحي
	٣ <	٣ >	ملليمكافى/لتر	الري بالرش
الكلوريد (Cl ⁻)				
١٠ <	١٠ — ٤	٤ >	ملليمكافى/لتر	الري السطحي
	٣ <	٣ >	ملليمكافى/لتر	الري بالرش
البورون (B)				
٣ <	٣,٠ — ٠,٧	٠,٧ >	ملجم/لتر	البورون

تابع الجدول (١٤، ١).

تأثيرات مختلفة (تؤثر على النباتات)				
٣٠ <	٣٠ - ٥	٥ >	ملليجرام / لتر	النيتروجين (NO ₃ - N)
٨,٥ <	٨,٥ - ١,٥	١,٥ >	ملليجرام / لتر	بيكربونات (HCO ₃)
المدى الطبيعي (٨,٤ - ٦,٥)				رقم الحموضة (pH)

- ١- أخذت عن لجنة الخبراء بجامعة كاليفورنيا ١٩٧٤.
- ٢- EC_w هي التوصيل الكهربائي للماء وهو قياس ملوحة الماء ووحداتها ديسيمنز / متر أو ملليموز / سم عند ٢٥ °م. أما TDS فهي الأملاح الكلية الذائبة بوحدات ملليجرام / لتر.
- ٣- SAR تعني نسبة الصوديوم المدمص ويمكن أن يعبر عنها أيضاً R_{Na}. وعند قيمة معينة لل SAR فإن معدل التسرب يزداد بزيادة الملوحة. أنظر (Oster and Schroer, 1979 K Rhoades, 1977).
- ٤- للري السطحي فإن أغلب محاصيل الشجر والنباتات الحشبية حساسة للصوديوم والكلور. وأغلب النباتات الحولية غير حساسة. واستخدام الري بالرش بالمناطق الجافة فإن الصوديوم والكلور قد يمتص من الأوراق وبالتالي يؤثران على النباتات.
- ٥- يمكن الرجوع إلى الجداول بكتاب (Ayers and Westcot, 1985)
- ٦- (NO₃ - N) تعني النترات كعنصر النيتروجين ويجب قياس (NH₄ - N) والنيتروجين العضوي عند استخدام مياه الصرف الصحي.

١- الأملاح الكلية

الأملاح الذائبة في الماء هي عادة عبارة عن كاتيونات الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وأيونات الكبريتات والكلوريدات والبيكربونات والكاربونات. وعادة في المناطق الرطبة الممطرة يندر أن يحتوي ماء الري على قدر من الأملاح يكفي للإضرار الفوري للنبات. بينما في المناطق الصحراوية والجافة فإن تركيز الأملاح في الماء يكون عادة مرتفعاً. وطبيعي فكلما ازداد تركيز الأملاح في ماء الري ازداد تراكم الأملاح في

التربة وزاد الضرر نتيجة تراكم الأملاح فيها أي تتحول إلى أرض ملحية. ويمكن تخفيض أو تجنب تراكم الأملاح في محمول الأرض بالري أو بسقوط الأمطار. وعند تقويم صلاحية الماء للري يجب أن يأخذ في الاعتبار ما يلي:

• مقدار الغسيل المطلوب.

• مستوى التملح الذي يحدث عند استعمال ماء الري.

• تركيز الملوحة في ماء الري الذي يتحملة النبات.

ويعبر عن تركيز الأملاح في ماء الري بوحدات التوصيل الكهربائي (EC) Electrical conductivity وهي ميكروموز / سم $\mu\text{mho/cm}$ أو ملليموز / سم mmho/cm . وباستخدام الوحدات القياسية العالمية S.I. Units ، تكون وحدات التوصيل الكهربائي تبعاً لذلك هي:

سيمنز / م (s/m) Siemens/meter ، أو ديسيمنز / م decimens/m ويجب

ملاحظة أن:

$$\begin{aligned} \text{ds/m} \times 10^3 \times \mu \text{ S/cm} &= \mu\text{mho/cm} \\ \text{S/m} &= 10 \text{ mmho/cm} \end{aligned}$$

٢- تركيز الصوديوم بالنسبة للكالسيوم والمغنيسيوم

إن خطر الصوديوم في ماء الري يعبر عنه كنسبة ادمصاص SAR ويعبر عنها كما يلي:

$$\text{SAR} = [\text{Na}^+]/[\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}]^{0.5} \dots\dots\dots (١,١)$$

حيث تدل الأقواس [] على التركيز الكلي للأيونات معبراً عنه بالمليمول/لتر mmol liter^{-1} أما إذا كانت قيم تركيز الكاتيونات بالملليمكافئ/ لتر meq/L فإن:

$$\text{SAR} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{0.5} \dots\dots\dots (١,٢)$$

عنصر الصوديوم في ماء الري هو العنصر الغالب في الماء ويعمل على تفرق حبيبات الطين والدبال إلى خلق بناء غير مرغوب فيه لنمو النباتات. بينما الكالسيوم والمغنيسيوم يعملان على اكتساب التربة البناء المرغوب فيه والذي يحتفظ من الماء والهواء ما يناسب نمو النبات. وإذا ما كانت كمية الصوديوم في ماء الري أكثر من الكالسيوم والمغنيسيوم فيؤدي ذلك إلى ادمصاص الصوديوم على حبيبات الطين والدبال وبذلك تفرق الحبيبات وتتناثر وتتهدم الحبيبات المتجمعة وإذا ما زادت كمية الكالسيوم والمغنيسيوم عن الصوديوم فإن العنصرين يمنعان الصوديوم من الإدمصاص على سطوح الغرويات في التربة وبذلك يبقى بناء التربة المتجمع المرغوب فيه سليماً.

٣- التركيب الأنيوني للماء خاصة الكربونات والبيكربونات

يعتبر البيكربونات من أشد الأيونات ضرراً بالنبات. فقد وجد أن البيكربونات من الأيونات السامة وخاصة لأشجار التفاح والبقول وكثيراً من المحاصيل الأخرى (Eaton, F.M.1950).

٤- مركبات عضوية

قد تلوث مياه الري ببعض المبيدات الحشرية والفطرية ومبيدات الحشائش وغيرها والتي تحتوي على مركبات عضوية. هذه المركبات استخدمت في السنوات الأخيرة على نطاق واسع في الزراعة، ولا بد وأن تعطي لها أهميتها في تقييم صلاحية المياه للري، وأن تحدد تركيز المبيدات في ماء الري والتي يجب ألا تتعداها وإلا أدى ذلك إلى اضطراب النظام الحيوي للتربة والدورات البيولوجية في الأرض مثل دورة النيتروجين والكبريت والكربون. ويفضل أن تكون مياه الري خالية من هذه المبيدات.

٥- مواد صلبة عالقة

تم إدخال هذا العامل في تقويم صلاحية المياه للري في السنوات الأخيرة بعد أن تطورت تكنولوجيا وأساليب الري خصوصاً التنقيط السطحي وتحت السطحي. حيث أن وجود المواد العالقة بماء الري قد يكون له تأثير مباشر على نفاذية التربة عند

ازدياد كميتها، وذلك في نظم الري بالغمر والري بالخطوط. كما أن الماء ذو المواد الصلبة قد يتسبب في تكوين قشرة صلبة على سطح التربة تعوق إنبات البذور بالإضافة إلى تقليل نفاذية الماء خلال سطح التربة، نتيجة غلق الفراغات بواسطة المواد الغروية المعلقة. وعندما يكون معدل إضافة الماء أعلى من معدل الرش فإن هذا يؤدي إلى تجمع الماء على السطح وبالتالي زيادة المخاطر الناتجة من الجريان السطحي وما يتبعها من فقد للمياه وانجراف للتربة.

ويؤثر الماء الذي يحتوي على نسبة عالية من المواد الصلبة العالقة على كفاءة استخدام نظم الري الحديثة مثل الري بالتنقيط حيث إن هذا الماء قد يسبب انسداد فتحات الري (المنقطات) ميكانيكياً مما ينتج عنه عدم انتظام توزيع الماء بالحقل، ولذلك يجب وضع معايير لهذه المواد في مياه الري واتخاذ طرق الإدارة السليمة لهذه المشكلة.

٦- المحتوى البكتيري

تم إدخال بعض المعايير الإرشادية إلى حدود تواجد البكتيريا في المياه المستخدمة في الري. ويمكن أن يكون العدد المسموح به أو المرغوب فيه من البكتيريا في ماء الري كما هو في الجدول (١،١٥).

الجدول (١،١٥). حدود تواجد البكتيريا في ماء الري. (نسيم، ٢٠٠٧ م).

المكون	الحد المسموح به	الحد المرغوب فيه
البكتريا الكلية Total bacteria المقطرة عند درجة ٢٠ م	١٠٠/١٠٠,٠٠٠ مل	١٠٠/١٠,٠٠٠ مل
البكتريا القولونية Faecal coliforms	١٠٠/١٠٠ مل	صفر/١٠٠ مل
البكتريا الممرضة Enterococci المقطرة عند درجة ٣٥ م	١٠٠/٢٠ مل	صفر/١٠٠ مل

دراسات المياه في مجملها لم تركز على نوعية وخواص مياه الري و يعزى ذلك إلى توفر كميات كبيرة من المياه الصالحة للري، ولكن في ظل نقص الموارد المائية

وتدني نوعيتها نتيجة للاستهلاك الهائل للمياه، أصبح الاهتمام بدراسة نوعية مياه الري مطلب أساسي خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة، وأجريت من أجل ذلك العديد من الدراسات والأبحاث لتقييم وتصنيف مياه الري من حيث الجودة. واعتمدت معظم هذه الدراسات على تقييم جودة مياه الري بالنسبة لمحتواها من الأملاح الكلية الذائبة والتركيب الأيوني لها ومخاطر بعض العناصر التي تسبب سمية للنبات.

وتقع المملكة العربية السعودية ضمن الدول الصحراوية شبه الجافة، والموارد المائية التي تعتمد عليها هي المياه الجوفية التي تتميز بصفة عامة باحتوائها على نسبة من الأملاح الذائبة التي تختلف في كميتها ونوعيتها حسب البيئة المحيطة بها من الطبقات الأرضية. وقد أدى الاستنزاف الهائل للمياه الجوفية إلى تفاقم مشكلة نقص مياه الري ورداءة نوعيتها في معظم المناطق الزراعية بالمملكة. لذلك أولت الجهات المختصة بالمياه أهمية بالغة من أجل المحافظة على ما تبقى من هذه المياه والحد من الاستمرار في استنزافها. ومن الجهود المبذولة في هذا المجال هو وضع السياسة المائية التي تنظم استعمالات المياه الجوفية وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة. وللأسف أهمل الجانب المتعلق بالمعايير الأساسية لتحديد صلاحية نوعية مياه الري.

وبصفة عامة هناك بعض الدراسات والأبحاث الخاصة بنوعية المياه الجوفية المستخدمة في الري في المملكة ولكن تعتبر هذه الدراسات قليلة مقارنة بحجم المشكلة. ولزيادة توفير المعلومات عن نوعية مياه الري في بعض مناطق المملكة اتجه بعض الباحثين إلى القيام بدراسات تعتبر إضافة علمية لما هو متوفر. ففي دراسة أجريت لمعرفة نوعية المياه الجوفية المستخدمة في الري في ثماني مناطق زراعية في المملكة وجد (فلاته وآخرون، ١٩٩٩م) إن هذه المياه عالية الملوحة جداً ولكنها منخفضة إلى متوسطة في

نسبة الصوديوم المدمص وحتوي كذلك على تراكيز منخفضة من بيكربونات الصوديوم المتبقية (RSC) إما قيم pH فتراوحت بين ٦.٤-٨.٤ وهذه القيم تقع ضمن الحدود المسموح بها في المياه الجوفية وفقاً لتصنيف منظمة الأغذية والزراعة (Ayers and Westcot, 1985). وفي دراسة لنعوية بعض المياه الجوفية المستخدمة في المنطقة الوسطى وجد (Al-Omran, 1987) إن معظم مياه الري الجوفية المستخدمة في هذه المنطقة هي مياه متوسطة إلى مرتفعة الملوحة وفقاً لتصنيف الأمريكي (Richards, 1954). وفي دراسة أخرى على نوعية المياه المستخدمة للري في بعض الحقول بالمنطقة الشرقية قام بها (Hussein and Sadiq, 1991) وجد أن تصنيف مياه الري على ضوء الملوحة وخطورة الصوديوم تقع تحت قسم $C_4 S_2$ وفقاً للتقسيم الأمريكي (Richards, 1954) كذلك وجد (Alaa El-Din et al., 1993) في دراسة لنوعية المياه في ٣٨٨ بئراً أن تركيز الأملاح الكلية الذائبة في مياه الري أعلى من الحد المسموح به (أقل من ٢٠٠٠ ملليجرام/لتر) في ١٩٪ من الآبار المدروسة وان حوالي ٧٪ من الآبار تحتوي على كميات من النترات تفوق الحدود المسموح بها في مياه الري (Ayers and Westcot, 1985). وفي دراسة لنوعية المياه الجوفية بمنطقة القصيم أجراها (Iqbal et al, 1996) على فترات مختلفة وعلى مدى خمس سنوات لاحظوا حدوث تغيرات في بعض الخواص الكيميائية للمياه المدروسة مثل الملوحة والصودية خلال فترات الدراسة ولم يذكروا السبب في هذا التغير. وفي دراسة تحليلية لخواص تكوينات المياه الجوفية في المملكة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٤م) وجدوا (Al-Jaloud and Hussien, 1992) أن هناك ارتباط قوي بين مجموع الأملاح الذائبة (TDS) و التوصيل الكهربائي (EC) و كانت قيمة التلازم ($r^2 = 0.99$) ولم يلاحظ أي ارتباط بين التوصيل الكهربائي و نسبة الصوديوم المدمص (SAR). وفي دراسة أخرى على نوعية مياه الري المستخدمة في المنطقة الوسطى من المملكة وجد (Mee, 1983) أن

المعادلة المستخدمة في العادة لتقدير الكمية الكلية للأملاح الذائبة ($TDS = 640 \times EC$) لا تنطبق على مياه الري الجوفية في المملكة ولذلك اقترح معادلة جديدة توضح العلاقة بين التوصيل الكهربائي و الكمية الكلية للأملاح الذائبة في مياه الري (فلاته وآخرون، ١٩٩٩ م). وعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$TDS = (EC \times 850) - 200 \dots\dots\dots (١,٣)$$

وفي دراسة مماثلة على نوعية مياه الري بمنطقة الخرج أجراها (Jahangir *et al.*, 1987) اقترحوا معادلة تختلف عن معادلة (Mee,1983) في حساب الكمية الكلية للأملاح الذائبة وهذه المعادلة هي :

$$TDS = (EC \times 823) - 63 \dots\dots\dots (١,٤)$$

وبصفة عامة فإن نتائج الدراسات السابقة تشير إلى أن هناك تدهوراً مستمراً في نوعية مياه الري المستخدمة في معظم المناطق الزراعية في المملكة مما يستلزم متابعة ذلك بإجراء دراسات دورية مستمرة.

(١,٦) توزيع الماء في الكرة الأرضية

ومن الواضح فإن الماء يمثل الركيزة الأساسية لجميع أنواع الكائنات الحية في أي منطقة ولقد سادت الحضارات بالمناطق التي توفرت فيها المياه مثل الحضارة بمصر أو العراق أو في بعض مناطق المملكة العربية السعودية. ويستخدم الماء في استخدامات أخرى مختلفة بالإضافة إلى الزراعة فكثير من الصناعات تعتمد على الماء والاستخدامات المنزلية بالإضافة إلى أنماط الترفيه المختلفة مثل السباحة وصيد الأسماك

والتجديف والمناظر الجميلة. ويمكن أن نلاحظ أهمية الماء في الترفيه بعد نزول الأمطار على ضواحي منطقة الرياض التي تسري فيها حياة مختلفة عند نزول الأمطار أو جريان السيول حولها. والماء هو أكثر مادة سائدة في الأراضي حيث يغطي أكثر من ثلثي سطح الكرة الأرضية من محيطات وبحار وبحيرات ويوضح الجدول (١,١٦) توزيع الماء في الكرة الأرضية.

الجدول رقم (١,١٦). توزيع الماء في الكرة الأرضية. (Lamb, 1985).

متوسط العمق	النسبة المئوية	١٠٠٠ كيلومتر مكعب	١٠٠٠ ميل مكعب	النوع (المكان)
١,٦ ميل	٩٧,٢	١٣٢٣٠٠٠	٣١٧٠٠٠	المحيطات
٨ بوصة	٠,٠٠٨	١٠٤	٢٥	البحار والبحيرات المالحة
١٩٦ قدم	٢,١٥	٣٠٥٠٠	٧٣٠٠	مياه الجبال الجليدية
٥٢ قدم	٠,٦١	٨٣٥٠	٢٠٠٠	المياه الجوفية
٥,١ بوصة	٠,٠٠٥	٦٧	١٦	مياه الرطوبة في التربة
٩,٦ بوصة	٠,٠٠٩	١٢٥	٣٠	مياه البحيرات العذبة
٠,١٣ بوصة	٠,٠٠٠١	١,٦٧	٠,٤	الأهوار
١ بوصة	٠,٠٠١	١٢,٩	٣,١	مياه الهواء
٢٨,٩ بوصة	٠,٠٢٨	٣٧٥	٩٠	المياه الأخرى (ملحية)
	%١٠٠	١٣٦٢٠٠٠	٣٢٦٠٠٠	المجموع

ومن الملاحظ أن كمية المياه العذبة قليلة جداً على المستوى العالمي ويمثل الشكل (١,٢) نسب نوعية المياه في الكرة الأرضية. تقسم المياه إلى مياه عذبة تقدر بحوالي ٥٪ من

المياه الكلية بالكرة الأرضية والباقي مياه مالحة. وأن ٢٠٪ من هذه المياه العذبة مياه سائلة والباقي متجمدة موجودة بالقطبين الشمالي والجنوبي حيث الاستفادة منها معدومة، كما أن أغلب المياه السائلة هي مياه جوفية موجودة في التكوينات المختلفة من باطن الأرض كما هي المياه في المملكة العربية السعودية والتي لا يوجد بها أنهار.



الشكل (١,٢). نسب أنواع المياه في الكرة الأرضية.

أسئلة (١,٧)

- س١: ماهي أهم مصادر مياه الري في المملكة العربية السعودية؟ وماهي كمية المياه المستخدمة حالياً في الزراعة وهل بالإمكان خفضها؟
- س٢: ما هي أهم وسائل ترشيد استخدام مياه الري ورفع كفاءة الري؟
- س٣: ارسم شكل يوضح توزيع الماء في الكرة الأرضية مبيناً النسب والانواع؟

(١،٨) المراجع

أولاً: المراجع العربية

الخطيب، عبد اللطيف بن علي، وأحمد محمد الجبر و علي محمد الجبر. ٢٠٠٦م. نخيل التمر في المملكة العربية السعودية. وزارة الزراعة، المملكة العربية السعودية.

الطخيس، علي سعد. ١٤١٧ هـ. "مشروع نظام مياه الصرف الصحي المتقاة وإعادة استخدامها". ندوة تقنيات معالجة مياه الصرف وإعادة استخدامها. قسم الهندسة المدنية، كية الهندسة، جامعة الملك سعود. الرياض.

عثمان، مصطفى نوري. ١٤٠١ هـ. الماء ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية. مطبوعات تهامة. الرياض.

العمران، عبد رب الرسول موسى، و عبد العزيز شتا، و عبد الرزاق فلاته، و عبد العزيز الحربي. ١٤٢٥ هـ. "استخدام المحسنات الصناعية و الطبيعية في ترشيد المياه بالمملكة العربية السعودية". التقرير النهائي أت-٢٠-٦٤. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية- الرياض.

العمران، عبد رب الرسول موسى. ١٤٢٩ هـ. الاحتياجات المائية للري و الترشيح. النشر العلمي و المطابع- جامعة الملك سعود- الرياض.

العمران، عبد رب الرسول موسى، و عبد الرزاق فلاته، و عبد العزيز الحربي، و محمد الوابل، و عبد العزيز شتا. ١٤٢٩ هـ. "إدارة الترب بالزراعة المكثفة في ترشيد المياه بالمملكة العربية السعودية". التقرير النهائي أت-٢٤-٤٧. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية- الرياض.

فلاته، عبد الرزاق محمد، و عبد رب الرسول العمران، و محمود السيد نديم، و مرسى مصطفى مرسى. ١٩٩٩م. "التركيب الكيماوي للمياه الجوفية المستخدمة للري في بعض المناطق الزراعية بالمملكة العربية السعودية". مجلة الإمارات للعلوم الزراعية. ١: ١١-٢٣.

نسيم، ماهر جورجي. ٢٠٠٧م. تحليل وتقويم جودة المياه. منشأة دار المعارف - الإسكندرية - جمهورية مصر العربية.

وزارة الزراعة و المياه. ١٩٨٤م. أطلس المياه في المملكة العربية السعودية. الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة. ١٤٢٠هـ. كتاب الإحصاء السنوي - إدارة الإحصاء - الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة. ١٤٢٧هـ. كتاب الإحصاء السنوي - إدارة الإحصاء - الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة الزراعة. ١٤٢٩هـ. كتاب الإحصاء السنوي - إدارة الإحصاء - الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة المياه و الكهرباء. ١٤٢٩هـ. التقرير السنوي. الرياض المملكة العربية السعودية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Abou-Khalid, A.; Chaudhry, S. A. and Abdelsalam, S. (1982). "Preliminary results of date palm irrigation experiment in central Iraq". *Date palm journal* 1(2):199-232

Alaa El-Din, M. N., Madany, I. M., Al-Tayaran, A., Al-Jubair, A. H. and Gomaa, A. (1993). *Quality of water from some wells in Saudi Arabia. Water, Air, and Soil Pollution* 66: 135-143.

Alazba, A.A. (2001). Theoretical estimate of palm water requirements using Penman-Monteith model. *ASAE Annual International Meeting. Paper No. 012100.*

Al-Jaloud, A. A. and Hussain, G. (1992). Water quality of different aquifers in Saudi Arabia and its predictive effects on soil properties *Arid Soil Res. and Rehabilitation. (7): 85-101.*

- Al-Omran, M. A. (1987). Evaluation of some irrigation water in central region of Saudi Arabia. *J. Coll. Agric. King Saud Univ.* (9): 363-369.
- .irrigation on squash (*Cucubita pepo*) yield and water use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. *Agricultural Water Managemet.* 73:43-55.
- Al-Omran, A.M., A.S. Sheta, A.M. Falatah, and A.R. Al-Harbi. (2005). Effect of drip irrigation on squash (*Cucubita pepo*) yield and water use efficiency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. *Agricultural Water Management*73:43-55
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture*, No 29. FAO. Roma.
- Doneen, L. D. (1954). Salination of soil by salts in the irrigation water. *Trans. Am. Geophysics Union.* 35(60):943-950.
- Dregne, H.E. (1969). Prediction of crop yield from quality of salinity of irrigation water. *New Mexco Agric. Exprt. Sta. Bull.* 543.
- Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonates in irrigation water. *Soil Sci.*69:123-133.
- Erskine, W. A.T. Moustafa, A.E. Osman, Z.Lashine A.Nejatian, T.Badawi, and S.M. Ragy. (2005). *Date palm in GCC countries of the Arabian Peninsula.* Internet Documents
- Hanson, B.R, and S.W. Kite. (1984). Irrigation scheduling under saline high water tables. *Transaction of ASCE* 27(5):1430-1434.
- Hillel, D. (2000). *Salinity management for sustainability irrigation: integrating science, environment, and economics.* World Bank, Washington, D.C. USA.
- Hussain, G. and Sadiq, M. (1991). Metal chemistry of irrigation and drainage waters of Al-Ahsa oasis of Saudi Arabia and its effects on soil properties. *Water, Air and Soil Pollution,* (57-58):.773-783.
- Iqbal, M. D., Jahangir, M. and Al-Shareef, A. S. (1996). Chemical characteristic of Saudi ground water, Al-Qassim. *Biol. J. Sci.* (4): 123-140.
- Jahangir, M., Al-Salam, S. A., Al-Mishal, M. I., Farug, I. M., Al-Zahrani, Y. and Al-Sharif, A. S. (1987). Chemical profiling of ground water of Al-Kharj, Saudi Arabia. *Pakistan. J. Sci. Ind. Res.,* 30(12): 9-13.
- Lamb, J.C. (1985). *Water quality and its control.* John Wiley & Son. New York, USA.
- Mee, J. M. (1983). Saudi ground water chemistry and significance. *Arab Gulf. J. Scient. Res.* 1(1):113-120.
- Oster, J. D. and Rhoades, J. D. (1977). Various indices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters, 1-14, in *Proceedings International Salinity Conference*, Texas Technical University, Lubbock. U.S.A.
- Oster, J. D. and Schroer, F. W. (1979). Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 444-447.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils.* USDA Agric. Handbook No. 60. Washington.

- Rowe, D. R. and I. M. Abdel-Magid. (1995). Handbook of Wastewater Reclamation and Reuse. CRC Press, Inc. 550pp.
- Tanji, K. K. (1990). Agriculture Salinity Assessment and Management. American Society of Civil Engineers. Manuals and Reports on Engineering Practice Number 71. 619pp.
- Wilcox, L.V. (1958). Water quality criteria. In Doneen, L.O. Ed. Quality of water for irrigation. University of California. Water resources Center. 14:40-45.
- Zaid, A. (2002). Date palm cultivation. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.

خواص الماء

(٢,١) الخواص الفيزيائية للماء

ومن أهم الخواص الفيزيائية في مجال المياه

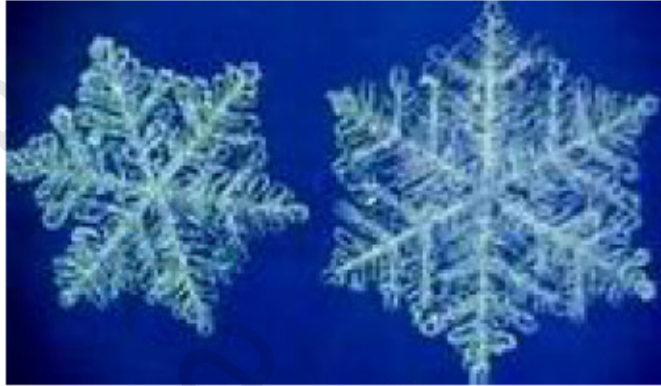
(٢,١,١) التركيب الجزيئي للماء

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 $104 - 105^\circ$.

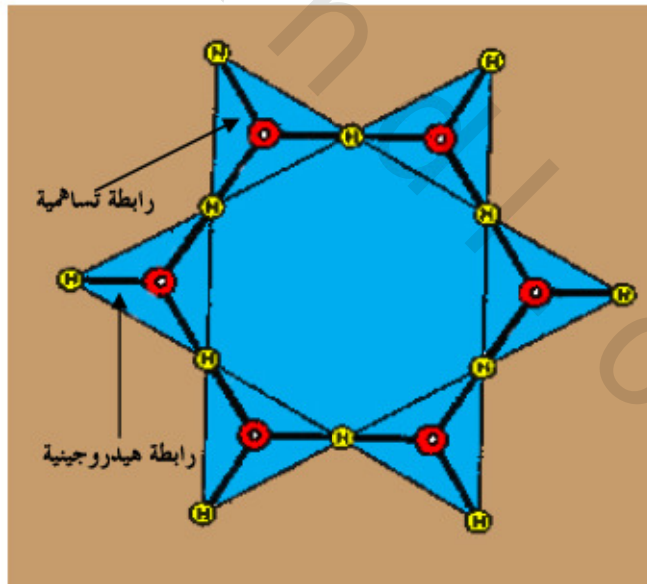
يتركب جزيء الماء من ذرة أكسجين وذرتين هيدروجين حيث تشغل ذرة الأكسجين الحيز الأكبر من جزيء الماء ويبلغ قطر جزيء الماء حوالي 2.69 إنجستروم، والإنجستروم ($A = 10^{-8} \text{ cm}$). ويرتبط الهيدروجين مع الأكسجين برابطة تشاركية قوية ويشكلان زاوية مقدارها 105 درجة ويوضح الشكل رقم (٢,١) هذه الرابطة.

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

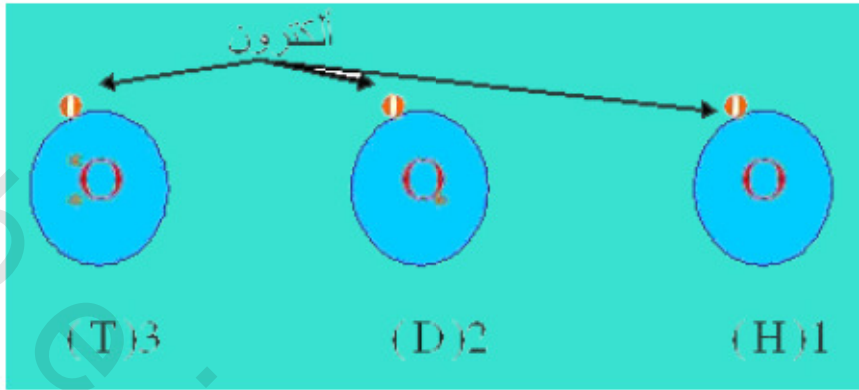
الموجب لجزيئة الماء ينجذب بقوة إلى القطب السالب لجزيئة ماء أخرى وتسمى هذه الرابطة بالرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond . وتكون هذه الجزيئات شكلاً منتظماً بصورة بناء سداسي Hexagonal (الصورة ٢،١ والشكل رقم ٢،٢). ويتميز بشكل واضح في حالة الجليد (الحالة الصلبة للماء).



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 لتكوين 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).

١٠٠	٥٠	٢٠	١٠	صفر	درجة الحرارة م°
٧٦٠	٩٢,٥	١٧,٥	٩,٢	٤,٦	الضغط البخاري ملم زئبق

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 التتح من النباتات على زيادة رطوبة الجو.

(٢, ١, ٤) درجة تجمد الماء والانصهار

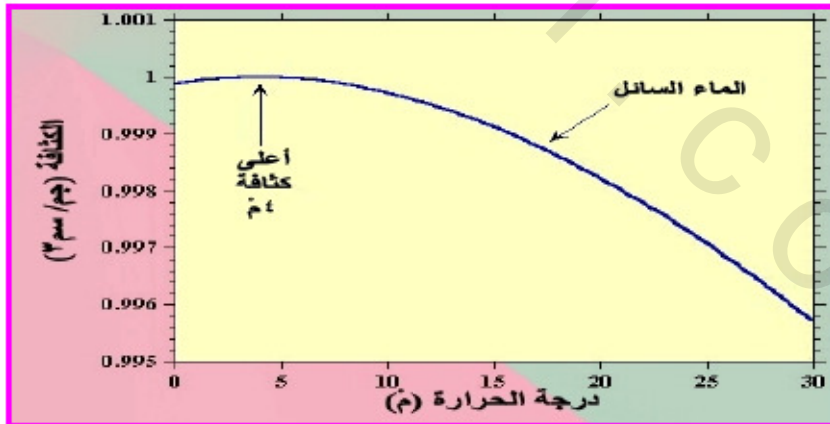
يطلق على درجة الحرارة التي تتحول فيها مادة سائلة إلى مادة صلبة " درجة التجمد" وعلى درجة الحرارة التي تتحول فيها المادة الصلبة إلى سائلة " درجة الانصهار". وتعتبر كل من درجة حرارة التجمد والانصهار شيئاً واحداً بالنسبة للمواد المتبلورة ولكنهما يختلفان قليلاً في بعض الحالات التي تكون فيها المادة الصلبة غير 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°.

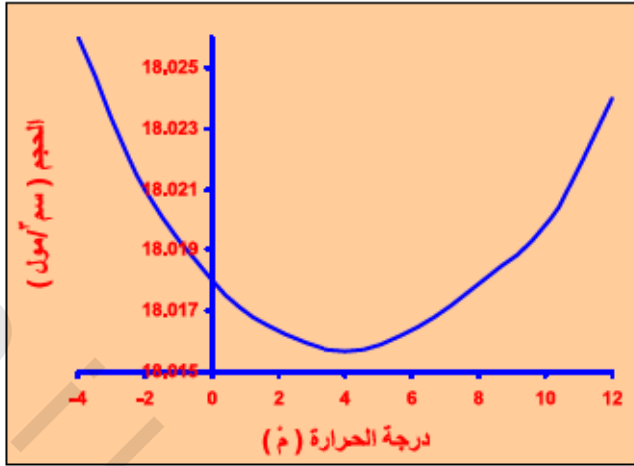
(٢, ١, ٥) الوزن النوعي أو الكثافة

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 فتحتل 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 والحفريات، 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 بوحدات البوايز Poise (جم/سم.ث) أو (داين.ث/سم^٢) وتتوقف لزوجة الماء على درجة الحرارة (الجدول ٢,٣).

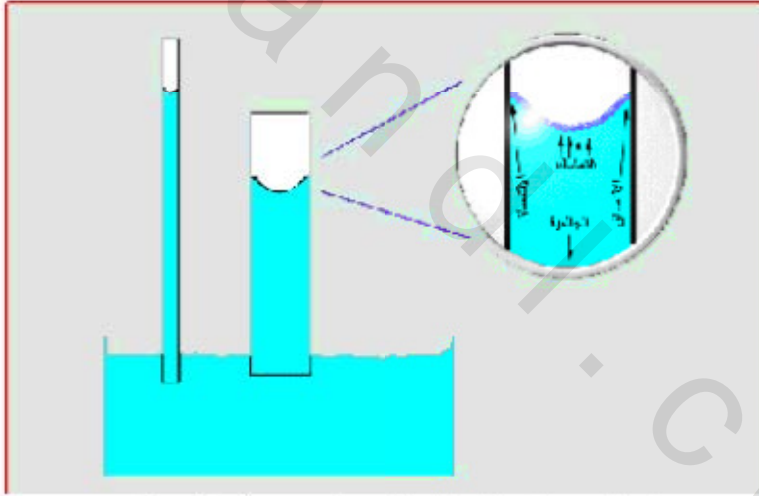
الجدول (٢,٣). تأثير درجة الحرارة على اللزوجة. (Hillel, 1971).

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 الانحناء 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^٢.

ρ_w = كثافة الماء جم / سم^٣.

وبفرض أن الزاوية θ تساوي صفر فإن:

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

وعند فرض أن التوتر السطحي ٧٥ جم / ث^٢ وكثافة الماء ١ جم / سم^٣

والجاذبية ١٠٠٠ سم / ث^٢ 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° م.

(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) والدبال 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 طبيعة حمضية أو قلوية المحلول ، ويؤثر على مياه الشرب ومياه المجاري. ويمكن إيجاد الرقم الهيدروجيني باستخدام المعادلة.

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

حيث

$$pH = \text{الرقم الهيدروجيني.}$$

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

ويمكن الرجوع إلى الجزء العملي لمزيد من التفاصيل وكيفية قياس رقم

الحموضة pH.

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

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 :

$$I = E/R \dots\dots\dots (٢,٨)$$

حيث :

$$E = \text{فرق الجهد بالفولت}$$

$$I = \text{التيار الكهربائي أمبير}$$

$$R = \text{المقاومة الكهربائية أوم}$$

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).

وبزيادة 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.

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

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 الكهربائي لمحلول كلوريد البوتاسيوم KCl عند ٢٥ م. (Richards, 1954).

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

فتصبح معادلة التوصيل الكهربائي

$$K = A/d = EC_s R_s \quad (٢, ١٢)$$

حيث: EC_s التوصيل الكهربائي للمحلول القياسي (ملليموز/سم)، R_s المقاومة المقاسة للمحلول القياسي (ملي أوم). وبالتالي فإن التوصيل الكهربائي 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 الكهربائي حساسة لدرجات الحرارة نتيجة قدرة الأيونات على الحركة في المحلول عند درجات حرارة ١٥ - ٣٥ م فكل زيادة في درجات الحرارة يزيد من التوصيل الكهربائي بمقدار ٢٪ وعليه فعند درجة حرارة ١٨ م لمحلول ذو توصيل كهربائي يساوي $٠,٨٦٢ \times ١٠^{-٣}$ ملليموز/سم فيرتفع التوصيل إلى $١,٠ \times ١٠^{-٣}$ ملليموز/سم عند ٢٥ م.

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

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

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

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

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

حيث :

T = درجة الحرارة وقت القياس .

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

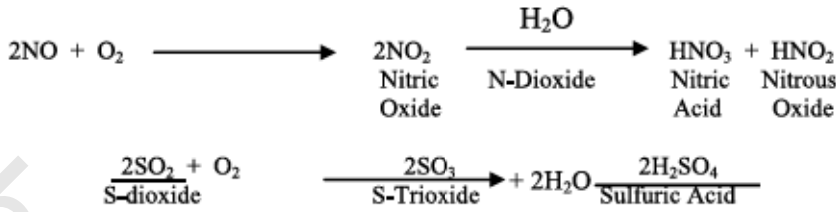
EC_T = التوصيل الكهربائي عند درجة حرارة القياس .

f_t = ثابت التغير في درجة الحرارة عن 25° .

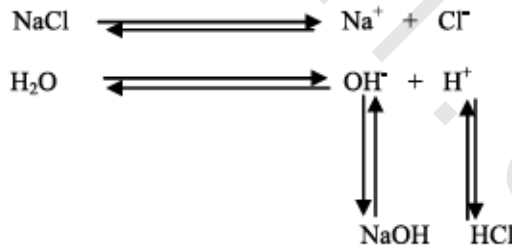
كما يمكن أن يعبر عن الملوحة بمصطلحات أخرى مثل الكمية الكلية الذائبة (TDS) ووحداتها ملليجرام/لتر أو بوحدات الجهد أو الضغط الجوي ، ويمكن الرجوع للجزء العملي للمزيد من الإيضاح .

(٢, ٢, ٣) الماء كمذيب

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، فالأمر 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 مذيئاً 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) الأوكسجين الذائب (Dissolved Oxygen (DO)

الأوكسجين 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 الأوكسجين 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:

$$C_g = \text{درجة تركيز الغاز في حجم الغاز (جم / م}^3\text{)}.$$

$$P_g = \text{الضغط الجزئي للغاز في حجم الغاز (باسكال = نيوتن / م}^2\text{)} = X_g \times K_H.$$

$$MW = \text{عدد مولات الغاز.}$$

$$K_H = \text{ثابت هنري.}$$

$$X_g = \text{جزء مول الغاز وتساوي "حيث":}$$

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

$$n_g = \text{عدد مولات الغاز.}$$

$$n_w = \text{عدد مولات الماء.}$$

$$R_u = \text{الثابت العالمي للغاز} = ٨,٣١٤٣ \text{ جول / الكلفن} \times \text{مول}$$

$T =$ درجة الحرارة المطلقة (كلفن k)

درجة تركيز الغاز عند التشبع (C_s) من المعادلة:

$$C_s = K_D \times C_g$$

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 (مم).

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

الجدول (٢,٥) درجات الحرارة وضغط بخار الماء. (أحمد، ١٩٩٥ م)

درجة الحرارة م°	كيلو باسكال	ملم زئبق
صفر	٠,٦١١	٤,٥٨
٥	٠,٨٧٢	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 ٢٠°م وضغط جوي ٧١٠ ملمم زئبق علماً بأن درجة تركيز الأوكسجين ٨,٦

ملجم / لتر.

الحل:

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

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

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

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

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.

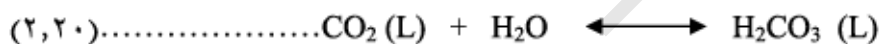
(٢, ٢, ٦) توازن ثاني أكسيد الكربون و الماء CO_2 in H_2O Equilibrium

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



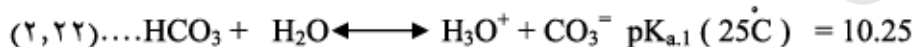
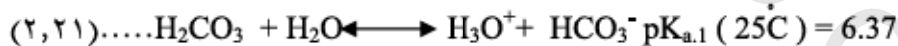
حيث ترمز (g) للغاز، (L) للسائل .

ومن ثم يتفاعل الماء وثاني أكسيد الكربون:

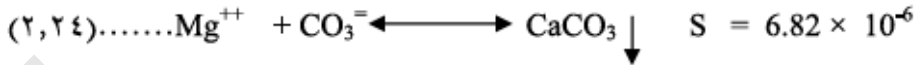


وقيم (pK) اللوغاريتم السالب لقيمة ثابت التفاعل لحمض الكربونيك ($\text{pK}_{a,1}$)

(1.46 = نتيجة التوازن مع ثاني أكسيد الكربون السائل $(\text{CO}_2)_L$)

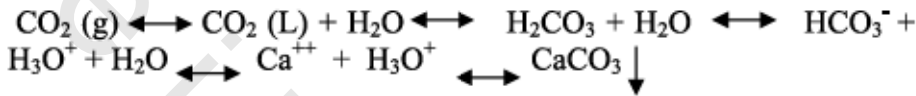


إن الكربونات CO_3^{2-} ومع وجود عناصر كل من الكالسيوم والمغنسيوم في الماء قد تنتج كربونات كالسيوم أو مغنسيوم



حيث S ثابت الذوبانية.

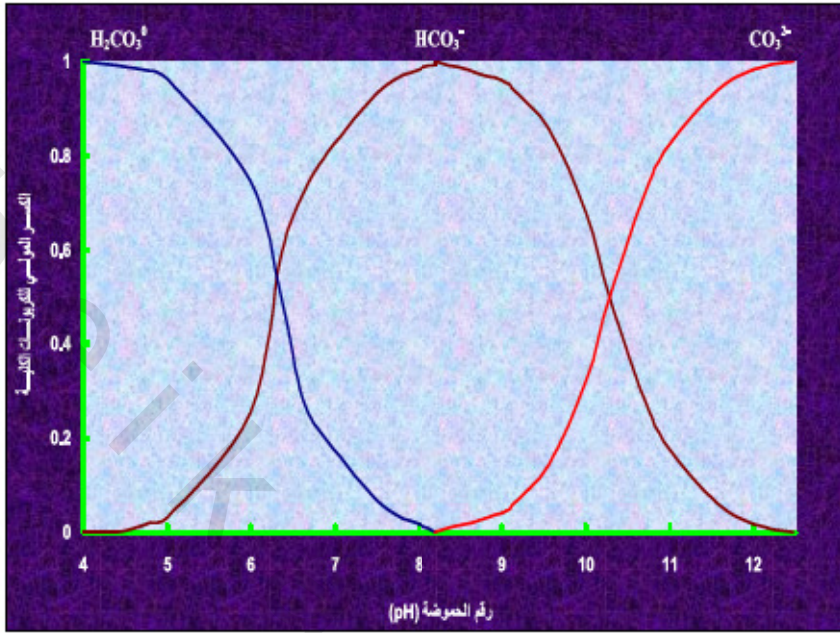
ويختصر ذلك من خلال المعادلة التالية :



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 (البيكربونات 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.

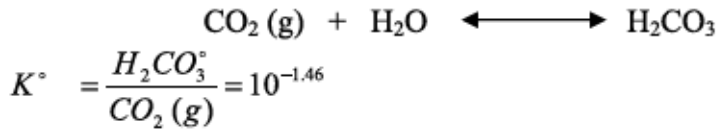
يوضح الشكل (٢,٦) مصادر ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وعلاقتها بقيم تراكيز الهيدروجين (pH).



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:



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

$$\text{Log } H_2CO_3^\circ = -1.46 + \text{Log } CO_2(\text{g})$$

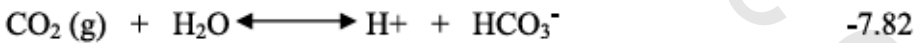
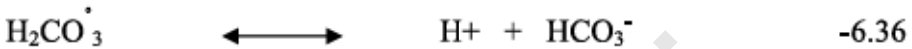
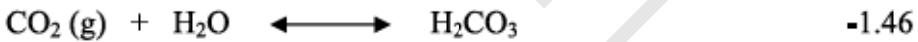


بأخذ اللوغاريتم يكون :

$$-6.36 = -\text{pH} + \text{Log} \frac{(HCO_3^-)}{(H_2CO_3^\circ)}$$

$$\text{pH} = 6.36$$

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) $\log K^\circ$



$$K^\circ = \frac{(H)(HCO_3^-)}{(CO_2(\text{g}))} = 10^{-7.82}$$

بأخذ اللوغاريتم تصبح :

$$-7.82 = -\text{pH} + \text{Log}(HCO_3^-) - \text{Log } CO_2$$

وكذلك HCO_3^- تتفكك 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. وبجمع المعادلتين السابقتين:

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



بأخذ 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 :

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

السالب P = اللوغاريتم.

C_{CO_2} = 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 H_2CO_3 و HCO_3^- 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_{CO_2} 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

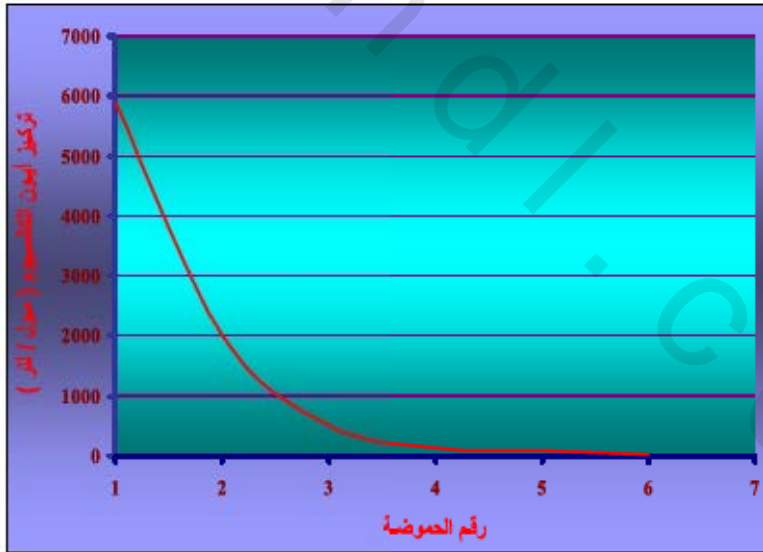
(٢,٢,٧,١) تقدير ذوبانية $CaCO_3$ من P_{CO_2} ودرجة الحرارة

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 لانجلر للتشبع (٢,٢,٨)

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

$$(٢,٢٧).....SI = pH_a - pH_c$$

حيث :

$$pH_a = \text{القيمة المقاسة لقيم } pH$$

$$pH_c = \text{القيمة المحسوبة لقيم } pH$$

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

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

$$pAlk = \text{اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية مول / لتر.}$$

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

(Ayers and Westcot, 1985).

الجدول (٢,٦). حساب قيم pHc.

p(Alk)	p(Ca + Mg)	$pK_2 - pK_c$	مجموع التراكيز مليمكافى/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

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

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

$$pH = 3.9 + 1.76 = 5.66$$

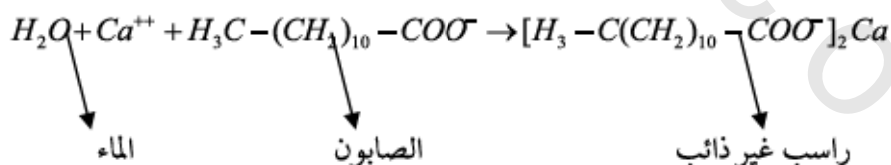
وفي الحالة الثانية فأن:

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

(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



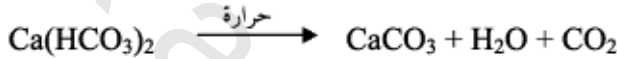
وتقع المشكلة في المنازل باستخدام هذه النوعية من الماء في السخانات أو الغلايات حيث يترسب كل من $MgCO_3$ أو $CaCO_3$ داخل الغلايات والسخانات مما

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 المعمل (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 ، ١٩٩٥ م) :

- 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 والخصائص.

مثال (٣)

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

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

المطلوب :

- (أ) حول التراكيز المعطاة إلى ملليمكافئ / لتر.
 (ب) إذا قبل الخطأ تجربة 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

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

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

$$\text{ج) العسر الكلي} = ((24/100) \times 55.2) + (40/100) \times 207.6 + ((87.62/100) \times 26.2) + 30 + 230 + 519 = 779 \text{ ملجم } \text{CaCO}_3 / \text{لتر}$$

$$\text{أو العسر الكلي} = 50 \times (0.6 + 4.6 + 10.38) = 779 \text{ ملجم } \text{CaCO}_3 / \text{لتر}$$

$$\text{العسر الكربوني} = 50 \times 3.67 = 183.5 \text{ ملجم } \text{CaCO}_3 / \text{لتر}$$

$$\text{العسر الغير كربوني} = 183.5 - 779 = 595.5 \text{ ملجم } \text{CaCO}_3 / \text{لتر}$$

د) الاتحادات الكيميائية المحتملة وجودها:

HCO ₃ ⁻ 3.67	SO ₄ ⁼ 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* وتخمير الخل بمساعدة بكتريا حمض الخليك، وصناعة الجبن والزبد بمساعدة بكتيريا الحمض اللبني والعصيات اللبنية (عصيات اللاكتوز) *Lactobacilli*.

- الصناعات الكيمائية كما في صناعة الأسيتون والبيتانول بواسطة المطثية اسيتوبوتيليكم *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 الكيمائية كالهرمونات والمضادات الحيوية. وأيضاً إنتاج البنسلين بواسطة أنواع البنسليوم *Penicillium spp.* وتخمير الأستربتوميسين Streptomycin بواسطة الأستربتوميسين ابروفاسينس والأستربتوميسين ريموزس *S. aureofaciens, S. rimousus.*

- 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 البكتيريولوجية 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 المصنوع 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 عالمياً 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، ١٩٩٥ م)

(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 والرممد الصيدي) والدوسنتاريا الأميبية والباراتيْفود والإنكلستوما.

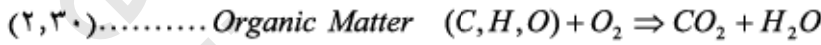
(ج) الأمراض المتمركزة في الماء Water-based diseases : جزء من حياة الميكروب ونقل المرض يأخذ مجراه في حيوان مائي لحين ملامسته جلد الإنسان أو ولوجه من خلال العين والأنف والأذن وفتحات المخارج. مثال لهذه الأمراض: البلهارسيا والدودة الشريطية.

(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 بعض 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 للأكسجين

Biochemical Oxygen Demand (BOD)

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



(٢,٣,٢) تعريف الاحتياج الكيميائي للأكسجين

(COD) Chemical Oxygen Demand

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

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

المتطلب للأكسجين يقصد به كمية الأكسجين المطلوبة لأكسدة المواد العضوية. واحتياجات الأكسجين يمكن أن يحسب من:

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

Biological Oxygen Demand

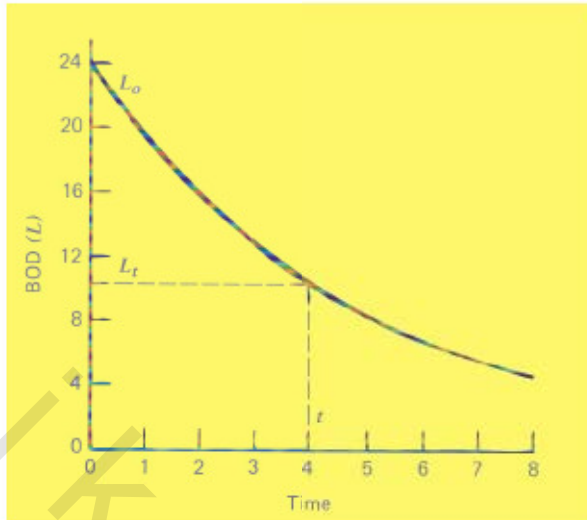
وهو مقياس لدرجة التلوث بالمواد العضوية الموجودة في الماء.

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

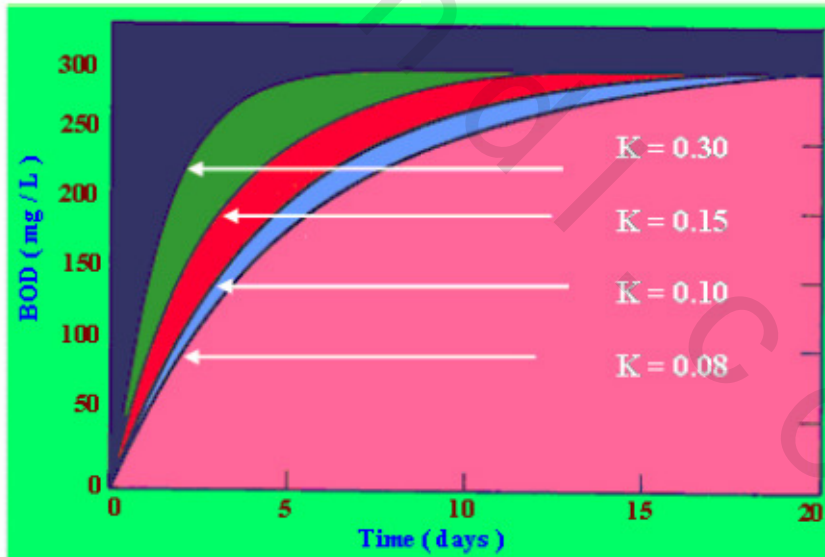
وهي أكسدة كيميائية لعينة ما باستخدام حمض الكبريتيك H_2SO_4 وثنائي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$.

BOD وهو المعيار لقياس كمية الأكسجين المستهلك بواسطة الكائنات الحية

الدقيقة عند أكسدتها الهوائية للمواد العضوية (الشكلان ٢,٨ ، ٢,٩).



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



الشكل (٢,٩). تأثير قيمة ثابت التفاعل (K) على الاحتياج الحيوي للأوكسجين 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 .

وبتكامل 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 كالاتي :

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

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

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

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

$$\therefore BOD_5^{20} = L_0 (1 - 10^{-K_1 \times t})$$

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

$$= L_0(1-0.368)$$

$$200 = L_0(0.632)$$

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

$$(T-20)$$

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

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

$$= .868 \times 1.2581$$

$$= 0.1092$$

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

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

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

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

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

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

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

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

(٢, ٤) أسئلة

س١: إذا كانت قيم التوصيل الكهربائي لمستخلص تربة EC_e تساوي ٢.٤

ملليموز/سم عند درجة ٢٥م، فإذا كان معامل الخلية ٠.٩ فما هي قيمة

المقاومة بالأوم.

س٢: إن معرفة خصائص المياه هامة جداً لعدد من الاسباب اذكرها؟

س٣: أرسم العلاقة بين تركيز CO_2 وتركيز pH.

س٤: 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

س٥: 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:

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

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

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 و الحمض؟.

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.
 الصالحي، 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.

المياه والتلوث البيئي

(٣, ١) تلوث المياه

Water Pollution

الماء ذلك العنصر الحيوي الذي يعتبر أساس الحياة على كوكب الأرض. فحاجة الكائن الحي إليه ملحة واستمراريته وبقائه مرتبطة بتوفر الماء ونقاوته. كان البشر قديماً يكنون تقديراً واحتراماً خاصاً للماء وعبروا عن ذلك بالمحافظة عليه نقياً طاهراً. ويذكر أن تلوث المياه كان ممنوعاً ولم يكن مسموحاً للإنسان حتى أن يغسل يده في مياه النهر وذلك حفاظاً على قدسيته، وفرضت عقوبات صارمة على من يلوث المياه قديماً، ولكن للأسف نلاحظ أن الماء فقد في هذا العصر احترامه وتقديسه كمصدر طبيعي غالي الثمن ولا يمكن الاستغناء عنه. إن المجتمع البشري في العصر الراهن لم يحسن التعامل مع هذا العنصر الصغير في حجمه والكبير في مفهومه وأهميته مما أدى إلى تدهور وتلوث معظم المصادر المائية (الصورتان ٣.١ - ٣.٢).

يعتبر الإنسان الملوث الأول للبيئة بصفة عامة وللمياه بصفة خاصة وذلك بسبب تفاقم نشاط الإنسان في مجال الصناعة والزراعة والتعدين... إلخ. لاسيما في المناطق المجاورة لمصادر المياه، وأدى ذلك إلى حدوث تغير واضح في الخواص الفيزيائية والكيميائية والحيوية للمياه نتيجة لزيادة تركيز العديد من الملوثات في هذه المياه، لذلك

بدأت أعراض تلك الملوثات تدق ناقوس الخطر المتمثل في تدهور إنتاج البحار والمحيطات والأنهار، وموت الكائنات الحية خصوصاً بالمناطق الساحلية وأصبحت المياه السطحية في العديد من المناطق غير صالحة للاستهلاك البشري والبعض منها أصبح بيئة غير ملائمة لنمو وتكاثر الأحياء المائية (الصورتان ٣.٣-٣.٤).



الصورة (٣,١). صورة جوية لموقع صب المياه الملوثة.



الصورة (٣,٢). البحيرة المتكونة من صب المياه الملوثة .



الصورة (٣,٣) . مكب تفريغ المياه الملوثة.



الصورة (٣,٤) . الجريان السطحي للمياه الملوثة.

والأمثلة على الأنهار الملوثة كثيرة منها على سبيل المثال نهر الراين الذي يعبر ألمانيا وهولندا أطلق عليه مجازاً اسم "مجارى أوروبا" وهذا الاسم يعبر عن حالة التلوث الشديد لمياه هذا النهر.

نهر التيمس الذي يخترق مدينة لندن درج سكان المدينة على إلقاء كل مخلفاتهم التي تحتوي على فضلات الإنسان والصناعة وغيرها في النهر وبمرور الوقت تحول هذا النهر إلى كتلة قذرة وأصبحت مياهه في منتصف القرن التاسع عشر شديدة التلوث وتطفو على سطحه كل أنواع الفضلات والمخلفات.

وكذلك الحال بالنسبة للأنهار التي تمر في الدول العربية مثل نهر النيل، دجلة والفرات كلها كانت والبعض منها لازال ملوث بمختلف النفايات الممرضة والقاتلة.

ولا يقتصر التلوث على الأنهار والبحيرات فقط، بل امتد هذا التلوث اليوم إلى مياه البحار والمحيطات رغم اتساع رقعتها ويلاحظ التلوث بوضوح حول المناطق الصناعية المقامة على شواطئ البحار، والموانئ التي تنكدس بها مختلف أنواع السفن والناقلات ومن الأمثلة على البحار الملوثة نأخذ البحر الأبيض المتوسط الذي يستقبل مخلفات ١٢٠ مدينة تقع على سواحل هذه المدن بمخلفات سكانها ومصانعها في هذا البحر. وكذلك الحال بالنسبة للبحر الأحمر الذي يعتبر شبه بحيرة مغلقة والخليج العربي ونفوق الأسماك على سواحل دول الخليج مثل الكويت كل هذه البحار ملوثة بمختلف الملوثات ومن مصادر مختلفة. والمحيطات لا تقل سوءاً عن الأنهار والبحار من حيث درجة التلوث.

(٢، ٣) تعريف تلوث المياه

توجد عدة مفاهيم لتعريف تلوث المياه ويعزى هذا الكم الهائل من التعاريف إلى كثرة المهتمين بتلوث المياه في الآونة الأخيرة. من هذه التعاريف نذكر الآتي:

١- تلوث المياه هو: عبارة عن الاختلال أو الإخلال في التوازن الطبيعي

للبيئة المائية بشكل يؤثر في حياة الأحياء المائية.

٢- تلوث المياه هو: كل تغير في الصفات الطبيعية والكيميائية أو الحيوية للماء مما يجعله مصدراً للإضرار بالاستعمالات المعتادة للإنسان والحيوان والنباتات والأحياء الدقيقة.

٣- تلوث المياه هو: كل ما يحدث تغير في تركيب الماء Water Composition أو حالة الماء Water Condition بحيث يصبح الماء أقل صلاحية لكل أو بعض الوظائف التي يقوم بها الماء عندما يكون في حالته الطبيعية (Helmer and Hespahol, 1997).

(٣, ٣) أثر المياه في البيئة

تقوم المياه بتأثيرات مختلفة على الأرض فهي تفتت الصخور وتذيب بعض المكونات وتنقل التربة والطين وتعري بعض المناطق (تعرية) وتجري بالأنهار والبحيرات وفي بعض الحالات تكون شديدة الخطر خصوصاً في حالة الفيضانات. وتعتبر الأمطار عاملاً رئيساً من عوامل التعرية وتؤثر بشكل واضح على سطح التربة عن طريق الفعل الميكانيكي (التعرية) والنواتج عن التفتت والنقل والترسيب أو حركة الماء فوق سطح التربة، أما العامل الآخر فهو الفعل الكيميائي (التجوية) حيث تتفاعل المياه مع بعض مكونات سطح التربة.

(٣, ٤) طرق تلوث المياه

(٣, ٤, ١) تلوث المياه من الحوادث الطبيعية

تذيب الأمطار أثناء سقوطها بعض الغازات أو الشوائب الموجودة في الهواء مثل الأكسجين والنيتروجين وثنائي أكسيد الكربون وقد تصل نسبته في بعض المناطق في ماء المطر إلى ٣٠ أو ١٠ مرات نسبته في الهواء.

وقد تحتوي مياه الأمطار على بعض الغازات الأخرى الذائبة مثل أكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت وهي أكاسيد حمضية أي أنها تكون أحماضاً مع الماء ولذلك تعرف الأمطار المحملة بهذه الأكاسيد بأنها أمطار حمضية وهي تسبب كثيراً من الأضرار والمشاكل البيئية كما حدث في مناطق الشمال الأمريكي لوجود المصانع الكبيرة والتي تنتج ثاني أكسيد الكربون والتي تنتج عن الإفراط في حرق مختلف أنواع الوقود مثل الفحم والبتروول في المراكز الصناعية هذه.

وينتج عن حرق هذه الكميات الهائلة من الوقود المستخدم وخاصة في المصانع تكون كميات كبيرة جداً من الغازات الحمضية الضارة مثل ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين وبعض أكاسيد النيتروجين أو بعض آثار من الفلزات السامة مثل الكاديوم الذي يتطاير مع الرماد الذي تحمله غازات الاحتراق الذي ينتشر في الجو.

وتتفاعل هذه الغازات مع بخار الماء الموجود في الهواء وفي وجود الأكسجين لتعطي أحماضاً قوية فيتحول غاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين إلى حمض الكبريتيك وتتحول أكاسيد النيتروجين إلى حمض النتريك.

وفي حالة الجفاف فإن الأحماض الناتجة تنتشر في الهواء على هيئة رذاذ دقيق وتسقط في الجو الرطب على هيئة أمطار حمضية على أحواض المياه أو التربة.

وللأمطار الحمضية آثار ضارة فهي تتفاعل مع بعض المكونات القلوية بالتربة وتغير تركيبها فتقلل بذلك صلاحية التربة للزراعة ، وقد تفتت بعض الصخور وقد تسبب في إذابة بعض المركبات الهامة لنمو النباتات وتحملها معها بعيداً عن منطقة الجذور مثل أملاح الكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم.

كذلك تؤدي الأمطار الحمضية إلى تغير في طبيعة البحيرات أو المياه المغفلة مما قد يؤثر على مكوناتها الفطرية من نباتات وحيوانات ومن أشهر الأمثلة على ذلك هي

بحيرة إنتريو بكندا حيث تحولت من مياه معتدلة إلى مياه حمضية نتيجة لسقوط الأمطار الحمضية باستمرار مما أثر على أغلب الكائنات الحية بها.

وتعاني دول مثل أمريكا وألمانيا والسويد من مشاكل الأمطار الحمضية ففي السويد تحولت ٢٠٪ من بحيراتها إلى بحيرات حمضية (غرايه و الفرخان ، ١٩٨٧م).

كذلك قد تؤثر الأمطار الحمضية على مياه الشرب فهي ترفع من نسبة حموضة المياه في خزانات السدود وتؤدي إلى صدأ كثير من المعدات المستعملة في السدود كما أنها قد ترفع من نسبة الفلزات الثقيلة في المجاري المائية التي تؤخذ منها مياه الشرب نتيجة لإذابتها لبعض من هذه الفلزات من سطح التربة.

• تؤثر المياه الحمضية على المباني. ويمكن مشاهدة ذلك في المباني بمدينة لندن حيث تأكلت بعض أحجار المباني.

• لا يمكن الاستهانة بكميات الغازات الحمضية المتصاعدة من المصانع حيث من المتوقع أن تصل في شرق كندا فقط إلى أكثر ٨ طن/هكتار في العام (Canada Annual Report, 2002) جملها من غازات SO_2 و NO_x . ولقد وصلت حموضة المياه (pH) في الأنهار في المنطقة إلى حوالي ٥.٤.

• ولقد تم التركيز على غاز ثاني أكسيد الكبريت SO_2 لتأثيره السيء في تكوين الأمطار الحمضية فإن مياه الأمطار تقوم بتفكيك الصخور النارية الصلبة تدريجياً وتحولها إلى تربة زراعية وتحت هذه الظروف وفترات طويلة جداً لتكوين التربة والتي من عناصر تكوينها هي : المادة الصلبة- الزمن- الطبوغرافية- المناخ- الأحياء.

(٢، ٤، ٣) الفعل الميكانيكي للماء "الانجراف"

يتم الانجراف بعمليات ثلاث رئيسة وهي التفكيك والنقل والترسيب. وهناك أنواع مختلفة للانجراف المائي بالنسبة للتربة فقد يكون طبقي -أخدودي -خندقي.

ويتسبب تحرك مياه الأمطار الغزيرة على هيئة سيول في نقل التربة من محل إلى آخر مما يقلل من صلابة التربة للزراعة والتي تحمل معها الطبقة الغنية من التربة إلى الجداول والأنهار والبحيرات والبحار، كما أن وجود النباتات في المنطقة يقلل من الفعل الميكانيكي للمياه ولهذا فإن قطع أشجار الغابات يتسبب في زيادة الانجراف المائي للطبقة السطحية للتربة. وتؤدي السيول الناتجة عن الأمطار الغزيرة إلى أضرار أخرى في بعض الأحيان فقد تسبب هذه السيول في تفتيت الصخور وتنقل معها الفتات بكميات كبيرة تدمر كل شيء في طريقها، وقد تسبب السيول في انهيارات جبلية تحمل معها المنشآت القائمة في المنطقة.

لا يقتصر تلوث المياه على المياه الناتجة من الأمطار فلقد بلغ التلوث إلى مياه المحيطات والبحار والأنهار في الطبقات السطحية وفي كثير من الأحيان إلى أعماق هذه المياه، وهناك مصادر متعددة لتلوث الماء، فالماء قد يتلوث بمياه الصرف الصحي التي قد تختلط به بسبب من الأسباب وقد يتلوث الماء بمخلفات البترول التي تلقيها الناقلات وقد يتلوث بالمخصبات الزراعية أو المبيدات الزراعية أو المواد الكيميائية التي تحذفها المصانع.

(٣, ٤, ٣) تلوث الماء بمياه الصرف الصحي

تتكون مياه الصرف الصحي من خليط من أنواع المياه فهي تتكون من مياه دورات المياه بالمنازل أو المتاجر أو المصانع الصغيرة القريبة من شبكات الصرف الصحي ومياه الأمطار، عند إلقاء مياه الصرف الصحي في المجاري أو الأسطح المائية مثل الخليج العربي أو البحر الأحمر فإنها تجعل هذه المجاري غير صالحة للحياة لكثير من الكائنات الحية لأن مياه الصرف الصحي تحمل معها كثير من المواد الضارة والتي تؤثر

تأثيراً بالغ الضرر على الأسماك وعلى غيرها من الكائنات كما أنها غير صالحة للاستخدامات الأخرى.

تستهلك المواد العضوية الموجودة بالمياه "الصرف الصحي" قدراً كبيراً من الأكسجين الذائب في المياه "الأنهار والبحيرات" وإذا قلت نسبة الأكسجين الذائب في الماء عن ٥ جزء بالمليون فإن المياه تصبح غير صالحة للكائنات الحية و عادة ما تحتويه المياه من الأكسجين الذائب بين ١٨-٠ جزء بالمليون (Lamb, 1985). يجب أن تكون نسبة مياه الصرف الصحي إلى المياه ٧٠: ١ والمعالجة ٤٠: ١ ولذا يمكن معالجة مياه الصرف الصحي معالجة أولية قبل رميها في البحار ومراعاة بعدها من الساحل وعمقها والاحتياطات الأخرى، عند إلقاء مياه الصرف الصحي في المناطق الصحراوية والبعيدة عن العمران فيجب أن يراعى ألا تختلط هذه المياه بالمياه الجوفية حتى لا يتسبب ذلك في تلوث المياه الجوفية ويفضل دائماً معالجة مياه الصرف الصحي قبل إلقائها في البحار أو في الصحراء تجنباً لحدوث التلوث (السعدي، ٢٠٠٦م).

(٣, ٤, ٤) تلوث المياه بمخلفات البترول

ظاهرة تلوث مياه البحار والمحيطات بزيوت البترول ظاهرة ظهرت مع استخدام البترول ونقله عبر المحيطات والبحار، يمكن ملاحظة هذه الظاهرة في مناطق كثيرة من العالم سواء في منتصف البحار أو عندما يحركها الموج من على السواحل، هناك عدة أسباب لتلوث المياه بمخلفات البترول منها:

- الحوادث التي تقع في بعض آبار البترول البحرية.
- الحوادث التي تقع بين الناقلات.
- الحوادث التي تقع نتيجة تسرب البترول على الشواطئ.
- حوادث التلوث البترولي نتيجة الحروب في منطقة الخليج العربي.

عادة ما يكون الزيت المتدفق بقعة كبيرة تطفو فوق السطح وتبدأ البقعة بالانتشار تدريجياً لتغطي مساحة كبيرة من الماء، تتصاعد أبخرة من البقعة تلوث هواء المنطقة، يتكون مستحلب من الزيت وماء البحر يؤدي إلى تلوث جزء من مياه البحر العميقة. ويقوم المستحلب بامتصاص كثير من المواد العضوية الضارة مثل المبيدات الحشرية أو المنظفات الصناعية أو بعض العناصر مثل Cd، وعندما ينتشر زيت البترول فوق سطح الماء على هيئة طبقة رقيقة يحدث في الطبقة تفاعل كيميائي ضوئي يتأثر بأشعة الشمس والأكسجين فتأكسد السلاسل الهيدروكربونية التي يتكون منها زيت البترول وهي مواد يسهل ذوبانها بالماء ولكنها سامة تؤثر على الحياة، وعندما تتطاير الأجزاء الطيارة من بقعة الزيت بعد عدة أيام لا يبقى منها إلا الأجزاء الثقيلة غير قابلة للتطاير وتتحول بمرور الوقت إلى كتل صغيرة سوداء. والتي مكوناتها القار (الإسفلت). لقد استخدم المنظف الصناعي في بعض الحالات للتخلص من البقع الزيتية الكبيرة فهي تكون مستحلباً مع الزيت يسهل سحبه من مياه البحر ولكن هذه الطريقة تحتاج إلى استخدام كميات كبيرة من المواد الصناعية لإزالته، مثلاً تم استخدام ١٠,٠٠٠ طن من المستحلب لإزالة ١٨,٠٠٠ طن زيت (السعدي، ٢٠٠٦م). وتوضح كثير من الدراسات أن مياه البحار والمحيطات تلوث كل عام بعدة ملايين من الأطنان من زيت البترول، لقد تبين أن أحد مصادر التلوث للبحار هو ما يعرف باسم "ماء التوازن" وهو الماء الذي تملأ به الناقلات الصهريج الفارغ في حالة العودة إلى ميناء التصدير.

(٣، ٤، ٥) تلوث الماء بالمخلفات الصناعية

تقام كثير من المنشآت الصناعية على الشواطئ مثل المجمعات الصناعية في الجبيل وينبع وكثير من هذه المنشآت تقوم بإلقاء مخلفاتها في المياه، وتمثل المخلفات

الصناعية والمنتجات الثانوية خطراً على جميع الكائنات الحية التي تعيش قرب هذه المنشآت ؛ لأن كثير من هذه المخلفات سامة وتحلل بسرعة ويبقى أثرها طويلاً. وتختلف المخلفات الصناعية التي تلقى في المياه فقد يكون بعضها على هيئة مواد كيميائية تستهلك الأكسجين الذائب في الماء ومنها ما هو سام للكائنات الحية ، وأحياناً يزيد ما تستهلكه المخلفات الصناعية من الأكسجين إلى أربعة أضعاف ما يستهلكه مياه الصرف الصحي. إن بعض المواد الكيميائية الموجودة بالمخلفات تؤثر مباشرة على الكائنات الحية وبعضها سام أيضاً مثل مركبات الفوسفور العضوية ، بالإضافة إلى بعض المنظفات الصناعية مثل الرصاص والزئبق. وتنقسم المنظفات الصناعية إلى قسمين ، أحدها سريع التفكك والتحلل بفعل الكائنات الحية الدقيقة والتي تعيش في المياه وتسمى المنظفات الميسرة Soft Detergents وهي لا تسبب تلوثاً شديداً للماء وينتهي أثرها بعد فترة قصيرة. والنوع الثاني يقاوم التحلل ويعرف بالمنظفات العسرة Hard Detergents وتبقى الآثار الضارة فترة طويلة (عطية وعماد، ١٩٩٨م).

وتحتوي كثير من المنظفات الصناعية على مركبات الفوسفور وبذلك تساعد هذه المنظفات بطريقة غير مباشرة على وصول المجاري المائية إلى حالة التشبع الغذائي (السعدي، ٢٠٠٦م). وتحتوي مياه الصرف الصحي على ما يقارب ٧٠٪ من مركبات الفوسفور و الناتج من الغسيل ، بينما تحتوي المياه التي تلقى بها المخلفات الصناعية على مواد شديدة السمية الناتجة من مصانع الطلاء حيث تحتوي على أيونات السيانيد وهي مادة سامة وقاتلة ، وفي بعض المصانع التي تستخدم طرق التحليل الكهربائي بواسطة أقطاب الزئبق لإنتاج NaOH يتسرب منها الزئبق في المياه الصرف الصحي. وفي الدول الصناعية فإنه يحدث نفوق للكثير من الأسماك بالقرب من المصانع التي تقذف مخلفاتها والتي عادة تحتوي على الزئبق إلى البحيرات أو البحار ، وكان يعتقد أن تلوث

المياه بنسب قليلة من الزئبق لا تمثل خطورة ولقد تبين لاحقاً بأن هذا غير صحيح حيث أن الأسماك لها القدرة على تخزين الزئبق في أجسامها على هيئة مركب عضوي يسمى (ثنائي فنيل الزئبق)، تشترك مع الزئبق فلزات أخرى ثقيلة مثل الرصاص والكاديوم والزرنيخ وهي عناصر تجعل المياه غير صالحة للشرب، وقد تحتوي مخلفات المصانع على مركبات كيميائية ملوثة مثل مجموعة المركبات العضوية والتي تعرف باسم مركبات "ثنائي الفينيل متعددة الكلور" Polychlorinated Biphenyls (P.C.B.) حيث توجد في مخلفات مصانع الورق والنسيج وغيرها، المخلفات الصناعية قد تحتوي على مركبات الدايوكسين "Dioxin" وهي مواد شديدة السمية وقد تسبب السرطان حيث تستخدم في تصنيع المبيدات، كثير من المركبات شديدة الثبات ويبلغ نصف العمر لها نحو ١٠ سنوات أي أنه إذا وجد أجزاء منها بالماء يلزم ١٠ سنوات لتحلل ٠.٥٠ جرام (WHO, 2004).

(٦، ٤، ٣) تلوث المياه بالمبيدات

انتشر استخدام المبيدات الحشرية لمكافحة الآفات الزراعية بعد الحرب العالمية الثانية وقد أسرف الإنسان في استخدامها، قد يصل نسبة الجزء المتبقي من المبيدات في التربة إلى ١٥٪. وقد تصل المدة التي يتحلل فيها المبيد على ١٠ سنوات، ففي الولايات المتحدة الأمريكية استخدم مبيد حشري (D.D.T.) على بحيرة "كليير Clear" بكميات صغيرة لا تتعدى ٠.٢ جزء بالمليون، وبعد تحليل المياه للمبيد تبين أن البحيرة لا تحتوي على تراكيز من المبيد ولكن تبين لاحقاً أن أسماك البحيرة وصل التركيز فيها إلى (5 ppm) وفي البط إلى ٢٠٠٠ جزء بالمليون أي ١٠.٠٠٠ تركيز المضاف، هناك كثير من المبيدات التي تسربت إلى المياه والمجاري المائية أدت إلى تلوث المياه بالمخصبات الزراعية (السعدي، ٢٠٠٦ م).

(٣,٥) مصادر تلوث البيئة المائية**Resources of Water Pollution**

يمكن تقسيم هذه المصادر إلى أربعة أقسام رئيسة (العودات وباصهي ،

١٣٩٣ م) هي :

١- التلوث الفيزيائي.

٢- التلوث الكيماوي.

٣- التلوث البيولوجي.

٤- التلوث الإشعاعي.

١- التلوث الفيزيائي

ينتج عنه تغير المواصفات القياسية للماء عن طريق تغير درجة حرارته أو ملوحته أو ازدياد المواد العالقة به ، سواء أكانت من أصل عضوي أم غير عضوي. إن زيادة تبخر ماء البحر أو الأنهار يؤدي إلى زيادة تركيز ملوحة الماء لاسيما في الأماكن الجافة أو عندما تقل كمية الأمطار الساقطة. كما أن التلوث الفيزيائي الناتج عن ارتفاع درجة الحرارة يكون في الغالب بسبب إضافة مياه تبريد المصانع والمفاعلات النووية القريبة من المسطحات المائية مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الماء ونقص الأكسجين وكل ذلك يؤدي إلى موت الكائنات الحية.

٢- التلوث الكيماوي

سبب هذا التلوث هو ازدياد الأنشطة الصناعية والزراعية بالقرب من المسطحات المائية مما يؤدي إلى تسرب المواد الكيماوية المختلفة إلى المياه وتعتبر الأملاح المعدنية والأحماض والأسمدة والمبيدات من نواتج هذه الأنشطة الذي يؤدي اختلاطها بالماء إلى تلوثه وتغير صفاته وهناك العديد من الفلزات السامة في الماء تؤدي إلى التسمم

إذا وجدت بتراكيز كبيرة مثل Hg, Pb, Cd, Br فإن زيادتها في الماء يؤدي إلى بعض الأمراض للإنسان بالإضافة إلى تغير بعض الخواص الطبيعية للماء مثل الطعم وجعله غير مستساغ. كما أن بعض الملوثات العضوية مثل الأسمدة النيتروجينية والفوسفورية التي يؤدي وجودها في الماء إلى تغير رائحته ونمو الأعشاب والطحالب مما يؤدي إلى زيادة استهلاك الماء وزيادة البخر. وقد يؤدي ذلك إلى ما يسمى بظاهرة الشيخوخة المبكرة للبحيرات حيث تتحول إلى مستنقعات مليئة بالحشائش والطحالب.

٣- التلوث البيولوجي

ينتج هذا التلوث بسبب ازدياد الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض مثل البكتيريا والفيروسات والطفيليات في المياه. ومصدر هذه الكائنات الملوثة هو في الغالب اختلاط فضلات الإنسان والحيوان بالماء، بطريق مباشر عن طريق إضافة هذه الفضلات مباشرة إلى المسطحات المائية أو عن طريق غير مباشر عن طريق اختلاط المسطحات المائية بماء الصرف الصحي أو الزراعي. يمكن استخدام هذه المياه من قبل الإنسان بعد تعريضها للمعاملة بالمعقمات المختلفة مثل الكلور والترشيح بالمرشحات الميكانيكية.

٤- التلوث الإشعاعي

مصدر هذا التلوث يكون في الغالب عن طريق التسرب الإشعاعي من المفاعلات النووية أو عن طريق التخلص من هذه النفايات في البحار والمحيطات والأنهار. وفي الغالب لا يحدث هذا التلوث أي تغير ملحوظ في صفات الماء الطبيعية مما يجعله أكثر الأنواع خطورة، حيث تمتصه الأحياء المائية وتتراكم في أجسامها ثم تنتقل إلى الإنسان عند تناوله لهذه الأحياء المائية وتسبب له العديد من التأثيرات الخطيرة مثل الخلل والتحويلات في الجينات الوراثية وبعض الأمراض السرطانية (العودات وباصهي، ١٣٩٣م).

(٣,٦) تلوث المياه السطحية (المياه العذبة)

تشمل المياه السطحية كالأنهار والبحيرات والوديان والعيون وتشكل هذه المياه جزءاً صغيراً جداً من سطح الكرة الأرضية إذا ما قورنت بمياه البحار والمحيطات. كما هو معروف فإن المياه تغطي حوالي ٧١٪ من سطح المعمورة وأقل من ٢٪ تمثل المياه العذبة. ورغم صغر مساحة هذه المياه إلا أن أهميتها بالنسبة لحياة الإنسان تعتبر كبيرة جداً؛ لأنها المصدر الأساسي لمياه الشرب والاستعمالات اليومية المختلفة كالزراعة والصناعة وغيرها من الأنشطة البشرية لذلك يعتبر تلوث هذه المياه من أخطر أنواع التلوث على الإطلاق.

بدأ الإنسان في الآونة الأخيرة بالإضرار بهذا المصدر الحيوي الطبيعي وذلك من خلال أنشطته المختلفة وتنتج عن ذلك تلوث هذه المياه. وأهم مصادر هذا التلوث هو صرف الملوثات الكيميائية المختلفة الناتجة عن المصانع والصرف الصحي في هذه المسطحات المائية، كما أن الصرف الزراعي وما يحمله من الأسمدة العضوية والمبيدات ومياه السيول وما تحمله من مواد ذائبة عضوية وكيميائية كلها قد تعد من المصادر الملوثة لمياه الأنهار والبحيرات. كما أن زيادة النشاط الصناعي وتلوث الجو أدى إلى حدوث ظاهرة المطر الحمضي الذي يهدد مصادر المياه العذبة في العالم لاسيما في الدول الصناعية. ومن أهم ملوثات المياه العذبة:

- ١- المجاري المنزلية.
- ٢- النفايات الصناعية.
- ٣- الأنشطة الزراعية.
- ٤- التلوث الحراري.
- ٥- التلوث بالنفط.

٦- التلوث الميكروبي.

٧- الأمطار الحمضية.

٨- التلوث الإشعاعي.

٩- الإثراء الغذائي.

(١, ٦, ٣) ملوثات المياه العذبة

(١, ٦, ٣) ملوثات المجاري المنزلية

تعتبر هذه الفضلات مصدراً هاماً للمواد الملوثة للبيئة المائية العذبة وذلك بسبب ما تحمله من مواد مختلفة تشمل ما يلي:

أ) الفضلات المستهلكة للأكسجين

تشمل المواد العضوية الذائبة والمواد العالقة التي تستهلك قدرًا كبيراً من الأكسجين المذاب في الماء نتيجة لتفاعل وتحلل المواد العضوية، وهذا يؤثر في حياة الأسماك وبقية الأحياء المائية وذلك بسبب حرمانها أو عدم توفير الأكسجين المذاب لهذه الأحياء. ومن المعروف أنه إذا قلت نسبة الأكسجين المذاب في الماء عن ٥ جزء بالمليون فإن هذه المياه تصبح غير صالحة لحياة الكائنات البحرية من نباتات أو حيوانات (Lamb, 1985).

وفي العادة تشمل المواد العضوية المكونات الرئيسة الثلاثة وهي:

١- الكربوهيدرات ٢- البروتينات ٣- الدهون.

ب) المواد المترسبة

تشمل المواد العضوية وغير العضوية التي تستقر في قاع الأنهار والبحيرات. وتقوم المواد العضوية بإزالة الأكسجين عند تكسيدها وتحللها كما ذكر في السابق. وتكون المشكلة أكثر تعقيداً في حالة وجود المواد العضوية بطيئة التحلل. وعند تحلل المواد العضوية فإنها تضيف إلى البيئة المائية بعض الأملاح المغذية وهذه بدورها تضيف في

نمو النباتات والأعشاب المائية مثل الطحالب. أي أن ذلك يؤدي إلى تحول المياه العذبة إلى مستنقعات تنتشر بها الطحالب والنباتات المائية.

ج) الأملاح المغذية (المواد المغذية)

بعض المواد النيتروجينية والفوسفورية تعمل على إثراء البيئة المائية بالعناصر الضرورية لنمو النباتات وخاصةً الطحالب. وقد يكون هذا النمو بدرجة عالية غير مرغوب فيها مما يسبب خللاً في التوازن البيئي وهذا يسبب مشكلة إضافية عند تنقية المياه لغرض الشرب، أو قد تسبب كذلك تلوث البيئة المائية عندما تموت هذه الطحالب وتحلل أجسامها وتستهلك الأوكسجين المذاب وينتج عن ذلك نقص في كمية الأوكسجين اللازم لنمو الأحياء المائية الأخرى. فالتركيزات العالية من NO_3^- في مياه الشرب قد تسبب مرض الزرقة عند الأطفال ويقلل من إنتاجية بعض الكائنات المائية. إن الحد المسموح به من النترات في مياه الشرب لا تتجاوز ١٠ ملليجرام / لتر (WHO, 2004).

د) المواد الطافية على السطح

تشمل المواد العضوية وغير العضوية وكذلك المواد العالقة، كل هذه المواد تقلل من نفاذية الضوء مما يؤثر على نشاط بعض الأحياء المائية.

هـ) مسببات الأمراض

تعتبر فضلات الحيوانات والمجاري من أهم المصادر للميكروبات المسببة للأمراض. (البكتيريا، الفيروسات والطفيليات) ومن الأمراض التي تسببها فضلات المجاري: التيفوئيد، الكوليرا، الحمى الصفراء، البلهارسيا وغيرها.

و) المنظفات الصناعية

هناك ثلاث فئات من المنظفات شائعة الاستعمال هي:

١- منظفات سالبة التآين وهي الأكثر استعمالاً وهي صعبة التحلل وسامة

للأسماك حتى في تراكيز منخفضة حوالي ٧.٦ ملليجرام / لتر (السعدي، ٢٠٠٦م).

٢- منظفات موجبة التآين تستخدم ضد البكتيريا وهي خطيرة بتركيز بضع مليجرامات / لتر.

٣- منظفات غير متآينة وهي تمثل المنظفات الشائعة الاستعمال ، بصفة عامة تؤدي هذه المنظفات إلى تكون رغوة في المياه وهذه الرغوة تقلل من كمية الأكسجين الذائب. وحديثاً تم تصنيع منظفات لا تكون رغوة حيث إن المركبات الداخلة في تصنيع هذه المنظفات تتكسر وتحلل بواسطة البكتيريا الموجودة في مياه المجاري. بالإضافة إلى ذلك فإن بعض المنظفات تحتوي على كميات كبيرة من الفوسفات التي تلقى في المياه وقد أدى ذلك إلى أن بعض الدول مثل الولايات المتحدة منعت استخدام المنظفات التي تحتوي على الفوسفات والتي تعتبر أكثر فاعلية في تنظيف الملابس.

(٢, ٦, ٣) الملوثات الصناعية

تحتوي هذه المنظفات على المواد التالية :

(أ) مواد طافية : مثل الزيوت ، الدهون والرغوة هذه المواد تشوه منظر المياه وتلغ الكساء الخضري عند الشواطئ ، وتسمم الأحياء المائية وتعيق التهوية في الماء وتقلل من نفاذية الضوء في الماء.

(ب) مواد عالقة : هي مواد تبقى عالقة في الماء لا تترسب إلا ببطء شديد وتسبب عكارة لاسيما في الأنهار وينتج عن ذلك تأثير سلبي على حياة الأحياء المائية من خلال تأثيرها على وسائل تحلل الضوء المطلوب كمصدر للطاقة في عملية البناء الضوئي. كما أن التصاق بعض الحبيبات العالقة على سطح النباتات المائية مثل الطحالب يعيق من نموها.

(ج) مواد مذابة : مثل الأحماض والقلويات والمعادن والمبيدات الحشرية وغيرها ، والتي تؤثر على نشاط الأحياء المائية فضلاً عن تغيير الطعم والرائحة

واستهلاك الأكسجين المذاب في تفاعلات كيميائية (السعدي، ٢٠٠٦م، العودات وباصهي، ١٣٩٣م).

(١، ٢، ٦، ٣) الملوثات الفيزيائية

وتشمل الصفات التالية : ١- اللون. بعض المواد الكيميائية الناتجة عن المصانع تسبب تغير في لون المياه كما هو الحال في مخلفات ونفايات مصانع الورق والأصبغ، وتغير اللون يؤثر سلباً من الناحية البيئية في تحلل الضوء فضلاً عن تغير الطعم.

٢- الطعم والرائحة. يعزى مصدر الروائح أساساً على الغازات الذائبة في الماء مثل غاز كبريتيد الهيدروجين H_2S والمركبات العضوية المتطايرة لاسيما في المسطحات المائية البطيئة التصريف. أما الطعم فإنه يعزى إلى وجود بعض المواد الكيميائية مثل الأملاح المذابة مثل أملاح الحديد والمنجنيز Zn, Na, Mg, K, cu فضلاً عن وجود المواد العضوية.

٣- العكارة Turbidity. وجود المواد العالقة تسبب عكارة المسطح المائي ومصدر هذه المواد العالقة هو الفضلات الصناعية التي تزيد من عكارة الماء مثل دقائق الطين والغرين (السلت) مما يقلل من نفاذ الضوء في الماء وينتج عن ذلك قلة عمق الطبقة الضوئية المنتجة. وتتراوح قيم العكارة في المياه السطحية بين ١ - ١٠٠٠ NTU) حسب كميات ما يضاف من المواد المختلفة إلى المياه الجارية (Lamb, 1985).

٤- درجة الحرارة: تلقي بعض المصانع مخلفات سائلة ذات حرارة مرتفعة جداً وهذا يؤدي إلى موت كثير من الأحياء المائية أو تؤثر في إمكانية بعض الأحياء المائية القيام بنشاطها الطبيعي .

(٣, ٦, ٢, ٢) الملوثات الكيماوية

وتشمل ما يلي:

١- قيم درجة تركيز الهيدروجين: (pH)

تلقي المصانع بعض المواد الكيماوية ذات طبيعة حمضية أو قاعدية عالية مثل معاميل إنتاج الأسمدة ومصافي تكرير النفط ومعامل إنتاج الزيوت ينتج عن إضافة هذه المواد إلى الماء تغيراً في قيم pH المياه يؤثر على الأحياء المائية بالإضافة إلى جعل المياه غير صالحة للاستهلاك البشري. أما المواد المسببة للحموضة فمصدرها في الغالب مناجم الفحم الحجري حيث تتلوث مناطق واسعة من الأنهار القريبة، وتتضمن المواد الحمضية مثلاً أكسدة كبريتيد الحديد وحمض الكبريتيك وأكاسيد الحديد. وعلى سبيل المثال فإن قيم حموضة المياه في شرق كندا و القريية جدا من المصانع تصل إلى ٤.٥ وهي قيمة منخفضة للمياه وقد تسبب مشاكل صحية كثيرة (Canada Annual Report, 2002).

٢- المواد العضوية

تقوم أغلب المنشآت الصناعية بإلقاء كل نفاياتها ومخلفات أو فضلاتها العضوية الحاوية على مركبات عضوية في المجاري المائية. ولهذه النفايات صور مختلفة من التلوث هي:

(أ) مخلفات سامة التأثير ولا تتحلل بفعل العوامل الطبيعية مثل أشعة الشمس والأكسجين وبعض أنواع البكتيريا بسهولة لذلك يبقى أثر هذه المواد طويلاً في المياه ومنها ما هو سام لجميع الكائنات المائية النباتية والحيوانية مثل ايونات السيانيد والمركبات الفينولية الكلورة.

(ب) مخلفات أو مواد تستهلك الأكسجين الذائب في المياه وتؤدي إلى موت الأحياء المائية في البيئة المائية ذات الطلب المرتفع من الأكسجين الذائب. لذلك يستمر

الاحتياج للأوكسجين الحيوي (BOD) كمؤشر للتلوث العضوي للمياه وقد تم تصنيف مياه الأنهار حسب قيمة BOD والتي تحسب عادة بعد خمس أيام BOD₅ كما يلي (أحمد، ١٩٩٥ م ؛ Lamb, 1985) (الجدول ٣،١).

الجدول (٣،١). تصنيف مياه الآبار حسب قيمة BOD. (أحمد، ١٩٩٥ م ؛ Lamb, 1985)

BOD ₅ (جزء في المليون)	تصنيف مياه الآبار
١ أو أقل	نظيف جداً
٢	نظيف
٣	نظيف إلى حد ما
٥	مشكوك في نظافته
١٠ أو أكثر	ردئ

بصفة عامة فإن تلوث المياه بالمواد العضوية يشجع نمو البكتيريا والفطريات والتي بدورها تمتص الأكسجين الذائب مما يؤدي إلى قلة تركيزه في المياه، مما يشجع على نمو بعض الأحياء المائية ذات المقاومة العالية للعيش في مثل هذه البيئة المائية (مثل الديدان العديدة الأهداب، لذلك تعتبر أسماك السلمون الحساسة لمثل هذا التلوث كمؤشر حيوي لقلة الأكسجين الذائب فعند تواجد أسماك السلمون فإن ذلك يعتبر مؤشراً جيداً بأن المياه غير ملوثة وصالحة لعدة استعمالات.

ج (موت البكتيريا والفطريات المحللة للمواد العضوية يؤدي إلى تجمع كميات من المواد غير العضوية التي كانت داخلية في تركيب خلايا البكتيريا والفطريات هذه المواد غير العضوية تعتبر مواد مغذية للنباتات ونتيجة لذلك يزداد نمو النباتات وينتج عن ذلك زيادة في كمية الأكسجين كأحد نواتج عملية البناء الضوئي الذي تقوم به هذه النباتات. مما يزيد من تركيز الأكسجين المذاب. ويطلق على هذه الحالة بالتنقية الذاتية Self Purification (السعدي، ٢٠٠٦ م).

٣- العناصر الثقيلة

تعتبر مخلفات أو نفايات بعض المصانع مصدراً للمعادن الثقيلة ذات التأثير الضار والسام للأحياء المائية لاسيما تلك التي تتركز في أجسامها هذه العناصر. وتتوقف سمية المعادن الثقيلة على عدة عوامل أهمها: نوع المعدن ، درجة تركيزه في المياه ، نوع الأحياء المائية. بعض العناصر الثقيلة مثل Zn, Cu, Mn, B هي من العناصر الغذائية الضرورية التي تحتاجها الأحياء المائية والنباتات العادية وتمتصها بكميات ضئيلة جداً وإذا زاد تركيزها عن حد معين فإنها تكون سامة. ويعتبر الكاديوم Cd المستعمل في صناعة النحاس والرصاص وغيرها ساماً وقد يسبب أمراضاً سرطانية. كما أن عناصر الزئبق والرصاص ذات تأثيرات سامة خاصة عند تراكمها في أجسام الأحياء المائية وصولاً إلى الأسماك وعند تناول الإنسان لهذه الأسماك فإن تأثير الرصاص قد يؤدي إلى خلل في الدماغ والعقم. ولقد أجريت العديد من الأبحاث لمعرفة تراكيز العناصر الثقيلة لأسماك المياه الحلوة والتي توضح زيادة تراكيز العناصر في الأسماك ، ولقد وجد (Rashed, 2004) إن هناك زيادة في تركيز الرصاص و الكاديوم في الأسماك التي تعيش في بحيرة أسوان مما يدل على تلوث مياه البحيرة ، علماً بأن الهيئة المصرية للقياس و الجودة قد حددت بأن تركيز الكاديوم و الرصاص و النحاس و الزنك في الأسماك يجب أن لا يزيد على ٠.١ و ٠.١ و ٢٠ و ٥٠ جزء بالمليون على التوالي (EOSQC, 1993). كما أن بعض الفضلات الصناعية تحتوي على الزئبق والرصاص ومركبات الفلور العضوية التي تستخدم كمييدات للحشرات Organochloride insecticides. وينتقل عنصر الكاديوم Cd بواسطة مياه الري التي مصدرها الأنهار الملوثة به لذا نجد هذا العنصر في بعض المحاصيل الزراعية مثل الأرز بصورة خاصة لطبيعة نموه بشكل مستمر مغمور بالمياه. وقد تنساب المعادن المنجرفة من التربة بفعل

الأمطار الحمضية إلى الأنهار والبحيرات العذبة وتهدد الحياة المائية خاصة الأسماك التي تتأثر بعنصر الألمونيوم الذي يتجمع في خياشيم الأسماك ويؤدي إلى موتها.

٤- الأملاح المعدنية

(أ) NO_2^- ، NO_3^- (النترات والنتريت) زيادة هذه الأملاح النيتروجينية يؤدي إلى نمو النباتات المائية ومنها الطحالب في المسطح المائي. هذه الزيادة في النمو تشكل تغيراً ملحوظاً في النظام البيئي الذي يعد ظاهرة طبيعية تسمى ظاهرة الإثراء الغذائي التي قد تقود إلى تلوث المياه. زيادة هذه الأملاح تسبب أمراضاً فسيولوجية عند بعض الأحياء. مثلاً تفاعل NO_2^- مع صبغة الهيموجلوبين الذي ينقل الأكسجين في الدم ينتج عنه مركب أقل كفاءة في نقل الأكسجين مما يقلل من نشاط الحيوان. وجود NO_3^- بكمية أكبر من ١٠ مليجرام / لتر في المياه تسبب مرض عند الأطفال يسمى زرقة الأطفال. حيث يتحول NO_3^- إلى NO_2^- وهذا بدوره يتحد مع الهيموجلوبين ليعطي مركب النيتروهيموجلوبين المسبب لمرض الزرقة عند الأطفال (WHO, 2004).

(ب) الكبريتات مصدره هو مصانع الورق وتكرير النفط وإذا زاد تركيزه عن ٢٥٠ مليجرام / لتر يعتبر ساماً لبعض الكائنات المائية والإنسان.

(ج) النفط. مصدره الصناعات النفطية مثل عمليات التكرير والتصفية وغيرها. ويعطي النفط ومشتقاته طعماً غير مقبول أو مستساغ للأسماك والأحياء المائية الأخرى عند تناولها كطعام للإنسان. أوضحت أو برهنت بعض الدراسات أن التلوث بالنفط قد يؤدي إلى بعض الظواهر السرطانية ويؤدي كذلك إلى تقليل نسبة الأكسجين الذائب في المياه نتيجة لاستعماله من قبل الأحياء الدقيقة التي تعمل على تكسير وتحليل النفط ومشتقاته.

د) الملوثات الحيوية. تحتوي فضلات معاملة الدباغة والجلود والمجازر والصناعات الغذائية المختلفة مثل مصانع الألبان وتعليب الأغذية والمؤسسات الصحية ، كل هذه الفضلات تلوث المياه بالجراثيم والأحياء التي تسبب الأمراض والأضرار للأحياء المائية: من هذه الأحياء البكتيريا الممرضة والطفيليات المعدية والميكروبات الأخرى.

(٣, ٦, ٣) الملوثات الزراعية

(٣, ٦, ٣, ١) التسميد أو الأسمدة الكيماوية

تحتوي الأسمدة بصورة رئيسة على عنصر النيتروجين والفوسفور. ووصول جزء من هذه الأسمدة إلى المسطحات المائية كالأنهار والبحيرات قد يسبب تلوث مياه هذه المسطحات. بعض هذه الأسمدة يدخل في تركيبها بعض العناصر السامة مثل الأسمدة الفسفورية حيث يدخل الكاديوم ضمن محتوياتها. والأسمدة النيتروجينية يدخل فيها NH_4 , NO_3 وكلها تسبب تلوث للمياه (العودات وباصهي ، ١٣٩٣ م ؛ غرايه و الفرحان ، ١٩٨٧ م).

(٣, ٦, ٣, ٢) المبيدات العضوية

تصل إلى المياه السطحية مباشرة وتؤدي إلى تلوثها أو تصل إليها عن طريق مياه الصرف الزراعي المعالجة بهذه المبيدات أو عن طريق الرش بالطائرات أو إضافتها مباشرة إلى المسطحات المائية لمقاومة الحشرات أو الأعشاب غير المرغوبة. ومن هذه المبيدات: د.د.ت.. الأندرين - توكسافين - الماريثون بعض هذه المبيدات تبقى لمدة طويلة في البيئة مثل المبيدات الحشرية مجموعة الهيدروكربونات ، والمبيدات الفطرية الزئبقية التي تتجمع في أنسجة الكائنات الحية والتي عندها يكون الخطر عندما يتناولها الإنسان. وبصفة عامة فإن المياه الملوثة بالمبيدات تكتسب طعماً ورائحة غير مستساغة لاسيما

عند استعمالها للشرب (WHO, 2004). هذه التراكيز المنخفضة قد لا تسبب ضرراً مباشرة على المستهلك ولكن الأثر التراكمي لها يؤدي إلى زيادة تركيزها في الأنسجة الدهنية والكبد مما يؤدي إلى أضرار صحية بالغة.

(٣, ٦, ٤) التلوث الحراري

تلقي بعض المصانع فضلاتها الساخنة في المسطحات المائية كالأنهار والبحيرات مما يؤدي إلى الحد من نشاط الأحياء المائية أو قتلها. وتقل قابلية الماء للاحتفاظ بالأكسجين عندما ترتفع درجة حرارته لذا فإن فقدان الأكسجين يعتبر أحد العوامل البارزة في التلوث الحراري. ويكون من الصعوبة على الأحياء المائية العيش في درجات الحرارة العالية وتكون أكثر صعوبة في حالة عدم توفر الأكسجين المطلوب لحياتها؛ لأن ارتفاع الحرارة يقلل من قابلية ذوبان الأكسجين في الماء حيث يجب أن لا يقل تركيز الأكسجين المذاب في الماء عن ٥ مليجرام / لتر لتستطيع الأحياء العيش في الماء (Lamb, 1985).

(٣, ٦, ٥) التلوث بالنفط

يعد النفط المصدر الرئيس للمواد العضوية. وتلوث المياه العذبة كالأنهار والبحيرات يكون في العادة بسبب حركة الزوارق وطرح بعض مخلفاتها في المسطحات المائية وبصفة عامة فإن التلوث بالنفط يكون أكثر خطورة في البحار والمحيطات وليس في مياه الأنهار أو البحيرات (العودات و باصهي، ١٣٩٣م).

(٣, ٦, ٦) التلوث الميكروبي

تتعرض المياه العذبة للتلوث بمختلف الميكروبات لاسيما المسطحات المائية القريبة من المناطق السكنية أو بعض المناطق الصناعية (معامل التغليف، مصانع الأغذية، المجازر) تحتوي بعض المياه العذبة على عدة أنواع من البكتيريا المرضية

ويزداد ذلك في المياه الساكنة أو القليلة الحركة. كما أن ارتفاع نسبة الفطريات في مياه الشرب يؤدي ذلك لحدوث أمراض في الأسنان والمعدة.

بعض المياه تكون ملوثة بالجراثيم الممرضة مثل الديدان المعوية التي تتطفل على الإنسان والحيوان كمضيف وسطي لكمال دورة حياة هذه الطفيليات.

بصفة عامة تعتبر فضلات المجاري المنزلية وفضلات الحيوانات من أهم مصادر مسببات الأمراض ، مثل البكتيريا والطفيليات والفيروسات التي تؤدي إلى تفشي الأمراض مثل التيفوئيد والكوليرا وغيرها (العوذات وباصهي ، ١٣٩٣م).

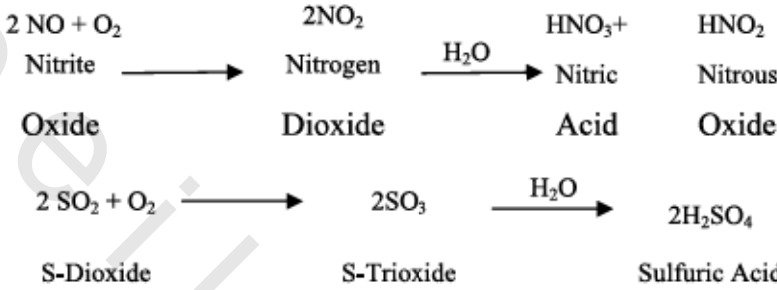
(٣, ٦, ٧) المطر الحمضي Acid Rain

أول من استعمل هذا التعبير هو العالم Robert Angus عند وصف المطر الذي يتساقط على مدينة مانشستر - إنجلترا وكان ذلك منذ أكثر من نصف قرن في ١٩٧٢م أثرت مشكلة المطر الحمضي كمشكلة دولية لأول مرة في مؤتمر الأمم المتحدة عن البيئة والإنسان (عابد وسفاريني ، ٢٠٠٣م).

إن أكسدة الغازات المتصاعدة من المصانع ومحطات الكهرباء والمحملة بالنتروجين والكبريت وذوبان نواتج أكسدة هذه الغازات في بخار الماء الجوي أدى إلى تكوين حامض النيتريك والكبريتيك مما تسبب في انخفاض قيم pH مياه المطر إلى أقل من ٥ وقد يصل إلى ٤.٥ كما ذكر سابقاً خصوصاً في شرق كندا ؛ لوجود كثير من المصانع في تلك المنطقة (Canda Annual Report, 2002). أما مياه الأمطار النقية بالرغم من كونها حمضية نتيجة ذوبان غاز CO_2 في قطراتها لتكوين H_2CO_3 إلا أنها لا تعتبر أمطاراً حمضية حيث إن متوسط قيم pH ٥.٦. وعلى العموم فإن المطر الحمضي يسبب اختلالاً في البيئة المائية وبالتالي في الأحياء المائية وعددها ، كما ينتج عن المطر الحمضي

تغيراً في لون المياه وطعمها وتؤدي كذلك إلى زيادة ذوبانية بعض العناصر مثل عنصر الحديد وتآكل شبكات المياه وتآكل بعض المباني مما يسبب خسائر مادية كبيرة.

والمعادلات التالية توضح خطوات تكون حامض النيتريك والكبريتيك



(٣, ٦, ٨) التلوث الإشعاعي

انتشر استخدام الأشعة في عدة مجالات منها الطب والزراعة والصناعة والتجارب العلمية المختلفة. وقد أوضحت عدة حالات حدوث بعض الأضرار للأنسجة الحية وزيادة الضرر بزيادة مدة التعرض وتركيز الأشعة ونوعها وقد يؤدي إلى حالات مرضية كالعقم والسرطان وغيرها. وقد تتسرب كميات من المواد المشعة إلى المياه العذبة من خلال نفايات الصناعات النووية المختلفة أو مفاعلات الذرة أو التفجيرات الذرية و المصادر الإشعاعية في الطب والصناعة (العودات وباصهي، ١٣٩٣م).

(٣, ٦, ٩) الإثراء الغذائي Eutrofication

هذه ظاهرة طبيعية ناتجة عن زيادة تركيز بعض العناصر الغذائية الضرورية لنمو الأحياء المائية من هذه العناصر النيتروجين والفوسفور والتي بدورها تؤدي إلى ازدهار الطحالب والنباتات المائية الأخرى. وفي الغالب فإن مصدر هذه العناصر الغذائية هو فضلات المجاري المنزلية وفضلات الحيوانات والمعاملات الزراعية المتمثلة في استخدام الأسمدة النيتروجينية والفوسفاتية (السعدي، ٢٠٠٦م).

من المعروف أن النيتروجين يفقد من التربة بسهولة سواء كان مصدره أسمدة عضوية أو معدنية أو عن طريق تثبيته بواسطة البكتيريا والأحياء الدقيقة الأخرى المثبتة للنيتروجين الجوي. ويتم فقد النيتروجين عن طريق مياه الصرف ويزيد العنصر بزيادة الأمطار.

زيادة تركيز النيتروجين في المسطح المائي (أكثر من ٣٠ جزء في المليون) يسبب خطورة عند استعمال المياه للشرب. وبالرغم من أن تصفية المياه تزيل كميات كبيرة من الملوثات إلا أن النترات المذابة تبقى عادة في المياه. وخطورة النترات على الإنسان البالغ محدودة ولكن تكمن الخطورة عند الأطفال وصغار الحيوانات في حالة تناول مياه ملوثة بالنترات ، حيث تتحول إلى نيتريت الذي يتحد مع هيموجلوبين الدم لتكوين مركب الميثاهيموجلوبين والذي بدوره ليس له القدرة على نقل الأكسجين من الرئتين إلى الأنسجة مما يؤدي إلى موت الأطفال والحيوانات الصغيرة (WHO, 2004).

ويؤثر الإثراء الغذائي في الغطاء الخضري للمياه حيث يلاحظ ازدهار نمو الطحالب وتسبب هذه الطحالب مشكلة كبيرة عند استعمال هذه المياه كمصدر لمياه الشرب وعملية تصفيتها. لهذا تتسبب في انسداد قنوات محطات التصفية في بعض الحالات. كذلك تشجع هذه الطحالب على خفض كمية الأكسجين الذائب في المياه. عند موت هذه الطحالب فإن تكسرها وتحللها يحتاج إلى كمية من الأكسجين المذاب حتى يتم تحللها من قبل الأحياء الدقيقة وبذلك يقل مستوى الأكسجين في المنطقة التحت سطحية لاسيما إذا كان المسطح المائي معزولاً بطبقة من الطحالب.

ومن المصادر الأخرى للعناصر الغذائية (النيتروجين والفوسفات) وهي لا تقل أهمية عن المصادر السابق ذكرها ، هذه المصادر هي استخدام المنظفات أو حتى مياه الفضلات المنزلية كلها تعتبر مصادر مهمة لهذه العناصر. كما أن مخلفات الطيور

هي الأخرى غنية بالعناصر الغذائية الضرورية خاصة عندما تتجمع آلاف الطيور قرب المسطحات المائية التي تعتبر مأوى مفضل للطيور حيث تطرح هذه الطيور برازها وتسبب زيادة في العناصر الغذائية التي تزيد من سرعة ازدهار الطحالب.

(٣,٧) تلوث المياه الجوفية

Ground Water

كان الاعتقاد السائد لدى أغلبية البشر حتى عهد قريب أن المياه الجوفية تعتبر من مصادر المياه النقية التي يصعب تلوثها على اعتبار أن التربة السطحية يمكنها إزالة الملوثات التي تتسرب إلى باطن الأرض عن طريق عمليات الترشيح Infiltration أو الامصاص Adsorption أو التحلل الحيوي Biotic degradation أو الترسيب وحالياً تغير هذا الاعتقاد حيث أكدت نتائج دراسات وأبحاث أجريت في عدة دول بما لا يدع مجالاً للشك أن هناك الكثير من حالات التلوث للمياه الجوفية بالمذيبات الصناعية والمبيدات الحشرية والعناصر السامة من مركبات البترول وغيرها من الملوثات. وتعتبر هذه النتائج العلمية في غاية الخطورة؛ نظراً لمحدودية المياه السطحية لاسيما في بعض الدول التي تعتمد على مصادر المياه الجوفية كمصدر أساسي لتوفير المتطلبات المائية لمختلف الأغراض لحياة الإنسان. بصفة عامة تعتبر الأنشطة المختلفة التي يقوم بها البشر هي المصادر المسببة لتلوث المياه الجوفية ويمكن في بعض الحالات أن يحدث تلوث للمياه الجوفية دون تدخل الإنسان.

إن موضوع تلوث المياه الجوفية يعتبر مسألة يجب أن تولي اهتماماً خاصاً نظراً لأن هذا المصدر يستعمل في جميع الأغراض الرئيسية المنزلية والصناعية والزراعية لاسيما في المناطق الصحراوية. ومما يزيد من خطورة تلوث المياه الجوفية هو صعوبة إزالة ملوثات هذه المياه؛ لأنها عملية شاقة وباهظة التكاليف (سري الدين، ٢٠٠٦م؛ مخلف، ٢٠٠٧م).

(٣,٧,١) مصادر تلوث المياه الجوفية

(٣,٧,١,١) الملوثات الصناعية

الملوثات العضوية الناتجة عن الصناعات الكيماوية تصل إلى مصادر المياه الجوفية محملة بمواد عضوية مختلفة ينجم عنها تلوث المياه. ومن أخطر هذه الملوثات العضوية هي مركبات الفينول ومشتقاتها ، فهي مركبات سامة بالإضافة إلى أنها تسبب رائحة كريهة وطعماً غير مقبول لمياه الشرب وبالذات بعد معالجتها بالكلور في محطات تنقية المياه. أوضحت نتائج دراسات وأبحاث سابقة أن وجود مركبات الفينول بتركيز ٠.٠١ جزء في المليون يمكن أن يسبب رائحة كريهة ، لذلك اتفق على ألا يزيد تركيز هذه المركبات عن ٠.٠٠١ جزء في المليون.

بالرغم من أن الفينول يتكسر ويتحلل بفعل البكتيريا عندما تلقى المخلفات الفينولية في الأنهار أو المياه السطحية ولكن هذا التكسير أو التحلل لا يحدث عادة عندما تصل هذه المركبات إلى المياه الجوفية. وتبعاً لذلك فإن عملية المعالجة لهذه المياه بالكلور تزيد من سوء الطعم والرائحة نتيجة تكون مركبات الكلوروفينول بعد اتحاد الفينول مع الكلور.

ومن أخطر المركبات الكلوروفينولية تأثيراً على الطعم والرائحة المواد التالية :

* الكلوروفينول 2-chlorophenol .

* ثنائي الكلوروفينول 2,4 dichlorophenol .

لهذه المركبات رائحة أسوأ من الفينول نفسه. ومن المعروف أن كثيراً من هذه المركبات تستعمل كمييدات للفطريات ، كذلك نواتج تكسير المبيدات الحشرية التي تصل إلى المياه الجوفية (السعدي ، ٢٠٠٦ م).

(٢, ١, ٧, ٣) الملوثات الزراعية

إن الاستعمال المفرط للمياه أو المبيدات الحشرية أو الفطرية أو الأسمدة أو سوء التخلص من روث الحيوانات كلها تعتبر من المصادر الزراعية الرئيسة لتلوث المياه الجوفية ومن الأمثلة على ذلك :

- ١- الإسراف في استعمال مياه الري مع عدم توفر المصارف الفعالة سوف يؤدي ذلك إلى حمل الأملاح المغسولة من الطبقات العلوية إلى المياه الجوفية مما يزيد من ملوحتها ويجعلها غير صالحة للشرب.
- ٢- تسرب المبيدات وبعض المخصبات أثناء التعامل معها ووصولها إلى المياه الجوفية.
- ٣- التسرب الناتج عن غسل معدات الرش.
- ٤- تخزين الكيماويات الزراعية في أماكن مكشوفة دون حمايتها من الأمطار والرياح.
- ٥- خلط المبيدات أو الأسمدة مع مياه الري يمكن أن يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية إذا كانت الكمية المضافة قابلة للغسيل والتسرب مع مياه الصرف.
- ٦- روث الحيوانات تلوث المياه الجوفية بالنترات وبكتيريا الكلوربستدرم والمواد الصلبة الذائبة.
- ٧- غسل وصيانة الآلات الزراعية يمكن أن يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية بالمواد التي تحتوي على الرصاص والباريوم (الأصبغ) كذلك البنزين وزيوت التشحيم كلها تحتوي على مركبات عضوية، وقود الديزل يحتوي على الباريوم. بصفة عامة فإن تلوث المياه الجوفية يكون أكثر وضوحاً في الآبار القريبة من المزارع حيث تكون هذه الآبار عرضة لوصول المبيدات والكيماويات الزراعية الأخرى، لذلك يجب

اتخاذ عدة إجراءات احتياطية في مقدمتها إجراء الاختبارات الدورية لمياه الآبار التي تستخدم للشرب للتأكد من خلوها من البقايا الخطيرة لهذه المواد (غرابيه و الفرحان، ١٩٨٧م؛ عطيه وعماد، ١٩٩٨م).

(٣,٧,١,٣) آبار الحقن

هي آبار تستخدم لحقن النفايات الصناعية والإشعاعية في الطبقات الجوفية العميقة كالطبقات الحاملة للمياه الملحية، وقد ينتج عن هذه العملية تلوث الطبقات العلوية أو الطبقات الحاملة للمياه المستخدمة في الشرب نتيجة لتسرب الملوثات من الأنابيب غير المحكمة أو عن طريق سريانها في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة عن طريق أنابيب التغليف المتآكلة.

(٣,٧,١,٤) خزانات الصرف

يقصد بها الحفر الأرضية بجميع أشكالها والتي تستعمل كوسيلة للخزن والتخلص من الفضلات والمياه المستعملة في المدن والقرى التي لا تتوفر فيها شبكات الصرف الصحي. تسرب ما تحمله هذه الخزانات من كائنات حية مثل البكتيريا والمواد العضوية وغير العضوية ووصلها إلى المياه الجوفية مما يسبب تلوثها.

(٣,٧,١,٥) تداخل المياه المالحة

تحدث هذه العملية في الآبار الجوفية القريبة من شواطئ البحار، وذلك نتيجة السحب والاستخدام المفرط للمياه العذبة مما يؤدي إلى تسرب المياه المالحة من البحر في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة مما يزيد من ملوحتها مع مرور الوقت وتصبح غير صالحة للشرب أو الأغراض الزراعية، وهناك العديد من مشاكل تداخل مياه البحر المالح والتكوينات العذبة في مناطق شرق المملكة العربية السعودية وسواحل الإمارات وعمان. وهناك العديد من الدراسات عن تداخل مياه البحر المالح للتكوينات العذبة

خصوصاً في سلطنة عمان ففي دراسة قام بها (Shammas and Jacks, 2007) وجد أن هناك تداخل لمياه البحر في منطقة صلالة مما أدى إلى زيادة ملوحة التكوين الحامل للمياه العذبة في المنطقة نتيجة سحب المياه الكبير للاستخدام في الزراعة و القطاعات الأخرى، ونفس المشكلة موجودة في منطقة الباطنة في عمان (Zekri, 2008).

(٦، ١، ٧، ٣) التخلص السطحي من النفايات

تقوم بعض الدول الصناعية بالتخلص من بعض النفايات وذلك بدفنها في برك على أعماق مختلفة في باطن الأرض يؤدي هطول الأمطار وارتفاع مستوى الماء الأرضي وعدم إحكام عزل هذه البرك إلى تسرب بعض المواد الخطرة والملوثة الداخلة في مكونات هذه النفايات ووصولها إلى الطبقات الحاملة للمياه العذبة عند حدوث تلوث للمياه الجوفية بهذه النفايات يكون من الصعوبة بمكان أو ربما يستحيل إزالة هذا التلوث فضلاً عن أن أي معالجة للمياه المستخرجة ستكون مكلفة جداً. ومما يزيد من خطورة تلوث المياه الجوفية هو وجود هذه المياه في باطن الأرض وبطء حركتها. معدل سريان هذه المياه لا يتجاوز عدة أمتار في اليوم بل ربما في السنة. وهذا يعني مرور عشرات السنين قبل اكتشاف حدوث التلوث.

في الولايات المتحدة الأمريكية يتم التخلص سنوياً من حوالي ٣٩٠ مليون طن من النفايات الصلبة وذلك بدفنها في أماكن مخصصة على سطح الأرض. كما يتم وضع حوالي ١٠ تريليون (١٠^{١٢}) جالون من النفايات السائلة في برك تخزين سطحية. وقد وجد أن حوالي ١٠٪ من هذه النفايات الصلبة والسائلة هي مصدر خطر لصحة الإنسان والبيئة (السعدي، ٢٠٠٦ م).

بالإضافة إلى مصادر التلوث المشار إليها سابقاً، هناك مصادر تلوث طبيعية للمياه الجوفية دون تدخل للإنسان. تتوقف هذه المصادر على التركيب الجيولوجي

لطبقات الأرض التي تتحرك فيها أو خلالها المياه الجوفية. تتحرك المياه الجوفية عبر طبقات صخرية أو طينية تحتوي على عناصر مختلفة وبتراكيز مختلفة بعض هذه العناصر قابل للذوبان مثل الزرنيخ والبورون والسليسيوم ويتوقف مدى تلوث المياه الجوفية في هذه الحالة على نوع الملوث وخواصه وتركيزه في المياه. ومن أهم العناصر المتوفرة في الطبقات الصخرية والطينية والتي يمكن أن تتحول إلى ملوثات هي:

Al, Cr, Pb, Zn, Cl, Fe, NO₃, SO₄, Br, Ag, Na, Cu, Mn, Hg.

ويعد التلوث الناتج عن الأملاح هو الأكثر وضوحاً في ترب المملكة العربية السعودية حيث أظهرت العديد من الدراسات حدوث تراكم للأملاح بالترب الزراعية وفقدان الكثير من المحاصيل التي لا تتحمل الملوحة في الواحات المختلفة بالمملكة، أما التلوث الناتج عن العناصر الثقيلة فإن الدراسات لم تؤكد وجودها في ترب المملكة باستثناء عنصر الرصاص في الترب القريبة من الطرق والناتج من عوادم السيارات.

مثال (تقريبي) على التلوث

تربة متجانسة عميقة تستخدم كموقع للتخلص من الماء الملوث الناتج عن المصانع Waste Water والذي يحتوي على الفوسفور الذائب في صورة فوسفات بمقدار ١٠ مليجرام / لتر. السعة الأدمصاصية للتربة تقدر بحوالي ٢٠٠ مليجرام / كجم تربة. كمية الماء الملوث التي يتم إلقائها في التربة تقدر بحوالي ٦٠٠ لتر يومياً وتوزع بالتساوي على مساحة ٧٠ م^٢.

المطلوب

حساب عمق حركة الفوسفات في التربة بعد عشر سنوات وإذا فرض وجود بئر بعمق ١٠ م بالقرب من المساحة الملوثة هل تعتقد أن هذا البئر سوف يصبح ملوثاً بالفوسفات؟

الحل

كمية الفوسفات الكلية المضافة إلى المساحة المستخدمة:

كمية المياه الملوثة الملقاة يومياً ٦٠٠ لتر. وتحتوي على ١٠ مليجرام P / لتر.

مقدار الفوسفور = $10 \times 600 = 6000$ مليجرام / يوم.

مقدار الفوسفور بعد عشر سنوات = $10 \times 360 \times 6000 = 21,9 \times 10^6$

مليجرام P

السعة الادمصاصية للتربة ٢٠٠ مليجرام / كيلوجرام تربة.

وزن التربة الذي يمكنه امتصاص الكمية الكلية من الفوسفور المضاف =

$$10 \times 21,9 / 200 = 10 \times 1,15 \text{ كجم تربة.}$$

نفرض أن كثافة التربة ١,٥ جم / سم^٣ (١٥٠٠ كجم / متر مكعب)

$$\text{الكثافة} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\text{الحجم} = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الكثافة}} = (10 \times 1,15) = 7,3 \text{ م}^3 = 7,3 \text{ م}^3.$$

وبما أن الماء يوزع على مساحة ٢م^{٧٠} فإن عمق اختراق الفوسفات يمكن حسابه

$$1 \text{ م} = 70 / 73 =$$

أي أن الفوسفات يتحرك لعمق واحد متر فقط خلال عشر سنوات وبذلك لا

يصبح البئر الملاصق للمساحة المستخدمة عرضة للتلوث بالفوسفات.

أما في حالة استبدال عنصر الفوسفات بعنصر النترات NO₃ فإن البئر يصبح

عرضة للتلوث؛ لأن النترات والبيورون تعتبر أيونات متحركة.

(٣,٨) تلوث مياه البحار والمحيطات

تكمن أهمية هذه المياه في النقاط التالية:

١- تعتبر مستودعاً يزود الإنسان وغيره من الأحياء بالمياه العذبة

(عن طريق التبخير والترسيب).

٢- تعتبر مصدراً رئيساً للأكسجين المتحرر من نباتاتها الخضراء (الطحالب).

٣- مصدر أساسي للثروة السمكية.

بالرغم من هذه الأهمية إلا أن الإنسان أساء استخدام هذه المياه ويتمثل ذلك في استخدامه لهذه المياه في تصريف فضلاته ونفاياته دون أن يخففها للحد الأدنى من المعالجة. كما أن المصانع تلقي جملة من العناصر الثقيلة والمواد العضوية وغير العضوية السامة وبقايا المواد المشعة، كل هذه المواد تشكل خطراً كبيراً على الأحياء المائية وفي الغالب يكون هذا التأثير لفترات طويلة. ومما يزيد الأمر سوءاً أن المياه الملوثة لمياه البحار والمحيطات تبقى في المياه القريبة من السواحل لسنوات عديدة بسبب الرياح والأمواج المتجهة نحو السواحل. برهنت عدة دراسات أن حوالي ٩٠٪ من هذه الملوثات لا يصل إلى المياه العميقة مما يؤثر على الأنشطة السائدة في المواقع الساحلية فضلاً عن تلويثها للأسماك والأحياء الأخرى. ويجب الإشارة هنا إلى أن حوالي ٢٠ ألف نوع من الأسماك و ٣٠ ألف نوع من الأحياء المائية الأخرى مصدرها المياه الساحلية، لذلك فإن تلوث مياه السواحل سوف يلحق ضرراً اقتصادياً واضحاً (السعدي، ٢٠٠٦م).

(٣، ٨، ١) مصادر تلوث مياه البحار ومحيطات

(٣، ٨، ١، ١) مياه مجاري ونفايات المنازل والزراعة والصناعة

يؤدي إلقاء مخلفات المنازل والزراعة والصناعة إلى إلحاق الضرر الكبير في البيئة البحرية وبالتالي عدم صلاحيتها لحياة الأحياء المائية بالإضافة إلى انبعاث الروائح

الكريهة وتوفير الظروف المناسبة لنمو البكتيريا وتكاثرها. وقد سبق التطرق إلى كل ذلك عند مناقشة ملوثات البيئة المائية السطحية (العذبة).

(٢, ١, ٨, ٣) النفايات السامة والمواد الإشعاعية

تتخلص معظم الدول الصناعية من النفايات السامة والمواد الإشعاعية الناتجة عن نشاطها الصناعي وذلك بإلقائها في البحار والمحيطات ويتم ذلك باستخدام السفن أو الطائرات أو بدفنها في قيعان هذه المسطحات المائية. ومن الطبيعي أن تلحق مثل هذه الممارسات الضرر الكبير في بيئة هذه المسطحات ولأمد طويل جداً مما يهدد حياة الكائنات المائية في تلك المناطق المجاورة لها.

(٣, ١, ٨, ٣) التلوث الحراري

أسباب هذا النوع من التلوث مرده محطات توليد القوى الكهربائية ومحطات إزالة الملوحة التي تلقي بكميات من المياه المرتفعة الحرارة مما يرفع درجة حرارة مياه البحار والمحيطات ولكن هذا التأثير يكون في منطقة محدودة مما يؤثر على تكاثر ونمو الأحياء المائية في هذه المناطق وذلك بسبب تغير بيئة المياه فيها كزيادة الملوحة ونقص الأكسجين وارتفاع درجة الحرارة. كما أن بعض محطات الطاقة النووية المقامة على السواحل تستخدم مياه البحر لعملية التبريد والمياه الناتجة عن هذه العملية تشجع على نمو يرقات بعض الكائنات المائية حيث تنمو بشكل سريع وغير عادي في المياه الدافئة الناتجة من تلك المحطات. وازدياد ونمو وتكاثر هذه اليرقات يؤدي إلى عرقلة حركة المياه في أنابيب التبريد مما يقلل من كفاءة عمل هذه المحطات.

(٤, ١, ٨, ٣) العناصر الثقيلة

بصورة عامة توجد كل المعادن والعناصر في البيئة البحرية والبعض منها يوجد بكمية متوسطة والبعض الآخر يوجد في تراكيز قليلة جداً. ومعظمها يتراكم في أجسام

الأحياء المائية، وفي العادة فإن العناصر هي الأكثر بقاءً في البيئة حيث إنها لا تتحول ولا تتكسر لكنها قد تتحد لتكون مركبات مختلفة ومعقدة. وتجدر الإشارة إلى أن هناك عناصر معينة تتحد مع مركبات عضوية لتكون مواد معقدة. وترتب العناصر الثقيلة من حيث سميتها للأحياء البحرية كالتالي: الزئبق - الفضة - النحاس - الزنك - النيكل - الرصاص - الكاديوم - القصدير - الكروم - الحديد - المنجنيز - الألمنيوم - البريليوم - الليثيوم. ومن الملاحظ أن التراكم البيولوجي لبعض هذه العناصر كالكاديوم مثلاً يمكن أن يسبب تهديداً للإنسان عندما يتناول هذه الأحياء.

لقد أوضحت الدراسات البيئية الحديثة أن الرصاص هو العنصر المستقر الوحيد الذي يظهر زيادة في تركيزه في المحيطات. ويعزى هذا إلى أنشطة الإنسان في مجال صناعة السيارات.

كذلك نال الزئبق اهتماماً كبيراً في بعض دول العالم مثل اليابان حيث سجلت عدداً من حالات التسمم بالزئبق نتيجة لتناول بعض الأسماك، ومن المعروف أن الزئبق يوجد في المياه البحرية بشكل طبيعي بنسبة قليلة جداً ولكن تراكمه منذ القدم أدى إلى زيادة سميته. يتكون الزئبق العضوي في الطبيعة بواسطة أنشطة الإنسان من الزئبق الغير عضوي وهو سم خطر يتحد مع البروتين والأنزيمات في الجسم ويتلف الأنسجة والخلايا ويسبب الموت والهلاك للكائنات الحية (السعدي، ٢٠٠٦م).

كذلك ينقل الرصاص من الجو الملوث لاسيما في المناطق التي تزدهم فيها وسائل النقل كما حدث في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية. بصفة عامة فإن هذه الملوثات من المعادن تلعب دوراً سلبياً في استثمار المحيطات والبحار.

يوضح الجدول (٣،٢) التراكيز الطبيعية للمعادن في ماء البحر مقدره بالميكروجرام/لتر (ppb) جزء بالبليون (السعدي، ٢٠٠٦م).

الجدول (٣,٢). التراكيز الطبيعية للعناصر في مياه البحر مقدره بالميكروجرام / لتر.

(UNESCO, 1978)

المعدن	التركيز	المعدن	التركيز
التيتانيوم Ti	١	الريديوم Rb	١٢٠
الأتيموني Sb	٠,٣٣	الباريوم Ba	٢٠
الفضة Ag	٠,٢٨	المولبدنيوم Mo	١٠
الكروم Cr	٠,٢	الحديد Fe	٣,٤
الزئبق Hg	٠,١٥	اليورانيم U	٣,٣
الكاديوم Cd	٠,١١	الزرنيخ As	٢,٦
الكوبلت Co	٠,٠٥	النحاس Cu	٢
الرصاص Pb	٠,٠٣	النيكل Ni	٢
البسموث Bi	٠,٠٢	الزنك Zn	٢
الثاليوم Tm	أقل من ٠,٠١	المغنسيوم Mg	١,٩
البريليوم Be	٠,٠٠٠٦	الفانديوم V	١,٩
الثوريوم Th	أقل من ٠,٠٠٠٥	الألنيوم Al	١

(٣,٨, ١,٥) النفط

بدء اهتمام المجتمع البشري بتلوث المياه بالنفط في السنوات الأخيرة وذلك بسبب الحوادث المتكررة في بعض دول العالم. وتعد الصناعات النفطية من الصناعات الهامة في العالم واحتمالات التلوث من هذه الصناعات يعتبر شيئاً متوقفاً إذا علمنا أن ناقلات النفط تقوم بنقل أكثر من 8×10^8 طن من النفط الخام سنوياً في أنحاء مختلفة من العالم (السعدي، ٢٠٠٦م).

مصادر التلوث بالنفط

يمكن حصر مصادر تلوث البيئة البحرية بالنفط في النقاط التالية :

- ١- تصدع مكامن النفط الطبيعية القريبة من السواحل البحرية والمسطحات المائية الأخرى ويكون ذلك بسبب الزلازل وانفجار البراكين.

- ٢- عمليات التنقيب واستخراج النفط الخام ومشتقاته من البحار والمناطق القريبة من الممرات المائية مما يؤدي إلى التسرب إلى مياه البحار.
 - ٣- انفجار الآبار النفطية وتسرب النفط إلى البحار كما حدث في عدة دول مثل المكسيك وبعض دول الخليج.
 - ٤- انفجار الأنابيب الحاملة للنفط وتسرب محتواها إلى البحار كما حدث في تسرب النفط في عام ١٩٨٠م على الخليج العربي بمقدار حوالي ١٥ ألف طن وتكرار ذلك في السنوات اللاحقة نتيجة الحروب في المنطقة وما يسمى بحرب الناقلات النفطية.
 - ٥- تسرب النفط من موانئ التحميل والتفريغ للنفط الخام.
 - ٦- عمليات التنظيف الدوري لناقلات النفط وإزالة الترسبات وتفريغ مياه موازنة السفن.
 - ٧- إلقاء المخلفات النفطية من ورش تصليح وصيانة السفن إلى المياه البحرية وكذلك نفايات المصانع ووحدات تكرير النفط القريبة من الممرات المائية.
- بصفة عامة فإن معظم مصادر التلوث بالنفط تأتي من المخلفات النفطية للصناعات النفطية والعمليات المختلفة الخاصة بمحتويات الناقلات النفطية والتي تصل إلى حوالي ٥٣٪ من مجموع المصادر (السعدي، ٢٠٠٦م).

(٣,٩) معالجة تلوث المياه

توجد عدة طرق ووسائل لمعالجة مشاكل تلوث المياه وتعتمد هذه الطرق أساساً على نوع الملوثات المائية وعلى حجم التأثيرات الضارة لتلك الملوثات على البيئة المائية. فكلما تنوعت مصادر الملوثات وأنواعها وزادت تراكيزها، أصبحت معالجة المشكلة أكثر صعوبة، ويمكن الرجوع إلى العديد من المراجع في معالجة التلوث سواء كان ميكانيكياً، كيميائياً أو بيولوجياً. إن إدارة المشاكل البيئية أصبحت جزءاً من الحياة اليومية التي يجب

الاهتمام بها في منطقتنا بالإضافة إلى مشاكل المياه والمحافظة عليها ومشاكل التصحر (مخلف، ٢٠٠٧م ؛ سري الدين، ٢٠٠٦م ؛ Morris and Therivel, 2001).

(٣، ١٠) أسئلة

س ١: ماهي أهم مصادر تلوث المياه الجوفية؟

س ٢: عرف التلوث المائي و ما هو المقصود من التلوث الفيزيائي للمياه؟

س ٣: مياه ملوثة ناتجة عن المصانع تلقى في موقع مساحته ٧٠٠م^٢ وتربة الموقع تربة جيرية. يحتوي الماء الملوث على عنصر الكاديوم بتركيز ٠.٨ ملليمكافئ / لتر والسعة الادمصاصية لتربة الموقع تقدر بحوالي ٢٠٠ ملليجرام / كجم تربة ، كمية الماء الملقاة يومياً ٦٠٠٠ لتر. احسب عمق حركة أيون Cd بعد ١٠ سنوات وإذا كانت هناك بشر بعمق ١٠م بالقرب من المساحة الملوثة هل سيتلوث البثر بالكاديوم؟

س ٤: نوعان من المياه ، مياه ملوثة (A) والأخرى غير ملوثة (B) نتائج تحليل العينات كما يلي :

العنصر	مياه (A) ppm	مياه (B) ppm	الوزن المكافئ
Pb	٠,٠٠٥٥	٠,٠٠١٢٤	١٠٣,٥٩
Zn	٠,١٩١٤	٠,١٠٥٦	٣٢,٦٧
Cu	٠,٠٢٩٤	٠,٠١٥٩	٣١,٧٧
Hg	٠,٠٠٠٨	٠,٠٠٠١	١٠٠,٣٠

إذا كانت نسبة الخلط = ٦٠٪ من المياه الأولى و ٤٠٪ من الثانية فما هي تراكيز العناصر في المياه المختلطة؟

(١١، ٣) المراجع

أولاً: المراجع العربية

- احمد، عصام محمد عبد الماجد. ١٩٩٥م. الهندسة البيئية . دار المستقبل للنشر و التوزيع / عمان - الأردن.
- سري الدين، عايدة العلي ٢٠٠٦م. التصحر ومشاكل المياه في دول شبه الجزيرة العربية - أفاق وحلول. دار الهاديبيروت - لبنان.
- السعدي، حسين علي. ٢٠٠٦م. أساسيات علم البيئة و التلوث. دار اليازوري العلمية للنشر و التوزيع. عمان - الأردن.
- السعدي، حسين علي. ٢٠٠٦م. البيئة المائية. دار اليازوري العلمية للنشر و التوزيع. عمان - الأردن.
- عابد، عبد القادر و غازي سفارني. ٢٠٠٣م. أساسيات علم البيئة . دار وائل للطباعة و النشر. عمان - الأردن.
- عطية، عاطف و عبد الغني عماد. ١٩٩٨م. البيئة و الإنسان. منشورات جروس برسز طرابلس - لبنان.
- العودات، محمد عبده و عبد الله يحيى باصهي. ١٩٩٣م. التلوث و حماية البيئة. عمادة شؤون المكتبات - جامعة الملك سعود - الرياض.
- غرايبه، سامح و يحيى الفرحان. ١٩٨٧م. المدخل إلى العلوم البيئية. دار الشروق للنشر و التوزيع. عمان - الأردن.
- مخلف، عارف صالح. ٢٠٠٧م. الإدارة البيئية: الحماية الإدارية للبيئة. دار اليازوري العلمية للنشر و التوزيع. عمان - الأردن.

اليوسف ، يحيى بن احمد و يوسف يعقوب الدخيل. ١٤٢٨ هـ. *فيزياء التربة: تطبيقات زراعية و بيئية - ترجمة. مركز الترجمة و التأليف و النشر - جامعة الملك فيصل - الإحساء المملكة العربية السعودية.*
ثانياً: المراجع الأجنبية

- Annual progress report on Canada- wide acid Canada, (2002).
EOSQC. 1993. Maximum level for heavy metal contamination in Food. E.S # 2360.
Egyptian Organization for Standardization and Quality Control.
Helmer, R. and I. Hespahol. (1997). Water pollution control- A guide to use of water quality management principles. UNEP- WHO.
James, DW., R.J. Hanks, J.J. Jurinak. (1982). *Modern Irrigation Soils*. John Wiley & Sons. New York.
- Lamb, (1985). *Water quality and its control*. John Wiley and son. New york, USA
Morris, P. and R. Therivel. (2001). *Methods of environmental impact assessment*. 2nd edition. Spon press, London.
Rashed, M.N. (2004). Cadmium and Lead level in fish (*Tilapia Nilotica*) tissues as biological indicator for lake water pollution. *Environmental Monitoring Assessment*. 68(1):75-89.
Shammas, M.I. and G. Jacks. (2007). Seawater intrusion in Salalah plain aquifer, Oman. *Environmental Geology*. 53(3):575-587.
WHO. 2004. *Guidelines for drinking water quality*. 3rd edition. Vol. 4.
UNESCO. (1978). *Unesco Technical Papers in Marine Science*, No.37, Division of Marine Sciences, Unesco, Place de Fontenoy, 75700, Paris, France.
Zekri, S. (2008). *Using economic incentives and regulation to reduce seawater intrusion in Batinah coastal area of Oman*. *Agricultural Water Management*. 95(3):243-252.

الملوحة وإدارة المياه

(١، ٤) مشكلة الملوحة

Salinity Problems

تحتوي مياه الري على بعض الأملاح التي توجد بحالة طبيعية في الماء. والترب المروية بمياه تحتوي على الأملاح يكون محتواها من الأملاح أعلى من تركيز الأملاح في الماء المضاف. إن كمية الأملاح التي ستراكم في التربة تعتمد على عدة عوامل وهي: نوعية مياه الري وكميتها، قوام التربة، نسبة الغسيل، إدارة الري ووجود الصرف الزراعي. وإذا زادت الأملاح في التربة فإن تأثيرها يؤدي لتناقص في الإنتاج، وللتقليل من هذا التناقص في الإنتاجية فإن الأملاح بالتربة يجب أن تدار بطريقة تقلل من تركيز الأملاح في منطقة الجذور.

إن أغلب المياه المستخدمة للري تعتبر من المياه ذات النوعية الجيدة ولا تسبب مشاكل للتربة أو للإنتاجية ولكن عندما تكون نوعية المياه رديئة فإن التحكم في الملوحة يكون أكثر صعوبة. وبزيادة الأملاح في التربة فإنه من الواجب التأكد من غسيل الأملاح من طبقة الجذور في التربة أو باستخدام نباتات أكثر تحمل للملوحة.

يهدف هذا الفصل إلى توضيح تأثير نوعية المياه على زيادة الملوحة في التربة وكيف تؤثر الملوحة على تقليل جاهزية الماء للنبات. كما يتطرق إلى عملية الغسيل واختيار المحاصيل المناسبة وطرق الإدارة.

(٤,٢) الملوحة في التربة وزيادتها

تضاف الملوحة إلى التربة بعد كل رية خصوصاً إذا كان ماء الري يحتوي على تراكيز عالية الملوحة وهذه الملوحة قد تتراكم في التربة مما يؤدي إلى انخفاض في الإنتاجية خصوصاً بمنطقة الجذور كما تؤثر الملوحة تأثيراً مباشراً على جذور النباتات. ويستفيد النبات من الماء المضاف لكي يفي بالاحتياجات المائية له (ET) ولكن النبات له خاصية الاختيارية فيترك أغلب الأملاح في التربة لكي تتراكم وتزيد من تراكيزها. وفي كل رية فإنه يضاف كمية أخرى من الأملاح وجزء من هذه الأملاح يجب أن تغسل من منطقة الجذور قبل أن تصل إلى تراكيز معينة قد تؤثر على إنتاجية المحاصيل. وتتم عملية الغسيل بإضافة ما يكفي من الماء لكي يمر عبر منطقة الجذور حاملاً معه الأملاح التي تمت إذابتها من منطقة الجذور. وكمية المياه التي تضاف إلى مياه الري إما أن تكون إضافة مستمرة مع مياه الري وتسمى بالاحتياجات الغسيلية (Leaching Requirement LR) وتعرف على أنها كمية المياه الواجب إضافتها مع مياه الري للحفاظ على تركيز ثابت للأملاح في منطقة انتشار الجذور. أو يتم إضافتها عندما يستلزم الأمر وتسمى عندها معامل الغسيل (Leaching Factor LF) ويختلف المصطلحان عن بعضهما حيث LF تعنى بظروف استخدام خاصة بينما LR تعنى بنوعية ماء الري وملوحة التربة المسموح بها في منطقة انتشار الجذور على فترات طويلة. وعندما تكون قيمة LR أقل LF من قيمة فإنه يمكن استخدام الاحتياجات الغسيلية (James *et al.*, 1982). ويجب أن يفرق بين المصطلحين السابقين ومصطلح غسيل التربة والذي يعني

كمية المياه الواجب إضافتها للتربة لإزالة الأملاح خارج قطاع التربة (Ayers and Westcot, 1985)

$$(٤, ١) \dots \dots \dots LF = \frac{D_{dw}}{D_w}$$

حيث :

$LF =$ الغسيل .

$D_{dw} =$ عمق الماء الذي يلي منطقة الجذور .

$D_w =$ عمق الماء المضاف للري .

وبعد عدة ريات فإن تراكم الأملاح في التربة سيصل إلى حالة اتزان وبتكريز معين ويعتمد ذلك على ملوحة مياه الري المضافة ومعامل الغسيل . إن استخدام نسبة عالية من الغسيل قد تصل إلى ٠,٥ تؤدي إلى إزالة الأملاح من منطقة الجذور عند مقارنة ذلك بنسبة أقل من الغسيل . وعند معرفة ملوحة ماء الري EC_w ونسبة الغسيل (LF) . فإن ملوحة ماء الصرف ومعدل ملوحة منطقة الجذور يمكن أن تقدر باستخدام المعادلات التالية :

$$(٤, ٢) \dots \dots \dots EC_{dw} = \frac{EC_w}{LF}$$

حيث :

$EC_{dw} =$ ملوحة ماء الصرف بعد منطقة الجذور وعادة ما تكون هذه القيمة مساوية

للملوحة محلول التربة (EC_{sw}) .

$EC_w =$ ملوحة الماء المضاف .

LF = نسبة الغسيل.

وفي المثال التالي المأخوذ من كتاب (Ayers and Westcot, 1985) يتم استخدام ملوحة ماء الري ونسبة الغسيل لمعرفة نوعية مياه الصرف. ويجب ملاحظة أن النبات يتعرض إلى هذه الملوحة في الجزء الأخير من منطقة الجذور. والملوحة في هذا الجزء من منطقة الجذور تكون أعلى من الجزء العلوي من الجذور؛ نتيجة لانخفاض نسبة الغسيل في هذه المنطقة. وتتأثر النباتات بمتوسط قيم الملوحة في التربة.
مثال (١): حساب تركيز الملوحة في منطقة الجذور.

يروى محصول بماء ذو ملوحة تساوي ($EC_w = 1 \text{ dS/m}$). ويضاف الماء إلى الحقل مع نسبة غسيل ($LF = 0.15$) حيث إن نسبة ٨٥٪ من الماء المضاف يستخدم في احتياجات المحصول.

المعطيات:

$$EC_w = 1 \text{ dS/m} , \quad LF = 0.15$$

الحل

تركيز الأملاح في ماء الصرف مساوية ومكافئة لتركيز الأملاح في محلول التربة

$$(EC_{cw} = EC_{dw}) \quad \text{بعد منطقة الجذور}$$

ويمكن تقدير EC_{dw} بالمعادلة السابقة:

$$EC_{dw} = \frac{EC_w}{LF}$$

ويمكن استخدام المعادلة السابقة لمعرفة قيم EC_{sw} في منطقة الجذور باستخدام

بعض الفرضيات المتعلقة باستخدام الماء في منطقة الجذور. إن فرضيات استخدام المياه

بالنسبة للنبات بنسب ٤٠ ، ٣٠ ، ٢٠ ، ١٠٪ يأتي من الطبقة العلوية إلى الربع الأخير على التوالي وهي الافتراضات الواقعية لامتنصاص الماء من الطبقات الأربع في التربة بالحالات الاعتيادية والمثال الثاني يوضح كيفية استخدام هذه الفرضيات لتقدير قيم EC_{sw} عند كل جزء من التربة.

مثال (٢): حساب متوسط ملوحة منطقة الجذور في التربة (Ayers and Westcot, 1985).
يمكن تقدير حساب متوسط ملوحة منطقة الجذور باستخدام متوسط خمسة مواقع في منطقة الجذور ويمكن اتباع الأسلوب التالي لتقدير متوسط ملوحة منطقة الجذور لمحصول معين.
الفرضيات

$$1- \text{الماء المضاف ملوحته } EC_w = 1 \text{ dS/m.}$$

$$2- \text{متطلبات المحصول المائية الموسمية } ET = 1000 \text{ mm.}$$

٣- استخدام المحصول للماء يتبع النسب ٤٠ ، ٣٠ ، ٢٠ ، ١٠ من أربعة أعماق لمنطقة الجذور أي أن ٤٠٪ من ET من العمق الأول وهكذا و ١٠٪ من الربع الأخير وهذا معناه أن ملوحة ماء التربة تزداد مع العمق.

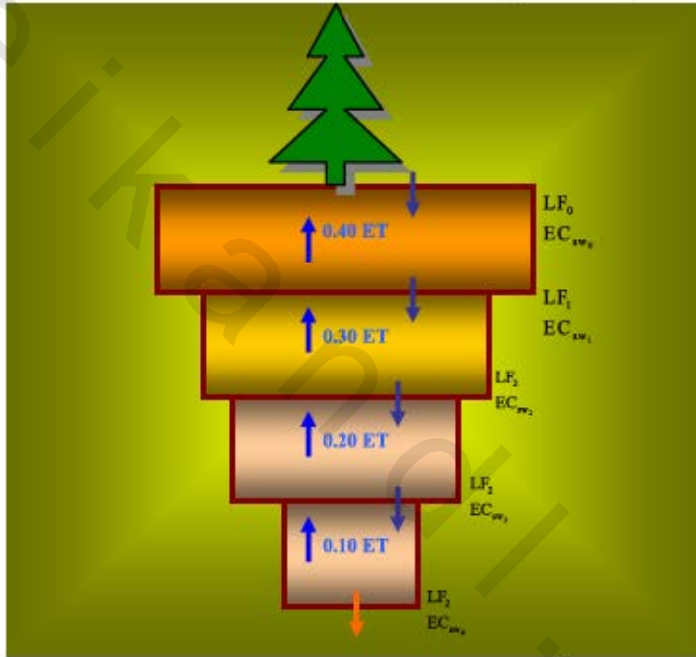
٤- نسبة الغسيل (LF) المطلوبة تساوي ١٥٪ هذا يعني أن نسبة ١٥٪ من الماء المضاف يمر على قطاع التربة ويحسب ككمية صرف و ٨٥٪ من الماء يستخدم من قبل النبات.

الحل

١- تستخدم خمسة مواقع في منطقة الجذور لتحديد متوسط ملوحة منطقة الجذور. وهذه النقاط هي:

(أ) على سطح التربة (EC_0).

- ب) في نهاية الربع الأول من منطقة الجذور (EC_{sw1}) .
 ج) في نهاية الربع الثاني من منطقة الجذور (EC_{sw2}) .
 د) في نهاية الربع الثالث (EC_{sw3}) .
 هـ) في نهاية الربع الأخير (EC_{sw4}) ، وهذه الملوحة في الربع الأخير مساوية
 لملوحة مياه الصرف (الشكل ٤.١).



الشكل (٤،١). نسب الاستهلاك المائي للنباتات من التربة.

٢- باستخدام نسبة الغسيل ١٥٪ فإن كمية الماء المضاف الموسمي

الماء المضاف الكلي للحصول على الغسيل ومتطلبات النبات.

$$AW = \frac{ET}{1 - LF}$$

حيث:

AW = الماء المضاف ملم / السنة.

ET = الاحتياجات المائية للنبات الموسمية ملم / سنه.

LF = متطلبات الغسيل معبراً عنها كنسبة.

$$AW = \frac{ET}{1-LF} = \frac{1000}{1-0.15} = 1176 \text{ mm}$$

٣- حيث إن الماء المضاف يدخل إلى منطقة الجذور من سطح التربة محركاً

الأملاح المتراكمة فإن ملوحة ماء التربة على سطح (EC_{sw0}) تساوي ملوحة الماء المضاف

في الري والتي أيضاً يمكن الحصول عليها من معادلة.

$$EC_{dsw0} = EC_{sw0} = \frac{EC_w}{LF_0} = \frac{1}{1} = 1 \text{ dS / m}$$

٤- ملوحة ماء الصرف بنهاية كل ربع في منطقة الجذور يمكن معرفتها

باستخدام المعادلة المرتبطة بنسب الغسيل ثم استخدام المعادلة.

$$LF = \frac{D_{sw}}{D_w}$$

$$EC_{sw1} = \frac{1}{0.66} = 1.5 \text{ dS / m}$$

ولنهاية الربع الأول فإن:

$$LF_1 = \frac{1176 - 0.4(1000)}{1176} = 0.66$$

$$EC_{sw1} = \frac{1}{0.66} = 1.5 \text{ dS / m}$$

لنهاية الربع الثاني:

$$LF_2 = \frac{1176 - 0.4(1000) - 0.3(1000)}{1176} = 0.40$$

$$EC_{sw2} = \frac{1}{0.40} = 2.5 \text{ dS / m}$$

لنهاية الربع الثالث:

$$LF_3 = \frac{1176 - 0.4(1000) - 0.3(1000) - 0.2(1000)}{1176} = 0.23$$

$$EC_{sw3} = \frac{1}{0.23} = 4.3 dS/m$$

لنهاية الربع الرابع :

$$LF_4 = \frac{1176 - 0.4(1000) - 0.3(1000) - 0.2(1000) - 0.1(1000)}{1176} = 0.15$$

$$EC_{sw4} = \frac{1}{0.15} = 6.7 dS/m$$

٥- متوسط قيم ملوحة ماء التربة في قطاع الجذور :

$$EC_{sw} = \frac{EC_{sw0} + EC_{sw1} + EC_{sw2} + EC_{sw3} + EC_{sw4}}{5} = \frac{1.0 + 1.5 + 2.5 + 4.3 + 6.7}{5} = 3.2 dS/m$$

٦- هذه الحسابات توضح بأن ملوحة ماء الصرف تكون ٣,٢ ضعف ملوحة

الماء المضاف.

المثال يوضح بأن ١٥٪ نسبة الغسيل ونسب ٤٠ ، ٣٠ ، ٢٠ ، ١٠٪ من

استخلاص الماء في منطقة الجذور يؤدي إلى أن يكون متوسط ملوحة ماء التربة EC_{sw}

تساوي ٣,٢ ضعف الماء المضاف للري. وبزيادة نسبة الغسيل من ١٥ - ٢٠٪ فإن

متوسط ملوحة ماء التربة بنفس الطريقة عند الحساب تكون ٢,٧ ضعف ملوحة الماء

المضاف للري والنسبة التي عادة تستخدم للغسيل أي بين ١٥ - ٢٠٪.

مقياس ملوحة التربة عادة ما تكون باستخدام المستخلص ويرمز له بالرمز

(EC_e) وهو يساوي عادة $\frac{1}{2}$ قيمة ملوحة ماء التربة (EC_{sw}) أو يمكن معرفة (EC_e)

باستخدام المعادلات التالية :

$$(٤,٣) \dots \dots \dots EC_{sw} = 3 EC_e$$

$$(٤,٤) \dots \dots \dots EC_e = 1.5 EC_w$$

$$(٤,٥) \dots \dots \dots EC_{sw} = 2.0 EC_e$$

حيث:

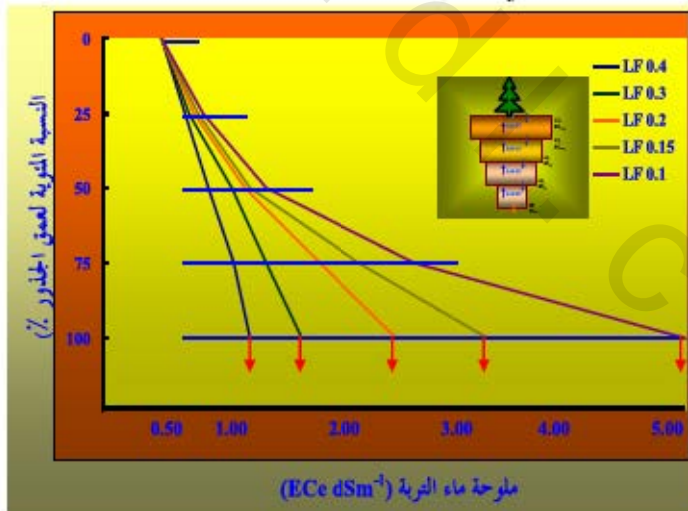
$$EC_{sw} = \text{ملوحة ماء التربة ملليموز/سم.}$$

$$EC_w = \text{ملوحة ماء الري ملليموز/سم.}$$

$$EC_e = \text{ملوحة مستخلص التربة ملليموز/سم.}$$

عند إضافة مياه الري قد تكون نسبة الغسيل المضافة أكبر أو أقل من النسبة ١٥-٢٥٪ المعتمدة في جدول تقييم المياه الجدول (١,١٤) وعليه فإنه يجب تصحيح هذه النسبة بمعامل التركيز (X) الموضح بالجدول (٤,١) لتقييم معامل الغسيل (LF) تتراوح بين ٠,٠٥-٠,٨. إن قيم متوسط ملوحة مستخلص التربة (EC_e) يمكن تقديره من حاصل ضرب قيم ملوحة ماء الري (EC_w) في معامل التركيز (X) المناسب عند نسب معينة من الغسيل الموضحة في الجدول (٤,١). كما يوضح الشكل (٤,٢) ترتيب ملوحة التربة المتوقعة عند نسب غسيل مختلفة وعند أعماق مختلفة.

هذه القيم المقدرة للملوحة التربة تعكس التغيرات الحاصلة بعد استخدام مياه لمدة طويلة وليست قصيرة في فصل أو بين ريتين.



الشكل (٤,٢). العلاقة بين عمق الجذور وملوحة ماء التربة عند نسب غسيل مختلفة.

المصدر (Ayers and Westcot, 1985)

الجدول (٤، ١). معامل التركيز (X) لتقدير ملوحة ماء التربة EC_e من مياه الري EC_w ونسبة الغسيل LF .

المصدر (Ayers and Westcot, 1985) .

نسبة الغسيل (LF)	كمية المياه المضافة من البخر — نتح (Percent of ET)	عامل التركيز (X) ²
٠,٠٥	١٠٥,٣	٣,٢
٠,١٠	١١١,١	٢,١
٠,١٥	١١٧,٦	١,٦
٠,٢٠	١٢٥,٠	١,٣
٠,٢٥	١٣٣,٣	١,٢
٠,٣٠	١٤٢,٩	١,٠
٠,٤٠	١٦٦,٧	٠,٩
٠,٥٠	٢٠٠,٠	٠,٨
٠,٦٠	٢٥٠,٠	٠,٧
٠,٧٠	٣٣٣,٣	٠,٦
٠,٨٠	٥٠٠,٠	٠,٦

(1) معادلة تقدير ملوحة ماء التربة بعد عدة سنوات من استخدام مياه الري EC_w

$$EC_e = EC_w \times X$$

معامل التركيز حسب من قيم استخلاص النبات للماء بنسب ٤٠ ، ٣٠ ،

٢٠ ، ١٠٪ كما في المثال السابق.

(٤، ٣) تأثير الملوحة على المحاصيل

Salinity Effect on Crop

الهدف الرئيس من الري هو توفير الماء بكميات مناسبة وفي الأوقات المناسبة

بما يحتاجه من ماء لإنتاج محصول جيد وتقليل النقص في الإنتاج الذي قد ينتج من

فترات الإجهاد المائي التي قد يتعرض لها النبات. وعلى العموم نتيجة للري المتكرر

فإن الأملاح سوف تتراكم في التربة مما يتسبب في انخفاض جاهزية الماء للنبات. إن معرفة كيفية حدوث ذلك قد يقلل الخسائر في الإنتاجية.

يستخلص النبات الماء من التربة باستخدام قوة جذب أكثر من قوة مسك الماء بالتربة. وإذا لم يستطيع النبات إن يتكيف في إيجاد قوة سحب للماء أعلى من قوة مسك الماء بالتربة فإن النبات سيتعرض للإجهاد المائي وهذا يحدث عندما تكون التربة جافة أو قريبة إلى نقطة الذبول. أن وجود الأملاح في ماء التربة يزيد من القوة اللازمة لاستخلاص الماء من التربة وهذه القوة الإضافية تسمى بالضغط الأسموزي *Osmotic Potential*. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الأملاح في التربة قد تكون أكثر تأثيراً على النبات خصوصاً إذا اضطرت النباتات إلى امتصاص الماء من الطبقات السفلية من منطقة انتشار الجذور في حالة تباعد فترات الري. وعلى سبيل المثال لو وجدت تربتين متشابهتين حتى في المحتوى الرطوبي باستثناء الملوحة حيث إحداهما خالية من الأملاح والأخرى مالحة فإن النبات يستطيع استخلاص الماء واستخدامه أكثر من التربة غير المالحة مقارنة بالتربة المالحة.

وعند وجود الأملاح فإن النبات يحتاج إلى طاقة أكبر لسحب الماء، حيث يجب إن تضاف طاقة الجهد الأسموزي إلى طاقة سحب الماء من التربة غير المالحة.

إن التأثير التراكمي عند قيم مختلفة لملوحة التربة E_{ce} تتراوح بين ١ - ١٦ ملليموز/سم والذي يوضح انخفاض الماء المتاح للنبات بزيادة الملوحة الشكل رقم (٤،٣)، والمحصلة النهائية هي انخفاض الماء المتاح للنبات كلما زادت الملوحة. ولتوضيح ذلك يمكن الاستفادة من المثال التالي.

مثال: (James et al., 1982)

إذا اعتبرت أن محصول مزروع في تربة عادية غير مالحة وهي متوسطة القوام حيث إن نسبة التشبع لها = ٥٠٪ ولو فرضنا أن (θ_m) عند السعة الحقلية = ٠,٢٥ ،

وعند نقطة الذبول = ٠,١٢ ، فالماء المتاح = ٠,١٣ ، ولو فرضنا أن كثافتها الظاهرية ١,٣٥ جم / سم^٣ فإن التربة ستخزن ما عمقه ٥,٣ سم من الماء الميسر في عمق ٣٠ سم من منطقة انتشار الجذور حيث :

$$\theta_v = \theta_m \times \rho_b = 0.13 \times 1.35 = 0.1755$$

$$D = \theta_v \times d = 0.1755 \times 30 = 5.3 \text{ cm}$$

حيث :

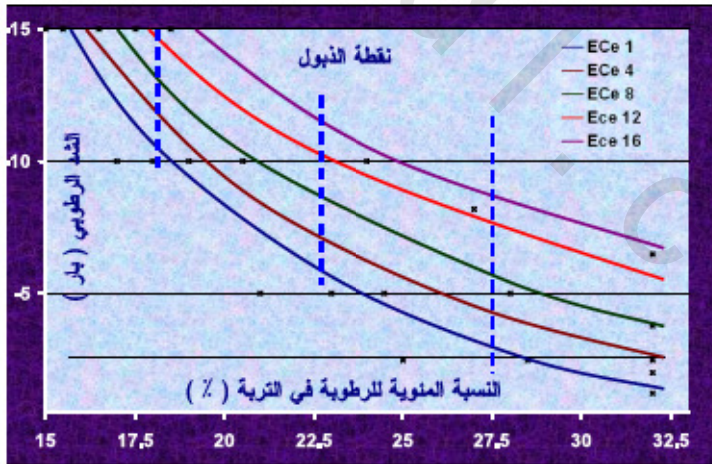
$$\theta_m = \text{المحتوى الرطوبي الوزني}$$

$$\theta_v = \text{المحتوى الرطوبي الحجمي}$$

$$d = \text{عمق منطقة الجذور}$$

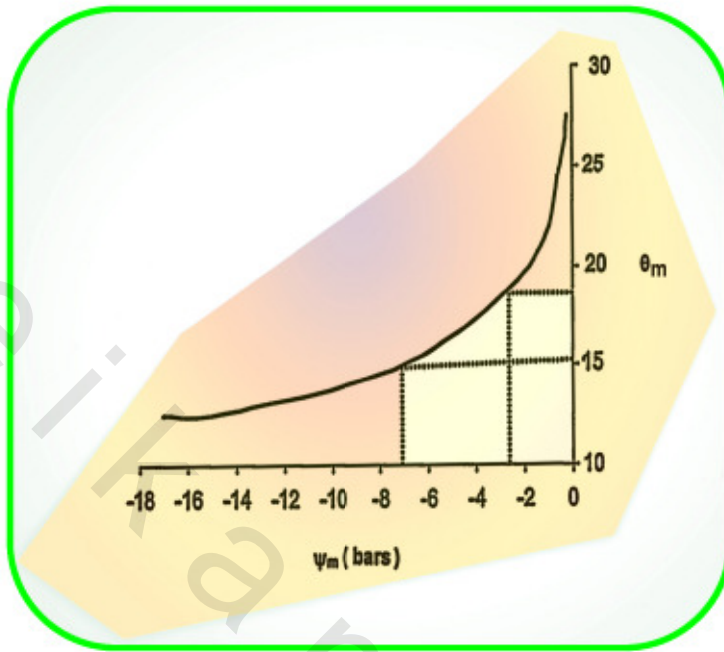
$$D = \text{عمق الماء في منطقة الجذور}$$

ولو فرضنا أن عينة التربة السابقة أخذت للمعمل وحددت قيم المحتوى الرطوبي مع الشد كما في الشكل (٤,٤).



الشكل (٤,٣). انخفاض الماء المتاح للنبات بزيادة الملوحة.

(Ayers and Westcot, 1985).



الشكل (٤، ٤). العلاقة بين المحتوى الرطوبي و الشد الرطوبي.

المصدر (James et al., 1982)

بالنسبة للتربة عديمة أو قليلة الأملاح فإن: $\Psi_t = \Psi_m$

افترض أننا استخدمنا نفس التربة ولكن بإضافة أملاح بنسبة ٠.٢٪ وهي

تعاادل $EC_e = 6$ ملليموز/سم و $\Psi_s = -2.16$ بار.

وبمقارنة ذلك بالمحتوى الرطوبي فإن الأملاح تزداد بنقص المحتوى الرطوبي من

السعة الحقلية إلى نقطة الذبول وبالتالي فإن الضغط الأسموزي سيقبل من -٤.٣٢

إلى -٨.٦٤ بار؛ لأن الملوحة تزداد بمقدار الضعفين عند السعة الحقلية عنه عند التشبع

و ٤ أضعاف عند نقطة الذبول.

$\Psi_s = -2.16$ bars

عند نسبة التشبع

$$\Psi_s = - 2.16 \times 2 = - 4.32 \text{ bars} \quad \text{عند السعة الحقلية}$$

$$\Psi_s = - 2.16 \times 4 = - 8.64 \text{ bars} \quad \text{عند نقطة الذبول}$$

قيم الجهد الماتري والأسموزي والكلبي عند السعة الحقلية و بوجود الأملاح
بالترية كما يلي :

$$\Psi_m = - 0.33 \text{ bars}$$

$$\Psi_s = - 4.32 \text{ bars}$$

$$\therefore \Psi_t = - 4.65 \text{ bars}$$

لاحظ الفرق بين Ψ_t هنا وقيمتها عند التربة التي لا تحتوي أملاح حيث
تساوي $\Psi_s = - 0.33$ بار فقط.

وعند استهلاك نصف الماء الميسر والشد الرطوبي والشد الرطوبي كالتالي :

$$\theta_m = 0.185 \text{ bars}$$

$$\Psi_m = - 2.0 \text{ bars}$$

$$\Psi_s = - 6.3 \text{ bas}$$

$$\Psi_t = - 8.3 \text{ bars}$$

وعند استهلاك ثلاثة أرباع الماء الميسر فإن المحتوى الرطوبي يكون :

$$\theta_m = 0.153 \text{ bars}$$

$$\Psi_m = - 7.2 \text{ bars}$$

$$\Psi_s = - 7.56 \text{ bas}$$

$$\Psi_t = - 14.8 \text{ bars}$$

وبالتالي نستطيع القول بأنه عند تواجد الملوحة فإن المحصول سيصل إلى نقطة
الذبول الدائم عندما تكون الرطوبة 0.153 بدلاً من 0.12 في حالة عدم وجود أملاح
في التربة.

وفي هذه الحالة من الماء الميسر سوف يكون:

$$\theta_m = 0.25 - 0.153 = 0.097 = 9.7\%$$

مقارنة بـ ١٣٪ في التربة الغير ملحية.

المناقشة السابقة توضح كيف أن تراكيز الملوحة في التربة تختلف مع نسب الغسيل وعمق منطقة الجذور حيث تؤدي إلى زيادة تركيز الأملاح مع انخفاض نسب الغسيل أو زيادة عمق منطقة الجذور. وبانخفاض رطوبة التربة فإن النبات يتعرض إلى تغير في الماء المتاح لكل جزء من منطقة الجذور نتيجة للتغير في المحتوى الرطوبي (الجهد الرطوبي للتربة) وتغير ملوحة ماء التربة (الجهد الأسموزي) حيث يتغيران نتيجة استخدام المياه من قبل النبات. يوضح الشكل (٤,٥) العلاقة بين ملوحة ماء التربة ومواعيد الري حيث يوضح الشكل أن قيمة الملوحة غير ثابتة مع مواعيد الري، فبعد كل عملية ري فالمحتوى الرطوبي عند كل عمق بمنطقة الجذور يصل إلى أعلى قيمة له وأن تركيز الأملاح الذائبة تصل إلى القيمة الدنيا وكل تغير في المنحنى نتيجة امتصاص الماء من قبل النبات أو تبخر الماء من التربة.



الشكل (٤,٥). التغير في ملوحة ماء التربة (EC_{sw}) بين الريات لخصول اليرسيم.

(Rhoades, 1972).

يمتص النبات الماء من المنطقة الجذور ويتخلص الماء الأكثر إتاحة (الغير ممسوك بقوة أكبر) وهذا يحدث عادة في الطبقة العلوية من منطقة الجذور والتي دائماً تعوض بالري المتكرر أو الأمطار. وحيث إن المياه تمر عبر هذه المنطقة من منطقة الجذور فهي التي تتعرض للغسيل وأن تأثيرات الجهد الأسموزي أو الملوحة أقل من الأعماق الأخرى. بين الريات فإن الطبقة العلوية تتعرض للجفاف بسرعة أكثر من الطبقات السفلية وعليه فإن النبات يجب أن يلبي احتياجاته من الطبقات الأكثر عمقاً والتي ينطبق عليها القاعدة في أخذ الماء بنسب ٤٠ ، ٣٠ ، ٢٠ ، ١٠٪. أما مع نظم الري المتكررة فإن الخط يكون ٦٠ ، ٣٠ ، ٧ ، ٣٪ للأربعة أعماق من منطقة الجذور. ومهما تكون النسب الذي يمتص النبات منها احتياجاته فإن الري يجب أن يضاف حتى لا يتعرض النبات للجهد أو الجفاف.

فعندما تكون الطبقة العلوية للتربة مشبعة بالماء فإن الملوحة في الطبقات السفلى من منطقة الجذور تكون غير ذات أهمية. ولكن عندما تتباعد فترات الري فإن النبات يجب أن يأخذ الماء من الطبقات السفلية وتصبح الطبقات السفلية مهمة خصوصاً في الأيام الجافة الحارة. وقد تكون في هذه الحالة أن كمية المياه الموجودة غير كافية بأن يمتصها النبات وعليه فإن النبات قد يتعرض للإجهاد ومن ثم النقص في الإنتاج. لا تتأثر جميع النباتات بنفس نسبة الملوحة في التربة والماء.

(٤، ٤) إدارة مشاكل الملوحة

الهدف من السيطرة على الملوحة هو الحصول على إنتاجية مقبولة لمحصول معين، وهناك عدة آراء إدارية متوفرة للسيطرة على الملوحة والتي سوف تناقش حسب الأهمية وهي:

١- غسيل الأملاح خارج منطقة الجذور قبل تراكم الأملاح إلى مستوى قد تؤثر على الإنتاجية.

٢- المحافظة على مستوى مناسب من ماء التربة طوال موسم النمو.

إن وجود الصرف المناسب مهم أيضاً للسيطرة على الملوحة. فوجود الصرف المناسب فإن عمق الماء المطلوب للغسيل يعتمد على حساسية النباتات للملوحة وعلى ملوحة ماء الري. فعندما تكون الملوحة عالية فإن عمق الماء المضاف المطلوب للغسيل سوف يكون كبيراً مما يتحتم معه اختيار نباتات تتحمل الملوحة. والتعامل مع الملوحة العالية في ماء الري يتطلب اختيار المحاصيل التي تتحمل الملوحة وهو الخيار الأخير بعد فشل جميع الحلول الأخرى والتي يجب أن يؤخذ بها حتى مع النوعية الجيدة من الماء لمنع تراكم الأملاح. ولا يمكن عمل الغسيل إلا بوجود نظام للصرف الزراعي المناسب لمنع ارتفاع منسوب مستوى الماء الأرضي.

إذن يمكن القول بأن وجود الصرف والغسيل واختيار المحاصيل التي تتحمل الملوحة من الطرق المستخدمة لمنع تراكم الأملاح بالتربة ولكن توجد طرق يمكن استخدامها على المدى القصير أو المؤقت مثل تكرار الري، تسوية التربة، زمن إضافة الأسمدة وطرق إضافة البذور.

عندما يكون هناك مستوى عالي من الملوحة مصدره ليس نوعية المياه المالحة نسبياً فإن برامج استصلاح الأراضي يجب أن يؤخذ بالاعتبار على المدى القصير بالإضافة إلى تغيير المحاصيل. وبعد استصلاح الأراضي يمكن التفكير في نمط دائم لحل مشكلة الملوحة. ومن الحلول المستخدمة للمدى القصير اختيار مياه جيدة من مصادر أخرى أو خلطها مع المياه الرديئة أو المرتفعة الملوحة نسبياً.

(٤,٥) الصرف

إن مشاكل الملوحة الموجودة في الترب الزراعية المروية تكون مرتبطة بعدم القدرة على السيطرة على مستوى الماء الأرضي والذي يبعد بين ١ - ٢ م من سطح التربة عادةً، في كثير من الترب الزراعية يرتفع مستوى الماء الأرضي فإن الماء المرتفع إلى منطقة الجذور بواسطة الخاصية الشعرية وعندما يحتوي هذا الماء على الأملاح فإنه مصدر أساسي ومستمر للملوحة بمنطقة الجذور نتيجة استخدام الماء من قبل النبات أو تبخره من التربة. فالتملح من هذا المصدر يمكن أن يكون سريعاً في المناطق الجافة وشبه الجافة وإن معدل تراكم الأملاح في مثل هذه المناطق يعتمد أساساً على إدارة الري وتركيز الأملاح وعمق المياه الجوفية ونوع التربة وحالة الطقس. يوضح الشكل (٤,٦) تأثير مستوى الماء الأرضي على ملوحة ماء التربة (EC_e).

الجدول (٤,٢). تحمل النباتات للملوحة والإنتاجية المحتملة للمحاصيل الناتجة من تأثير مياه الري (EC_w)

أو ملوحة التربة (EC_e). (Maas and Hoffman, 1977; Maas, 1984)

درجة التحمل °	نسبة التحمل (dS/m)	الإنتاجية المحتملة						المحاصيل الحقلية
		0% (max.)		50%		100%		
		EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	
T	٥,٠	١٩	٢٨	١٢	١٨	٥,٣	٨,٠	الشعير
T	٥,٢	١٨	٢٧	١٢	١٧	٥,١	٧,٧	القطن
T	٥,٩	١٦	٢٤	١٠	١٥	٤,٧	٧,٠	البنجر
MT	١٦,٠	٨,٧	١٣	٦,٧	٩,٩	٤,٥	٦,٨	دخن
MT	٧,١	١٣	٢٠	٨,٧	١٣	٤,٠	٦,٠	القمح
T	٣,٨	١٦	٢٤	١٠	١٥	٣,٨	٥,٧	قمح القاسي
MT	٢٠,٠	٦,٧	١٠	٥	٧,٥	٣,٣	٥,٠	فول الصويا
MT	١٢,٠	٨,٨	١٣	٦	٩,١	٣,٣	٤,٩	بسلة
MT	٢٩,٠	٤,٤	٦,٦	٣,٣	٤,٩	٢,١	٣,٢	الفول السوداني
S	١٢,٠	٧,٦	١١	٤,٨	٧,٢	٢,٠	٣,٠	الأرز
MS	٥,٩	١٢	١٩	٦,٨	١٠	١,١	١,٧	قصب السكر
MS	١٢,٠	٦,٧	١٠	٣,٩	٥,٩	١,٧	١,٧	ذرة
MS	١٢,٠	٦,٧	١٠	٣,٩	٥,٩	١,١	١,٧	Flax
MS	٩,٦	٨,٠	١٢	٤,٥	٦,٨	١,١	١,٥	فاصوليا عريضة
S	١٩,٠	٤,٢	٦,٣	٢,٤	٣,٦	٠,٧	١,٠	فاصوليا

تابع الجدول (٤,٢).

درجة التحمل	نسبة التحمل (dS/m)	الإنتاجية ٦,٤ المحملة						الخصائص المحضرات
		(max.)0%		50%		100%		
		EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	
MT	٩,٤	١٠	١٥	٦,٧	١٠	٣,١	٤,٧	كوسة صفي
MT	٩,٠	١٠	١٥	٦,٤	٩,٦	٢,٧	٤,٠	البنجر
MS	١٦,٠	٦,٣	٩,٤	٤,٢	٦,٣	٢,١	٣,٢	كوسة
MS	٩,٢	٩,١	١٤	٥,٥	٨,٢	١,٩	٢,٨	بروكلي
MS	٩,٩	٨,٤	١٣	٥	٧,٦	١,٧	٢,٥	طماطم
MS	١٣,٠	٦,٨	١٠	٤,٢	٦,٣	١,٧	٢,٥	خيار
MS	٧,٦	١٠	١٥	٥,٧	٨,٦	١,٣	٢,٠	سبانخ
MS	٦,٢	١٢	١٨	٦,٦	٩,٩	١,٢	١,٨	سلاري
MS	٩,٧	٨,١	١٢	٤,٦	٧	١,٢	١,٨	زهرة
MS	١٢,٠	٦,٧	١٠	٣,٩	٥,٩	١,١	١,٧	بطاطس
MS	١٢,٠	٦,٧	١٠	٣,٩	٥,٩	١,١	١,٧	ذرة حلوه
MS	١١	٧,١	١١	٤	٦	١,٠	١,٥	بطاطا حلوه
MS	١٤,٠	٥,٨	٨,٦	٣,٤	٥,١	١,٠	١,٥	فلفل
MS	١٣,٠	٦,٠	٩,٠	٣,٤	٥,١	٠,٩	١,٣	عس
MS	١٣,٠	٥,٩	٨,٩	٣,٤	٥	٠,٨	١,٢	فصل
S	١٦,٠	٥,٠	٧,٤	٢,٩	٤,٣	٠,٨	١,٢	بصل
S	١٤,٠	٥,٤	٨,١	٣	٤,٦	٠,٧	١,٠	جزر
S	١٩,٠	٤,٢	٦,٣	٢,٤	٣,٦	٠,٧	١,٠	فاصوليا
S	٩	٨,٠	١٢	٤,٣	٦,٥	٠,٦	٠,٩	Turnip
		٢١	٣١	١٣	١٩	٥,٠	٧,٥	حشائش القمح الطويل
T	٦,٩	١٥	٢٢	٩,٨	١٥	٥,٠	٧,٥	حشيشة القمح
T	٦,٤	١٥	٢٣	٩,٨	١٥	٤,٦	٦,٩	برمودا
		١٣	٢٠	٨,٧	١٣	٤,٠	٦,٠	شمير
MT	٧,٦	١٣	١٩	٨,١	١٢	٣,٧	٥,٦	كمان
MT	١٠,٠	١٠	١٥	٦,٧	١٠	٣,٣	٥,٠	حشائش
		١٢	١٨	٧,٤	١١	٣,١	٤,٦	حشائش صلبة
MT	٧,٦	١٣	٢٠	٧,٨	١٢	٢,٦	٣,٩	حشائش مختلفة

تابع الجدول (٤,٢).

درجة التحمل	نسبة التحمل (dS/m)	الإنتاجية المحتملة						محاصيل الأعلاف
		(max.)0%		50%		100%		
		EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	
MT	٤,٠	١٩	٢٨	١١	١٦	٢,٣	٣,٥	حشائش القمع
MS	١١,٠	٨,١	١٢	٥	٧,٦	٢,٠	٣,٠	عشب
MT	٤,٣	١٧	٢٦	٩,٦	١٤	١,٩	٢,٨	حشيشة السودان
		١٣	١٩	٧,٤	١١	١,٨	٢,٧	حشائش Wildrye, beardless
MT	١٢,٠	٧,٨	١٢	٤,٨	٧,١	١,٧	٢,٥	حشائش Cowpea (forage)
MS	١٩,٠	٥,٠	٧,٦	٣,٣	٤,٩	١,٥	٢,٣	حشائش Trefoil, big
		١١	١٧	٦,٣	٩,٤	١,٥	٢,٣	حشائش Sesbania
		١١	١٦	٦,٢	٩,٣	١,٥	٢,٢	حشائش Sphaerophysa
MS	٧,٣	١٠	١٦	٥,٩	٨,٨	١,٣	٢,٠	برسيم حجازي
MS	٨,٤	٩,٣	١٤	٥,٣	٨	١,٣	٢,٠	حشائش Lovegrass
MS	٧,٤	١٠	١٥	٥,٧	٨,٦	١,٢	١,٨	ذرة
MS	٥,٧	١٣	١٩	٦,٨	١٠	١,٠	١,٥	حشائش Clover, berseem
MS	٦,٢	١٢	١٨	٦,٤	٩,٦	١,٠	١,٥	حشائش Orchard grass
MS	٩,٦	٧,٩	١٢	٤,٥	٦,٧	١,٠	١,٥	حشائش Foxtail meadow
MS	١٢,٠	٦,٦	٩,٨	٣,٨	٥,٧	١,٠	١,٥	حشائش Clover, red
MS	٥,٧	٦,٦	٩,٨	٣,٨	٥,٧	١,٠	١,٥	حشائش Clover, alsik
MS	١٢,٠	٦,٦	٩,٨	٣,٨	٥,٧	١,٠	١,٥	حشائش Clover, ladino
MS	١٢,٠	٦,٦	٩,٨	٣,٨	٥,٧	١,٠	١,٥	حشائش Clover, strawberry

تابع الجدول (٤،٢).

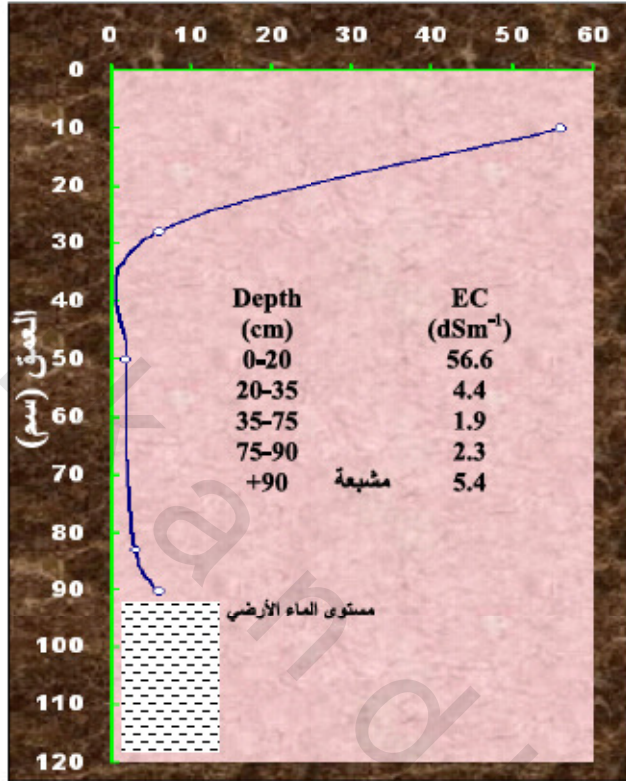
درجة الحرارة	الميل (% per dS/m)	الإنتاجية المحتملة						عناصر الفاكهة
		(max.)0%		50%		100%		
		EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	EC _w	EC _e	
		٢١	٣٢	١٢	١٨	٢,٧	٤,٠	التحليل
S	١٦,٠	٥,٤	٨,٠	٣,٣	٤,٩	١,٢	١,٨	الكريب فروت
S	١٦,٠	٥,٣	٨,٠	٣,٢	٤,٨	١,١	١,٧	البرتقال
S	٢١,٠	٤,٣	٦,٥	٢,٧	٤,١	١,١	١,٧	الخوخ
S	٢٤,٠	٣,٨	٥,٨	٢,٥	٣,٧	١,١	١,٦	المشمس
MS	٩,٦	٧,٩	١٢	٤,٥	٦,٧	١,٠	١,٥	العنب
S	١٩,٠	٤,٥	٦,٨	٢,٨	٤,١	١,٠	١,٥	اللوز
S	١٨,٠	٤,٧	٧,١	٢,٩	٤,٣	١,٠	١,٥	البرقوق
S	٢٢,٠	٤,٠	٦,٠	٢,٥	٣,٨	١,٠	١,٥	بلاك بيري
S	٢٢,٠	٤,٠	٦,٠	٢,٥	٣,٨	١,٠	١,٥	بويسن بيري
S	٣٣	٢,٧	٤	١,٧	٢,٥	٠,٧	١,٠	الفرولة

(*) درجة التحمل: T=عالي التحمل، M=متوسط، S=حساس

في المناطق الجافة وشبه الجافة فإن مشكلة الملوحة تزداد سوءاً نتيجة عدم وجود الصرف الجيد حيث لا يتم السيطرة على مستوى الماء الأرضي والذي يصل إلى ٢م على الأقل في بعض المناطق. وهذا يتطلب وجود جداول صرف مفتوحة أو أنابيب صرف تنقل الماء المالح إلى منطقة أخرى كما في منطقة الإحساء بالمملكة العربية السعودية. فعند وجود الصرف المناسب فإن مسبب الملوحة في التربة هو نوعية المياه الرديئة المستخدمة فقط وعليه فإن الملوحة تزداد إذا لم تتوفر الإدارة الجيدة للري والغسيل المناسب.

إن السيطرة الفعالة للملوحة تشمل وجود مصرف مناسب للحفاظ على مستوى معين من الماء الأرضي وغسيل مناسب ليقابل تراكم الأملاح في منطقة الجذور.

التوصيل الكهربائي ($EC_{dsm^{-1}}$)



الشكل (٤, ٦). قطاع الملوحة في التربة بوجود مستوى الماء الأرضي القريب.

(Mohamed and Amer, 1972)

(٤, ٦) السيطرة على الملوحة بالغسيل

عندما تتراكم الأملاح في التربة فإن الأملاح يمكن أن تزال أو تغسل بإضافة مياه الري الزائدة عن الاحتياجات المائية للنباتات خلال موسم النمو. هذه الزيادة في المياه المضافة تزيد جزءاً من الأملاح أسفل منطقة الجذور بعملية الغسيل. إن عملية الغسيل هي العامل المحدد للسيطرة على الأملاح الذائبة المضافة بواسطة مياه الري. وبمرور الزمن فإن الأملاح المغسولة يجب أن تكون مساوية أو أكثر من الأملاح المضافة

بمياه الري وإلا فإن الأملاح سوف تتراكم في منطقة الجذور. والسؤال هنا دائماً كم كمية الماء الذي يجب أن يضاف ومتى يجب أن يضاف لغسيل الأملاح؟
(١، ٦، ٤) متطلبات الغسيل

يعرف الغسيل بأنه عملية إذابة ونقل الأملاح الذائبة إلى أسفل القطاع ومن ثم نقلها عبر المصارف الطبيعية أو الصناعية. وتستند معادلات متطلبات الغسيل إلى التوازن الملحي في محلول التربة (James et al., 1982).

$$\text{Salt Balance} = \text{Salt in} - \text{Salt Out}$$

$$Q_{iw} C_{iw} = Q_{dw} C_{dw}$$

$$(٤,٧) \dots \dots \dots D_{iw} C_{iw} = D_{dw} C_{dw}$$

حيث:

$$Q = \text{حجم ماء الري (iw) أو حجم ماء الصرف (dw)}.$$

$$D = \text{عمق ماء الري (iw) أو عمق ماء الصرف (dw)}.$$

$$C = \text{تركيز الأملاح في ماء الري (iw) أو تركيز الأملاح في ماء الصرف (dw)}.$$

ويمكن التعويض عن C بقيمة ملوحة ماء الري أو الصرف EC وتصبح معادلة

متطلبات الغسيل (LR) كالآتي:

$$(٤,٨) \dots \dots \dots LR = \frac{D_{dw}}{D_{iw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} = \frac{EC_{iw}}{EC_e}$$

لتقدير متطلبات الغسيل يجب معرفة قيم كل من ملوحة ماء الري (EC_w) وملوحة التربة التي تحملها النبات (EC_e). يمكن تقدير قيم ملوحة ماء الري بالطريقة العملية ولكن تقدير قيم ملوحة التربة التي تحملها النبات EC_e يمكن استنباطها من دراسات (Maas and Hoffman, 1977). والذي يعطي قيم مقبولة لـ EC_e لكل محصول ونسب الانخفاض في الإنتاجية.

ويمكن تقدير متطلبات الغسيل LR من الشكل (٤,٧) لأكثر المحاصيل المستخدمة في الزراعة. ولكن يمكن تقدير هذه القيم باستخدام المعادلة التالية في الري السطحي.

$$(٤,٩) \dots \dots \dots LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

حيث:

LR = متطلبات الغسيل الدنيا للسيطرة على الملوحة ضمن قيم التحمل EC_e لكل محصول عند الري السطحي.

EC_w = ملوحة ماء الري (dS/m).

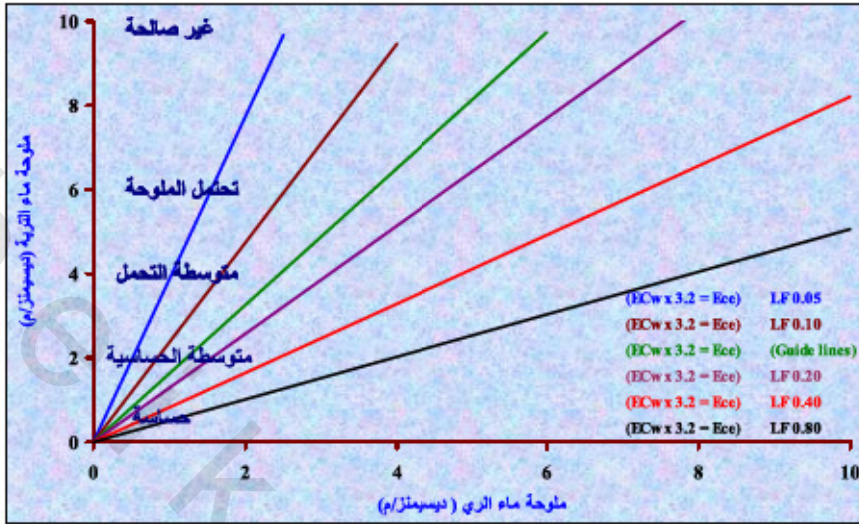
EC_e = متوسط ملوحة التربة التي يتحملها النبات مقاسه عند مستخلص التربة.

وفي طريقة الري بالرش فإن معادلة الغسيل تصبح بالصيغة التالية:

$$(٤,١٠) \dots \dots \dots LR = \frac{EC_{iw}}{2MaxEC_{dw}}$$

ويمكن أن يضاف مصطلح كفاءة الغسيل (Leaching Efficiency) $\left(\frac{1}{LE}\right)$

للمعادلات السابقة. كما يمكن الحصول على هذه القيم من الجدول (٤,٢) لكل محصول وعند نسب معينة من الانخفاض في الإنتاج.



الشكل (٤،٧). تأثير ملوحة ماء الري EC_w على منطقة الجذور وقيم EC_e عند نسب مختلفة من معامل الغسيل LF. المصدر (Ayers and Westcot, 1985).

(٤،٦،٢) زمن الغسيل

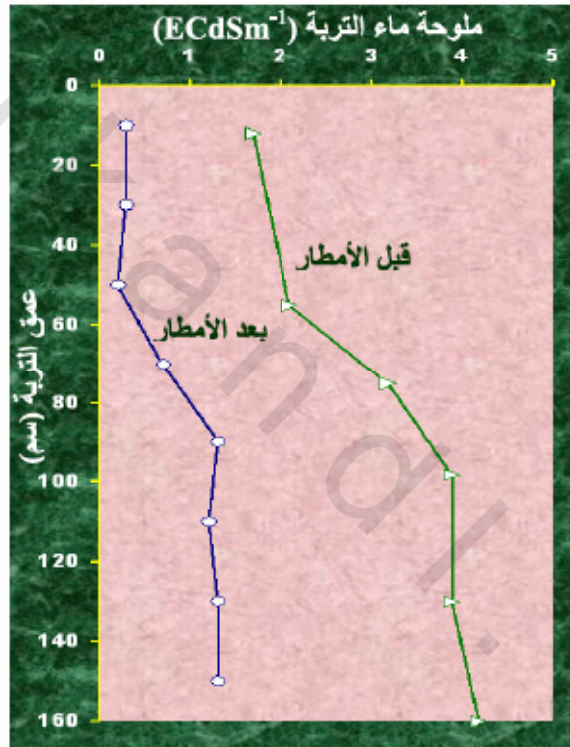
تراكم الأملاح في منطقة الجذور يستغرق زمناً طويلاً لكي يصل إلى تركيز قد يؤثر على الإنتاجية. إن أغلب المياه الجيدة المستخدمة للري يمكن استخدامها لسنة أو سنتين أو أكثر قليلاً بدون إضافة مياه الغسيل قبل أن يبدأ تراكم الأملاح في التربة خصوصاً في الترب الثقيلة مما يؤدي إلى انخفاض في الإنتاجية. وبدل ذلك على أن الماء الجيد أو ذو النسبة المنخفضة من الأملاح فإن كفاءة استخدام الماء خلال بداية موسم النمو الأول والتي قد تمتد طوال موسم النمو قد تصل إلى ١٠٠٪ بدون إضافات الغسيل وعدم فقد للإنتاجية نتيجة الملوحة. في بداية الموسم الثاني يمكن إضافة المياه للتربة قبل الزراعة سواء من الري أو الأمطار وهذا بدوره يمنع تراكم الأملاح في التربة ويؤدي إلى زيادة كفاءة استخدام المياه خلال الموسم. في الأجواء الحارة فإن الماء المضاف للغسيل ومتطلبات الاحتياجات المائية للنبات تكون كبيرة جداً.

يجب التذكير هنا أن الغسيل مطلوب فقط عندما تتراكم الأملاح في التربة أو بداية الانخفاض في الإنتاج نتيجة زيادة الأملاح.

وقت الغسيل قد لا يكون حرجاً فيمكن تمديد أو تأخير فترة الغسيل ولكن من الضرورة إضافة متطلبات الغسيل؛ لمنع تراكم الأملاح وانخفاض الإنتاجية. يمكن أن تضاف متطلبات الغسيل عند كل رية أو بعد كل ريتين أو أكثر من ذلك حسب طبيعة التربة وحسب الملوحة. ويجب التذكير هنا أن عدم الإضافة أو زيادة إضافة الماء كلاهما يسببان خسارة غير مرغوبة للمزارع. وعندما تكون نسبة الغسيل أقل من ١٠٪ في المياه الجيدة وفي حالة كفاءات الري الغير جيدة فإنه ينصح بإضافة زيادة من الماء للحصول على الغسيل المطلوب. ومن جهة أخرى فإن الماء المالح نسبياً له متطلبات الغسيل صعبة جداً؛ لأن احتياجات الغسيل ستكون كبيرة جداً بحكم ارتفاع تركيز الأملاح بها.

يجب الأخذ بالاعتبار الأمطار الساقطة في المنطقة عند تقدير الاحتياجات الغسيلية. فالأمطار الداخلة إلى التربة فعالة جداً لتفي ببعض الاحتياجات المائية للنبات ومتطلبات الغسيل. فالأمطار التي تتسرب إلى التربة "المطر الفعال" تعوض الفاقد في ET، وعندما تزيد الأمطار عن قيم ET فإنها تعتبر ضمن مياه الصرف الزراعي وهي التي تستخدم في غسيل الأملاح والسيطرة على الملوحة. والاحتياجات لمياه الأمطار عديدة فإنها تسقط وتتسرب إلى التربة بشكل متجانس وإنها خالية من الأملاح تقريباً حيث قيمة EC_w أقل من (0.5 dS/m) وتزداد أهمية الغسيل عندما يكون معدل الأمطار الساقطة أقل من معدل التسرب في التربة. فعندما تكون الكمية الكلية للأمطار المتسربة كافية فإنها ستخفض متوسط الملوحة في ماء الري المضاف EC_w في حساب متطلبات الغسيل (LR)، ومحصلة ذلك انخفاض متطلبات الغسيل. يوضح الشكل (٤,٨) انخفاض الملوحة بعد الأمطار في منطقة الجذور.

وفي السنوات التي يقل فيها معدل سقوط الأمطار أو في المناطق قليلة الأمطار فإن كمية الأمطار قد لا تكون كافية لتشبع التربة وعليه فإنه لا يحدث غسيل لتخفيض تركيز الأملاح ويحدث فقط إزالة للأملاح من الطبقة العلوية إلى السفلى، حيث يكون الجزء العلوي من طبقة الجذور ذات مستوى منخفض من الأملاح مما يساعد في إنبات البذور.

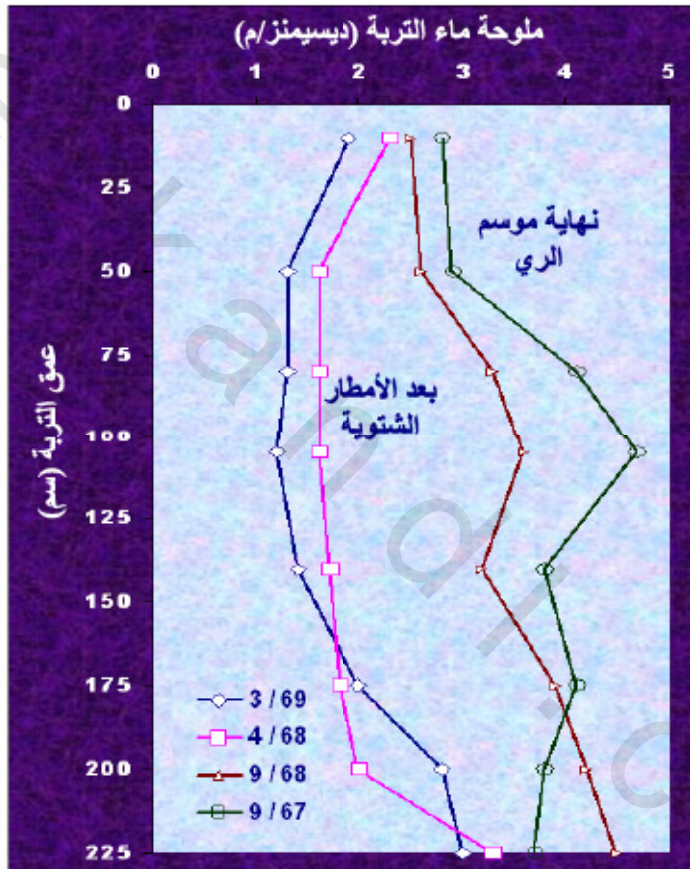


الشكل (٤,٨). انخفاض ملوحة ماء التربة بعد سقوط الأمطار.

المصدر (Ayers and Westcot, 1980)

أما في المناطق التي تسقط الأمطار فيها في فصل الشتاء فإنه قد يحدث غسيل للأملاح حتى بالمناطق الجافة. وينصح دائماً أنه يتم الري أو إضافة الماء إلى التربة في

الخريف أو بداية الشتاء لتعبئة طبقة التربة وتشبعها بالماء قبل موسم الري. حيث إن الأمطار بعد ذلك سوف تساعد على غسل الأملاح خصوصاً إذا كانت التربة رطبة ويوضح الشكل (٤.٩) كيف يؤثر مطر الشتاء في غسل الأملاح.



الشكل (٤,٩). تأثير أمطار الشتاء على انخفاض ملوحة ماء الترب.

المصدر (Ayers and Westcot, 1980)

(٤,٦,٣) المراقبة

يمكن تقدير كمية الغسيل التي تحصل بالترية ومن ثم مراقبة التربة والمحصول وهي تعتبر أدوات مهمة لتحديد احتياجات الغسيل خصوصاً أن هناك متغيرات كثيرة قد تحدث نتيجة اختلاف المحصول والموسم وعليه فإن المراقبة ضرورية لتقليل أثر الملوحة.

هناك العديد من الدراسات والتجارب الحقلية والبيانات توضح الطريقة التي يمكن أن تزيد من كفاءة الغسيل وتقليل كمية المياه المطلوبة لذلك ومنها:

- الغسيل خلال فصل الشتاء.
- استخدام محاصيل تتحمل الملوحة.
- استخدام الحراثة للسماح بمرور الماء إلى التربة.
- استخدام الري بالرش بمعدلات أقل من معدل تسرب التربة.
- تكرار الري.
- استخدام كميات كبيرة من المياه عند الغسيل في بداية الموسم.

الإدارة الجيدة للري هي الإدارة التي يمكن أن توفر الماء اللازم لاحتياجات النبات بالإضافة إلى كمية المياه المستخدمة للغسيل. كل من متطلبات الغسيل والاحتياجات المائية للمحاصيل يمكن تقدير قيمتها ويمكن حساب كمية الماء المطلوب إضافتها للحقل. وفي حالات كثيرة فإن تقدير عمق ماء الري (معدل الإضافة) ووقتها والمساحة التي يغطيها عادة ما تكون غير دقيقة أو غير متوفرة وعليه فإن تقدير مدى فعالية السيطرة على الملوحة تكون غير دقيقة. أيضاً ويمكن معالجة ذلك من بيانات سابقة من الحقل بعد أخذ تحاليل التربة والملوحة. من عينات التربة يمكن تقدير نسبة الغسيل وملوحة طبقة الجذور لفترات سابقة ويمكن تلخيص ذلك في الآتي:

- تقدير العمق المناسب للجذور لمحصول سابق.
- أخذ عينات ممثلة لكل عمق من التربة لحساب EC_e .
- رسم منحني شبيه بالمنحني الموجود بالشكل (٤.٢)، عند نسب مختلفة من الغسيل.
- حساب قيمة EC_e لكل عمق في منطقة الجذور وتقارن القيمة مع قيمة EC_e من جدول تحمل النباتات للملوحة (الجدول ٤.٢).

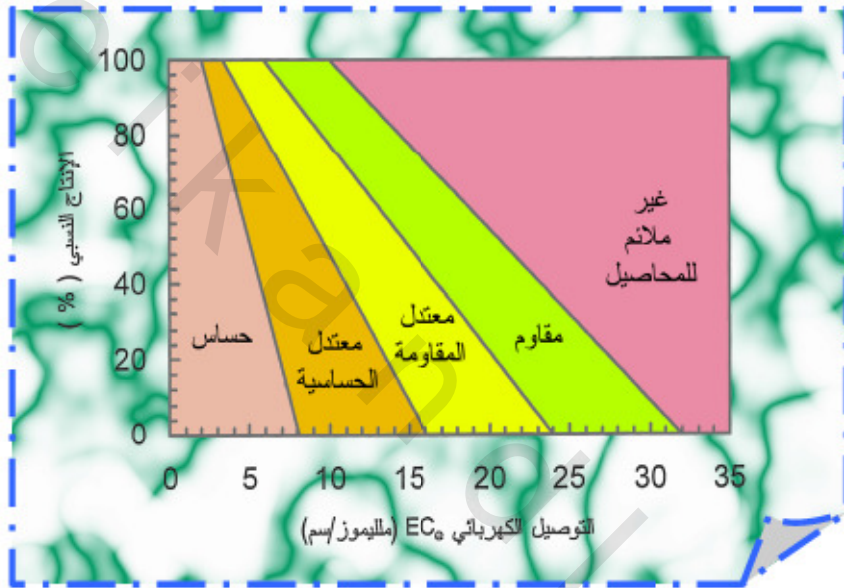
(٤,٧) تحمل المحاصيل للملوحة

Crop Tolerance to Salinity

تختلف النباتات في استجابتها للملوحة فبعضها يمكن أن تعطي إنتاجية مقبولة عند مستويات عالية من الملوحة عند مقارنتها بمحاصيل أخرى. وهذا قد يعود إلى قدرة بعض النباتات للتكيف الأسموزي Osmotic adjustment وامتصاص الماء من التربة المالحة. إن قدرة النباتات للتأقلم في الظروف الملحية مفيدة جداً لها. أما بعض المحاصيل فلا يمكنها النمو بصورة جيدة في مثل هذه الظروف وبالتالي يجب تغييرها إلى محاصيل أكثر تحمل للملوحة. وهذا الاختلاف الواسع في تحمل النباتات للملوحة يسمح لاستخدام المياه المتوسطة الملوحة والتي كانت في السابق تعتبر غير جيدة للري، كما أنه تم استخدام مدى واسع من ملوحة ماء التربة.

تحمل النباتات للملوحة معلوم لدى كثير من المشتغلين في المحاصيل فقد وضعت ضوابط عامة لاستخدام أو زراعة هذه النباتات بمياه مالحة أو معتدلة الملوحة. تحمل النباتات المختلفة للملوحة يمكن الرجوع إليها من الجدول (٤.٢) والذي اقترحه أساساً العالمان (Maas and Hoffman, 1977) ويشمل المحاصيل والخضار والأشجار والأعلاف. ولقد وضع هذا الجدول منذ ١٩٧٧م وتم إجراء العديد من التعديلات خصوصاً في المناطق الجافة (Ayers and Westcot, 1985). وفي حالة عدم توفر البيانات

الصحيحة فيتم تقدير قيم البيانات لذلك بالاعتماد على التجارب الحقلية. وللمقارنة فقط فإن الجدول (٤.٢) يقسم النباتات إلى عدة أقسام وهي متحملة للملوحة - معتدلة التحمل - معتدلة الحساسية - وحساسة للملوحة، كما تم وضع رسم بياني يوضح التقسيمات الشكل (٤.١٠). وهذه التقسيمات مفيدة جداً لمعرفة مدى تحمل النباتات للملوحة.



الشكل (٤.١٠). تصنيف المحاصيل حسب مقاومتها للملوحة.

(Maas and Hoffman, 1977)

لقد تم استخدام الجدول (٤.٢) وكذلك جدول تقييم المياه لتصنيف وتقييم مياه الري (١.١٤) (Ayers and Westcot, 1985) في تقييم النباتات. وعلى سبيل المثال فإن بيانات الجدول (٤.٢) توضح بأن الإنتاجية الكلية يمكن الحصول عليها بالكامل دون نقص بجميع المحاصيل عندما تكون ملوحة ماء الري EC_w أقل من ٠,٧ ملليموز / سم. وبالجدول (١.١٣) عن تقسيم المياه فإنه يمكن استخدام هذا النوع من

المياه دون تحفظ. وبجدول تقييم المياه أيضاً فإن الملوحة عند المدى المتوسط قد لا تؤثر على الإنتاجية الكاملة كما يمكن الحصول عليها مع الأخذ في الاعتبار نسب غسيل معينة للماء للمحافظة على التربة من تراكم الأملاح. وعند استخدام مياه عالية الملوحة ومحاصيل حساسة للملوحة فإن زيادة نسب الغسيل قد تفي باحتياجات الغسيل وينسبة قد تصل ٢٥-٣٠٪ وهي نسبة غير مفيدة أبداً؛ لأنها تسبب في فقد الماء بكميات كبيرة. وفي هذه الحالة فإنه يجب استبدال النباتات من الحساسية إلى نباتات تتحمل الملوحة.

إن النباتات الحساسة تتطلب نسب غسيل أقل ولكن بزيادة ملوحة ماء الري (EC_w) من المدى القليل إلى المتوسط وإن إنتاجية المحاصيل الحساسة قد تكون غير مجدية في هذه الحالة لأنها تتطلب نسب عالية من الغسيل خصوصاً عند زراعتها في تربة طينية ثقيلة.

إن بيانات تحمل الملوحة للنباتات بالجدول (٤.٢) تستخدم لحساب متطلبات الغسيل. كما أن المنحنى البياني لتقسيم النباتات حسب تحملها للملوحة يستخدم لتقدير الاحتياجات الغسيلية بمعلومية بيانات (الجدول ٤.٢) وهي تقسيمات النباتات حسب تحملها للملوحة في التربة وملوحة ماء الري، في حالة عدم معرفة نمط النباتات المزروعة والدورة الزراعية للمناطق الزراعية الجديدة فإن متطلبات الغسيل يجب أن تعتمد على أقل النباتات تحمل للملوحة بالمنطقة.

(٤,٧,١) تطور بيانات تحمل الملوحة Development of Tolerance Data

ولقد قام (Maas and Hoffman, 1977) بدراسة على نباتات كثيرة مختلفة مزرعة في مناطق عدة ووضعت الجداول والرسومات كما في الشكل (٤,٩) التي تبين العلاقة بين الإنتاج والملوحة حيث اقترحت المعادلة التالية:

$$y = \frac{EC_o - EC_e}{EC_o - EC_{100}} \quad (٤,١١)$$

حيث:

 $y =$ الإنتاج النسبي للمحصول. $EC_0 =$ التوصيل الكهربائي عندما يكون الإنتاج صفر٪. (ملليموز/سم) $EC_{100} =$ التوصيل الكهربائي عندما يكون الإنتاج ١٠٠٪. (ملليموز/سم) $EC_e =$ التوصيل الكهربائي لمحلل التربة. (ملليموز/سم)

ومن ثم قام (Maas and Hoffman, 1977) بوضع المعادلة التالية:

$$y = 100 - b(EC_e - a) \dots\dots\dots (٤, ١٢)$$

حيث:

 $y =$ الإنتاج النسبي للمحصول. $EC_e =$ الملوحة في مستخلص التربة المشبعة ملليموز/سم أو ديسيمنز/م $b =$ النقص في المحصول لكل وحدة زيادة في الملوحة. $a =$ درجة الملوحة التي يبدأ عندها المحصول بالتناقص عن ١٠٠٪.

$$b = \frac{100}{EC_e \text{ at } 0\% \text{ yield} - EC_e \text{ at } 100\% \text{ yield}} \dots\dots\dots (٤, ١٣)$$

القيم الرقمية الموجودة في جدول (٤,٢) لتحمل النباتات للملوحة وتقسيمها نشرت في الأساس في (Maas of Hoffman, 1977) وتم تنقيحها في (Maas, 1984). هذه البيانات توضح بأن إنتاجية النباتات تنخفض خطياً مع زيادة الأملاح فوق القيمة الحرجة لكل محصول وهذا الانخفاض الخطي في الإنتاجية يتوافق ما تم الحصول عليه في التجارب الحقلية.

أما القيم الأخرى لـ EC_e الموجودة في الجدول (٤,٢) فقد حسبت من المعادلة التالية

$$EC_e = \frac{100 + ab - y}{b} \dots\dots\dots (٤, ١٤)$$

حيث: EC_e قيمة ملوحة التربة المرتبطة مع الانخفاض في الإنتاجية.

قيم الانخفاض في المحصول من ١٠٠ إلى ٩٠ ، ٧٥ ، ٥٠ و صفر % موضحة بالجدول وهي مرتبطة بقيم كل من EC_e ، EC_w . وأن قيم EC_e المكافئة لقيم EC_w تمت باستخدام العلاقة ($EC_e = 1.5 EC_w$). والعامل ١,٥ لتحويل من EC_w إلى EC_e يوضح في الواقع نسبة الغسيل ١٥ - ٢٠ %، أما في نسب مختلفة من الغسيل فإنه يجب الرجوع إلى (الجدول ٤,١) لعامل التركيز المختلف وعند نسب غسيل مختلفة. حدود التحمل في (الجدول ٤,٢) لملوحة الماء تفترض بأن ملوحة التربة (EC_e) ناتجة عن تراكم الأملاح في التربة من مياه الري المستخدمة. وعند وجود مصدر للأملاح غير مياه الري مثل ارتفاع مستوى الماء الأرضي فإن هذه العلاقة تصبح غير سليمة بين EC_e و EC_w .

ومن الواضح أنه لو تغيرت قيم نسب الغسيل (١٥-٢٠ %) بحيث أن عامل التحويل بين ($EC_e = 1.5 EC_w$) سوف يختلف فإن قيم EC_w في الجدول (٤,٢) سوف تختلف وعليه إيجاد جدول آخر. ولا يجوز عمل ذلك إلا بعد التأكد من التجارب المحلية بأن العلاقة بين ($EC_e = 1.5 EC_w$) غير صحيحة وتحتاج إلى علاقة أخرى. أن القيم الموجودة في الجدول (٤,٢) لـ EC_e يعتقد أنها أفضل ما تم التوصل إليه بناءً على تجارب عديدة في كثير من دول العالم. أن تغير نسب الغسيل لتغير عامل التغير (1.5) يمكن أن يتم باستخدام الجدول (٤,١). لمعرفة قيم EC_e باستخدام ماء ذا ملوحة معينة ونسب غسيل تختلف عن ١٥-٢٠ %.

النسبة الأعظم من البيانات المستخدمة من قبل (Maas and Hoffman, 1977) لإيجاد معادلة تحمل الملوحة لإنتاجية تقع بين ٥٠-١٠٠ % ولأن هذه المعادلة الخطية تعطي توقع جيد للمحصول عن ملوحة معينة فإنها يمكن استخدامها لتوقع ملوحة ماء التربة EC_e النظرية والتي يبدأ عندها النبات عدم القدرة على امتصاص الماء ويتوقف النمو حيث يصبح الإنتاج صفراً. أما قيمة EC_e العظمى أو صفر إنتاجية والمتحصل عليها من هذه المعادلة موجودة في آخر عمود من الجدول (٤,٢). والشكل (٤,٩) لتحمل النباتات للملوحة يوضح هذه القيم عندما تكون الإنتاجية صفراً.

عند رسم البيانات في شكل منحني فإن النباتات المتشابهة للتحمل تقع ضمن مجموعة معينة والحدود بين المجموعات يمكن تحديدها كما جاء في الشكل (٤,٩) (Maas, 1984) وهي قريباً جداً للبيانات التي أعطيت في الجدول (٤,٢). ويمكن تقسيم مجموعات النباتات حسب تحملها للملوحة إلى الآتي :

تحمّل النباتات للملوحة	EC _e التي يبدأ بعدها المحصول بالانخفاض
١ حساسة	أقل من ١,٣ ملليموز/سم
٢ متوسطة الحساسية	١,٣-٣ ملليموز/سم
٣ متوسطة التحمل	٣-٦ ملليموز/سم
٤ متحملة	٦-١٠ ملليموز/سم
٥ غير صالحة	أكثر من ١٠ ملليموز/سم

ويمكن اختيار بعض النباتات ووضعها بالجدول (٤,٣) عند مدى صلاحية مياه الري لمحصول العنب مثلاً أو تأثير الملوحة على الإنبات (الجدول ٤,٤).

الجدول (٤,٣). القواعد الإستراتيجية لمدى صلاحية المياه للعنب. (Neja et al, 1978).

درجة التقييم			الوحدات	مشكلة مياه الري
عدم الإستخدام	متوسط	لا يوجد منع		
>2.7	1.0-2.7	<1	dS/m	الملوحة (EC _e) ^(١)
				السمية
-	-	<20	meq/l	صوديوم (Na ⁺)
>15	4-15	<4	meq/l	كلوريد (Cl ⁻)
>3	1-3	<1	meq/l	بورون (B)
				Miscellaneous
>7.5	1.5-7.5	<1.5	meq/l	بيكربونات (HCO ₃ ⁻)
>30	5-30	<5	mg/l	نترات - نيتروجين (NO ₃ -N)

الجدول (٤، ٤). التحمل النسبي للأملح لخاصيل مختلفة عند الإنبات. (Maas, 1984).

المحصول	50% إنخفاض في نسبة الإنبات (EC _e ds/m)
شعير	16-24
قطن	15.5
قصب سكر	6-12.5
دخن	13
Safflower	12.3
قمح	14-16
البنجر الأحمر	13.8
البرسيم	8.2-13.4
الطماطم	7.6
الأرز	18
زهرة	13
البطيخ	10.4
الذرة	21-24
حس	11.4
بصل	5.6-7.5
الفاصوليا	8.0

مثال (١)

افترض أن محصول البنجر يتحمل ملوحة E_{ce} مقدارها ٨.٥ ديسيمنز/متر مع انخفاض في الإنتاجية تمثل ١٠٪ فما هي قيم LR لمياه مختلفة النوعية كالآتي:

$$EC_i = 2.0, 1.0, 0.5, 0.1 \text{ ديسيمنز/متر}$$

بتطبيق معادلة الغسيل فإن قيم الاحتياجات الغسيلية كما يلي:

$$LR = 0.24, 0.12, 0.056, 0.012$$

أما عند نسب غسيل تمثل ١٠٠٪ ، ٩٠٪ ، ٨٠٪ ، ٧٠٪ من الإنتاج وعند استخدام مياه ذات ملوحة $EC_i = ١,٠$ ديسيمنز/ متر وبمعرفة قيم EC_e من (Maas & Hoffman, 1977)

$$EC_e = ٧ ، ٨,٥ ، ١٠,٥ ، ١٢ \text{ ديسيمنز/متر}$$

فإن قيم الاحتياجات الغسيلية تكون

$$LR = ٠,١٤ ، ٠,١٢ ، ٠,٠٩٥ ، ٠,٠٨٣ \text{ على التوالي.}$$

مثال (٢)

إذا كانت المياه المستخدمة للري EC_i ذات ملوحة $= ٠,٧$ ديسيمنز/متر بمقل مزروع بالبندر وقيمة EC_e من دراسة (Maas & Hoffman., 1977) لتجنب أي فقد هي ٧ ديسيمنز/متر.

$$LR = \frac{EC_i}{EC_d} = \frac{0.7}{7} = 0.1$$

وبافتراض أن قيمة (ET) اليومي = ٢٠ بوصة/اليوم

$$D_i = D_d + D_{et}$$

$$\therefore LR = \frac{D_d}{D_i}$$

$$\therefore D_d = LR \times D_i$$

وبالتعويض عن قيمة D_d في المعادلة تصبح كالتالي :

$$D_i = LR \times D_i + D_{et}$$

$$D_i - LR \times D_i = D_{et}$$

$$D_i (1 - LR) = D_{et}$$

$$\therefore D_i = \frac{D_{et}}{1 - LR} = \frac{0.2 \text{ in/day}}{1 - 0.10} = 0.22 \text{ in/day}$$

ومع افتراض أن كفاءة الري ٧٠٪ فإن قيمة

$$D'_i = D_i / \text{eff} = \frac{0.22 \text{ in/day}}{0.7} = 0.31 \text{ in/day}$$

وعلى افتراض أن الري يتم كل ١٠ أيام وبمعدل تسرب ٢ بوصة/اليوم فإن زمن الري يكون كالتالي:

$$T = \frac{D'_i \times \text{Irrig. Interval}}{\text{Infil. Rate}} = \frac{0.31 \times 10}{2} = 1.55 \text{ days}$$

بالرجوع إلى معادلة حساب احتياجات الغسيل LR فيجب أن نعين قيمة EC_{dw} وبافتراض أن قيم EC_e التي تعطي ٥٠٪ انخفاض في محاصيل و الجيوب والعلف و ١٠٪ انخفاض في محاصيل الفواكه هي نفسها قيم EC_{dw} التي وضحها (Bernstein, 1964) وكان الافتراض هو أن النباتات تستجيب إلى معدل ملوحة منطقة الجذور (Bernstein and Francis, 1973).

مثال (٣)

يحصل لبنجر السكر انخفاضا مقداره ١٠٪ عندما تكون $EC_e = ٨,٧$ ملموز/سم ولو افترضنا أن ماء الري ذو $EC = ٢٠٠٠$ ميكروموز/سم. فاحسب LR

الحل

وللمقارنة فإن الطريقة السابقة حسب معادلة التوازن وباستخدام ٥٠٪ انخفاض في المحصول فإن قيمة $EC_{dw} = ١٥$ ملموز/سم.

فإن:

$$LR = \frac{EC_{iw}}{5 EC'_e - EC_{iw}} = \frac{2}{5(8.7) - 2} = \frac{2}{41.5} = 0.048 = 4.8\%$$

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} = \frac{2}{15} = 0.13 = 13\%$$

الفرق بين المعادلتين هو أن ١٣٪ تأخذ في الاعتبار المنطقة الجذرية كلها دون الاعتماد على الموقع بينما يستجيب المحصول إلى الملوحة المنخفضة في أعلى المنطقة الجذرية ٤,٨٪ وإهمال المنطقة السفلى من منطقة الجذور العالية الملوحة.

إن المعلومات الخاصة بالاستهلاك المائي (ET) لمحصول معين ضرورية لو استخدمت احتياجات الغسيل لتعيين عمق ماء الري المطلوب إضافته أو عمق الماء في الصرف للمحافظة على مستوى معين من الملوحة في التربة حيث:

$$ET = D_{iw} - D_{dw}$$

وبحل المعادلة لقيمة D_{dw} ووضعها في المعادلة وترتيبها كما يلي:

$$D_{iw} = \frac{ET}{1 - LR}$$

حيث تبين المعادلة عمق مياه الري اللازمة لكل من البخر- نتح (ET) وقيمة LR.

مثال (٤)

احسب عمق مياه الري وعمق مياه الصرف في أراضي مروية علماً بأن التوصيل الكهربائي لماء الري $EC_{iw} = 1$ ديسيمينز/متر و $EC_{dw} = 8$ ديسيمينز/متر علماً بأن الاستهلاك المائي للمحصول يساوي ٠,٩ سم/اليوم؟

الحل

باستخدام المعادلة:

$$D_{iw} = ET \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right)$$

$$D_{iw} = 0.9 \left(\frac{8}{8-1} \right) = 1.03 \text{ cm/day}$$

$$D_{dw} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} D_{iw} = \frac{1}{8} \times 1.03 = 0.13 \text{ cm/day}$$

مثال (٥)

أحسب مقدار الاحتياجات الغسيلية (LR) علماً بأن قيمة EC_e تساوي ١٠ ديسيمنز / متر. احسب كذلك عمق ماء الري (D_{iw}) الواجب إضافته إذا علمت بأن الاستهلاك المائي يساوي ٦٠ ملم. علماً بأن $EC_{iw} = 1.5$ ديسيمنز/م.

الحل

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

$$LR = \frac{1.5}{5(10) - 1.5} = 0.031$$

$$D_{iw} = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{60}{1 - 0.031} = 61.9195 \text{ mm} \cong 62 \text{ mm} = 6.2 \text{ cm}$$

مثال (٦)

حقل مساحته ١٢٠٠ هكتار مزروع فيه محصول معين له القدرة على تحمل توصيل كهربائي في ماء الصرف يقدر بـ ٦ ملليموز/سم، إذا علمت أن الاستهلاك المائي للمحصول ٩٧ سم من مياه الري ومقدار سقوط الأمطار في فصل النمو = ١٥ سم وقيمة EC ماء المطر = ٠,٥ ملليموز/سم، وقيمة EC ماء الري = ٢,٠ ملليموز/سم.

الحل

$$EC_{(rw+iw)} = \frac{D_{rw} EC_{rw} + D_{iw} EC_{iw}}{D_{rw} + D_{iw}} = \frac{15 \times 0.5 + D_{iw} \times 2}{15 + D_{iw}}$$

$$\text{But } D_{iw} = \frac{ET}{\left(1 - \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}}\right)} = \frac{97}{\left(1 - \frac{2}{6}\right)} = 145.5 \text{ cm}$$

$$\therefore EC_{(rw+iw)} = \frac{15 \times 0.5 + 145.5 \times 2}{15 + 145.5} = 1.86 \text{ m mhos}$$

$$LR = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} = \frac{1.86}{6} = 0.31$$

$$D_{dw} = \frac{EC_{iw}}{EC_{dw}} D_{iw} = \frac{1.86}{6} \times 145.5 = 45.1 \text{ cm}$$

حجم الماء الإجمالي الذي يجب أن يصرف من هذه المنطقة

$$1200 \times \frac{45.1}{100} = 541.26 m^3$$

مثال (٧)

أوجد الاحتياجات الغسيلية (LR) لمحصول القمح وملوحة ماء الري ١٥٠٠ جزء في المليون فإذا علمت أن قيمة التوصيل الكهربائي لمستخلص ماء التربة والمناسب للقمح ٦,٧ ملليموز / سم والتوصيل الأقصى الذي يتحملة المحصول = ٢٠ ملليموز/سم.

الحل

$$LR = \frac{EC_{iw}}{2 \text{ Max } EC_{dw}} \frac{1}{LE}$$

$$EC_{iw} = 1500 \text{ ppm}$$

$$EC_{iw} = \frac{1500}{640} = 2.34 \text{ mmhos}$$

$$LR = \frac{2.34}{2 \times 20} \times \frac{1}{90} = 0.065 = 6.5\%$$

مثال (٨)

$$D_d = ET \left(\frac{EC_i}{EC'_d - EC_i} \right)$$

إثبات أن :

الحل

$$D_i = ET + D_d$$

$$D_i = \frac{ET}{1 - LR}$$

$$D_d + ET = \frac{ET}{1 - LR}$$

$$D_d = \frac{ET}{1 - LR} - ET$$

$$= \frac{ET}{\left(\frac{EC_d - EC_i}{EC_d} \right)} - ET$$

$$= \frac{ET}{\left(\frac{EC_d - EC_i}{EC_d} \right)} - ET$$

$$= \left(\frac{EC_d \times ET}{EC_d - EC_i} \right) - ET$$

$$= ET \left(\frac{EC_d}{EC_d - EC_i} - 1 \right)$$

$$= ET \left(\frac{EC_d - EC_d + EC_i}{EC_d - EC_i} \right)$$

$$= ET \left(\frac{EC_i}{EC_d - EC_i} \right)$$

مثال (٩)

يروى محصول الذرة بالري الجدولي. تمت الزراعة في تربة طمشية متجانسة وتروى بمياه البئر ذو الملوحة ($EC_w = 1.2 \text{dS/m}$). قيمة البخر- نتح للمحصول

$800/0.65 =$ كفاءة الري 65% وإن الماء المضاف الموسمي 800mm/year 1230mm . كم من الماء يجب أن يضاف لحساب متطلبات الغسيل؟
المعطيات:

$$EC_w = 1.20 \text{ dS/m}$$

$$EC_e = 2.5 \text{ dS/m} \text{ (الجدول ٤,٢ عند إنتاجية } 90\% \text{)}$$

$$EC_e = 1.7 \text{ dS/m} \text{ (الجدول ٤,٢ مع إنتاجية } 100\% \text{)}$$

الحل

يمكن حساب متطلبات الغسيل باستخدام معادلة الغسيل وبالتعويض عن القيم المناسبة للمحصول المطلوب من الجدول (٤,٢):

$$LR = \frac{EC_w}{5((EC_e) - (EC_w))} = \frac{1.2}{5(2.5) - 1.2} = 0.10 \text{ عند } 90\% \text{ من الإنتاجية.}$$

$$LR = \frac{1.2}{5(1.70 - 1.2)} = 0.16 \text{ عند } 100\% \text{ من الإنتاجية}$$

$$AW = \frac{ET}{1 - LR} = \frac{800}{1 - 0.10} = 890 \text{ mm / season}$$

وحيث إن كمية الماء المضافة 1230 ملم بطريقة الري السابقة بكفاءة 65% لتلبية 800 ملم من ET وحيث إن 1230 ملم أكثر من 890 ملم المطلوبة لتلبية ET وللغسيل فإن الفرق هو تسرب عميق أو سيساعد في عملية الغسيل. إن الفقد الحاصل ضمن التسرب العميق أكثر من ما هو المطلوب للغسيل حتى عند 15% . وعليه فإن إضافة كميات أخرى للغسيل غير مجدية.

مثال (١٠)

تحديد إنتاجية المحصول لمحصول القطن من جدول (٤,٢) قيمة $a = 7.7$ dS/m وهي قيمة EC_e عند إنتاجية 100% ومن معادلة (Maas and Hoffman, 1977) و(الجدول (٤,٢) تحمل النباتات للملوحة فأن قيم:

$$b = \frac{100}{EC_e \text{ at } 0\% \text{ yield} - EC_e \text{ at } 100\% \text{ yield}}$$

$$= \frac{100}{27 - 7.7} = \frac{100}{19.3} = 5.2$$

أي ٥,٢% من الفقد في الإنتاج لكل وحدة زيادة في ملوحة EC_e بالتعويض عن قيم كل من a ، b في المعادلة عند إنتاجية ١٠٠% يمكن حساب EC_e حيث:

$$EC_e = \frac{100 + ab - y}{b} = \frac{100 + (7.7 \times 5.2) - 100}{5.2} = 7.7 \text{ dS / m}$$

والقيم الأخرى للملحة ماء التربة EC_e عند انخفاض الإنتاج هي:

الإنتاجية المحتملة (%)	EC_e
١٠٠	٧,٧
٩٠	٩,٦
٧٥	١٣
٥٠	١٧
صفر	٢٧

(٤,٧,٢) العوامل التي تؤثر على تحمل الملوحة Factors Affecting Tolerance

إنتاجية المحاصيل باستخدام مياه الري يمكن أن تتفاوت من (صفر-١٠٠%) حسب الملوحة المستخدمة كما وضحنا سابقاً وهناك عوامل أخرى غير نوعية المياه تؤثر

على الإنتاجية. والقيم الموضحة في جدول وشكل تحمل النباتات للملوحة تبين مدى تحمل النباتات للملوحة باعتماد عامل الملوحة فقط ولكن هناك عوامل قد تكون دائمة أو مؤقتة في التأثير على الإنتاج.

إن الجدول (٤،٢) (Maas and Hoffman, 1977) لتحمل النباتات للملوحة وضع أساساً للنباتات في طور الشتلات حتى النضج ولم تتضمن الفترة خلال الإنبات وهي فترة مهمة جداً لتأثير الأملاح على الإنبات وبالنهاية على الإنتاجية. وعموماً إذا كانت الملوحة عند سطح التربة (موقع البذور) أكبر من ٤ ملليموز/سم فإنها قد تمنع أو تؤخر الإنبات.

كذلك الاختلافات بين النباتات تؤثر على مدى تحمل النباتات للملوحة ولذلك هناك الكثير من البحوث تركز على أنواع النباتات التي تتحمل الملوحة في المناطق الجافة ودخلت التقنية الحيوية بشكل كبير في استنباط مثل هذه الأصناف التي تتحمل الملوحة.

المناخ أيضاً من العوامل المهمة التي تؤثر على تحمل المحاصيل للملوحة والجفاف وعلى العموم فإن النباتات التي تنمو في المناطق الباردة أو في فصل الشتاء لها القدرة على مقاومة الملوحة أكثر من تلك التي تنمو في المناطق الدافئة أو الجافة خصوصاً إذا عرفنا أن الاحتياجات أو الطلب على الماء من قبل النباتات في الجو البارد تكون أقل وعليه فإن الأثر الناتج عن عدم توفر الماء وزيادة تركيز الأملاح غير موجود، كما أن الأمطار الساقطة تؤثر على غسيل الأملاح وتمنع تراكمها. ومن جهة أخرى في المناطق الدافئة فإن الطلب على ET كبير وامتصاص الماء من قبل النباتات قد لا يكون مناسباً نتيجة لعدم توفر الماء بصورة جيدة وزيادة الأملاح فيه (القريبة من منطقة الجذور) مما يسبب ظهور أعراض الإجهاد على النباتات. وعليه تستطيع القول أن المناخ يؤثر على النباتات الأكثر حساسية للجفاف والملوحة.

وللتسميد تأثير قليل جداً على تحمل الملوحة ؛ لأن التسميد المناسب يزيد من الإنتاجية وأن إضافة أسمدة جديدة قد لا يزيد الإنتاج ولكن يعرض النبات إلى مشاكل أخرى قد تؤدي إلى خفض الإنتاجية.

(٣، ٧، ٤) الإدارة الحقلية

أهم الأعمال الإدارية للسيطرة على الأملاح سبق وأن نوقشت وهي أساساً وجود الصرف الجيد ومن ثم الغسيل للسيطرة على الملوحة واستبدال المحاصيل إلى محاصيل أكثر تحمل للملوحة. هذه الأعمال مناسبة كحلول لفترات طويلة بالنسبة للسيطرة على الملوحة ولكن هناك بعض الأعمال التي يجب تؤخذ ولها تأثيرات جيدة وتؤثر على الإنبات والشتلات وبالنهاية المحصول. فالإنتاجية الضعيفة أساسها عدم وجود نبات قوي من البداية أي من بداية الإنبات. وأن هذه الأعمال تساعد على السيطرة على الملوحة وهي تعمل في كل السنة أو كل سنتين وتشمل :

١- تسوية الأرض (أرض الحقل الزراعي) Leveling

السيطرة على الملوحة تكون صعبة جداً في حالة كون الحقل غير مستوي أو مدرج بصورة سليمة. والتسوية تسمح بتوزيع الماء بصورة متجانسة. وإذا تركت الأرض دون تسوية تؤدي إلى تراكم الأملاح في المناطق المرتفعة من الحقل وعادة ما تكون قدرتها على تسرب الماء ضعيفة أما في المناطق المنخفضة فإن تجمع الماء يسبب مشاكل كثيرة للنبات. والإنتاجية في المناطق المرتفعة من الحقل تكون ضعيفة نتيجة لقلّة الماء وزيادة الملوحة، أما في المناطق المنخفضة فضعف الإنتاج سببه زيادة الرطوبة في التربة وقلّة التهوية وبالتالي ضعف النبات النامي وبالطبع هذه المشكلة تحدث بالري السطحي أي الغمر في المناطق الغير مستوية من الحقول الزراعية.

٢- توقيت الري Irrigation Time

توقيت الري لمنع إجهاد النباتات سيساعد أيضاً في الحصول على الإنتاجية العالية باستخدام مياه مالحة نسبياً. وتوقيت الري يشمل زيادة تكرار الري، والري قبل موسم الأمطار واستخدام الشتلات بدل البذور المباشرة. والهدف الأساسي من توقيت الري هو تقليل الملوحة وتجنب الإجهاد بين الريات. إن تجنب الإجهاد بين الريات يمكن أن يتم بزيادة تكرار الري الذي قد يؤدي إلى زيادة الماء المتاح بين الريات. وإن تكرار الري قد لا يعطي نتائج طيبة دائماً الري بالغمر وإن زادت عملية تكرار الري فقد يؤدي إلى زيادة الماء المضاف مما يقلل من كفاءة استخدام الماء وكما هو معروف فإن طرق الري بالغمر ذات كفاءة منخفضة عند مقارنتها بطرق الري بالرش أو التنقيط.

إن تراكم الأملاح باستخدام مياه مرتفعة الملوحة يمكن ملاحظتها في ١٠ سم من الطبقة السطحية من التربة نتيجة التبخر خصوصاً في المواسم غير الزراعية بالمناطق التي يرتفع فيها مستوى الماء الأرضي وفي الأجواء الحارة الجافة، وتراكم الأملاح هنا مصدره كل من مياه الري ومستوى الماء الأرضي إن وجد. وفي تلك الأحوال فإن النباتات وتطور نمو الشتلات والإنتاجية سوف تتأثر نتيجة التملح. ولذلك ينصح بالري العميق قبل الزراعة في مثل هذه المناطق.

٣- موقع البذرة Placement of Seed

كما ذكر سابقاً فإن الملوحة تؤثر على نسبة الإنبات أو تؤخره وغالباً ما يكون من الصعب الحصول على نباتات جيدة عند زراعة النباتات على البتون في الترب المتأثرة بالأملاح. وعادة ما يقوم المزارعين بزيادة معدلات إضافة البذور إلى ثلاثة أضعاف المعدل في الظروف الاعتيادية. أن زيادة كمية البذور تعطي زيادة في كثافة

النباتات كما هو موضح بالجدول (٤.٥) ولكن هذه الكثافة سوف تؤثر على النباتات وفي النهاية على المحصول بالإضافة إلى عدم تجانس النباتات مع بعضها. ومن الخيارات التي يجب اتباعها هو التكييف في الزراعة للتأكد من أن التربة حول الشتلات أو البذور قليلة الأملاح وإنها مناسبة لإنبات البذور خصوصاً في فترة الإنبات.

مع الري بالشرائح فإن النباتات توضع على أعلى البتون وإن مياه الري تتحرك إلى البتن وعندما يتحرك الماء من شرخين للري إلى مركز البتن فإن تركيز الأملاح سيكون في المنتصف ويؤدي إلى تراكم الأملاح بالمنتصف. إن زراعة البذور في مفردة بالمنتصف هو بالفعل محل تراكم الأملاح (الشكل ٤.١١ أ) أما زراعة البذور في صفين بعيداً عن المركز (الشكل ٤.١١ د) وقريبة من حافة البتن يمنع تراكم الأملاح بهما. وبهذه الطريقة فإن الأملاح تتراكم بالمركز ولكنها بعيدة عن النباتات. ومن الطرق الأخرى هو استخدام شريحة لري واحدة حيث يتراكم الأملاح في الجهة البعيدة من الماء (الشكل ٤.١٠ ب).

الجدول (٤.٥). معدل إضافة البذور للنباتات المختلفة. (Ayers and Westcot, 1985).

البرسيم		الجذر		البصل		معدل الإضافة %
٤,٠	١,٠	٤,٠	١,٠	٤,٠	١,٠	
٢٤	٢٩	٥٦	٨٣	١٤	١٧	٢١,٠
٣٤	٣٩	٧٢	١٢٦	١٩	٢٣	١٣,٠
٣٦	٥١	١٢٠	١٩٨	٢٨	٣٣	٢٠,٠

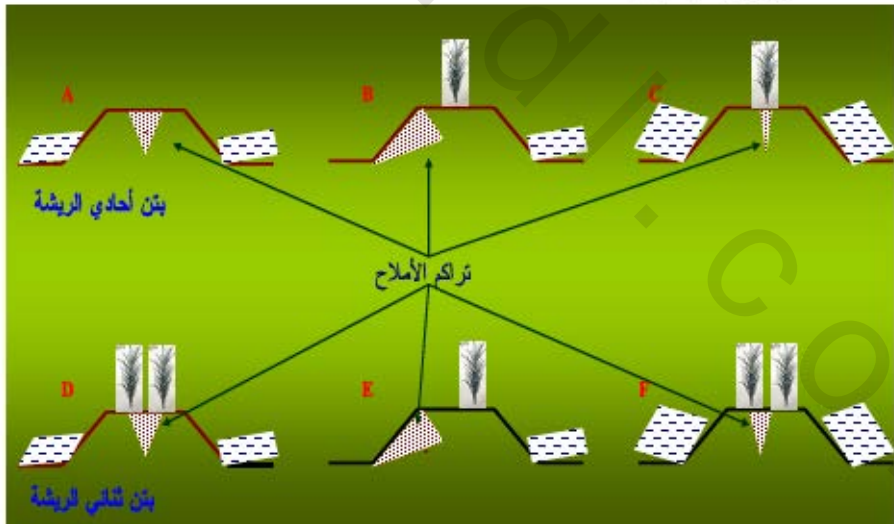
كما يمكن أيضاً زيادة عمق ماء الري في جدول الماء كما يوضحه شكل (٤.١٠ ف). ومن الطرق المستخدمة حالياً هو استخدام البتون المائلة ويتم وضع البذور والشتلات على جانب الميل (الشكل ٤.١٢)، بطرق مختلفة، مفردة أو مزدوجة

النباتات. أو عن طريق تغير الميل في البتون (الشكل ٤.١٣). أو المائلة المتكررة الموضحة بالشكل (٤.١٤).

ولتأثيرات الملوحة المختلفة فإن الشكل (٤.١٥) يوضح الطرق المناسبة لكل ملوحة عند أوضاع مختلفة للبتون سواء كانت منفردة أو مزدوجة أو ذات ميول عند قيم ملوحة التربة بين ٤-١٦ مليموز / سم.

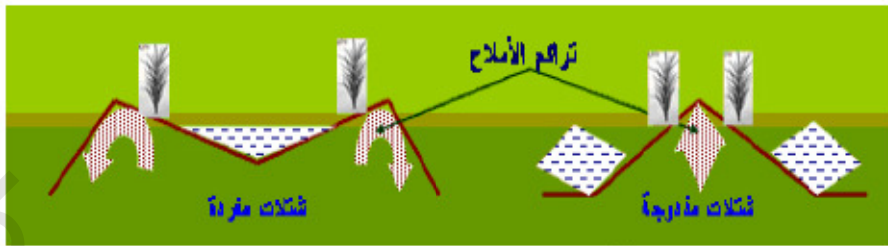
٤- التسميد Fertilization

الأسمدة الكيميائية والعضوية ومحسنات التربة بها أملاح قابلة للذوبان وإذا وضعت هذه الأسمدة قريبة جداً إلى الشتلات أو النباتات النامية قد تسبب السمية لها. فمثلاً عند إضافة (٢٤٠ كيلو/هكتار كبريتات أمونيوم) ٥٠ كيلو/هكتار نيتروجين لن يسبب أي مشكلة عند وضعه بصورة متجانسة للتربة. ولكن عند خلطه من البذور وقت البذار فإنه سيقبل الإنبات. وعليه فإن من الواجب أخذ الحذر عن موعد إضافة الأسمدة وتوقيتها وكميتها.



الشكل (٤.١١). تأثير موقع البذور وكيفيةها على الإنبات.

(Ayers and Westcot, 1985)



الشكل (٤،١٢). وضع البذور في البتون المائلة.

(Ayers and Westcot, 1985)



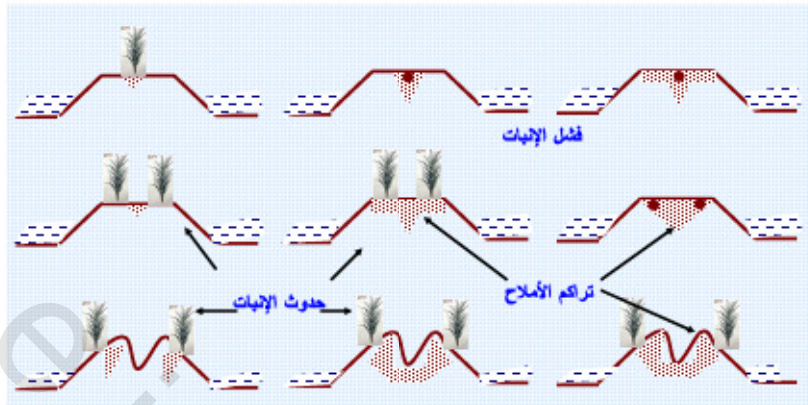
الشكل (٤،١٣). شكل البتون متغيرة الميل.

(Ayers and Westcot, 1985)



الشكل (٤،١٤). شكل البتون المتكررة.

(Ayers and Westcot, 1985)



الشكل (٤,١٥). تأثير قيم الملوحة (٤-٦ ديسيمتر/م).

(Ayers and Westcot, 1985)

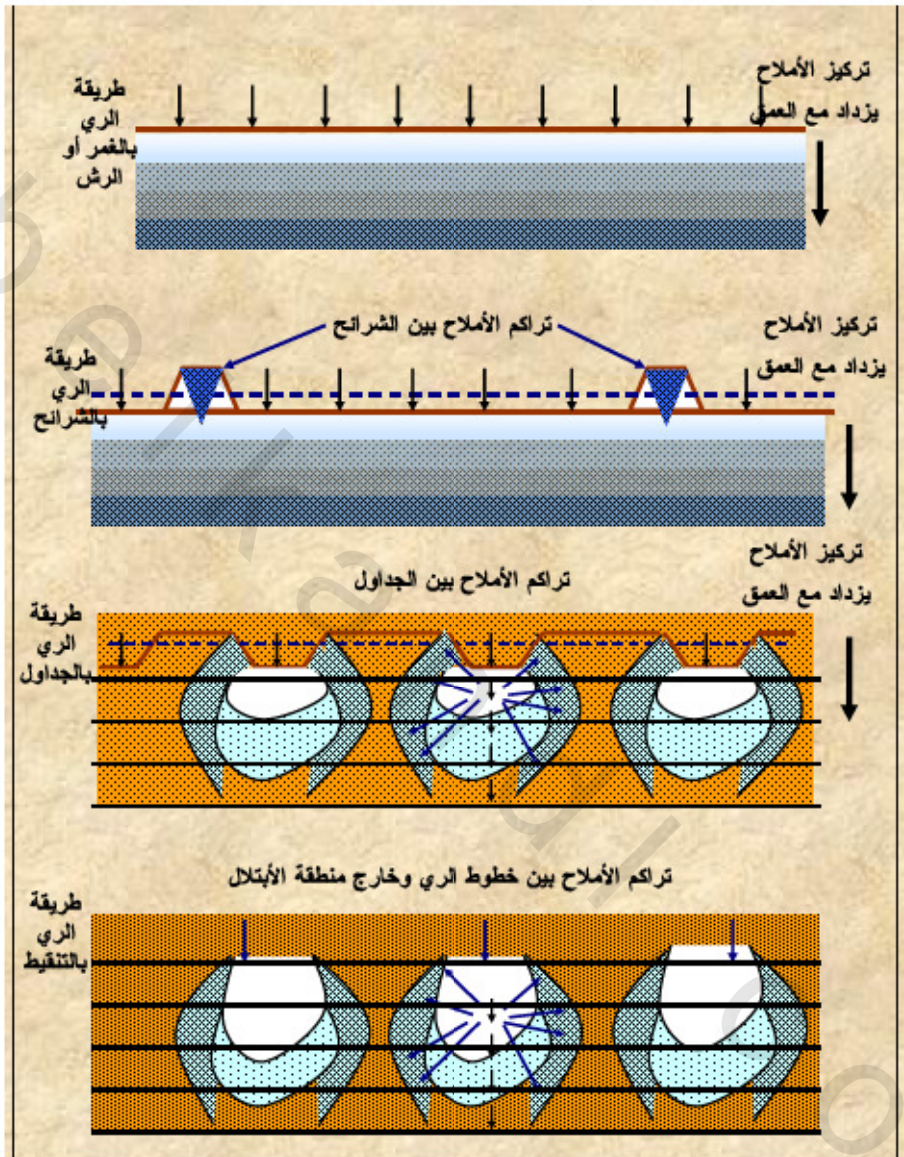
تغيير طرق الري (٤,٧,٤) Changing Method of Irrigation

تؤثر طرق الري مباشرة على كل من كفاءة استخدام المياه وعلى تراكم الأملاح. فطرق الري بالغمر والرش صممت لإضافة الماء بطريقة متساوية على المساحة المروية وهذا يؤدي إلى تراكم الأملاح في أسفل منطقة الجذور. وإن درجة تراكم الأملاح تعتمد على نسب الغسيل المستخدمة. يوضح الشكل (٤,٢) توزيع الأملاح في قطاع التربة الناتج من الري السطحي أو الري بالرش عند نسب غسيل تراوحت بين ٠,١ - ٠,٤.

يوضح الشكل (٤,١٦) نمط تراكم الأملاح عند الري بالغمر أو بالرش عند إضافة الماء بشكل متجانس ومقارنته بالري بالتنقيط والذي يضاف فيه الماء عند مواقع محددة من سطح التربة. ومن جانب آخر ففي طريقة الري بالرش فإن تراكم الأملاح يكون مشابهاً لطريقة الغمر ولكن تتراكم الأملاح أيضاً في الأماكن الغير مروية (لاحظ الشكل) نتيجة البخر. أما في طرق الري بالتنقيط فإن الأملاح تتراكم في نهاية ما يصل الماء في التربة ويعطي الري بالتنقيط شكل كروي للماء.

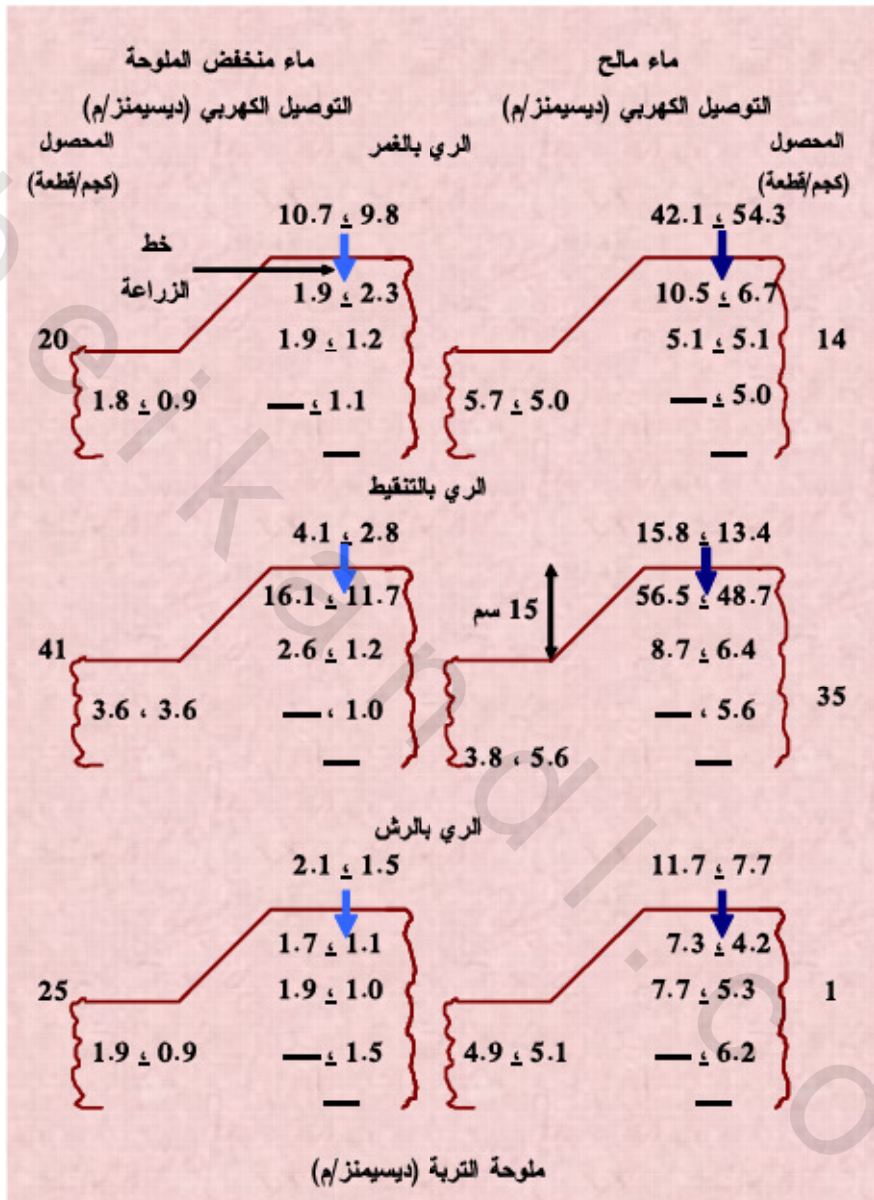
يوضح الشكل (٤,١٧) توزيع الأملاح الناتجة من الأنواع المختلفة للري و

إنتاجية المحصول.



الشكل (٤، ١٦). تأثير نوعية الري على زيادة الأملاح في التربة.

(Ayers and Westcot, 1985)



الشكل (١٧، ٤). مقارنة بين مياه الري منخفضة ومرتفعة الملوحة وأنظمة الري المختلفة.

(Ayers and Westcot, 1985)

(٤,٧,٥) تهيئة التربة للسيطرة على الملوحة

Land Development for Salinity Control

تهيئة التربة أو الحقل للزراعة للسيطرة على الأملاح تحتاج إلى عمليات مهمة ومنها تسوية التربة، إنشاء المصارف، الحراثة العميقة والغسيل لإزالة الأملاح من التربة.

١- تسوية التربة Land grading

لا يمكن السيطرة على الملوحة في حقول غير مستوية وميول مختلفة في الحقل. وتسوية الحقل تسمح بحصول تجانس لتسرب المياه على امتداد الحقل. والتسوية تغير من ميل الحقل الأساسي إلى ميل متجانس.

٢- تحسين صرف الطبقة تحت السطحية Improved subsurface drainage

مشاكل صرف الطبقة تحت سطحية أو ارتفاع مستوى الماء الأرضي يصعب من مشاكل الملوحة في الحقل. ارتفاع مستوى الماء الأرضي يرجع إلى وجود طبقة صماء غير منفذة تحت سطح التربة مثل طبقة من الطين أو طبقة جيرية صماء. ومشاكل الصرف قد تكون نتيجة زيادة الري أو نتيجة أن المنطقة منخفضة فيتجمع بها المياه.

٣- الحراثة العميقة Deep Cultivate

قطاع التربة ذو الطبقات المختلفة يصعب رية لكفاءة جيدة فالطبقات المختلفة مثل الطين وبعدها الرمل أو طبقة صماء يصعب تسرب الماء إليها وبالتأكيد فإنه من الصعوبة جداً السيطرة على الأملاح. في مثل تلك الترب، وعليه فإنه يجري حرث عميق لتكسير هذه الطبقات الغير منفذة باستخدام الحراثة العميقة. إن الحراثة العادية قد تعطي نتائج لفترات قصيرة ١- ٥ سنوات فقط ثم تبدأ المشكلة من جديد.

٤- استصلاح التربة بالغسيل Reclamation Leaching

عندما تزداد الملوحة عن تحمل النباتات لها فإنه يجب غسيل التربة واستصلاحها لتخفيف الملوحة بها. فقد تكون الأملاح تراكمت نتيجة طبيعة ومادة الأصل بالتربة أو وجود مستوى ماء أرضي مرتفع أو تراكمت لعدم كفاية الغسيل أثناء موسم النمو.

٦, ٧, ٤) خلط مياه الري Changing or Blending Water

في حالة وجود مياه مرتفعة الملوحة فإنه يمكن أن يفكر باستبدال المياه من مصدر آخر أحسن نوعية وهذا بالطبع غير ممكن وعليه فيمكن التفكير في خلط المياه من بئرين أو مصدرين مختلفين ويصبح تركيز المياه الجديد حسب المعادلة التالية:

$$\text{تركيز الماء المخلوط} = (\text{تركيز الماء أ} \times \text{كمية الماء أ}) + (\text{تركيز الماء ب} \times \text{كمية الماء ب}) \dots (٤,١٥)$$

مثال: الماء المختلط للذرة (Ayers and Westcot, 1985)

يروي مزارع محصول الذرة من مياه القناة حيث ($EC_w = 0.23 \text{ dS/m}$) ويمكن الحصول على نسبة غسيل تساوي ٠.١٥. المساحة الزراعية قابلة للتمديد والمشكلة عدم وجود مياه كافية. ومياه آبار ملوحتها تساوي ($EC_w = 3.6 \text{ dS/m}$) غير مناسبة لري الذرة. هل من الممكن خلط المياه وزيادة مساحة المنطقة الزراعية؟

وتحليل مياه البئر والقناة موضحة بالتالي:

	EC_w (dS/m)	Ca (me/l)	Mg (me/l)	Na (me/l)	HCO_3 (me/l)	Cl (me/l)	SO_4 (me/l)	SAR
مياه القناة	٠,٢٣	١,٤١	٠,٥٤	٠,٤٨	١,٨	٠,٢٩	٠,١٧	٠,٥
مياه الآبار	٣,٦	٢,٥٢	٤	٣٢	٤,٥	٢٥,١	٨,٩	١٨

المعطيات:

ملوحة ماء القناة $EC_w = 0.23 \text{ dS/m}$

$$EC_w = 3.6 \text{ dS/m}$$

ملوحة البئر

نسبة الغسيل (LF) 0.15

الحل

متطلبات الغسيل عند ٩٠٪ من الإنتاج باستخدام معادلة الغسيل بالري

السطحي وجدول (٤.٢) لتحمل النباتات للملوحة :

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w}$$

$$LR_{Canal} = \frac{0.23}{5(2.5) - 0.23} = 0.02$$

$$LR_{well} = \frac{3.6}{5(2.5) - 3.6} = 0.40$$

متطلبات الغسيل المحسوبة أقل بكثير عن ما يقوم به المزارع في حالة استخدام

مياه القناة وبالتالي فإن المياه المفقودة كبيرة جداً وليس لها مبرر. أما عند استخدام مياه

الآبار فإن نسبة الغسيل ترتفع إلى ٤٠٪ وهي كبيرة جداً.

باستخدام مياه القناة ومع نسبة غسيل ١٥٪ فإن الماء المضاف حسب المعادلة

$$A_w = \frac{ET}{1 - LF}$$

$$= 800/1 - 0.15 = 941 \text{ mm/year.}$$

أما مياه البئر

$$A_w = \frac{800}{1 - 0.4} = 1333 \text{ mm/year.}$$

وعليه فإن استخدام ماء البئر لوحده سيزيد ٤٠٪ من الماء المطلوب. ومن الجدول (٤,٢) فإن قيمة ماء الري والتي تسمح بإنتاج ٩٠٪ وعند غسيل ١٥٪ تساوي $EC_w = 1.7$

∴ يمكن استخدام معادلة المياه المخلوطة.

$$\text{ملوحة المياه المخلوطة } (EC_{w \text{ blend}}) = (\text{ملوحة البئر } (EC_{w \text{ well}}) \times b) + (\text{ملوحة القناة } (EC_{w \text{ Canal}}) \times a)$$

حيث

$$EC_{w \text{ Canal}} = \text{ملوحة ماء الري من القناة } ds/m.$$

$$EC_{w \text{ well}} = \text{ملوحة ماء البئر } ds/m.$$

$$EC_{w \text{ blend}} = \text{أعلى قيمة لملوحة الماء المخلوط } ds/m.$$

$$a = \text{كمية ماء القناة } \%$$

$$b = \text{كمية ماء البئر } \%$$

$$\text{if } a = 1 - b$$

$$\therefore 0.23(1-b) + 3.6(b) = 1.7$$

$$3.27b = 1.47$$

$$b = 0.44$$

$$a = 0.56$$

وعليه يمكن زيادة المساحة المزروعة إذا تم خلط ماء القناة بنسبة ٤٤٪ من ماء البئر و ٥٦٪ من ماء القناة.

والجدول (٤,٦) يمثل قيم ملوحة ماء الري ونسبة الخلط المستخدمة ونسبة مياه

القناة.

الجدول (٤,٦). نوعية المياه الناتجة عن خلط مياه القناة والآبار.

نسبة الخلط (مياه البئر/مياه القناة)	SAR	EC _w (dS/m)	نسب المياه من القناة
-	١٧,٨	٣,٦	٠
٤:١	١٥,٨	٢,٩	٢٠
٣:١	١٤,٨	٢,٨	٢٥
٢:١	١٣,٦	٢,٥	٣٣
١:٤	١٤,٢	١,٩	٥٠
١:٢	٨,٣	١,٤	٦٦
٣:١	٦,٨	١,١	٧٥
١:٤	٥,٧	٠,٩	٨٠
١:٩	٣,٣	٠,٦	٩٠
١:١٩	٢,٠	٠,٤	٩٥
-	٠,٥	٠,٢٣	١٠٠

(٤,٧,٧) إدارة استخدام المياه المرتفعة الملوحة في المملكة

لقد تم القيام بالعديد من التجارب الحقلية في كل من الحقل المكشوف والبيوت المحمية عن استخدام مياه الآبار العالية الملوحة نسبياً والتي تتجاوز ملوحتها ٣,٦ ملليموز/ سم في مزرعة الأبحاث والتجارب الزراعية التابعة لجامعة الملك سعود (العمران وآخرون، ١٤٢٩، ١٤٢٦ هـ). وتأثير ذلك على إنتاجية الكوسة والطماطم باستخدام الرواسب الطبيعية.

(٤,٨) الإنتاجية باستخدام المياه المالحة في الحقل المكشوف

الجدول (٤,٧) والشكلان (٤,١٨ و ٤,١٩) تبين تأثير المحسنات ونظم الري ومعدل الري على الإنتاجية وكفاءة استخدام المياه عند استخدام المياه المالحة نسبياً.

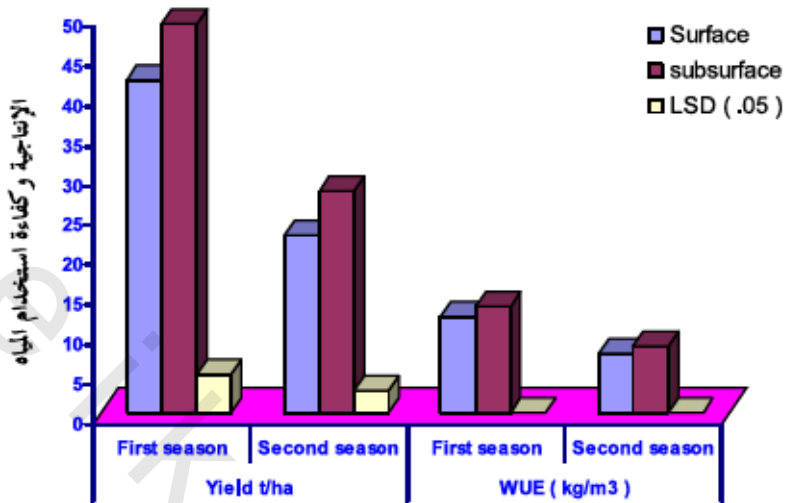
ويتضح من النتائج أن متوسط الإنتاجية كان معنوياً باستخدام المادة العضوية حيث بلغت الإنتاجية ٤٩.١ طن/هكتار وكفاءة استخدام المياه ١٤.٢ كجم/م^٣ بينما كانت الإنتاجية عند الري بالتنقيط تحت السطحي هي الأعلى مقارنة بالري السطحي، وأن متوسط الإنتاجية زاد بزيادة معدلات إضافة مياه الري حيث بلغ المتوسط ٥١.٠ طن/هكتار وكما في المياه المنقاة فإن كفاءة استخدام المياه تقل بزيادة كمية المياه المضافة. أما في الموسم الثاني كانت النتائج مشابهة للموسم الأول باستثناء حدوث الانخفاض الشديد في الإنتاجية حيث بلغت الإنتاجية باستخدام المادة العضوية ٢٧.٩ طن / هكتار وكفاءة الاستخدام ٩.٠ كجم/م^٣ بينما الإنتاجية عند الري بالتنقيط تحت السطحي كانت ٢٧.٩ طن / هكتار والسطحي ٢٢.٤ طن / هكتار. هذا وقد زاد الإنتاج بزيادة معدلات الري وانخفضت كفاءة استخدام المياه (العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

وعند مقارنة النتائج بمستوى الإنتاج في المملكة فلقد بلغ الإنتاج في المملكة لمحصول الطماطم في الحقول المكشوفة ١٤.٥، ١٥.٥، ١٤.٧، ١٨.٠٥، ١٨.٠١ طن/هكتار في السنوات ٢٠٠١، ٢٠٠٢، ٢٠٠٣، ٢٠٠٤ و ٢٠٠٥ على التوالي (وزارة الزراعة ١٤٢٧هـ). وقد يكون الفارق في ذلك ناتج عن صغر الوحدة التجريبية والتي تبلغ ٣م^٢ فقط. أو إلى أنظمة الري المختلفة في إنتاج الطماطم (العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ)..

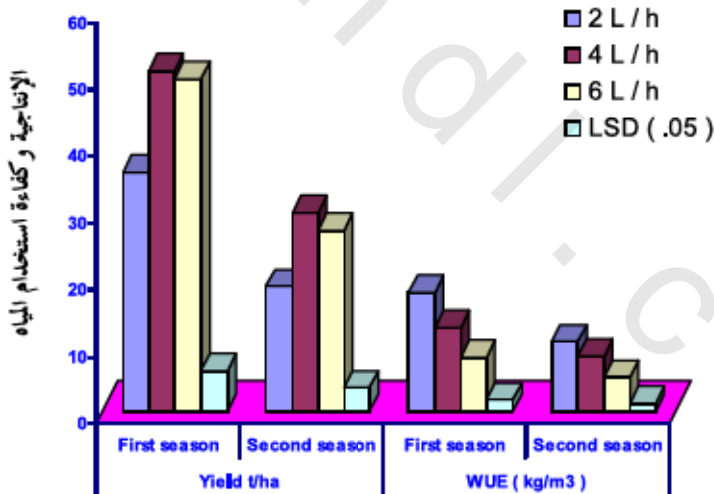
الجدول (٤،٧). تأثير المحسنات على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في الحقل المكشوف .

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

الكفاءة (كجم/م ^٣)		الإنتاجية (طن/هكتار)		نوع المحسن
الموسم الأول	الموسم الثاني	الموسم الأول	الموسم الثاني	
٨,٥ أ ب	١٣,١ أ ب	٢٦,٦ أ ب	٤٦,٢ أ ب	الشاهد
٦,٣ ب	١١,٠ ب	٢١ ب	٤١,٢ ب	البتونيت
٩,٠ أ ب	١٤,٢ أ	٢٧,٩ أ ب	٤٩,١ أ	المادة العضوية
١,٢	١,٧	٣,٥	٦,٠	أقل فرق معنوي ٠,٠٥



الشكل (٤، ١٨). تأثير نظام الري على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في الحقل المكشوف .
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).



الشكل (٤، ١٩). تأثير معدل الري على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في الحقل المكشوف .
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

(٤,٨,١) تأثير المعاملات على توزيع الملوحة في منطقة انتشار الجذور

تبين نتائج التحليل الإحصائي الموضحة في الجدولين (٤,٨ و ٤,٩) تأثير كل من المحسنات والعمق ونظام الري وفترات أخذ العينات ونوعية المياه ومعدل الإضافة لمياه الري في الحقل المكشوف. حيث من الواضح أن هناك فروقا وتباين في قيم الملوحة حيث زادت تراكيز الأملاح في الطبقة السطحية خلال موسم النمو كما أن قيم الري بالتنقيط السطحي أعلى من تحت السطحي خصوصاً في الطبقة السطحية. وإن معدل الملوحة ازداد مع فترات النمو، كما يلاحظ وجود فرق معنوي واضح باستخدام المياه المالحة نسبياً (العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

وبمحاولة إيجاد العلاقة بين العمق وتركيز الأملاح في قطاع التربة تم رسم البيانات في الشكلين (٤,٢٠ و ٤,٢١) للمعاملات المختارة حيث يتضح من المعاملات كافة أن الأملاح تتركز في الطبقة السطحية وتنخفض مع العمق في كافة المعاملات وتكون أكثر وضوحاً عند استخدام الري بالتنقيط السطحي والذي وصلت قيمة تركيز الأملاح فيه إلى ٢٠ ديسيمتر / متر في الطبقة السطحية. أما تأثير المياه مع وقت أخذ العينات فتوضح الرسومات أن هناك انخفاضاً في ملوحة التربة باستخدام المياه المنقاة مع تقدم موسم النمو أو فترات أخذ العينات. أما استخدام المياه المالحة فلقد أوضحت الرسومات أن هناك زيادة في ملوحة التربة مع استمرارية الموسم أو فترات أخذ العينات حيث تؤدي إلى تراكم الأملاح في التربة.

الجدول (٤,٨). تأثير الخسنتات على التوصيل الكهربى (dSm^{-1}) فى الحقل المفتوح .

(العمران وآخرون، ١٩٩٩هـ).

الخسنتات	العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	أجمالى العينات
الشاهد	٢,٣٥	٣,٨٥	٤,٦٢	٣,٦١
البتونيت	٢,١٨	٣,٩٣	٥,١٢	٣,٧٤
المادة العضوية	٢,١٥	٣,٧٩	٤,١٢	٣,٣٥
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	٣,٠٥	٣,٠٥	٣,٠٥	٣,٠٥

الجدول (٤,٩). تأثير العمق على التوصيل الكهربى (dSm^{-1}) فى الحقل المفتوح.

(العمران وآخرون، ١٩٩٩هـ).

العمق سم	العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	أجمالى العينات
صفر - ١٥	١٥,٠٥	١٨,٩٠	١٠,١٣	١٨,٠٢
١٥ - ٣٠	١٠,٩٤	١٦,٦٤	١٦,٩٦	١٠,٥١
٣٠ - ٥٠	١٠,٦٩	١٦,٠٤	١٦,٧٧	١٠,١٧
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	١٠,٥٨	١٠,١٢	١٠,٢١	١٠,٦٠



الشكل (٤,٢٠). توزيع الأملاح (dSm^{-1}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتقطيط السطحي بمياه مالحة لمعاملة البتونيت عند معدل ري ٦ لتر/ساعة لأزمنة مختلفة .
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).



الشكل (٤، ٢٩). توزيع الأملاح (dSm^{-1}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتنقيط تحت سطحي بمياه مالحة لمعاملة البتونيت عند معدل ري ٦ لتر/ساعة لأزمنة مختلفة .
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

(٤,٨,٢) الإنتاجية باستخدام المياه المالحة في البيت المحمي

الجدول (٤,١٠ - ٤,١٢) تبين تأثير المحسنات ونظم الري ومعدل الري على الإنتاجية وكفاءة استخدام المياه عند استخدام المياه المالحة نسبياً. ويتضح من النتائج أن متوسط الإنتاجية كان معنوياً باستخدام المادة العضوية حيث بلغت الإنتاجية ١٠٣ طن/هكتار وكفاءة استخدام المياه ٢٨,٢٦ كجم/م^٣ بينما كانت الإنتاجية عند الري بالتنقيط التحت سطحي هي الأعلى حيث بلغت ١٠١ طن/هكتار مقارنة بالري السطحي التي بلغت ٩٣,٠٤ طن/هكتار، وأن متوسط الإنتاجية قل بزيادة معدلات إضافة مياه الري حيث بلغ المتوسط ١١١,٥ طن/هكتار وكما في المياه المنقاة فإن كفاءة استخدام المياه تقل بزيادة كمية المياه المضافة.

وعند مقارنة النتائج على مستوى الإنتاج في المملكة فلقد بلغ الإنتاج ١٠٥,٥ ، ٩٤,١ ، ٩٩,٨ ، ٨٥,٥ و ٩٨,١٥ طن/هكتار (وزارة الزراعة ، ١٤٢٧هـ) وهي قريبة جداً للإنتاجية التي وردت في التقرير خصوصاً عند استخدام مياه الآبار (المالحة نسبياً) (العمران وآخرون ، ١٤٢٩هـ).

الجدول (٤,١٠). تأثير المحسنات على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في البيت المحمي .

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

نوع المحسن	الإنتاجية (طن/هكتار)	الكفاءة (كجم/م ^٣)
الشاهد	٩٧,٦٧ ب	٢٦,٤٥ ب
البتونيت	٩٠,٥١ ج	٢٥,٦٢ ج
المادة العضوية	١٠٣,٢٥ أ	٢٨,٢٦ أ
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	٤,٧٣	١,٢٠

الجدول (٤،١١). تأثير نظام الري على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في البيت المحمي.

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

نظام الري	الإنتاجية (طن/هكتار)	الكفاءة (كجم/م ^٣)
سطحي	٩٣,٠٤ ب	٢٥,٨٦ ب
تحت سطحي	١٠١,٢٦ أ	٢٧,٦٩ أ
اقل فرق معنوي ٠,٠٥	٣,٨٦	٠,٩٨

الجدول (٤،١٢). تأثير معدل الري على الإنتاجية والكفاءة باستخدام مياه مالحة في البيت المحمي.

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

معدل الري (لتر/ساعة)	الإنتاجية (طن/هكتار)	الكفاءة (كجم/م ^٣)
٢	١١١,٥٦ أ	٤٨,١٩ أ
٤	٨٦,٦٦ ج	١٨,٧٢ ب
٦	٩٣,٢٣ ب	١٣,٤٢ ج
اقل فرق معنوي ٠,٠٥	٤,٧٣	١,٢٠

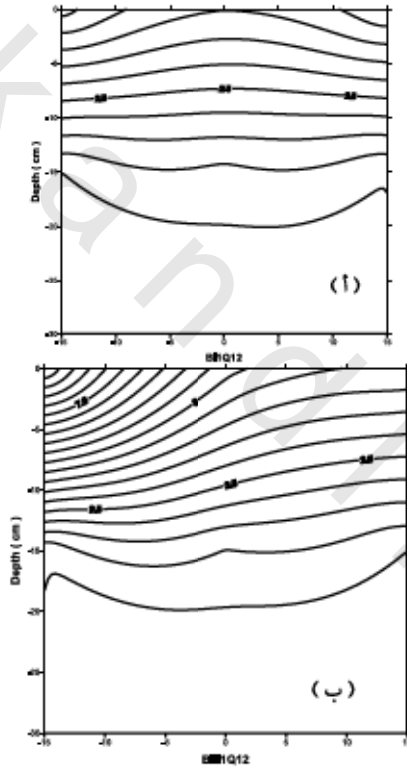
(٤،٩) توزيع الأملاح في منطقة انتشار الجذور في البيت المحمي

تبين النتائج الموضحة بالجداول (٤،١٣ - ٤،١٥) تأثير كل من المحسنات والعمق ونظام الري وفترة أخذ العينات ونوعية المياه ومعدل الري على ملوحة التربة في تجربة البيت المحمي. ويلاحظ أن هناك تأثيراً معنوياً لعمق الطبقات ونظام الري وفترة أخذ العينات ونوعية المياه في ملوحة التربة. إن ملوحة التربة كانت عالية في الطبقة السطحية وتنخفض بزيادة عمق قطاع التربة والسبب في ذلك هو حركة الماء والتبخّر من الطبقة السطحية.

أما نظام الري بالتنقيط تحت السطحي فكانت الملوحة أعلى وقد يكون السبب إلى وجود المادة العضوية. وبينت النتائج زيادة ملوحة التربة بزيادة النمو أو فترة المحصول ويعود السبب في ذلك إلى تراكم الأملاح. ولقد تم رسم توزيع الأملاح باستخدام برنامج Surfer ويوضح الشكل (٤،٢٢) توزيع الأملاح في منطقة

انتشار الجذور. ويمكن أن نلاحظ من نتائج توزيع الأملاح أن هناك تبايناً مكانياً لتوزيع الأملاح حيث تزداد في معاملة الشاهد وفي الطبقة السطحية وباستخدام المياه المالحة نسبياً. وتشير النتائج بوضوح إلى انخفاض معنوي لتركيز الأملاح في الطبقة تحت السطحية وقد يعزى ذلك إلى حركة الماء وتبخر الماء من سطح التربة (العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

كما توضح الأشكال (٤،٢٣ - ٤،٢٥) العلاقة بين ملوحة التربة وعمق التربة لمعاملات مختلفة ومستويات مياه مختلفة.



الشكل (٤،٢٣). توزيع الأملاح (dSm^{-2}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتنقيط: لمعاملة البنتونيت (أ) عند مستوى الري (I) ري بالتنقيط تحت سطحي. (ب) عند مستوى الري (III) ري بالتنقيط تحت سطحي.

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

الجدول (٤،١٣). تأثير المحسنات على التوصيل الكهربائي (dSm^{-2}) في البيت المحمي.

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

المحسنات	العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	العينة الرابعة	أجمالي العينات
الشاهد	١,٨٩	٢,٨١	٣,٥٢	٤,٠٩	٣,٠٨
البيتونيت	١,٨٢	٢,٥٧	٣,٨٢	٤,٨٢	٣,٢٦
المادة العضوية	١,٩٣	٣,٠٦	٣,٦٢	٤,٦٧	٣,٣٢
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	م.غ	م.غ	م.غ	م.غ	م.غ

الجدول (٤،١٤). تأثير العمق على التوصيل الكهربائي (dSm^{-2}) في البيت المحمي.

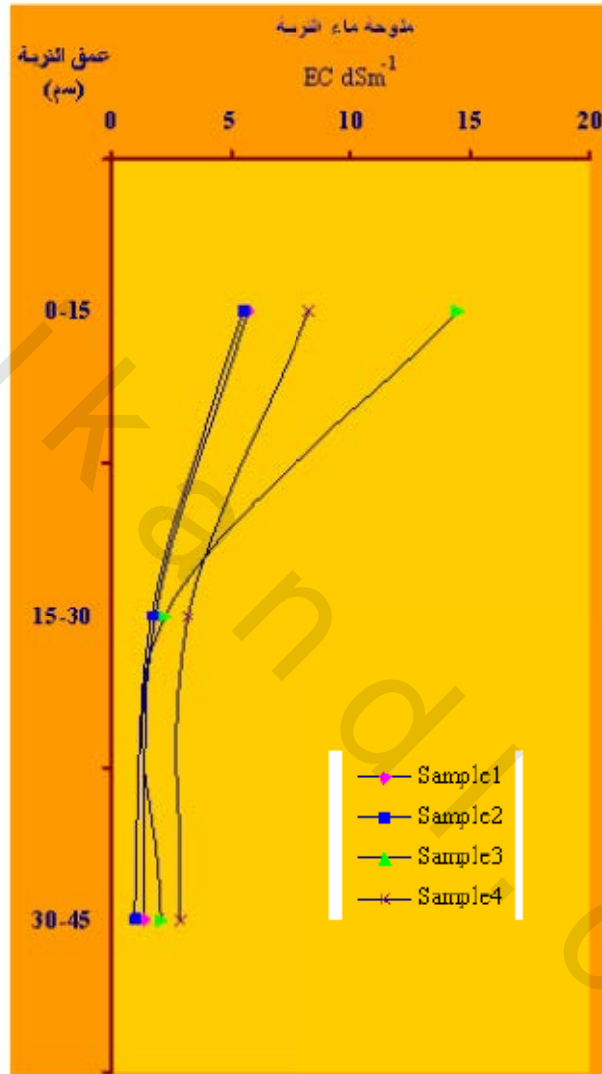
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

العمق سم	العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	العينة الرابعة	أجمالي العينات
صفر - ١٥	أ٣,٧٥	أ٦,١٠	أ٧,٨٥	أ١٠,١٥	أ٦,٩٦
١٥ - ٣٠	ب ١,١٢	ب ١,٣٤	ب ١,٧٢	ب ١,٩٣	ب ١,٥٣
٣٠ - ٥٠	ب ٠,٧٦	ب ٠,٩٩	ب ١,٤٠	ب ١,٥٠	ب ١,١٦
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	٠,٥١	٠,٦٥	٠,٨٨	١,٢٧	٠,٤٧

الجدول (٤،١٥). تأثير نظام الري على التوصيل الكهربائي (dSm^{-2}) في البيت المحمي.

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

نظام الري	العينة الأولى	العينة الثانية	العينة الثالثة	العينة الرابعة	أجمالي العينات
ري سطحي	١,٩٠	ب ٢,٤٥	ب ٣,١٤	ب ٣,٦٠	ب ٢,٧٧
ري تحت سطحي	١,٨٦	أ٣,١٧	أ٤,١٧	أ٥,٤٥	أ٣,٦٦
أقل فرق معنوي ٠,٠٥	م.غ	٠,٥٣	٠,٧٢	١,٠٤	٠,٣٨

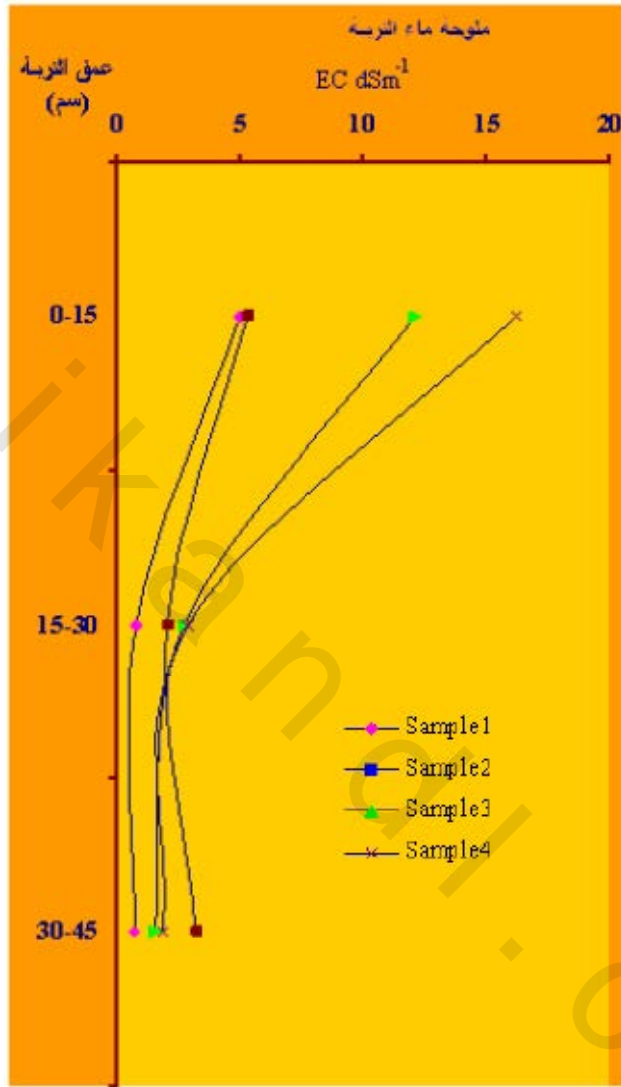


الشكل (٤،٢٣). توزيع الأملاح (dSm^{-1}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتنقيط السطحي بمياه مالحة لمعاملة البتونيت عند معدل ري ٢ لتر/ساعة عند أوقات مختلفة بالبيت المحمي.
(العمران وآخرون، ٢٠١٤).



الشكل (٤، ٢٤). توزيع الأملاح (dSm^{-1}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتنقيط السطحي بمياه مالحة لمعاملة المادة العضوية عند معدل ري ٢ لتر/ساعة عند أوقات مختلفة بالبيوت المحمي .

(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).



الشكل (٤,٢٥). توزيع الأملاح (dSm^{-1}) في منطقة انتشار الجذور المعاملة بالري بالتنقيط السطحي بمياه مالحة لمعاملة الشاهد عند معدل ري ٦ لتر/ساعة عند أوقات مختلفة بالبيت المحمي.
(العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ).

في التجارب الحقلية والبيوت المحمية التي تم إنجازها في محطة الأبحاث والتجارب الزراعية بديراب حيث ملوحة الآبار تصل إلى ٣.٦ ديسيمنز / م كما أن كثير من مناطق المملكة تصل ملوحة بعض الآبار بها إلى ٣ - ٤ ديسيمنز / م (فلاته وآخرون، ١٩٩٩ م). هذه الملوحة تفوق ما يتحملة نبات الطماطم والتي تصل درجة تحمله القصوى إلى ٢.٧ ديسيمنز / م (Ayers and Westcot, 1985). لذلك إن تصميم تجارب في إدارة التربة والمياه ذات النوعية الغير جيدة من أولويات المحافظة على التنمية الزراعية المستدامة؛ لأن استخدام مياه عالية الملوحة تؤدي إلى تدهور الترب الزراعية وخفض إنتاجيتها بل وتوقفه في حالة عدم توفر الإدارة الجيدة لذلك.

ونظراً لانخفاض المحصول خاصة في التربة التي تروى بالمياه المالحة (EC 3.6) (dSm^{-1}) تم إكمال التجربة مع إتباع تقنية جديدة في إدارة مياه الري حيث تم غسل الأملاح من التربة عن طريق إجراء ري سطحي غزير للتربة بواسطة المياه المنقاة وتم استخدام المياه المنقاة في ري النباتات وكذلك بعد الزراعة لمدة ٣٠ يوم أي في مرحلة النمو الخضري للنبات وبعد ذلك تم استخدام المياه عالية الملوحة وهذه العملية قد أعطت نتائج جيدة في المحصول الخضري والثمري ولم تتأثر كمية المحصول مقارنةً بالتي تروى بالمياه (العمران وآخرون، ١٤٢٩هـ)، وقد خلص البحث لعدة توصيات نوجزها في:

التوصيات

١- ضرورة دراسة وتحديد الخواص الفيزيائية والكيميائية والمعدنية لرواسب الطين الطبيعية وذلك قبل استخدامها كمحسنات طبيعية للتربة الرملية واختيار المناسب منها لذلك الغرض.

- ٢- الرواسب الجيدة للتطبيقات الزراعية والتي ستستخدم كمحسنات للتربة الرملية تمتاز باحتوائها على نسبة مرتفعة من الطين خاصة الطين عالي التمدد (السمكتيت). والمنخفضة في محتواها من الأملاح و كربونات الكالسيوم والجبس والمحتوية على تراكيز عالية من الصورة الجاهزة من العناصر الغذائية الضرورية للنبات مثل الحديد والبوتاسيوم والفوسفور والزنك والنحاس والمنجنيز.
- ٣- يجب إتباع طريقة إضافة المحسنات الطبيعية في طبقة رقيقة تحت السطح في منطقة انتشار الجذور في خطوط الزراعة قبل الزراعة.
- ٤- اتباع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي مع الإضافة تحت السطحية للرواسب الطبيعية يساعد في تخفيف التأثيرات الضارة للأملاح في منطقة انتشار الجذور وزيادة نسبة الرطوبة في منطقة انتشار الجذور مما يؤدي إلى زيادة المحصول.
- ٥- الإدارة الجيدة للتربة والمياه، حيث يجب غسل التربة قبل الزراعة بمياه منقاة مع استخدام المياه المنقاة في المراحل الأولى من عمر نبات الطماطم ولمدة ٣٠ يوم وبعد ذلك يتم استخدام المياه عالية الملوحة وهذه تؤدي إلى زيادة المحصول وتعطي جودة في صفات الثمار مع اتباع إضافة الرواسب الطبيعية في خطوط تحت سطح التربة، واتباع نظام الري بالتنقيط تحت السطحي.
- ٦- أظهرت نتائج تجربة تكرار الري في البيت المحمي أن عملية تكرار الري أثرت إيجابياً على زيادة الإنتاج ورفع كفاءة استخدام المياه مقارنةً بالري الأقل تكراراً وهذا يعتبر من طرق الإدارة الجيدة للمياه.
- ٧- ولقد أوصت الدراسات (العمران وآخرون ١٤٢٩، ١٤٢٦هـ) بإضافة محطة تنقية مياه تتناسب مع حجم المشروع وذلك لاستخدامها في ري النباتات في مراحل النمو الأولى وغسيل التربة خاصة عند استخدام مياه عالية الملوحة في الري كما في ظل ظروف الزراعة المكثفة.

(٤, ١٠) أسئلة

- س١: أخذت عينة من عمود تربة متجانس عمقه ١٠٠ سم، كثافة التربة الظاهرية ١.٣٩ جم/سم^٣ وقيمة المحتوى الرطوبي عند السعة الحقلية ونقطة الذبول ٢٦ و ١٢٪ على التوالي. احسب عمق الماء المطلوب إضافته لتصل التربة إلى نقطة السعة الحقلية من نقطة المحتوى الرطوبي عند نصف الماء المتاح؟
- س٢: بيانات منحنى الرطوبة المميز لتربة متوسطة القوام ذات كثافة ظاهرية ١.٤ جم/سم^٣ كما يلي:

المحتوى الرطوبي الوزني θ_m (جم/جم)	الشد الرطوبي Ψ_m (بار)
٠,٣٢	٠,٣٣
٠,٢٥	١,٥٠
٠,٢٠	٦,٨٠
٠,١٨	٨,٥٠
٠,١٤	١٥,٠٠

احسب:

- (أ) الماء المتاح لعمق ٣٠ سم من التربة.
- (ب) إذا كانت التربة أضيف إليها أملاح حيث $EC_e = ٥,٠$ ديسيمينز/م، فما هي قيمة Ψ_e للتربة عند محتوى رطوبي وزني = ٠,١٨.
- (ج) ماهو الماء المتاح للتربة المملحة.
- (د) نسبة الانخفاض في الماء المتاح.

- س٣: ما الفرق بين مصطلحي LR و LF. ناقش ذلك عندما تكون LR أكبر أو أقل من LF.

س٤: عرف ET بدلالة D_{iw} و D_{dw} .

س٥: افترض وجود مياه بئر ذات ملوحة ٣,٠ ديسيمنز/م ويضاف LF بمقدار ١٥٪. ويفرض أن النبات يمتص ما نسبته ٤٠٪ من الربع الأول من عمق منطقة انتشار الجذور و ٣٠٪ من الربع الثاني و ٢٠٪ من الربع الثالث و ١٠٪ من الربع الأخير من منطقة انتشار الجذور. احسب قيم LF أسفل كل ربع من منطقة انتشار الجذور؟

س٦: محصول منزرع بمنطقة القصيم حيث يروى عندما يصل الشد الرطوبي في التربة -٢ بار فإذا علمت أن المحتوى الرطوبي الحجمي للتربة وعمق التربة في فترتين مختلفتين كما يلي علماً بأن الكثافة الظاهرية للتربة ١,٤ جم/سم^٣.

المحتوى الرطوبي الحجمي		
العمق (سم)	في ٢٠٠٣/٣/٢٢	في ٢٠٠٣/٤/٢ م
٥ - ٠	٠,٣	٠,١٤
١٠ - ٥	٠,٢٨	٠,١٤
٢٠ - ١٠	٠,٢٨	٠,١٢
٣٠ - ٢٠	٠,٢٥	٠,١
٥٠ - ٣٠	٠,٢	٠,٠٨
١٠٠ - ٥٠	٠,١٥	٠,٠٧

والعلاقة بين الشد الرطوبي و المحتوى الحجمي كما يلي :

الشد (بار)	١٥	١٢	١٠	٦	٥	٢	٠,٣٣
الرطوبة	٠,٧	٠,٠٨	٠,١	٠,١٥	٠,١٧	٠,٢٤	٠,٣٢

احسب

- ١- كمية الماء الموجود في قطاع التربة يوم ٤/٢ .
 - ٢- كمية الماء الميسر المسموح باستهلاكه من قبل النبات قبل الري.
 - ٣- كمية ماء الري المضاف باللمتر وبالمتري المكعب في الهكتار لعمق ٧٠سم.
 - ٤- وضح بالرسم العلاقة بين عمق التربة و المحتوى الرطوبي لليومين المذكورين وما هو سبب التغير إن وجد وكميته بالسم.
- س ٥: في المملكة العربية السعودية تضاعف الاستخدام البشري للمياه في السنوات الأخيرة. ما هي كمية الاستخدام للفرد، وماهي نسب الاستخدامات المختلفة للمياه؟ ما هو اسباب الاستهلاك الأعلى في مجال الزراعة؟ وماهي التقسيمات الداخلة في الزراعة؟

(١١، ٤) المراجع

أولاً: المراجع العربية

- العمران ، عبد رب الرسول و عبد العزيز شتا و عبد الرزاق فلاته و عبد العزيز الحربي. (١٤٢٦هـ). ترشيد مياه الري باستخدام محسنات التربة الطبيعية والصناعية في المملكة العربية السعودية. التقرير النهائي من البحث أت-٢٠-٦٤. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.
- العمران ، عبد رب الرسول و عبد العزيز شتا و عبد الرزاق فلاته و عبد العزيز الحربي و محمد الوابل. (١٤٢٩هـ). ترشيد مياه الري ونظم إدارة التربة بالزراعة المكثفة في المملكة العربية السعودية. التقرير النهائي من البحث أت- ٢٤-٤٧. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية.

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
- Bernstein,L. and L. E. Francois. (1973). Compositions of drip, furrow and sprinkler irrigation soil science 115: 73-86.
- Bernstein,L.1964. Salt toleranu of plants. USDA. information bulletin No. 283.
- James, D. W., R. J. Hanks, J. J. Jurinak. (1982). Modern Irrigated Soils. John Wiley & Sons. New York.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. (1977). Crop salt tolerance. current assessment. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. 103: 115-132.
- Maas, E. V. (1984). Crop salt tolerance In: " Agriculture Salinity Assesment and Management." American Society of Civil Engineers, New York.
- Mohamed N. A. and Amer F (1972). Sodium Carbonate formation in Ferhash area and possibility of biological dealkalization. Proc. Internat. Symp. On New Development in the Field of Salt Affected Soils. 4-9 December 1972. Ministry of Agriculture, Cairo. P. 346.
- Neja R.A., Ayers R. S. and kasimatis A.N. (1978). Salinity appraisal of soil and water for successful production of graps. Leaflet 21056, Division of Agricultural Sciences, University of California, berkely.
- Rhoades. J. D. (1972). Quality of water for irrigation. Soil Science.. 113:277-284.

إدارة المشاكل الناجمة عن ملوحة المياه

(١، ٥) مشكلة النفاذية

تحدث مشكلة النفاذية عندما لا يتسرب الماء بصورة طبيعية خلال دورات الري لكي يعوض ما تفقده التربة من مياه وفي بالاحتياجات المائية للنباتات في الريات القادمة. إن انخفاض قدرة التربة على التسرب والناجمة عن نوعية المياه هي مشكلة كبيرة تحدث في الطبقة السطحية للتربة (الستيمترات الأولى). والمحصلة النهائية لذلك هو انخفاض كمية المياه التي يجب أن تصل إلى النبات وهذا الانخفاض هو شبيه للانخفاض الناتج عن الملوحة في مياه الري ولكن لأسباب مختلفة. إن مشكلة النفاذية هي تقليل كمية المياه التي تصل إلى الطبقة السطحية للتربة لكي يستفيد منها النبات بعد ذلك بينما الملوحة هي تخفيض جاهزية الماء للنبات، كما سبق وتم شرحها بالتفصيل في الفصل السابق.

النفاذية أو التسرب هي دخول الماء إلى التربة ومعدل دخول الماء إلى التربة يسمى معدل التسرب. إن معدل التسرب بمقدار ٣ ملم/ ساعة يعتبر معدلاً منخفضاً في أغلب الترب بينما ١٢ ملم/ ساعة يعتبر عالي وهو ما يحصل في الترب الرملية، ويمكن أن يتأثر التسرب بعدة عوامل غير نوعية المياه مثل خواص التربة الفيزيائية مثل

القوام والبناء ونوع معادن الطين والخواص الكيميائية للتربة وخاصة السعة التبادلية الكاتيونية (Cation Exchangeable Capacity (CEC). وتأثر الترب الثقيلة و التي تحتوي على نسبة عالية من الطين بعكس الترب الرملية ذات الحبيبات الرملية و المسام الكبيرة. و الترب الجيد القوام و البناء وذات نسبة جيدة من الطين حيث تكون مجاميع للتربة مما يزيد من المسامية الكلية فقد تتأثر هذه الترب بوجود الصوديوم المرتفع و الذي بدوره يؤثر على معدل التسرب و نفاذية الماء للتربة. وهناك عوامل تؤثر على النفاذية و علاقتها بالصوديوم و يمكن إيجازها في:

- نوع معدن الطين السائد و تركيز الأملاح في التربة و حالة التبادل و الذوبان للعناصر في التربة.
- انتفاخ و تفريق الحبيبات.
- حجم الماء و توزيعه .

(٥,٢) معادن الطين

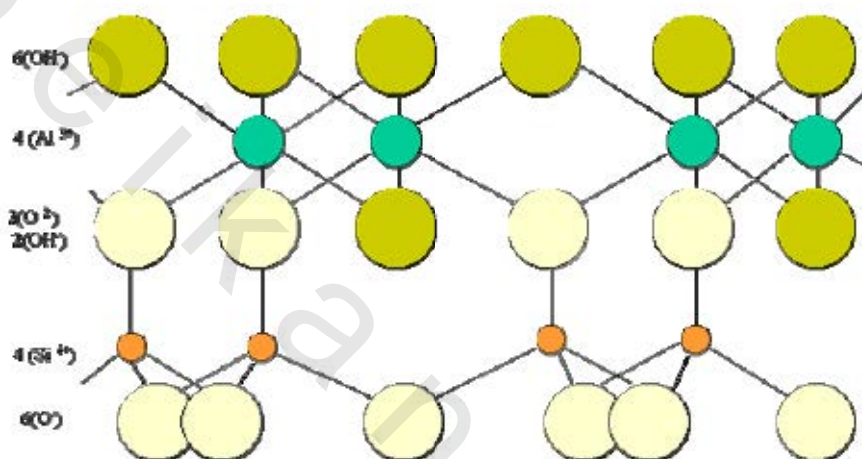
تحتوي الترب على أنواع مختلفة لمعادن الطين منه كاؤولنيت Kaolinite و المونتموريلونيت Montmoreillonite و الإليت Illite و الفيرموكلويت Vermiculite و الميكا Mica و الكلورايت Chlorite (Essington, 2004).

أن أهمية معادن الطين في معرفة مشكلة الصوديوم و النفاذية نظراً للصفات التي يتصف بها الطين ومنها قدرته على مسك الأيونات و تبادلها و تثبيت بعضها و حفظ و مسك الماء بالإضافة لما يحتويه من عناصر أساسية و ثانوية هامة لتغذية النبات.

(٥,٢,١) الكاؤولنيت Kaolinite

وهو نوع من المعادن الطينية ذات اللون الأبيض يتكون من صفائح السيليكا - أكسجين (Si- tetrahedral) تليها طبقة من الألمنيوم - أكسجين (A- Octahedral)

تشكل بانجهاين متعامدين لتكون صفائح تتجمع فوق بعضها البعض ونسبة (Si/Al) هي ١:١. (الراوي وآخرون، ١٩٨٦). وتتراوح السعة التبادلية للكتيونات (CEC) بين ١-١٠ ملليمكافئ/١٠٠ جم تربة ومساحة السطح النوعي بين ١٠-٢٠ م^٢/جم (الشكل ٥،١).

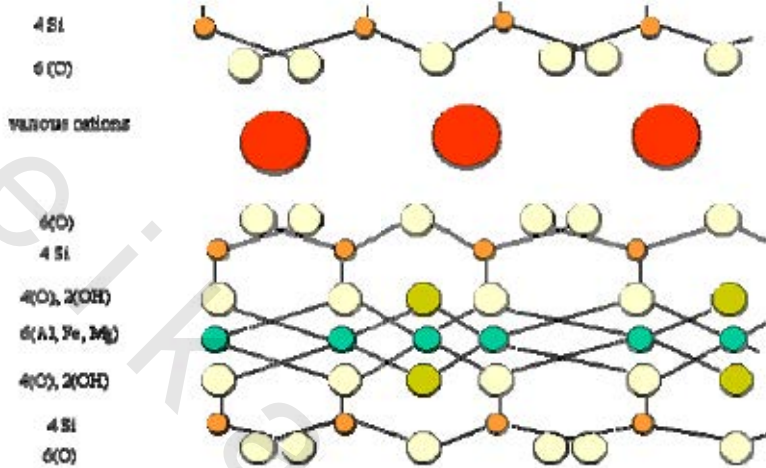


الشكل (٥،١). تركيب معدن طين الكازولينيت.

(٥،٢،٢) المونتموريلونيت Montmoreillonite

يتكون المونتموريلونيت من صفيحتين من السيليكات-أكسجين (Si-tetrahedral) يتوسطها صفيحة من الألمنيوم-أكسجين (A-Octahedral) (الشكل ٥،٢). إن الالتحام بين هذه الطبقات غير تام في منطقة طبقة الأكسجين من كل وحدة ويستطيع جزء الماء أو أكثر الدخول بين هذه الطبقات المتراسة مسببة تمدد هذه الطبقات مما يزيد من قيم السعة التبادلية للكتيونات إلى ٨٠-١٢٠ ملليمكافئ/١٠٠ جم تربة ومساحة السطح النوعي إلى ٦٠٠-٨٠٠ م^٢/جم (الراوي، ١٩٨٦ م). والانتفاخ (swelling) يظهر بصورة واضحة في الترب التي تحتوي على نسبة عالية من

المونتموريلونيت و السمكتيت (Smectite) و الذي يحتوي على عنصر الصوديوم
بالسطح الخارجي حيث يكون السطح ضعيف و قابل للتبادل.



الشكل (٥, ٢) . تركيب معدن المونتموريلونيت.

(٥, ٣) السعة التبادلية للكتيونات

Cation Exchangeable Capacity (CEC)

يطلق على مجموع الكاتيونات المتبادلة في وحدة وزنية معينة من التربة أو المعدن بالسعة التبادلية الكاتيونية و الوحدة المستخدمة للتعبير عنها هي مليمكافئ / ١٠٠ جم تربة، ولها أهمية كبيرة من ناحية علاقتها بالصفات الكيميائية و الفيزيائية للتربة و علاقتها بخصوبة و تغذية النبات. ويمكن كتابة المعادلة المتعلقة بالسعة التبادلية كما يلي:

$$(٥, ١) \dots \dots \dots \text{CEC} = X_{\text{Ca}1/2} + X_{\text{Na}} + X_{\text{Mg}1/2} + X_{\text{K}}$$

حيث:

$X_{\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Na}, \text{K}}$ = يعبر عن المليمكافئ / ١٠٠ جم تربة وهي نفس وحدات السعة التبادلية.

(٥,٣,١) علاقة السعة التبادلية للكتيونات ونسبة الصوديوم

Exchangeable Sodium يعبر عن نسبة الصوديوم القابلة للتبادل في التربة

Percentage (ESP) بالمعادلة التالية

$$(٥,٢) \dots \dots \dots ESP = \frac{X_{Na}}{(CEC)} \times 100$$

$$= \frac{X_{Na}}{X_{\frac{1}{2}Ca} + X_{\frac{1}{2}Mg}}$$

باعتبار أن تركيز البوتاسيوم ضئيل جداً.

كما ويعبر عن نسبة الصوديوم المدمص في الماء بالمعادلة التالية

$$(٥,٣) \dots \dots \dots SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

وهناك علاقة بين نسبة الصوديوم المتبادل في التربة (ESR) ونسبة الصوديوم المدمص في الماء (SAR) ممثلة بالمعادلة التالية :

$$(٥,٤) \dots \dots \dots ESR = a + b SAR$$

$$(٥,٥) \dots \dots \dots ESR = 0.01475 SAR - 0.0126 \text{ (James et al., 1982)}$$

ويعبر عن نسبة الصوديوم المتبادل كذلك بالمعادلة :

أو

$$(٥,٦) \dots \dots \dots ESP = \frac{100(-0.0126 + 0.01475 SAR)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 SAR)}$$

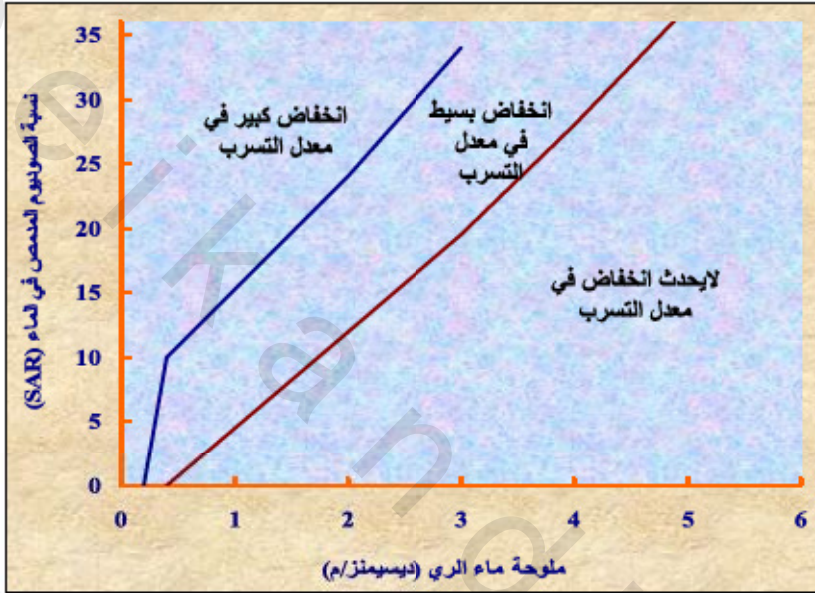
وفي الجدول (١,١٤) لتقسيم المياه الصالحة للري بالفصل الأول الصادرة عن

الفاو (Ayers and Westcot, 1985) فإن مشكلة النفاذية مقرونة بسببين أولهما الملوحة

(EC) المنخفضة لماء الري وقيم نسبة الصوديوم المدمص SAR. والشكل (٥,٣) يبين

تأثير كل من EC و SAR من ماء الري المضاف للتربة على معدل التسرب في الطبقة

السطحية للتربة حيث يتضح تأثير الملوحة المنخفضة على معدل التسرب في الترب وكذلك زيادة قيم الصوديوم المدمص على انخفاض التسرب. وأن معدل التسرب يزداد مع زيادة الملوحة وينخفض مع انخفاض الملوحة أو زيادة المحتوى الصودي المرتبط بقيمة SAR.



الشكل (٥, ٣). العلاقة بين نسبة الصوديوم المدمص وملوحة ماء الري.

(Ayers and Westcot, 1985)

(٥, ٤) تقييم مشكلة النفاذية

انخفاض ملوحة الماء إلى أقل من ٢, ٠ ديسيمنز/م يعمل على غسل أملاح ومعادن التربة السطحية خصوصاً الكالسيوم Ca^{++} مما يقلل من ثبات التربة وتؤثر الملوحة المنخفضة بالتالي على تكوين تجمعات التربة. كما أن الانخفاض في الكالسيوم يتسبب في تفريق الحبيبات مما يجعل الحبيبات الصغيرة والناعمة تغلق المسام بالتربة وتجعل سطح التربة غير منفذ وذو قشرة صلبة، قد تؤدي إلى أضعاف انبات البذور

بالإضافة إلى تقليل كمية المياه التي يمكن أن تتسرب إلى داخل التربة في وقت معين مما تسبب في إجهاد النباتات بين الريات.

إن انخفاض الملوحة في ماء الري إلى أقل (٢, ٠ ملموز/سم) كما ذكر في جدول تقسيم و تقييم مياه الري (الجدول ١٤, ١) يسبب مشكلة التسرب أيضا، مهما تكون قيمة مشكلة نسبة الصوديوم المدمص SAR. وقد تسبب مياه الأمطار مشكلة التسرب في بعض المناطق الكثيرة الأمطار والتي ينتج عنها الجريان السطحي.

ومن الأسباب الرئيسة لمشكلة التسرب هو وجود الصوديوم في مياه الري والذي يسبب تفريق الحبيبات عن بعضها وهدم البناء في حالة زيادة عنصر الصوديوم عن الكالسيوم بنسبة تفوق ٣:١ عن الكالسيوم مما يؤدي إلى مشكلة خطيرة للتسرب نتيجة تفريق الحبيبات وقيام الحبيبات الناعمة جداً بإغلاق المسام على سطح التربة بنفس الطريقة التي ذكرت عن انخفاض الملوحة. و يعود ذلك إلى عدم وجود كمية كافية من الكالسيوم للتقليل من أثر التفريق الذي يسببه الصوديوم. كما أن وجود الصوديوم بكميات عالية يصعب من جعل الماء جاهزاً للنبات. ومن المشاكل المرتبطة بزيادة الصوديوم التي تحدث هي - وجود القشرة في التربة - إنبات ضعيف - قلة التهوية - أمراض جذور النبات - الحشائش - الحشرات والبعوض - مما يصعب السيطرة عليها.

في الماضي كانت هناك عدة أساليب استخدمت للتعويض بمشكلة النفاذية منها نسبة الصوديوم الذائب (SSP) و معرفة قيمة الصوديوم المتبقي (RSC). أما حديثاً فقد تستخدم مصطلح نسبة الصوديوم المدمص SAR أو نسب الصوديوم المدمص المعدل حسب المعادلات التالية:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}} \quad (٥, ٧)$$

$$(٥,٨)..... SAR_{adj} = SAR(1 + (8.4 - pH_c))$$

$$(٥,٩)..... {}_{adj}RNa = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca_x + Mg)}{2}}}$$

حيث :

Na = تركيز الصوديوم ملليمكافئ/لتر

Ca_x = قيم الكالسيوم المعدلة مأخوذة من جدول (٥,١) ملليمكافئ/لتر.

Mg = تركيز المغنسيوم ملليمكافئ/لتر

PH_c = القيمة المحسوبة لقيم (pK_c-pK_c)+_p(Ca+Mg)+_p(Alk)

في كثير من المقالات الجديدة فإن مصطلح نسبة الصوديوم المدمص SAR استبدل بمصطلح آخر هو ${}_{adj}RNa$ والمصطلحان متشابهان. إن مصطلح SAR يحسب عن طريق معرفة زيادة الصوديوم نسبة إلى الكالسيوم والمغنسيوم ولكن لا يأخذ في الاعتبار التغير في الكالسيوم في ماء التربة والذي يحدث نتيجة التغير في الذوبانية للكالسيوم الناتجة من الترسيب خلال عمليات الري. والصوديوم جزء مهم من الملوحة وهو ذائب ومتوازن مع نسبة الصوديوم المتبادل (ESP) في التربة سواء زاد تركيز الصوديوم نتيجة امتصاص الماء من قبل النبات أو نتيجة ذوبانيته ومن ثم غسله مع ماء الصرف، فيتغير تركيز الكالسيوم باستمرار حتى يحصل توازن. التغير في تركيز الكالسيوم يحدث نتيجة ذوبانية المعادن في ماء التربة مما يرفع محتواه في ماء التربة أو يترسب في صورة كربونات الكالسيوم وينتج عن ذلك خفض تركيز الكالسيوم. أما الذوبانية فهي ناتجة من تخفيف التركيز أو ناتجة عن ذوبانية CO₂ في ماء التربة أما الترسيب يحدث عندما تكون هناك كميات كافية من CO₃ و HCO₃ أو SO₄ تتحد مع الكالسيوم لترسيب كربونات الكالسيوم أو كبريتات الكالسيوم.

إن عملية الذوبانية أو الترسيب تحدث بعد الري مباشرة مما يغير من تركيز الكالسيوم ويسبب توازن جديد لعنصر الكالسيوم يختلف عن تركيزه عند إضافة ماء

الري. ولأن قيمة SAR لا تأخذ في الحسبان هذا التغير عند إضافة ماء الري، وعليه فإن تطبيق معادلة SAR يعتبر بحد ذاته خطأ ومع ذلك فإن معادلة SAR لا زالت هي المعادلة التي تستخدم لتقييم مياه الري في كثير من دول العالم.

أما البديل عن معادلة SAR فهي تأخذ في الاعتبار المعادلة القديمة وتعديل في قيم الكالسيوم لمياه الري إلى قيمة متوقعة للتوازن بعد إضافة ماء الري وتأخذ في الاعتبار تأثير تركيز CO_3 و HCO_3 وملوحة ماء الري EC_w مع الكالسيوم الأساسي الموجود في ماء الري. ويفترض بهذه الطريقة أن مصدر الكالسيوم في التربة هو كربونات الكالسيوم أو السيليكات وليس من ترسيب المغنسيوم.

المصطلح الجديد هو adjRNa المعدل وطريقة الحساب في المثال التالي والذي يوضح تحسن في القيم عن SAR المحسوبة بالمعادلة السابقة. ويمكن استخدامها لمعرفة مشاكل التسرب والنفاذية في الترب الناتجة عن زيادة الصوديوم في مياه الري ويمكن أن تستبدل عن قيم SAR في الجدول (١، ١٤) لتقييم وتقسيم مياه الري (Ayers and Westcot, 1985).

لاستخدام الجدول (٥، ١) يجب معرفة نسبة تركيز كل من البيكربونات HCO_3 والكالسيوم Ca وقيمة ملوحة ماء الري (dSm^{-1}) EC_w بالملليمكافئ/ لتر. والجدول يقيم نسب (HCO_3/Ca) لمعدل نسب بين (٠، ٥) - (٠، ٣) في ماء الري وملوحة بين ١، ٠ - ٨ ديسيمنز/م. والقيم في الجدول هي لتركيز الكالسيوم Ca_x بالملليمكافئ/ لتر التي تبقى في محلول ماء التربة المتوازنة والتي تستخدم في معادلة نسبة ادمصاص الصوديوم المعدل. يمكن استخدام adjRNa المتحصل عليها والتعويض بها عن قيم SAR في الجدول (١، ١٤) لتقييم مياه الري. وباستخدام الحاسب الآلي الآن يمكن الاعتماد على قيم أكثر دقة لإيجاد نسب HCO_3/Ca لحساب adjRNa . والمثال التالي يوضح طريقة الحساب لقيم adjRNa ، SAR_{adj} ، SAR.

الجدول (٥،١). تركيز الكالسيوم المذوق الموجود في ماء التربة بعد الري والناتج من استخدام ماء ري بملوحة مختلفة و قسم للنسبة بين بيكربونات والكالسيوم في الماء .

(Ayers and Westcot,1985)

	ملوحة ماء الري (EC _e dS/m)											
	٠.١	٠.٢	٠.٣	٠.٥	٠.٧	١	١.٥	٢	٣	٤	٦	٨
٠.٥٠	١٢.٢	١٢.٦١	١٣.٩٢	١٤.٤	١٤.٧٩	١٥.٢٦	١٥.٩١	١٦.٤٣	١٧.٢٨	١٧.٩٧	١٩.٠٧	١٩.٩٤
٠.١٠	٨.٣١	٨.٥٧	٨.٧٧	٩.٠٧	٩.٣١	٩.٦٢	١٠.٠٢	١٠.٣٥	١٠.٨٩	١١.٣٧	١٢.٠١	١٢.٥٩
٠.١٥	٦.٣٤	٦.٥٤	٦.٥٩	٦.٩٢	٧.١١	٧.٣٤	٧.٦٥	٧.٩	٨.٣١	٨.٦٤	٩.١٧	٩.٥٨
٠.٢٠	٥.٢٤	٥.٤	٥.٥٢	٥.٨٧	٥.٨٧	٦.٠٦	٦.٣١	٦.٥٢	٦.٨٦	٧.١٣	٧.٥٧	٧.٩١
٠.٢٥	٤.٥١	٤.٦٥	٤.٧٦	٤.٩٢	٥.٠٦	٥.٢٢	٥.٤٤	٥.٦٢	٥.٩١	٦.١٥	٦.٥٢	٦.٨٢
٠.٣٠	٤	٤.١٢	٤.٢١	٤.٣٦	٤.٤٨	٤.٦٢	٤.٨٢	٤.٩٨	٥.٢٤	٥.٤٤	٥.٧٧	٦.٠٤
٠.٣٥	٣.٦١	٣.٧٢	٣.٨	٣.٩٤	٤.٠٤	٤.١٧	٤.٣٥	٤.٤٩	٤.٧٢	٤.٩١	٥.٢١	٥.٤٥
٠.٤٠	٣.٣	٣.٤	٣.٤٨	٣.٦	٣.٧	٣.٨٢	٣.٩٨	٤.١١	٤.٢٢	٤.٣٢	٤.٥٧	٤.٩٨
٠.٤٥	٣.٠٥	٣.١٤	٣.٢٢	٣.٣٣	٣.٤٢	٣.٥٢	٣.٦٨	٣.٨	٤	٤.١٥	٤.٤١	٤.٦١
٠.٥٠	٢.٨٤	٢.٩٣	٣	٣.١	٣.١٩	٣.٢٦	٣.٤١	٣.٥٤	٣.٧٢	٣.٨٧	٤.١١	٤.٣
٠.٥٥	٢.٦٧	٢.٧٤	٢.٨٤	٢.٩٢	٢.٩٢	٣.٠١	٣.١٢	٣.٢	٣.٣٥	٣.٤٤	٣.٦٤	٣.٨٨
٠.٦٠	٢.٥١	٢.٥٥	٢.٦٤	٢.٧١	٢.٧١	٢.٨١	٢.٩١	٢.٩٢	٣.٠٢	٣.١	٣.٢٣	٣.٣٣
١.٥٠	١.٣٧	١.٤١	١.٤٤	١.٤٩	١.٥٣	١.٥٨	١.٦٥	١.٧	١.٧٩	١.٨٦	١.٩٧	٢.٠٧
١.٧٥	١.٢٣	١.٢٧	١.٣	١.٣٥	١.٣٨	١.٤٣	١.٤٩	١.٥٤	١.٦٢	١.٦٨	١.٧٨	١.٨٦
٢.٠٠	١.١٣	١.١٦	١.١٩	١.٢٣	١.٢٦	١.٣١	١.٣٦	١.٤	١.٤٨	١.٥٤	١.٦٣	١.٦٧
٢.٢٥	١.٠٤	١.٠٨	١.١	١.١٤	١.١٧	١.٢١	١.٢٦	١.٣	١.٣٧	١.٤٢	١.٥١	١.٥٨
٢.٥٠	٠.٩٧	١	١.٠٢	١.٠٦	١.٠٩	١.١٢	١.١٧	١.٢١	١.٢٦	١.٣٢	١.٤	١.٤٧
٢.٧٥	٠.٨٥	٠.٨٩	٠.٩١	٠.٩٤	٠.٩٦	١	١.٠٤	١.٠٧	١.١٢	١.١٧	١.٢٤	١.٣
٣.٠٠	٠.٧٨	٠.٨٢	٠.٨٢	٠.٨٥	٠.٨٧	٠.٩	٠.٩٤	٠.٩٧	١.٠٢	١.٠٦	١.١٢	١.١٧
٣.٢٥	٠.٧١	٠.٧٣	٠.٧٥	٠.٧٨	٠.٨	٠.٨٢	٠.٨٦	٠.٨٨	٠.٩٢	٠.٩٧	١.٠٢	١.٠٧
٣.٥٠	٠.٦٦	٠.٦٨	٠.٦٩	٠.٧٢	٠.٧٤	٠.٧٦	٠.٧٩	٠.٨٢	٠.٨٦	٠.٩	٠.٩٥	٠.٩٩
٤.٥٠	٠.٦١	٠.٦٣	٠.٦٥	٠.٦٧	٠.٦٩	٠.٧١	٠.٧٤	٠.٧٦	٠.٨	٠.٨٣	٠.٨٨	٠.٩٣
٧.٠٠	٠.٤٩	٠.٥	٠.٥٢	٠.٥٣	٠.٥٥	٠.٥٧	٠.٥٩	٠.٦١	٠.٦٤	٠.٦٧	٠.٧١	٠.٧٤
١٠	٠.٣٩	٠.٤	٠.٤١	٠.٤٢	٠.٤٣	٠.٤٥	٠.٤٦	٠.٤٨	٠.٥١	٠.٥٢	٠.٥٦	٠.٥٨
٢٠	٠.٢٤	٠.٢٥	٠.٢٦	٠.٢٦	٠.٢٧	٠.٢٨	٠.٢٩	٠.٣	٠.٣٢	٠.٣٣	٠.٣٥	٠.٣٧
٣٠	٠.١٨	٠.١٩	٠.٢	٠.٢	٠.٢١	٠.٢١	٠.٢٢	٠.٢٣	٠.٢٤	٠.٢٥	٠.٢٧	٠.٢٨

النسبة بين البيكربونات والكالسيوم (HCO₃/Ca)

(Ayers and Wesrcot,1985) مثال

مقارنة طرق حساب خطورة الصوديوم في الماء باستخدام المعادلات المختلفة

للتعبير عنها.

المعطيات:

تحليل الماء

$$Ca=2.32 \text{ meq/L}$$

$$Mg= 1.44 \text{ meq/L}$$

$$Na= 7.73 \text{ meq/L}$$

$$CO_3= 0.42 \text{ meq/L}$$

$$HCO_3= 3.66 \text{ meq/L}$$

$$EC_w= 1.15 \text{ dS/m}$$

الحل

$$1. \quad SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} = \frac{7.73}{\sqrt{\frac{2.2+1.44}{2}}} = 5.64$$

$$2. \quad SAR_{adj} = SAR (1 + (8.4 - pH_c))$$

When $pH_c = SAR = (pK_c - pK_c) + P(Ca+Mg) + P(Alk)$
 $= 2.3 + 2.7 + 2.4 = 7.4$
 $\therefore SAR_{adj} = 5.64 [(1 + (8.4 - 7.4))] = 11.3$

$$3. \quad {}_{adj}R_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}}$$

$$EC_w= 1.15 \text{ dS/m}$$

$$HCO_3+CO_3/Ca=1.76$$

من الجدول (٥، ١)

$$Ca_x = 1.43 \text{ meq/L}$$

$${}_{adj}RNa = 7.73 \frac{Na}{\sqrt{\frac{1.43+1.44}{2}}} = 6.45$$

$${}_{adj}RNa = 6.45$$

(٥، ٥) إدارة مشاكل التسرب

إن عملية إضافة ماء الري تعمل على تشجيع أو ترطيب التربة بالماء لكي يستفيد منها لاحقاً النباتات المزروعة بالحقل حيث تلبي المياه المضافة احتياجات النباتات، وقد تكون العملية صعبة عندما تنخفض معدلات التسرب مما لا يفي بالاحتياجات المطلوبة من قبل النبات وعليه فإنه يجب أخذ بعض الإجراءات الضرورية لزيادة معدل التسرب إلى داخل التربة ذات المسامية المنخفضة. إن بقاء الماء على سطح التربة لوقت طويل قد يؤدي إلى مشاكل كثيرة مثل وجود قشرة سطحية وحشائش غير مرغوب فيها وأمراض بالنبات وأعراض نقص عناصر وسوء تهوية وضعف في الإنبات أو ذبولها بالإضافة إلى وجود وتكاثر البعوض في بعض المزارع نتيجة لتراكم المياه لفترة طويلة جداً.

والإجراءات المتبعة لتحسين ذلك إما أن تكون فيزيائية أو كيميائية. فالإضافات الكيميائية التي تضاف إلى التربة أو تخلط مع مياه الري قد تؤثر على معدل التسرب. وهذا يتم بإضافة محسنات التربة الكيميائية مثل الجبس، ومن بعض الإجراءات المتبعة هو خلط الماء من مصدرين مختلفين أحدهما رديء والآخر جيد. أما الترتيبات الفيزيائية فهي الطرق المستخدمة لتحسين معدلات التسرب في التربة

باستخدام بعض المحسنات الكيميائية أو العضوية أو تربة خشنة القوام. في حالة استخدام أيضاً من الطرق المستخدمة في تحسين معدل التسرب فإنه يجب النظر إلى الظروف المحلية في تصحيح ذلك.

إن انخفاض معدل التسرب الناتج عن نوعية مياه الري يختلف جداً عن الانخفاض الناتج عن وجود تربة طينية ثقيلة أو ترب مندمجة ووجود مثل هذه الترب قد يضاعف مشكلة التسرب الناتجة من نوعية مياه الري.

(٥, ٦) المحسنات المضافة للتربة أو الماء

هناك بعض المواد الكيميائية تضاف إلى التربة أو الماء لتحسين معدل التسرب الناتجة عن انخفاض الملوحة أو زيادة الصوديوم في ماء الري ؛ والتحسين يمكن أن يحصل عندما تؤدي المواد المضافة إلى ذوبان الكالسيوم أو تؤدي إلى زيادة في ملوحة ماء الري (EC_w). وتستخدم المحسنات التي تضاف إلى ماء الري لأنه بكل وضوح لا يوجد عملية اقتصادية حتى الآن لإزالة الصوديوم من ماء الري. إن إضافة الجبس إلى التربة أو مياه الري ستؤدي إلى زيادة الكالسيوم في ماء الري وبالتالي فهو يخفض نسبة الصوديوم إلى الكالسيوم وكذلك تنخفض قيمة نسبة الصوديوم المدمص. والجبس مفيد أيضاً في المياه المنخفضة في الأملاح وبالتالي فهو يحسن معدل التسرب (الشكل ٥,٣). إن إضافة الجبس أو أي محسن آخر لن تكون مفيدة إن كانت معدل الانخفاض في التسرب ناتج عن خواص التربة وليس نوعية المياه مثل قوام التربة أو اندماج التربة أو وجود طبقة صماء أو ارتفاع مستوى الماء الأرضي.

إن أغلب المحسنات التي تضاف إلى التربة أو الماء وخصوصاً الجبس تضاف بصورة مباشرة أو بصورة غير مباشرة من خلال مادة أخرى مثل حمض الكبريتيك

والذي يتفاعل مع الجير CaCO_3 لتحرير الكالسيوم في محلول التربة. الجبس يكون أكثر فعالية في حالة انخفاض ملوحة ماء الري وارتفاع SAR.

ولتحسين الترب السودية يضاف الجبس على شكل حبيبات بمعدل من ٥-٤٠ طن/هكتار لمرة واحدة في الترب شديدة السودية وكذلك في الترب التي يراد استصلاحها بسرعة.

أما مشكلة انخفاض الملوحة في مياه الري أو زيادة قيمة SAR في مياه الري فإن مشكلة النفاذية تحدث في الطبقة السطحية للتربة ولا تتعدى السنتيمترات وعليه فإن إضافة الجبس بمعدلات منخفضة تكون مفيدة جداً.

أما إضافة الجبس إلى مياه الري فإنه يتطلب إضافة كميات أقل بكثير عن ما يضاف إلى التربة، ويكون الجبس فعالاً جداً عندما تنخفض ملوحة مياه الري إلى أقل من ٥,٥ ملليموز/سم، وبالتأكيد فهي غير فعالة في الملوحة الأعلى من ذلك. إن معدل ما يذهب من الجبس إلى محلول التربة يتوقف على مساحة السطح أو دقة الحبيبات فإذا كانت أقطار حبيبات الجبس أقل من ٢٥ ملم فإنها تذوب بسرعة.

(٥,٧) استصلاح الأراضي المتأثرة بالأملاح

الترب المتأثرة بالأملاح هي تلك الترب التي تحتوي على كميات من الأملاح الذائبة تفوق ٤ ملليموز/سم أو نسبة تتعدى ١٥٪ من الصوديوم المتبادل أو منهما معا لدرجة تؤدي إلى التأثير الضار على نمو معظم المحاصيل أو يجعلها بيئة غير صالحة لنمو المحاصيل نمواً اقتصادياً، أما الاستصلاح فهو تحسين مواصفات الترب وجعلها صالحة للإنتاج الزراعي وذلك بتحسين صفاتها وخواصها والتخلص من محتواها الملحي أو القلوي بالغسيل أو إضافة بعض المواد الكيميائية بوجود الصرف الجيد والحراثة الجيدة.

واستصلاح الأراضي المالحة يراد منه التخلص من أملاح الزائدة مثل الصوديوم و المغنسيوم و أملاح الكالسيوم مثل كربونات الصوديوم Na_2CO_3 و كلوريد الصوديوم $NaCl$ و كلوريد الكالسيوم $CaCl_2$ بعملية الغسيل (حسن، ١٩٩٦م) أو إحلل عنصر الكالسيوم محل الصوديوم المدمص على سطوح دقائق الطين بالغسيل أو إضافة المواد الكيميائية ويقضي ذلك الوصول بالتربة إلى (عبد العال و الرواي، ١٩٨١م):

١- خفض تركيز الأملاح إلى درجة مناسبة في قطاع التربة حتى العمق الذي يسمح لجذور النبات بالنمو طبيعياً.

٢- خفض مستوى الماء الأرضي إلى عمق ابعده من منطقة الجذور.

٣- معادلة كربونات الصوديوم وخفض الصوديوم المتبادل بالترب الصودية و إزالة العامل المسبب للقلوية حتى لا تتحول الترب إلى ترب صودية.

(١, ٧, ٥) تقسيم الترب التي يراد استصلاحها

١- ملحية غير صودية Saline Non-Sodic Soils

وهي الترب التي يكون فيها كمية الأملاح أكبر من ٤ ملليموز/سم ويقل فيها نسبة الصوديوم المتبادل عن ١٥٪.

الهدف الأساسي من استصلاح تلك الأراضي إزالة الأملاح من التربة وتتم ذلك بوجود نوعية مياه جيدة واستخدامها بكميات كبيرة بالإضافة إلى وجود صرف جيد وبالتالي فإن كمية كبيرة من الأملاح سوف تخرج مع مياه الصرف ولكي نوضح كمية الأملاح المزالة من حقل معين في المثال التالي:

مثال تحتوي تربة على كلوريد الصوديوم $NaCl$ بما يقارب وقيمة $TDS = ٨٧٠$

ملجم/لتر، فاحسب كمية الأملاح الذائبة في ماء الصرف لمساحة ١ أكر وحجم الماء يقارب ٣ أكر. فوت/أكر.

الحل

$$\text{Tone Salt/acre} = 870 \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{TDS} \right) \times 3 \frac{\text{ac.ft}}{\text{ac}} \times 0.00136 = 0.35 \text{Ton/acre}$$

٢- أراضي صودية Sodid Soils

الترب الصودية وهي التي تحتوي على نسبة من الصوديوم المتبادل أعلى من ١٥٪ ومن أهم خواصها قلة نفاذيتها للماء وسوء تهويتها لتقارب حبيباتها المفرقة. وغسل التربة الصودية بالماء لا يكفي لخفض Na المتبادل وذلك لقلة نفاذية الماء وقيمة pH تكون مرتفعة ولاستصلاح التربة الصودية الخالية من كربونات وكبريتات الكالسيوم يلزم إضافة كالسيوم بصورة مباشرة أو غير مباشرة إلى التربة لإحلال الكالسيوم محل الصوديوم على حبيبات الطين في التربة ومن المواد المستخدمة لذلك:

(أ) كربونات وكبريتات الكالسيوم، كلوريد الكالسيوم.

(ب) الكبريت وحمض الكبريتيك.

(ج) كبريتات الحديدوز.

(د) كبريتات الألمنيوم.

وقد أكدت كثير من الدراسات بأنه عند إضافة الجبس أو غيره من المركبات الكيميائية السالفة الذكر ثم إجراء عملية الغسيل يمكن استبدال الصوديوم المتبادل بالكالسيوم وتحسن نفاذية التربة الطينية مما يجعل عملية الغسيل ممكنة وسريعة.

وقبل البدء بعملية الاستصلاح معرفة كمية المياه المستخدمة والمركبات

الكيميائية المراد إضافتها وكميتها.

وكما ذكرنا سابقاً فإن بعض المواد تمد التربة مباشرة بالكالسيوم المطلوب مثل كربونات الكالسيوم و كبريتات الكالسيوم وهيدروكسيد الكالسيوم وكلوريد الكالسيوم وهناك مواد أخرى تمد التربة بالكالسيوم بطريقة غير مباشرة مثل الأحماض أو المواد التي تنتج الأحماض بالتفاعل مع CaCO_3 مثل الكبريت.

٣- التربة الملحية الصودية Saline Sodic soils

وهي التربة التي تزداد فيها الملوحة عن ٤ ملليموز/ سم وكذلك نسبة الصوديوم المتبادل عن ١٥٪. ويلزم استصلاحها إجراء عملية الغسيل وإضافة المركبات الكيميائية لاستبدال الصوديوم كما في التربة الصودية.

تستصح تلك الأراضي باستبدال الكالسيوم محل الصوديوم ثم إجراء عملية غسيل للصوديوم وهذه الأراضي بالتأكد تحتاج إلى صرف جيد وتتم استصلاح تلك الأراضي بعدة طرق والتي تهدف إلى زيادة إنتاجية التربة حيث يحصل:

• إزاحة الصوديوم بواسطة Ca.

• زيادة التوصيل الهيدروليكي للتربة K.

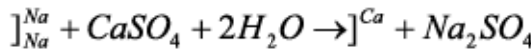
• غسل الأملاح الصودية مع الصرف.

ومصدر أيونات Ca⁺⁺ التي تحل مع الصوديوم Na⁺ يمكن أن تكون من الجبس أو كربونات الكالسيوم حيث يمكن إضافتها مع الري أو تضاف إلى التربة بصورة مصلحات كيميائية تحتوي على Ca⁺⁺.

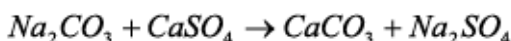
(٥, ٨) التفاعلات الكيميائية للمواد المستخدمة في الاستصلاح

(٥, ٨, ١) الجبس الزراعي CaSO₄.2H₂O

عند إضافة الجبس إلى التربة يحدث التفاعل التالي:



ويجب التخلص من كبريتات الصوديوم الناتجة عن عملية الغسيل حتى لا يكون هناك اتزان وقف التفاعل. وفي حالة احتواء التربة الصودية على كربونات الصوديوم فإن إضافة الجبس إليها تؤدي إلى تكوين كربونات الكالسيوم نتيجة للتفاعل بين أيونات الكالسيوم من الجبس وأيونات الكربونات الذائبة كالاتي:



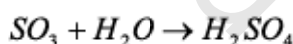
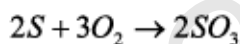
وترسب $CaCO_3$ يضمن استمرارية التفاعل ويمكن التخلص من Na_2SO_4

بالغسيل.

ويساعد الجبس على خفض رقم pH في التربة حيث يقوم بطرد الصوديوم ويحل محله الكالسيوم ومن المعروف يزداد رقم pH بازدياد مقدار الصوديوم المتبادل في ركب الامتصاص وعلى ذلك فالتخلص من الصوديوم المتبادل لإحلال الكالسيوم محله يساعد على خفض قيمة pH.

(٢، ٨، ٥) الكبريت S

لقد أوضحت الدراسات أنه يمكن استعمال الكبريت (S) في استصلاح التربة الصودية وذلك بتحويله أولاً إلى حامض الكبريتيك وذلك نتيجة أكسدته بواسطة نشاط الكائنات الحية الدقيقة المؤكسدة للكبريت Thiobasillus وتحول الكبريت إلى حمض الكبريتيك.

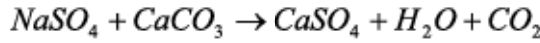


وقد أوضحت بعض الدراسات أن إضافة الكبريت إلى التربة تحتاج من ٢-٣ أسابيع لتتم أكسدتها عند توفر الظروف المناسبة من رطوبة ودرجة حرارة للنشاط الميكروبي.

(٣، ٨، ٥) حامض الكبريتيك H_2SO_4

إن استعمال حامض الكبريتيك بصورة مباشرة في التربة الصودية أو بطريقة غير مباشرة في مياه الري وهو الأسرع في تأثيره عن إضافة عنصر الكبريت. ولكن هناك مشاكل تحد من استخدام حمض الكبريتيك نظراً لسعره المرتفع وخطورته على الإنسان

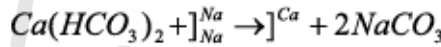
عند الاستخدام. وتكمن إضافته في المعدلات التالية في الأراضي التي تحتوي على كربونات الكالسيوم.



أو



والتفاعل الثاني يعطي كبريتات الكالسيوم وبيكربونات الكالسيوم وهما بدورهما يتفاعل مع الطين الصودي معطية طين كلس وعليه يجب التخلص من كبريتات وبيكربونات الصوديوم بالغسيل.

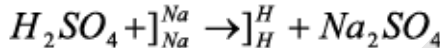
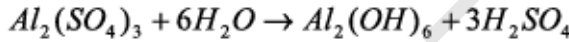


أما الترب الصودية والتي لا تحتوي على $CaSO_4$ فالتفاعل بالصيغة التالية



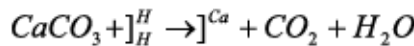
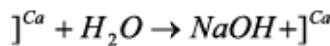
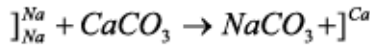
(٤, ٨, ٥) كبريتات الحديدوز وأملاح الألمنيوم الذائبة

يمكن إضافة أملاح الألمنيوم حسب المعادلات التالية:



(٥, ٨, ٥) الحجر الجيري Lime Stone

وتتفاعل كربونات الكالسيوم مع الترب الصودية كالاتي:



المحسنات التي على شكل أحماض يمكن تضيف الكالسيوم إلى التربة ولكن بوجود الجير CaCO_3 في التربة حتى تكون هذه الأحماض فعالة. فالكبريت وحمض الكبريتيك تستخدم في استصلاح الأراضي التي يراد إضافة الكالسيوم لها. يوضح (الجدول ٥،٢) بيانات عن المواد التي توفر الكالسيوم لاستصلاح الأراضي الصودية، ولكن يبقى الجبس هو الأكثر استخداماً في استصلاح الأراضي الصودية. يستخدم الكبريت في وجود CaCO_3 في الترب الصودية ويعتبر من المحسنات الجيدة لاستصلاح الأراضي الصودية. ولا يضاف الكبريت مع الماء بل إلى التربة؛ لأنه يحتاج إلى بكتيريا للتأكسد لتكوين H_2SO_4 والذي يتفاعل مع الجير ليطلق الكالسيوم. إن عملية الأكسدة بطيئة جداً وتتطلب جواً دافئاً ورطوبة تصل إلى ٣٠ يوم على الأقل. ويمكن استخدام حمض الكبريتيك مباشرة حيث يضاف إلى التربة أو يضاف إلى ماء الري حيث يقوم بتخفيض تركيز HCO_3 مما يحتم إطلاق الكالسيوم. ويعتبر حمض الكبريتيك فعالاً جداً في استصلاح الأراضي الصودية وتحسين معدل التسرب في الترب الحاوية على الجير؛ لأن حمض الكبريتيك لا يحتاج أن يتأكسد مثل الكبريت.

والكميات (الاحتياجات) من المركبات الكيميائية المختلفة يمكن حسابها كمكافئات كيميائية بالنسبة للجبس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ و يوضح الجدول (٥،٢) عدد الأطنان من المركبات المختلفة التي تكافئ طناً واحداً من الجبس. الجدول (٥،٢). عدد الأطنان من المركبات المختلفة التي تكافئ طن واحد من الجبس .

المحسن المضاف	الأطنان المضافة التي تكافئ طن من الجبس
الجبس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	١,٠٠
حمض الكبريتك (H_2SO_4)	٠,٥٧
الكبريت (S)	٠,١٩
كبريتات الحديد ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	١,٦٢
كبريتات الألمنيوم ($\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)	١,٢٩
الحجر الجيري (CaCO_3)	٠,٥٨

Gypsum Requirement (٥,٨,٦) كيفية حساب متطلبات الجبس

يستعمل الجبس بصورة رئيسة لاستصلاح الترب الصودية بسبب كلفته المنخفضة ومن مساوئ الجبس قابليته المنخفضة الذوبان في الماء ولذلك نحتاج عند إضافة الجبس لكميات كبيرة من الماء خصوصاً في الترب المرتفعة القيمة في نسبة الصوديوم المتبادل ESP. وحيث إن التوصيل الهيدروليكي لهذه الترب منخفض فإن عملية الاستصلاح تستغرق وقتاً طويلاً.

ويمكن توضيح طريقة حساب كمية الجبس اللازمة من فرض أن ملليمكافئ

من Ca يحل محل الصوديوم كالاتي (James et al., 1982):

١- معرفة قيمة ESP في التربة والتي يراد تخفيفها.

$$ESP = (NaX/CEC) \times 100$$

NaX = عدد مكافئ الصوديوم لكل ١٠٠ جم تربة المراد استبدالها.

٢- حساب كمية الجبس التي يراد إضافتها بدلاً من Na حيث يفترض أن يحل

Ca محل Na.

وزن الجبس = $CaSO_4 \cdot 2H_2O = 172$ جم.

١٧٢ جم جبس يعطي ← ٢٠٠٠ ملليمكافئ Ca

١ ملليمكافئ Ca ← ؟ جبس

كمية الجبس التي تعطي ١ ملليمكافئ Ca = $172/2000 = 0,086$ جم لكل

١٠٠ جم تربة.

٣- احسب وزن التربة في ١ هكتار بعمق ١٥ سم؟

٤- حجم التربة = $10,000 \text{ م}^3 \times 15 \text{ سم} = 15000 \text{ م}^3$

وزن التربة = $15000 \text{ م}^3 \times 15000 \text{ كجم/م}^3$ (الكثافة الظاهرية) = $225000000 \text{ كجم تربة}$

∴ $0,086$ جم جبس ← ١٠٠ جم تربة

؟ كجم جبس ← 225000000 كجم تربة

الجبس المطلوب بالكيلوجرام / هكتار بعمق ١٥ سم =

$$= \frac{٠,٠٨٦ \text{ جم} \times ٢٢٥٠٠٠٠٠ \text{ كجم تربة}}{١٠٠٠ \text{ جم تربة}} = ١٩٣٥ \text{ كجم/هكتار}$$

$$\frac{1 \text{ meq (gypsum)}}{100 \text{ g Soil}} \times \frac{86 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{meq}} \times 10^4 \times 2.24 = 1926 \text{ kg/ acre}$$

$$\frac{1 \text{ meq (gypsum)}}{100 \text{ g Soil}} \times \frac{86 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{meq}} \times 10^4 \times 2 = 720 \text{ Ib/ acre}$$

حيث افترض أن ١٥ سم من التربة في الهكتار = $2.24 \times 10^6 \text{ kg}$

٦ بوصة في الأيكر = $2 \times 10^6 \text{ Ib}$

ويمكن تحويل ذلك إلى ٣٠ سم بالضرب في الثوابت التالية:

$$3870 = \text{kg of gypsum / ha.}$$

$$3440 = \text{Ib of gypsum / acre}$$

$$3440 = \text{Ib} = 1.72 \text{ ton/ acre.}$$

و يوضح الجدول (٥,٣) الكميات المختلفة من الجبس المطلوبة عند نسب من

الصوديوم المراد إحلاله.

الجدول (٥,٣). كميات الجبس المطلوبة عند تراكيز مختلفة من الصوديوم بالتربة.

تركيز الصوديوم القابل للتبادل مليمكافى/١٠٠ جم تربة	كمية الجبس المطلوبة طن/هكتار لعمق ٣٠ سم	الأطنان من الجبس بالا يكر لكل قدم من التربة	الأطنان المطلوبة من Na_2SO_4
١	١,٩٣	١,٧	١,٤
٢	٢,٨٨	٣,٤	٢,٨
٣	٤,٨٢	٥,٢	٤,٣
٤	٦,٧٦	٦,٩	٥,٧
٥	٨,٧	٨,٦	٧,١
٦	١٠,٦٤	١٠,٣	٨,٦
٧	١٢,٥٨	١٢,٠	١٠,٠
٨	١٤,٥٣	١٣,٧	١٠,٧

ولاختلاف كفاءة الإحلال فإنه ينصح باستخدام نسبة معينة كالاتي :

$$\text{كمية الجبس المطلوب للحقل} = \text{متطلبات احتياجات الجبس} \times 1,25$$

أمثلة : (James et al.,1982)

مثال (١)

تربة صودية ESP = ٣٠ يراد تخفيضها إلى ١٢ فإذا كانت قيمة CEC =

٢٠ ملليمكافئ / ١٠٠ جم تربة أحسب احتياجات الجبس المطلوبة للتخفيض لعمق ٤٥ سم؟

$$ESP = \frac{Na_x}{CEC} \times 100$$

$$= \text{تركيز الصوديوم} = 20 \text{ ملليمكافئ} / 100 \text{ جم تربة} \times (100 / 18) =$$

$$= 3,6 \text{ ملليمكافئ} / 100 \text{ جم تربة}$$

١ - قيمة ESP المطلوب تخفيضها كما يلي :

$$18 = 12 - 30$$

$$ESP = \frac{Na_x}{CEC} \times 100$$

$$\text{الجبس المطلوب لعمق } 30 \text{ سم} = 3,60 \times 3,870 = 13,932 \text{ طن/هكتار}$$

$$\text{الجبس المطلوب لعمق } 45 \text{ سم} = (30 / 45) \times 3,60 \times 3,870 = 20,80 \text{ طن/هكتار}$$

$$\text{المضاف إلى الحقل} = 20,80 \times 1,25 = 26,0 \text{ طن/هكتار}$$

مثال (٢)

افتراض أن تربة صودية تحتوي على ٥ ملليمكافئ / ١٠٠ جم تربة والسعة

التبادلية للكتيونات تساوي ١٠ مكافئ / ١٠٠ جم تربة احسب كمية الجبس اللازمة

لتخفيض ESP إلى ١٠٪ ؟

نسبة الصوديوم القابل للتبادل (ESP)

$$ESP = (5/10) \times 100 = 50\%$$

نسبة الصوديوم المتبادلة المطلوب تخفيضها أو إزالتها = ١٠ - ٥٠ = ٤٠٪

إذا نسبة الصوديوم المطلوب إزالته = $10 \times (100/40) = 4$ ملليمكافئ/١٠٠ جم تربة
الجبس المطلوب = $4 \times 3870 = 15480$ كجم/هكتار

مثال (٣)

ما هي كمية الجبس المطلوبة لتخفيض ESP في البيانات التالية إلى ١٥٪؟

$$\text{pH} = 7.3$$

$$\text{ESP} = 29$$

$$\text{EC}_e = 4.4 \quad \text{CEC} = 14.83 \quad \text{Excha Na} = 4.26/100\text{g Soil}$$

$$\text{SAR} = 18.9 \quad \text{gypsum} = ???$$

$$\text{ESP} = (\text{NaX}/\text{CEC}) \times 100$$

$$15 = (\text{NaX}/14.83) \times 100$$

$$\therefore \text{NaX} = 2.22 \text{ meq}/100\text{g Soil}$$

$$\therefore \text{NaX} = 4.26 - 2.22 = 2.04 \text{ meq}/100\text{g Soil}$$

$$\text{GR} = 3.85 \times \text{Na X} \times 3.85 \times 2.04 = 7.854 \text{ mton/ ha.30cm}$$

$$\text{Field application} = 1.25 \times \text{GR}$$

$$= 1.25 \times 7.854$$

$$= 9.82 \text{ mton/ha.30cm}$$

مثال (٤)

افتراض أن الطبقة السطحية لتربة بعمق ١٥ سم تحتوي على ١٦ ملكافئ

صوديوم متبادل لكل ١٠٠ جم تربة و $\text{CEC} = 100/40 = 4$ ملليمكافئ/١٠٠ جم تربة احسب حجم ESP في

التربة وإذا كان يراد تخفيفها إلى ١٠٪ فكم كمية الجبس المراد إضافتها بالطن؟

$$\text{ESP} = (\text{NaX}/\text{CEC}) \times 100 = (16/40)100 = 40\%$$

كمية الصوديوم المراد تخفيفها

$$10 = (\text{NaX}/40)100$$

$$\text{NaX} = 4 \text{ meq}/100\text{gm Soil}$$

∴ الصوديوم المراد استبدالها = ١٦ - ٤ = ١٢ مكافئ/١٠٠ جم تربة
∴ كمية الجبس المطلوبة = ١٩٣٥ × ١٢ = ٢٣,٢٢ طن لكل هكتار بعمق ١٥ سم.

مثال (٥)

مياه منخفضة الملوحة حيث $EC_w = 0.15 \text{ dS/m}$ استخدمت للري في حقل الحمضيات. وجدت مشكلة النفاذية بعد استخدام المياه مما أثر على إنتاجية الحمضيات والسبب يعود إلى تراكم المياه فوق سطح الحقل. لقد قرر أن يضاف الجبس إلى ماء الري لزيادة معدل التسرب وضح تراكم المياه. تحتاج مساحة ٥ هكتار ما يقارب ١٠٠ ملم من ماء الري. إذا كان الجبس المتاح نسبة نقاوته ٧٠٪ والمطلوب زيادة الكالسيوم في ماء الري بقيمة ٢ ملليمكافئ/ لتر فكم من الجبس يجب أن يضاف؟

الحل

$$EC_w = 0.15 \text{ dS/m}$$

$$\text{Area} = 5 \text{ ha.}$$

$$\text{Gypsum} = 70\%$$

$$\text{Total volume of water} = 5 \text{ ha.} \times 100 \text{ mm} = 500 \text{ ha-mm} = 5000 \text{ m}^3$$

$$500 \text{ ha-mm} = 500 \times 10,000 \text{ m}^2 \text{ ha/ha} \times 1/100 \text{ m}$$

$$1 \text{ meq/L Ca} = 86 \text{ kg of } 100\% \text{ Gypsum}$$

$$1 \text{ meq/L Ca} = 86 \text{ mg gypsum}$$

$$86 \frac{\text{mg}}{1000 \times 1000} \times \frac{1000 \times 1000}{\text{Lm}^3} = 86 \text{ kg} / 1000 \text{ m}^3$$

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 172 \text{ mg}/2 = 86 \text{ mg}$$

كمية ١٠٠٪ من الجبس تحتاج ٢ ملليمكافئ/ لتر من كالسيوم في ٥٠٠٠ م^٣ من الماء؟

1. $1 \text{ meq/L (Ca)} = 86 \text{ kg (100\% gypsum)}/1000 \text{ m}^3$
2. For 1 meq/L Ca in $5000 \text{ m}^3 = 5 \times 86 = 430 \text{ kg of } 100\% \text{ gypsum}$

3. For 2 meq/L Ca in 5000 m³ = 430 kg × 2 = 860 kg of 100% G.
4. Since the gypsum is only 70% pure. The amount of gypsum needed = (860×100)/70 =1230 kg

(٥,٩) خلط أو مزج مياه الري

يوضح الجدول (١,١٤) لتقييم وتقاسيم مياه الري بأن قيمة SAR المساوية لـ ١٢ أو أكبر سوف تسبب نقص في معدل التسرب المائي في التربة مع ملوحة أقل من $EC_w = 0.2$ dS/m، وقيمة SAR أقل من ٦ وملوحة أقل من ١,٢ ملليموز/ سم أيضاً وعليه فإن معدل التسرب قد يزيد بفضل زيادة الملوحة بالماء أو نقص SAR.

إن تخفيض قيم SAR يتم بخفض Na بنسب أكبر من خفض كل من (Ca+Mg) في معادلة SAR. ويمكن من وجود مصدرين للماء لخفض تأثير زيادة الصوديوم باستخدام المعادلة التالية

تركيز الماء المخلوط = تركيز المصدر الأول (A) X نسبة الخلط في (A) + تركيز

المصدر الثاني (B) X نسبة الخلط في (B) (٥,١٠)

مثال (Ayers and Westcot. 1985)

خلط الماء لتقليل قيمة SAR.

قناة ماء ري تستخدم للري ولكن لا تفي بالاحتياجات المائية للمحاصيل ولذا سوف يخلط ماء القناة مع ماء ذو نوعية رديئة بنسبة ٧٥٪ و ٢٥٪ من البئر ما هو قيمة SAR للماء المخلوط.

تحليل الماء (المعطيات):

	EC _w (dS/m)	Ca (meq/L)	Mg (meq/L)	Na (meq/L)	HCO ₃ (meq/L)	SAR
ماء القناة	١,٣٣	١,٤١	٠,٥٤	٠,٤٨	١,٨	٠,٥
ماء البئر	٣,٦٠	٢,٥٢	٤,٠	٣٢,٠	٤,٥	١٨,٠

باستخدام المعادلة فإن تركيز الماء المخلوط يساوي

$$Ca = (1.41 \times 0.75) + (2.52 \times 0.25) = 1.69 \text{ meq/L blend}$$

$$Mg = (0.54 \times 0.75) + (4.0 \times 0.25) = 1.41 \text{ meq/L}$$

$$Na = (0.48 \times 0.75) + (32 \times 0.25) = 8.36 \text{ meq/L}$$

$$HCO_3 = (1.8 \times 0.75) + (4.5 \times 0.25) = 2.48 \text{ meq/L}$$

$$EC_w = (0.23 \times 0.75) + (3.6 \times 0.25) = 1.07 \text{ meq/L}$$

$$\therefore SAR = \frac{8.36}{\sqrt{\frac{1.69 + 1.41}{2}}} = 6.7$$

(٥, ١٠) خدمة التربة

الحراثة بنوعها السطحي والعميق وهي التي تسمح للتربة بالتفكك والسماح للزيادة التسرب ومن فوائد الحراثة أيضاً القضاء على الأعشاب والتهوية وتقلل وتحرك الماء بيسر في التربة.

(٥, ١١) إضافة المواد العضوية وبقايا النباتات

يساعد إضافة المواد العضوية وبقايا النباتات على قدرة التربة على تحسين تحرك الماء بها وتحسين التسرب خصوصاً في الأراضي الثقيلة.

إدارة الري في الحقل

وتشمل العديد من الأمور منها :

- ١- الري المتكرر.
- ٢- الري قبل الزراعة.
- ٣- أطالة أمد الري الواحدة.
- ٤- تغيير أنظمة الري مثلاً من سطحي إلى رش.

(١٢، ٥) مشاكل السمية

Toxicity Problems

تختلف مشكلة السمية من مشاكل الملوحة ؛ لأنها تؤثر على النبات نفسه وغير مرتبطة بقلّة الماء. وتحصل السمية عندما يتم امتصاص بعض العناصر من محلول التربة وتتركز في أوراق النبات خلال عملية النتج مما تسبب أضراراً إلى النبات. إن درجة الأضرار التي تصيب النباتات تعتمد على عدة عوامل وهي : الزمن وتركيز العنصر و حساسية النباتات و استخدام الماء للنبات وعليه فإن هذه الأضرار قد تؤدي إلى نقص المحصول. ومن العناصر السامة في مياه الري البورون والصوديوم والكلوريد.

تختلف درجة حساسية النباتات لسمية بعض العناصر من محصول إلى آخر ومع ذلك فقد تم وضع معايير لسمية بعض العناصر عند استخدامها للري كما هو موضح في الجدول (١٤، ١) في الفصل الأول لتقييم وتقسيم مياه الري وعموماً تعتبر أغلب الأشجار والنباتات المعمرة حساسة بدرجات متفاوتة للسمية.

إن العناصر المتواجدة في الماء مثل Na ، Cl يمكن أن تمتص بصورة مباشرة من خلال أوراق النبات خلال الري بالرش مثلاً. وهذا يحدث خلال فترات ارتفاع درجة الحرارة وانخفاض الرطوبة. إن امتصاص الأوراق للعناصر يساهم في معدل تراكم

العناصر السامة وهو السبب الرئيس للسمية، كما أن العناصر الصغرى سامة للنباتات ولكن لحسن الحظ فإن مياه الري لا تحتوي على هذه العناصر إلا بنسب منخفضة جداً.
(١، ١٢، ٥) الكلوريد (Cl)

السمية المعروفة في مياه الري ناتجة عن عنصر الكلور حيث يمتص من قبل النبات من محلول التربة ويتحرك إلى النبات من خلال الجذور وعبر الخشب إلى الأوراق التي يتراكم بها. إذا زادت نسبة تراكم العنصر في الأوراق عن الحد الذي يتحملة النبات فإن عوارض الإصابة تظهر على الأوراق مثل الحرق أو الجفاف ويحدث عادة في أطراف الأوراق ثم ينتقل إلى الأطراف الأخرى. ويجب إجراء التحليل الكيميائي للتأكد من وجود عنصر الكلوريد بكمية سامة في أنسجة النبات والتي يتم أخذ أوراقها للتحليل عادة.

في المناطق المروية، فإن معدل أخذ الكلور يعتمد على ما هو موجود في التربة ونوعية المياه وما تم فقده نتيجة عملية الغسيل بالإضافة إلى قدرة النبات لأخذ الكلور. معدل تحمل النبات للكلور ليست موثقة كما هي الملوحة. يوضح الجدول (٤، ٥) مدى تحمل الكلور لعدد من المحاصيل سوى كان ماء الري أو محلول ماء التربة المستخلص.

الجدول (٤، ٥). تحمل بعض النباتات لعنصر الكلور. (Ayers and Westcot, 1985)

المحصول	الحد الأعلى المسموح به لتركيز الكلور في منطقة الجذور (مليمكافى/لتر)	الحد الأعلى المسموح به لتركيز الكلور في ماء الري (مليمكافى/لتر)
افكادو	٧,٥	٥,٠
المواخ	٢٥,٠	١٦,٦
العنب	٢٠,٠	١٣,٠
الفواكه الحجرية	٢٥,٠	١٧,٠
التوت	١٠,٠	٦,٢
الفراولة	٧,٥	٥,٠

(٥,١٢,٢) الصوديوم (Na)

سمية عنصر الصوديوم في النباتات ليست من السهولة معرفتها وملاحظتها مثل سمية الكلور ولكن يمكن أن يتوقع أعراض سمية عنصر الصوديوم نتيجة ارتفاع نسبة SAR أو Na٪ في مياه الري. إن أعراض السمية للصوديوم هي أوراق محترقة و أنسجة ميتة على أطراف الورقة بأكملها بعكس الكلور الذي يظهر نفس الأعراض ولكن في الطرف الأعلى من الورقة أو نهايتها (سمية الصوديوم للنبات تحتاج إلى عدة أيام للظهور الأعراض وتراكم الصوديوم في الأوراق). ومن المحاصيل الحساسة لسمية الصوديوم أشجار الفواكه المتحجرة - الحمضيات - الأفوكادو والفاصوليا.

يمكن التخلص من الصوديوم بإضافة Ca كما سبق وتم شرحه في استصلاح الترب القلوية بإضافة الجبس. يوضح الجدول (٥,٥) مدى تحمل بعض النباتات للسمية.

الجدول (٥,٥). تحمل النباتات لتركيز عنصر الصوديوم. (Ayers and Westcot, 1985)

تحمل المحصول		
متحملة	متوسط التحمل	حساسة
البرسيم	الجزر	افوكادو
الشعير	الحس	الفواكه الحجرية
البنجر	بنجر السكر	الفاصوليا
حشيشة الرودس	الدخن	القطن
حشيشة برمودا	البصل	الذرة
	الفجل	كريب
	الرز	البرتقال
	الطماطم	الخوخ
	السيانخ	العدس
	القمح	

(B) البورون (٥, ١٢, ٣)

البورون بعكس الصوديوم ضروري جداً لنمو النباتات حيث يحتاجه النبات بكميات قليلة جداً وإذا وجد بكميات أكبر من احتياجات النبات يصبح ساماً لبعض المحاصيل. إن كمية بمقدار ٠,٢ ملليجرام / لتر من البورون في ماء الري ضرورية بينما ٢,١ ملليجرام / لتر تكون سامة. والمياه السطحية عادة لا تحتوي تراكيز مرتفعة من البورون بينما قد نجد الآبار أو المياه الجوفية هي التي تحتوي على تراكيز مرتفعة من البورون. مشاكل السمية للبورون مصدرها دائماً ماء الري وليس التربة وسمية البورون تؤثر على جميع المحاصيل ، ولكن لها مدى واسعاً للتأثير وهي مثل الملوحة في ذلك.

عوارض السمية الناتجة من البورون تظهر على الأوراق الأقدم عمراً حيث تظهر على هيئة اصفرار أو تبقع أو الجفاف عند حافة أطراف الورقة. وتظهر هذه الأعراض في أنصال أوراق النبات عندما يصل تركيزها إلى أكثر من ٢٥٠-٣٠٠ ملجرام / لتر وليس كل النباتات تراكم البورون في الورقة فمثلاً النباتات الحجرية مثل الخوخ والبرقوق وكذلك التفاح والكمثرى تتأثر بسهولة بتركيز البورون ولكن لا يتراكم البورون في الورقة وعليه فإنه يجب تحليل التربة والمياه في حقل هذه المحاصيل.

يوضح الجدول (٥, ٦) التركيزات المؤثرة على بعض المحاصيل المتحصل عليها

من بيانات (Maas, 1984).

(Maas,1984)

الجدول (٥,٦) تحمل النباتات لتركيز البورون.

متحملة جداً (٦-١٥ ملج/لتر)	متحملة (٤-٦ ملج/لتر)	متوسطة التحمل (٢-٤ ملج/لتر)	متوسطة الحساسية (١-٢ ملج/لتر)	حساسة (٠,٧٥-١ ملج/لتر)	حساسة (٠,٥-٠,٧٥ ملج/لتر)	حساسة جداً (أقل من ٠,٥ ملج/لتر)
القطن	الطماطم	الحنّس	الفجل	الثوم	افكادو	الليمون
الاسبرجس	البرسيم	القرنبيط	الجزر	البطاطا الحلوة	كريب	التوت
	السورجم	الدخن	الفلفل	القمح	الخوخ	
	البقدونس	الذرة	البطاطس	الشعير	البرقوق	
	بنجر السكر	الدخان	الخيار	السمسم	التين	
		الكوسة		الفراولة	العنب	
		الشمام		الفاصوليا	البصل	

(٥,١٣) إدارة مشاكل السمية

Management of Toxicity Problems

من الواضح أن أهم طريقة لمنع حدوث مشاكل السمية هو اختيار مياه الري المناسبة التي لا تسبب السمية وفي حالة عدم توفر المياه المناسبة فإن هناك بعض الاختيارات المحتملة لتخفيض أثر السمية وتحسين الإنتاجية في حالة وجودها في مياه الري.

إن سمية عناصر البورون والكلور يمكن التقليل من أثرها بعملية الغسيل مثل ما يحدث لمشكلة الملوحة ولكن عمق الماء المطلوب للغسيل يختلف مع اختلاف العنصر المراد تقليل أثره، وإذا زادت كمية مياه الغسيل المطلوبة لإزالة آثار سمية تلك العناصر فإنه قد لا يترك مجال لبعض المزارعين خصوصاً في الدول التي يدفع فيها المزارع تكاليف للمياه المستخدمة إلا التحول إلى محاصيل أكثر تحمل لسمية

تلك العناصر. وزيادة مياه الغسيل أو تغيير المحصول قد يتطلب أيضاً التغيير في إدارة المزارع.

(٥, ١٤) أسئلة

س ١: إذا كان تحليل ماء البئر كالاتي :

$$\begin{aligned} \text{Na}^+ &= 20 \text{ meq/L} \\ \text{Ca}^{++} &= 9 \text{ meq/L} \\ \text{Mg}^{++} &= 5 \text{ meq/L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- &= 6 \text{ meq/L} \\ \text{CO}_3^{--} &= 0 \text{ meq/L} \\ (\text{PK}_2 - \text{PK}_3) &= 2.18 \end{aligned}$$

احسب :

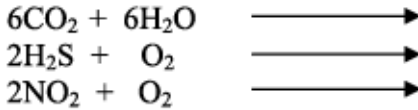
$$1 - \text{pH}_c$$

٢ - SAR_{adj} وهل يسبب هذا النوع من المياه أي مشاكل.

٣ - ما الفرق بين قيم SAR و SAR_{adj} .

س ٢: محصول الفول يعاني من انخفاض في الإنتاج عندما تصل نسبة الصوديوم المتبادل في التربة ESP إلى ١٠ أو أكثر. فما هي قيمة SAR في ماء الصرف المرتبطة بقيمة ESP.

س ٣: أكمل المعادلات التالية



(٥, ١٥) المراجع

أولاً: المراجع العربية

الراوي، أحمد عبد الهادي، أحمد الزبيدي ونظيمة قدوري. ١٩٨٦م. كيمياء التربة. جامعة بغداد. العراق.

حسن ، طه الشيخ. ١٩٩٦م. استصلاح الأراضي: الري والصرف والمقننات المائية للأشجار والمحاصيل في المناطق الجافة والرطبة وطرق الري المختلفة. ترجمه. منشورات دار علاء الدين للنشر والتوزيع ، دمشق سوريا.
عبد العال ، شفيق إبراهيم و أمين حمد الراوي. ١٩٨١م. استصلاح وتحسين التربة. جامعة السليمانية - العراق.

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Ayers, R.S. and D.W. Westcot. (1985). *Water quality for agriculture*. FAO # 29. Rome.
- Essington, M. E. (2004). *Soil and Water Chemistry: An Integrative Approach*. CRC Press. New York. USA.
- James, DW., R.J. Hanks, J.J. Jurinak. (1982). *Modern Hrrigation Soils*. John Wiley & Sons. New York.
- Maas E. V. (1984). Salt tolerance of plants. In: *The Handbook of Plant Science in Agriculture*. B. R. Christie (ed). CRC Press, Boca Raton, Florida.

تقييم جودة المياه

(٦,١) تقييم نوعية مياه الري في المملكة

تعتبر مياه الري أحد العوامل الرئيسة المحددة للإنتاج الزراعي في المناطق الجافة وشبه الجافة. لذلك تعتبر نوعية هذه المياه عاملاً مهماً في تحديد صلاحية المياه للأغراض الزراعية. وتكمن أهمية دراسة و معرفة نوعية مياه الري في كونها تحدد فيما إذا كانت المياه لا تسبب تكوين الترب الملحية أو الصودية أو تسبب سمية للنباتات المروية. فمن المعروف أن مياه الري لها تأثيرات مختلفة على خواص التربة الفيزيائية والكيميائية وعلى النباتات النامية. بعض هذه التأثيرات سلبية و البعض الآخر إيجابية وهذا يعتمد على نوعية و كمية مياه الري المستخدمة.

كثير من الدراسات لم تركز على نوعية و خواص مياه الري و يعزى ذلك إلى توفر كميات كبيرة من المياه الصالحة للري، ولكن في ظل نقص الموارد المائية وتدني نوعيتها نتيجة للاستهلاك الهائل للمياه، أصبح الاهتمام بدراسة نوعية مياه الري مطلباً أساسياً خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة، وأجريت من أجل ذلك العديد من الدراسات و الأبحاث لتقييم وتصنيف مياه الري من حيث الجودة. واعتمدت معظم هذه الدراسات على تقييم جودة مياه الري بالنسبة لمحتواها من الأملاح الكلية الذائبة و التركيب الأيوني لها ومخاطر بعض العناصر التي تسبب سمية للنبات.

(٦,١,١) الخصائص الكيميائية لماء الري

إن معظم المياه المستخدمة للري في المملكة العربية السعودية هي مياه جوفية تحتوي على كميات متفاوتة من الأملاح الذائبة بها. ويعبر عن التركيز الكلي للأملاح الذائبة إما بكمية الأملاح الكلية الموجودة في الماء (ملجم / لتر) أو جزء في المليون (ppm) أو بدرجة التوصيل الكهربائي للماء عند درجة حرارة ٢٥م° ويرمز لها بالرمز (EC) ووحداتها ملليموز / سم أو ديسيمنز / م.

ومن الخصائص الأخرى للماء معرفة كمية الصوديوم الموجودة في الماء، حيث يعتبر الصوديوم من العناصر الضارة للتربة عند زيادة تركيزه خصوصاً في الأراضي بطيئة النفاذية والتي لا تحتوي على صرف جيد. فإضافة مياه الري المحتوية على تركيز مرتفع من عنصر الصوديوم يجعل هذه الأراضي غير منفذة وعند جفافها تصبح صلبة مما قد يؤدي إلى إعاقة الإنبات ونمو البادرات. ومن المصطلحات المستعملة لمعرفة أو الاستدلال على ضرر الصوديوم الموجود في مياه الري هو نسبة الصوديوم المدمص. وتحسب كالتالي :

(٦,١).....Soluble Sodium Percentage (SSP)

$$= \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+} * 100$$

(٦,٢)..... Exchangeable Sodium Percentage (ESP)

$$= \frac{100(1-0.0126+0.01475 \times SAR)}{1+(1-0.0126+0.01475 \times SAR)}$$

(٦,٣)..... Sodium Adsorption Ratio (SAR) = $\frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$

(٦,٤).....Adjusted Na Adsorption Ratio (adj. SAR) = SAR

$$\{1 + (8.4 - pH_c)\}$$

$$pH_c = (PK_2 - PK_c) + P(Ca + Mg) + P(HCO_3 + CO_3) \dots (٦,٥)$$

جميع التراكيز في المعادلات السابقة تحسب على أساس المليمكافئ / لتر. ولقد تم توضيح كيفية حساب قيم المعادلات في الفصول السابقة بالتفصيل.

(٦,١,٢) طبيعة التربة

في وجود المياه المالحة نسبياً كمياه المملكة العربية السعودية المستخدمة للزراعة فإنه يلزم عمل تحليل للتربة بالإضافة إلى عمل بعض الدراسات على الخصائص الفيزيائية للتربة.

لأهمية ذلك في تحديد مدى صلاحية المياه المستخدمة للري في تلك الأراضي، ولكي نوضح ذلك نفترض أن تربة بها نسبة مرتفعة من الطين، وكذلك تحتوي على نسبة عالية من الصوديوم، فإنه يفضل عدم استخدام مياه ري ذات نسبة مرتفعة من الصوديوم لما يسببه من مشكلات في نفاذية التربة كما سبق شرحها بشيء من التفصيل في الفصل السابق، وعلى العكس من ذلك، فإن التربة الرملية ذات النفاذية المرتفعة فإنه يمكن استخدام مياه ذات ملوحة مرتفعة نسبياً نتيجة لوجود الصرف الطبيعي الجيد في تلك الترب لغسل الأملاح ومنع تراكمها.

(٦,١,٣) نوع المحصول المزروع

تختلف النباتات في درجة تحملها للملوحة مياه الري المستخدم في الزراعة، كما إنها تختلف في تحملها من صنف إلى الآخر من النباتات نفسها، فالقمح مثلاً به أصناف تتحمل الملوحة نسبياً وأخرى لا تتحمل. كذلك تختلف درجة تحمل النباتات للملوحة باختلاف عمر النبات. وعموماً فإن فترة الإنبات ونمو البادرات الصغيرة هي أكثر حساسية للملوحة. ولو أخذنا نبات مثل بنجر السكر فإنه شديد الحساسية أثناء مرحلة الإنبات ولكنه يتحمل الملوحة خلال مراحل النمو المتأخر كذلك فإن الشعير يتأثر

خلال فترة الإنبات ويتحمل الملوحة خلال مراحلها الأخرى. أما الطماطم والقطن فإنهما أكثر حساسية للملوحة خلال مرحلة البادرات ثم تقل حساسيتهما خلال مرحلة النمو الخضري ثم تزداد خلال مرحلة الإزهار. ولقد اقترحت معادلة تأثير الملوحة على إنتاجية المحاصيل ونسبة الانخفاض في المحصول (Maas and Hoffman, 1977) بالفصل الثالث.

(٦, ١, ٤) العوامل الجوية (المناخ)

إن العوامل الجوية من العوامل المهمة ، والتي يجب أخذها بعين الاعتبار عند استخدام المياه للري ، خصوصاً تلك المياه التي ترتفع فيها كمية الأملاح وبالأخص في المملكة العربية السعودية ، حيث تبلغ الحرارة في فترة الصيف ٤٨م°. ومن المعروف أن درجة الحرارة العالية تؤدي إلى تبخر المياه من التربة والتي ترتفع إلى أعلى بالخاصية الشعرية محملة بالأملاح الذائبة ونتيجة لتبخر هذه المياه فإن الأملاح التي تبقى وتتراكم على سطح التربة مخلقة بقعاً بيضاء في بعض المناطق الزراعية.

(٦, ١, ٥) طريقة الري المستخدمة

في الظروف الجوية السائدة في معظم مناطق المملكة ونتيجة لاستخدام مياه متوسطة الملوحة فإن الري التقليدي أو السطحي يعتبر من طرق الري الجيدة والمحافظة على إنتاجية التربة. وعند استخدام الري بالخطوط فإنه ينصح بوضع بادرات النباتات مثل الطماطم على حواف المصطبة بدلاً من وضعها في المنتصف حيث تتراكم الأملاح في منطقة الوسط نتيجة الري.

أما طريقة الري بالرش فلها فوائد من حيث تقليل كمية الماء المستخدم للري ورفع كفاءة الري ، إلا أن استخدام هذه الطريقة خصوصاً بمياه ذات تركيز مرتفع من

الأملاح قد يسبب تراكم هذه الأملاح على أسطح أوراق النباتات خصوصاً في فصل الصيف نتيجة لارتفاع درجة الحرارة.

ويعتبر الري بالتنقيط من أكفأ طرق الري الحديثة خصوصاً بارتفاع ملوحة مياه الري. وعند استخدام هذه الطريقة في المملكة ونتيجة لارتفاع حرارة الجو في فصل الصيف فإنه يجب التأكد من أن فتحات المنقطات واسعة لكي تعطي تدفقاً عالياً ، وبالتالي منع تراكم الأملاح حول جذور النباتات بعد تبخر الماء من التربة لارتفاع درجة الحرارة. ولعله من الأفضل أن نستعين بالتقسيمات التي وضعت لتقسيم مياه الري، ومن أشهر تلك التقسيمات التقسيم الذي وضع من قبل معمل الملوحة التابع لوزارة الزراعة الأمريكية رقم ٦٠ لسنة ١٩٥٤م الموضح بالشكل (١،١) الموضحة بالفصل الأول و المعادلات المقرونة به أيضاً.

والتقسيم المستخدم حالياً لتقييم نوعية مياه الري (Ayers and Westcot, 1985) (الجدول ١،١٤) والمشار إليه في الفصل الأول أيضاً.

(٦،٢) تقييم مياه الري في المملكة العربية السعودية

تقع المملكة العربية السعودية ضمن الدول الصحراوية شبه الجافة، و الموارد المائية التي تعتمد عليها هي المياه الجوفية التي تتميز بصفة عامة باحتوائها على نسبة من الأملاح الذائبة التي تختلف في كميتها و نوعيتها حسب البيئة المحيطة بها من الطبقات الأرضية. وقد أدى الاستنزاف الهائل للمياه الجوفية إلى تفاقم مشكلة نقص مياه الري ورداءة نوعيتها في معظم المناطق الزراعية بالمملكة. لذلك أولت الجهات المختصة بالمياه أهمية بالغة من أجل المحافظة على ما تبقى من هذه المياه و الحد من الاستمرار في استنزافها. و من الجهود المبذولة في هذا المجال هو وضع السياسة المائية التي تنظم

استعمالات المياه الجوفية و إعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة. وللأسف أهمل الجانب المتعلق بالمعايير الأساسية لتحديد صلاحية نوعية مياه الري.

وبصفة عامة هناك بعض الدراسات و الأبحاث الخاصة بنوعية المياه الجوفية المستخدمة في الري في المملكة ولكن تعتبر هذه الدراسات قليلة مقارنة بحجم المشكلة. ولزيادة توفير المعلومات عن نوعية مياه الري في بعض مناطق المملكة اتجه بعض الباحثين إلى القيام بدراسات تعتبر إضافة علمية لما هو متوفر. ففي دراسة أجريت لمعرفة نوعية المياه الجوفية المستخدمة في الري في ثمان مناطق زراعية في المملكة وجد فلاته و آخرون (١٩٩٩م) أن هذه المياه عالية الملوحة جداً و لكنها منخفضة إلى متوسطة في نسبة الصوديوم المدمص و تحتوي كذلك على تراكيز منخفضة من بيكربونات الصوديوم المتبقية (RSC) أما قيم pH فتراوحت بين (٦.٤ - ٨.٤) وهذه القيم تقع ضمن الحدود المسموح بها في المياه الجوفية وفقاً لتصنيف منظمة الأغذية و الزراعة (Ayers and Westcot, 1985). وفي دراسة لنوعية بعض المياه الجوفية المستخدمة في المنطقة الوسطى وجد (Al-Omran, 1987) أن معظم مياه الري الجوفية المستخدمة في هذه المنطقة هي مياه متوسطة إلى مرتفعة الملوحة وفقاً للتصنيف الأمريكي (Richards, 1954). وفي دراسة أخرى على نوعية المياه المستخدمة للري في بعض الحقول بالمنطقة الشرقية قام بها (Hussein and Sadiq, 1991) وجد أن تصنيف مياه الري على ضوء الملوحة وخطورة الصوديوم تقع تحت قسم $C_4 S_2$ وفقاً للتقسيم الأمريكي (Richards, 1954) كذلك وجد (Alaa El-Din et al., 1993) في دراسة لنوعية المياه في ٣٨٨ بئراً أن تركيز الأملاح الكلية الذائبة في مياه الري أعلى من الحد المسموح به (أقل من ٢٠٠٠ ملجم/لتر) في ١٩٪ من الآبار المدروسة وان حوالي ٧٪ من الآبار تحتوي على كميات من النترات تفوق الحدود المسموح بها في مياه الري (Ayers and Westcot, 1985). وفي دراسة لنوعية المياه الجوفية

بمنطقة القصيم أجراها (Iqbal *et al.*,1996) على فترات مختلفة وعلى مدى خمس سنوات لاحظوا حدوث تغيرات في بعض الخواص الكيميائية للمياه المدروسة مثل الملوحة و الصودية خلال فترات الدراسة ولم يذكروا السبب في هذا التغير. وفي دراسة تحليلية لخواص تكوينات المياه الجوفية في المملكة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٤م) وجدا (Al-Jaloud and Hussien,1992) أن هناك ارتباط قوي بين مجموع الأملاح الذائبة (TDS,ppm) و التوصيل الكهربائي (EC,dS/m) و كانت قيمة التلازم ($r^2=0.99$) و لم يلاحظ أي ارتباط بين التوصيل الكهربائي و نسبة الصوديوم المدمص (SAR) . وفي دراسة أخرى على نوعية مياه الري المستخدمة في المنطقة الوسطى من المملكة العربية السعودية، وجد (Mee,1983) أن المعادلات المستخدمة في العادة لتقدير الكمية الكلية للأملاح الذائبة

$$(٦,٦).....(Richards, 1957) TDS = 640 \times EC$$

أو

$$(٦,٧).....(Tanji *et al.*, 1980) TDS = 0.773 EC-208$$

هذه المعادلات لا تنطبق على مياه الري الجوفية في المملكة ولذلك اقترح (Mee,1983) معادلة جديدة توضح العلاقة بين التوصيل الكهربائي و الكمية الكلية للأملاح الذائبة في مياه الري وعبر عنها بالعلاقة التالية :

$$(٦,٨).....TDS = (EC \times 850) - 200$$

وفي دراسة مماثلة على نوعية مياه الري بمنطقة الخرج أجراها (Jahangir *et al.*, 1987) اقترحوا معادلة تختلف عن معادلة (Mee,1983) في حساب الكمية الكلية للأملاح الذائبة وهذه المعادلة هي :

$$(٦,٩)..... TDS=(EC \times 823)- 63$$

وفي دراسة مؤخراً فلقد وجد العمران وآخرون (٢٠٠٥م) بان المعادلة لعدة آبار في منطقة الرياض كما يلي :

$$TDS (ppm) = (EC \times 875.8) - 302.3 \quad (r^2 = 0.971) \quad (١٠, ٦)$$

حيث EC التوصيل الكهربائي للماء ب (ds/m) عند درجة حرارة ٢٥ م

TDS تركيز الأملاح بالمياه بالمليجرام /لتر لجميع المعادلات السابقة.

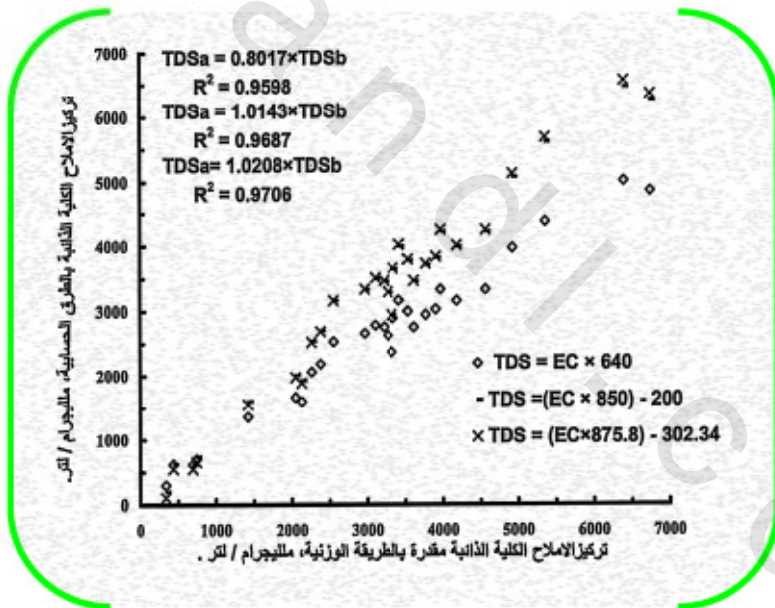
وبصفة عامة فان نتائج الدراسات السابقة تشير إلى إن هناك تدهوراً مستمراً في نوعية مياه الري المستخدمة في معظم المناطق الزراعية في المملكة مما يستلزم متابعه ذلك بإجراء دراسات دورية مستمرة.

وسوف نتطرق إلى آخر دراسة قام بها (المطروود، ٢٠٠٣م) حيث شملت على عدة آبار في منطقة الرياض. حيث جمعت ٢٠٠ عينة مياه من الآبار المستخدمة للري في منطقة الرياض وقيس رقم الحموضة (pH) والتركيز الكلي للأملاح الذائبة في كل عينة وعبر عنها بالتوصيل الكهربائي (EC, dSm⁻¹) وعلى ضوء قيم التوصيل الكهربائي قسمت الآبار إلى أربعة مجاميع وتم اختيار ستة آبار ممثلة عن كل مجموعة، وبذلك أصبح عدد الآبار التي تمت دراسة نوعية المياه فيها ٢٤ بئراً. استغرقت مدة الدراسة سنة كاملة قسمت إلى أربع فترات أخذت خلالها عينات المياه وأجريت لها التحاليل والقياسات اللازمة باستخدام الطرق الموصى بها (Page et al., 1982).

تم تقدير الأملاح الكلية الذائبة، الكاتيونات (Ca, Mg, Na, K) والأيونات (CO₃, HCO₃, Cl, SO₄) والنترات (NO₃) والبيورون (B) وتم كذلك قياس رقم الحموضة (pH).

على ضوء نتائج التحليل تم حساب قيم النسبة المئوية للصوديوم الذائب (SSP)، النسبة المئوية للصوديوم المتبادل (ESP)، ومعدل ادمصاص الصوديوم باستخدام ثلاث معادلات في حساب كل من (SAR, adj.SAR, adj.R_{Na}) وقيمة كربونات الصوديوم المتبقية (RSC)، وقيم الرقم الهيدروجيني المحسوبة (pH_c) حسب المعادلات الموضحة في مقدمة الفصل.

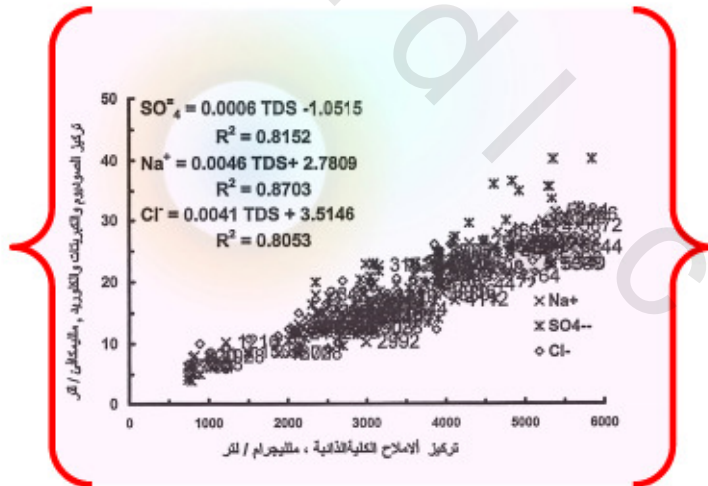
يوضح الشكل (٦,١) العلاقة بين الكمية الكلية الذائبة للأملاح المقدره بالطريقتين الوزنية والتوصيل الكهربائي والمعادلات المقترحة لذلك. ويبدو واضحاً أن هناك علاقة وثيقة بين الكمية الكلية للأملاح الذائبة المقدره بالطريقة الوزنية والكمية المعبر عنها بالتوصيل الكهربائي وكانت قيم معامل التلازم ($r^2 = 0.9706$) للمعادلة المقترحة في هذه الدراسة و($r^2 = 0.969, 0.959$) للمعادلة المقترحة من (Richards, 1954) (Mee, 1983) , على التوالي. نلاحظ أن القيم متقاربة جداً ولكن يفضل استخدام المعادلة المقترحة في هذه الدراسة ؛ لأنها أعطت أعلى قيمة لمعامل التلازم ($r^2 = 0.971$) مع الكمية الكلية للأملاح الذائبة المقدره بالطريقة الوزنية ، وتعزى هذه القيمة العالية إلى ارتفاع ملوحة مياه الآبار الجوفية المدروسة.



الشكل (٦,١) . العلاقة بين تركيز الأملاح الكلية الذائبة المقدره بالطريقة الوزنية TDSa وتركيز الأملاح الكلية الذائبة محسوبة من المعادلات TDSb في مياه الآبار.

(المطرود، ٢٠٠٣م).

تشير نتائج الدراسة أن أيون الصوديوم هو الكاتيون السائد وقد تجاوز تركيزه في معظم العينات الحد المسموح به في مياه الري .
 أما تراكيز الكالسيوم والمغنسيوم والبوتاسيوم فهي تقع ضمن التراكيز العادية والمتوقعة في المياه الجوفية المستخدمة في أغراض الري (Ayers and Westcot, 1985) وبالنسبة للأيونات فكانت السيادة لأيون الكبريتات في معظم عينات المياه، يليه أيون الكلوريد الذي تجاوز كثيراً التراكيز الموصى بها في مياه الري (أكثر من ١٠ ملليمكافئ / لتر)، أما تراكيز البيكربونات فهي أقل كثيراً من الحد الحرج (٨,٥ ملليمكافئ / لتر). (Ayers and Westcot 1985).
 يوضح الشكل (٦,٢) العلاقة الخطية بين كمية الأملاح الكلية الذائبة المقدرة بالطريقة الوزنية وتركيز الكاتيون السائد (الصوديوم) والأيونات السائدة (الكبريتات والكلوريد). وقد بلغت قيمة معامل التلازم بين كمية الأملاح الكلية الذائبة المقدرة بالطريقة الوزنية وبين أيون الصوديوم ($r^2 = 0.87$) ، ($r^2 = 0.80$) لأيون الكلوريد و ($r^2 = 0.81$) لأيون الكبريتات. هذا الارتباط يدل على أن هذه الأيونات تشكل مصدراً أساسياً للملوحة مياه الآبار المدروسة.



الشكل (٦,٢). العلاقة بين تركيز الأملاح الكلية الذائبة وتركيز الصوديوم والكلوريد والكبريتات في مياه الآبار. (المطروود، ٢٠٠٣م)..

تراوحت قيم تراكيز عنصر البورون الذائب بين ٠.٦٠ - ٢.٥٥ ملليجرام/لتر وتعتبر هذه التراكيز ضمن الحدود الطبيعية لهذا العنصر في المياه الجوفية (Bigger and Nielsen, 1972) وبالإمكان استعمال المياه الحاوية على هذه التراكيز في الري، ولكن يجب أن يؤخذ في الاعتبار أن مسك عنصر البورون في التربة يمكن أن يؤدي إلى تراكم البورون قد يصل إلى المستوى الضار، لذلك ينصح بإجراء عملية الغسيل للتربة من وقت لآخر للحد من تراكم عنصر البورون في التربة.

وبالنسبة للنترات الذائبة (NO_3^-) فتراوحت قيمها بين (صفر-١٩.٨) ملليجرام / لتر وتشير النتائج أن حوالي ٥٠٪ من عينات المياه المدروسة تحتوي على أيون النترات وبتراكيز أعلى من الحد المتوقع في مياه الري (١٠ ملليمكافئ / لتر) حسب التصنيف المقترح من قبل منظمة الأغذية والزراعة (Ayers and Westcot, 1985) ومن المحتمل أن يكون السبب في هذه التراكيز العالية هو الإفراط في استخدام الأسمدة النيتروجينية. وبالرغم من أن أيون النترات من العناصر الضرورية للنبات وليس له تأثير سلبي على خواص التربة، إلا أن وجود كميات كبيرة من النترات تسبب بعض المشاكل منها النمو الخضري الزائد وتأخر نضج المحصول. ومن المعروف أن هذا الأيون سريع الحركة في التربة لذلك يمكن التخلص منه بسهولة لاسيما في الترب الرملية الخفيفة القوام والمنتشرة في معظم المناطق الزراعية بالمملكة.

(٦,٣) تأثير نوعية مياه الري على خواص التربة

(٦,٣,١) مخاطر الصوديوم

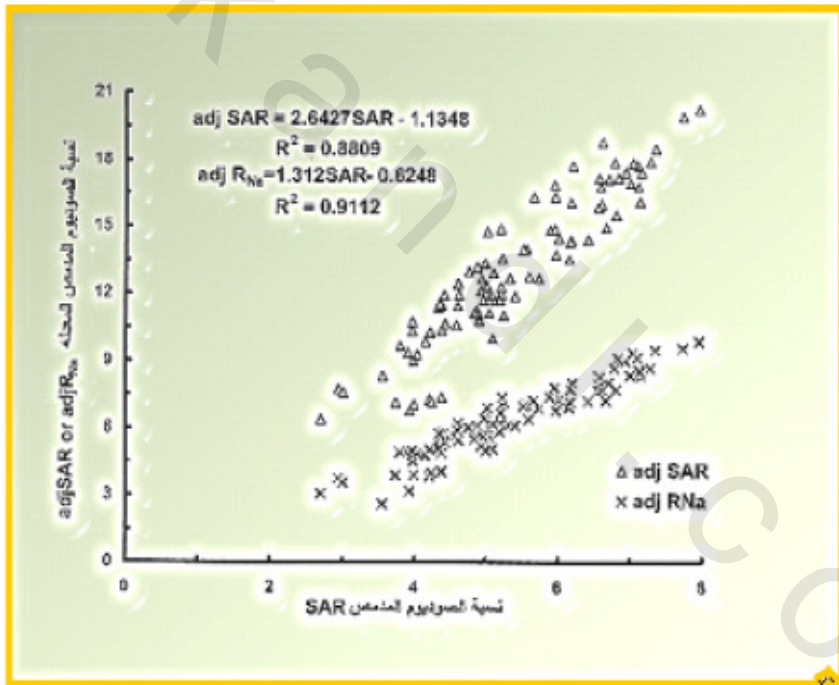
سبق الإشارة إلى أن المياه الجوفية المستخدمة في الري تحتوي على تراكيز عالية من الأملاح الكلية الذائبة والتي تختلف في كمية ونوعية الأيونات الداخلة في تركيبها. وبالرغم من أن جميع أيونات مياه الري لها تأثير على خواص التربة إلا أن التركيز

على عنصر الصوديوم يعتبر هو الأهم. فاستخدام مياه الري ذات المحتوى المرتفع نسبياً من الصوديوم المدمص (SAR) يؤدي إلى زيادة النسبة المثوية للصوديوم المتبادل في التربة (ESP) وهذا يعتبر مؤشراً لمشكلة الصوديوم الناجمة عن استخدام مياه الري سيئة النوعية.

تستخدم قيم نسبة الصوديوم المدمص (SAR) للتعبير عن خطورة الصوديوم؛ لأنها تعتمد على العلاقة الكمية بين الأيونات الذائبة والمدمصة وهذا يساعد على التنبؤ بكمية الصوديوم المتبادل في التربة. ولقد تم استخدام قيم SAR المحسوبة في الدراسة لحساب قيم adjSAR و adjR_{Na} و ESP حيث تراوحت قيم SAR بين (٢,٩٤ - ٦,١٧) ، وقيم adjSAR تراوحت بين (٧ - ١٤,٤٨) ، أما قيم adjR_{Na} فتراوحت بين (٣,٩ - ٧,٢٥). و تشير هذه النتائج بوضوح إلى ارتفاع قيم adjSAR حيث بلغت حوالي ضعف القيم المتحصل عليها لكل من SAR و adjR_{Na}. هذه النتيجة تؤكد الاستنتاج الذي توصل إليه بعض الباحثين في مجال نوعية مياه الري (Oster and Rhoades, 1977; Schroer, 1979). ومفاده أن استعمال معادلة ادمصاص الصوديوم المعدلة adjSAR تعطي قيماً مبالغ فيها عن خطورة الصوديوم في مياه الري ، لذلك ينصح بعدم الاعتماد على النتائج المتحصل عليها من هذه المعادلة واعتماداً على قيم المعادلتين SAR و adjSAR فإن مياه الآبار في منطقة الرياض لا تسبب زيادة ملحوظة في النسبة المثوية للصوديوم المتبادل في التربة وفقاً لتصنيف مياه الري المقترح من قبل منظمة الأغذية والزراعة (Ayers and Westcot, 1985).

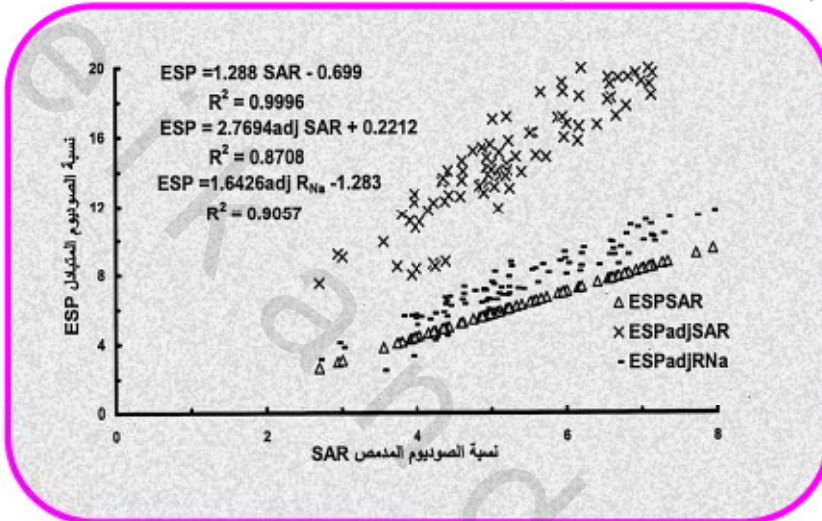
يوضح الشكل (٦,٣) العلاقة بين ال SAR وكلاً من adjSAR و adjR_{Na}. يبدو واضحاً أن معامل التلازم الأقوى ($r^2 = 0.9112$) كان بين SAR و adjR_{Na} والتلازم الأقل ($r^2 = 0.9112$) بين SAR و adjSAR. هذا الارتباط يؤكد ما سبق الإشارة إليه سابقاً عن قوة التقارب بين قيم SAR و قيم adjR_{Na}.

أما بخصوص النسبة المثوية للصدويوم المتبادل ESP في التربة نتيجة لاستخدام مياه الري فقد تم حسابها باستخدام قيم SAR و adjSAR و adjR_{Na} تراوحت قيم الـ ESP المحسوبة من قيمة الـ SAR بين (٢,٩٩ - ٧,٢٧) والمحسوبة من قيمة الـ adjSAR (٨,٣٥ - ١٦,٧٣) والمحسوبة من adjR_{Na} (٤,١ - ٨,٦٢) ويبدو واضحاً أن استخدام الـ adjSAR لحساب ESP أعطت قيماً مرتفعة بينما قيم ESP المحسوبة باستخدام SAR و adjR_{Na} كانت ضمن الحدود المسموح بها في مياه الري والبعض منها يقل كثيراً عن الحد الحرج (١٥) والمقترح من معمل الملوحة الأمريكي (Richards, 1954).



الشكل (٦,٣) العلاقة بين نسبة الصوديوم المدمص SAR ونسبة الصوديوم المدمص المعدلة adj SAR .
(المطروود، ٢٠٠٣م).

يوضح الشكل (٦،٤) العلاقة بين الـ ESP المحسوبة باستخدام SAR و adjSAR و adjR_{Na}. تشير النتائج إلى قوة التلازم ($r^2 = 0.991$) بين الـ ESP والـ SAR ، وبين ESP و adjR_{Na} ($r^2 = 0.8708$) وهذا يؤكد الاستنتاجات السابقة التي توضح أن القيم المتحصل عليها عند استخدام معادلة adjSAR هي قيم لا يمكن الاعتماد عليها في الحكم على خطورة الصوديوم في مياه الري.



الشكل (٦،٤). العلاقة بين نسبة الصوديوم المدمص SAR والنسبة المئوية للصوديوم المتبادل ESP محسوبة من SAR و adjSAR و adjR_{Na} في مياه الآبار . (المطروود، ٢٠٠٣م).

(٦،٤) تأثير نوعية مياه الري على ترسيب الكربونات في التربة

هذه العلاقة لم يشملها أي تصنيف لمياه الري بالرغم من أهميتها حيث أوضحت دراسات أجراها (Langelier, 1936; Rhoades, 1968) أن وجود الكربونات والبيكربونات ذاتيين في مياه الري يؤدي إلى ترسيب الكالسيوم الموجود في محلول التربة مما يؤدي إلى سيادة عنصر الصوديوم في محلول التربة والماء وتزداد بذلك مشكلة الصوديوم وترتفع قيمة SAR. في هذه الدراسة استخدم معامل الإشباع (Saturation Index) المعبر عن هذه العلاقة والمشار إليه في الفصل الثاني تبين أن ٦٩٪ من مياه الري

المدروسة لا تؤدي إلى ترسيب CaCO_3 في التربة؛ لأن قيم معامل الإشباع أقل من الصفر (سالبة) و ٣١٪ من مياه الآبار لها القدرة على ترسيب CaCO_3 . لأن معامل الإشباع أكبر من الصفر (موجبه).

(٦,٥) كربونات الصوديوم المتبقية

أحد المصطلحات المستخدمة لتقييم نوعية مياه الري وقد اقترحه العالم (Eaton,1950) والذي عبر عنها بالتالي :

$$RSC = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \dots\dots\dots (٦,١١)$$

ويعبر عن تركيز هذه الأيونات بالملليمكافئ/لتر. وعلى ضوء التقسيم المقترح من (Eaton,1950) تعتبر عينات المياه المدروسة غير صالحة للري؛ نظراً لأن محتواها من كربونات الصوديوم المتبقية RSC تفوق عشرات المرات أو أكثر من الحدود الموصى بها (أقل من ٢,٥ ملليمكافئ/لتر). ولكن يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار صفات التربة المروية عند تقييم الأثر الضار لكربونات الصوديوم المتبقية؛ وذلك لأن بعض مكونات التربة يمكن أن يكون لها دور في تقليل أثر كربونات الصوديوم وذلك من خلال ترسيبها بتفاعلها مع الكالسيوم أو المغنسيوم في التربة (Al-Zubaidi,1976) كذلك الأخذ بعين الاعتبار بعض الخواص الفيزيائية للتربة مثل القوام.

(٦,٧) تصنيف مياه الآبار

وتقسم جودة مياه الري باستخدام: النظام القديم المقترح من قبل معمل الملوحة الأمريكي (Richards, 1954) والنظام الأحدث المقترح من قبل منظمة الأغذية والزراعة (Ayers and Westcot, 1985) وكلا النظامين اعتمدا في التصنيف على التركيز الكلي للأملاح الذائبة والتركيز النسبي للصوديوم وأثره على نفاذية التربة وسمية بعض العناصر.

واعتماداً على التصنيف المقترح من معمل الملوحة الأمريكي وجد أن معظم مياه الري في منطقة الرياض تقع تحت القسم S1-C4 وهذا يعني أنها مياه عالية الملوحة جداً ولكنها منخفضة في محتواها من الصوديوم. وهناك بعض الآبار الأقل ملوحة ولكنها تشكل نسبة ضئيلة وتقع تحت S₁ - C₃. أي أنها مياه عالية الملوحة ولكنها منخفضة في تراكيز الصوديوم. واستناداً على تصنيف منظمة الأغذية والزراعة وجد أن مياه الري المدروسة تصنف على أنها متوسطة إلى مرتفعة الملوحة ومنخفضة إلى متوسطة في محتواها من الصوديوم.

نستنتج مما سبق أن مشكلة مياه الري في منطقة الرياض تعزى إلى خطورة الملوحة وبالرغم من ذلك فإنه بالإمكان استعمال هذه المياه في الري لاسيما وأن معظم الترب الزراعية في هذه المنطقة هي ترب رملية خفيفة القوام. ولكن ينصح بزيادة كمية مياه الري على فترات متقطعة لضمان الحصول على الاحتياجات الغسيلية ويفضل أن تصاحب عملية الغسيل إضافة بعض المحسنات من وقت لآخر.

والأمثلة التالية عن تقييم جودة المياه:

مثال (١)

عينة مياه ري من منطقة القصيم بالمملكة العربية السعودية تم أخذها عام ٢٠٠٧م كانت تحليلاتها كالتالي والمطلوب تقييم جودتها من حيث إمكانية استخدامها في الري:

EC dSm ⁻¹	٥,١٥
Ca ⁺⁺	٣٥٢ ملجم/لتر
Mg ⁺⁺	٢١٠ ملجم/لتر
Na ⁺	٦٠٠ ملجم/لتر
K ⁺	١٢ ملجم/لتر
القلوية	٤٢٧ ملجم/لتر
Cl ⁻	٨٥١ ملجم/لتر
SO ₄ ⁻	١٢٦٢ ملجم/لتر
NO ₃ -N	٦٨,٣٥ ملجم/لتر
SAR	٦,٢١٤ ملجم/لتر
B	١,٤٠ ملجم/لتر

الحل

بالإشارة إلى جدول تقييم مياه الري (الجدول ١،١٤) يتضح أن:

- ملوحة المياه: عالية جداً في ملوحتها حيث تنخفض من جاهزية الماء ويسود فيها كاتيون الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وهي على صورة أملاح الكلوريدات والكبريتات.

- محتواها من النترات: عالية جداً حيث المسموح به زراعياً حتى ٣٠ ملجم/لتر لذا يؤخذ في الاعتبار عند وضع برنامج للتسميد.

- قيمة الصوديوم المدمص SAR: تعتبر قيمتها عالية في تأثيرها على نفاذية التربة حيث تزيد من رداءة نفاذية التربة وبالتالي تقلل من كمية الماء المخزون في التربة.

- محتواها من البورون: يعتبر متوسط، تؤثر على المحاصيل الحساسة، عادة يظهر عليها أضرار خفيفة إلى متوسطة.

- محتواها من الكلوريد: يعتبر عالياً جداً، يؤثر على جميع المحاصيل المقاومة للكلوريد.

وعليه فإنه لاينصح باستخدامها للري ولكن يمكن خلطها بمياه جيدة لري بعض المحاصيل التي تتحمل الملوحة.

مثال (٢)

عينة مياه من منطقة الخرج بالمملكة العربية السعودية تم أخذها عام ٢٠٠٦م كانت تحليلاتها كالتالي والمطلوب تقييم جودتها من حيث إمكانية استخدامها في الري أو غيره:

EC dSm ^l	٠,٩٠
TDS	٥٨٠ ملجم/لتر
Ca ⁺⁺	٦٦ ملجم/لتر
Mg ⁺⁺	٢٧ ملجم/لتر
Na ⁺	١٦٠ ملجم/لتر
K ⁺	٣٩ ملجم/لتر
NO ₃ -N	٨,٤ ملجم/لتر
Cl ⁻	٨٦ ملجم/لتر
SO ₄ ⁻	٩٠ ملجم/لتر
B	٠,٩٠ ملجم/لتر
Fe	١,٥٠ ملجم/لتر
Total Hardness	١٢,٣٠
pH	٨,٤
HCO ₃ ⁻	١٢٠ ملجم/لتر

الحل

حيث إن العينة من مياه الاستخدام البلدي فيمكن استخدامها للري بدون تحفظ مع مراعاة إضافة الأسمدة للحدائق المروية.

مثال (٣)

عينة مياه ري من منطقة شمال الرياض بالمملكة العربية السعودية تم أخذها عام ٢٠٠٧م كانت تحليلاتها كالتالي والمطلوب تقييم جودتها من حيث إمكانية استخدامها في الري:

EC dSm ⁻¹	٢,٦٨
Ca ⁺⁺	١٤٠ ملجم/لتر
Mg ⁺⁺	٤٨ ملجم/لتر
Na ⁺	٢٣٠ ملجم/لتر
K ⁺	٨,٩٠ ملجم/لتر
Sr ⁺⁺	١٥,٣٠ ملجم/لتر
القلوية	١٣٧,٢٥ ملجم/لتر
Cl ⁻	٤٤٣,٧٥ ملجم/لتر
SO ₄ ⁻	٢٧٨,٤٠ ملجم/لتر
NO ₃ -N	٢٧,٨٠ ملجم/لتر
CO ₃ ⁻	صفر ملجم/لتر
SAR	٣,٠ ملجم/لتر
B	٠,٦٤ ملجم/لتر

الحل

- بالرجوع إلى جدول تقييم مياه الري (الجدول ١.١٤) يتضح أن العينة:
- ملوحة المياه: عالية الملوحة، يسود بها أملاح الصوديوم والكالسيوم والمغنيسيوم وهي على صورة كلوريدات وكبريتات ثم البيكربونات.
 - محتواها من النترات: يعتبر متوسط من الناحية الزراعية حيث إنه مناسب حتى ٣٠ ملجم/لتر ويجب أخذه في الاعتبار عند التسميد النيتروجيني.
 - محتواها من البورون: يعتبر منخفضاً، وقد يؤثر على النباتات الحساسة للبورون.
 - قيمة الصوديوم المدمص SAR: متوسطة التأثير على نفاذية التربة وهو يصنف بأنه ماء قليل الصوديوم.
 - محتواها من الكلوريد: يعتبر محتواها عالي.
- يمكن استخدامها للري خصوصاً في الأراضي الرملية بالمملكة.

(٦،٨) المراجع

أولاً: المراجع العربية

العمران، عبد رب الرسول، عبد الرزاق فلاته وسيف المطرود ٢٠٠٥م. "تقييم نوعية مياه أبار الري في منطقة الرياض بالمملكة العربية السعودية. مجلة جامعة الملك عبد العزيز. علوم الأرصاد والبيئة وزراعية المناطق الجافة. ١٦(٢): ٢٣-٤٠.

المطرود، سيف بن سعد. ٢٠٠٣م. "تقييم نوعية مياه الري وأثرها على معدل التسرب المائي في منطقة الرياض". رسالة ماجستير، كلية الزراعة - جامعة الملك سعود - الرياض.

فلاتة، عبد الرزاق محمد، العمران، عبد رب الرسول، نديم، محمود السيد، مرسي، مصطفى مرسي. (١٩٩٩م). "التركيب الكيماوي للمياه الجوفية المستخدمة للري في بعض المناطق الزراعية بالمملكة العربية السعودية". مجلة الإمارات للعلوم الزراعية. ١: ١١ - ٢٣.

وزارة الزراعة والمياه. (١٩٨٤م). أطلس المياه في المملكة العربية السعودية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Alaa El-Din, M. N., Madany, I. M., Al-Tayaran, A., Al-Jubair, A. H. and Gomaa, A. (1993). Quality of water from some wells in Saudi Arabia. Water, Air, and Soil Pollution 66: 135-143.

Al-Jaloud, A. A. and Hussain, G. (1992). Water quality of different aquifers in Saudi Arabia and its predictive effects on soil properties Arid Soil Res. and Rehabilitation. (7): 85-101.

Al-Omran, M. A. (1987). Evaluation of some irrigation water in central region of Saudi Arabia. J. Coll. Agric. King Saud Univ. (9): 363-369.

Alzubaidi, A. (1976). Soil resistance to soda formation of some Iraqi soils. Proceedings of the international conference on managing of saline water for irrigation. Planning for future. Texas Tech. Univ. (333-338).

- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. (1985). Water quality for agriculture, No 29. FAO. Roma.
- Biggar, J.W., and D.R. Nielsen. (1972). Irrigation under adverse conditions. In S.A. Tayler and G.L. Ashcroft (Ed). Physical Edaphyolog. Ch.15. Freeman, San Francisco.
- Eaton, F.M. (1950). Significance of carbonates in irrigation water. *Soil Sci.*69:123-133.
- Hussain, G. and Sadiq, M. (1991). Metal chemistry of irrigation and drainage waters of Al-Ahsa oasis of Saudi Arabia and its effects on soil properties. *Water, Air and Soil Pollution*, (57-58):773-783.
- Iqbal, M. D., Jahangir, M. and Al-Shareef, A. S. (1996). Chemical characteristic of Saudi ground water, Al-Qassim. *Biol. J. Sci.* (4): 123-140.
- Jahangir, M., Al-Salam, S. A., Al-Mishal, M. I., Farug, I. M., Al-Zahrani, Y. and Al-Sharif, A. S. (1987). Chemical profiling of ground water of Al-Kharj, Saudi Arabia. *Pakistan. J. Sci. Ind. Res.*, 30(12): 9-13.
- Langelier, W. F. (1936). *Water Works Assoc. J. Am.* 28:1500.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. (1977). Crop salt tolerance. current assessment. *J. Irrig. Drain. Div. ASCE.* 103: 115-132.
- Mee, J. M. (1983). Saudi ground water chemistry and significance. *Arab Gulf. J. Scient. Res.* 1(1):113-120.
- Oster, J. D. and Schroer, F. W. (1979). Infiltration as influenced by irrigation water quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 43: 444-447.
- Oster, J. D. and Rhoades, J. D. (1977). Various indices for evaluating the effective salinity and sodicity of irrigation waters, 1-14, in *Proceedings International Salinity Conference*, Texas Technical University, Lubbock. U.S.A.
- Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney. (1982). *Methods of soil analysis*, Part 2, 2nd edition. American Society of Agronomy, Madison, Wis.
- Rhoades, J. D. (1968). Leaching requirement for exchangable sodium control. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:625-656.
- Richards, L. A. (1954). *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agric. Handbook No. 60. Washington.
- Tanji, K. K., J. W. Biggar, R. J. Miller, W. O. Pruitt and G. L. Homer. (1980). *Irrigation tailwater management*. Final Rep.

استخدام المياه

(٧, ١) استخدامات المياه

يستعمل الماء في أغراض كثيرة ويتوقف استخدام الماء في هذه الأغراض على مقارنة بيانات تحليل عينات الماء التي تحت الاختبار مع المعايير المناسبة للاستخدام من غرض معين والمعتمدة من الهيئات المتخصصة هذا هو أساس الحكم على أن هذا المصدر وإذا كان هذا الماء مناسباً للاستعمال في غرض معين أم لا ، وإذا كان هذا الماء مناسباً للاستعمال فما هي التغييرات التي من الضروري إجرائها لجعلها مناسبة للاستخدام في هذا الغرض.

إن قيمة المياه الفعلية كمصدر مهم يتوقف على القدرة من الاستفادة الكاملة من المياه المتاحة في المجالات والأغراض المتعددة سواء كانت هذه المياه جوفية أو سطحية. ومن الاستخدامات الأساسية للمياه التالي :

- الأغراض المنزلية.
- الأغراض الصناعية.
- الأغراض الزراعية.
- شرب الحيوانات .

- تربية الأسماك والحياة البحرية.
- الأغراض الترويحية مثل السباحة- صيد الأسماك- التزحلق المائي وغيرها من الرياضة المائية.
- وسيلة للنقل والتجارة.
- إنتاج الطاقة الهيدروكهربائية.
- استخدامات مياه الصرف الصحي المعالج.

وهناك تنافس حاد بين الاستخدامات المختلفة للمياه خصوصاً في المناطق الجافة وشبه الجافة. ويمكن تقنين الاستهلاك للأغراض المنزلية والصناعية بوسائل متعددة إدارية وفنية، كما يمكن تخفيض الاستخدام لأغراض الزراعة والري باستخدام طرق الري الحديثة أو تحسين ظروف الترب الرملية والإدارة الجيدة للمشاريع الزراعية (العمران، ٢٠٠٨م).

(٧، ١، ١) الاستخدام البلدي للمياه

إن زيادة وتضاعف عدد سكان العالم من ١.٦ مليار شخص في عام ١٩٠٠م إلى ٦.٢ مليار في عام ٢٠٠٠م أدى إلى تضاعف استهلاك المياه للأغراض البلدية بالإضافة إلى زيادة معدل استهلاك الفرد اليومي من المياه نتيجة التحضر. وفي المملكة العربية السعودية أدى التطور العمراني و الزيادة في عدد السكان وتحسن مستوى المعيشة والوعي الصحي إلى زيادة باستهلاك المياه حيث وصل استهلاك الفرد إلى حدود ٢٥٠ لتر في اليوم في بعض المناطق.

إن نسب استخدامات المياه المنزلية تختلف من بلد إلى آخر ومنطقة إلى أخرى ولكن النسبة الكبرى تستخدم في عملية الطرد من التواليت ويبين الجدول (٧، ١) النسب المختلفة للاستخدامات المنزلية للمياه في مدينة أكرون بولاية أوهايو والرياض

بالمملكة العربية السعودية ، بينما يبين الجدول (٧،٢) نسب الاستخدام المدنية بالولايات المتحدة الأمريكية (Lamb, 1985). ومن الواضح في الجدولين أن النسبة الكبرى من المياه المستخدمة للمنازل هي المستخدمة لنقل المخلفات الغير مرغوب بها وهي حقيقة يجب التركيز عليها في معرفة استخدامات المياه. وعليه فإن وجود المجاري الصحية المناسبة في الأحياء السكنية عامل مهم جداً في تحسين الظروف الصحية في المناطق السكنية. ويمكن مقارنة الظروف الصحية في المناطق التي تتوفر بها مجاري الصرف الصحي عن المناطق التي لا تتوفر بها هذه الخدمة خصوصاً في الدول النامية.

الجدول (٧،١) . نسب استخدامات المياه في أحد منازل ولاية أوهايو بأمريكا (Lamb, 1985). والمملكة العربية السعودية.

(وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٩هـ -)

النسبة المئوية (%) الرياض	نوع الماء المستخدم	النسبة المئوية (%) أوهايو	نوع الماء المستخدم
١٦	الصنابير	٥	الاستهلاك البشري
١٧	الاستحمام	٣٧	الاستحمام
٢٦		٤١	الطررد من التواليت
		٦	المطبخ
٢٢	غسيل	٤	الغسيل (ثياب)
١٤	تنظيف منزل وري	٣	تنظيف المنزل
٥	أخرى	٣	ري الحشائش
		١	تنظيف السيارة
%١٠٠		%١٠٠	المجموع

الجدول (٧،٢). تقدير الاستهلاك المائي للفرد والنسب المئوية للاستخدامات المختلفة للعائلة.

(Lamb, 1985).

الغرض من الاستهلاك	متوسط استخدام الفرد (لتر/ اليوم)	الاستخدام الكلي (%)	الاستخدام داخل المنزل (%)
الشرب والمطبخ	٧,٦	٢	٣
غسيل الصحون	١٤	٤	٦
التواليت	٩١	٢٨	٤١
الإستحمام	٧٦	٢٣	٣٤
الغسيل الثياب	٣٢	١٠	١٠
غسيل السيارة	٩,٥	٣	-
ري المسطحات الخضراء	٩٥	٢٩	-
تنظيف بقايا المطبخ	٢,٧	١	١
المجموع داخل البيت	٢٢٣	٦٨	١٠٠
المجموع الكلي	٣٢٧	١٠٠	

ومن الضرورة الاهتمام بنوعية المياه المستخدمة للاستهلاك البلدي، والماء قد يكون عسر Hard أو يسر Soft، طبيعي أو معدل. وحوالي نصف مصادر المياه البلدية تأتي من الماء الجوفي والنصف الآخر من الأنهار والبحيرات وعسر الماء يرجع إلى المحتوى من الكالسيوم والمغنيسيوم وأحياناً الحديد. وكلما زاد المحتوى من المعادن زاد عسر الماء. والماء اليسر قد يحتوي الصوديوم ومعادن أو كيماويات أخرى، بالرغم من أنها تحتوي على القليل من الكالسيوم والمغنيسيوم والحديد. ويفضل الكثير من الناس الماء اليسر؛ لأنه يجعل للصابون رغوة ويساعد على تنظيف الملابس. ومن ناحية أخرى فإن الماء اليسر له القدرة على إذابة معادن معينة من أنابيب نقل المياه أكثر من الماء العسر. هذه المعادن تشمل الكاديوم، الرصاص والتي لها تأثير سام للإنسان. ومن الناحية أخرى فإن الماء اليسر Soft يعتبر مصدراً هاماً للصوديوم والذي له أهمية خاصة بصحة الإنسان.

وبالإضافة إلى محتوى الماء المعدني ، فالماء يحتوي مستويات مختلفة من البكتيريا. وهناك اختبارات بكتريولوجية متاحة لتحديد ما إذا كان الماء آمناً للاستهلاك الآدمي أم لا. والكلورة والترشيح وتعتبر أساليباً فعالة لتطهير الماء من معظم البكتيريا ومع ذلك فهناك بعض من هذه الكائنات لا يموت بعملية الكلورة Chlorination. وقد تحتوي المياه على مركبات كيميائية عضوية مثل المبيدات الحشرية ومبيدات الحشائش ومنتجات البترول والمذيبات الصناعية ، نتيجة التلوث أو إلقاء مخلفات في مياه الأنهار والبحيرات أو نتيجة الرش خلال التربة إلى المياه الجوفية. وتقوم هيئات مياه الشرب اليوم برصد هذه المركبات وتحديد معايير تواجدها في مياه الشرب. والخطورة من هذه المركبات من الصعب تقنينه. ففي حالة التركيزات العالية لبعض هذه المركبات قد يؤدي إلى الإصابة بالسرطان أو التأثير على الجهاز العصبي أو تسبب أضرار للقلب. وفي حالة التركيزات المنخفضة قد يحدث تأثيرات نتيجة التراكم من الصعب تحديدها طبيعتها وقيمتها.

وقد يتواجد في مصادر الماء غاز الرادون Radon وهو غاز مشع ناتج من المحلل اليورانيوم ، والذي يمكن أن يذوب في الماء. وهو غاز عديم اللون والطعم والرائحة ويعتبر غاز الرادون في الماء من الأسباب المضرّة بصحة الإنسان. ولقد وجد أنه يسبب حوالي من ١٠,٠٠٠ - ٤٠,٠٠٠ حالة موت سنوياً نتيجة الإصابة بسرطان اللسان في الإنسان. كما أن هناك حوالي من ٣٠ - ١٨٠٠ حالة وفاة تحدث سنوياً نتيجة تواجد غاز الرادون في الماء المستخدم منزلياً. وغالباً ما يتواجد غاز الرادون في مياه الآبار. ويمكن التخلص من غاز الرادون بتهوية المياه (نسيم، ٢٠٠٧).

وقد يتواجد النترات طبيعياً في الماء أو قد يدخل إلى مصادر المياه من خلال عدد من الملوثات مثل الأسمدة ومخلفات الحيوان.

والمياه التي تحتوي تركيزات مرتفعة من النترات لها أضرار صحية للمرأة الحامل والأطفال تحت عمر ٦ أشهر. كم أن البكتيريا المتواجدة في الجهاز الهضمي للأطفال قد تغير من النترات الضارة إلى نيتريت. ومن ثم يتحد النيتريت مع بعض من ثيموجلوبين الدم لتكوين الميثيموجلوبين Methemoglobin الذي لا ينقل الأكسجين. وللحماية من هذه الأخطار فإن أقصى تركيز قبول للنترات في الماء هو ٤٥ ملليجرام/ لتر وللنيتريت ١ ملليجرام/ لتر. كما قد تتواجد الكبريتات طبيعياً في المياه الجوفية مرتبطة بالكالسيوم والمغنيسيوم والصوديوم كألاح كبريتات. وإذا تراوح تركيز الكبريتات في الماء بين ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ ملليجرام/ لتر قد يعطي الماء طعم غير مستساغ كما قد يكون له تأثير مسهل على الأشخاص الغير معتادين على شرب هذه المياه (نسيم، ٢٠٠٧).

واستخدام الماء في الشرب يستلزم أن يكون على درجة متميزة من الجودة لا يكون به ما يعطيه طعماً أو رائحة أو لوناً أو عكارة. قد تطورت وسائل العناية بهذا الماء وأصبح له متخصصون يعملون على اختباره وتنقيته وتوصيله إلى أماكن استهلاكه، ورصد كل تغير فيه حتى يمكن المحافظة عليه حسب المعايير التي تضمن حداً من الأمان في استخدامه.

ويجب أن يتصف الماء الذي يستخدم للشرب بأوصاف كيميائية وفيزيائية بكتريولوجية محددة وإلا كان من الضروري أن يعامل معاملات خاصة تعيد إليه ما فقده من أوصاف.

ونظراً لأهمية وخصوصية هذا الموضوع على المستوى العالمي فقد بادرت هيئة الأمم المتحدة بتشكيل لجان علمية متخصص، لمحاولة الاتفاق على حد أدنى من المعايير التي تحدد صلاحية المياه للشرب بهدف تعميمها على مختلف بلاد العالم. ولقد

تمكنت منظمة الصحة العالمية (WHO) وهي إحدى منظمات هيئة الأمم المتحدة من إصدار دليل إرشادي عام ١٩٧١م والذي تم تعديله في أعوام لاحقة حتى استقر الأمر على القائمة التي صدرت عام ١٩٨٤م والتي أعيد إصدارها عام ٢٠٠٤م والموضحة في الجدول (٧،٣).

كما قامت دول مجتمع الأوروبي (European Community (EC) عام ١٩٩٢م وتم تعديله عام ١٩٩٨ (Water Information System for Europe, 1998) يوضح دليل إرشادي آخر (الجدول ٧،٤)، آخذاً في الاعتبار معايير لبعض المكونات التي لم تدرج في الدليل الإرشادي الصادر من منظمة الصحة العالمية. ويلاحظ أن معايير المجتمع الأوروبي أكثر تشدداً من معايير منظمة الصحة العالمية (WHO, 2004).

ويجب ملاحظة أن المعايير الصادرة عن منظمة الصحة العالمية تمثل الحدود القصوى التي لا يجب تجاوزها لكل مادة على حدة لحماية صحة الإنسان من مخاطر التلوث البيئي. وهناك مصطلحات فنية أخرى يجب توضيح المعنى المقصود منها كما يلي:

١- المستوى المسموح به

وهو التركيز الذي لا يجب تجاوزه بأي حال تحت أي ظرف، لأنه في حالة التجاوز يكون هناك إمكانية حدوث أضرار صحية للإنسان.

٢- القيمة المرغوبة

وتمثل التركيز المثالي، والذي يناسب الإنسان العادي، ولمدة طويلة بدون حدود ويطلق على هذه القيمة أيضاً القيمة الموصى بها.

٣- القيمة المبدئية

وتعني التركيز لمدة معينة والذي إذا تجاوزها الإنسان العادي، قد يتسبب عنه ظهور متاعب صحية. وتختلف هذه القيمة من إنسان إلى آخر حسب حالته الصحية وعمره وصفاته الوراثية.

أما على مستوى المملكة فلقد صدرت المواصفات القياسية لمياه الشرب من هيئة المواصفات والمقاييس و يوجز الجدول (٧,٣) هذه المواصفات ومقارنتها بالمواصفات العالمية.

الجدول (٧,٣). المواصفات القياسية لمياه الشرب في المملكة العربية السعودية والمواصفات العالمية.

(المواصفات القياسية السعودية، ٢٠٠٠م ; WHO/EU. 1998, USEPA. 2003)

المواصفات العالمية	المواصفات الأمريكية (٣)	المواصفات السعودية (٢)	نوعية المياه الموزعة في شبكة مياه الرياض (١)	الوحدة	الخاصية
منظمة الصحة العالمية (٤)					(أ) الخواص الكيميائية
١٥	١٥	١٥	أقل من (٥)	وحدة	اللون
٥	-	٥	أقل من (٢)	وحدة	العكارة
مقبول	-	مقبول	مقبول	وحدة	الطعم
مقبولة	-	مقبولة	مقبولة	وحدة	الرائحة
٨,٥ - ٦,٥	٦,٥ - ٨,٥	٨,٥ - ٦,٥	٧,٥ - ٨,٢	وحدة	الرقم الهيدروجيني
١٦٠٠	٧٥٥	١٦٠ - ١٦٠٠	٣٩٠ - ٧٥٠	ميكروسيجم/اسم	التوصيل الكهربائي
١٠٠٠	٥٠٠	١٠٠ - ١٠٠٠	٢٥٠ - ٥٠٠	مليجرام/لتر	المواد الصلبة الذائبة
-	-	١٥٠	٨٥ - ٣٥	مليجرام/لتر	المغنسيوم
-	-	٢٠٠	١١٠ - ٥٠	مليجرام/لتر	الكالسيوم
٥٠٠	-	٥٠٠	١٩٥ - ٨٥	مليجرام/لتر	المسح الكلي
٢٠٠	-	٢٠٠	١٣٨ - ٣٥	مليجرام/لتر	الصوديوم
٤٠٠	٢٥٠	٤٠٠	١٦٠ - ٨٠	مليجرام/لتر	الكبريتات
٢٥٠	٢٥٠	٢٥٠	١١٠ - ٤٦	مليجرام/لتر	الكلوريدات
٠,٢	-	٠,٢	صفر - ٠,٠٠٩	مليجرام/لتر	الأنتيمون
٠,٣	٠,٣	٠,٣	صفر - ٠,٠٠٣	مليجرام/لتر	الحديد

تابع الجدول (٧،٣).

مواصفات منظمة الصحة العالمية ^(٤)	المواصفات الأمريكية ^(٣)	المواصفات السعودية ^(٢)	نوعية المياه الموزعة في شبكة مياه الرياض ^(١)	الوحدة	الخاصية
١	١,٣	١	صفر - ٠,٠١٩	مليجرام/لتر	النحاس
-	-	٥	صفر - ٠,٠٣	مليجرام/لتر	الخصائص
٠,٢	٠,٠٥	٠,١	صفر - ٠,٠٢٤	مليجرام/لتر	المنجنيز
٠,٠٥	٠,٠٥	٠,٠٥	صفر	مليجرام/لتر	الزرنخ
٠,٠٠٥	٠,٠٠٥	٠,٠٠٥	صفر	مليجرام/لتر	الكادميوم
٠,١	٠,٢	٠,٠٥	صفر	مليجرام/لتر	السيانيد
٠,٠٠١	٠,٠٠٢	٠,٠٠١	صفر	مليجرام/لتر	الوثيق
٠,٠١	٠,٠٥	٠,٠١	صفر	مليجرام/لتر	السليسيوم
٠,٠٥	٠,١	٠,٠٥	صفر - ٠,٠٠٢	مليجرام/لتر	الكروم الكلي
١٠	١٠	١٠	١,١ - ٣,٣	مليجرام/لتر	النترات (النيتروجين)
-	١	١ >	صفر - ٠,٠٣٣	مليجرام/لتر	النيتريت
١,٥	٤	١,٧ - ٠,٦	٠,٢ - ٠,٤٥	مليجرام/لتر	الفلورايد
٠,٠٥	صفر	٠,٠٥	صفر - ٠,٠٠١	مليجرام/لتر	الرصاص
(ب) المحتوى الميكروبي					
مواصفات منظمة الصحة العالمية	المواصفات الأمريكية	المواصفات السعودية	نوعية المياه الموزعة في شبكة مياه الرياض	الوحدة	الخاصية
صفر		٠	٠	عدد/١٠٠ مل	البكتيريا القولونية Faecal coliforms
		٠	٠		المياه الغير منقولة في المواسير

تابع الجدول (٧،٣).

الخاصية	الوحدة	(١) نوعية المياه الموزعة في شبكة مياه الرياض	(٢) المواصفات السعودية	(٣) المواصفات الأمريكية	(٤) مواصفات منظمة الصحة العالمية
البكتيريا القولونية البرازية Faecal coliforms	عدد/١٠٠ مل	٠	٠	٠	صفر
الكائنات القولونية Coliform organisms	عدد/١٠٠	٠	٠	٠	صفر
المياه المعينة		٠	٠	٠	
البكتيريا القولونية البرازية Faecal coliforms	عدد/١٠٠	٠	٠	٠	صفر
الكائنات القولونية Coliform organisms	عدد/١٠٠	٠	٠	٠	صفر

ملحوظة: عندما يكون تركيز الكبريتات أقل من ٢٥٠ ملليجرام/لتر تكون قيمة المغنسيوم ١٥٠ ملليجرام/لتر، أما إذا كان تركيز الكبريتات أعلى من ٢٥٠ ملليجرام/لتر فالحد المسموح به للمغنسيوم ٣٠ ملليجرام/لتر.
المصادر: (١)، (٢)

الجدول (٧،٤). المعايير الاسترشادية لنوع المياه الصالحة للشرب الآدمي، الصادرة عن منظمة الصحة العالمية ومجموعة الدول الأوروبية. (WHO/EU. 1998).

نتائج التحاليل الكيميائية	الوحدة	نوعية المياه الموزعة في مجموعة الدول الأوروبية	نتائج التحاليل الكيميائية	الوحدة	نوعية المياه الموزعة في مجموعة الدول الأوروبية
اللون	Pt/co	١ - ٢٠	النحاس	مليجرام/لتر	١ - ٠,٣
العكارة	وحدة	١ - ١٠	الزرنخ	مليجرام/لتر	٠,٠٥ - صفر
درجة الحرارة	°م	١٣ - ٣٥	الكاديوم	مليجرام/لتر	صفر - ٠,٠٠٥
قيمة الأس الهيدروجيني pH Value	وحدة	٦,٥ - ٨,٥	الكروم	مليجرام/لتر	صفر - ٠,٠٥
مجموعة الأملاح الذائبة TDS	مليجرام/لتر	٣٠٠ - ١٥٠٠	الريصاص	مليجرام/لتر	صفر - ٠,٠٥
الصوديوم	مليجرام/لتر	٢٠ - ١٧٥	النيكل	مليجرام/لتر	صفر - ٠,٠٥

تابع الجدول (٧، ٤).

نوعية المياه الموزعة في مجموعة الدول الأوروبية	الوحدة	نتائج التحاليل الكيميائية	نوعية المياه الموزعة في مجموعة الدول الأوروبية	الوحدة	نتائج التحاليل الكيميائية
صفر - ٠,٠٠١	مليجرام/لتر	الزئبق	١٢ - ١٠	مليجرام/لتر	اليوتاسيوم
صفر - ٠,٠١	مليجرام/لتر	الأنثيمون	٢٠٠ - ١٠٠	مليجرام/لتر	الكالسيوم
٥ - ٠,١	مليجرام/لتر	الباريوم	٥٠ - ٣٠	مليجرام/لتر	الماغنسيوم
٠٠٥٠ - ٠,٠١	مليجرام/لتر	السليسيوم	٢٠٠ - ٢٥	مليجرام/لتر	الكلوريد
صفر - ٠,٠١	مليجرام/لتر	الفضة	٢٥٠ - ٢٥	مليجرام/لتر	الكبريتات
٥ - ٠,١	مليجرام/لتر	الزنك	٥٠ - ٢٥	مليجرام/لتر	النترات
صفر - ٠,٣	مليجرام/لتر	المنظفات الأنيونية	صفر - ٠,١	مليجرام/لتر	النيتريت
صفر - ٠,٠٠٥٥	مليجرام/لتر	المبيدات الحشرية	٠,٥ - ٠,٠٥	مليجرام/لتر	الأمونيوم
صفر - ٠,٠٠٠٣	مليجرام/لتر	الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات	صفر	مليجرام/لتر	كربنيد الهيدروجين
صفر	خلية/١٠٠ مليلتر	العدد الكلي البكتيري	صفر - ٠,٠٠٥٥	مليجرام/لتر	الفيثول
صفر	خلية/١٠٠ مليلتر	بكتريا إ.كولاي	٠,٠٠١ - ٠,٠١	مليجرام/لتر	المواد العضوية الذائبة
صفر	خلية/١٠٠ مليلتر	بكتريا قولونية	٥ - ٠,٤	مليجرام/لتر	الفسفات
صفر	خلية/١٠٠ مليلتر	بكتريا استربتو كوكاي	٢ - ١	مليجرام/لتر	اليورون
صفر	خلية/١٠٠ مليلتر	بكتريا اختزال الكبريت	١,٥ - ٠,٥	مليجرام/لتر	الفلوريد
ألفا ٠,١ ، بيتا ١	بيكريل/لتر	النشاط الإشعاعي	صفر - ٠,٠٥	مليجرام/لتر	السيانيد
			٠,٢ - ٠,٠٥	مليجرام/لتر	الألمونيوم
			٠,٠٥ - ٠,٠٢	مليجرام/لتر	الحديد
			٠,٠٢ - ٠,٠٥	مليجرام/لتر	المنجنيز

(٧، ١، ٢) ماء حيوانات المزرعة والدواجن

غالباً ما تستخدم قنوات الري مصدر لمياه شرب حيوانات المزرعة Livestock ولكن هناك مصادر أخرى ذات مياه منخفضة النوعية، غالباً ما تستخدم لشرب الحيوان، ولكن المياه التي تحتوي على تركيز عالٍ من الأملاح أو التي تحتوي على عناصر سامة قد تسبب ضرراً لصحة الحيوان وقد تمنع إدرار اللبن وتجعل اللحم غير صالح للاستهلاك الآدمي. وفي هذه الحالات، فإنه من الأفضل توفير بدائل ذات نوعية جيدة من الماء لتقليل هذه الأضرار.

(٧، ١، ٢، ١) استخدام الماء الصالح لحيوانات المزرعة

في مناطق الأراضي الجافة وشبه الجافة في العالم، فالحيوان عادة ما يستخدم مياه منخفضة النوعية في الشرب لعدة أشهر من السنة وهي نفس المصادر التي تستخدم في الري. وأحياناً ما تحتوي هذه المياه على تركيز عالٍ من الأملاح والتي قد تسبب مشاكل فسيولوجية وأحياناً الموت لحيوانات المزرعة. ومن أهم هذه المشاكل هو فقد الشهية للأكل والذي يحدث عادة بسبب عدم الاتزان المائي وليس راجعاً إلى تواجد أيون معين في الماء. إلا أنه من الشائع وجود مستويات عالية من المغنسيوم في المياه والذي يسبب إسهال Diarrhea للحيوانات.

وفي تقويم أي نوعية من الماء للاستعمال الخاص، فإن الظروف المحلية وتوفر مصدر آخر من الماء بديل سوف يلعب دوراً كبيراً في التقويم، وهناك عدة عوامل يجب أخذها في الاعتبار وهي:

١- مصدر الماء: فالآبار الصغيرة الضحلة والمجري المائية الصغيرة Streams تكون أكثر قابلية للتلوث أو تنتج نوعية ماء فقيرة عن الآبار الكبيرة والمجري المائية الجارية، وأيضاً الماء الجوفي غير متزن كيميائياً عن الماء السطحي.

٢- التغيرات الموسمية: جودة المياه قد تصبح غير مناسبة في الأوقات الجافة الحارة بسبب:

- (أ) زيادة ملوحتها الطبيعية نتيجة البخر خلال هذه الفترات.
 (ب) زيادة استهلاك المياه بالحيوانات نتيجة لارتفاع الحرارة وزيادة استهلاك الطعام الجاف.
 (ج) البخر الشديد من مصدر الماء أو الخزانات خلال هذه الفترات والذي يؤدي إلى ارتفاع تركيز الأملاح.
 (د) ارتفاع حرارة الماء.

٣- عمر وظروف الحيوان: فمن المعروف أن الحيوان الصغير العمر أو الضعيف أكثر قابلية للضرر نتيجة ارتفاع الأملاح في الماء.

٤- محتوى الغذاء: الأعلاف الجافة والتي تحتوي على بروتين أعلى من الأعلاف الخضراء قد يقلل من تحمل الحيوان للأملاح نتيجة لانخفاض الرطوبة في العليقة وارتفاع محتواها من الأملاح (تناول بعض العلائق المكتملة يمكن التحكم فيه بإضافة ملح لتقليل الاستهلاك).

٥- نوع الحيوان: تختلف الحيوانات في درجة تحملها للملوحة الماء حسب نوع الحيوان.

وبأخذ العوامل السابقة في الاعتبار والحاجة إلى تجنب أي مخاطر اقتصادية، فقد وضع (Ayers and Westcot, 1985) إلى أن ماء شرب الحيوان ذات ملوحة أقل من ٥ ديسيمنز/م يكون جيد جدا تحت معظم الظروف. وفي بعض الأحيان عندما ترتفع قيم الملوحة إلى أكثر من الحد المقبول يحدث إسهال لبعض الحيوانات نتيجة للاختلال الفسيولوجي.

و يعطى الجدول (٧.٥) معايير إرشادية لنسج المياه للاستخدام لحيوانات المزرعة و الطيور، بينما يوضح الجدول (٧.٦) الدليل الإرشادي لتركيز المغنسيوم في ماء الشرب الخاص للحيوانات المختلفة.

الجدول (٧،٥). المعايير الإرشادية لنوعية المياه المستخدم لحيوانات المزرعة. (Ayers and Westcot, 1985).

ملحوظات	الصلاحية	ملوحة الماء dS/m(EC _e)
		أقل من ١,٥
يمكن استعمالها لجميع أنواع الحيوانات والطيور	ممتازة	١,٥ - ٥
يمكن استعمالها لجميع أنواع الحيوانات والطيور، وعند المستوى العالي من الملوحة قد يحدث إسهال مؤقت لحيوانات المزرعة.	جيدة جداً	٥ - ٨
قد تسبب إسهال مؤقت أو قد لا تقبل الحيوانات شربها غالباً ما يسبب براز مائي، وموت للطيور.	جيدة لحيوانات المزرعة غير مناسبة للطيور	٨ - ١١
يمكن استخدامها بأمان لأبقار الحليب واللحم، الأغنام والأحصنة. ولا تستخدم لأبقار الحليب والحوامل. غير مقبولة بالطيور.	محدودة الاستخدام لحيوانات المزرعة غير مناسبة للطيور	١١ - ١٦
غير مناسبة للطيور. فهناك مخاطر عالية عند الاستخدام لأبقار الحليب والحوامل، والأحصنة أو الأغنام وعموماً يجب تجنب استعمالها بالرغم من أن الحيوانات المجترة والأحصنة والطيور قد تعيش على هذه المياه تحت ظروف خاصة.	استخدامها محدود جداً	أكثر من ١٦
المخاطر الناتجة من استخدام هذه المياه عالية جداً بحيث أنه لا يمكن التوصية باستخدامها تحت أي ظرف من الظروف.	لا يوصى بها	

الجدول (٧, ٦). دليل إرشادي لتركيز المغنسيوم في ماء الشرب الخاص بحيوانات المزرعة.

(Ayers and Westcot, 1985).

الحيوان	تركيز المغنسيوم (ملليجرام/ لتر)	التركيز (ملليمكافئ/لتر)
الطيور	أقل من ٢٥٠	أقل من ٢١
الأحصنة	أقل من ٢٥٠	أقل من ٢١
الابقار	أقل من ٢٥٠	أقل من ٢١
الغنم	أقل من ٢٥٠	أقل من ٢١
ابقار اللحم	٤٠٠	٣٣
الأغنام البالغة	٥٠٠	٤١

ويعتبر الجدولان (٧, ٦-٧, ٥) دلائل إرشادية لتقدير صلاحية مصدر مائي معين لشرب الحيوان، مع الأخذ في الاعتبار بعض الظروف المحلية، خاصة تأثيرات درجة الحرارة والرطوبة والبخر. وفي كثير من الأحيان يمكن استخدام ماء منخفض النوعية لفترات طويلة، ولذلك يجب توجيه الجهود نحو تقليل تأثيراتها على صحة الحيوان، باتباع أحد الخطوات التالية لتقليل من المشاكل التي تنتج عن هذا الاستخدام (Ayers and Westcot, 1985):

- ١- صرف وغسيل خزانات المياه من آن إلى آخر وهذا يمنع من تركيز محتويات الماء المنخفض النوعية بالبخر.
- ٢- تخفيف هذه المياه إن أمكن.
- ٣- جمع مياه الأمطار لاستخدامها في أغراض التخفيف للمياه المنخفضة النوعية.
- ٤- خفض الفقد بالبخر.
- ٥- استخدام أحواض ترسيب لإزالة الرواسب.

(٢,٢,١,٧) المواد السامة في مياه الشرب للحيوانات

هناك عدد من المواد أو الأيونات السامة والتي طبيعياً في الماء وتسبب التسمم للحيوانات. وفي كثير من الأحيان تتواجد هذه المواد في الماء نتيجة للنشاط الإنساني، ويشمل ذلك إلقاء المخلفات في المياه. والمواد السامة التي تتواجد طبيعياً في الماء عادة ما تتواجد في تركيز أقل من المستويات السامة. وعندما تتواجد بتركيزات سامة، فيرجع ذلك لوجود مصادر تلوث خارجية مثل إلقاء مياه الصرف في المصادر المائية. واستعمال هذا الماء يجب أن يكون محدوداً حتى يمنع مصدر التلوث أو يقلله (Ayers and Westcot, 1985).

والمواد السامة الشائعة تشمل الكثير من العناصر الغير عضوية، والمخلفات العضوية، والكائنات الحية الممرضة، ومبيدات الحشائش والمبيدات الحشرية ومخلفاتها. وهذه المواد قد يكون لها تأثير سام مباشر للحيوان، أو تسبب له عدم استساغة للماء، أو تتجمع في الحيوان مما يجعل منتجاته غير آمنة أو غير صالحة للاستهلاك الآدمي.

ولقد وضعت منظمة الأغذية والزراعة (Ayers and Westcot, 1985) معايير إرشادية للمستوى الآمن للكثير من المواد السامة الغير عضوية في ماء شرب حيوانات المزرعة، وهي موضحة في الجدول (٧,٧). هذه المعايير تعتمد على الكميات التي تتواجد طبيعياً في الماء السطحي والجوفي المستعمل. والتركيز الآمن من هذه المواد يعتمد على عوامل عديدة، تشمل كمية الماء المستهلك بالحيوان في اليوم ووزن الحيوان. ويلاحظ من الجدول (٧,٧) أن الحديد ليس له حدود وذلك راجع لانخفاض سميته. وفي نقاط الشرب، فالحديد نادراً ما يتواجد حيث إن التلامس مع الهواء يؤدي إلى تأكسد أملاح الحديدوز ومن ثم ترسبه ويصبح على صورة حديديك غير ضار للحيوانات (Ayers and Westcot, 1985).

إن معظم مشاكل المواد السامة هي مع الفلوريد والحديد والنترات وكبريتيد الهيدروجين ومعظم هذه المواد غير سامة ما عدا وجود الفلوريد في الماء الذي يسبب مشاكل في اللثة والعظام للماشية. وفي المناطق المحتوية على الفلوريد في ماء الشرب يجب العمل على تقليل التركيز. كما يجب استخدام مياه ذات تراكيز منخفضة من الفلوريد للحيوانات صغيرة السن وخصوصاً قبل تكون الأسنان المستديمة، وتزداد مشاكل السمية للماء إذا تم استخدام المياه للري، حيث تحصل النباتات على الأملاح فترتفع مخاطر السمية للحيوانات ويزداد محتواها في الغذاء عن الحدود الحرجة وهذا يحدث لعنصر السلينيوم (Se).

إن الأضرار الناجمة من النترات والنيترت لا تحدث عند انخفاض المستوى عند الحدود المثلى ولكن إذا ارتفع مستواها عن ذلك. ويؤدي ارتفاع النترات إلى النمو الكثيف للطحالب ولا يوجد علاقة بين النمو الكثيف وموت الحيوانات ولكن التحلل المفاجئ للطحالب ينتج مواد تحدث ظروفاً تؤدي إلى حالات التسمم. وتحتوي الطحالب الخضراء والمزرقة على توكسينات هذا بالرغم من عدم وجود دليلاً قوياً على ذلك، لذا يجب الحذر عند وجود الحيوانات في المناطق ذات النمو الكثيف للطحالب. ووجود كبريتات النحاس بتركيز ١ ملجم/لتر له تأثير على نمو الطحالب لذا يجب الحذر قبل استخدام هذه المواد.

أما ارتفاع مستوى كبريتيد الهيدروجين في المياه الضحلة فلا توجد مشاكل من استعماله، وبالرغم من أنه ليس ضاراً للحيوانات لكن رائحته تسبب رفض الحيوانات له والوسيلة الشائعة للتغلب على هذا هو تهويتها مما يسبب في تصاعد غاز كبريتيد الهيدروجين.

الجدول (٧,٧). المعايير الإرشادية لمستويات العناصر السامة في مياه شرب حيوانات المزرعة.

(Ayers and Westcot, 1985).

المكون	الحد الأقصى (مليجرام/ لتر)
الألومنيوم (Al)	٥,٠٠
الزرنيخ (As)	٠,٢٠
البريليوم (Be)	٠,١٠
البورون (B)	٥,٠٠
الكاديوم (Cd)	٠,٠٥
الكروم (Cr)	١,٠٠
الكوبالت (Co)	١,٠٠
النحاس (Cu)	٠,٥٠
الفلوريد (F)	٢,٠٠
الحديد (Fe)	غير مطلوب
الرصاص (Pb)	٠,١٠
المنجنيز (Mn)	٠,٠٥
الزئبق (Hg)	٠,٠١
النترات+النيتريت (NO ₃ -N + NO ₂ -N)	١٠٠,٠٠
النيتريت (NO ₂ -N)	١٠,٠٠
السليسيوم (Se)	٠,٠٥
الفاناديوم (V)	٠,١٠
الزنك (Zn)	٢٤,٠٠

(٧,١,٣) الماء المستخدم في الصناعة

نوعية الماء المستخدم في الصناعة يختلف كثيراً طبقاً لنوع الصناعة ، فالمياه المالحة تستخدم فقط في التبريد. و المياه المستخدمة في العمليات الصناعية الأخرى تحتاج إلى نوعية عالية الجودة عن تلك المستخدمة في التبريد. فمياه الشرب تعتبر مناسبة

للاستخدام الصناعي، فمثلاً أكثر من ٦٠٪ من المياه المستخدمة في صناعة منتجات الألبان أو المعلبات أو اللحوم أو المشروبات تزيد جودتها عن مياه الشرب. وفي حالات أخرى تكون المياه الجوفية مفضلة في صناعة الخبز بسبب عسرها الطبيعي. ومن جانب آخر يؤدي وجود كميات صغيرة من الحديد والمنجنيز والكالسيوم مشاكل كبيرة في عمليات صنع الورق. يوضح الجدول (٧،٨) بعض المواصفات النوعية للمياه المستخدمة في بعض الصناعات (خليل، ٢٠٠٥م). ولقد وضعت وزارة البيئة بكندا معايير لجودة مياه للاستخدام في التصنيع الغذائي وهي موضحة في الجدول (٧،٩).
الجدول (٧،٨). أنواع المياه المستخدمة في بعض الصناعات .

(خليل، ٢٠٠٥م).

الصناعة	العكارة NTU	اللون	العسر الكلي ملجم CaCO ₃ /لتر	القلوية ملجم CaCO ₃ /لتر	الحديد و المنجنيز ملجم/لتر	الأملاح الكلية ملجم/لتر
الخبز	١٠	١٠				
المعلبات	١٠			١٥٠-٧٥	٠,١	١٠٠٠-٥٠٠
الحلويات	١٠		١٠٠-٧٥		٠,٢	
الثلج					٠,٢	١٠٠
منتجات الجلود	٥	٥		٥٠-٣٠	٠,٢	٣٠٠
الورق	٢٠	١٠-١٠٠	١٣٥-١٥	١٣٥	٠,١	٢٠٠
المنسوجات	٥	٢٠-٥	٢٠			

الجدول (٧، ٩). معايير المياه للاستخدام في التصنيع الغذائي. (Ministry of Environment, 1999)

التركيز	الوحدة	الخاصية
١٥٠	ملليجرام / لتر	القلوية (كربونات الكالسيوم)
٨,٥ - ٦,٥	- -	الأس الهيدروجيني (pH)
١٥٠	ملليجرام / لتر	العسر Hardness
٢٥٠	ملليجرام / لتر	الكلوريد
٢٥٠	ملليجرام / لتر	الكبريتات
٠,٢	ملليجرام / لتر	الحديد
٠,٢	ملليجرام / لتر	المنجنيز
١,٠	ملليجرام / لتر	الفلوريد
٥٠,٠	ملليجرام / لتر	السليكا
صفر	ملليجرام / لتر	الفينول
٥٠,٠	ملليجرام / لتر	النترات NO ₃ -N
صفر	ملليجرام / لتر	النيتريت
لا يوجد	- -	الرائحة
لا يوجد	- -	الطعم
٥ وحدة	Pt/CO	اللون
٥٠٠	ملليجرام / لتر	المواد الصلبة الذائبة
١٠٠	ملليجرام / لتر	المواد الصلبة المعلقة

(٧، ١، ٤) الماء المستخدم في تربية الأسماك

تعتبر الأسماك من أهم الحيوانات التي تعيش في البيئة المائية. وتقدر القيمة الاقتصادية لهذه البيئة بكمية إنتاجها. وتعتبر الأسماك مصدراً هاماً للبروتين الحيواني اللازم للإنسان.

يعتبر الماء من المقومات الأساسية في عملية تربية الأسماك ولذا يجب أن تكون المياه متوفرة وبشكل دائم وخالية من الملوثات أو مسببات الأمراض. وهناك خصائص طبيعية وكيميائية يجب توفرها في مياه تربية الأسماك.

١- الأكسجين الذائب

يعتبر الأكسجين الذائب في الماء من أهم العوامل التي تؤثر على عملية تربية الأسماك ومن المعروف أن نقص الأكسجين الذائب في الماء عن الحد المسموح به يؤدي إلى مشاكل عديدة ويعتبر تركيز ٥ مليجرام/لتر من الأكسجين في الماء معدلاً مناسباً لمعظم الأسماك علماً بأن بعض الأسماك في المياه الباردة تحتاج لتركيز أعلى وتوجد أنواع أخرى من الأسماك تعيش في مياه يقل فيها تركيز الأكسجين عن هذا المستوى (Svobodova et al., 1993).

٢- درجة الحرارة

تعد حرارة الماء من العوامل الهامة التي تؤثر سلباً أو إيجاباً في عملية تربية الأسماك فمعدلات نمو الأسماك لها درجة حرارة مثلى تصل فيها معدلات نموه إلى أقصاها أما إذا وجدت الأسماك عند درجة حرارة أقل أو أعلى فإنها لا تنمو بشكل طبيعي. وتنقسم الأسماك حسب تحملها لدرجة حرارة الماء إلى أسماك المياه الباردة وهي التي تعيش في درجات حرارة ١٥ م° أو أقل وأسماك المياه الدافئة والتي تتراوح درجة حرارتها أعلى من ١٧ م°.

٣- ملوحة المياه

تقسم الأسماك إلى ثلاثة أقسام تبعاً لتحملها للملوحة المياه وهي :

(أ) أسماك المياه المالحة والتي تعيش في مياه البحر حيث تزيد الملوحة عن ٣٠ ألف جزء في المليون.

(ب) أسماك المياه العذبة وهي التي تعيش في المياه العذبة والتي لا تزيد ملوحتها عن ٥٠٠٠ جزء في المليون.

(ج) أسماك المياه قليلة الملوحة وهي التي تعيش في مياه تتراوح ملوحتها أعلى من ٥٠٠٠ إلى أقل من ٣٠ ألف جزء في المليون.

وهناك أنواع من الأسماك يمكن أن تتأقلم مع التغير الشديد في ملوحة المياه دون أي آثار سلبية على حياتها ومعظم هذه الأسماك تعتبر من الأسماك المهاجرة من المياه العذبة للمياه المالحة أو العكس ومن ضمنها سمك السلمون المشهور. وبصفة عامة فإنه يجب أخذ ملوحة الماء في الاعتبار عند إنشاء المزارع السمكية واختيار النوع المناسب لهذه الملوحة.

وعموماً تتطلب الإدارة الجيدة جودة مياه عالية لتربية الأسماك خصوصاً القيام بالتحاليل الدورية وقبل بدء في مشروع تربية الأسماك. ولقد وضعت منظمة الأغذية والزراعة معايير لجودة مياه تربية الأسماك (الجدول ٧، ١٠) (Svobodova et al., 1993).

الجدول (٧، ١٠) الحدود المقترحة للماء المستخدم في تربية الأسماك في المياه.

(Svobodova et al., 1993)

الحدود العليا المسموح بها مليجرام/لتر	المواد الكيميائية Chemical
٠,٠١٢٥	الأمونيا
٠,٠٠٤	كاديوم
١٦٠-٤	الكالسيوم
١٥-٠	ثاني أكسيد الكربون
٠,٠٣	كلورين
٠,٠٠٦	النحاس
٠,٠٠٢	كبريتيد الهيدروجين
٠,١٥-٠	الحديد الكلي
٠,٠٠	الحديدوز
٠,٥	الحديديك
٠,٠٣	الرصاص
١٥٠-٠	الماغنسيوم

تابع الجدول (٧, ١٠)

٠,٠١	المتحيز
٠,٠٠٢	الزئبق
٣-٠	النترات
٠,١	النترت
٧-٥	الاكسجين الذائب
٠,٠٠٥	الاوزون
٨-٦٠٥	رقم الحموضة
٣-٠,٠١	الفوسفور
٨٠	نسبة المواد العالقة
٤٠٠-١٠	القلوية الكلية
٤٠٠-١٠	العسر الكلي
٠,٠٥-٠,٠٣	الزنك

(٧, ١, ٥) استخدام مياه الصرف الصحي في الري

أدى التطور الذي شهدته معظم دول العالم وزيادة عدد السكان وارتفاع مستوى المعيشة إلى ارتفاع ملحوظ في الطلب على المياه ، رغم أن بعض الدول لا تعاني من هذه المشكلة بسبب تنوع مصادر المياه التقليدية فيها ووجود هذه المياه بكميات تفي بالطلب إلا أن توزيع المياه الصالحة للاستعمال على سطح الكرة الأرضية ليس متساوياً . وقد أدى ذلك إلى اختلال التوازن بين الكميات المتوفرة من المياه والطلب الفعلي عليها ، الأمر الذي أدى إلى التفكير في تنويع مصادر المياه واستغلال أكبر كمية ممكنة منها بشتى الطرق . وتعد إعادة استعمال مياه الصرف الصحي المعالجة من طرق استغلال المياه التي تلاقي قبولاً ملحوظاً في الآونة الأخيرة.

ومحطات معالجة المياه ليست وليدة الحاضر وإنما برزت الحاجة إليها منذ فترة طويلة من الزمن ، فخلال القرن التاسع عشر وبسبب التصريف المستمر للمياه الملوثة إلى الأنهار والمسطحات المائية وإلى الأراضي ، انتشر التلوث بشدة وتدهورت الصحة العامة وتفشيت الأمراض مما دفع إلى إنشاء أنظمة الصرف الصحي وأنظمة المعالجة وصدرت التشريعات اللازمة لحماية الصحة العامة.

وكانت أول محطة معالجة في العالم ظهرت في بريطانيا عام ١٨٨٥م وتبعتها الولايات المتحدة والتي تطورت فيها محطات المعالجة فيما بعد. وعموماً مازال الإنسان يلجأ إلى استخدام كل الوسائل والتقنيات الممكنة للاستفادة من المياه الجوفية وتحلية مياه البحر واستمطار السحب صناعياً وكذلك الاستفادة من الماء المتخلف عن الأنشطة الإنسانية والصناعية المختلفة وذلك بهدف توفير الماء اللازم سواء كان للزراعة التي هي المصدر الأساسي للغذاء أو للاستخدامات البشرية المختلفة الأخرى.

وفي عصرنا ازدادت أهمية المياه إلى الدرجة التي أصبحت فيها المياه قضية المستقبل القريب والبعيد في منطقة الشرق الأوسط بصفة عامة والمنطقة العربية بصفة خاصة؛ وذلك لأنها تعتبر ضمن المناطق الجافة وشبه الجافة. حيث بدأت المملكة العربية السعودية في طرق كل الأبواب لتوفير مياه الشرب النقية لمواطنيها وكذلك المياه اللازمة للزراعة والصناعة والأنشطة البشرية الأخرى، ورغم ذلك فلا زالت الحاجة ماسة وشديدة إلى إيجاد طرق حديثة واستنباط وسائل جديدة توفر المزيد من المياه الصالحة للاستخدامات اليومية المختلفة، وللمقابلة الطلب المتزايد عليها يوماً بعد يوم. ومن هذا المنطلق انتشرت ممارسة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة انتشاراً واسعاً في أنحاء دول العالم ومنها المملكة العربية السعودية؛ وذلك لأنها تعتبر (مياه الصرف المعالجة) أحد مصادر المياه (مصادر غير تقليدية). حيث أنشئت العديد من محطات معالجة مياه الصرف الصحي في المدن الرئيسية في المملكة، وتم استخدام جزء من هذه المياه في أغراض الري الزراعي والحدائق العامة والمسطحات الخضراء، وغيرها من الاستخدامات الأخرى.

تنقسم مياه الصرف الصحي إلى ثلاثة أقسام وهي (McLamb, 2004.; Ludwig, 2007).

١- المياه الرمادية Grey Water وهي ناتج المياه المنزلية المستخدمة عدى مياه المراحيض وبالتحديد مياه المغاسل ومياه الاستحمام وغسيل الملابس.

- ٢- المياه السوداء Black Water وهي المياه الناتجة عن المراحيض والتي تحتوي على كميات كبيرة من المواد العضوية الناتجة من الفضلات الآدمية.
- ٣- مياه الصرف الصحي Sewage Water وهي مزيج من المياه الرمادية والسوداء.

ماء الصرف الصحي (Wastewater) هو الماء المستعمل في المدن ويطلق عليه ماء الفضلات أو الماء العادم. هذا الماء يحتوي على كثير من الشوائب العضوية واللاعضوية (معدنية)، أي أنه ماء مختلط معه أحياء دقيقة وشوائب كيميائية. وبمعالجة هذه المياه نحصل على ما نطلق عليه مياه الصرف الصحي المعالجة. وهي تعتبر أحد المصادر الثانوية للري وبالذات تلك المخصصة لزراعة الأشجار.

وفي المملكة تقوم وزارة الزراعة ممثلة بالإدارة الوطنية للري بضخ تلك المياه المعالجة عبر أنابيب مخصصة لذلك إلى القرى الزراعية المجاورة للمدن الرئيسة. خاصة مدينة الرياض. وتقوم الجهات المختصة بوزارة المياه بمتابعة الالتزام بشروط الري المقيد بمياه الصرف الصحي المعالجة للري. ويبلغ معدل الكميات المتاحة لمياه الصرف الصحي المعالجة حوالي ٧١٥ مليون متر مكعب في عام ١٤٣٠ هـ ومن المتوقع أن تزيد هذه الكمية إلى أكثر من ١.٥ مليار متر مكعب في عام ١٤٤٥ هـ. ولقد تم وضع معايير لجودة المياه المعالجة ثلاثياً والتي تتوافق مع المعايير العالمية (الجدول ٧، ١١).

الجدول (٧، ١١). أقصى مستويات التلوث لمياه الصرف الصحي المعالجة ثلاثياً.

(وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٧ هـ).

أقصى مستويات التلوث (ملجم / لتر)	الخواص	
خالية	المواد الطافية	الخواص الطبيعية
١٠ (أ)	المواد الصلبة العالقة	
٦ - ٨.٤	الأس الهيدروجيني	
١٠ (أ)	الأكسجين الحيوي المستهلك	الخواص الكيميائية العضوية
٥.٠٠ وحدة عكارة	العكارة	
لا يوجد	الزيوت والشحوم	
٠.٠٠٢	فينول	

تابع الجدول (٧،١١).

أقصى مستويات التلوث (ملجم / لتر)	الخواص	
٢,٢ (ب) (عدد/١٠٠ مل)	عدد عصيات القولون البرازية	الخواص الجرثومية
١ بيضة حية (عدد/لتر)	عدد بويضات الديدان المعوية	
١٠,٠	النترات NO ₃ -N	خواص المركبات الكيميائية
٥,٠	الأمونيا NH ₃ -N	
٥,٠	الألومنيوم Al	الخواص الكيميائية
٠,١	الزرنيخ As	
٠,١	البريليوم Be	
٠,٧٥	البورون B	
٠,٠١	الكاديوم Cd	
٠,٥ (+)	الكلورين الحر Cl ₂	
٠,١	الكروم Cr	
٠,٠٥	الكوبالت Co	
٠,٤	النحاس Cu	
١,٠	الفلوريد F	
٥,٠	الحديد Fe	
٠,١	الرصاص Pb	
٢,٥	الليثيوم Li	
٠,٢	المنجنيز Mn	
٠,٠٠١	الزئبق Hg	
٠,٠١	الموليبيدينوم Mo	
٠,٢	النيكل Ni	
٠,٠٢	السيالينيوم Se	
٠,١	الفناديوم V	
٤,٠	الزنك Zn	

(١-أ) المعدل الشهري لكل من TSS, BOD₅ لا يزيد عن ١٠ ملجم/لتر.

(٢-أ) المعدل الأسبوعي لكل من TSS, BOD₅ لا يزيد عن ١٥ ملجم/لتر.

(ب) تعتبر مياه الصرف الصحي المعالجة مطهرة بدرجة غير معدية وكافية لاستخدامها في الري غير المقيد إذا لم يزد الرقم الأعلى المحتمل لـ MPN لعصيات القولون البرازية عن ٢,٢ عدد لكل ١٠٠ مللتر (او مايكافها من طرق القياس الأخرى) وفقاً لما تحدده نتائج الأختبار الجرثومي خلال أسبوع كما لا تزيد عن ٢٣ عدد لكل ١٠٠ مللتر في أي عينة (او مايكافها من طرق القياس الأخرى).

(+) لا يقل عن ٠,٢ ملجم/لتر في حالة استخدام الكلور في التطهير.

(٧، ١، ٦) صلاحية المياه المعالجة

بعد المعالجة التحضيرية من إزالة المواد الصلبة والشوائب الكبيرة تكون هناك ثلاث مستويات من المعالجة. مستوى المعالجة هو الذي يحدد صلاحية وطريقة استخدام مياه الصرف الصحي. فإذا كانت المعالجة أولية (إزالة المواد الطافية والقابلة للترسيب) فإن المياه غير صالحة للاستعمال، أما في المعالجة الثانوية (إزالة المواد المتبقية من المعالجة الأولى) فيكون الاستعمال مقيد بشروط وضوابط، وفي حالة المعالجة الثلاثية (إزالة العناصر الغذائية والثقيلة مع التعقيم) فإن الاستعمال غير مقيد. ولكن يؤخذ في الاعتبار نتيجة لظروف عديدة أنه لا تكون دائماً المياه الناتجة صالحة للاستعمال ولذلك فإنه يجب تحليلها بين حين وآخر للتأكد من نوعيتها ميكروبيولوجياً وكيمياوياً. إذن ما يحدد صلاحية استعمال هذه المياه هو مستوى المعالجة ونوعية المياه الناتجة. وهما أيضاً يحددان نوعية الاستعمال في الري هل يكون استعمالاً مقيداً أم غير مقيد.

وتكون المياه ملوثة إذا احتوت على شوائب (Impurities) أكثر من الحدود المسموح بها وفقاً لمعايير منظمات ومؤسسات دولية (منظمة الصحة العالمية) أو محلية (الجدول ٧، ١١). ويوجه المزارعين الذين يستخدمون المياه المعالجة بتعليمات للتعامل المناسب مع نوعية هذه المياه، مثل تحديد المحاصيل، ونظم الري والمحاذير المتبعة للحصاد كالتوقف عن الري قبل مدة كافية من الحصاد.. الخ.

وبناء عليه، فإن اتباع قواعد الصحة العامة، وتقييد المزارع بالتوجيهات الخاصة باستعمال المياه المعالجة، كلها أمور أساسية للوقاية من الكائنات الحية الدقيقة التي قد تنفذ من المعالجة.

(٧, ١, ٧) المكونات التي يجب مراعاتها في المياه

ينتج التلوث عن دخول مواد كيميائية (عضوية ولا عضوية) إلى الماء مثل فضلات الأكل، المنظفات الكيميائية، المبيدات الحشرية، الأسمدة، مخلفات آدمية، ويمكن لكثير من المواد الملوثة أن تتراكم في جسم الإنسان أو الحيوان أو النبات مسببة أضراراً أو أمراضاً معدية، ولتجنب ذلك لا بد من الاختيار المناسب لنوع المحصول ونظام الري وبرنامج التسميد وغسيل التربة. وأهم ما يجب مراعاته من الناحية الصحية والبيئية عند معالجة المياه العادمة هو ما يلي:

(٧, ١, ٧, ١) الكائنات المرضية

قد تنتقل الأمراض المعدية للمتعاملين بشكل مباشر أو غير مباشر وكذلك للمستهلكين عن طريق مسببات الأمراض كالبيكتيريا والفيروسات والطفيليات (الجدول ٧.١١). وهناك معايير لتقييم نوعية الماء المعالج بحيث يتم من خلالها تحديد طريقة استخدام هذه المياه، فحسب الجدول (٧.١١) يجب أن لا يزيد عدد بويضات الديدان المعوية عن بويضة واحدة في اللتر ولا تزيد عدد عصيات القولون البرازية عن ٢,٢ وحدة لكل ١٠٠ مليلتر.

(٧, ١, ٧, ٢) العناصر الثقيلة

وهي: الكادميوم، الرصاص، النيكل، الزئبق، النحاس، الموليبدنيوم. هذه العناصر قد توجد في مياه الصرف الصحي التي تمت معالجتها بطريقة غير وافية، ويمكن أن تكون سامة للإنسان والحيوان والنبات. ففي بعض الحالات قد تتراكم هذه العناصر في أنسجة النبات، وربما تحدث تأثيرات ضارة بالإنسان أو الحيوان الذي يتناولها. لذا ففي حالة زيادة هذه العناصر ينبغي اختيار المحاصيل التي تتحمل هذه الزيادة وفي نفس الوقت لا تقوم بتجميعها ولا تراكمها في أنسجتها، لكي لا تصل إلى

المستهلك بنسب ضارة. ويوضح الجدول (٧،١١) الحدود الموصى بها للعناصر النادرة في المياه المعالجة.

عموماً، فإن تركيز العناصر الثقيلة يكون منخفضاً في مياه الاستهلاك المنزلي على عكس مياه الاستخدامات الصناعية، لذا لا ينظر إليها باعتبارها ذات مخاطر صحية وبيئية شديدة الخطورة. إضافة لذلك فإن ترب المملكة تتصف بأنها جبرية قلووية مما يشبط تيسر للامتصاص من قبل جذور المحاصيل.

(٧،١،٧،٣) العناصر الكيماوية المغذية

إن توفر العناصر الكيماوية الغذائية، لحد معين، في مياه المعالجة يعد من الإيجابيات في تغذية المحصول مما يقلل من كمية الأسمدة المطلوبة أو ربما تنتفي الحاجة للتسميد. ولكن زيادة العناصر قد يعمل على التأثير السلبي في نمو المحصول وكذلك في تلوث البيئة خاصة المياه الجوفية. لذا لا بد من تحليل هذه المياه وبناء على النتائج يعمل برنامج التسميد وتتخذ الاحتياطات اللازمة لحماية البيئة.

النتروجين: يعد النتروجين أهم العناصر الغذائية في التسميد وعادة تتراوح نسبته في مياه الاستخدام المنزلي بعد مرحلة المعالجة الثلاثية بين ٥ - ١٠ ملليجرام/لتر. وعندما يكون عنصر النتروجين زائداً فإنه قد يتسرب إلى العمق على صورة نترات (NO_3-N) مما قد يشكل خطورة في تلويث المياه الجوفية. وفي حالة زيادة عنصر النتروجين من الأفضل زراعة المحاصيل التي تستهلك كميات كبيرة من النتروجين ولها قدرة عالية على إزالته من التربة مثل حشيشه السودان ورووس وبرمودا والذرة والشعير والقمح. كما ينبغي عدم زيادة الري عن الحاجة وإغداق التربة لكي لا تتسرب هذه النوعية من المياه إلى أعماق توصلها إلى المياه الجوفية. ويفضل إن أمكن خلط المياه العادمة المعالجة مع المياه العذبة إذا كان تركيز عنصر النتروجين عالياً.

(٧، ١، ٧، ٤) العناصر الأخرى

بالنسبة للفسفور والبوتاسيوم فبعد المعالجة الثنائية للمياه العادمة يتراوح تركيز الفسفور بين ٦-١٥ والبوتاسيوم بين ١٠-٣٠ جزء بالمليون. هذه النسب لا تشكل خطراً على النبات والبيئة. أما العناصر الأخرى فقد توجد في بعض أنواع المياه العادمة بتركيزات زائدة تؤدي إلى تسمم النبات (الجدول ٧، ١١). كما قد تكون الملوحة زائدة مما يضر بالمحاصيل، خاصة الأيونات ذات التأثيرات السمية الخاصة. وأهمها البورون والصدوديوم والكلوريد. فزيادة نسبة الصدوديوم المدمص (SAR) عن ١٨ والكلوريد عن ١٠ ملليمكافئ/لتر تتطلب معاملات خاصة، وفي هذه الحالة ينبغي اختيار المحاصيل المناسبة التي تتحمل الملوحة مثل حشيشة السودان رودس وحشيشة برمودا والشعير والقمح والبنجر والقطن. وإذا كانت الزيادة في البورون عن ٢ مليجرام/لتر فإن الجزر والحس والكرنب والبصل والبنجر تكون حساسة، بينما كل من النخيل واللفت تعتبر محاصيل عالية التحمل لزيادة هذا العنصر. كما ينبغي اختيار نظام الري المناسب وجدولته وغسيل التربة وتصريفها.

زيادة عنصر الصدوديوم قد يسبب ارتفاعاً في قلوية التربة مما يقلل من نفاذيتها للمياه. لأن المواد الطينية الموجودة في التربة تتشفت وتنتفخ بسبب زيادة تركيز الصدوديوم المتبادل. ويفضل استخدام محسنات التربة مثل الجبس عند ارتفاع نسبة الصدوديوم. ويمكن تخفيف القلوية بإضافة المواد العضوية مثل البيت موس والسماذ البلدي.

(٧، ٢) تقدير كمية السماذ اللازمة عند الري بالمياه المعالجة

ذكرنا أن المياه المعالجة تحتوي على عناصر غذائية قد تصل لكمية لا تحتاج معها للتسميد بإحدى العناصر. ولتقدير كمية السماذ اللازمة عند الري بالمياه المعالجة

يجب تقدير كمية العنصر الغذائي المضاف للتربة عبر الري ، ولتقدير ذلك يمكن استخدام المعادلة التالية :

مقدار العنصر الغذائي = نسبة العنصر × حجم مياه الري المضافة

ويتم تقدير كمية أو نسبة العنصر عبر تحليل عينة من المياه. فإذا فرضنا أنه ٤٠ جزء بالمليون ، وأن إجمالي الري يقدر بنحو $10000 \text{ م}^3/\text{هكتار}$.

مقدار العنصر الغذائي = $10 \times 40 = 400$ كجم/هكتار

ولتوضيح طريقة الوصول لهذه النتيجة بخطوات تفصيلية يمكن طرح المثال التالي : إذا افترضنا أن نسبة النتروجين بالماء حوالي ٤٠ جزء بالمليون ، وأن المحصول المزروع هو قمح وحاجته من النتروجين تعادل 250 كجم/هكتار. وسيتم ريه بمقدار $10000 \text{ م}^3/\text{هكتار}$ ، تقدر الكمية على النحو التالي :

• حيث إن كل متر مكعب ماء وزنه 1000 كجم (مليون جرام) مما يعني أنه يحتوي على كمية من النتروجين مقدارها 0.040 كجم (40 جرام). أي في كل طن ماء 40 كجم نتروجين (1000×0.040).

• حيث أن كمية المياه المقدرة تساوي 10000 كجم (10 طن) فإن كمية النتروجين المضافة تعادل $10 \times 40 = 400$ كجم/هكتار أي هناك زيادة مقدارها $400 - 250 = 150$ كجم/هكتار. نتروجين.

(٧,٣) المواد العضوية المتحللة

وهي المواد القابلة للتحلل الحيوي (البروتين ، الكربوهيدرات ، الدهون). هذه المواد لها تأثير جيد في خصوبة التربة على المدى الطويل. ولكن قد يعمل تحللها على استنزاف الأكسجين المذاب في المياه مما يؤدي إلى تعفنها. ونقص الأكسجين يسبب العديد من الإشكاليات. فالكائنات الدقيقة الهوائية التي تستهلك الأكسجين عند حصول عملية التحلل (decomposition).

(٧,٣,١) مواد عضوية ثابتة

(كأنواع الفينول، المبيدات، الهيدروكربونات، المعاملة بالكلور) قد تكون سامة للبيئة وتلوث المياه الجوفية.

(٧,٣,٢) المواد العالقة

قد يؤدي وجودها إلى انسداد توصيلات شبكة الري، إضافة إلى أن نمو الطحالب والفطريات الغروية والبكتيريا والأملاح والمواد الصلبة العالقة قد تسد فوهات الرشاشات الصغيرة أو الفوارات والري بالتنقيط. لذا يجب ترشيح المياه قبل استعمالها في الري. كما ينبغي اختيار النظام المناسب للري في حالة كثرة الشوائب مثل الري بالرش، والري السطحي مع العناية بتسوية الأرض لكي لا يتسرب الماء المعالج إلى باطن التربة في المواقع المنخفضة، وهذا يعني تجنب الري بالتنقيط أو الري الموضعي الدقيق.

(٧,٤) اختيار نظام الري

اختيار نظام الري المناسب لتجنب ملامسة هذه المياه للأجزاء التي تؤكل طازجة أو ملامستها للعمال أو مرتادي الحدائق، ويجب أن يتعامل المزارعين مع المياه بالحرص اللازم لمنع تلوث محاصيلهم بهذه المياه. مثلاً الري تحت السطحي يعد الآمن صحياً في استخدام المياه المعالجة تحت السطحي يليه الري بالتنقيط، ولكن المشكلة هي في ارتفاع التكاليف ووجوب صيانة التوصيلات والمنطقات من الانسداد. وعلى النقيض يعد الري بالرش الأخطر حيث تكون الثمار عرضة لهذه المياه خاصة مع هبوب الرياح.

وفي حالة الري بالرش، ينبغي أن يقتصر الأمر على رشاشات صغيرة ولحاصيل معينة فيجب وضع قيود مثل الري ليلاً مع عدم وجود رياح في الحدائق، ومثل خلط هذه المياه مع مياه عذبة.. إلخ. والهدف من خلط المياه المعالجة مع مياه عذبة

هو تخفيف تركيز الملوثات الميكروبيولوجية إن وجدت (الكائنات الممرضة) أو الكيماوية (خاصة العناصر الثقيلة).

(٧,٥) التوعية و الاحتياطات

توعية المستهلكين بالمحاصيل المروية بالمياه المعالجة وإرشادهم بغسل وتنظيف وطبخ هذه النوعية من المحاصيل مع التشديد على اتباع قواعد الصحة العامة، وضرورة أن يشرف على ذلك جهاز رقابي لمتابعة الالتزام بالاشتراطات والقيود. و بإصدار نظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها الصادر بقرار مجلس الوزراء رقم (٤٢) في ١١/٢/١٤٢١ هـ، والذي يهدف في الأساس إلى التوصل إلى مستويات مقبولة للتخلص من مختلف أنواع مياه الصرف الصحي، إضافة إلى تحقيق مستويات آمنة لإعادة استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة في مجالات الري الزراعي، و ري الحدائق العامة، وتغذية المياه الجوفية، و التبريد، و الأغراض الصناعية. كل ذلك لتأمين درجة كافية من حماية الصحة من الآثار الضارة الناجمة عن التلوث و انتقال الأمراض، من خلال التحكم في نوعية المياه المعالجة، وتنظيم مراقبة محطات الصرف الصحي. إضافة الاستفادة من المياه المعالجة باعتبارها أحد المصادر غير التقليدية للمياه ضمن المعايير القياسية الموضحة في الجدول (٧,١١).

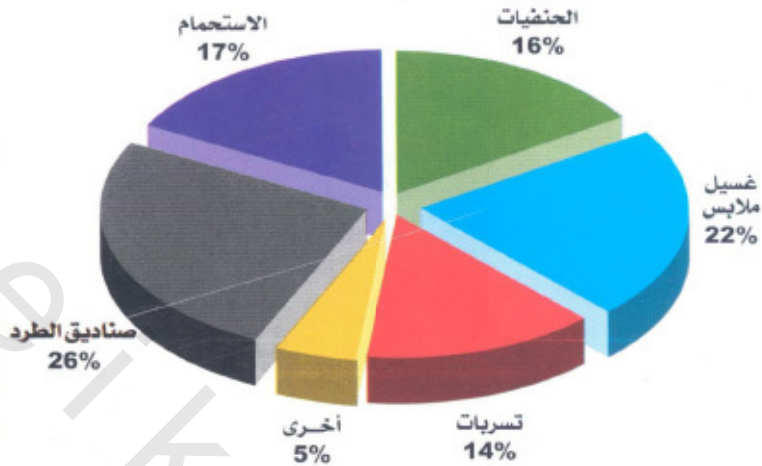
(٧,٦) استخدام المياه الرمادية

تعرف المياه الرمادية بأنها ناتج المياه المنزلية المستخدمة عدا مياه المراحيض و بالتحديد فإن المياه الرمادية هي ناتج مياه المغاسل ومياه الاستحمام وغسيل الملابس وهي تمثل نسبة تتراوح بين ٥٠-٨٠٪ (Ludwig,2000, 2007). وقدرت نسبة كمية المياه الرمادية في المملكة العربية السعودية في حدود (٥٥-٧٤٪) من المياه المستخدمة في المباني (وزارة المياه و الكهرباء، ١٤٢٩هـ). وتعتبر تكاليف معالجتها اقل من تكاليف المياه السوداء، كما أنه يمكن إعادة استخدامها وتدويرها؛ لأنها غير ضارة بالبيئة و

الصحة إذا طبقت شروط ومواصفات معينة للمياه حسب نوع الاستخدام ، بالإضافة إلى أنها تحتوي على نسبة تلوث منخفضة من المواد العضوية و النتروجين و الجراثيم. ولقد أوردت وزارة المياه و الكهرباء (١٤٢٩هـ) المواصفات الناتجة من محطات معالجة المياه الرمادية (الجدول ٧،١٢)، بالإضافة إلى الوفرة المتوقع من إعادة تدوير المياه الرمادية و استخدامها في صناديق الطرد (الشكل ٧،١) حيث يتضح بأنه يمكن توفير حوالي ٥٠٪ من إجمالي الاستهلاك اليومي للمياه إذا تمت إعادة استخدام المياه الرمادية في صناديق الطر في الحمامات و بري الحدائق المنزلية. الجدول (٧،١٢). مواصفات المياه الناتجة من محطات معالجة المياه الرمادية .

(وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٩هـ).

الرقم	الخواص	الحدود المسموح بها (ملجم/لتر)
أولاً: الخواص الطبيعية:		
١	المواد الطافية	عالية
٢	المواد الصلبة العالقة الكلية	١٠
٣	درجة الحموضة (الرقم الهيدروجيني) pH	٨,٤ - ٦
ثانياً: الخواص الكيميائية العضوية		
١	المتطلب الكيميوكبري للأكسجين (BOD ₅)	١٠
٢	المتطلب الكيميائي للأكسجين (COD)	٥٠
٣	الكربونات العضوية الكلية (TOC)	٤٠
٤	الزيوت والشحوم	لا يوجد
ثالثاً: المركبات الكيميائية		
١	النترات (NO ₃ - N)	١٠
٢	الأمونيا (HN ₃ - N)	٥
٣	الكلور الحر المتبقي	٠,٥ - ٠,٢



الشكل (٧، ١). تدوير المياه الرمادية واستخدامها في صناديق الطرد.

(وزارة المياه والكهرباء، ١٩٩٩هـ).

(٧، ٦، ١) استعمال المياه الرمادية في الري

إن المياه الرمادية مناسبة لري الأشجار ونباتات الزينة، ولكن يجب عدم استعمالها لري الخضار التي تؤكل نيئة (مثل الخس والجزر والطماطم) أو لري الخضار التي يمكن أن تلامس المياه الرمادية عند ريها (مثل البطاطا). كما يجب عدم استخدامها لري النباتات الورقية التي تستعمل في الأكل (مثل النعناع والبقدونس). كذلك يجب عدم استخدام المياه الرمادية لري الشتلات وينصح باستخدامها لري النباتات المكتملة النمو. ويستحسن أن تكون المناطق المروية منخفضة عن مستوى مصدر المياه الرمادية، وذلك حتى يمكن استخدام نظام الري بالاعتماد على الجاذبية ودون الحاجة إلى اللجوء إلى مضخة آلية. وفي حال استخدام نظام الري بالتنقيط، يجب أن لا يقل قطر فتحة خرطوم المياه عن ٣ ملم؛ وذلك لمنع انسداد الفتحات نتيجة ترسب المواد الصلبة الموجودة في المياه الرمادية أو نمو الطحالب في الخرطوم. إذا تم استخدام المياه الرمادية دون معالجة، فيستحسن عدم استعمالها لري المناطق المعرضة للتلامس مع

الأشخاص. كذلك يستحسن عدم استعمال المياه الرمادية لري النجيل، إلا إذا كانت منطقة النجيل تخدم غايات جمالية فقط وبعيدة عن تناول الأطفال والحيوانات المنزلية، أو إذا تم ري النجيل من خلال نظام ري تحت سطحي. كذلك يجب تجنب استخدام الري بالرش بالمياه الرمادية. ويجب حصر استعمال وسائل الري التي تخرج المياه منها فوق سطح الأرض فقط للأماكن غير المعرضة للتلامس مع الأشخاص والحيوانات المنزلية.

ولقد تم التوسع في استخدام المياه الرمادية في كثير من دول العالم وخاصة في ولايتي أريزونا وكاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية (Ludwig, 2007) و استراليا (Jeppesen, 1996; Patterson, 2000) وفي الأردن (مركز دراسات البيئة، ٢٠٠٣). من نتائج الدراسة التي أجريت بمكتب دراسات الأراضي الجافة التابع لجامعة أريزونا ١٩٩٢م، أوضحت النتائج إمكانية استخدام المياه الرمادية النظيفة نسبياً بدون إجراء أي معالجة عليها ويمكن استخدامها مباشرة لري الأشجار ونباتات الزينة ولكن ينصح باستخدام خزان صغير تمر فيه المياه الرمادية قبل وصولها للنباتات؛ وذلك تفادياً لتجمع المياه على سطح التربة أو انسداد فتحات المنقطات كما أوصت الدراسة بأن لا يقل قطر فتحة النقاط عن ٣ ملم وذلك لمنع انسدادها كما أوضحت الدراسة أنه يفضل استخدام نظام الري بالتنقيط تحت السطحي عند الري باستخدام مياه رمادية غير معالجة ولا ينصح باستخدامها في ري الأراضي المزروعة بالنجيليات إلا في المناطق المعينة للزينة فقط والتي لا يحدث تلامس للبشر معها (Ludwig, 2007).

أوضح (Ludwig, 2007) أن استخدام مياه تحتوي على الصابون والشامبو وصابون غسل الصحون بالتراكيز الموصى بها لم تؤدي إلى حدوث أضرار بالنبات التي رويت بها كما ذكر أن استخدام مياه الصابون السابق ذكرها أو التي تحتوي على

اللانولين أو المعطرات أو الكيماويات الأخرى أقل ضرراً من استخدام مياه ري تحتوي على منظفات الملابس كما أن المياه التي احتوت على منظفات سائلة أفضل من التي تحتوي على مساحيق المنظفات؛ وذلك لاحتوائها على كميات كبيرة من عنصر الصوديوم كما ذكر أيضاً احتوائها على مركبات الفوسفور ولكنها بصفة عامة مفيدة للنبات .

كما أوضحت نتائج الدراسة التي قام بها (Patterson, 2000, Alwabel, 2006) أن بعض أنواع مساحيق المنظفات الصلبة تحتوي على ٠,٥٪ من عنصر الفوسفور على الرغم من تدوين أن المنتج خالي من الفوسفور (NP) على غلاف المنتج. كما وجد الباحث أيضاً أن المنظفات السائلة قد احتوت على نفس التركيز من الفوسفور بالرغم من الإشارة إلى خلو المنتج من الفوسفور (NP) على هذه المنتجات أيضاً، وقد ذكر أيضاً أن كمية عنصر الصوديوم قد بلغت ١٧ جرام صوديوم لكل غسلة في الغسالات التي تعبا بمقدار ١٥٠ لتر ماء كما أوضح أيضاً أن مستوى الصوديوم قد بلغ ٢١٥ جرام لكل غسلة في بعض أنواع المنظفات الصلبة وذلك في الماء المنصرف من الغسالات. وقد أوضح أن النتائج أيضاً أظهرت وجود عنصري النتروجين والفوسفور في مياه صرف المغاسل وأن هذان العنصران لهما قيمة اقتصادية من حيث إمكانية استخدامهما كعناصر سمادية لإنتاج المحاصيل وقد ذكر إمكانية التغلب على مشكلة زيادة نسبة الصوديوم بإضافة الجير أو الجبس للتربة. وفي دراسة أستراليا لمعرفة تأثير استخدام المياه الرمادية على معدل النفاذية في التربة الرملية والطينية أوضحت الدراسة حدوث انخفاض في معدل النفاذية للتربة الرملية من ٣٠ لتر/م^٢/يوم إلى ١٥ لتر/م^٢/يوم وفي التربة الطينية من ٢٠ لتر/م^٢/يوم إلى ١٠ لتر/م^٢/يوم.

الاحتياطات العامة في استخدام المياه الرمادية

- ١- يجب اخذ الحيطة بحيث لا توضع مواد غير مناسبة في مصادر المياه الرمادية. فمثلاً ينصح بعدم غسل الحفاظ أو الأقمشة التي تحتوي على الدماء في المصادر المتصلة بأنابيب المياه الرمادية.
- ٢- يجب عدم وضع مواد كيميائية في مصادر المياه الرمادية مثل مواد التنظيف القوية و الدهانات و المحروقات و الزيوت.
- ٣- قد تحتوي بعض مواد التنظيف مثل تلك المستعملة في الغسالات على مواد قد تلحق الضرر بالنباتات التي يتم ريها بالمياه الرمادية، لذا يجب ري هذه النباتات بمياه نظيفة بين الحين و الآخر.

(٧,٧) أسئلة

- س١: وضح استخدامات المياه في المملكة العربية السعودية.
- س٢: " يفضل استخدام نظام الري بالتنقيط تحت السطحي عند الري باستخدام مياه رمادية غير معالجة" ناقش العبارة في ضوء ما درست.
- س٣: كيف يمكنك تقدير الاحتياجات السمادية لمحصول عند استخدام مياه الري المعالجة؟
- س٤: هل توصي باستخدام المياه المعالجة في استصلاح التربة الصودية أو الملحية الصودية؟ ولماذا؟
- س٥: فرق بين المياه الرمادية والمياه المعالجة ومياه الصرف الصحي؟
- س٦: ماهي العناصر التي يمكن أن توجد في مياه الشرب للحيوانات وتجعلها غير صالحة للاستهلاك الأدمي؟

(٧،٨) المراجع

أولاً: المراجع العربية

العمران، عبد رب الرسول بن موسى. ٢٠٠٨م. الاحتياجات المائية للري والترشيد. النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود - الرياض - المملكة العربية السعودية.

الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، ٢٠٠٠م. مياه الشرب غير المعبأة. الرياض - المملكة العربية السعودية. م ق س ٧٠١.

وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٩ هـ. الدليل الإرشادي لترشيد المياه والكهرباء في المساكن والمشروعات الإسكانية والتجارية. الرياض - المملكة العربية السعودية.

وزارة المياه والكهرباء، ١٤٢٧ هـ. اللائحة التنفيذية لنظام مياه الصرف الصحي المعالجة وإعادة استخدامها. الرياض - المملكة العربية السعودية.

نسيم، ماهر جورجي. ٢٠٠٧م. تحليل و تقويم جودة المياه. منشأة المعارف بالإسكندرية - جمهورية مصر العربية.

خليل، محمد أحمد السيد. ٢٠٠٣م. المياه الجوفية والآبار. دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع. القاهرة - جمهورية مصر العربية.

مركز دراسات البيئة. ٢٠٠٣م. إعادة استخدام المياه الرمادية في بلدان مختلفة و إمكانات تطبيقها في الأردن. وزارة التخطيط.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Alwabel M. I., (2006). Assessment of Urban household laundry wastewater quality in Saudi Arabia. J. Agric. Mansoura Univ., 31(7): 4777-4792.

Ayers, R.S. and D.W. Westcot, (1985). Water quality for agriculture, No. 29 FAO, Rome.

- Jeppesen, B. (1996). Model guidelines for domestic greywater reuse for Australia. Research report #107. Brisbane. Urban Water Research Association of Australia.
- Lamb, J.C. (1985). Water quality and its control. John Wiley and Sons. New York. USA.
- Ludwig, A. (2000). Builders greywater guide. Installation of greywater systems in new construction and remodeling . Santa Barabara, CA. Annual meeting.
- Ludwig, A. (2007). Create an oasis with greywater: choosing, building, and using greywater systems include branched drains. Oasis Design. Santa Barabra, CA. USA.
- McLamb, C. (2004). Grayeater: The nest wave. Whitehall Printing Company. Suwanee. GA, USA.
- Ministry of the Environment, (1999). Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life. Ontorio, Canda.
- Patterson, R.A. (2000). Water quality relationships with reuse options. In 3rd international symposium on waste water reclamation, recycling and reuse. 3-5 July 2000. Paris, France, International water association.
- Svobodova, Z, R. Liyod, J. Machova and B. Vykusova. (1993). Water quality and fish health. EIFAC Technical paper. # 54 Rome, FAO, 59pp.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2003). Drinking water contaminants. www.epa.gov/safewater/
- WHO/EU drinking water standards comparative table The EU standards are more recent (1998), complete and strict than the WHO standards (1993). Read more. <http://www.lenntech.com/who-eu-water-standards.htm#ixzz0cQ3Pb4Le>
- Water Information System for Europe (1998) Drinking water quality. www.ec.europa.eu/environment/water-drink
- World Health Organization. (2004). guidelines for drinking water quality. 3rd edition. Geneva.

عينات المياه

(١، ٨) الأسس الحسابية وجمع العينات

الماء هو أساس الحياة على كوكب الأرض وهو المصدر الذي يتأثر عكسياً بجميع النشاطات الإنسانية على سطح الأرض، فتلوث الماء ظاهرة أساسها النشاطات الإنسانية المتعددة بالإضافة إلى النشاطات الطبيعية التي تحدث مثل الزلازل والبراكين وغيرها. فالتطور الصناعي والزراعي والمدني ساهم في إيجاد أزمة لتلوث المياه فمياه بعض الأنهار أصبحت تستقبل آلاف الأمطار المكعبة من مياه الصرف الصحي غير المعالجة أو المعالجة والنفايات المنزلية والصناعية والصرف الزراعي والتي تحتوي على مواد شديدة السمية وأصبح مصير المياه الجوفية يواجه نفس المصير في معظم مناطق العالم. ويعتبر تلوث المياه المسئول الرئيس في العديد من حالات الوفيات والأمراض في العالم وله أثر سلبي للثروة السمكية والزراعية. وفي السنوات الأخيرة تم دراسة المياه الطبيعية والملوثة في جميع أنحاء العالم مما وفر قاعدة بيانات للعديد من الملوثات وأثرها على الأنظمة البيئية ولذلك ظهرت أهمية الطرق المختلفة لتحليل المياه للكشف على الملوثات وتحديد مصادر التلوث للحد من الكوارث والأمراض التي من الممكن أن تنتشر بسبب تلوث مصادر المياه الطبيعية.

وتقسم عوامل تلوث المياه إلى ثلاثة أقسام كالتالي :

- عوامل فيزيائية.
- عوامل كيميائية.
- عوامل حيوية.

يجب أن تتوفر العناية الشديدة عند تحليل المياه قبل الموافقة على استخدامها. ويستخدم في تحليل عينات الماء طرق كيميائية وأجهزة حديثة متخصصة لذلك الغرض ومنها جهاز القياس باللهب (Flame photo-meter) وجهاز الامتصاص الذري (Atomic Absorption) وأجهزة القياس الطيفي (Spectrophotometer) وأجهزة القياس بالجهد والتي تستخدم إلكترونات نوعية للأيونات (Specific Ion Electrode) وجهاز الكروماتوجراف الغازي (Gas Chromatograph mass Spectrometer) ونتيجة لهذا التطور التقني في الأجهزة فإنه يمكن إجراء عدد كبير من التحليلات بسرعة ودقة عالية ، والتحليلات التي يمكن إجرائها على الماء هي :

- ١- تحليلات فيزيائية.
- ٢- تحليلات كيميائية.
- ٣- تحليلات حيوية.

(٨,٢) المصطلحات الكيميائية المستخدمة وبعض التحويلات

- الوزن الذري للعنصر: هو وزن ذرة العنصر مقارنة بوزن ذرة الكربون والتي تعادل ١٢ وحدة.
- الوزن الجزيئي للمادة: هو مجموع الأوزان الذرية للعناصر الداخلة في تركيب جزئ المادة .

• التكافؤ: عدد ذرات الهيدروجين أو عدد مجموعات الهيدروكسيل القابلة للإحلال.

• الوزن المكافئ: هو حاصل مجموع الأوزان الذرية للعناصر المكونة للمادة مقسوماً على تكافؤ أحد شقي المادة.

١- المحلول القياسي: هو محلول معلوم التركيز Standard Solution.

٢- المحلول الأساس أو العياري: Normal Solution. هو المحلول الذي يحتوي للترمنه على الوزن المكافئ من المادة معبراً عنه بالجرامات.

٣- المحلول الجزيئي: (Molar Solution) وهو المحلول الذي يحتوي للترمنه على الوزن الجزيئي من المادة معبراً عنه بالجرامات.

٤- الكسر المولي: Mole Fraction وهو عبارة عن النسبة بين عدد مولات أحد مكونات المحلول إلى حاصل جمع عدد مولات كل مكوناته.

مثلاً يتكون المحلول من ثلاث مكونات عدد مولاتها n_1, n_2, n_3 بذلك يكون الكسر المولي للمكون الأول (X_1)

$$X_1 = \frac{n_1}{n_t} \dots\dots\dots (٨, ١)$$

$$n_t = n_1 + n_2 + n_3$$

٥- المولالية (Molality): هي عبارة عن عدد المولات من المادة المذابة الموجودة في ١٠٠٠ جرام من المادة المذيبة فإذا كان عدد المولات للمذاب (n_2) وكتلة المذيب كجيم (w_1) يكون

$$Molality = \frac{n_2}{w_1} \dots\dots\dots (٨, ٢)$$

٦- الحجم = الوزن / الكثافة.

٧- التركيز المكافئ = التركيز المولي × التكافؤ .

$$٨- \text{مليماكافئ / لتر} = (\text{التركيز المولي / لتر}) \times \text{التكافؤ} \times ١٠٠٠ .$$

$$٩- \text{مليمول} = (\text{التركيز المكافئ} \div \text{التكافؤ}) \times ١٠٠٠ .$$

$$١٠- \text{مليمول / لتر} = (\text{مليماكافئ / لتر}) \div \text{التكافؤ} .$$

(٨,٣) طرق التعبير عن تركيز المحاليل

(٨,٣,١) الطرق الطبيعية

أ) التركيز (جم / لتر) وهو يعبر عن عدد جرامات المذاب في اللتر.

$$١- (\text{جزء / ألف}) = \text{ppt} = ((\text{وزن المذاب جم}) \div (\text{حجم المحلول باللتر}))$$

$$= ((\text{وزن المذاب ملجم}) \div (\text{حجم المحلول بالمليتر}))$$

$$٢- \text{ppm} = ((\text{وزن المذاب ملجم}) \div (\text{حجم المحلول باللتر}))$$

$$= ((\text{وزن المذاب ميكروجرام}) \div (\text{حجم المحلول بالمليتر}))$$

$$٣- \text{ppb} = ((\text{وزن المذاب ميكروجرام}) \div (\text{حجم المحلول باللتر}))$$

$$= ((\text{وزن المذاب نانو جرام}) \div (\text{حجم المحلول بالمليتر}))$$

ب) النسبة المئوية

١- النسبة المئوية الوزنية (وزنيه / وزنيه) هو عدد جرامات المذاب في ١٠٠

جم من المذيب

$$(\text{وزنيه / وزنيه}) \% = ((\text{وزن المذاب جم}) \div (\text{وزن المذيب جم}) \times ١٠٠)$$

٢- النسبة المئوية الحجمية: تعبر عن المذاب بالمليتر في ١٠٠ مليلتر من المذيب

$$(\text{حجميه / حجميه}) \% = ((\text{حجم المذاب مليلتر}) \div (\text{حجم المذيب مليلتر}) \times ١٠٠)$$

٣- النسبة المئوية الوزنية الحجمية: تعبر عن المذاب جم في ١٠٠ مليلتر من المذيب

$$(\text{وزنيه / حجميه}) \% = ((\text{وزن المذاب جم}) \div (\text{حجم المذيب مليلتر}) \times ١٠٠)$$

(٨,٣,٢) الطرق الكيميائية

١- الوزن الجزيئي الجرامي (المول): هو الوزن الذري للعنصر أو الوزن الجزيئي للمادة معبراً عنه بالجرامات ويحتوي المول الواحد على عدد أفوجادرو من الجزيئات (6.02×10^{23}) جزيء، ذرة أو أيون

عدد المولات = (وزن المركب جم) ÷ (الوزن الجزيئي للمركب)

عدد المولي مولات = (وزن المركب ملجم) ÷ (الوزن الجزيئي للمركب)

٢- الوزن المكافئ: عبارة عن الوزن المكافئ للمادة كما هو في معادلة التفاعل

الكيميائي.

• التكافؤ: يعبر عن عدد الوحدات المتفاعلة والتي تختلف حسب نوع المادة

ونوع التفاعل.

عدد الأوزان المكافئة = (الوزن جم) ÷ (الوزن المكافئ الجرامي)

عدد الأوزان المليمكافئة = (الوزن ملجم) ÷ (الوزن المكافئ)

فمثلاً

الوزن المكافئ في تفاعلات الحموضة والقلوية = (الوزن الجزيئي) ÷ (عدد أيونات الهيدروجين أو أيونات الهيدروكسيل المتفاعلة)

• الوزن المكافئ في تفاعلات الأكسدة والاختزال = (الوزن الجزيئي) ÷

(التغير في رقم الأكسدة)

• الوزن المكافئ في تفاعلات الترسيب والتفاعلات التي تتضمن تكوين

مركب معقد = (الوزن الجزيئي للمركب) ÷ (تكافؤ الفلز المتفاعل مع العامل)

(٨,٤) التركيز الفعال

المواد الإلكتروليتية القوية والتي تتأين تماماً عند إذابتها في الماء فإذا كانت

المحاليل مركزة هذا يؤدي إلى محدودية في حركة الأيونات داخل المحلول المركز وعند

استخدام وسائل للتأكد من أن المحلول متأين تماماً فإننا نلاحظ أن هناك دلالة على أن التأين أقل من ١٠٠٪ ومن هنا جاء مصطلح التركيز الفعال وهو يعبر عن تركيز الأيون الذي تفاعل فعلاً بينما التركيز المولاري يعبر عن تركيزه المضاف وهو يرتبط مع التركيز المولاري بالمعادلة (الزامل وآخرون ، ١٤٢٥هـ):

$$a_i = f_i \{ I \} \dots\dots\dots (٨,٣)$$

حيث:

a_i = التركيز الفعال .

f_i = معامل الفعالية .

$\{ I \}$ = التركيز المولاري للأيون I .

f_i تقترب من الوحدة بالنسبة للمحاليل العضوية والمحاليل المخففة للإلكتروليتات

ويحسب معامل الفعالية من المعادلة

$$-\log f_i = 0.5 Z_i^2 \sqrt{\mu} \dots\dots\dots (٨,٤)$$

$$\mu = \frac{1}{2} \sum [i] Z_i^2 \dots\dots\dots (٨,٥)$$

حيث:

μ = القوة الأيونية .

Z_i = شحنة الأيون .

(٨,٥) الاحتياطات الواجب مراعاتها عند إجراء التحليلات الحجمية

١- جميع الأدوات الزجاجية تحفظ دائماً نظيفة والتنظيف يكون باستخدام مخلوط من حمض الكبريتيك وحمض الكروميك المركزين ويحضر هذا المخلوط بإضافة القليل من كرومات البوتاسيوم إلى حمض الكبريتيك.

٢- تعاد أغطية زجاجات المواد مباشرة بعد الاستعمال وتعاد الزجاجات في أماكنها.

٣- يرج المحلول جيداً قبل الاستخدام.

٤- السحاحة (Burette) لابد أن تكون رأسية وغير مائلة وتؤخذ قراءة السحاحة عند مستوى تقعر سطح السائل ويلاحظ غسل السحاحة قبل الاستخدام بالمحلول الذي ستملأ به وقبل ضبط محلول السحاحة عند تدريج معين يجب التأكد من خلو طرفها المدبب من فقاعات الهواء وكل النقاط التي تغادر السحاحة يجب أن تصل إلى دورق المعايرة.

٥- القمع المستخدم في ملأ السحاحة يجب أن يرفع بعد تعبئة السحاحة مباشرة حتى لا تسقط من نقاط تغير الحجم داخل السحاحة بعد ضبطها.

٦- تغسل الماصة (Pipette) قبل الاستخدام بنفس المحلول الذي ستعبأ به كما يجب عدم النفخ داخل الماصة لإنزال المحلول المتبقي بها ولكن يتم اللمس الخفيف لجدار الإناء ثلاث مرات.

٧- تجرى المعايرة في دوارق مخروطية وليس في كؤوس.

٨- يكتفى من الدليل ب ٢-٣ نقاط ما لم يذكر في طريقة العمل غير ذلك.

٩- الدورق المخروطي يغسل جيداً بالماء المقطر .

١٠- يوضع الدورق المخروطي فوق سطح ذو لون أبيض لتسهيل التعرف على نقطة التعادل التي عندها يتغير لون الدليل.

١١- يجب رج الدورق أثناء تنقيط سائل المعايرة داخله ، وعند استخدام

كميات كبيرة من سائل المعايرة يجب غسل جدار الدورق بتيار من الماء المقطر على فترات.

١٢- تحفظ المحاليل التي تتأثر بالضوء مثل محلول نترات الفضة $AgNO_3$ داخل زجاجات قاتمة.

١٣- الدوايق العيارية لا يجب أن توضع على اللهب مطلقاً.

١٤- المواد الكيماوية توزن في زجاجات ساعة أو قنينات صغيرة.

١٥- يوضع الميزان على منضدة ثابتة أفقياً بعيداً عن تيارات الهواء.

١٦- يستخدم الحمام المائي عند معايرة المواد العضوية القابلة للتطاير ويجب ألا تتجاوز درجة الحرارة عن $80^{\circ}C$ أما المركبات ذات درجة غليان مرتفعة فيمكن أن تسخن على حمام رملي وبصفة عامة لا يستخدم التسخين باللهب المباشر في عمليات المعايرة.

١٧- يجب ارتداء القفازات المطاطية والبالطو ويكون من أقمشة مضادة للأحماض والحريق.

١٨- عدم لمس أجزاء الجسم المكشوفة أثناء العمل وبخاصة العين.

١٩- توفير محلول مخفف من حمض البوريك بالمختبر لغسيل العين في حالة انتشار مواد كيماوية عليها وكذلك محلول مخفف من بيكربونات الصوديوم لغسل مناطق الجلد التي تصاب بالأحماض.

٢٠- توفير إناء (دلو) مملوء بالرمل وطفاية للحريق بالمختبر.

(٦، ٨) الأدلة

Indicators

هي مواد كيميائية تدل على نقطة التعادل في عمليات المعايرة وذلك بتغير خواصها نتيجة تغير ظروف وسط التفاعل.

Colour Indicators (٨, ٦, ١) الأدلة اللونية

وهي أحماض أو قواعد عضوية ضعيفة يتغير لونها بتغير ظروف التفاعل مثل تغير رقم حموضة الوسط أو تغير درجة الأكسدة والاختزال ويكون لون الدليل في الحالة المتأينة مختلف عن لونه في الحالة غير المتأينة ومن أمثلتها:

١- الدليل البسيط Simple Indicators وهو دليل يتكون من مركب كيميائي واحد مثل برتقالي الميثيل Methyl Orange (MO) والفينولفثالين Phynolphthaline (phph) وعباد الشمس.

٢- الدليل المختفي Screened Indicator ويتكون من دليل بسيط مضاف إليه صبغة تجعل تغير اللون أكثر حدة عند نقطة التعادل End Point.

٣- الدليل المختلط Mixed Indicator وهو يتكون في الأغلب من دليان ممزوجان مع بعضهم لتتكون نقطة تعادل أكثر وضوحاً من استخدام أي منهما على حده وتستخدم عادة عند معايرة الأحماض الضعيفة ومن أمثلتها دليل برتقالي الميثيل مع صبغة الكارمين و دليل أخضر البروموكريزول مع أحمر الميثيل والفينولفثالين مع أخضر الميثيل وكذلك أحمر الكريزول مع أزرق الثيمول ويمثل الجدول (٨, ١) المدى الهيدروجيني والتغير في اللون لبعض الأدلة (عبد الحافظ، ١٩٧٨ م).

الجدول (٨، ١). المدى الهيدروجيني والتغير في اللون لبعض الأدلة بتغير رقم الحموضة.

(عبد الحافظ، ١٩٧٨ م)

اللون في الوسط القاعدي	اللون في الوسط الحمضي	مدى رقم الحموضة	الدليل
أصفر	أحمر	٢,٨ - ١,٢	الثيرمول الأزرق
أصفر	أحمر	٤,٠ - ٢,٩	المثيل الأصفر
أصفر	أحمر	٤,٠ - ٣,٤	المثيل البرتقالي
أزرق بنفسجي	أصفر	٤,٦ - ٣	البروموفينول الأزرق
أزرق	أصفر	٥,٦ - ٤	البروموكريزول الأزرق
أصفر	أحمر	٦,٢ - ٤,٤	المثيل الأحمر
أزرق	أصفر	٧,٦ - ٦,٢	البروموثيمول الأزرق
أحمر	أحمر	٨,٠ - ٦,٤	الفينول الأحمر
أصفر	أحمر	٨,٠ - ٦,٨	الأحمر المتعادل
أحمر	عديم اللون	١٠,٥ - ٨,٢	الفينولفثالين
أحمر	أصفر	١٢ - ١٠	الأليزامين الأصفر
برتقالي / بني	عديم اللون	١٢ - ١١	الفيترامين

(٨، ٦، ٢) أدلة الترسيب Precipitation Indicator

وهي مركبات كيميائية تدخل في تفاعل المعايرة بعد انتهاء المادة التي يتم معايرتها (سرعة تفاعلها أبطأ من تفاعل المادة المعايرة ولذلك تكون قراءة السحاحة للنقطة التي تسبق حدوث ترسيب الدليل).

ويستخدم عدد من الأدلة لمعرفة نقطة التعادل في تفاعلات الترسيب ويمكن

تقسيمها إلى :

١- مادة تكون راسب ملون عند نقطة التكافؤ مثل كرومات البوتاسيوم في

تفاعل (موهر) عند معايرة أيونات الكلوريد بواسطة نترات الفضة.

٢- مادة تكون مركباً ملوناً قابلاً للذوبان عند نقطة التكافؤ مثل شب الحديد في تفاعل (فولهارد) أي عند معايرة أيونات الفضة ثيوسيانات البوتاسيوم.

٣- أدلة امتزاز عبارة عن صبغات يتغير لونها عند امتزازها على الرواسب الغروية عند تكونها مثال على ذلك الفلورين وثنائي كلورو الفلورين والأيوسين (رابع كلورو الأيوسين)

(٨, ٦, ٣) اختيار الأدلة في تفاعلات الحموضة والقلوية

١- عند معايرة حمض قوي وقاعدة قوية (الوسط خالي من الكربونات) يمكن استعمال أي دليل إذا كانت درجة تركيز أي من المحلولين لا تقل عن ٠,٢ عياري ويستخدم أحمر الميثيل والفينولفثالين بصفة خاصة في المحاليل ذات التركيز الأقل.

٢- عند المعايرة بحمض ضعيف لقاعدة قوية مثل حمض الخليك مع الصودا الكاوية يستعمل أحمر الميثيل والفينولفثالين؛ لأن الملح الناتج عن التفاعل يكون قلوي التأثير ويكون رقم الحموضة للمحلول الناتج أكبر من ٧.

٣- عند المعايرة بقاعدة ضعيفة لحمض قوي مثل محلول الأمونيا (النشادر) لحمض الهيدروكلوريك يستعمل دليل برتقالي الميثيل أو البروموفينول الأزرق وكذلك البروموكريزول الأخضر لأن الملح الناتج من التفاعل يكون حمضي التأثير ويكون رقم الحموضة للمحلول الناتج أقل من ٧.

٤- عند المعايرة بقاعدة ضعيفة لحمض ضعيف أو العكس في هذه الحالة يكون حساب رقم الحموضة معقد جداً لأن المدى لرقم الحموضة عند نقطة التعادل يكون ضعيفاً جداً ولذلك يصعب تحديد نقطة التعادل (انتهاء التفاعل) بدقة باستخدام الأدلة البسيطة ولكن يمكن استخدام دليل مختلط مثل دليل الأحمر المتعادل أو الميثيلين الأزرق.

- ٥- في المعايرة الطاردة (تفاعلات الإحلال أو التبادل) يتفاعل حمض مثل الهيدروكلوريك مع ملح مكون من شق قاعدي قوي وشق حمضي ضعيف مثل كربونات الصوديوم (Na_2CO_3) و البورات ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) و سيانيد البوتاسيوم (KCN) وكذلك تشمل معايرات تتفاعل فيها قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) مع ملح مكون من شق قاعدي ضعيف وحمض قوي مثل كلوريد الأمونيوم ، فعند معايرة كربونات الصوديوم بواسطة حمض الهيدروكلوريك يستخدم دليل الميثيل البرتقالي أو الميثيل الأحمر أو البروموفينول الأزرق لإتمام عملية المعايرة ، وعند معايرة محلول البورات بواسطة حمض الهيدروكلوريك نجد أن رقم الحموضة عند نقطة التعادل = ٥ تقريباً ومن ثم فإنه يمكن استخدام دليل الميثيل البرتقالي أو الميثيل الأحمر أو البروموفينول الأزرق ، وعند معايرة محلول سيانيد البوتاسيوم بواسطة حمض الهيدروكلوريك نجد أن الرقم الهيدروجيني عند نقطة التعادل كما في حالة البوراكس = ٥ ، ويمكن استخدام نفس الأدلة في عملية المعايرة.
- ٦- عند معايرة محاليل أملاح لأحماض ضعيفة مثل بيكربونات الصوديوم بأحماض قوية مثل حمض الهيدروكلوريك يستخدم دليل أحمر الميثيل ، وهذا يستخدم أيضاً مع الكبريتورات والكربونات إذا أجريت المعايرة عند درجة الغليان.
- ٧- عند معايرة قاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم بحمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك في وجود ملح مكون من قاعدة قوية وحمض ضعيف مثل خلات الصوديوم فإنه يستخدم دليل الفينولفثالين.
- ٨- عند معايرة حمض قوي مثل حمض الهيدروكلوريك بقاعدة قوية مثل هيدروكسيد الصوديوم في وجود ملح مكون من حمض قوي وقاعدة ضعيفة مثل كلوريد الأمونيوم يستخدم دليل برتقالي الميثيل.

(٨,٧) طرق التحليل الكمي

تقدر المواد المختلفة بإتباع أحد طرق التحليل الكمي وهي :

١- التحليل الكمي بالوزن.

٢- التحليل الكمي بالحجم.

٣- التحليل بالألوان.

٤- التحليل الكمي بقياس حجم الغاز.

وأكثر هذه الطرق استعمالا هي الطريقتان الأولى والثانية وذلك لسهولة إجراء

كل منها دون الحاجة إلى أجهزة خاصة ، ولكل منها مزاياها وعيوبها.

(٨,٧,١) التحليل الكمي بالوزن

الأساس في هذا التحليل هو إجراء ترسيب للمادة الذائبة في المحلول على

صورة راسب عسر الذوبان ثم معاملة هذا الراسب بالمعاملات الخاصة بالتقدير ثم

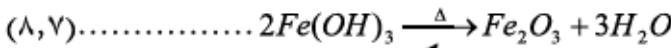
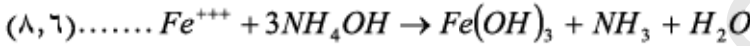
الوزن ومن الوزن الثابت يمكن حساب كمية المادة المطلوب تقديرها.

ومن أمثلة التقديرات الوزنية في المياه هي :

١- تقدير أيونات الحديدك Fe^{+++}

حيث يرسب في محاليله بواسطة هيدروكسيد الأمونيوم على صورة

هيدروكسيد حديدك.

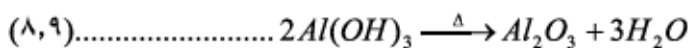
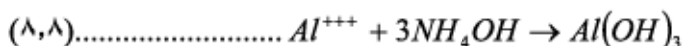


راسب ثابت

٢- تقدير الألومنيوم Al

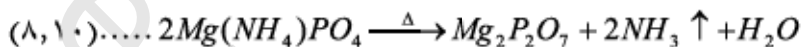
حيث يرسب مثل الحديد على صورة هيدروكسيد الألومنيوم $Al(OH)_3$ ثم يحرق

فيتحول إلى Al_2O_3 وهو راسب ثابت



٣- تقدير الفوسفات PO4

حيث يرسب أنيون الفوسفات على صورة فوسفات مغنسيوم و أمونيوم ثم يحرق الراسب الذي يتحول إلى راسب ثابت بالحرق على صورة بيرو فوسفات المغنسيوم $Mg_2P_2O_7$



٤- المغنسيوم

يرسب بمحلول فوسفات المغنسيوم والأمونيوم ويحرق مثل الفوسفور وعلى العموم فالعناصر التي تقدر بواسطة التحليل الكمي الوزني هي العناصر التي توجد بكمية كبيرة في التربة وكذا الأسمدة الفوسفاتية طبقاً لمعادلة تقدير الفوسفور.

(٨,٧,٢) التحليل الكمي الحجمي

أساس هذا التحليل مبني على تفاعل أحجام المواد المختلفة بالكميات المكافئة حتى الاتزان Equilibrium. وطرق التقدير الكمي بالحجم متعددة ولكنها تشترك في أن الأساس الحسابي فيها مبني على أساس الوزن المكافئ؛ لأن الأحجام المتفاعلة عند الاتزان تحتوي على كميات متكافئة ويمكن تقسيمها إلى.

أ) الأحماض

$$\frac{\text{الوزن الجزيئي للأحماض}}{\text{عدد ذرات الهيدروجين الفعالة في الحامض}} = \text{الوزن المكافئ للأحماض}$$

فمثلاً: HCl ، H₂SO₄ ، H₃PO₄ ، H₄P₂O₇ ، CH₃-COOH حمض الخليك -HOOC

حمض الأكساليك COOH

$$36,5 = (1/36,5) = HCl$$

$$49 = (2/98) = H_2SO_4$$

$$32,667 = (3/98) = \text{H}_3\text{PO}_4$$

$$44,4 = (4/178) = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$$

$$60 = (1/60) = \text{CH}_3.\text{COOH}$$

(ب) الأملاح الهيدروجينية

$$\frac{\text{الوزن الجزيئي للملح الهيدروجيني}}{\text{عدد ذرات القاعدة الموجودة في الجزيء} \times \text{تكافؤها}} = \text{الوزن المكافئ}$$

مثال (١): كبريتات الصوديوم الهيدروجينية (NaHSO_4)

$$120 = \frac{120}{1 \times 1} = \text{الوزن المكافئ}$$

مثال (٢): فوسفات الكالسيوم الهيدروجينية (CaHPO_4)

$$68 = \frac{136}{2 \times 1} = \text{الوزن المكافئ}$$

(ج) الهيدروكسيدات (القواعد)

$$\frac{\text{الوزن الجزيئي}}{\text{عدد مجموعات الهيدروكسيل (OH) في القاعدة}} = \text{الوزن المكافئ}$$

مثال: هيدروكسيد الكالسيوم Ca(OH)_2

$$37 = \frac{74}{2} = \text{الوزن المكافئ}$$

(د) الأملاح المتعادلة

$$\frac{\text{الوزن الجزيئي للملح}}{\text{عدد ذرات الهيدروجين الموجودة في الحمض المشتق منه الملح}} = \text{الوزن المكافئ}$$

مثال: NaCl , CaSO_4 , FePO_4 , $\text{Fe(NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$

الحل

$$٥٨,٥ = (١/٥٨,٥) = \text{NaCl}$$

$$٦٨ = (٢/١٣٦) = \text{CaSO}_4$$

$$٥٠,٢٨ = (٣/١٥٠,٨٥) = \text{FePO}_4$$

$$٤٦,٩٦ = (٤/١٨٧,٨٥) = \text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$$

$$٥١,٦٦٧ = (٦/٣١٠) = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$$

هـ) المركبات المؤكسدة والمختزلة

الوزن الجزيئي

= الوزن المكافئ

التغير في رقم الأكسدة للعنصر

ورقم الأكسدة: يعبر عن الشحنة السالبة أو الموجبة التي تحملها ذرة معينة أو مجموعة ذرية في جزي محدد مع ملاحظة أن مجموع أرقام الأكسدة للذرات المكونة لجزيء متعادل تساوي صفر.

مثال: HNO_3 , NO_2 , HNO_2 , NO , N_2 , N_2H_4 , NH_3

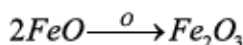
الحل

التغير في رقم الأكسدة للنيروجين	المركب
٣-	NH_3
٢-	N_2H_4
صفر	N_2
٢+	NO
٣+	HNO_2
٤+	NO_2
٥+	HNO_3

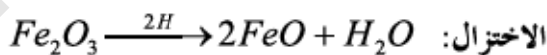
أمثلة لحساب الوزن المكافئ في تفاعلات الأكسدة والاختزال

الأكسدة

١- أكسيد الحديد

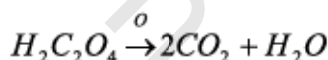


حيث رقم أكسدة الحديد تغير من +٢ إلى +٣ فيكون FeO أحادي التكافؤ في هذا التفاعل.



تغير رقم الأكسدة من +٣ إلى +٢ فيكون الحديد أحادي التكافؤ إذا كان الملمح Fe_2O_3 ثنائي التكافؤ لأن به ذرتي حديد.

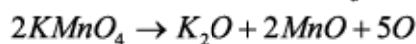
٢- حمض الأكساليك



تغير رقم الأكسدة للكربون من +٣ إلى +٤ أي ذرة الكربون أحادية التكافؤ. في هذا التفاعل حمض الأكساليك ثنائي التكافؤ لاحتوائه على ذرتي كربون.

٣- برمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$

(أ) في الوسط الحمضي

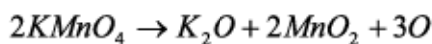


تغير رقم الأكسدة للمنجيز من +٧ إلى +٢

فيكون الوزن المكافئ للبرمنجنات في هذا التفاعل = (الوزن الجزيئي / ٥)

$$31,088 = 5 / 157,94 =$$

(ب) في الوسط القاعدي



تغير رقم الأكسدة للمنجنيز من +٧ إلى +٤

فيكون الوزن المكافئ للبرمنجنات = (الوزن الجزيئي / ٣) = (٣ / ١٥٧,٩٤)

$$= ٥٢,٦٥$$

(٨,٧,٣) تطبيقات على طرق التعبير عن تركيز المحلول

(أ) التركيز الجزيئي (M) Molarity

يعبر عن عدد الجزيئات الجرامية الموجودة من مادة معينة في لتر من المحلول

النهائي.

$$M = \frac{\text{وزن المادة الموجودة فعلاً بالجرام}}{\text{الوزن الجزيئي للمادة}}$$

مثال محلول يحتوي على ٠,٠٥ مولار M حمض أكساليك / لتر ما تركيزه بالجرام في

التر.

الحل

$$M = \frac{\text{وزن الحمض بالجرام}}{\text{الوزن الجزيئي لحمض الأكساليك}}$$

وزن الحمض بالجرام / لتر = $M \times \text{الوزن الجزيئي لحمض الأكساليك} = ٠,٠٥ \times ٩٠$

$$= ٤,٥$$

(ب) التركيز الأساسي أو العياري (N) Normality

يعبر عن عدد الأوزان المكافئة الموجودة من مادة معينة في لتر من المحلول النهائي

$$N = \frac{\text{وزن المادة الموجودة فعلاً بالجرام في لتر}}{\text{الوزن المكافئ للمادة}}$$

مثال: محلول تركيز ٠,٠٤ ع من كلوريد الكالسيوم CaCl_2 أحسب تركيزه

بالجرام / لتر.

الحل

تركيز كلوريد الكالسيوم CaCl_2 بالجرام/لتر = $0.04 \times 55.5 = 2.22$

(ج) التركيز بالملييمكافئ/ لتر meq/L

وهي طريقة للتعبير عن تركيز المواد عندما يكون تركيزها منخفضاً جداً مثل

مياه الآبار ومياه الصرف حيث يكون الملييمكافئ/ لتر = $(N \times 1000)$.

$$\text{التركيز بالملييمكافئ} = \frac{\text{وزن المادة بالجرام}}{\text{الوزن المكافئ}} \times 1000$$

$$= \frac{\text{وزن المادة بالمليجرام}}{\text{الوزن المكافئ}}$$

مثال: ما هو التركيز بالملييمكافئ في اللتر

١- محلول يحتوي على ١.٠٩ جرام NaCl

٢- محلول يحتوي على NaCl ٢ ع.

٣- محلول يحتوي على NaCl ٠.٠١ ع.

الحل

١- تركيز NaCl بالملييمكافئ/لتر = $(58.5 / 1.09) \times 1000 = 18.63$ ٢- تركيز NaCl بالملييمكافئ/لتر = $2 \times 1000 = 2000$ ٣- تركيز NaCl بالملييمكافئ/لتر = $0.01 \times 1000 = 10$

(د) الجزء في المليون ppm

وهي طريقة للتعبير عن التركيز للكميات الضئيلة جداً وهو يعبر عن

- عدد الأجزاء الموجودة في مليون جزء.
- عدد المليجرامات الموجودة في ١٠ مليجرام.
- عدد المليجرامات الموجودة في ١٠٠٠ جرام.
- عدد المليجرامات الموجودة في كيلوجرام.

- عدد المليجرامات الموجودة في ١ لتر.

مثال (١): محلول يحتوي على ٠,٠٥ ملليمكافئ NaCl / لتر أحسب التركيز ppm.
الحل

$$\text{ppm} = \text{التركيز بالمليكمكافئ/لتر} \times \text{الوزن المكافئ}$$

$$\text{NaCl ppm} = ٠,٠٥ \times ٥٨,٥ = ٢,٩٢٥$$

مثال (٢) محلول يحتوي على ١٤٢ ppm Na_2SO_4 ، أحسب تركيز Na ، SO_4 ppm.

$$\text{Nappm} = ٤٦$$

$$\text{SO}_4\text{ppm} = ٩٦$$

(٨,٨) صور التحليل الكمي الحجمي في الماء

تنقسم التقديرات الكمية الحجمية إلى:

(٨,٨,١) التعادل

مقصود بها تفاعل كميات متكافئة من حامض وقلوي تنتهي إلى تكوين ملح وماء ويستعمل في تحديد نقطة نهاية التفاعل أحد الأدلة المناسبة ومن أمثلة هذه التقديرات في الماء.

١- تقدير الكالسيوم والمغنسيوم في الماء بالمعايرة بالفيرسين (EDTA).

٢- تقدير الكربونات والبيكربونات في الماء بالمعايرة بمحمض معلوم القوة في وجود دليلي الفينول فتالين وبرتقالي الميثيل على التوالي.

(٨,٨,٢) الأكسدة والاختزال

المقصود من ذلك هو معايرة محلول مختزل بمحلول مؤكسد حتى نهاية التفاعل أي حتى أن جميع المواد المختزلة في المحلول تتأكسد ثم تحسب كمية المادة المختزلة من

الأحجام المستهلكة ، ويستخدم في مثل هذا النوع من التقدير الكمي بالحجم أدلة الأكسدة والاختزال لتحديد نهاية التفاعل وأمثلة هذا التقدير في الماء :

١- تقدير الكربون العضوي TOC عن طريق أكسدة الكربون العضوي بواسطة محلول برمنجنات البوتاسيوم.

٢- تقدير الحديدوز في الماء عن طريق الأكسدة بواسطة بيكرومات البوتاسيوم في وسط حمضي.

(٨,٨,٣) التقدير باستخدام أدلة الترسيب

ويتم تقدير المواد القابلة للترسيب بالتنقيط بواسطة المحلول المحتوي على المادة المرسبة وتعرف نهاية التفاعل بواسطة أدلة الترسيب ومن طرق التقدير بالترسيب.

(٨,٨,٣,١) طريقة موهر Mohr

تستعمل هذه الطريقة عندما يكون الوسط متعادلاً أو قلوي كما هو الحال في الماء حيث يعاير الكلوريد في الماء بواسطة محلول القوة من نترات الفضة حتى نهاية ترسيب الكلوريد على صورة كلوريد فضة ويستعمل دليل كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 في تحديد نهاية ترسيب الكلوريد ؛ لأن كرومات البوتاسيوم تتفاعل مع نترات الفضة وتعطي راسب أحمر طوي وهذا الراسب لا يتكون مادام في وسط التفاعل أيونات كلوريد ذائبة.

(٨,٨,٣,٢) طريقة فويهارد Voihard

تستعمل هذه الطريقة عندما يكون محلول الكلوريد حمضياً حيث يضاف إلى المحلول كمية من محلول نترات الفضة معلومة القوة بحيث تكفي ، وزيادة لترسيب الكلوريد ثم يرشح الراسب ويغسل ثم يتم تقدير الزيادة من نترات الفضة في الراشح وماء الغسيل بواسطة محلول معلوم القوة من ثيوثيانات الصوديوم في وجود دليل شب الحديد.

(٤, ٨, ٨) التحليل الكمي بالألوان

هذا النوع من التحليل يستعمل عندما توجد المادة في المحاليل بكميات ضئيلة جداً حيث يتعذر تقديرها حجماً أو وزنياً فتقدر لونياً لسهولة إجرائها وتقديرها.

والأساس لهذا التقدير مبني على أنه تنتج ألوان معينة في بعض التفاعلات الكيميائية ودرجة تركيز هذه الألوان تختلف حسب كمية المواد الداخلة في التفاعل حيث تتناسب طردياً معها.

ومن أمثلة هذه التقديرات في الماء هي :

(أ) تقدير الحديدك Fe^{+++} : حيث يؤخذ حجم معين من محلول الحديدك بالتركيز المناسب ويضاف إليه ١ سم^٣ حمض HCl مركز ثم يضاف ٥ مل محلول ثيوثيانات الأمونيوم ويقرأ اللون الأحمر.

(ب) تقدير الأمونيا NH_3 : بواسطة أناييب نسلر حيث تجهز ٩ أناييب ويضاف محلول متدرج في درجة اللون البرتقالي من إضافة محلول نسلر إلى المحلول النشادري القياسي وتوضع هذه الأناييب على حامل أناييب. ثم يضاف إلى المحلول المطلوب تقدير النشادر قليل من محلول نسلر ويرج ويضاف اللون الناتج بأناييب المجموعة التسعة وبذلك يمكن معرفة تركيز النشادر في المحلول.

(ج) تقدير الفوسفور P : بواسطة الطريقة اللونية باستخدام موليبيدات الأمونيوم الحمضية وإضافة حمض الأسكوربيك.

(د) تقدير البورون B : بواسطة الطريقة اللونية باستخدام دليل Azomethen-H

في وجود محلول منظم للبورون.

(٨,٩) كيفية التأكد من صحة التحليل

(٨,٩,١) حساب الكمية الكلية للأملاح الذائبة

$$TDS = 0.61 \times \text{alkalinity} + Na^+ + K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+} + Cl^- + SO_4^{2-} +$$

على صورة ملجم / لتر $SiO_3^{2-} + NO_3^- + F^-$

(٨,٩,٢) الاتزان بين الكاتيونات والأيونات

عندما تكون الكاتيونات والأيونات محسوبة على صورة ملليمكافئ / لتر يجب أن تكون متساوية (متوازنة) ويتم حساب نسبة الفرق بينهم كما يلي:

$$Difference \% = \frac{\sum Cations - \sum Anions}{\sum (Cations + Anions)} \times 100 \quad (٨,١١)$$

حدود الفرق بين مجموع الكاتيونات والأيونات المسموح بها

الفرق بين الكاتيونات والأيونات	مجموع الأيونات
$\pm 0,2$ ملليمكافئ / لتر	صفر - ٣ ملليمكافئ / لتر
± 2 ملليمكافئ / لتر	٣ - ١٠ ملليمكافئ / لتر
± 5 ملليمكافئ / لتر	١٠ - ٨٠٠ ملليمكافئ / لتر

ونسبة الفرق بينهما يجب ألا تزيد عن ٢٪ في الماء الذي يحتوي على ٢٥٠ - ١٠٠٠ ملجم / لتر.

أي تحليل تزيد نسبة الخطأ به عن ١٠٪ تكون النتيجة غير مقبولة.

(٨,١٠) العينات

يعتمد اختيار العينات لتحليل المياه على الهدف من التحليل ونوعه، فقد يكون الهدف هو تقييم وتصنيف مياه الري من الآبار أو الجداول أو الأنهار أو غيرها أو تحليل المياه للتعرف على مدى تلوثها في المناطق المختلفة.

(١، ١٠، ٨) اختيار مواقع جمع العينات

النجاح والفشل في تقييم تلوث الماء يعتمد بشكل كبير على التخطيط المعد مسبقاً لجمع العينات، الخطة يجب أن تشمل الموقع والأنماط المراد تحليلها، جدول زمني لمواعيد أخذ العينات. اختيار المواقع في الدرجة الأولى تقرر بناء على أهداف البرنامج، على سبيل المثال، فقد يكون الاهتمام بمحتوى الأكسجين في المسطح المائي بينما قد يكون الاهتمام بدراسة التأثيرات لمختلف المخلفات في النهر. كما يجب أن تحدد مواقع الجمع للتزود والإدراك الدقيق عن جودة المياه الموجودة، ويجب أن نتجنب عملية الجمع للمناطق البعيدة والمنفصلة حتى تبرز حاجة خاصة لذلك وتكون التسهيلات متوفرة وكافية.

تحديد مواقع جمع العينات من الممكن أن تساعد في إعداد خرائط بها خطوط دالة على مستوى الارتفاع في المسطحات المائية وخرائط تحدد مواقع البحيرات وخرائط وصف أو رسم دقيق للأنهار، مثل هذه الخرائط لمعظم المسطحات المائية متوفرة لدى سلطات الري، الهندسة البيئية، البلدية أو الدفاع أو غيرها، وفي الوقت الحالي انتشر استخدام الأقمار الصناعية وبرامج الحاسب في تحديد مواقع العينات. إن الاختيار لمواقع الجمع الحقيقية في المسطحات المائية تعتمد على مواصفات هذا المسطح المائي، في البحيرة أو النهر العريض أو المجاري المائية والعديد من مواقع الجمع يجب أن يكون الاختيار من عدة زوايا. وإذا كان موقع أخذ العينة عميق أو طبقي فيجب أخذ ثلاثة عينات من الموقع الواحد، من السطح والقاع أو عينة من عمق ٠,٥ - ٠,٧ متر. في الجداول الضيقة والسريعة الحركة يجب أن يخلط الماء جانبياً وعمودياً تماماً ولذلك نحتاج لنقطة جمع واحدة عند كل موقع على طول الجدول. وفي الأنهار الملوثة عضوياً موقع واحد على الأقل يجب أن تؤخذ منه العينات وهو مكان دخول النفايات وأربعة مواقع

أخرى ممثلة بالمنطقة الملوثة حديثاً، منطقة التسمم، منطقة الاسترداد والمياه النظيفة أما في الآبار فيجب ترك مضخة البئر تعمل لمدة نصف ساعة على الأقل قبل أخذ العينات. مواقع إضافية من الممكن اختيارها اعتماداً على هدف المشروع والدعم المالي المتوفر. إذا كان من المعلوم أن المجرى المائي ملوثاً بمواد غير عضوية، فأخذ العينات من موقع أعلى وموقع أسفل نقطة التصريف تكون كافية. كما يجب أن يكون مواقع الجمع سهلة الوصول إليها، جسر غالباً ما يستخدم كموقع جيد للجمع، لأنه ينبغي أن تجمع العينات من مناطق مضطربة، أو مناطق ملوثة حديثاً. وتحدد المواقع بوضع عامود، أو إشارات طافية فوق الماء أو بوضع علامات على الأشجار.. إلخ. كما يمكن وضع بعض النقاط الإضافية التي تعتمد على ظروف الطبيعة الجغرافية لمختلف المواقع.

(٢، ١٠، ٨) أدوات جمع العينات

يتم جمع عينات المياه في قوارير مصنعه من البولي إيثيلين أو قوارير زجاجية ذات فوهة كبيرة ومزودة بغطاء محكم وتختلف أحجام القوارير المستخدمة في جمع العينات وفقاً لنوع التحليل وبعد الانتهاء من جمع العينات يتم حفظها بطريقة مناسبة تختلف باختلاف نوع التحليل، (الجدول ٢، ٨).

يراعى أثناء جمع العينات استخدام الجهاز المناسب وهو يختلف حسب مصدر المياه التي يتم أخذ العينات منها وهناك العديد من الأجهزة لجمع العينات سوف تذكر بإيجاز فيما يلي:

١- جهاز فون دورن (Von Dorn sampler): وهو من أكثر أجهزة جمع عينات الماء شيوعاً، ويمتاز الجهاز بأنه يمكن فتحه وغلقه وهو مغموراً في الماء وهذا الجهاز يستخدم عند جمع عينات الماء على أعماق مختلفة من مياه الجداول والأنهار والبحار، وهناك أجهزة أخرى استحدثت تعمل بنفس الفكرة مثل جهاز ناسكين (Niskin Sampler) وجهاز نانسين (Nansen Sampler) (خنفر، ١٤٢٧هـ).

- ٢- جهاز جمع عينات المياه العملي البسيط: وهو جهاز بسيط تم تصميمه بمختبر قسم علوم التربة يتكون من كوب من البولي إيثيلين سعة لتر يتم تثبيته بعمود من النحاس طوله متران بحيث يسهل الوصول إلى مجرى المياه في الجداول الضحلة والصغيرة ثم تجمع العينات في قوارير مناسبة وتغلق مباشرة وتحفظ وتنقل إلى المختبر.
- ٣- في حالة جمع عينات المياه من الآبار المثبت عليها مضخات لرفع المياه يتم جمع العينات مباشرة في القوارير مع مراعاة تشغيل المضخة قبل جمع العينات بمدة ٢٠ - ٣٠ دقيقة.

الجدول (٨، ٢). قائمة بالأوعية (القوارير) المستخدمة في جمع عينات المياه وأسلوب حفظ العينات.

(خنفر، ١٩٤٢٧هـ).

العنصر (التحليل)	حجم العينة (مليلتر)	نوع الرعاء	طريقة الحفظ	الوقت المسموح به للنقل إلى المختبر
الحموضة الكلية	١٠٠	P& G		٢٤ ساعة
القلوية	١٠٠	P& G	٤م	٢٤ ساعة
BOD	١٠٠٠	P& G	٤م	٦ ساعة
COD	٥٠	P& G	يحفظ في محلول حمض كبريتيك (pH>2)	مباشرة
الكلورين	٥٠٠	P& G	يحلل مباشرة	مباشرة
الكلوريد	٥٠	P& G	لايلزم	٧ أيام
اللون	٥٠	P& G	٤م	٢٤ ساعة
السيانيد	٥٠٠	P& G	٤م وهيدروكسيد صوديوم (pH=12)	٢٤ ساعة
الأكسجين الذائب	٣٠٠	G	في الموقع	٦ ساعة
العسر	١٠٠	P& G	٤م	٧ يوم

تابع الجدول (٨،٢).

العنصر (التحليل)	حجم العينة (مليلتر)	نوع الرعاء	طريقة الحفظ	الوقت المسموح به للنقل إلى المختبر
العناصر الثقيلة	٢٠٠	P& G	حمض نيتريك (pH>2)	٦ أشهر
النشادر	٥٠٠	P& G	محمض كبريتيك (pH>2)	٢٤ ساعة
النيتروجين	٣٠٠	P& G	محمض كبريتيك (pH>2)	٧ يوم
النترات	١٠٠	P& G	محمض كبريتيك (pH>2)	٢٤ ساعة
النيتريت	١٠٠	P& G	محمض هيدروكلوريك (pH>2)	٢٤ ساعة
الزيوت والدهون	١٠٠٠	G	حمض هيدروكلوريك (pH>2)	٢٤ ساعة
الكربون العضوي	٥٠	P& G	محمض كبريتيك (pH>2)	٢٤ ساعة
رقم الحموضة	١٠٠	P& G	في الموقع	مباشرة
الفوسفات	٥٠	P& G	محمض	٢٤ ساعة
التوصيل الكهربي	١٠٠	P& G	محمض	٢٤ ساعة
المواد الصلبة الذائبة	١٠٠	P& G	محمض	٧ يوم
الكبريتات	٥٠	P& G	محمض	٧ يوم
الكبريتيد	١٠٠	P& G	في الموقع	مباشرة
درجة الحرارة	١٠٠٠	P& G	في الموقع	مباشرة
العكارة	١٠٠	P& G	محمض	لاتنقل

بولي إيثيلين (P)، زجاج (G)

(٣, ١٠, ٨) الشروط الواجب مراعاتها عند جمع العينات

١- اتخاذ الاحتياطات اللازمة لحماية العينات ، ومصادرهما وأجهزة الجمع من أي تلوث.

٢- يكون حجم العينة كاف لإجراء الاختبارات المطلوبة.

٣- تجمع العينات وتعبأ وتنقل وتعالج قبل إجراء الاختبارات بطريقة تحمي المكونات أو الخصائص التي يراد اختبارها من التغيير.

٤- تكون الأوعية المستعملة لجمع العينات مصنوعة من الزجاج المقاوم للتفاعلات الكيميائية أو من البلاستيك حسب نوع التحليل المطلوب وأن تكون نظيفة من الداخل والخارج.

٥- أن تكون سدادات أوعية العينات للاختبارات الكيميائية والطبيعية من الزجاج أو البلاستيك حسب نوع التحليل المطلوب.

٦- أن تكون أوعية جمع العينات للاختبارات الميكروبيولوجية وسداداتها معقمة لمنع تلوث العينات.

٧- تجمع العينات بعناية كبيرة والتأكد أنها تمثل المصدر المراد فحصه مع تجنب التلوث غير المقصود للعينات.

٨- البدء أولاً بجمع العينات الخاصة بالفحص الميكروبي.

٩- تملأ أوعية العينات حتى نهايتها عند جمع العينات للاختبارات الميكروبيولوجية.

١٠- الأكسجين الذائب وثاني أكسيد الكربون والقلوية ورقم الحموضة من التقديرات المتغيرة بمرور الوقت لذا يجب إجرائها مباشرة في الموقع.

١١- تؤخذ عينات الماء حسب الغرض من الدراسة ، فيجب تحديد المكان الذي أخذت منه بالمجربى والعمق الذي أخذت منه العينة وذلك بالنسبة لعينات ماء

الترع والصارف والبحيرات والأنهار. ولا تؤخذ العينات من الجوانب التي قد تكون بها سرعة التيار بطيئة.

١٢- عند أخذ عينات من مياه الآبار فيجب تشغيل البئر لمدة نصف ساعة قبل أخذ العينة. وفي حالة الآبار الجديدة فتؤخذ العينة بمجرد تشغيل البئر ثم على فترات لعدة ساعات بعد ضبط كمية التصريف المصممة عليها البئر.

١٣- زجاجة أخذ العينة يجب أن تكون نظيفة مع غسلها عدة مرات بماء المصدر نفسه المراد تحليله.

١٤- في حالة الرغبة في تقدير عنصر البورون يراعى أخذ العينات في زجاجة بلاستيك.

١٥- إذا لم يتمكن من تحليل عينة الماء فور وصولها للمعمل تحفظ بالثلاجة على درجة حرارة ٤م° وقد يضاف بضع نقط من الكلوروفورم.

١٦- يجب وضع علامة على زجاجة عينة الماء تحمل وصف تعريفى موجز عند جمع العينة. كما يمكن تسجيل معلومات إضافية يقوم بها جامع العينة حسب نموذج البيانات التالي:

أسم جامع العينة:

التاريخ:

الاسم و/ أو المالك:

مصدر العينة: (جدول مائي، قناة ري، بركة، بئر).

الموقع: (يرسم خريطة إذا كان ذلك ضرورياً لتوضيح الموقع أو مكان أخذ

العينة بالضبط)

العمق:

الرائحة :

اللون :

الغرض من استخدام الماء :

نوع المحصول وحالته عند أخذ العينة.

نوع التربة وجودتها عند أخذ العينة.

(١١، ٨) أسئلة

س١: عن ماذا يعبر مقياس القلوية للماء وماهي أسباب القلوية في الماء؟

س٢: أي من هذه المياه أكثر حامضية ذات رقم حموضة ٣,٥ أم التي تحتوي على

٠,٠٥ ملجم أيون H^+ في اللتر؟

س٣: عرف حامضية الماء وأسباب حدوثها في المياه؟

س٤: عرف عسر الماء وأنواعه وأسباب حدوثه؟

س٥: حدد الآثار الضارة والنافعة لعسر الماء وكيفية التغلب عليها؟

س٦: نتائج تحليل عينة مياه كالاتي :

Na^+ = 23 ppm

Ca^{++} = 30 ppm

Mg^{++} = 12 ppm

Sr^{++} = 21.9 ppm

Cl^- = 45 ppm

SO_4^- = 48 ppm

$CaCO_3$ = 85 mg القلوية

١- ارسم مخطط خطي لعينة الماء.

٢- أوجد قيمة العسر الكلي والعسر الكربوني والغير كربوني.

٣- وضح الاتحادات الكيميائية المحتملة للأيونات الموجبة والسالبة في عينة

الماء.

(٨, ١٢) المراجع

- الزامل، إبراهيم زامل، الحجاجي، محمد عبد العزيز، الطمرة، سعد عبد العزيز،
بانة، محمود محمد. الكيمياء التحليلية التحليل الحجمي والوزني. ١٤٢٥هـ. دار
الخريجي للنشر والتوزيع - الرياض - المملكة العربية السعودية.
خنفر، عايد راضي. الطرق الكيمائية - الفيزيائية - الحيوية لدراسة المياه. ١٤٢٧هـ. دار
المؤيد - الرياض - المملكة العربية السعودية.
عبد الحافظ، فتحي أحمد. الكيمياء التحليلية. ١٩٧٨م. مكتبة الأنجلو المصرية - القاهرة
- جمهورية مصر العربية.

الطرق الشائعة لتحليل المياه

(٩,١) طرق التحليل

من الواضح أنه يجب تحليل عينات مصدر الماء قبل التخطيط باستخدامها للري أو الشرب الآدمي أو الحيواني أو أي استخدام آخر. ويتبع في تحليل عينات الماء أجهزة متخصصة بعضها يسهل حمله واستخدامه في التحليل في مكان أخذ العينات مثل قياس درجة الحرارة والأكسجين الذائب والعكارة والتوصيل الكهربائي.

وفي المعمل يمكن استخدام أجهزة ذات تقنيات حديثة مثل جهاز القياس باللهب (Flame-photometer)، وجهاز الامتصاص الذري (Atomic absorption spectrophotometer) أو أجهزة القياس بالجهد والتي تستخدم إلكترونيات نوعية للأيونات (Specific ion electrodes) وجهاز الكروماتوجراف الغازي (Gas-mass spectrometry chromatograph) لتحليل المركبات العضوية.

ونتيجة لهذا التطور في أجهزة التحليل فإنه يمكن إجراء عدد كبير من التحليلات بسرعة وبدقة عالية. وسوف يكون التركيز في هذا الفصل على الطرق العملية الشائعة لقياس مكونات الماء المختلفة والتي يمكن قياسها بأبسط الأجهزة وبأقل

التكاليف مع توضيح الأساس العلمي لطرق القياس المختلفة بقدر الإمكان. وتنحصر التحليلات المختلفة التي يمكن إجراؤها على المياه فيما يلي:

١- تحليلات فيزيائية.

٢- تحليلات كيميائية.

٣- تحليلات حيوية.

والتقديرات العملية المختلفة التي يمكن إجراؤها على المياه، يمكن استخدامها في تقويم المياه للاستخدامات المختلفة حسب المعايير الموصى بها لكل استخدام.

(٩,٢) الخواص الفيزيائية للماء

(٩,٢,١) الملوحة

(٩,٢,١,١) التوصيل الكهربائي Electrical conductivity

يختلف نوع وتركيز الأملاح في الماء على حسب مصدر الماء (الأمطار، المياه الجوفية... وغيرها). وتعتبر مياه الأمطار هي أقل مصادر المياه من حيث احتوائها على الأملاح، يليها مياه الأنهار ثم المياه الجوفية. وتختلف طريقة الحكم على مدى صلاحية الماء تبعاً للغرض المستخدمة من أجله، مثل الاستخدام الآدمي للشرب أو الاستخدام الصناعي، أو للري... وغيرها.

وتوجد عدة طرق يمكن بها تقدير التركيز الكلي للأملاح الذائبة في الماء وأهم هذه الطرق طريقة قياس التوصيل الكهربائي. وتعتبر من أفضل طرق قياس الملوحة لدقتها وسرعتها بالإضافة إلى أنها غير مكلفة ولا تغير أو تستهلك أي جزء من العينة. ويستخدم في قياس التوصيل الكهربائي أجهزة تسمى أجهزة قياس درجة التوصيل الكهربائي (Electrical Conductance-meters) (الصورة ٩,١).



الصورة (٩،١). جهاز قياس التوصيل الكهربائي سيبيكترولوفوتومتر EC-meter الموجود بمختبرات قسم علوم التربة.

طريقة عمل الجهاز

ويتم قياس درجة التوصيل الكهربائي للماء حسب الخطوات التالية :

- ١- يوصل الجهاز بتيار كهربائي مناسب ذات شدة ثابتة.
- ٢- يضبط الجهاز باستخدام محلول قياسي من كلوريد الصوديوم.
- ٣- تملأ خلية التوصيل بالمحلول المراد قياسه بحيث يغمر تماماً، وتسجل درجة حرارة المحلول المقاس.
- ٤- تحسب درجة التوصيل الكهربائي (EC) للمحلول المراد قياسه معدلة على درجة حرارة ٢٥°م.

٥- عند الانتهاء من التقدير تغسل الخلية بالماء المقطر جيداً مع غمس القطبين في ماء مقطر.

ويقدر التوصيل الكهربى بوحدة الملليموز (millimohs) أو الميكروموز (micromohs). وقد استبدلت هذه الوحدة بالوحدة القياسية العالمية SI Units حيث إن:

$$1 \text{ millimohs} / \text{cm} = 1 \text{ dSm}^{-1}$$

ويمكن تحويل رقم التوصيل بالمليموز / سم (ديسيمنز / م) إلى ملليمكافئ / لتر وذلك بضرب هذا الرقم في ١٠ والرقم الناتج تقريبي ولكنه يعطي تقديراً مناسباً لتركيز الأملاح الذائبة بالملليمكافئ / لتر. كما يمكن تحويل رقم التوصيل بالمليموز / سم إلى جرام / لتر بضرب هذا الرقم في ٠.٦٤. وهذه العلاقة غير ثابتة تتغير حسب نوع الأملاح وهي علاقة خطية بالنسبة لدرجات الـ EC المنخفضة (٠.١ إلى ٥ ديسيمنز / م) وبارتفاع قيمة الـ EC عن هذا الرقم يميل الخط للانحناء.

(١, ٢, ٩) تعيين ثابت الخلية Kc لجهاز التوصيل الكهربى

بتطبيق المعادلة التالية:

$$Kc = \left(\frac{1412}{C_{KCl}} \right) \times [(1+0.019)(t-25)] \quad (٩, ١)$$

حيث:

C_{KCl} = التوصيل الكهربى ميكروموز / سم

Kc = ثابت الخلية (cm^{-1}).

t = درجة حرارة المحلول

المحلول القياسي:

٠.٠١ مولر من ملح KCl.

$L =$ التوصيل النوعي المعروف للمحلول القياسي ، ويساوي ١٤١١٨ ميكروموز / سم عند ٢٥°م.

(٣, ١, ٢, ٩) العوامل التي تسبب تغير ثابت الخلية (K)

- ١- تراكم بعض الرواسب على سطح القطبين مما يقلل من المساحة الفعالة.
- ٢- قد يحدث إزاحة في وضع الألكترود عندما تصدم الخلية بعائق صلب من العينة ويمكن تصحيح القراءة بالمعادلة.

$$R_{25} = R_T (1 + 0.02\Delta T) \dots\dots\dots (٢, ٩)$$

حيث

$$R_{25} = EC \text{ عند } ٢٥^\circ \text{ م.}$$

$$R_T = \text{المقاومة النوعية المقاسة على درجة حرارة أعلى أو أقل من } ٢٥^\circ \text{ م.}$$

$$\Delta T = \text{الفرق بين درجة الحرارة } ٢٥^\circ \text{ م ودرجة حرارة المحلول.}$$

أ) تقدير المواد الصلبة الذائبة (TDS) Total Dissolved Solid

يحتوي الماء على مواد صلبة تكون ذائبة أو معلقة. وتعتبر المواد الصلبة ذائبة بمرورها خلال فلتر من الفيبيرجلاس سعة مسامه ٠,١ ميكرومتر. والطريقة المعتمدة لتقدير المواد الصلبة الذائبة فيكون عن طريق التجفيف الذي يمر من عينة معلومة الحجم خلال فلتر سعة مسامه ٠,١ ميكرومتر في وعاء معلوم الوزن عند درجة حرارة ١٨٠°م.

ولإجراء هذا الاختبار، تؤخذ عينة من الماء المطلوب تعيين الـ (TDS) له ويتم معادلتها باستخدام محلول مخفف من حامض الهيدروكلوريك HCl أو هيدروكسيد الأمونيوم NH₄OH بالجرام أو المليلجرام في اللتر. وتعتبر هذه الطريقة تقريبية حيث إن بعض المواد العضوية يمكن أن تذوب في الماء بدون أن ينتج عنها أيونات مثل السكر الذائب ولا يمكن تقديره بهذه الطريقة.

(٩,٢,٢) تقدير اللون Color

يعتبر اللون مدلولاً لطبيعة المياه، والمياه بصفة عامة يمكنها اكتساب أي لون. ويعبر مدلول لون المياه باللون البني عن زيادة نسبة المواد الدبالية. بينما اللون البني المخضر يعبر عن زيادة نسبة المواد الدبالية والطحالب، بالإضافة إلى وجود نسبة من بقايا النباتات في حين يعبر اللون الأخضر للمياه عن زيادة نسبة الطحالب. كما يعبر اللون الأحمر عن زيادة نسبة بعض الأملاح وقد يرجع أيضاً إلى وجود أنواع خاصة من البكتيريا. ويدل أيضاً لون المياه المائل إلى الزرقة إلى وجود الطحالب الزرقاء. ويمكن تقدير لون الماء باستخدام مقياس ضوئي (Photo-meter) (الصورة ٩,٢) معايير على أساس وحدات لونية تعتمد على محلول قياسي يكون فيه كل وحدة لون تساوي ١ ملجم / لتر بلاتين على صورة أيون كلوروبلاتينات (Maiti, 2004). وهناك نوعان من طرق تقدير لون الماء، تقدير حقيقي وفيه يتم ترشيح عينة الماء باستخدام فلتر غشائي (Filter membrane). وتقدير ظاهري وفيه لا يتم ترشيح عينة الماء باستخدام الفلتر الغشائي، كما تستخدم الكواشف في تقدير لون الماء.



الصورة (٩,٢). جهاز الفوتومتر لتقدير لون الماء الموجود بمختبرات قسم علوم التربة.

الكواشف

- ١- ماء منزوع الأيونات Deionized water.
- ٢- محلول قياس من بوتاسيوم كلورو بلاتينات (K_2PtCl_6) ٥٠٠ ملجم/لتر Pt. وذلك بإذابة ١.٢٤٦ جم من البوتاسيوم كلورو بلاتينات، ١ حم كلوريد كوبالت ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) في ماء مقطر ويضاف إليها ١٠٠ ملليلتر حمض هيدروكلوريك مركز ويكمل المحلول إلى اللتر وهذا المحلول القياسي يحتوي على ٥٠٠ وحدة لون (HZ).
طريقة العمل

- ١- عمل منحنى قياسي للألوان في أنابيب نسلسر سعة ٥٠ مل بإضافة ٠.٥ ، ١ ، ١.٥ ، ٢ ، ٢.٥ ، ٣ ، ٣.٥ ، ٤ ، ٤.٥ ، ٥ ، ٦ ، ٧ مل من المحلول القياسي ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر وهذه المحاليل تعطي ٥ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ ، ٢٥ ، ٣٠ ، ٣٥ ، ٤٠ ، ٤٥ ، ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ (HZ) وهذا المحلول يمكن الاحتفاظ به لعدة أشهر.
- ٢- يضبط الجهاز على طول موجة ٤٥٥ ملليمكرون.
- ٣- ترشح عينات الماء باستخدام ورق ترشيح ذو ثقوب صغيرة جداً (Very Fine)
- ٤- تؤخذ قراءة الجهاز لعينة ماء منزوعة الأيونات (الشاهد) مفلترة (في حالة تقدير اللون الحقيقي) أو غير مفلترة (في حالة تقدير اللون الظاهري) وهي Zero وحدة لون Pt/Co.

- ٥- توضع عينة الماء المراد تقدير لونها الحقيقي أو الظاهري ثم تؤخذ قراءة الجهاز يحدد لون العينة من المنحنى القياسي وفقاً للمعادلة:

$$Color Units (HZ) = \frac{A \times V}{B} \dots\dots\dots (٩,٣)$$

حيث:

A = تركيز لون العينة من المنحنى.

$B =$ حجم العينة.

$V =$ حجم أنبوبة نسلر

(٩, ٢, ٣) قياس المواد المشعة

التحلل الإشعاعي لعناصر عينة غير مستقرة ينتج إشعاعات المسماة بإشعاعات ألفا (α) وبيتا (β) وجاما (γ) والجسم البشري حساس جداً للتلف من إشعاعات ألفا وجاما. والتعرض التراكمي للإشعاعات يمكن أن يسبب بياض الدم وعيوب خلقية بالمواليد وتختلف عقلي والأورام السرطانية. إن استخدام الطاقة الذرية يزيد من فرض التعرض للتلوث الإشعاعي لكل من مصادر المياه السطحية والجوفية. يتلوث الماء بالنظائر المشعة وهي عناصر ذات ذرات تحتوي نواتها على العدد الواحد من البروتونات ولكنها تختلف بعدد النيوترونات. وذرات العناصر المشعة غير مستقرة حيث إنها تحتوي على كمية كبيرة من الطاقة. وهي تتجه نحو الاستقرار بفقد فائض الطاقة على هيئة إشعاعات خاصة تصدر من تفكك نواة النظير تلقائياً على نواة أصغر تحمل طاقة أقل. وهذا الفرق في الطاقة يصدر على هيئة جسيمات مشعة هي جسيمات ألفا (α) Alpha particles وبيتا (β) Beta particles وجسيمات جاما (γ) Gamma rays (Eaton et al., 2005). وتصدر جسيمات ألفا من نواة العناصر الثقيلة كاليورانيوم-٢٣٨ حسب المعادلة التالية:

يورانيوم ٢٣٨ ← ثوريوم ٢٣٤ + جسيمات ألفا.....(٩,٤)

وتنطلق جسيمات بيتا على هيئة أشعة عندما يتحول الكربون-١٤ المشع إلى نظيره الكربون-١٢. أما أشعة جاما هي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية لا تحمل أي شحنة ولكنها ذات طاقة كبيرة تستطيع بها اختراق أنسجة الكائن الحي حتى أعماق كبيرة. وتصدر هذه الأشعة من بعض النظائر المشعة مثل سيزيوم-١٣٧ وكوبالت -٦٠ (Eaton et al., 2005).

ويقاس التلوث بالمواد المشعة باستخدام أجهزة تبعاً للغرض ونوع الأشعة الملوثة المراد قياسها. ومن هذه الأجهزة عداد ألفا Alpha Counter وعداد بيتا Beta Counter وعداد جاما Gamma Counter.

كما يستخدم عداد جيجر Geiger Counter للكشف على وجود المواد المشعة ووحدات قياس التلوث بالمواد المشعة عديدة منها البكريل وهي إشعاعية المادة المشعة لكل ثانية. كما تستخدم أيضاً وحدة الكوري كوحدات مستخدمة لقياس شدة الإشعاع.

(٩, ٢, ٤) قياس الرائحة Odor

وهذا اختبار لا أهمية له من الناحية الصحية إلا أنه يفضل أن تكون المياه لا رائحة لها. وتقاس رائحة الماء بتحضير عينات من الماء تحت الاختبار مخففة عدة درجات ويحدد بواسطة حاسة الشم التخفيف الذي تنعدم عنده ظهور الرائحة وهذا ما يسمى Threshold odor value (Eaton et al., 2005).

(٩, ٢, ٥) تقدير رقم الأس الهيدروجيني (pH)

إن درجة حموضة أو قلوية الماء تقدر بمعرفة تركيز أيو الهيدروجين (H^+) فالماء الحمضي يحتوي على تركيز أعلى من أيونات الهيدروجين عن أيونات الهيدروكسيل (OH^-)، بينما الماء القاعدي أو القلوي يحتوي على تركيز أعلى من أيونات الهيدروكسيل عن أيونات الهيدروجين. ولوصف هذه الظروف فيستخدم اصطلاح pH الذي اقترحه سورنسن Sorenson سنة ١٩٠٩م ويعرف كما يلي:

$$pH = -\log[H^+] = \log 1/[H^+] \dots\dots\dots (٩, ٥)$$

وفي هذه المعادلات فإن الحرف p يعبر عن اللوغاريتم السالب و $[H^+]$ هو تركيز أيون الهيدروجين. والوحدة $[H^+]$ تقاس بالنشاط Activity أو بالمول في اللتر moles/L والنشاط يعرف أيضاً بأنه التركيز الفعال، وهو الجزء الفعلي من تركيز أيون

الهيدروجين والذي يشترك في التفاعلات الكيميائية. وفي المحاليل المخففة، فالنشاط يساوي التركيز الفعلي.

وحيث إن ١ مول من الهيدروجين = ١ جم، فإن وحدة الجرام في اللتر تكون مقلوبة في حساب قيم الـ pH وقيم تركيز أيونات الهيدروجين عادة صغيرة جداً. ففي المحلول المتعادل، والذي يحتوي كميات متساوية من H^+ و OH^- ، فتركيز أيون الهيدروجين قيمته 1×10^{-7} جرام في اللتر واستخدام هذه الأرقام الصغيرة يمثل مشكلة، ولذلك فيكون من الأنسب استخدام قيم الـ pH الذي يتراوح بين صفر و ١٤. وقيم الـ pH الأعلى تعني انخفاض تركيز أيونات الهيدروجين، أو بمعنى آخر الأقل حموضة، ومن ثم يكون تركيز الهيدروكسيل مرتفعاً. ويمكن توضيح ما سبق من

المثال:

مثال

إذا كان تركيز أيونات الهيدروجين في عينة ماء 1×10^{-6} فيكون رقم الـ pH

لهذه العينة كما يلي:

$$\begin{aligned} \text{pH} &= -\log 10^{-6} \\ &= -(-6) = 6 \end{aligned}$$

ومن المعروف أن قانون فعل الكتلة ينص على أن حاصل تركيزي الهيدروجين و الهيدروكسيل دائماً ثابت. وهذا القانون يمكن كتابته كما يلي:

$$[H^+][OH^-] = 10^{-14}$$

وبأخذ اللوغاريتم السالب لكلا الجانبين في المعادلة السابقة، فإن المعادلة تصبح كما يلي:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

حيث إن حاصل جمع الـ pH والـ pOH ثابت (١٤) فيكون هناك علاقة بين

تركيزي أيونات الهيدروجين والهيدروكسيل في المحلول وعلى ذلك يكون تقدير تركيز أحدهما بمعرفة تركيز الآخر.

(١, ٢, ٥, ٩) طريقة قياس الـ pH باستخدام الجهاز

في هذه الطريقة تستخدم أقطاب لقياس تركيز أيون الهيدروجين في محلول التربة. وبالرغم من أنه يوجد عدد كبير من الأقطاب، إلا أنه يستخدم عادة ثلاثة فقط في قياس رقم الـ pH. فهناك القطب الزجاجي Glasses electrode، ويسمى هذا بالقطب الدليل Indicator electrode (نظراً لأن جهده يعتبر كدالة لتركيز الأيونات الذائبة) وقطب الكالوميل Calomel electrode، وهو يعرف بالقطب المرجع Reference electrode وقطب الزجاج المزوج Combination glass electrode وهو يجمع بين القطب الدليل والقطب المرجع في قطب واحد (الصورتان ٩.٣ - ٩.٤). وعند وضع القطب في المحلول يتولد فرق في الجهد بين قطبي الدليل والمرجع (أو القطب المزوج) وبين المحلول (Eaton et al., 2005). وتناسب الفرق فالجهد مع تركيز أيون الهيدروجين والذي يمكن تحويله إلى وحدات الـ pH.



الصورة (٩,٣). جهاز تقدير رقم الحموضة pH-meter .



الصورة (٩،٤). مجموعة أقطب قياس تركيز الهيدروجين.

وعندما تمر تيار كهربائي خلال القطبين والمحلول، يستطيع جهاز قياس رقم الـ pH قياس هذا التيار وتحويله إلى قراءة للرقم الهيدروجيني (pH) ويمكن الحصول على قراءة تقترب من ٠.٠٥ وحدة. كما أن بعض الأجهزة يمكنه القراءة إلى ٠.٠١ وحدة من رقم الأس الهيدروجيني (pH) وتسجل القيم في العادة إلى أقرب ٠.١ وحدة من رقم الأس الهيدروجيني.

الكواشف

وهي محاليل منظمة ذات رقم أس هيدروجيني (٩، ٧، ٤) وذلك لمعايرة جهاز قياس الأس الهيدروجيني pH-meter.

طريقة العمل

١- يضبط جهاز القياس بوضع القطب الزجاجي المزدوج في محلول منظم Buffer solution رقم أسه الهيدروجيني ٧. ثم يضبط الجهاز حتى يقرأ pH = ٧. ويرفع

القطب ويغسل بالماء المقطر ويوضع مرة أخرى في محلول منظم أسه الهيدروجيني ٤ ليقراً الجهاز $\text{pH} = 4$ ، ويزال القطب من المحلول المنظم ، ويغسل بالماء المقطر ويجفف. ويجب مراجعة قراءة الجهاز باستعمال المحلول المنظم قبل البدء في قراءة أية مجموعة من العينات ، وكذلك بعد اختبار عدة عينات من المجموعة نفسها.

٢- يوضع القطب في عينة الماء ويقراً رقم الأس الهيدروجيني عند ثبات القراءة على الجهاز.

٣- بعد الانتهاء من القياس ، يغسل القطب بالماء المقطر ، ثم يوضع في محلول منظم أسه الهيدروجيني ٧. ثم يحفظ مغموراً في ماء مقطر ويفضل في محلول منظم أسه الهيدروجيني ٧ للاستعمال فيما بعد.

(٢, ٥, ٢, ٩) تقدير الحموضة الكلية بالمعايرة

يعبر عنها بعدد ملليجرامات هيدروكسيد الصوديوم المستهلكة لمعايرة لتر واحد من الماء. وحموضة الماء دليل على تلوث الماء بأحماض عضوية كحمض الكربونيك أو أحماض معدنية أخرى كحمض الكبريتيك أو زيادة في تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون الذائب في هذه المياه. كما أن حموضة الماء دليل على تأثيرها التآكلي (Eaton et al., 2005).

الكواشف

- دليل برتقالي الميثيل Methyl orange ويحضر بتركيز ٠,٠٢٪ في الماء.
- محلول هيدروكسيد الصوديوم NaOH ٠,١ ع ويحضر بإذابة ٤ جم من هيدروكسيد الصوديوم في ١ لتر ماء مقطر ونضبط قوته باستخدام محلول قياسي من حمض معلوم العيارية (0.1 N HCl).

طريقة العمل

- ١- يوضع ١٠٠ مل من عينة الماء في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مليلتر ثم يضاف إليها عدة نقط من دليل برتقالي الميثيل ، وفي حالة عدم وجود الدليل يغمس القطب الكهربائي لجهاز قياس الأس الهيدروجيني في عينة الماء.

- ٢- تعايير العينة باستخدام هيدروكسيد الصوديوم حتى ظهور اللون الأصفر الباهت مع رج العينة أثناء المعايرة أو تعطى قراءة جهاز الأس الهيدروجيني قراءة = ٤,٣ .
- ٣- تحسب حموضة الماء من المعادلة التالية :

$$\frac{ح \times ع \times ١٠٠٠}{حجم العينة} = \text{حموضة الماء (ملليمكافئ أو ملليمول/لتر)}$$

حموضة الماء (ملليجرام هيدروكسيد صوديوم / لتر)

$$= ((ح \times ع \times \text{الوزن المكافئ لهيدروكسيد الصوديوم}) \times (١٠٠٠ \div \text{حجم العينة}))$$

حيث :

ح = حجم محلول هيدروكسيد الصوديوم المستهلك في المعايرة.

ع = عيارية هيدروكسيد الصوديوم المستخدم.

مثال

حجم عينة الماء ٥٠ مل وحجم هيدروكسيد الصوديوم (٠,٠١ ع) اللازم لمعايرة حموضة الماء حتى pH ٤,٣ هو ٢٠,٢ مليلتر. أحسب حموضة الماء؟

الحل

$$\text{حموضة الماء} = ((٠,١ \times ٢٠,٢) \times (٥٠/١٠٠٠))$$

$$= ٤,٠٤ \text{ ملليمكافئ هيدروكسيد صوديوم / لتر}$$

$$= ٤٠ \times ٤,٠٤ = ١٦١,٦ \text{ مليجرام هيدروكسيد صوديوم / لتر}$$

(٩,٢,٦) تقدير قاعدية الماء بالمعايرة Water Alkalinity

تعد قاعدية الماء مؤشراً على تلوث المياه بالمخلفات البيولوجية والكيميائية وتعتبر مياه المجاري والمخلفات الصناعية من أهم المصادر المسببة لقاعدية الماء. وتعرف قاعدية الماء بأنها عدد مللي مولات أو ملليمكافئات حمض الهيدروكلوريك المستهلكة

في معايرة لتر واحد من عينة الماء تحت الدراسة. وأهم الملوثات القاعدية هي الكربونات والبيكربونات والهيدروكسيدات.

الكواشف

١- دليل الفينول فتالين (phph) ١٪ في ٦٠٪ كحول إيثانول.

٢- دليل برتقالي الميثيل (MO) ٠,٠٢٪ في الماء.

٣- حمض الهيدروكلوريك ٠,٠١ ع.

طريقة العمل

١- يؤخذ ٢٠٠ سم^٣ من عينة الماء في دورق مخروطي، ثم يضاف عدة نقط من دليل الفينول فتالين. وفي حالة عدم توفر هذا الدليل فيمكن استخدام جهاز الأس الهيدروجيني pH meter وذلك بغمس قطب الجهاز في عينة الماء.

٢- تعابير العينة بواسطة حمض الهيدروكلوريك حتى يتحول اللون من الوردي إلى عديم اللون أو يعطي جهاز قياس الأس الهيدروجيني قراءة ٨,٣.

٣- حساب القاعدية الجزئية الناتج عن وجود الهيدروكسيدات والبيكربونات الملوثة للماء حسب المعادلة التالية:

$$\frac{\text{حجم الحمض} \times \text{عيارية الحمض} \times ١٠٠٠}{\text{حجم العينة}} = \text{القاعدية الجزئية (ملليمكافئ / لتر)}$$

$$\text{القاعدية الجزئية (ملليجرام / لتر)} = \text{القاعدية الجزئية} \times ٥٨,٥$$

٤- يضاف على نفس العينة عدة نقاط من برتقالي الميثيل أو يستخدم جهاز قياس الأس الهيدروجيني ثم تعابير العينة حتى يتكون اللون الأصفر الباهت أو يعطي الجهاز قراءة = ٤,٥.

٥- تحسب القاعدية الكلية Total alkalinity لعينة الماء والناتجة عن تلوث الماء بالكربونات والبيكربونات والهيدروكسيدات تبعاً للمعادلة التالية:

$$\frac{\text{حجم الحمض} \times \text{عيارية الحمض} \times 1000}{\text{حجم العينة}} = \text{القاعدية الكلية (ملليمكافئ/ لتر)}$$

ويجب ملاحظة أن قاعدية الماء الجزئية هي التي تحدد الأس الهيدروجيني التي تتم عندها المعايرة لحساب القاعدية الكلية. فإذا كانت القاعدية الجزئية أقل من ٣٠ ملليجرام/ لتر فتتم المعايرة الكلية حتى الأس الهيدروجيني ٥.١. وإذا كانت بين ٣٠ - ١٥٠ ملليجرام/ لتر تعابير حتى الأس الهيدروجيني ٤.٥، بينما إذا زادت القاعدية الجزئية عن ٥٠٠ ملليجرام/ لتر فإن عينة الماء تعابير كلياً حتى الأس الهيدروجيني = ٢.٧٥.

مثال

إذا كان حجم عينة الماء المستخدم لتقدير قاعدية الماء ٢٠٠ مل وحجم حمض الهيدروكلوريك ٠.٠١ ع اللزم للمعايرة في وجود دليل phph ٥ مل، المطلوب حساب القاعدية الجزئية والقاعدية الكلية:

الحل

$$\begin{aligned} \text{القاعدية الجزئية للماء} &= ((200/1000) \times 0.01 \times 5) = 2.5 \text{ ملليمكافئ/ لتر} \\ \text{القاعدية الجزئية} &= 58.5 \times 2.5 = 146.25 \text{ ملجم/ لتر} \\ \text{القاعدية الكلية للماء} &= ((200/1000) \times 0.01 \times 8) = 0.4 \text{ ملليمكافئ/ لتر} \\ &= 58.5 \times 0.4 = 23.4 \text{ ملجم/ لتر} \end{aligned}$$

(٩, ٢, ٧) تقدير ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء

يجري هذا التقدير على عينات المياه ويجب إجراؤه فور أخذ العينة، لذلك يجب عند أخذ العينة أن تملأ الزجاجاة كاملة بالمياه مع عدم ترك أي فراغ وتحفظ في الثلاجة أو في مكان بارد (Eaton et al., 2005). ويتواجد ثاني أكسيد الكربون في الماء نتيجة تحلل المواد العضوية أو نتيجة نشاط وتنفس الكائنات الحية الموجودة في الماء، وهو يشكل خطورة بالغة على الكائنات المائية حيث يؤدي ارتفاع تركيزه إلى هلاك كثير من الأسماك.

مواد التفاعل

- ١- محلول ٠,٠٢ ع NaOH .
- ٢- دليل الفينول فتالين ١ جم من الدليل في ١٠٠ مل كحول إيثانول.

طريقة العمل

- ١- يؤخذ حجم مناسب وليكن ٢٥ مل في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل ويضاف إليها ٥ نقاط من دليل الفينول فتالين.
 - ٢- تعابير العينة بمحلول ٠,٠٢ ع NaOH مع التقليب حتى ظهور اللون الأحمر الفاتح.
- طريقة الحساب

$$\text{تركيز CO}_2 \text{ (ملجم / لتر)} = \text{حجم NaOH } 0.02 \times 44 \times \frac{1000}{\text{حجم العينة}}$$

مثال

- حجم عينة الماء ٥٠ مل وكان حجم هيدروكسيد الصوديوم (٠,٠٢ ع) اللازم للمعايرة حتى ظهور اللون الأحمر في وجود دليل phph هو ٤ مل.
- الحل

$$\text{تركيز CO}_2 = ((50/1000) \times (4 \times 0.02 \times 44)) = 6.4 \text{ ملجم / لتر}$$

(٩,٣) الخواص الكيميائية للمياه

(٩,٣,١) تقدير النيتروجين الكلي

يوجد أربع صور للنيتروجين وهي النيتروجين النتراتى (NO₃-N)، والنيتروجين الأمونيومى (NH₃-N)، والنيتروجين العضوي ويمكن تقدير كل صور النيتروجين دفعة واحدة بطريقة (TKN) (Total Kjeldahl Nitrogen) فقد وجد Metcalef and Eddy أن

(TKN) لمياه الصرف الصحي الغير معالجة حوالي ٨٥ ملجم / لتر وللمياه المعالجة ٤٠ ملجم / لتر والمياه المنخفضة ٢٠ ملجم / لتر. ثم يتم تقدير النيتروجين الكلي (Maiti, 2004).

الكواشف

- ١- محلول الهضم: يحضر بإذابة ١٣٤ جم كبريتات بوتاسيوم ، ٧.٣ جم كبريتات نحاس في ٨٠٠ مل ماء مقطر ثم يضاف إليها باحتراس ١٣٤ مل حمض كبريتيك مركز وتترك لتبرد إلى درجة حرارة الغرفة ويكمل الحجم إلى اللتر وتغلق الزجاجية وتحفظ عن ٢٠م.
- ٢- دليل الفينولفثالين: يحضر بإذابة ٥ جم دليل في ٥٠٠ مل كحول إيثانول ٩٥٪ ثم يضاف ٥٠٠ مل ماء مقطر وبضع نقاط من محلول هيدروكسيد الصوديوم ٠.٠٢ ع حتى يظهر اللون الزهري الخفيف.
- ٣- محلول هيدروكسيد الصوديوم وثيو سلفات الصوديوم: يحضر بإذابة ٥٠٠ جم هيدروكسيد صوديوم مع ٢٥ جم ثيو سلفات الصوديوم في ماء مقطر ويكمل الحجم إلى اللتر.
- ٤- الدليل المختلط: يحضر بإذابة ٠.٢ جم دليل أحمر الميثيل في ١٠٠ مل كحول إيثانول ٩٥٪ ثم يذاب ٠.٢ جم دليل برومو كريزول الأخضر في ١٠٠ مل كحول إيثانول ٩٥٪ ويخلط بنسبة ٧٠ مل : ١٠٠ مل على التوالي ويضبط رقم الحموضة بإضافة ٢٠ مل هيدروكسيد صوديوم ٠.٠١ ع ويكمل الحجم إلى ٢٥٠ مل في دورق معياري.
- ٥- حمض بوريك ٢٪: يحضر بإذابة ٢٠ جم حمض بوريك في ٨٠٠ مل ماء مقطر ويسخن ثم يترك ليبرد ثم يضاف إليه ١٠ مل دليل مختلط ويكمل الحجم إلى اللتر.

٦- محلول حمض الكبريتيك ٠,٠٢ ع: يحضر محلول حوالي ٠.١ عياري وذلك بتخفيف ٣ مل حمض كبريتيك مركز إلى اللتر بالماء المقطر ويؤخذ منه حجم ٢٠ مل ويخفف إلى ١٠٠ ملل ويتم ضبط عيارية الحمض بواسطة محلول قياسي من كربونات الصوديوم ٠,٠٢ ع (١,٠٦ جم كربونات صوديوم جافة عند ١٤٠م تخفف إلى اللتر).

طريقة العمل

أولاً: هضم العينة

- ١- يؤخذ ٥٠ مل من عينة الماء في دورق كلداهل سعة ٥٠٠ مل ويضاف إليها ٥٠ مل محلول هضم وحوالي ٢٠٠ مل ماء مقطر ثم التسخين.
- ٢- استمرار التسخين حتى نهاية هضم العينة حيث يصبح لونها عند نهاية الهضم أخضر فاتح ثم تبرد وتخفف إلى حوالي ٢٠٠ مل بالماء المقطر.
- ٣- يضاف إلى العينة باحتراس وعناية ٥٠ مل محلول هيدروكسيد الصوديوم وثيو سلفات الصوديوم وترج وتخلط بالعينة.

ثانياً: التقطير

- ١- يؤخذ ٥٠ مل حمض بوريك مضاف إليه الدليل المختلط في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل ويوضع الدورق أسفل جهاز كلداهل.
- ٢- يتم تشغيل جهاز التقطير بعد ضبط البرنامج المناسب ويتم استقبال ناتج التقطير حتى يصبح حجم المحلول حوالي ١٠٠ مل وتغسل الأنبوبة المغموسة في الحمض بالماء المقطر.
- ٣- يتم معايرة الأمونيا المستقبلية في حمض البوريك باستخدام حمض كبريتيك ٠,٠٢ ع حتى يصبح لون الوسط وردي خفيف.

الحساب

$$\begin{aligned} & \text{النيتروجين الكلي} = ((\text{حجم الحمض} \times \text{عيارية الحمض} \times 14)) \\ & \times (1000 \div \text{حجم العينة}) \\ & = \text{حجم الحمض} \times 0.6 \text{ ملجم / لتر} \\ & \text{(٩, ٣, ٢) تقدير الأمونيا (NH}_3\text{ - N)} \end{aligned}$$

توجد الأمونيا في المياه السطحية ومياه الصرف الصحي، وبصفة عامة تكون منخفضة في المياه الجوفية وذلك بسبب إدمصاصها على حبيبات الطين مما يمنع غسلها لأسفل، وتنتج الأمونيا في مياه الصرف الصحي نتيجة النشاط الميكروبي والتي تحلل المواد العضوية، وتتراوح كمية الأمونيا في المياه السطحية والمياه الجوفية أقل من ١٠ ملجم/لتر وفي مياه الصرف الصحي تكون أكثر من ٣٠ ملجم/لتر، وإن وجود النترات في المياه الجوفية يكون أحد الدلائل على تلوثها بمياه الصرف الصحي وتتواجد الأمونيا على صورتين هما (NH₃, NH₄⁺) وتعتمد صورة تواجدتها على رقم حموضة (pH) المياه حيث يزداد وجود (NH₄⁺) في الوسط المتعادل والحمضي وصورة (NH₃) في الوسط القاعدي.

(٩, ٣, ٢, ١) طريقة التقدير باستخدام محلول نسلر (الطريقة اللونية)

(Maiti, 2004)

الكواشف

١- محلول كبريتات: الزنك يحضر بإذابة ١٠٠ جم ZnSO₄.7H₂O في ١٠٠ مل من الماء المقطر.

٢- محلول هيدروكسيد الصوديوم (٦ ع): يحضر بإذابة ٢٤ جم من هيدروكسيد الصوديوم في ١٠٠ مل ماء مقطر.

٣- محلول الفيرسين EDTA: يحضر بإذابة ٥٠ جم EDTA في ٦٠ مل محلول يحتوي على ١٠ جم هيدروكسيد صوديوم، يسخن حتى تتم إذابة الفيرسين ثم يبرد ويكمل الحجم إلى ١٠٠ مليلتر.

٤- محلول روشيل (طرطرات الصوديوم والبوتاسيوم $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$): يحضر بإذابة ٥٠ جم في ١٠٠ مل ماء مقطر ويسخن لخروج فقاعات الأمونيا ثم تبرد ويكمل إلى ١٠٠ مل.

٥- محلول نسلو: يحضر بإذابة ١٠٠ جم HgCl_2 ، ٧٠ جم KI في كمية قليلة من الماء المقطر ثم يضاف هذا الخليط إلى محلول بارد ذائب فيه ١٦٠ جم NaOH في ٥٠٠ مل ماء مقطر ويكمل الخليط إلى اللتر ويترك ٢٤ ساعة ثم يرشح المحلول في صوف زجاجي قبل الاستخدام.

٦- محلول مركز من الأمونيا: يحضر بإذابة ٣,٨١٩ جم من NH_4Cl مجفف على ١٠٠ مل ويخفف إلى لتر (1000 ppm N).

٧- محلول قياسي من الأمونيا: يحضر بتخفيف ١٠ مل من المحلول المركز إلى ١ لتر (10 ppm N).

طريقة التقدير

- ١- يؤخذ ١٠٠ مل من عينة الماء في دورق ويضاف إليها ١ مل محلول كبريتات الزنك ثم ٥ مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم لضبط رقم الحموضة عند pH ١٠,٥ ثم تترك العينة فترة قصيرة ثم ترشح باستخدام ورق ترشح Whatman 42.
- ٢- يؤخذ حجم مناسب من الراشح (٥٠ مل) في دورق معياري سعة ١٠٠ مل ويضاف إليها ٣ نقاط من محلول روشل أو نقطة من الفيرسين وتخلط جيداً.

- ٣- يضاف ٣ مل من محلول نسلر عند استخدام الفيرسين أو ١ مل عند استخدام محلول روشل ، ثم يكمل الحجم في الدورق إلى العلامة بالماء المقطر.
- ٤- يقرأ اللون على جهاز Spectrophotometer عند طول موجي ٤١٠ نانومتر.

- ٥- يعمل منحنى قياسي للأمونيا يتراوح تركيزه من ٠,٥ - ١,٢٠ ملجم/١٠٠ مل وبحسب تركيز الأمونيا باستخدام المعادلة التالية:
- تركيز الأمونيا ملجم/لتر = تركيز العينة ملجم/لتر (من المنحنى القياسي) × نسبة التخفيف
- (٢, ٢, ٣, ٩) تقدير النيتريت (NO_2^-)
- توجد عدة طرق كما يلي:

١- طريقة التقدير باستخدام حمض السلفانيلك Sulphanilic Acid

يتم تقدير النيتريت في المياه لقياس مدى تلوثها بمياه الصرف الصحي أو الصناعي حيث يقل تركيز أيون النيتريت في المياه السطحية العذبة عادة عن ٠,٠٠٥ ملجم/لتر ونادراً وجوده في المياه الجوفية. ويقدر النيتريت لونياً على طول موجة قدره ٥٢٥ نانومتر (Eaton et al., 2005).

الأدوات المستخدمة:

- ١- جهاز التقدير اللوني Spectrophotometer موجة ٥٢٥ نانومتر.

- ٢- دوارق معيارية سعة ٥٠ مل.

الكواشف:

- ١- حمض السلفانيلك Sulphanilic Acid: يذاب ٠,٥ جم حمض السلفانيلك في ١٢٠ مل ماء مقطر ثم يضاف إليه ٣٠ مل حمض الخليك Acetic Acid مع التقليب والتسخين (٤٠ - ٦٠ م°).

٢- حمض الخليك Acetic Acid: يخفف ٣٠ مل حمض خليك المركز إلى ١٥٠ مل ماء مقطر مع التقليب.

٣- محلول الأمين Amine Solution: يؤخذ ١٢ مل حمض خليك وتضاف إليها ٠.٢ جم حمض أمينوفثالين سلفونيك (Amino Naphthalene-7-Sulphonic Acid) ثم يكمل المحلول إلى ١٥٠ مل بالماء المقطر وتخلط جيداً مع التدفئة على حرارة من ٤٠ - ٦٠ °م.

٤- حمض الكبريتيك ١,٠ ع: يؤخذ ١٠ مل حمض كبريتيك ١,٠ ع ويكمل المحلول إلى ١٠٠ مل ماء مقطر.
طريقة العمل:

١- القيام بترشح عينات المياه إذا كان بها مواد عالقة.

٢- يضاف ٥ مل من الماء في دورق معياري سعة ٥٠ مل ثم يضاف ١ مل حمض كبريتيك ٠,١ ع ثم يضاف ٢ مل حمض السلفانيلك وترج الدوارق مع الانتظار لمدة ٥ دقائق ثم يضاف ٥ مل من حمض أمينونفثالين سلفونيك ثم يكمل الدورق المعياري إلى ٥٠ مل وتترك حتى يكتمل ظهور اللون الأحمر ويترك التقدير بعد حوالي ١٥ دقيقة.

٣- يتم نفس الخطوة الثانية مع الماء المقطر بدلاً من العينة لتحديد قيمة الشاهد مع عدم إضافة حامض أمينونفثالين سلفونيك ويضاف بدلاً منه حمض الخليك.

٤- يتم عمل محلول قياسي للنترتريت ويحضر بإذابة ٢٤٦.٤ ملجرام نيتريت الصوديوم في دورق معياري سعة ١ لتر ثم يضاف ٨٠٠ مل ماء مقطر للإذابة ثم يكمل الحجم بالماء المقطر هذا المحلول يحتوي على ٥٠ ملجم / لتر نيتروجين.

٥- يؤخذ ٢، ٤، ٦، ٨، ١٠ مل من المحلول القياسي في دوارق معياريه سعة ٥٠ مل ويضاف إليها نفس المحاليل السابقة حتى يكتمل ظهور اللون حوالي ١٥ دقيقة.

٦- يتم ضبط جهاز سبيكتروفوتومتر عند طول موجي ٥٢٥ نانومتر ثم يتم قياس تركيز النيتريت في عينات الماء من المنحنى القياسي.

٢- طريقة حمض الأورثوفوسفوريك الكواشف:

١- حمض الأورثوفوسفوريك مركز: (١٥ جزيء جرامي ١,٧ Gr.) ٨٥٪.

٢- حمض الأورثوفوسفوريك ١,٥ مولار: يضاف ٢٥ مل حمض الأورثوفوسفوريك مركز بواسطة ماصة إلى ١٥٠ مل ماء مقطر ثم يخلط ويبرد إلى درجة حرارة الغرفة ثم ينقل إلى دورق معياري سعة ٢٥٠ مل ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر (يحفظ في زجاجة بنية هذا المحلول ثابت ولمدة ٦٠ يوم).

٣- كاشف اللون: يضاف إلى ٨٠٠ مل ماء مقطر ١٠٠ مل حمض الأورثوفوسفوريك و ١٠ جم سالفانيل أميد (Sulfanilamide) بعد أن يذوب تماماً يضاف ١ جم (N-(1-naphthyl)-ethylenediamine dihydrochloride) يرج ويكمل إلى اللتر بالماء المقطر ويحفظ في زجاجة معتمة وهو صالح لمدة شهر.

٤- محلول نيتريت الصوديوم القياسي: (١٠٠ مل جرام /N لتر) يحضر بإذابة (٠,٤٩٢٢ ± ٠,٠٠٠٢) جم من نيتريت الصوديوم (مجفف لمدة ساعتين على درجة ١٠٥°م) في حوالي ٧٥٠ مل ماء ثم ينقل المحلول إلى دورق معياري سعة لتر ويكمل إلى لتر بالماء المقطر. يحفظ في زجاجة بنية على حرارة ٥°م - ٢°م.

٥- محلول نيتريت الصوديوم القياسي (N-1ppm): يحضر بتخفيف ١٠ مل

من محلول (N-ppm100) إلى دورق معياري سعة لتر ويكمل للعلامة يستعمل هذا المحلول في ويوم تحضيره.

طريقة التقدير

١- ينقل ٥ مل من عينة الماء المحفوظة على درجة حرارة ٢٠°م أو ٥°م إلى

دورق معياري سعة ٥٠ مل ويضاف إليها ١ مل كاشف اللون ويخلط بالرج وتترك العينة ساكنة.

٢- يقاس اللون بعد ٢٠ دقيقة على الأقل.

٣- يتم عمل المنحنى القياسي حيث يتم أخذ التخفيفات الآتية:

١، ٢، ٥، ١٠، ١٥، ٢٠ مل في دوارق معيارية سعة ٥٠ مل من محلول

نيتريت الصوديوم القياسي (1ppm) ويتم تكوين اللون كما سبق ويقاس اللون بعد ٢٠ دقيقة على الأقل على طول موجة ٥٤٠ نانومتر.

(٩، ٣، ٤) تقدير النترات (NO₃) Nitrate Determination

متوسط تركيز أيون النترات في المياه السطحية العذبة الغير ملوثة أقل من ٥

ملليجرام / لتر، وفي المعتاد يأخذ الإنسان كميات من النترات عن طريق مياه الشرب

تقدر في المتوسط بحوالي ٢٠ ملليجرام / لتر في اليوم. ومن المعروف أن ارتفاع النترات

في مياه الشرب أعلى من ٣٠ ملليجرام / لتر، تظهر بعض المشاكل مثل ولادة الأطفال

الزرق Blue Babies والمعرضون للاختناق أثناء وبعد ولادتهم نتيجة لارتفاع مستوى

الميثاموجلوبين Methaemoglobin في الدم. وقد أوضحت منظمة الصحة العالمية (WHO)

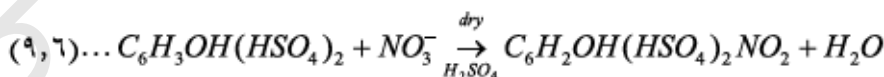
أن مياه الشرب الآدمي لا يجب أن تحتوي على أكثر من ١٠ ملليجرام / لتر نيتروجين

نترات Nitrate-N (الجدول ٧، ٣) ويقدر النترات في الماء بالطريقة التالية:

(١، ٣، ٤، ٩) الطريقة اللونية باستخدام حمض الفينول داي سلفونيك Phenol disulfonic

تعتمد الطريقة اللونية لتقدير النترات على وضع أيون النترات (NO₃⁻) على

ذرة الكربون حلقة البنزين في المركب 2,4-phenol disulfonic طبقاً للمعادلة:



وتعتمد على تكوين لون أصفر عندما يتفاعل حمض الفينول داي

سلفونيك مع النترات وتكوين ٦-نيترو، ١-فينول، ٤، ٢ داي سلفونيك

أسيد 2,4 disulfonic acid 6-nitro-1,2,4 phenol الذي يعادل بواسطة

هيدروكسيد الأمونيوم NH₄OH. وشدة اللون الأصفر تتناسب وتركيز

النترات في العينة (Eaton et al., 2005).

الكواشف

١- Phenol 2,4 Disulfonic Acid : ٢٥ جرام من بلورات الفينول بيضاء

اللون تذاب في ١٥٠ مل من حامض الكبريتيك المركز ثم يضاف ٧٥ مل من حامض

كبريتيك مدخن هذا المخلوط يخلط جيداً ويسخن عن طريق التسخين في دورق

موضوع في حمام مائي لمدة ساعتين والنتيجة يكون عبارة عن الـ (Phenol 2,4 -

Disulfonic acid) (C₆H₃OH(HSO₃)₂) والمحلول يحفظ في زجاجة بنية.

٢- المحلول القياسي (١٠٠ ملجم / لتر): يؤخذ ٠,٧٢٢١ جم من

نترات البوتاسيوم KNO₃ تذاب في الماء ثم تخفف على لتر، حيث يحتوي على ٠,١

مليجرام / N مل (١٠٠ جزء في المليون ppm) هذا المحلول القياسي يخفف عشر مرات

بأخذ ٢٠ مل وتكمل إلى ٢٠٠ مل فيكون المحلول الأخير يحتوي على ٠,٠١ مليجرام / N

مل ، ١٠ ملجم / لتر.

- ٣- يؤخذ بالماصة ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ١٥ مل من المحلول القياسي حيث تحتوي على ٢٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ ، ١٥٠ ميكروجرام من الأحجام المأخوذة على التوالي. توضع الأحجام السابقة ٢ ، ٥ ، ١٠ ، ١٥ مل توضع في جفن من الخزف وتوضع على حمام مائي للتجفيف على ضغط ١ جو خالي من أبخرة حمض النتريك.
- ٤- تترك الجفن تجف وتبرد ثم يضاف على كل جفنة ٣ مل من حمض الـ $(C_6H_5OH(HSO_3)_2)$ بسرعة ومباشرة في مركز كل طبقة يقلب الطبقة مباشرة حتى يضمن أن المحلول الخاص بـ حمض الفينول داي سلفونيك قد وصل إلى كل الملح المتبقي ويترك هذا التفاعل يتم ولمدة ١٠ دقائق بعد ذلك يضاف إلى الجفنة ١٥ مل من الماء البارد ويقلب جيداً بواسطة قضيب زجاجي بحيث إن كل المتبقي يكون ذائباً في المحلول.
- ٥- بعد أن تبرد الجفن تماماً يضاف محلول هيدروكسيد الأمونيا ببطء على أن يصبح المحلول قليلاً وذلك بظهور اللون الأصفر ثم يضاف ٣ مل زيادة من هيدروكسيد الأمونيا.
- ٦- المحاليل القياسية تخفف إلى ١٠٠ مل في دورق معياري وتقدر على جهاز الـ Colorimetric على طول موجة ٤٢٠ نانومتر.
- ٧- تدون النتائج على ورق ١/٢ لوغاريتمي المحور الرأسي يتضمن قراءة الجهاز الـ Transmission والمحور الأفقي عبارة عن التركيزات بالميكروجرام الـ ppm ويعمل منحنى قياسي.
- ٨- هيدروكسيد الأمونيوم: ويحضر بإضافة جزءاً واحداً من هيدروكسيد الأمونيوم المركز إلى جزأين من الماء (١ : ٢).

طريقة العمل

- ١- يؤخذ بالماصة ٢٥ مل من عينة الماء في كأس سعة ١٥٠ مل ويبخر حتى الجفاف على حمام مائي. ويترك الكأس يبرد على درجة حرارة الغرفة.
 - ٢- ثم يضاف ٣ مل من حمض الفينول داي سلفونيك. يرج الكأس يدوياً حتى يتم التلامس، يضاف ٢٠ مل ماء مقطر للإذابة.
 - ٣- يضاف ببطء هيدروكسيد أمونيوم (١ : ٢) حتى تتكون قلووية خفيفة وظهور لون أصفر فاتح.
 - ٤- ينقل المحلول الملون إلى دورق معياري سعة ١٠٠ مل، يخفف للعلامة بالماء المقطر ثم يرج يدوياً.
 - ٥- ثم تقاس شدة اللون عند طول موجة ٤٢٠ نانومتر مقارنة بمحلول الشاهد Blank Solution.
 - ٦- ويجهز منحنياً قياسياً من المحلول المجهز والذي سبق تحضيره وذلك بأخذ أحجام مختلفة ويتم عليها نفس العمليات التي أجريت على عينة الماء.
- طريقة الحساب

تركيز النترات في الماء (ملجم / لتر) = تركيز النترات في دورق العينة (من المنحنى القياسي) × (حجم الدورق المعياري / حجم العينة)

تركيز النترات (NO₃-N) ملليمكافئ / لتر = (تركيز النترات ملجم / لتر / ١٤)

(٩, ٣, ٥) تقدير كبريتيد الهيدروجين Hydrogen Sulphide

الأساس: هو إضافة محلول اليود بحيث يكفي وزيادة لأكسدة كبريتيد الهيدروجين واليود الزيادة يتم معايرته بواسطة محلول ثيوكبريتات الصوديوم معلوم القوة في وجود كاشف النشا (Maiti, 2004).

الكواشف

١- ثيوكبريتات الصوديوم ٠,٢٥ ع: يذاب ٢٤,٨٢ جم من $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ في ماء مقطر وتخفف الكمية حتى اللتر. حيث يكون التركيز ٠,١ ع للمحلول، ومن ثم يخفف أربع مرات لتحضير ٠,٢٥ ع من المحلول (٢٥٠-١٠٠٠ مل).

٢- محلول اليود (٠,٢٥ ع): يذاب ٢٠ جم من يوديد البوتاسيوم في ٥٠ مل من الماء المقطر ويضاف ٣,١٧ جم من اليود الجاف، بعد إذابة اليود يكمل حجم المحلول للتر يتم معايرته مع ثيوكبريتات الصوديوم مستخدمين كاشف النشا.
٣- حمض الهيدروكلوريك ٦ ع: يخفف حمض الهيدروكلوريك المركز (١٢ ع) مرتين.

٤- كاشف النشا، ١٪: يذاب ١ جم من النشا في ١٠٠ مل ماء مقطر ويسخن، ويضاف نقاط من الفورمالدهيد بعد التبريد.

طريقة العمل

- ١- يوضع في دورق مخروطي سعة ٥٠٠ مل كمية من محلول اليود (٠,٢٥ ع) ٥-٢٠ مل تكفي وزيادة لكمية الكبريتيد في العينة.
- ٢- يضاف ماء مقطر حتى يصبح الحجم ٢٠ مل.
- ٣- يضاف ٢ مل حمض هيدروكلوريك ٦ ع.
- ٤- يضاف ٢٠٠-٣٠٠ مل من عينة الماء مع الرج الجيد وعند اختفاء لون اليود يضاف كمية أخرى من محلول اليود.
- ٥- تعابير المحتويات بواسطة محلول ثيوكبريتات الصوديوم ٠,٢٥ ع باستخدام كاشف النشا أي حتى نقطة النهاية حتى يتغير اللون من الأزرق الداكن إلى عديم اللون.

الحساب

تركيز الكبريتيد (S^{-2}) ملجم/لتر = ((أ×ب) - (ج×د)) × ١٦ × (١٠٠٠) /
حجم العينة)

حيث:

(أ) حجم محلول اليود .

(ب) عيارية محلول اليود .

(ج) حجم ثيوكبريتات الصوديوم .

(د) عيارية محلول ثيوكبريتات الصوديوم .

الوزن المكافئ للكبريت = ١٦ .

(٩, ٣, ٦) تقدير البرومات (BrO_3^-) (Ingrand et al., 2002)

البرومات عبارة عن مركب كيميائي يحتوي على عنصر البرومايد (Br^-) وهو مركب جانبي ناتج عن عملية التعقيم باستخدام الأوزون (O_3) للمياه التي تحتوي على البرومايد. وأغلب المياه المعبأة يتم تعقيمها بالأوزون قبل عملية التعبئة مباشرة، ويعتمد مستوى البرومات (BrO_3^-) على كمية البرومايد الموجودة في المياه وعلى جرعة الأوزون المستخدمة في التعقيم وكذلك على زمن تلامس الأوزون مع المياه وكل من درجة الحرارة ورقم الحموضة.

وعنصر البرومايد على صورته الأيونية (Br^-) لا يسبب أضراراً وهو يوجد طبيعياً في العديد من مصادر المياه، غير أن إجراء عملية التعقيم بالأوزون التي تمارس تجارياً على نطاق عالمي واسع من شركات المياه المعبأة يحدث خلالها عملية تحول كيميائي لأيونات البرومايد حيث يتم تحولها إلى البرومات والتي قد تؤدي إلى الإصابة بالسرطان، ولقد وضعت منظمة الصحة العالمية (WHO, 2000) معياراً إرشادياً للحدود

القصوى المسموح بها من البرومات في مياه الشرب هو ٢٥ ميكروجرام/لتر، وقامت الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس بتطبيق هذا في مواصفاتها لمياه الشرب المعبأة الصادر عام ٢٠٠٠م (الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس ، ٢٠٠٠م) حيث قررت تعديل المواصفات من ٢٥ ميكروجرام/لتر إلى ١٠ ميكروجرام/لتر.

الفكرة الرئيسة لطريقة التقدير

تعتمد طريقة التقدير على تكوين اللون الخاص بالبرومات باستخدام دليل أزرق الميثيلين ، ويتم قياس درجة الامتصاص Absorpance لتركيز اللون بواسطة جهاز اسبكتروفوتومتر عند طول موجي ٦٦٥ نانومتر وتتراوح حساسية الطريق للقياس في مدى طول موجي يتراوح بين ٦٦٥ - ٧٤٥ نانومتر.

الكواشف

- ١- ملح برومات بوتاسيوم ($KBrO_3$) ٩٩,٨% Merck.
- ٢- حمض هيروكلوريك HCl ٣٧% Merck.
- ٣- دليل أزرق الميثيلين (Methylene Blue) Merck.
- ٤- محلول البرومات القياسي (١٠٠٠ ملجم/لتر) (Stock solution) : يحضر بإذابة ٠,١٣٠ جم من برومات البوتاسيوم ($KBrO_3$) ٩٩,٨% Merck في الماء المقطر أو ماء معاد تقطيره باستخدام دورق معياري سعة ١٠٠ مليلتر ثم يكمل الحجم إلى العلامة.
- ٥- محلول دليل أزرق الميثيلين : يحضر بإذابة ٠,١ جم من أزرق الميثيلين في الماء المقطر في دورق معياري سعة اللتر ثم يكمل الحجم إلى العلامة.
- ٦- تحضير محاليل عمل المنحنى القياسي : تحضر المحاليل لعمل المنحنى القياسي باستخدام المحلول القياسي ١٠٠٠ ملجم/لتر (انظر فقرة ٤) تحتوي على تركيزات من البروميد (Br) صفر، ٥، ١٠، ٢٠، و ٣٠ ميكروجرام/لتر في دوارق معيارية سعة ١٠٠ مليلتر.

الأجهزة والأدوات

- ١- جهاز القياس اللوني Nova 60 مع خلية من الكوارتز سعة ٥ مليلتر.
- ٢- ماصات ذات أحجام ٢، ٥، ١٠، و ٢٠ مليلتر.
- ٣- أنابيب اختبار.
- ٤- دوارق معيارية سعة ١٠٠، ٥٠٠ و ١٠٠٠ مليلتر.

طريقة العمل

(أ) عمل المنحنى القياسي

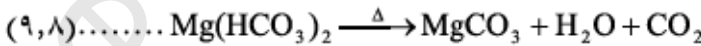
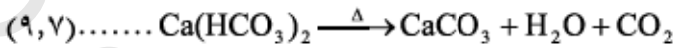
- ١- يؤخذ ٢٠ مليلتر من المحاليل المعدة لعمل المنحنى القياسي (فقرة ٦) وتوضع في أنابيب اختبار
- ٢- يضاف ٠,٢٠ مليلتر من محلول دليل أزرق الميثيلين إلى كل أنبوبة اختبار.
- ٣- يضاف ١,٥ مليلتر من حمض الهيدروكلوريك HCl ٣٧٪.
- ٤- تنقل المحاليل إلى خلية القياس التابعة للجهاز ويقاس الأمتصاص عند طول موجي ٦٦٥ نانومتر.
- ٥- يرسم منحنى قياسي يوضح قراءة الجهاز مقابل تركيز كل قراءة (توجد أجهزة متطورة يتم حفظ المنحنى القياسي بها).
- ٦- لقياس تركيز البرومات في عينات المياه يؤخذ ٢٠ مليلتر من العينة في أنبوبة اختبار ثم يجرى عليها الخطوات من (الفقرة ٢ إلى الفقرة ٥) في عمل المنحنى القياسي) ثم توقع القراءات على المنحنى القياسي لإيجاد التركيز المقابل لكل قراءة.

Water Hardness Determination (٩, ٣, ٧) تقدير عسر الماء

تعريف عسر الماء: الماء إما يسر Soft وهو الماء الذي يحتوي على أملاح ذائبة في صورة أملاح صوديوم أو بوتاسيوم، أو ماء العسر (Hard water) تسببه كاتيونات ذائبة وهي Ca, Mg, Sr, Fe, Mn، وأنيونات HCO_3 , SO_4 , Cl, NO_3 والعسر نوعان هما:

Temporary hardness العسر المؤقت (٩,٣,٧,١)

يتسبب من وجود أملاح الكالسيوم أو المغنسيوم على صورة بيكربونات ويمكن إزالته بتسخين الماء حيث ترسب البيكربونات على صورة كربونات كما في المعادلة (نسيم ، ٢٠٠٧ م):



الكواشف

١- محلول حمض هيدروكلوريك ٠,٠١ عياري.

٢- دليل برتقالي الميثايل ٠,٠٢٪.

طريقة العمل

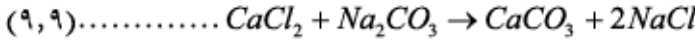
- ١- يؤخذ ٢٠ - ٤٠ مل من عينة الماء في دورق مخروطي سعة ١٥٠ مل ويضاف إليها ٣ نقط من دليل برتقالي الميثايل ثم تعابر المحتويات بمحلول حمض الهيدروكلوريك حتى يتحول اللون الأصفر إلى البرتقالي المائل للحمرة.
- ٢- يحسب العسر المؤقت على صورة كربونات كالسيوم حسب المعادلة السابقة على صورة CaCO_3 ملجم/لتر ماء ويمكن حساب العسر المؤقت من المعادلة التالية:

$$\text{العسر المؤقت} = ((\text{حجم الحمض} \times \text{عيارية الحمض} \times ٥٠))$$

$$\times (١٠٠٠ \div \text{حجم العينة}) \text{ ملجم / لتر } \text{CaCO}_3$$

Permanent hardness العسر الدائم (٩,٣,٧,٢)

يتسبب هذا النوع من العسر نتيجة وجود أملاح الكالسيوم أو المغنسيوم على صورة كلوريد أو كبريتات أو نترات. والتي يمكن ترسيبها على صورة كربونات بمعاملة المياه بكربونات الصوديوم كما في المعادلة (نسيم ، ٢٠٠٧ م):



الكواشف

- ١- محلول كربونات الصوديوم ٠,٠١ عياري.
- ٢- محلول حمض هيدروكلوريك ٠,٠١ عياري.
- ٣- دليل برتقالي الميثايل ٠,٠٢٪.

طريقة العمل

- ١- يؤخذ ٢٠-٤٠ سم^٣ من عينة المياه في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل ويضاف ٢٠-٤٠ مل من محلول كربونات الصوديوم (٠,٠١ ع) تكفي وزيادة لترسيب كل أملاح الكالسيوم والمغنيسيوم.
 - ٢- توضع علامة على الدورق من الخارج وتسخن محتويات الدورق للغليان لمدة ٣٠ دقيقة مع إضافة ماء مقطر كلما لزم الأمر أثناء الغليان لثبات حجم المحلول.
 - ٣- ترشح محتويات الكأس على ورقة ترشيح مع استقبال الراشح في دورق معياري سعة ٢٥٠ مل ويغسل الراشح عدة مرات ثم يكمل الدورق للعلامة بعد تبريده.
 - ٤- يؤخذ ١٠-٢٠ مل في دورق مخروطي ويضاف إليها ٣ نقط من دليل برتقالي الميثايل وتعابير بمحضر الهيدروكلوريك (٠,٠١ ع) حتى يتحول اللون الأصفر إلى البرتقالي المائل للحمرة.
- ويمكن حساب درجة العسر المستديم كما يلي:
- حجم Na_2CO_3 المضاف للعينة = (س) مل.
- حجم HCl المستعمل في المعايرة = (ص) مل.
- حجم الحمض اللازم لمعايرة الزيادة = ((ص) × (٢٥٠ / حجم الراشح)) = ج

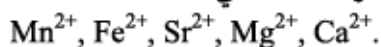
عدد ملليمكافئات Na_2CO_3 اللازم لترسيب الأملاح = $((\text{س} \times 0.01) - (\text{ج} \times 0.01))$
(د) =

العسر الدائم = $(\text{د}) \times 50 \times (1000 / \text{حجم العينة}) = \text{ملجم CaCO}_3 / \text{لتر}$

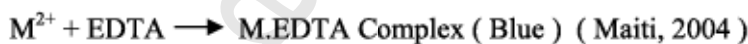
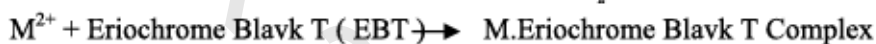
Total hardness العسر الكلي (٩,٣,٧,٣)

العسر الكلي هو حاصل جمع العسر المؤقت والعسر الدائم ويتم تعيين العسر

الكلي في الماء باستخدام مواد مخلبية (Na_2EDTA)، أي مواد تعمل على الإمساك
بالأيونات المسببة للعسر (M^{2+}) وهي:



والمعادلة الأساسية للتقدير هي:



الكواشف

١- محلول منظم (pH 10): يحضر بإذابة ٦٧,٦ جم NH_4Cl في ٥٧٢ مل

NH_4OH مركز ويكمل المحلول إلى لتر.

٢- دليل الأيروكروم بلاك تي (EBT): يحضر بإذابة ٠,٥ جم من الدليل في

١٠٠ مل كحول إيثانول.

٣- محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم (٠,٠١ ع): يحضر بإذابة ٠,٥

جم من كربونات الكالسيوم النقية في ١٠ مل من حمض الهيدروكلوريك (٣ ع) ثم
يكمل الحجم إلى لتر.

٤- محلول الفيرسين EDTA (٠,٠١ ع): يحضر بإذابة ٣,٧٢٣ جم

(Na_2EDTA) ويكمل إلى اللتر وتضبط عياريته باستخدام محلول كلوريد
كالسيوم (٠,٠١ ع).

طريقة العمل

١- يؤخذ حجم مناسب من عينة الماء (٥ - ١٥ مل) في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل.

٢- يضاف ٢ مل محلول منظم (pH 10) لضبط حموضة الوسط.

٣- يضاف ٣-٥ نقاط دليل EBT.

٤- تجرى المعايرة باستخدام محلول الفيرسين (٠.٠١ ع) حتى يتحول لون الدليل من الأحمر العنابي إلى الأزرق، وتؤخذ قراءة السحاحة (س).

٥- تعمل عينة شاهد باستخدام ماء مقطر وتعامل كمعاملة العينة وتؤخذ قراءة السحاحة (ص).

٦- يحسب حجم الفيرسين الذي لزم لمعايرة عينة الماء = (س - ص) مل.

ويمكن حساب العسر الكلي من المعادلة التالية:

$$\text{العسر الكلي (ملجم CaCO}_3\text{/لتر)} = (\text{س} - \text{ص}) \times \text{ع} \times ٥٠ \times (١٠٠٠ / \text{حجم العينة})$$

(٩,٣,٨) تقدير المواد العضوية Organic matter

يعطي هذه التقدير دلالة على درجة تلوث المياه ببعض المواد العضوية كمخلفات النباتات السليلوزية ومركبات الفينول الناتجة من مخلفات مصافي النفط وبعض الصناعات. كما يعطي هذا التقدير مؤشراً عن عملية التخصيب الحيوي Eutrophication في المسطحات المائية الضحلة. ويتم تعيين المواد العضوية الموجودة في المياه باستخدام عامل مؤكسد قوي مثل برمنجنات البوتاسيوم تؤكسد المواد الكربوهيدراتية ومركبات الفينول وبدرجة أقل البروتينات، بينما لا تؤثر على المركبات العضوية المستخدمة في صناعة التنظيف وصناعة البلاستيك مثل محاليل الكحول والزيوت وبعض الأحماض العضوية (Eaton et al., 2005).

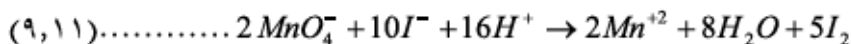
الكواشف

- ١- محلول برمنجنات البوتاسيوم $KMnO_4$ ٠.١ ع: ويحضر بإذابة ٣.٢ جم من $KMnO_4$ في حوالي ١ لتر من الماء المقطر. تضبط عياريته باستخدام أكسالات الصوديوم في وسط حامضي ويحفظ في الظلام لحين الاستعمال في ٢٠٠ مل من الماء المقطر ثم يكمل الحجم إلى ١ لتر.
- ٢- حمض كبريتيك مخفف بنسبة ١: ٣ بالحجم.
- ٣- محلول يوديد البوتاسيوم ١٠٪.
- ٤- محلول ثيوكبريتات الصوديوم $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ ، ٠.١ ع: ويحضر بإذابة ٢٥ جم من ثيوكبريتات الصوديوم و ٠.١ جم من كربونات الصوديوم في ١ لتر من الماء المقطر المغلي بعد تبريده ثم يخزن في زجاجة نظيفة وتوضع في الظلام. تضبط عياريته بالمعايرة مع اليود المنفرد من خلط ٢٥ مل $KBrO_3$ مع ٢ جم KI و ٥ مل حمض كبريتيك ٦ ع في وجود ٥ مل من دليل النشا.

طريقة العمل

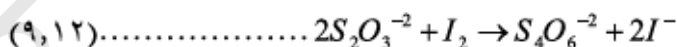
- ١- يستخدم ورقان مخروطيان (أ، ب) سعة ٥٠٠ مل، ويوضع في الدورق (أ) ١٠٠ مل من عينة الماء، ١٠ مل حمض الكبريتيك، ١٠ مل من برمنجنات البوتاسيوم ثم ٤٠ مل ماء مقطر. وفي الدورق (ب) الشاهد (Blank) يضاف ١٠ مل من محلول البرمنجنات، ١٠ مل حمض كبريتيك و ١٤٠ مل ماء مقطر.
- ٢- يترك المحلولان عند درجة ٣٧°م لمدة ٤ ساعات وفي هذه الخطوة تؤكسد برمنجنات البوتاسيوم المواد العضوية وتختزل هي إلى أكسيد المنجنيز حسب المعادلة:

$$4KMnO_4 \rightarrow 2K_2O + 4MnO + 5O_2$$
(٩، ١٠).....
- ١- يضاف إلى كل دورق ٥ مل من محلول يوديد البوتاسيوم حيث يتفاعل الجزء المتبقي من البرمنجنات مع يوديد البوتاسيوم فينفرد اليود حسب المعادلة التالية:



٢- معاير اليود المنفرد باستخدام ثيوكبريتات الصوديوم باستخدام النشا

كدليل:



فإذا كان الحجم من الثيوكبريتات اللازم لمعايرة عينة الماء = س والحجم من الثيوكبريتات اللازم للمعايرة الشاهد = ص ، فيمكن حساب تركيز المادة العضوية في الماء من المعادلة التالية:

كمية الكربون (ملجم كربون/ لتر) = ((ص - س) × عيارية البرمنجنات × ٣ × (١٠٠/حجم العينة))
حيث:

١ ملليمكافئ من البرمنجنات يكافئ ١ ملليمكافئ كربون = ٣ ملجم كربون
وبفرض أن المادة العضوية تحتوي ٥٨٪ كربون.

∴ كمية المادة العضوية (ملليجرام/ لتر) = كمية الكربون (ملجم/ لتر) × (٥٨/١٠٠)

(٩, ٣, ٩) تقدير ثاني أكسيد الكربون الذائب

يجرى هذا التقدير على عينات المياه ويلاحظ وجوب إجراؤه بعد أخذ عينة الماء مباشرة وتغطيتها بإحكام. وتحفظ العينات في مكان درجة حرارته أقل من درجة حرارة مصدر الماء. ويتواجد ثاني أكسيد الكربون في الماء نتيجة تحلل المواد العضوية أو نتيجة نشاط وتنفس بعض الكائنات الحية الموجودة في الماء. ويتراوح تركيزه صفر - ١٠ ملجم/لتر في المياه الجارية السطحية. وهو ذو خطورة بالغة على الكائنات المائية حيث تؤدي تركيزاته العالية إلى هلاك كثير من الأسماك (Maiti, 2004).

الكواشف

١- محلول صودا كاوية ٠,٠٥ عياري: يحضر محلول ١,٠ ع من الصودا

الكاوية وذلك بإذابة ٤٠ جم من الصودا الكاوية في ماء مقطر خالي من غاز ثاني

أكسيد الكربون ويكمل الحجم إلى لتر ويضبط تركيزه ثم يحسب الحجم اللازم أخذه منه وتخفيفه إلى لتر لتحضير محلول تركيزه ٠,٠٥ عياري (٢٠ مل/لتر).

٢- دليل الفينول فثالين Phenolphthalein: ويحضر بإذابة ١ جم من الدليل في ١٠٠ مل من كحول الإيثانول.

طريقة العمل

١- يؤخذ ١٠٠ مل من عينة الماء في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل ويضاف بضع نقاط من دليل الفينولفثالين.

٢- تعابير العينة بمحلول صودا كاوية ٠,٠٢ عياري مع التقليب حتى اللون الوردي الفاتح.

ويمكن حساب كمية ثاني أكسيد الكربون في الماء كما يلي:

$$\text{كمية ثاني أكسيد الكربون (ملجم / لتر)} = ((\text{حجم محلول NaOH}) \times ٠,٠٥ \times ٤٤) \times (١٠٠٠ / \text{حجم عينة الماء})$$

(٩,٣,١٠) تقدير الأكسجين الذائب Dissolved Oxygen (D.O)

تقدير الأكسجين في الماء يعد مقياساً لعملية إزالة الغازات مع ملاحظة أنه في بعض الحالات يعتبر وجود الأكسجين من العناصر الهامة واللازمة في استمرار الحياة للكائنات الموجودة في هذه المياه، حرارة الماء تؤدي إلى تناقص تركيز الأكسجين الذائب الضروري للبكتيريا الهوائية التي تقوم بتحليل المواد العضوية (نسيم، ٢٠٠٧). يعتبر الأكسجين الذائب (DO) من العناصر أو التقديرات الهامة ويعتبر وجوده في الماء نتيجة النشاط البيولوجي والفيزيائي والكيميائي للماء. فالمياه الطازجة المشبعة بالأكسجين تحتوي على ١٤,٦ ملجم/لتر عند درجة الصفر المثوي، ٩,١، ٨,٣ و ٧ ملجم/لتر عند ٢٠، ٢٥ و ٣٥م على التوالي وعند واحد ضغط جوي وأقل كمية من الأكسجين في الماء والتي يمكن أن تحمي بها الأسماك هي ٥ - ٨ ملجم/لتر.

طرق التقدير

يوجد طريقتان أساسيتان في التقدير هما:

(أ) طريقة الأزيد المعدلة (Eaton et al., 2005).

(ب) باستخدام جهاز قياس الأكسجين والذي يحتوي على غشاء شبه منفذ

لأيونات الأكسجين.

(١, ٣, ٩) طريقة الأزيد المعدلة **Azide Modification**

الكواشف

١- محلول كبريتات المنجنيز: يحضر بإذابة ٣٦٤ جم/لتر ويجب أن يكون المحلول الناتج لا يعطي لوناً مع النشا عند إضافة يوديد البوتاسيوم.

٢- محلول الأزيد: يحضر بإذابة ٥٠٠ جم NaOH و ١٥٠ جم KI في ٩٥٠ مل ماء مقطر ويذاب ١٠ جم أزيد الصوديوم (NaN_3) في ٤٠ مل ماء مقطر ويبرد ويضاف إلى المحلول السابق ثم يكمل الحجم إلى لتر بالماء المقطر.

٣- حمض الكبريتيك المركز (H_2SO_4 Conc.).

٤- دليل النشا: يحضر بإذابة ٥ جم نشا في ٨٠٠ مل ماء مقطر ساخن مع الرج ثم يبرد ويكمل الحجم إلى لتر ويضاف بضع نقاط من التلوين أو الفورمالين.

٥- محلول قياسي من ثيوكبريتات الصوديوم (٠,٢٥ ع): يحضر بإذابة ٦,٠٢٥ جم $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ في لتر من الماء المقطر ثم يضاف إليها ٠,٤٠ جم NaOH لكل لتر من المحلول ويحفظ في زجاجات ذات ألوان داكنة.

٦- محلول داي كرومات البوتاسيوم (٠,٢٥ ع): يحضر بإذابة ١٢,٢٥٩ جم من $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (مجففة عند ١٠٥ م°) في لتر ماء مقطر.

طريقة العمل

- ١- تملأ زجاجة (سعة ٣٠٠ مل) بالماء الخارج حتى عنق الزجاجة وتقفل جيداً وتحفظ عند درجة حرارة منخفضة.
- ٢- يضاف ١ مل محلول كبريتات منجنيز ثم ١ مل من الأزبد (يجب أن تكون الإضافة تحت سطح الماء ثم تقفل الزجاجة وتخلط جيداً، وتترك لمدة ١٥ دقيقة).
- ٣- ترفع السدادة ويضاف ١ مل حمض كبريتيك مركز وتغلق السدادة وترج الزجاجة جيداً.
- ٤- يؤخذ ١٠٠ - ٢٥٠ مل من العينة ويتم معايرتها باستخدام محلول ثيوكبريتات الصوديوم (٠,٠٢٥ ع).

الحساب

$$\text{الأكسجين الذائب/ملجم/لتر} = \left(\text{حجم ثيوكبريتات الصوديوم} \times \text{ع} \times ٨ \right) \times \left(\frac{\text{ح}_٢}{\text{ح}_١ - \text{ح}_٢} \right) / ١٠٠٠$$

حيث

ح_١ = حجم زجاجة بالمليتر.ح_٢ = حجم المحلول الذي تم معايرته مل .ح = حجم محلول MnSO₄ + حجم محلول الأزبد (٢ مل) .**Biochemical Oxygen Demand (BOD) تقدير الأكسجين الحيوي المستهلك (٩,٣,١١)**

ويمثل ما تستهلكه الكائنات الحية المتواجدة في الماء من الأكسجين عند تحليلها للمواد العضوية الموجودة في عينة ماء. ويعبر عن هذه الكمية المستهلكة من الأكسجين بالمليجرام في اللتر. وتقدير هذه الكمية من الأكسجين من أهم العوامل التي لها علاقة بجودة الماء. فتقدير الأكسجين الحيوي المستهلك في محطات معالجة المياه ضرورة لضمان سلامة المعالجة، حيث إنه ضروري للكشف عن كمية المواد الملوثة للماء والمستهلكة

للأكسجين والتي تصل إلى المسطحات المائية من المخلفات الصناعية والبشرية ومشتقات النفط.

ويمكن تعريف ال(BOD) على أنه كمية المادة العضوية الموجودة في العينة معبراً عنها بالملليجرام/لتر وفيها يتم قياس الأكسجين المستهلك بواسطة البكتيريا الهوائية والتي تقوم بأكسدة المواد العضوية وتحويلها إلى مواد بسيطة أكثر ثباتاً (Lamb, 1985).
طريقة التقدير

يتم تقدير الأكسجين الحيوي المستهلك BOD مرتين لنفس العينة في المرة الأولى في نفس يوم أخذ العينة ويرمز له بالرمز BOD_1 ثم يعاد قياسه بعد خمسة أيام من التحضين على درجة حرارة $20^{\circ}C$. يعمل التحليل ويرمز له بالرمز BOD_5 لأنه ؛ يتم في هذه الفترة أكسدة المواد الكربونية فقط دون المواد النيتروجينية في الظروف المثالية عند $20^{\circ}C$ (Eaton et al., 2005).

الأدوات المستخدمة

- ١- زجاجات مصممة لهذا الغرض سعة ١٠٠ مليلتر وسعة ٢٠٠ مليلتر.
- ٢- حضانة (Incubator) عند درجة حرارة $20^{\circ}C$ ويجب أن تكون الحضانة مظلمة لمنع حدوث تخليق ضوئي للأكسجين.

الكواشف

- ١- محلول كبريتات المنجنيز $Mn(SO_4)_2 \cdot 5H_2O$: يذاب ١٠٠ جرام من $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ في ١٥٠ ملل ماء مقطر في دورق معياري سعة ٢٠٠ مليلتر ثم يكمل إلى العلامة بالماء المقطر.
- ٢- حمض كبريتيك مركز H_2SO_4 .

٣- محلول الأزيد (مصدر لليود): يذاب ١٠٠ جرام هيدروكسيد صوديوم NaOH في ١٤٠ ملل ماء مقطر ويذاب ٣٠ جرام يوديد البوتاسيوم KI في ٣٠ ملل ماء مقطر ويذاب ٢ جرام من أزيد الصوديوم NaN₃ في ١٠ ملل ماء مقطر ثم تخلط تلك المحاليل في دورق معياري سعة ٢٥٠ ملليلتر ويكمل للعلامة بالماء المقطر ويخلط جيداً حتى يصبح المحلول رائق ويحفظ في زجاجة معتمدة.

٤- محلول المعايرة:

(أ) ثيوكبريتات الصوديوم Na₂S₂O₃:

(N/80) ويحضر بأخذ ٥٠ ملليلتر من محلول ثيوكبريتات الصوديوم (N/4) ويكمل في دورق معياري سعة لتر بالماء المقطر.

(ب) تحضير ثيوكبريتات الصوديوم:

(N/4) يذاب ٦٢,٠٤٢٥ جرام من ثيوكبريتات الصوديوم ويكمل إلى العلامة بالماء المقطر.

٥- محلول النشا الطازج (١٠ جرام / لتر): يذاب ١٠ جرام نشا في ماء مغلي ويخفف إلى لتر ويترك طوال الليل ويحفظ بإضافة بضع نقاط من التولوين أو الفورمالين ويحفظ في زجاجة مغطاة.

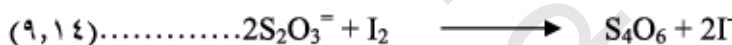
طريقة العمل

(أ) لقياس الأكسجين الذائب في الزجاجات سعة ١٠٠ ملل:

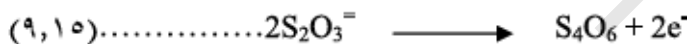
١- يضاف ١ ملل من كبريتات المنجنيز ثم ١ ملل من محلول الأزيد ويخلط جيداً، الانتظار ويخلط مرة أخرى ثم الانتظار حتى نسمح بهبوط الراسب المتكون يضاف بعد ذلك ١ ملل حمض كبريتيك مركز، ثم ترج الزجاجات لمدة ٥ دقائق.

- ٢- تعابير العينة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم القياسي (N/80) مع إضافة محلول النشا كدليل حتى يتحول اللون إلى الأزرق ثم يسجل حجم المعايرة (س).
 ب) لقياس الأكسجين الذائب في الزجاجات سعة ٢٠٠ ملل :
 ١- بعد التحضين لمدة ٥ أيام عند ٢٠م تضاف نفس المحاليل السابقة ولكن يضاف ٢ ملل من كل محلول بدلاً من ١ ملل لتتناسب مع حجم العينة.
 ٢- تعابير العينة بمحلول ثيوكبريتات الصوديوم القياسي (N/80) مع إضافة محلول النشا كدليل حتى يتحول اللون إلى الأزرق ثم يسجل حجم المعايرة (ص).
 ٣- يعمل تجربة مقارنة (شاهد) ويتم إتباع نفس خطوات التجربة مع استخدام الماء المقطر (ع) (Eaton et al., 2005).
 الحساب

يتم التفاعل الآتي في تجربة ال BOD



ويلاحظ أن محلول ثيوكبريتات الصوديوم يختزل كما يلي :



بمعنى

$$284 \text{ g Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = 126.9 \text{ g I}_2 = 8 \text{ g O}_2$$

$$1\text{N Thio.} = 8 \text{ g O}_2$$

$$1\text{ml N/80 Thio.} = 0.1 \text{ mg O}_2$$

$$\text{BOD} = (\text{س} - \text{ص}) \times \text{ع} \times \text{ت ملجم O}_2/\text{لتر}$$

حيث:

س = حجم ثيوكبريتات الصوديوم (N/80) في حالة BOD1

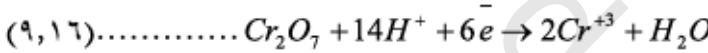
ص = حجم ثيوكبريتات الصوديوم (N/80) في حالة BOD5

ع = حجم ثيوكبريتات الصوديوم (N/80) في تجربة الشاهد (ماء مقطر)

ت = عدد مرات تخفيف العينة

(٩,٣,١٢) تقدير الأوكسجين الكيميائي المستهلك (Chemical Oxygen (COD)

نظراً لأن تقدير الأوكسجين الحيوي المستهلك BOD يستغرق وقتاً طويلاً (خمسة أيام) يقدر الأوكسجين الكيميائي المستهلك COD؛ لأنها سريعة ٢ ساعة فقط حيث يوجد ارتباط قوي مع قيمة الـ BOD ويعرف الأوكسجين الكيميائي COD هي كمية الأوكسجين المكافئ لأكسدة المواد العضوية باستخدام عامل مؤكسد قوي مثل داي كرومات البوتاسيوم العضوية في وجود عوامل مساعدة مثل كبريتات الفضة Ag_2SO_4 والتي تسهل أكسدة المواد العضوية الإليفاتية ذات السلاسل الطويلة ولكن إضافة كبريتات الفضة ترسب الهاليدات ومنع ترسيب الهاليدات يضاف كبريتات الزئبق ويتم التفاعل وفقاً للمعادلة التالية (Eaton et al., 2005):



الكواشف

- ١- محلول داي كرومات البوتاسيوم $K_2Cr_2O_7$ ٠,٢٥ ع يحضر بإذابة ١٢,٢٦ جم بعد تجفيفه حتى فرق على درجة ١٠٥° م لمدة ساعتين ثم يضاف ١٦٧ مل من حمض كبريتيك مركز ثم يضاف ٣٣,٣ جم كبريتات الزئبق (H_2SO_4) تترك لتذوب وتبرد على درجة حرارة الغرفة ويكمل إلى لتر.
- ٢- حمض كبريتيك مركز يضاف ١٠,١٢ جم كبريتات فضة Ag_2SO_4 ويترك ولمدة يوم على جهاز الرج لأنه يذوب بصعوبة.

٣- كبريتات الحديدوز الأمونيوميه $0.1M$ $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ يذاب
٣٩,٢١٤ جم كبريتات الحديدوز والأمونيوم في ماء مقطر ثم يضاف ٢٠ مل حمض
كبريتيك مركز ثم يكمل المحلول إلى لتر.

٤- دليل الفريون Ferroin يحضر بإذابة ١,٤٨٥ جم دليل -1.10
Phenanthroline monohydrate مع ٠,٦٩٥ جم كبريتات حديدوز مائية $(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$ في
ماء مقطر بدورق معياري سعة ١٠٠ ملليلتر.

طريقة العمل

١- يؤخذ ٢٠ مل من عينة الماء في دورق مخروطي ٥٠٠ مل ويضاف ٠,٤ جم
 $(HgSO_4)$ و ١٠ مل داي كرومات البوتاسيوم.

٢- يضاف ٣٠ مل حمض كبريتيك مركز وتمزج المحتويات ويسخن بلطف في
حمام مائي ولمدة ١٠ دقائق.

٣- يترك المحلول ليبرد ثم يضاف ويكمل المحلول إلى ٥٠ مل بالماء المقطر ثم
يترك ليبرد.

٤- تعابر العينة بمحلول كبريتات الحديدوز والأمونيوم في وجود نقطتين من
دليل الفريون (V_2) حتى نقطة التعادل التي عندها يتحول لون الوسط من الأزرق
المخضر إلى الأحمر.

٥- يتم عمل تجربة مقارنة باستخدام ٢٠ مل من الماء المقطر ويقدر حجم
كبريتات الحديدوز والأمونيوم (V_1).

$$COD = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 16 \times 1000}{10} \dots \dots \dots (٩, ١٧)$$

حيث:

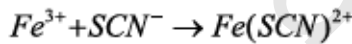
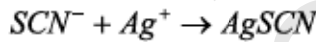
V_1 = حجم كبريتات الحديدوز الأمونيوميه في تجربة الشاهد.

$V_2 =$ حجم كبريتات الحديدوز الأمونيوم في تجربة الشاهد.

$N =$ عيارية كبريتات الحديدوز الأمونيوم.

(٩,٣,١٣) تقدير الفضة Silver

تحتوي مياه البحر على تركيزات ضئيلة من الفضة (Ag) لا تزيد عن ٠,٠٠٠٢٨ ملليجرام / لتر، كما أن مياه الأنهار الطبيعية تحتوي على حوالي ٠,٠٠٠٣ ملليجرام في اللتر. وعند تعاطي الإنسان مركبات الفضة القابلة للذوبان في الماء بتركيزات أعلى من ٠,٥ ملليجرام / لتر لمدة طويلة له أضرار صحية يتسبب عنها إزالة لون الجلد والشعر والأظافر. وإحداث قصور في وظائف الكبد والكلية. وقد حددت مجموعة الدول الأوربية تركيز عنصر الفضة في مياه الشرب الآدمي في حدود ٠,٠٥ ملليجرام في اللتر (نسيم، ٢٠٠٧ م). ويمكن تقدير الفضة في الماء بطريقة فولهارد (Volhard method) حيث يتم معايرة الفضة في الماء باستخدام ثيوثانات البوتاسيوم في وجود كبريتات الحديد والأمينوم حسب المعاللات التالية (المواصفات السعودية، ١٤٢٨ هـ):



الكواشف

- ١- محلول قياسي من نترات الفضة $AgNO_3$ ٠,١ ع.
- ٢- دليل كبريتات الحديد والأمينوم $NH_4Fe(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ويحضر بإذابة ١ جم في ١٠٠ مل من حمض نيتريك ٦ ع.
- ٣- محلول ثيوثانات البوتاسيوم $KSCN$ ٠,١ ع ويحضر بوزن ١ جم من $KSCN$ ، ويذاب في قليل من الماء المقطر في دورق معياري سعة ١ لتر ثم يكمل بالماء المقطر حتى العنق، ثم الرج. هذا المحلول تركيزه حوالي ٠,١ عياري، ثم يضبط عيارية هذا المحلول بالمعايرة مع محلول نترات الفضة القياسي.

٤ - حمض نيتريك HNO_3 ، ٦ ع.

طريقة العمل

- ١- ينقل ١٠٠ مل من عينة الماء إلى دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل ثم يضاف ٥ مل من حمض النيتريك ٦ ع ويتبع ذلك ٥ مل من دليل كبريتات الحديدك والأمونيوم.
- ٢- يتم معايرة عينة الماء بمحلول ثيوثيانات البوتاسيوم حتى ظهور اللون البني المحمر وثباته لمدة دقيقة ، وتكرر التجربة عدة مرات حتى تتطابق قراءات السحاحة ويسجل الحجم اللازم للتعادل (ح).
- ٣- يحسب عدد ملليجرامات الفضة في اللتر من الماء حسب المعادلة التالية :

$$\text{تركيز الفضة (ملجم / لتر)} = \frac{ح \times ١٠٧,٩ \times ٠,١ \times ١٠٠٠}{\text{حجم عينة الماء}}$$

(٩,٣,١٤) تقدير الفلوريد Fluoride

يصل تركيز عنصر الفلورين (F) في مياه البحر إلى حوالي ١,٣ ملليجرام / لتر وفي مياه الأنهار الطبيعية الغير ملوثة يكون التركيز في حدود ٠,١ ملليجرام / لتر، ويصل هذا التركيز إلى حوالي ٠,٦ ملليجرام / لتر في مياه نهر النيل (نسيم ، ٢٠٠٧ م). ويتواجد عنصر الفلورين في جميع أنواع المياه الجوفية ، وبتراكيز تتناسب مع نوعية المعادن المتلامسة معها. وقد يصل التركيز في بعض أنواع المياه الجوفية إلى أكثر من ٢٥٠٠ ملليجرام / لتر. ونظراً لقابلية تراكم أيون الفلوريد في جسم الإنسان ، فإنه يجب ألا يتجاوز محتواه في مياه الشرب للإنسان عن ١,٥ ملليجرام / لتر. ومن المعروف أن وجود الفلورين في ماء الشرب له أهمية خاصة بالنسبة للأسنان. وقد وجد أن تركيز ١ ملليجرام / لتر أو أكثر حتى ٢ ملليجرام / لتر يقلل من الإصابة بتسوس الأسنان.

ومع ذلك فزيادة تركيز الفلورين عن ذلك يؤدي إلى فقد لون وبريق الأسنان الطبيعي (نسيم، ٢٠٠٧م).

التقدير

يمكن تقدير الفلوريد في المياه باستخدام القطب الاختياري للفلوريد وباستخدام قطب مرجع reference electrode من نوع Single junction . ويضبط الجهاز باستخدام محلول قياسي تركيزه ١٠٠ ملليجرام / لتر (٠.١ مولر فلوريد صوديوم). وبقياس الجهد لمحاليل قياسية معلومة، فيمكن عمل منحنى قياسي يكمن الاستعانة به في تقدير تركيز الفلوريد في عينة الماء المجهولة (المواصفات السعودية، ١٤٢٨هـ).

(٩،٣،١٥) تقدير السيانيد Cyanide

لا يتجاوز تركيز أيون السيانيد (CN) عادة ٠.١ ملليجرام / لتر في مياه الأنهار الغير ملوثة. وفي جميع الأحوال فيجب أن يكون تركيز أيون السيانيد أقل من ٠.١ ملليجرام / لتر في مياه الشرب الآدمي. وتدل الأبحاث الطبية على أن تعاطي الإنسان جرعة قدرها ٥٠ ملليجرام من السيانيد يمكن أن تؤدي إلى الوفاة الفورية (نسيم، ٢٠٠٧م).

التقدير: يوجد ثلاث طرق للتقدير هي:

(٩،٣،١٥،١) طريقة المعايرة (Eaton et al., 2005)

الكواشف

١- دليل Rho danine (P- dimethyle aminobenzal – rhodanine): يحضر بإذابة ٠.٠٢ جم في ١٠٠ مل أسيتون.

٢- محلول قياسي من نترات الفضة $AgNO_3$: يحضر بإذابة ٣,٢٧ جم نترات فضة في لتر من الماء المقطر وتضبط قوته بواسطة محلول كلوريد الصوديوم NaCl قياسي

في وجود دليل كرومات البوتاسيوم ثم يخفف ٥٠٠ مل من محلول نترات الفضة إلى ١ لتر وفي هذا المحلول كل ١ مل من محلول نترات الفضة يحتوي على ١ ملجم سيانيد.

٣- محلول هيدروكسيد الصوديوم: يحضر بإذابة ١.٦ جم هيدروكسيد

صوديوم في ١ لتر.

طريقة العمل

١- يؤخذ الحجم المناسب من العينة حتى ٢٥ - ٥٠ مل ثم تخفف العينة إلى ١٠٠ مل بواسطة محلول هيدروكسيد الصوديوم (إذا كان تركيز السيانيد أقل من ٥ ملجم/لتر لا تخفف العينة) في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل.

٢- يضاف ٠.٥ مل دليل Rho danine .

٣- تعابير العينة بمحلول نترات الفضة القياسي حتى يتحول اللون من الأصفر إلى البنفسجي (Pink) (س مل).

٤- تعابير تجربة الشاهد ١٠٠ مل محلول هيدروكسيد صوديوم بمحلول نترات الفضة وفي وجود دليل Rho danine (ص مل).

الحساب

ويقدر تركيز السيانيد من المعادلة:

تركيز السيانيد ملجم/لتر = ((س - ص) × (١٠٠٠/حجم العينة) × (٢٥٠/حجم العينة المخففة))

(٢, ١٥, ٣, ٩) الطريقة اللونية (Eaton et al., 2005)

يتم تقدير السيانيد عادة باستخدام الطرق اللونية بدقة تصل إلى ٥ جزء في البليون في الماء.

(٣, ١٥, ٣, ٩) استخدام خلية تحتوي على قطب ذو غشاء شبه منفذ

يتم تقدير السيانيد في الماء باستخدام خلية ذات قطب اختياري خاص بأيون السيانيد وقطب مرجع Reference electrode من نوع Single Junction . ويضبط الجهاز

باستخدام محاليل قياسية تتراوح بين 10^{-1} إلى 10^{-1} مولر. ويقدر السيانيد في العينة المجهولة بمقارنة جهدها بجهود محاليل قياسية من السيانيد.

(٩,٣,١٦) تقدير العناصر الثقيلة

(٩,٣,١٦,١) هضم عينات المياه لتقدير العناصر الثقيلة

أولاً: الهضم باستخدام حمض النيتريك HNO_3 وذلك كما يلي (Maiti, 2004):

- ١- يؤخذ ٥٠ - ١٠٠ مل من العينة في دورق مخروطي سعة ١٥٠ مل ذو فوهة ضيقة ثم يضاف ٥ مل حمض HNO_3 مركز ويغطى الدورق بزجاجة ساعة.
- ٢- ترفع زجاجة الساعة وتسخن العينة باستخدام جهاز التسخين (Hot Plate) حتى يتم تركيز العينة ويصبح الحجم ١٠ - ٢٠ مل ثم ترفع درجة الحرارة حتى قبل الجفاف ثم تبرد العينة.
- ٣- تكرر إضافة حمض HNO_3 المركز والتسخين حتى تمام الهضم وتصبح العينة نقية.

٤- تنقل العينة نقل كمي إلى دورق معياري سعة ١٠٠ مل.

ثانياً: الهضم باستخدام مخلوط حمض الهيدروكلوريك (HCl) وحمض النيتريك (HNO_3) وذلك كما يلي (Maiti, 2004):

- ١- يؤخذ ٥٠ - ١٠٠ مل من عينة الماء في دورق مخروطي سعة ١٥٠ مل ثم يضاف ٠,٥ مل حمض نيتريك مركز ويتبع بإضافة ١٠ مل حمض هيدروكلوريك (١:١) ثم يغطى الدورق بزجاجة ساعة.
- ٢- ترفع زجاجة الساعة وتسخن العينة باستخدام جهاز التسخين (Hot Plate) حتى يتم تركيز العينة ويصبح الحجم ١٥ - ٢٠ مل ثم ترفع درجة الحرارة حتى قبل الجفاف ثم تبرد العينة.
- ٣- تنقل العينة نقل كمي إلى دورق معياري سعة ١٠٠ مل.

Iron (٩,٣,١٧) تقدير الحديد

يصل تركيز الحديد في مياه البحر إلى حوالي ٠,٠٠٤ ملليجرام / لتر، وفي مياه الأنهار الغير ملوثة يصل تركيزه إلى ٠,١ ملليجرام / لتر ويصل التركيز في بعض مياه الآبار بالمملكة إلى أكثر من ١,٥ ملجم / لتر. وفي مياه نهر النيل، لا يتجاوز تركيز الحديد ٠,٠٣ ملليجرام / لتر. ويرجع السبب في انخفاض تركيز الحديد في المياه السطحية إلى سهولة أكسدته في المياه المعرضة للجو مباشرة، حيث يتحول إلى هيدروكسيد الحديد الجيلاتيني الذي يرسب وفي حالة المياه الجوفية، يكون الحديد على شكل الكربونات والبيكربونات الذائبة نظراً لغياب الأكسجين. ويختلف تركيز الحديد الذائب في المياه الجوفية، باتلاف تركيب الرواسب التي تلامسها، نظراً لوجود خامات الحديد بوفرة في هذه المناطق (نسيم، ٢٠٠٧م).

وقد أوصت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن يكون تركيز عنصر الحديد في مياه الشرب في حدود ٠,٣ ملجم / لتر. ويمكن تقدير الحديد في الماء بسرعة ودقة باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Atomic absorption spectrophotometer) (الصورة ٩,٥).



الصورة (٩,٥). جهاز الامتصاص الذري Atomic absorption spectrophotometer بمختبرات قسم علوم

التربة - كلية علوم الأغذية والزراعة - جامعة الملك سعود.

طريقة العمل

١- يضبط جهاز الامتصاص الذري المجهز بلمبة كاثود خاصة بالحديد عند طول موجي ٢٣٨,٢٠٤ نانومتر.

٢- يستخدم محلول قياس يحتوي ٥ ميكروجرام حديد لكل مل:

يحضر المحلول الأساسي بإذابة ٧,٠٢٢ جرام من كبريتات الحديدوز والأمونيوم $Fe(NH_4)_2.6H_2O$ في ٨٠٠ مل مقطر، يحمض الوسط بإضافة ٢٠ مل من حمض الكبريتيك ١ عياري، ثم يخفف بالماء المقطر إلى حجم ١ لتر. يجهز المحلول بأخذ ٥ مل من المحلول الأساسي stock solution الذي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام حديد لكل مليلتر في دورق معياري سعة ١ لتر ثم يخفف حتى العلامة بالماء المقطر.

٣- توضع العينات التي تم هضمها في الجهاز.

٤- تؤخذ قراءة الامتصاص Absorbance من الجهاز للعينات المستخلصة لتقدير تركيز الحديد.

يلاحظ أن العلاقة تكون خطية بين تركيز الحديد والامتصاص في المدى من صفر إلى ٥ ميكروجرام حديد لكل مليلتر.

(٩,٣,١٨) تقدير المنجنيز Manganese

يصل تركيز المنجنيز في مياه البحر إلى ٠,٠٠٢ ملليجرام/ لتر، وفي المياه السطحية الغير ملوثة إلى ٠,٠٠٧ ملليجرام/ لتر. وقد أوصت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن يكون الحد المناسب لتركيز المنجنيز في مياه الشرب هو ٠,١ ملليجرام/ لتر (نسيم، ٢٠٠٧ م). ويمكن تقدير المنجنيز في الماء باستخدام جهاز الامتصاص الذري لسرعة ودقة هذه الطريقة (Maiti, 2004).

طريقة العمل

١- يضبط جهاز الامتصاص الذري باستخدام لمبة الكاثود الخاصة بالمنجنيز عند طول موجي ٢٥٧,٦١ نانومتر. بمحلول المنجنيز القياسي الذي يحتوي ٢ ميكروجرام / مليلتر باستخدام لمبة الكاثود الخاصة بالمنجنيز.

٢- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٢مل من المحلول الأساسي (الذي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام منجنيز لكل مل) في دورق معياري سعته ١٠٠ مل ثم التخفيف بالماء المقطر حتى العلامة. استمر في عملية التحليل.

٣- ويحضر المحلول الأساسي للمنجنيز بإذابة ٢,٨٨ جرام من برمنجنات البوتاسيوم النقية الجافة في ٢٥٠ مل ماء مقطر بكأس سعة لتر ويضاف ٢٠ مل حمض كبريتيك ١٨ عياري ويسخن المحلول للغليان. ثم يضاف كميات متزايدة من كبريتيت الصوديوم حتى اختفاء لون البرمنجنات، ويسخن المحلول للغليان لطرد ثاني أكسيد الكبريت المتكون. وتبرد محتويات الكأس وتنقل كميأ إلى دورق معياري سعة لتر وتخفف إلى العلامة بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام منجنيز لكل ١ مل من المحلول.

٤- تؤخذ قراءة الامتصاص Absorbance من الجهاز للعينات المستخلصة لتقدير تركيز المنجنيز.

يلاحظ أن العلاقة بين الامتصاص والتركيز خطية في المدى من صفر إلى ٣ ميكروجرام / مليلتر من المحلول المائي.

(٩,٣,١٩) تقدير النحاس Copper

يوجد عنصر النحاس في مياه البحر بتركيز حوالي ٠,٠٢٣ ملليجرام / لتر، وفي المياه السطحية الغير ملوثة بتركيز حوالي ٠,٠٠٧ ملليجرام / لتر. وقد لوحظ أن وجود

عنصر النحاس في المياه ، بتركيز أعلى من ٢ ملليجرام / لتر، يؤدي إلى ظهور طعم غير مستساغ للمياه (نسيم ، ٢٠٠٧ م). وقد أوصت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن تركيز عنصر النحاس في مياه الشرب الآدمي يكون في حدود ١ ملليجرام / لتر. ويمكن تقدير النحاس في الماء باستخدام جهاز الامتصاص الذري لسرعته ودقته (Maiti, 2004).

طريقة العمل

١- يضبط جهاز الامتصاص الذري مستعملاً لمبة كاثود خاصة بالنحاس عند طول موجي ٣٢٧,٣٩٣ نانومتر. وذلك باستخدام محلول قياسي يحتوي ٥ ميكروجرام نحاس / مليلتر.

٢- ويحضّر المحلول الأساسي Stock solution بوزن ١ جرام من معدن النحاس النقي ، وتوضع في دورق معياري سعة لتر وتذاب في كمية من حمض النيتريك ١ : ١ بالحجم ثم يكمل الحجم إلى لتر بمحلول حمض نيتريك تركيزه ١٪ بالحجم. هذا المحلول يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام نحاس / مليلتر.

٣- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٥ مل من محلول أساسي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام نحاس / مليلتر وذلك في دورق معياري سعة لتر ثم يخفف للعلامة بالماء المقطر.

٤- تؤخذ قراءة الامتصاص Absorbance لعينة الماء.

العلاقة بين الامتصاص والتركيز في مدى تركيز من صفر على ٥ ميكروجرام نحاس لكل مل من المحلول المائي علاقة خطية.

(٩,٣,٢٠) تقدير الرصاص Lead

متوسط تركيز الرصاص في مياه البحر حوالي ٠.٣ ميكروجرام في اللتر، وفي مياه الأنهار الطبيعية يصل إلى ٣ ميكروجرام في اللتر. إن التركيز الطبيعي للرصاص في

المياه العذبة منخفض ، وعند تواجد الرصاص بتركيزات عالية يكون نتيجة تلوث من أي مصدر. ومن مصادر التلوث الشائعة بالرصاص ، هو تآكل مواسير المياه من الرصاص بواسطة المياه العذبة (نسيم ، ٢٠٠٧ م). لذلك يستخدم الآن الأنايب الحديدية المجلفة. وقد أوصت منظمة الصحة العالمية (WHO) بأن تركيز الرصاص يجب ألا يتجاوز ٠,٠٥ ملليجرام في اللتر. ويمكن تقدير الرصاص باستخدام جهاز الامتصاص الذري (Maiti, 2004).

طريقة العمل

- ١- يضبط جهاز الامتصاص الذري مستعملاً لمبة كاثود خاصة بالرصاص وعلى طول الموجة المناسبة (٢٧٩,٥ ملليمكرون)، وذلك باستخدام محلول قياسي يحتوي ٢٠ ميكروجرام رصاص / مليلتر.
- ٢- يحضر المحلول الأساسي Stock solution بوزن ١,٥٩٨ جرام من نترات الرصاص $Pb(NO_3)_2$ لتر من حمض النيتريك ١٪ بالحجم.
- ٣- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٢٠ مل من محلول أساسي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام رصاص لكل مل وذلك في دورق معياري سعته لتر ثم يخفف للعلامة بالماء المقطر.

تؤخذ قراءة الامتصاص Absorbance لعينة الماء. والعلاقة بين الامتصاص والتركيز في مدى تركيز من صفر إلى ٢٠ ميكروجرام رصاص / مل علاقة خطية.

(٩,٣,٢١) تقدير السلينيوم Selenium

قد يصل تركيز السلينيوم (Se) في بعض مياه الأنهار إلى حوالي ١٥ ميكروجرام / لتر. وفي بعض الينابيع الحارة يمكن أن يصل تركيز السلينيوم إلى أكثر من ١٠٠ ميكروجرام في اللتر. وفي حالة التعرض لجرعات كبيرة من السلينيوم (أعلى من

٥ ملليجرام/ يوم) لمدة طويلة قد يؤدي على تدمير الكبد والكلية والبنكرياس ، مما يؤدي على الوفاة خلال فترة وجيزة (نسيم ، ٢٠٠٧ م). وقد حددت منظمة الصحة العالمية (WHO) أن تركيز عنصر السلينيوم في مياه الشرب الآدمي يجب ألا يزيد عن ٠,٠١ ملليجرام في اللتر. ويمكن تقدير السلينيوم باستخدام جهاز الامتصاص الذري لسهولة ودقة وسرعة التقدير (Maiti, 2004).

طريقة العمل

١- يضبط جهاز الامتصاص الذري مستعملاً اللمبة الخاصة بعنصر السلينيوم وعلى طول الموجة المناسبة (١٩٦ نانومتر)، وذلك باستخدام محلول قياسي يحتوي ٢٠ ميكروجرام/ مل.

٢- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٢٠ مل من محلول أساسي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام سلينيوم لكل مل وذلك في ورق معياري سعته لتر ثم يخفف للعلامة بالماء المقطر.

٣- ويحضر المحلول الأساسي Stock solution بوزن ١ جرام من معدن السلينيوم النقي ويذاب في قليل من حمض النيتريك المركز يبخر حتى الجفاف ثم يضاف ٢ سم^٣ ماء ويبخر حتى الجفاف ، تكرر هذه العملية ثلاث مرات ثم تذاب نترات السلينيوم المتكونة في محلول ١٠٪ بالحجم من حمض الهيدروكلوريك ثم يكمل الحجم إلى لتر بحمض الهيدروكلوريك ١٠٪ بالحجم.

٤- تؤخذ قراءة الامتصاص Absorbance لعينة الماء.

العلاقة بين الامتصاص والتركيز في مدى من صفر - ٢٠ ميكروجرام سلينيوم/ مل علاقة خطية.

Zinc (٩,٣,٢٢) تقدير الزنك

يقبل تركيز الزنك في المياه الغير ملوثة عموماً عن ١ ملليجرام / لتر. ويمكن تقدير الزنك باستخدام جهاز الامتصاص الذري لسهولة ودقة التقدير (Maiti, 2004).

طريقة العمل

١- يضبط جهاز الامتصاص الذري المجهز بلمبة كاثود خاصة بالزنك عند طول موجي ٢٠٦,٢ نانومتر، باستخدام محلول قياسي يحتوي ٠,٥ ميكروجرام زنك / مل .

٢- يجهز المحلول القياسي بأخذ ٠,٥ مل من المحلول الأساسي Stock solution الذي يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام زنك لكل مل في دورق معياري سعة ١ لتر ثم يخفف حتى العلامة بالماء المقطر.

٣- يحضر المحلول الأساسي للزنك Stock solution بوزن ١ جرام من معدل الزنك النقي ويوضع في دورق معياري سعة لتر ويضاف إليه ٥٠ سم ماء خال من الزنك ثم يضاف ١ سم من حمض كبريتيك مركز نقي. وبعد تمام الذوبان يكمل الحجم إلى ١ لتر بالماء المقطر.

٤- تؤخذ قراءة الامتصاص على الجهاز لعينة الماء لتقدير الزنك. ويلاحظ أن العلاقة تكون خطية بين تركيز الزنك والامتصاص في المدى من صفر - ١ ميكروجرام / مل من المحلول. وقد يحتاج الأمر إلى تخفيف العينة إذا كانت قراءة الامتصاص للعينة المختبرة أقل أو مساوية لقراءة الامتصاص للمحلول القياسي.

(٩,٣,٢٣) تقدير الكروم والنيكل والزنق والكاديوم والزرنيخ

ينخفض تركيز عنصر الكروم في مياه البحر إلى أقل من ٠,٢ ميكروجرام / لتر. وفي مياه الأنهار الطبيعية الغير ملوثة ، يقل مستوى تركيز إلى أقل من ميكروجرام في

التر، وذلك حسب الطبيعة الجيولوجية للمنطقة. وتكمن خطورة التلوث بعنصر الكروم، من ارتفاع تركيز أيونه السداسي التكافؤ Cr^{6+} الضار والقابل للذوبان والامتصاص داخل جميع أنسجة الجسم. أما أيون الكروم الثلاثي Cr^{3+} فيعتبر غير سام من الناحية العملية في حدود معينة وأنه ضروري لجسم الإنسان لتأدية وظائف حيوية معينة (نسيم، ٢٠٠٧م). وقد أوصت منظمة الصحة العالمية بأن التركيز ٠,٥ ميكروجرام / لتر هو الحد الأقصى في مياه الشرب الآدمي (WHO., 2004).

ويحتوي ماء البحر على تركيزات ضئيلة من النيكل، تصل إلى ٠,٠٠٦ ملليجرام في لتر، وتقل هذه القيمة في مياه الأنهار الطبيعية عن ٠,٣ ميكروجرام / لتر. لذا فإن وجود تركيزات عالية من النيكل في المياه الطبيعية سيكون راجعاً إلى حدوث تلوث من صنع الإنسان، فإن ذلك يؤدي على احتمالات ظهور أورام سرطانية في أماكن متفرقة من الجسم (نسيم، ٢٠٠٧م). وقد أوصت منظمة الصحة العالمية أن تركيز عنصر النيكل في مياه الشرب الآدمي يكون في حدود ٠,٠٥ ميكروجرام في لتر (WHO, 2004).

ولا يتجاوز تركيز الزئبق في مياه البحر ٠,١٥ ميكروجرام في لتر، وفي مياه الأنهار الطبيعية الغير ملوثة يقل تركيز الزئبق عادة عن ٠,٧ ميكروجرام في لتر. ومن المعروف أن الأحياء المائية والبحرية وبصفة خاصة القشريات (الجمبري والكابوريا) والمحار لها القدرة على امتصاص مركبات الزئبق في الماء واختزانها داخل أنسجتها لمدد طويلة، ثم تنقلها للإنسان عند تناولها كغذاء وهذا يعتبر مصدراً خطيراً للتلوث بالزئبق (نسيم، ٢٠٠٧م). وقد أوصت منظمة الصحة العالمية بأن تركيز عنصر الزئبق في مياه الشرب في حدود ٠,٥ ميكروجرام (WHO., 2004).

أما بالنسبة لعنصر الكاديوم فيقل تركيزه في مياه البحر من ٠,٠٠١ ملليجرام / لتر وفي مياه الأنهار الطبيعية الغير ملوثة يقل التركيز عادة عن ١ ميكروجرام / لتر.

أما متوسط تركيز عنصر الزرنيخ في مياه الأنهار الطبيعية الغير ملوثة فقد يصل على ٠,٠٠٢ ملليجرام / لتر. وأيونات الزرنيخ الذائبة في المياه، تكون عادة ثلاثية وخماسية التكافؤ، وكلاهما يتحدا بالبروتينات الحيوانية بسهولة.

وفي حالة تلوث البيئة المائية Aquatic environment بالمخلفات الصناعية التي تحتوي على عنصر الزرنيخ، يحدث تراكم لهذا العنصر في أنسجة الأسماك والقشريات البحرية بتركيزات عالية، قد تصل إلى ٥٠ ملليجرام / كجم أو أكثر وينحصر التأثير الضار على صحة الإنسان في نوعية مركبات الزرنيخ الغير عضوي، حيث ثبت أنه عالي السمية وبصفة خاصة الأيون الثلاثي التكافؤ (As^{3+}) الغير عضوي (نسيم، ٢٠٠٧م). وقد حددت منظمة الصحة العالمية المستوى الآمن بمياه الشرب الآدمي بأن لا يتجاوز تركيز الزرنيخ الغير عضوي به عن ٠,٥ ميكروجرام / لتر (WHO, 2004).

ويمكن تقدير هذه العناصر في الماء بسرعة وبدقة باستخدام جهاز الامتصاص الذري باستعمال لمبة الكاثود Cathode lamb وطول الموجة المناسبة لكل عنصر.

(٩,٣,٢٤) تقدير السليكا (SiO_2)

السيلكون هو ثاني العناصر الأكثر انتشارا في القشرة الأرضية بعد الأكسجين والسيلكون يكون الأكسيد الذي يسمى السليكا (SiO_2). وإن رمل الكوارتز في كثير من أشكاله هو أكسيد السيلكون. كما يتحد السيلكون والأكسجين مع معظم العناصر بسرعة (مثل عناصر البوتاسيوم، المغنسيوم، الصوديوم، الحديد، الكالسيوم، الألمنيوم) مكونة أملاح معدنية كثيرة وهي المكونة للصخور.

والسليكا لا تذوب في الماء بسرعة. ولكن المياه الدافئة تحتوي أحياناً حوالي ١٠٠ ملليجرام/ لتر سيليكا، وتركيز ٢٠ ملليجرام/ لتر من السليكا يعتبر عادياً. تتأثر درجة إذابة السليكا في الماء بدرجة الحرارة ومعدل حركة المياه الجوفية خلال الصخور ووجود أحماض طبيعية مثل حامض الكربونيك. إن المركب الرئيس للسيلكون المذاب في المياه الجوفية عند رقم هيدروجيني بين ٦-٩ هو $Si(OH)_4$ (نسيم، ٢٠٠٧ م). ويمكن تقدير السليكا لونياً باستخدام طريقة (Eaton et al., 2005) كما يلي:

الكواشف

- ١- **Ammonium paramolybdate tetrahydrate (0.3M موليبيدات الأمونيوم (molybdate):** يحضر بإذابة ٥٤ جم من موليبيدات أمونيوم في حوالي ٨٠٠ مل ماء ثم يضبط pH المحلول عند ٧ باستخدام (NaOH 5N)، يكمل إلى ١ لتر ويحفظ في زجاجة بلاستيك.
- ٢- **حمض الطرطريك ٢٠٪ 2-Tartaric acid solution:** يحضر بإذابة ١٠٠ جم من حمض الطرطريك في ٥٠٠ مل ماء (يفضل تحضير حديثاً)، ويحفظ في زجاجة بلاستيك (يجب تغيير المحلول عند ظهور رواسب به).
- ٣- **محلول الاختزال (Reducing Solution):** يحضر بإذابة ٢٥ جم من Na-Bisulfite ($NaHSO_3$) في ٢٠٠ مل ماء ثم يخلط المحلول السابق مع محلول يحتوي على ٢ جم كبريتيت الصوديوم لا مائية (Na_2SO_3) و ٠.٤ جم دليل 1-amino-2-naphthol-4sulfonic acid في ٢٥ مل ماء ويكمل المحلول المخلوط إلى حجم ٢٥٠ مل ويحفظ في زجاجة بلاستيك بالثلاجة.
- ٤- **محلول قياسي من السليكا (٥٠ ملجم / لتر) Standard Si Solution**
50 mg of Si/L: يحضر من صهر بلورات كوارتز.

طريقة العمل

١- طريقة Govetti (Page et al., 1982) :

- يؤخذ حجم من المحلول يحتوي في حدود من ١٠٠-٤٠٠ ملجم Si ويوضع في دورق معياري.
- يوضع ١٠ مل من محلول حمض H_2SO_4 ١ عياري.
- يضاف ١٠ مل من محلول موليبيدات الأمونيوم.
- يخفف المحلول بالماء ويخلط ويرج جيداً ثم يكمل إلى العلامة.
- يقاس اللون عند طول موجي ٤٠٠ نانومتر وذلك في حدود من ٢-١٠ دقيقة من إضافة الدليل السابق.

٢- طريقة Weaver (Page et al., 1982) :

- يؤخذ محلول يحتوي من ٥- ٢٥ MgSi ويوضع في دورق ٥٠ مل.
- يضاف ١٠ مل H_2SO_4 ١ عياري.
- يضاف ١٠ مل من محلول موليبيدات الأمونيوم بعد ٢ ق.
- يضاف ٥ مل من محلول ٢٠٪ حمض الطرطريك ثم ١ مل من دليل 1-amino-2-naphthol-4-sulfonic acid (١ محلول الاختزال).
- يخفف المحلول إلى العلامة ويرج ثم يقرأ على 820 nm بعد ٣٠ دقيقة.
- St.Cur يعمل منحنى قياسي من ٠ ، ٥ ، ١٠ ، ١٥ ، ٢٠ مل من محلول Si تركيزه (1 MgSi/L).

(٩,٣,٢٥) تقدير البوتاسيوم Potassium

يوجد البوتاسيوم في مياه الري عادة بتركيز منخفض جداً، ولهذا السبب أهمل تأثيره على نوعية مياه الري، لكن وجد أن المياه الجوفية في المناطق الجافة تحتوي على كميات لا بأس بها من البوتاسيوم. ولقد اعتبر أن وجود هذا الأيون في الماء ذو فائدة

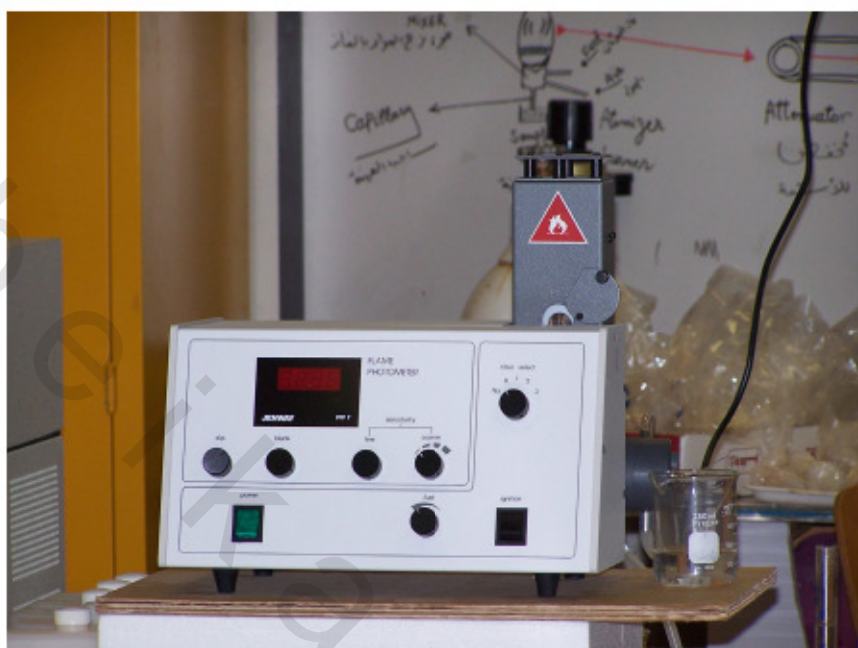
لنمو النبات. ولقد حددت منظمة الصحة العالمية تركيز البوتاسيوم في ماء الشرب المرغوب فيه في حدود ١٠ ملليجرام في اللتر (WHO.,2004).

يقدر البوتاسيوم وفقاً لطريقة (Eaton et al., 2005) باستخدام جهاز الحرق باللهب.

الكواشف

- ١- محلول أساسي Stock solution يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام بوتاسيوم/ مل يحضر بإذابة ١.٩٠٦٩ جرام من كلوريد البوتاسيوم في ماء مقطر ثم يخفف إلى ١ لتر.
 - ٢- محلول قياسي Standard solution يحتوي ٢ ميكروجرام بوتاسيوم/ مليلتر ويحضر بأخذ ٢ مل من المحلول الأساسي في دورق معياري سعة لتر، ويخفف بالماء المقطر حتى العلامة.
- طريقة العمل

يتم تقدير البوتاسيوم في المستخلص باستخدام جهاز التحليل الطيفي باللهب Flam photometer (الصورة ٩,٦) ويستخدم المحلول القياسي ٢ ميكروجرام بوتاسيوم/ مل لضبط الجهاز، بحيث تكون القراءة مباشرة. وهناك طراز من الأجهزة تستخدم محاليل قياسية أخرى، ويجب الرجوع إلى الإرشادات في الكتيب الخاص بالجهاز المستخدم. ويمكن عند التعامل مع المحاليل المركزة، من القيام بتخفيفها بنسب معلومة من الماء المقطر حتى تكون هذه المحاليل في مدى قراءة الجهاز.



الصورة (٩,٦). جهاز الانبعاث الطيفي (الحرق باللهب Flam Photometer).

تقدير الصوديوم Sodium (٩,٣,٢٦)

الصوديوم ينتمي إلى المعادن المسماة بالمعادن القاعدية (Alkali Metals) والتي تشمل عنصر البوتاسيوم، والمعادن القاعدية لها سمات كيميائية واحدة. والصوديوم هو الوحيد الموجود بكميات كبيرة في المياه.

يصل تركيز الصوديوم في المياه الجوفية إلى ١٠ - ١٠٠ ملجم / لتر ولقد حددت منظمة الصحة العالمية تركيز الصوديوم في مياه الشرب الآدمي في حدود ٢٠ ملليجرام / لتر (WHO, 2004).

الكواشف

- ١- محلول أساسي Stock solution يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام صوديوم / مل، ويحضر بإذابة ٢.٥٤١٩ جم من كالوريد الصوديوم بعد تجفيفه في الفرن عند درجة ١١٠°م لعدة ساعات. يذاب الناتج ويخفف المحلول إلى ١ لتر بالماء المقطر.

٢- محلول قياسي Standard solution يحتوي ٠.٨ ميكروجرام صوديوم / مل ، فيؤخذ ٠.٨ مل من المحلول الأساسي في دورق معياري سعة ١ لتر ويكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

ويمكن تقدير الصوديوم باستخدام الانبعاث الطيفي (الصورة ٩.٦) حسب طريقة (Eaton et al., 2005).

طريقة العمل

يتم تقدير الصوديوم في عينة الماء باستخدام جهاز الانبعاث الطيفي باللهب ويستخدم المحلول القياسي (٠.٨ ميكروجرام / مل) لضبط الجهاز ، بحيث تكون القراءة مباشرة وهناك طرز أخرى من الأجهزة تستخدم محاليل قياسية أخرى. ويجب الرجوع إلى الإرشادات في الكتيب الخاص بالجهاز المستخدم. وإذا وجد أن تركيز عنصر معين في العينة أعلى من تركيزه في المحلول القياسي الذي ضبط عليه الجهاز ، يسحب حجماً معروفاً من عينة الماء ثم يخفف في دورق معياري وتأخذ قراءة أخرى للعينة على الجهاز.

(٩,٣,٢٧) تقدير الليثيوم Lithium

يتواجد الليثيوم على وجه الخصوص في الصخور النارية وأيضاً في الجبس. وتصاحبه مع الجبس هو أحد أسباب تواجد الليثيوم في كثير من الينابيع ، والآبار الارتوازية. وعموماً فمصادر المياه العسرة تميل إلى ارتفاع محتواها من الليثيوم.

ويمكن تقدير الليثيوم باستخدام جهاز الانبعاث الطيفي باللهب (الصورة ٩,٦) حسب طريقة (Eaton et al., 2005).

الكواشف

١- محلول أساسي Stock solution يحتوي ١٠٠٠ ميكروجرام ليثيوم / مليلتر ، ويحضر بإذابة ٥.٣٢٤ جرام كربونات ليثيوم Li_2CO_3 في أقل كمية من حمض الهيدروكلوريك ١ : ١ بالحجم يكمل الحجم إلى لتر بالماء المعالج بإزالة الأيونات منه.

٢- محلول قياسي Standard solution يحتوي ٢ ميكروجرام ليثيوم / مليلتر، فيؤخذ ٢ مل من المحلول الأساسي في دورق معياري سعة ١ لتر ويكمل الحجم بالماء المقطر حتى العلامة.

طريقة العمل

يتم تقدير الليثيوم في عينة الماء باستخدام جهاز التحليل الطيفي باللهب ويستخدم المحلول القياسي (٢ ميكروجرام ليثيوم / مليلتر) لضبط الجهاز، بحيث تكون القراءة مباشرة ثم تحدد القراءة الخاصة بالعينة. وهناك موديلات أخرى من الأجهزة تستخدم محاليل قياسية أخرى. ويجب الرجوع إلى الإرشادات في الكتيب الخاص بالجهاز المستخدم.

Calcium and Magnesium تقدير الكالسيوم والمغنيسيوم (٩,٣,٢٨)

نظراً لأن الكالسيوم والمغنيسيوم يعتبران من أكثر العناصر انتشاراً وشيوعاً في القشرة الأرضية، لذا كان من الطبيعي أن تتواجد أملاحهما في جميع أنواع المياه الطبيعية السطحية والجوفية وبتراكيز متفاوتة.

توجد عدة طرق لتقدير الكالسيوم والمغنيسيوم ومن أهمها طريقة (Eaton et

: al., 2005)

Disodium dihydrogen ethylene الطريقة الحجمية (٩,٣,٢٨,١)

تعتمد هذه الطريقة على أن مركب EDTA الثنائي الصوديوم عند رقم pH ١٠ يكون مركب مخلبي ثابت مع الكالسيوم وعند pH ١٢ يكون مركب مخلبي ثابت مع الكالسيوم.

الأدوات

- ١- ماصات مقاسات مختلفة.
- ٢- جفن صيني (خزف) نظيفة.
- ٣- مقلبات زجاجية.

الكواشف

١- محلول منظم pH ١٠ من (كلوريد وهيدروكسيد الأمونيوم): يذاب ٦٧.٥ جم من كلوريد الأمونيوم في ٥٧٠ مل هيدروكسيد أمونيوم مركز ثم يكمل إلى لتر.

٢- محلول هيدروكسيد الصوديوم 4N NaOH تقريباً: يذاب ١٦٠ جم من NaOH في لتر ماء مقطر.

٣- محلول قياسي من كلوريد الكالسيوم 0.01N: يذاب ٠.٥ جم من كربونات الكالسيوم النقي في ١٠ مل من محلول 3N HCl تقريباً ثم يكمل إلى لتر.

٤- دليل ايروكروم بلاك تي Eriochrome Black T: يذاب ٠.٥ جم من دليل ايروكروم بلاك تي (F241) + ٤.٥ جم من هيدروكسيد أمين هيدروكلوريد في ١٠٠ مل من كحول إيثانول ٩٥٪ هذا الدليل جاهز للاستعمال.

٥- دليل بريورات الأمونيوم (الميروكسيد) Murexide: يخلط بالتدريج ٠.٥ جم من بريورات الأمونيوم مع ١٠٠ جم من كبريتات البوتاسيوم البودرة النقية.

٦- الفيرسينات (محلول Ethylenediaminetetraacetate): يذاب ٢ جم من (disodium dehydrogen ethylendiaminetetraacetate) + ٠.٠٥ جم من كلوريد المغنسيوم سداسي التأدرت في الماء المقطر ويكمل إلى لتر ثم يضبط عياره الفيرسينات بواسطة كلوريد الكالسيوم القياسي في محلول (٣) مع استخدام الأدلة (٤) ، (٥) في المعايرة.

طريقة العمل

١- تقدير الكالسيوم

(أ) يوضع حوالي ٢٠ سم^٣ ماء مقطر في جفنه صيني ويضاف إليها كمية من دليل الميروكسيد (حوالي ٠.٣ جرام)، ٥ نقط صودا كاوية ٤ عياري (لجعل pH

الوسط ١٢) فإذا أحمر اللون دل ذلك على وجود شوائب من الكالسيوم بالماء المقطر أو الدليل وتعايير بمحلول الفرسين القياسي حتى الأزرق البنفسجي Purple ويهمل حجم الفرسين المستخدم في ذلك.

ب) يضاف حجم من الماء المراد تقدير الكالسيوم فيه إلى المحتويات (بحيث يحتوي في حدود حتى ٠,١ ملليمكافئ كالسيوم) فيحمر اللون وتعايير المحتويات بمحلول الفرسين القياسي حتى اللون البنفسجي.

ج) تحسب كمية الكالسيوم الموجود كما يلي:

$$\text{Ca}^{++} \text{ ملليمكافئ / لتر} = \frac{\text{حجم الفرسين} \times \text{قوته} \times 1000}{\text{حجم محلول المعايرة}}$$

٢- تقدير الكالسيوم والمغنسيوم

أ) يوضع حوالي ٢٠ سم^٣ ماء مقطر في ورق مخروطي مناسب ويضاف إليها ١٠-٥ سم^٣ من المحلول المنظم (١٠ pH)، ٤ نقط من دليل الإيريوكروم بلاك تي. فإذا أحمر اللون دل ذلك على وجود شوائب بالماء المقطر أو محاليل الدليل فتعايير بالفرسين حتى اللون الأزرق ويهمل حجم الفرسين المستخدم في ذلك.

ب) يضاف للمحتويات كمية من الماء المراد تقدير المغنيسيوم به بحيث لا يتعدى تركيزه عن ٠,٢ ملليمكافئ Ca+Mg. وتعايير المحتويات حتى اللون الأزرق.

ج) تحسب النتيجة كما سبق في حالة الكالسيوم لتعطي ملليمكافئ Ca+Mg، ويطرح منها الكالسيوم فنحصل على المغنسيوم كما يلي:

$$(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \text{ (ملليمكافئ / لتر)} = ((\text{حجم الفيرسين} \times \text{عيارية الفيرسين}))$$

$$\times (1000 \div \text{حجم العينة}) \quad (\text{أ})$$

$$(\text{Ca}^{++}) \text{ (ملليمكافئ / لتر)} = ((\text{حجم الفيرسين} \times \text{عيارية الفيرسين}))$$

$$\times (1000 \div \text{حجم العينة}) \quad (\text{ب})$$

$$(\text{Mg}^{++}) \text{ (ملليمكافئ / لتر)} = (\text{أ} - \text{ب})$$

(٢, ٢٨, ٣, ٩) التقدير باستخدام جهاز الامتصاص الذري

يقدر الكالسيوم في عينة الماء باستخدام جهاز الامتصاص الذري Atomic Absorption Spectrophotometer ، حيث تستخدم لمبة كاثود خاصة بعنصر الكالسيوم عند طول موجي ٢٣٩,٩ نانومتر.

١- يضبط الجهاز باستخدام محلول قياسي ٤ ميكروجرام كالسيوم / مل ، والمدى من الكالسيوم الذي يعطي علاقة خطية تتراوح من صفر على ٤ ميكروجرام كالسيوم / مليلتر.

٢- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٤ مل من المحلول الأساسي Stock solution (١٠٠٠ ميكروجرام كالسيوم / مليلتر) ، في دورق معياري سعة ١ لتر ، ويخفف على العلامة بالماء المقطر.

٣- يحضر المحلول الأساسي بإذابة ٢,٥ جم من كربونات الكالسيوم المجففة في كمية محدودة من حمض الهيدروكلوريك ثم يخفف المحلول إلى ١ لتر بالماء المقطر. أما عند تقدير المغنسيوم يستخدم لمبة كاثود خاصة بعنصر المغنسيوم ويضبط الجهاز باستخدام محلول قياسي يحتوي ٠,٣ ميكروجرام مغنسيوم / مليلتر عند طول موجي ٢٨٥,٢ نانومتر. والتركيز الذي يعطي علاقة خطية يتراوح من صفر - ٠,٥ ميكروجرام مغنسيوم / مليلتر.

١- يحضر المحلول القياسي بأخذ ٣ مل من المحلول الأساسي Stock solution (١٠٠٠ ميكروجرام مغنسيوم / مل) في دورق معياري سعة ١ لتر ، ثم يخفف حتى العلامة بالماء المقطر لنحصل على محلول يحتوي ٣ ميكروجرام مغنسيوم / لتر.

٢- يؤخذ من المحلول القياسي ١٠ مل في دورق معياري سعته ١٠٠ مل ويخفف للعلامة بالماء المقطر. هذا المحلول ، يحتوي ٠,٣ ميكروجرام مغنسيوم / مليلتر ، وهو المحلول القياسي اللازم لضبط جهاز الامتصاص الذري.

٣- يحضر المحلول الأساسي بإذابة ١ جرام من فلز المغنسيوم في ٩٠ مل من حمض الهيدروكلوريك ٢.٥ عياري ثم يخفف إلى ١ لتر بالماء المقطر.

(٩,٣,٢٩) تقدير الفوسفات Phosphate

الصورة الهامة لعنصر الفوسفور في الماء هو الفوسفات أي الصورة المؤكسدة لهذا العنصر (PO_4^{3-}). ومعرفة تركيز هذا العنصر في المياه الطبيعية له أهمية كبيرة؛ لأن توفره بكثرة في الماء يعمل على زيادة نمو الطحالب والنباتات المائية. كما أن نقص هذا العنصر في مياه الصرف الصحي أثناء المعالجة يؤدي على خفض كفاءة عملية المعالجة البيولوجية. وتعتبر المنظفات الصناعية التي تحملها المجاري والمخلفات البيولوجية وبقايا الغذاء والأسمدة الكيميائية الفوسفاتية مصدراً لتلوث المياه بالمركبات الفوسفاتية. وزيادة التلوث بالمواد الكيميائية الفوسفاتية للمستنقعات والمسطحات المائية الضحلة يؤدي إلى ما يعرف بعملية التخثيب الحيوي Eutrophication حيث تنمو النباتات المائية بشدة من ثم يستهلك الأكسجين الذائب أثناء تحلل هذه النباتات مما يؤدي سلباً على الكائنات الحيوانية.

وتقدر الفوسفات بالطرق التالية:

(٩,٣,٢٩, ١) طريقة أزرق الموليبدنم (Eaton et al., 2005) Blue-molybdenum method

الكواشف

١- محلول موليبيدات الأمونيوم: يحضر بوزن ٢٥ جم من موليبيدات الأمونيوم $\{(NH_4)_6MO_7O_{24}.4H_2O\}$ في كأس، ويضاف ٢٠٠ مل ماء مقطر. يسخن على درجة حرارة 60° م للإذابة مع التقليب. يرشح المحلول لإذابة المواد العالقة. يخفف ٢٧٥ مل من حمض الكبريتيك المركز بالماء المقطر إلى حجم نهائي قدره ٧٥٠ مل، ويترك المحلول ليبرد. يصب ببطء محلول الموليبيدات في محلول حمض الكبريتيك.

- ٢- محلول الأنثيمون: يذاب ٦٦٧ ملليجرامات من طرطرات البوتاسيوم الأنثيموني Potassium antimony tartarate $\text{KSbO}_3 \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$ في ٢٥٠ مل ماء مقطر.
- ٣- حمض الأسكوربيك Ascorbic acid: يوزن ١٠ جم من حمض الأسكوربيك في دورق معياري سعته ١٠٠ مل. يضاف ٨٠ مل ماء مقطر للإذابة، ثم خفف للعلامة، يخزن هذا الكاشف على درجة حرارة ٢٠°م.
- ٤- كاشف مخلوط: يخلط حجم متساوية من حمض الأسكوربيك ومحلول الأنثيمون قبل الاستعمال مباشرة.

- ٥- محلول قياسي من فوسفات البوتاسيوم KH_2PO_4 : يوزن ٠.٢١٩٣ جم في دورق معياري سعته ١ لتر، ثم أذب بحجم قدره ٥٠٠ مل ماء مقطر. يضاف ٢٥ مل من حمض الكبريتيك ٧ عياري، ويخفف للعلامة بالماء المقطر. هذا المحلول يحتوي ٥٠ ملليجرام فسفور في اللتر. يؤخذ بالماصة ٢٠ مل من هذا المحلول في دورق معياري سعة ٥٠٠ مل. ويخفف للعلامة بالماء المقطر، هذا المحلول يحتوي ٢ ميكروجرام فسفور لكل مليلتر، ويستخدم في عمل المنحنى القياسي.

طريقة العمل

- ١- ينقل ٥ مل من عينة الماء في دورق معياري من البولي إيثيلين ثم يضاف ١٠ مل محلول موليبيدات الأمونيوم ثم يرج الدورق لخلط مكوناته.
- ٢- يضاف ٤ مل من مخلوط حمض الأسكوربيك والأنثيمون، ويخفف بالماء المقطر للعلامة.

- ٣- يتكون اللون في خلال ١٠ دقائق، ويظل ثابتاً لعدة ساعات. ثم يقاس الامتصاص Absorbance على طول موجة ٨٨٠ ملليميكرون بجهاز قياس اللون Spectrophotometer (الصورة ٩.٧).

٤- يجهز منحناً قاسياً بأخذ الحجم صفر ، ١ ، ٤ ، ٥ ، ١٠ مل من محلول فوسفات البوتاسيوم المحضر لعمل المنحنى القياسي في سلسلة من الدوارق المعيارية حجمها ٥٠ مل يجرى عليها عملية تكوين اللون كما سبق وصفه ثم يرسم المنحنى القياسي لامتصاص الضوء وما يقابلها من تركيزات الفوسفور ويستخرج تركيز الفوسفور في العينات من المنحنى القياسي ، ومن ثم يمكن حسابه على صورة أيون الفوسفات وذلك بالضرب في ٣١/٩٥ .



الصورة (٩،٧). جهاز سبيكتروفوتومتر Spectrophotometer لقياس تركيز الفوسفور بمختبرات قسم علوم التربة.

مثال

حجم عينة الماء لتقدير الفوسفور ٥ مل في دورق معياري سعة ٥٠ مل وتم تكوين اللون الخاص بالفوسفور وتم قياس اللون على جهاز Spectrophotometer على

طول موجه ٨٨٠ وكان تركيز الفوسفور في الدورق ٠.٢ مليجرام / لتر. احسب تركيز الفوسفات في عينة الماء
الحل

تركيز الفوسفور في عينة الماء = $((0/50) \times 0.2) = 2$ مليجرام/لتر

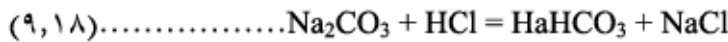
تركيز الفوسفات في عينة الماء = $((31/95) \times 2) = 6.129$ مليجرام/لتر

(٩,٣,٣٠) تقدير الكربونات والبيكربونات Carbonate and Bicarbonate

تفاعل الأحماض القوية مع أملاح الأحماض الضعيفة وينتج الحمض الضعيف الذي يسبب استمرار التفاعل حتى النهاية ؛ وذلك لأن ثابت تأينه ضعيف جداً. كذلك فإن القواعد القوية تتفاعل مع أملاح القواعد الضعيفة ويستمر التفاعل حتى النهاية وبذا يمكن معايرته. ويمكن تقدير الكربونات والبيكربونات كما هو موضح في طريقة (Eaton et al., 2005).

ويعتبر حمض الكربونيك من أحسن الأمثلة للأحماض الضعيفة فيمكن تقدير أملاحه بالمعايرة بحمض قوي مثل الهيدروكلوريك. ويلاحظ تأين ذرتي هيدروجين حمض الكربونيك يكون ضعيفاً جداً مما يتيح المجال لمعايرة كل من ملحجة المتعادل أو الحمض.

ومثال ذلك معايرة كربونات الصوديوم بحمض الهيدروكلوريك حيث يتم التفاعل على مرحلتين وذلك راجع للاختلاف الكبير بين قيمة ثابتي تأين حمضي للكربونيك.



فعند نقطة انتهاء المرحلة الأولى تتكون بيكربونات الصوديوم ويصل رقم الـ pH على حوالي ٨.٣ ، وباستمرار المعايرة تتحول البيكربونات إلى حمض الكربونيك الذي يبدأ في التحلل إلى ماء وثاني أكسيد الكربون عند قرب انتهاء المرحلة الثانية. ودراسة منحني معايرة كربونات الصوديوم بـ حمض الهيدروكلوريك نجد أن دليل الفينول فتالين Phenolphthalein يكون مناسباً في المرحلة الأولى. وعند نقطة التعادل في المرحلة الثانية يتشبع وسط التفاعل بثاني أكسيد الكربون ويصل رقم الـ pH إلى ٣.٨ ويكون دليل برتقالي الميثيل Methyl Orange مناسب حيث يتغير لونه في هذا المدى (Eaton et al., 2005). ولتجنب صعوبات استخدام دليل برتقالي الميثيل لمعايرة المرحلة الثانية من تفاعل الكربونات لذا فإنه ينصح باستعمال دليل البروموكريزول جرين Bromocresol green في هذه المرحلة حيث إنه أكثر وضوحاً وثباتاً. وعند نقطة التعادل باستخدام دليل الفينول فتالين تكون كمية البيكربونات الموجودة بالمحلول ناتجة من مصدرين (١) الكمية الموجودة أصلاً بالمحلول (٢) الكمية الناتجة من تحول الكربونات إلى بيكربونات وباستمرار المعايرة باستخدام دليل البروموكريزول جرين تتحول كل البيكربونات إلى حمض كربونيك. وحجم حمض الهيدروكلوريك المستعمل في المرحلة الثانية يكون أكبر منه في المرحلة الأولى بكمية تكافئ البيكربونات التي كانت موجودة أصلاً بالمحلول.

مواد التفاعل

- ١- محلول من حمض الهيدروكلوريك ٠.٠١ عياري.
- ٢- دليل الفينول فتالين ١٪ في ٦٠٪ كحول.
- ٣- دليل برتقالي الميثيل أو البروموكريزول جرين ٠.٠٢٪ في الماء.

طريقة العمل

- ١- يوضع حجم مناسب من المحلول في جفنه صيني ويضاف إليه ٢- ٣ نقط من دليل الفينول فتالين فإذا ظهر لون أحمر بنفسجي واضح Pink color دل ذلك على وجود الكربونات فتعاير حتى اختفاء اللون وتؤخذ قراءة السحاحة (أ).
- ٢- يضاف ٢- ٤ نقط من دليل البروموكريزول جرين أو برتقالي الميثيل وتستمر المعايرة حتى نقطة التعادل ثم تؤخذ قراءة السحاحة (ب).
- ٣- وفي حالة وجود الكربونات يمكن حساب:

$$\frac{(أ \times ب) \times \text{قوة الحمض} \times 1000}{\text{حجم محلول المعايرة}} = \text{CO}_3^{2-} \text{ (ملليمكافئ / لتر)}$$

$$\frac{(ب \times 12) \times \text{قوة الحمض} \times 1000}{\text{حجم محلول المعايرة}} = \text{HCO}_3^{-} \text{ (ملليمكافئ / لتر)}$$

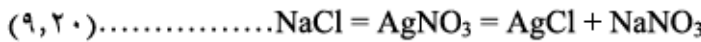
حيث:

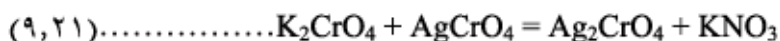
- أ = حجم الحمض اللازم للمعايرة في وجود دليل phph.
 ب = حجم الحمض اللازم للمعايرة في وجود دليل MO.
 وفي حالة عدم وجود الكربونات يمكن حساب:

$$\frac{\text{القراءة} \times \text{قوة الحمض} \times 1000}{\text{حجم محلول المعايرة}} = \text{HCO}_3^{-} \text{ (ملليمكافئ / لتر)}$$

تقدير الكلوريد Chloride (٩,٣,٣١)

يمكن تقدير الكلوريد في الماء باستخدام طريقة مور Mohr's method وتعتمد هذه الطريقة على تكوين كرومات الفضة غير الذائبة عند معايرة الكلوريد بنترات الفضة باستعمال دليل كرومات البوتاسيوم (Eaton et al., 2005):





وهناك عدة عوامل تؤثر على دقة النتائج المتحصل عليها عند تقدير الكلوريد بهذه الطريقة وأهم هذه العوامل هي كمية الدليل المناسبة، ودرجة تركيز أيون الهيدروجين بالمحلول.

الكواشف

١- محلول نترات الفضة ٠,٠٢ عياري، ويحضر بإذابة ٣,٣٩٨ جرام من نترات الفضة النقية في ماء مقطر مرتين ويكمل الحجم إلى لتر.

٢- دليل كرومات البوتاسيوم ٠,٥٪ ويحضر من كرومات البوتاسيوم K_2CrO_4 .

طريقة العمل

١- يوضع كمية معلومة من المحلول المحتوي على الكلوريد في جفنة صيني مع ملاحظة أن تكون كمية الكلوريد بالمحلول بين ٠,٠٠٥ - ٠,٠٠٤ ملليمكافئ (تخفف العينة إذا لزم).

يضاف أربع نقط من دليل كرومات البوتاسيوم وتجري المعايرة باستعمال محلول قياسي من نترات الفضة حتى بداية اللون البرتقالي المحمر الدال على نقطة التعادل - يراعى إجراء تجربة الشاهد وطرحها من النتيجة إذا لزم الأمر.

ويمكن أن تحسب كمية الكلوريد في الماء كما يلي:

$$\text{كمية الكلوريد (ملليمكافئ/ لتر)} = \frac{(أ - ب) \times \text{قوة الحمض} \times ١٠٠٠}{\text{حجم محلول المعايرة}}$$

حيث:

أ: عدد ملليمترات نترات الفضة اللازم لمعايرة العينة.

ب: عدد ملليمترات نترات الفضة اللازم لمعايرة الشاهد.

∴ كمية الكلوريد بالمليجرام / لتر = عدد ملليمكافئات الكلوريد / لتر ×

الوزن المكافئ للكلوريد.

(٩,٣,٣٢) تقدير الكلوريد الحر Cl_2 (الكلورين)

قد يوجد الكلوريد (الكلورين Cl_2) في المياه أو قد يضاف بشكل رئيس في مياه الشرب بغرض التعقيم للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة والضارة، ويؤدي الوجود الزائد للكلور إلى الأضرار بالعديد من الكائنات المائية باتحادها مع النشادر. وكذلك وجوده الزائد يحد من طعم ورائحة العديد من المواد مثل الفينول.

الفكرة الأساسية في الطريقة: من المعلوم أن الكلور عامل مؤكسد قوي في مجموعة الهالوجينات أكبر من اليود لذلك فهو يحرر اليود من يوديد البوتاسيوم، واليود المحرر يكافئ مقدار الكلور ويمكن معايرته مع ثيوكبريتات الصوديوم باستخدام النشادر كدليل.

الأدوات

- ١- دوارق مخروطية سعة ٢٥٠ مل بغطاء.
- ٢- ماصة ١٠٠ مل.
- ٣- سحاحة ٥٠ مل للمعايرة.

الكواشف

- ١- حمض خليك ثلجي مركز.
- ٢- يوديد البوتاسيوم بودر.
- ٣- ثيوكبريتات الصوديوم ٠,٢٥ عياري.
- ٤- محلول ١٪ نشا.

طريقة العمل

- ١- يؤخذ بالماصة ١٠٠ مل عينة الماء في دورق مخروطي سعة ٢٥٠ مل يضاف ٥ مل من حمض الخليك الثلجي المركز. تصبح قيمة الـ pH بعد الإضافة حوالي ٣-٤.

- ٢- يضاف ما يقارب ١ مم من يوديد البوتاسيوم ويخلط جيداً مع التحريك لمدة ١٥ دقيقة ويحفظ بعيداً عن الضوء المباشر.
- ٣- يضاف بضعة قطرات من دليل النشا وعايير المحتويات باستخدام ثيوكبريتات الصوديوم ٠.٢٥ ع حتى يتحول لون المحتويات إلى عديم اللون من اللون الأزرق.
- الحساب

$$\frac{\text{الحجم (مل)} \times \text{ع} \times 1000 \times 35.5}{\text{حجم العينة (١٠٠ مل)}} = \text{الكلورين (ppm)}$$

(٩,٣,٣٣) الكبريتات (SO_4^-)

توجد الكبريتات في المياه الجوفية من الجبس المائي ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) والجبس اللامائي (CaSO_4) أو من أكسدة البيريت (pyrite) وهو كبريتيد الحديد. المياه الجوفية في الصخور النارية والتحولية تحتوي عموماً على أقل من ١٠٠ ملجم / لتر من الكبريتات. بالإضافة إلى أن المياه الجوفية قد تحتوي على كبريتات المغنسيوم ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) والذي يسمى ملح إبسم (Epsom salt) وكبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) والذي يسمى ملح جلوبر (Glauber's salt) وهذه تسبب المذاق المر للماء (Page et al., 1982).

(٩,٣,٣٣, ١) تقدير الكبريتات بواسطة طريقة العكارة Turbid metric method

تستعمل طريقة العكارة لتقدير الكبريتات عندما تكون العينة تحتوي على الأقل ٥ ملليمكافئ / لتر SO_4^- حيث تحول الكبريتات إلى معلق كبريتات الباريوم BaSO_4 تحت ظروف محددة والعكارة الناتجة يمكن تقديرها بواسطة جهاز Spectrometer ومقارنتها بمنحنى قياسي محضر من محلول عياري من الكبريتات (Eaton et al., 2005).

الأجهزة والأدوات

- ١- جهاز قياس العكارة Turbid meter.
- ٢- مقلب مغناطيسي Magnetic Stirrer.
- ٣- دوارق مخروطية سعة ٢٥٠ مل.
- ٤- دوارق معيارية سعة ١٠٠ مل.

المحاليل

- ١- كلوريد الباريوم Dighdrate Barium Chloride مطحون ومنخول بمنخل
٢٠- ٣٠ ميثس (BaCl₂.2H₂O).
- ٢- المحلول المنظم للكبريتات Buffer-SO₄⁻: يحضر بإذابة ٧٥ جم ملح NaCl في ٢٧٥ مل ماء مقطر وتوضع في دورق معياري سعة ٥٠٠ مل مع التقليب. يضاف مع التقليب ٣٠ مل حمض HCl مركز +١٠٠ مل كحول إيثانول نقى absolute ethanol + ٥٠ مل جليسرول glycerol (يضاف الجليسرول بالنقط) يستمر التقليب حتى ذوبان كل كلوريد الصوديوم ويكمل الحجم بالماء المقطر.
- ٣- محلول الكبريتات القياسي (SO₄⁻) Standard sulfate متدرج من صفر -
٢ ملليمكافئ / لتر Solution 0-2 meq/L (SO₄⁻)
0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6, 2.0 meq/L (SO₄⁻)
- ٤- يوزن ٠.٨٧١٣ جم من كبريتات البوتاسيوم في دورق معياري سعة لتر وأذب بإضافة الماء المقطر جهاز من هذا المحلول التركيزات السابقة الذكر يأخذ ٤ ، ٨ ، ١٢ ، ١٦ ، ٥٠ / مل ١٠٠ مل دورق معياري ثم يكمل بالماء المقطر.

طريقة العمل

- ١- تخفف العينة حتى الحصول على تركيز أقل من ١ ملليمكافئ / لتر SO₄⁻.
- ٢- ينقل ١٠٠ مل من العينة في ٢٥٠ مل دورق مخروطي.

- ٣- يضاف ٥ مل من محلول الضبط بوساطة ماصة ضع المقلب المغناطيسي داخل الدورق ويشغل الجهاز بأسرع وقت ممكن.
- ٤- يضاف مرة واحدة حوالي ٠.٢ جم من كلوريد الباريوم بملعقة قلب لمدة ٦٠ ثانية.

- ٥- ثم يسحب الدورق من جهاز التقليب وتعين القراءة باستخدام جهاز قياس العكارة (Turbid meter) ٣٤٠ نانومتر بعد ١-٣ دقائق أو تقاس على جهاز العكارة.
- ٦- يقدر الكبريتات في العينة بمقارنة المنحنى المعد لذلك.
- (٩,٣,٣٤) تقدير البورون (B)

قد يوجد البورون بكميات صغيرة جداً، وعادة يحدد في المناطق الجافة وشبه الجافة مدى استخدام المياه في الري المياه للري، ورغم أن البورون بكميات قليلة جداً أساس للنمو للنبات، إلا أنه مضر لنباتات كثيرة في حالة زيادة تركيزه عن ١ ملليجرام/ لتر.

ويقاس البورون في مستخلصات التربة والنبات وفي ماء الري بواسطة الطريقة اللونية باستخدام محلول أزوميثان Azomethine-H (Bingham, 1982).

الأجهزة والأدوات

- ١- Polypropylene tubes, 10 ml capacities.
- ٢- Spectrophotometer.

الكواشف

- ١- محلول منظم: يذاب ٢٥٠ جم خلات أمونيوم NH_4OAC و ١٥ جم من EDTA المحتوية على 2Na (يذاب المحتويات) في ٤٠٠ مل ماء مقطر يضاف على تدريجياً ١٢٥ مل حامض خليك ثلجي ويخلط.

- ٢- دليل Azomethine-H: يؤخذ ٠,٤٥ جم من أزوميثين H يذاب في حجم ١٠٠ مل ١٪ حمض الأسكوربيك L-ascorbic acid (يحضرا ١ جم حمض أسكوربيك في ١٠٠ مل ماء) يحضر حديثاً بدون تخزين.
- ٣- محلول قياسي: يذاب ٠,١١٤ من حمض البوريك H_3BO_3 في ماء مقطر (جم ١ لتر). كل ١ مل من هذا المحلول يحتوي على ٢٠ ميكروجرام B (20µg/ml).
- ٤- يؤخذ الحجم التالي: ١٠، ٢٠، ٣٠، ٤٠، ٥٠ مل تخفف على ١٠٠ مل لتعطي تركيزات ٢، ٤، ٦، ٨، ١٠ ميكروجرام B/مل (ppm).
- ٥- يؤخذ ١ مل من المستخلص أو المحاليل القياسية أو الشاهد وتوضع في أنبوبة اختبار حجم ١٠ مل (بولي برويلين) ويضاف ٢ مل من المحلول المنظم يخلط جيداً، يضاف ٢ مل من دليل Azomethine-H يخلط جيداً.
- ٦- يقاس الامتصاص على ٤٢٠ نانومتر باستخدام جهاز Spectrophotometer.

(٩,٣,٣٥) تقدير الزيوت والدهون

الزيوت والدهون هو اسم يطلق على المواد التي يمكن استخلاصها من الماء بواسطة مذيبات عضوية معينة وهذه المواد قد تكون ذات أصل بيولوجي (دهن حيواني - زيوت نباتية) أو أصل معدني (الهيدروكربونات البترولية) أو قد تكون مركبات عضوية مخلقة Synthetic. والزيوت والدهون الناتجة من المطاعم والصناعات الغذائية يمكن أن تغلق أنابيب الصرف الصحي وتسبب في مشاكل عديدة. كما أن مشتقات البترول تعتبر مواد سامة وقابلة للاشتعال ويمكنها أن تؤثر بشكل كبير على عمليات التحلل البيولوجي بواسطة الكائنات الحية الدقيقة (نسيم، ٢٠٠٧ م).

التقدير

الطريقة الأساسية في التحليل هو الاستخلاص بواسطة مذيب عضوي وعادة يستخدم الكلورفلوروكربون ($CFCl_3$) ولكن نتيجة للأثر السيء للهيدروكربونات على طبقة الأوزون فيتم استبداله بالهكسان Hexane. وفي هذه الطريقة يتم تجميع العينة ورجها عدة مرات مع المذيب العضوي ثم تجميع العضوي وتسخينه حتى التبخر ثم يوزن المتبقي.

في حالة استخدام محلول $CFCl_3$ فإن تركيز الزيوت والدهون يمكن قياسها باستخدام Infrared spectrophotometer بدون الحاجة إلى التبخر (نسيم، ٢٠٠٧م).

(٩، ٤) الخواص الميكروبيولوجية للماء

التحليل الميكروبيولوجية للماء من التحاليل الهامة التي يمكن أن تكشف عن تلوث الماء بالبكتيريا المسببة للأمراض والناجمة عن التلوث بمياه الصرف الصحي، وسيتم هذا الكشف والتقدير سواء على مياه الآبار والعيون والأنهار وكذلك مياه الشرب ومياه الري، وكذلك في مياه الصرف الصحي والخارجة من محطات معالجة مياه الصرف الصحي لأغراض الزراعة حيث تكون إزالة الميكروبات المرضية مقياساً هاماً أهم من قياس خفض المواد الصلبة العالقة والأكسجين الحيوي الممتص.

ومن أهم المعايير الميكروبيولوجية المستخدمة في الإشارة إلى مدى التلوث خارج محطات المعالجة بالميكروبات ومدى إزالتها وهي قياس إجمالي عدد بكتيريا القولونيات (Total Coliforms) والقولونيات البرازية (Fical Coliforms).

(٩، ٤، ١) الاختبارات الميكروبيولوجية لمياه الصرف الصحي المعالجة

يمكن الكشف عن أفراد مجموعة القولون وبالأخص ميكروبي *Eschericki coli* , *Enterobacter aerogenes* وهي التي تتواجد في أمعاء الإنسان

والحيوان وتصل للمياه مع الميكروبات الممرضة ووجودها في المياه يعتبر دليلاً على التلوث بمياه الصرف الصحي وتكون المياه غير صالحة للتداول الآدمي في الأغراض الزراعية وخلافه (محمود، ١٩٨٨ م) والطريقة المستخدمة للكشف عن بكتيريا القولون البرازية هي:

(١، ١، ٤، ٩) طريقة الكشف عن بكتيريا القولون البرازية

Examination for fical coilform

يتم فيها اختبار تلوث المياه بالمخلفات الآدمية والحيوانية بالكشف عن بكتيريا القولون البرازية بإجراء ثلاثة اختبارات متتالية:

Presumptive test أولاً: الاختبار الاحتمالي

فكرة الاختبار: تعتمد فكرة الاختبار على قدرة بكتيريا القولون على تخمير سكر اللاكتوز وإنتاج حمض وغاز خلال ٢٤ ساعة من التحضين على درجة ٣٧م° بحيث يمثل الغاز نسبة ١٠٪ من حجم أنبوبة درهام، وفي هذه الحالة يعتبر الاختبار موجب وتكون العينة ملوثة، وإذا لم يتكون غاز يعتبر الاختبار سالب والعينة صالحة للاستخدام، أما إذا تكون غاز بنسبة أقل من ١٠٪ من حجم أنبوبة درهام فيجب استمرار تحضين العينة لمدة ٢٤ ساعة أخرى، فإذا لم يتكون غاز بعد ٤٨ ساعة تعتبر النتيجة سالبة ويدل ذلك على عدم التلوث ولا تجرى اختبارات أخرى وبالتالي صلاحية المياه وإعادة استخدامها في الأغراض الزراعية (محمود، ١٩٨٨ م).

أما في حالة تكون غاز بأي نسبة بعد ٤٨ ساعة فتعتبر العينة مشكوكاً فيها Doubtful presumptive ويجب أن يجرى عليها باقي الاختبارات.

الأدوات والمواد المطلوبة: عينة المياه المراد فحصها - ماصات معقمة سعة ١

مليلتر - بيئة لاختبار التخمر موزعة في أنابيب اختبار بواقع ٧ مليلتر لكل أنبوبة.

خطوات العمل:

- ١- تلقح بيئة بويون أو بيئة ماكونكي السائلة لاختبار التخمر بنقل ١ مليلتر من عينة المياه لكل أنبوبة.
- ٢- توضع الأنابيب في الحضانة عند ٣٧م لمدة ٢٤ ساعة.
- اختبار الأنابيب من حيث وجود الغاز بعد فترة التحضين.
- ٤- توضع الأنابيب في الحضانة لمدة ٢٤ ساعة أخرى إذا لم تعطي غاز يمثل ١٠٪ من حجم أنبوبة درهام.
- ٥- إذا لم يتكون غاز بعد ٤٨ ساعة تحضين، تعتبر نتيجة الاختبار سالبة.

ثانياً: الاختبار التحقيقي Confirmation test

فكرة الاختبار: إذا كانت نتيجة الاختبار الاحتمالي السابق موجبة أو مشكوك فيها فيجب إجراء هذا الاختبار باستعمال بيئة أجار الأيوسين وأزرق الميثيلين (EMB) Eosin methylene blue وذلك بإضافة كمية معلومة من صبغة الأيوسين الحمضية وصبغة أزرق الميثيلين القاعدية إلى أجار اللاكتوز المغذي، بعد ذلك تصب البيئة في أطباق وتحضن عند ٣٧م لمدة ٢٤ ساعة، بعدها تفحص من حيث لون المستعمرات البكتيرية الناتجة. يلاحظ أن الميكروبات التي لا تخمر سكر اللاكتوز غالباً ما تكون شفافة على هذه البيئة المغذية حيث إن الصبغة لا تمتص على الخلايا.

الأدوات المطلوبة: أطباق بتري بها بيئة EMB - أنابيب الاختبار الاحتمالي التي أعطت نتيجة موجبة أو مشكوك فيها - مزارع نقية عمرها ٢٤ ساعة لكل من *E. Coli* and *Enterobacter aerogenes*.

خطوات العمل:

- ١- يقسم قاع طبق بتري المحتوي على بيئة EMB إلى ثلاثة أقسام باستخدام قلم ماركر.

- ٢- يلقح القسم الأول من المزرعة النقية لبكتيريا *E. Coli* والقسم الثاني من المزرعة النقية لبكتيريا *E. aerogenes* بينما يلقح القسم الثالث بواسطة العينة الموجبة أو المشكوك فيها والناجمة من الاختبار الاحتمالي وذلك بطريقة التخطيط.
- ٣- يوضع الطبق مقلوباً في الحضان عند ٣٧م لمدة ٢٤ ساعة.
- ٤- تحتبر المستعمرات الميكروبية الناتجة بعد فترة التحضين وتقارن المستعمرات الناتجة في الجزء الملقح بالعينة المشكوك فيها مع مثيلتها من المستعمرات الناتجة من الأقسام الملقحة بالمزارع النقية.
- ٥- نلاحظ أن المستعمرات الممثلة لميكروب *E. Coli* تتميز بأنها صغيرة الحجم وذات مركز اسود ولها لمعان معدني مخضر، بينما المستعمرات الممثلة لميكروب *E. aerogenes* تتميز بأنها أكبر حجماً وبنية المركز وليس لها لمعان معدني.
- ٦- يؤخذ جزء من كل مستعمرة من المستعمرات المختارة والممثلة لبكتيريا القولون ويلقح بها بيئات أجار مغذي للحصول على مزارع ماثلة من هذه الميكروبات بعد التحضين.

ملحوظة: يمكن استخدام بيئة Endo agar بدلاً من بيئة EMB وفي هذه الحالة تكون مستعمرات *E. Coli* على هذه البيئة ذات مركز غامق وتلون البيئة حولها بلون أحمر ذات لمعان معدني، أما مستعمرات *E. aerogenes* فليس لها مركز غامق وتكون معتمة وردية اللون.

ثالثاً: الاختبار التكميلي Completed test

فكرة الاختبار: يجرى هذا الاختبار بغرض التأكد من أن الميكروبات التي ظهرت في الاختبار التحقيقي وتم اختيارها كميكروبات ممثلة لبكتيريا القولون وتستطيع أن تخمر سكر اللاكتوز مرة ثانية وبأن لها نفس خصائص بكتيريا القولون وهي أنها عصوية قصيرة غير متجرثمّة سالبة لصبغة جرام (محمود، ١٩٨٨م).

الأدوات والمواد المطلوبة: الأطباق التي أعطت نتيجة موجبة من الاختبار السابق - أنابيب اختبار بها بيثه بويون اللاكتوز أو بيثه ماكونكي السائلة لاختبار التخمر - صبغة جرام - شرائح زجاجية - أنابيب بها أجار مغذي مائل.
خطوات العمل:

- ١- تلقح أنابيب بيثه بويون اللاكتوز أو بيثه ماكونكي السائلة لاختبار التخمر وذلك باستخدام المزارع المائلة الناتجة من الاختبار التحقيقي.
- ٢- توضع الأنابيب بعد التلقيح في الحضان عند ٣٧م لمدة ٢٤ ساعة.
- ٣- من نفس المزارع المائلة السابقة حضر أغشية واصبغها بصبغة جرام وتفحص باستخدام العدسة الزيتية المنغمة.
- ٤- يعتبر الاختبار موجب إذا رأيت عصويات قصيرة غير متجرئة سالبة لجرام مخمرة لسكر اللاكتوز مع إنتاج حمض وغاز.

(٩,٥) أسئلة

- س١: كم جرام من حمض الكبريتيك H_2SO_4 تكافئ ٥ جم هيدروكسيد صوديوم (NaOH) و ٥ جم من هيدروكسيد البوتاسيوم (KOH)؟
- س٢: كيف يمكن التخلص من بعض التداخلات أثناء إجراء التقديرات المختلفة أعطي أمثلة من طرق التقدير؟
- س٣: وضح كيفية تحول البروميد إلى برومات أثناء عملية تعقيم المياه.
- س٤: وضح مع ذكر الخطوات والمعادلات إزالة عسر الماء.
- س٥: صنف طرق قياس العناصر إلى طرق مباشرة وطرق غير مباشرة؟
- س٦: كيف يمكنك أن تقرر تلوث عينة مياه بكتيريا؟

س٧: احسب كمية الأكسجين الحيوي الممتص BOD عند إضافة ١٥ مليلتر من مياه الصرف الصحي إلى ٣٠٠ مليلتر من المياه المقطرة المحتوية على بعض العناصر الغذائية، إذا كانت كمية الأكسجين الذائب ٨ ملجم/لتر وبعد خمسة أيام أصبحت ٢ ملجم/لتر.

س٨: لديك ١٠ مليلتر من عينة مياه الصرف الصحي خلطت مع ٢٩٠ مليلتر ماء مقطر ووضعت في قارورة BOD سعة ٣٠٠ مليلتر. إذا كان $DO = ٥$ ملجم/لتر

في البداية واصبح في النهاية ٢ ملجم/لتر فما هو تركيز BOD_5 في هذا التخفيف؟

س٩: افترض أنك ستقوم بتقييم للمياه في أحد المناطق بالمملكة العربية السعودية. أكتب مقترح يوضح خطوات عملك؟ وهل يختلف ذلك عن إجراءه في سوريا أو مصر مثلاً؟

(٩،٦) المراجع

أولاً: المراجع العربية

الهيئة العربية السعودية للمواصفات والمقاييس، ٢٠٠٠م. مياه الشرب غير المعبأة.

الرياض - المملكة العربية السعودية. م ق س ٤٠٩.

محمود، سعد علي زكي، ١٩٨٨. الميكروبيولوجيا التطبيقية العملية. مكتبة الأنجلو المصرية -

القاهرة - جمهورية مصر العربية.

نسيم، ماهر جورج. ٢٠٠٧م. تحليل و تقويم جودة المياه. منشأة المعارف بالإسكندرية

- جمهورية مصر العربية.

ثانياً: المراجع الأجنبية

Bingham, F. T. (1982). Boron. pp. 431-447. In , Page, A. L. (ed). Methods of soil analysis , part 2. Agronomy 9 : Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin 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.
- Ingrand V., J. L. Guinamant, A. Bruchet and, C. Brosse, Th. H. M. Noij and, A. Brandt, F. Sacher, C. McLeod and, A. R. Elwaer, J. P. Croué, Ph. Quevauviller. (2002). Determination of bromate in drinking water: development of laboratory and field methods. Volume 21:1,pp. 1-12.
- Lamb, J.C. (1985). Water quality and its control. John Wiley & Son. New York, USA.
- Maiti, S. K. (2004). Handbook of methods in environmental studies. Vol. 1: Water and wastewater analysis. Center of Mining Environment, Indian School of Mines, Dhanbad – 826004, India. ABD Publishers, Jaipur (India).pp. 161 – 177.
- Page, A.L., R.H. Miller, and D.R. Keeney.(1982). Methods of soil analysis, Part 2, 2nd Edition. American Society of Agronomy, Madison, Wis.
- WHO. 2000. Bottled drinking water Fact sheet N°256. October 2000.
- WHO. (2004). Guidelines for drinking water quality. 3rd edition. Vol.4.

الملاحق

بعض الوحدات العالمية (المصدر NIST, 2006)

الكمية	الرمز	أسم الوحدة
الطول	m	meter
الكتلة	kg	kilogram
الزمن	s	second
التيار الكهربائي الديناميكي الحراري	A	ampere
الحرارة	K	kelvin
كمية المادة	mol	mole
شدة الإضاءة	cd	candela

رموز الوحدات العالمية (المصدر NIST, 2006)

$1\ 000\ 000 = 10^6$	mega	M
$1\ 000 = 10^3$	kilo	k
$100 = 10^2$	hecto	h

$10 = 10^1$	deka	da
$0.1 = 10^{-1}$	deci	d
$0.01 = 10^{-2}$	centi	c
$0.001 = 10^{-3}$	milli	m
$0.000\ 001 = 10^{-6}$	micro	μ
$0.000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0.000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p

This table shows the common prefixes. Others, from 10^{-24} to 10^{24} are acceptable for use of the SI. See NIST SP 330.

الأسماء المختصرة والرموز (المصدر 2006 NIST)

الاسم الشائع	الوحدات الصحيحة
kilo	kilogram
calorie	joule (J), if the value is used in physics kilojoule (kJ), if the value is used in nutrition
candle candlepower	or candela
centiliter	milliliter or liter
fermi	femtometer
gamma	nanotesla
micron	micrometer
millimicron	nanometer
mho	siemens
γ (gamma)	microgram
λ (lambda)	cubic millimeter or microliter

التحويل من الوحدات الأمريكية إلى الوحدات العالمية (المصدر 2006 NIST)

To Convert From	To	Multiply By
	الطول	
Foot	meter (m)	0.3048

المساحة

acre	square meter (m ²)	4 046.873
acre	hectare (ha)	0.404 687 3
circular mil	square millimeter (mm ²)	0.000 506 708
square inch	square centimeter (cm ²)	6.451 6
square inch	square millimeter (mm ²)	645.16
square foot	square meter (m ²)	0.092 903 04
square yard	square meter (m ²)	0.836 127 36
square mile	square kilometer (km ²)	2.589 988

الحجم

acre-foot	cubic meter (m ³)	1 233.489
barrel, oil (42 U.S. gallons)	cubic meter (m ³)	0.158 987 3
barrel, oil (42 U.S. gallons)	liter (L)	158.987 3
cubic yard	cubic meter (m ³)	0.764 555
cubic foot	cubic meter (m ³)	0.028 316 85
cubic foot	liter (L)	28.316 85
board foot	cubic meter (m ³)	0.002 359 737
register ton	cubic meter (m ³)	2.831 685
bushel	cubic meter (m ³)	0.035 239 07
gallon	liter (L)	3.785 412
quart (liquid)	liter (L)	0.946 352 9
pint (liquid)	liter (L)	0.473 176 5
	milliliter (mL)	29.573 53
cubic inch	cubic centimeter (cm ³)	16.387 064

الزمن (نفس الوحدات العالمية)

السرعة

foot per second	meter per second (m/s)	0.304 8
mile per hour	kilometer per hour (km/h)	1.609 344
knot (nautical mile per hour)	kilometer per hour (km/h)	1.852

العجلة م/ث

inch per second	meter per second squared (m·s ⁻²)	0.025 4
-----------------	---	---------

squared foot per second squared	meter per second squared (m·s ⁻²)	0.304 8
standard acceleration of gravity (g _n)	meter per second squared (m·s ⁻²)	9.806 65

معدل السريان

cubic foot per second	cubic meter per second (m ³ /s)	0.028 316 85
cubic foot per minute	cubic meter per second (m ³ /s)	0.000 471 9474
cubic foot per minute	liter per second (L/s)	0.471 947 4
cubic yard per minute	liter per second (L/s)	12.742 58
gallon per minute	liter per second (L/s)	0.063 090 2
gallon per day	liter per day (L/d)	3.785 412

كفاءة الوقود

mile per gallon	kilometer per liter (km/L)	0.425 143 7
-----------------	-------------------------------	-------------

كمية الحركة (نفس الوحدات العالمية)

الكتلة (الوزن)

ton (long) (2240 lb)	kilogram (kg)	1 016.047
ton (long)	metric ton (t)	1.016 047
Section To Convert From To Multiply By		
ton (short) (2000 lb)	kilogram (kg)	907.184 74
ton (short)	metric ton (t)	0.907 184 74
slug	kilogram (kg)	14.593 9
pound (avoirdupois)	kilogram (kg)	0.453 592 37
ounce (troy)	gram (g)	31.103 48
ounce (avoirdupois)	gram (g)	28.349 52
grain	milligram(mg)	64.798 91

الكتلة

pound foot	kilogram meter (kg·m)	0.138 255
------------	--------------------------	-----------

الكثافة

ton (2 000 lb ([short])) per cubic yard	kilogram per cubic meter	1 186. 553
---	-----------------------------	------------

	(kg /m ³) metric ton per cubic meter (t	1.186 553
pound per cubic foot	/m ³) kilogram per cubic meter	16.018 46
	(kg /m ³)	
	التركيزات	
pound per gallon	gram per liter (g /L)	119.826 4
ounce (avoirdupois) per gallon	gram per liter (g /L)	7.489 152
	العزم	
pound foot per second	kilogram meter per second	0.138 255 0
	(kg·m/s)	
pound square foot	kilogram square meter	0.042 140 11
	(kg · m ²)	
	القوة	
pound-force	newton (N)	4.448 222
poundal	newton (N)	0.138 255 0
pound-force foot	newton meter (N · m)	1.355 818
pound-force inch	newton meter (N · m)	0.112 984 8
	الضغط	
standard atmosphere	kilopascal (kPa)	101.325
Section To Convert From To Multiply By bar	kilopascal (kPa)	100
millibar	kilopascal (kPa)	0.1
pound-force per square inch (psi)	kilopascal (kPa)	6.894 757
kilopound-force per square inch	megapascal (MPa)	6.894 757

pound-force per square foot	kilopascal (kPa)	0.047 880 26
inch of mercury (32 °F)	kilopascal (kPa)	3.386 38
foot of water (39.2 °F)	kilopascal (kPa)	2.988 98
inch of water (39.2 °F)	kilopascal (kPa)	0.249 082
millimeter of mercury (32 °F)	kilopascal (kPa)	0.133 322 4
torr (Torr)	pascal (Pa)	133.322 4

اللزوجة

centipoise	millipascal second (mPa · s)	1
------------	------------------------------	---

اللزوجة النشطة

centistokes	square millimeter per second (mm ² /s)	1
-------------	---	---

الطاقة، الشغل والتسخين

kilowatthour	megajoule (MJ)	3.6
calorie (as used in physics)	joule (J)	4.184
calorie (as used in nutrition)	kilojoule (kJ)	4.184
Btu	kilojoule (kJ)	1.055 056
therm (U.S.)	megajoule (MJ)	105.480 4
horsepower hour	megajoule (MJ)	2.684 520
foot pound-force	joule (J)	1.355 818

القوة

ton, refrigeration (12 000 Btu/h)	kilowatt (kW)	3.516 853
Btu per second	kilowatt (kW)	1.055 056
Btu per hour	watt (W)	0.293 071 1
horsepower (550 foot pounds-force per second)	watt (W)	745.699 9
horsepower, electric	watt (W)	746
foot pound-force per second	watt (W)	1.355 818

كميات الحرارة (نفس الوحدات العالمية)

درجة الحرارة (نفس الوحدات العالمية)

معامل التمدد الخطي

reciprocal degree Fahrenheit	reciprocal Kelvin (K ⁻¹)	1.8
reciprocal degree Fahrenheit	reciprocal degree Celsius (°C ⁻¹)	1.8

الحرارة (نفس الوحدات العالمية)

معدل السريان الحراري (نفس الوحدات العالمية)

التوصيل الحراري

Btu inch per hour square foot degree Fahrenheit	watt per meter kelvin [W / (m · K)]	0.144 227 9
--	---	-------------

ثابت النقل الحراري

Btu per hour square foot degree Fahrenheit	watt per square meter kelvin [W / (m ² · K)]	5.678 263
---	---	-----------

السعة الحرارية

Btu per degree Fahrenheit	kilojoule per kelvin (kJ/K)	1.899 101
---------------------------	-----------------------------------	-----------

السعة الحرارية النوعية

Btu per pound degree Fahrenheit	kilojoule per kilogram kelvin [kJ/(kg · K)]	4.186 8
---------------------------------	---	---------

إنثوري

Btu per degree Rankine	kilojoule per kelvin (kJ/K)	1.899 101
------------------------	-----------------------------------	-----------

الإنثوري النوعي

Section To Convert From To	kilojoule per kilogram	
Multiply By Btu per pound	kelvin	4.186 8
degree Rankine	[kJ/(kg · K)]	

الطاقة النوعية الداخلية

Btu per pound	kilojoule per kilogram (kJ/kg)	2.326
Quantities of Electricity and Magnetism		
oersted	Magnetic field strength ampere per meter (A/m)	79.577 47
maxwell	Magnetic flux nanoweber (nWb)	10
gauss	Magnetic flux density millitesla (mT)	0.1
ampere hour	Electric charge coulomb (C)	3 600
ohm circular mil per foot	Resistivity nanoohm meter (nΩ·m)	1.662 426
mho per centimeter	Conductivity siemens per meter (S/m)	100

كمية الطاقة والإشعاع المغناطيسي المرتبط بها

الطول الموجي

ångström	nanometer (nm)	0.1
----------	----------------	-----

Luminance

lambert (L)	candela per square meter (cd/m ²)	3 183.099
candela per square inch	candela per square meter (cd /m ²)	1 550.003
footlambert	candela per square meter (cd /m ²)	3.426 259

Luminous exitance

lumen per square foot	lux (lx)	10.763 91
phot	lux (lx)	10 000
footcandle	Illuminance lux (lx)	10.763 91

Quantities of Radiology

Section To Convert From To Multiply By	Activity (of a radionuclide)	
Curie	megabecquerel (MBq)	37 000
	Absorbed dose	
Rad	gray (Gy)	0.01
Rad	centigray (cGy)	1
	Dose equivalent	
Rem	sievert (Sv)	0.01
Rem	millisievert (mSv)	10
Millirem	millisievert (mSv)	0.01
Millirem	microsievert (μ Sv)	10
	Exposure (x and gamma rays)	
roentgen	coulomb per kilogram (C/kg)	0.000 258

(المصدر, 1983, Nobel)

بعض الوحدات العالمية

الوحدات	الرمز	الوحدات الأساسية	الكمية
square meter		m^2	المساحة
cubic meter		m^3	الحجم
Hertz, cycles per second	Hz	1/s	التكرار
kilogram per cubic meter		kg/m^3	الكثافة
meter/sec		m/s	السرعة
radian/sec		rad/s	السرعة الزاوية
meter/second squared		m/s^2	العجلة
radians per second square		rad/s^2	العجلة الزاوية
cubic meter per second		m^3/s	معدل الحركة الحجمي
kg per second		kg/s	معدل الحركة الكتلي

Newton	N	kg-m/s ²	القوة
Newton per meter	N/m	kg/s ²	الشّد السطحي
Pascal (Newton per square meter)	Pa (N/m ²)	kg/m-s ²	الضغط ، الشّد
Newton-second per square meter	N-s/m ²	kg/m-s ²	السرعة الحركية
meter squared per second		m ² /s	السرعة الكامنة
joule, newton-meter, watt-second	J, N-m, W-s	kg-m ² /s ²	الشغل ، الطاقة
watt, joule per second	W, J/s	kg-m ² /s ³	القوة
joule per kilogram degree	J/kg-K	m ² /s ² -K	ثابت الغازات
joule per kilogram	J/kg	m ² /s ²	الإنتالبي
joule per kilogram degree	J/kg-K	m ² /s ² -K	الإنتروپيا مقياس الطاقة
watt per meter degree	W/m-K	kg-m/s ³ -K	التوصيل الحراري
meter squared per second		m ² /s	ثابت الإنتشار
coulomb	C	A-s	الشحنة الكهربائية
volt	V	kg-m ² /A-s ³	القوة الكهربائية الحركية
volt per meter	V/m	kg-m/A-s ³	مجال الحقل الكهربائي
ohm	ohm	kg-m ² /A ² -s ³	المقاومة الكهربائية
amperes per volt meter	A/V-m	A ² -s ³ /kg-m ³	التوصيل الكهربائي
farad	F	A ² -s ⁴ /kg-m ²	السعة الكهربائية
Weber	Wb	kg-m ² /s ² -A	التدفق المغناطيسي
henry	H	kg-m ² /s ² -A ²	معامل التحفيز
tesla	T	kg/s ² -A	كثافة التدفق المغناطيسي

ثوابت تحويل الوحدات من الوحدات العالمية (SI) إلى وحدات أخرى والعكس.
(SSSJ., 2006)

العمود الأول وحدات (SI)	العمود الثاني وحدات غير (SI)	للتحويل من العمود الثاني إلى الأول
الطول		
kilometer, km (10^3 m)	mile, mi	1.61
meter, m	yard, yd	0.91
meter, m	foot, ft	0.3
micrometer, μm (10^{-6} m)	micron, μ	1
millimeter, mm (10^{-3} m)	inch, in	25.4
nanometer, nm (10^{-9} m)	Angstrom, Å	0.1
المساحة		
hectare, ha	acre	0.41
square kilometer, km ² (10^3 m) ²	acre	4.05×10^{-3}
square kilometer, km ² (10^3 m) ²	square mile, mi ²	2.59
square meter, m ²	acre	4.05×10^3
square meter, m ²	square foot, ft ²	9.29×10^{-2}
square millimeter, mm ² (10^{-3} m) ²	square inch, in ²	645
الحجم		
cubic meter, m ³	acre-inch	102.8

cubic meter, m ³	cubic foot, ft ³	2.83 x 10 ⁻²
cubic meter, m ³	cubic inch, in ³	1.64 x 10 ⁻⁵
liter, L (10 ⁻³ m ³)	bushel, bu	35.24
liter, L (10 ⁻³ m ³)	quart (liquid), qt	0.95
liter, L (10 ⁻³ m ³)	cubic foot, ft ³	28.3
liter, L (10 ⁻³ m ³)	gallon	3.78
liter, L (10 ⁻³ m ³)	ounce (fluid), oz	2.96 x 10 ⁻²
liter, L (10 ⁻³ m ³)	pint (fluid), pt	0.47

الكتلة

gram, g (10 ⁻³ kg)	pound, lb	454
gram, g (10 ⁻³ kg)	ounce (avdp), oz	28.4
kilogram, kg	pound, lb	0.45
kilogram, kg	quintal (metric), q	100
kilogram, kg	ton (2000 lb), ton	907
mega gram, Mg (tone)	ton (U.S.), ton	0.91
tonne, t	ton (U.S.), ton	0.91

الإنتاجية والمعدل

kilogram per hectare, kg ha ⁻¹	pound per acre, lb acre ⁻¹	1.12
kilogram per cubic meter, kg m ⁻³	pound per bushel, bu ⁻¹	12.87
kilogram per hectare, kg ha ⁻¹	bushel per acre, 60 lb	67.19
kilogram per hectare, kg ha ⁻¹	bushel per acre, 56 lb	62.71

kilogram per hectare, kg ha ⁻¹	bushel per acre, 48 lb	53.75
liter per hectare, L ha ⁻¹	gallon per acre	9.35
tones per hectare, t ha ⁻¹	pound per acre, lb acre ⁻¹	1.12 x 10 ³
mega gram per hectare, Mg ha ⁻¹	pound per acre, lb acre ⁻¹	1.12 x 10 ³
mega gram per hectare, Mg ha ⁻¹	ton (2000 lb) per acre, ton acre ⁻¹	2.24
meter per second, m s ⁻¹	mile per hour	0.45

السطح النوعي

square meter per kilogram, m ² kg ⁻¹	square centimeter per gram, cm ² g ⁻¹	0.1
square meter per kilogram, m ² kg ⁻¹	square millimeter per gram, mm ² g ⁻¹	0

الكثافة

mega gram per cubic meter, Mg m ⁻³	gram per cubic centimeter, g cm ⁻³	1
--	---	---

الضغط

mega Pascal, MPa (10 ⁶ Pa)	atmosphere	0.1
mega Pascal, MPa (10 ⁶ Pa)	bar	0.1
pascal, Pa	pound per square foot, lb ft ⁻²	47.9
Pascal, Pa	pound per square inch, lb in ⁻²	6.90 x 10 ³

درجة الحرارة

Kelvin, K	Celsius, °C	1.00 (°C + 273)
Celsius, °C	Fahrenheit, °F	5/9 (°F - 32)

الطاقة والشغل وكمية الحرارة

joule, J	British thermal unit, Btu	1.05 x 10 ³
----------	---------------------------	------------------------

joule, J	calorie, cal	4.19
joule, J	erg	40093
joule, J	foot-pound	1.36
joule per square meter, $J m^{-2}$	calorie per square centimeter (langley)	4.19×10^4
Newton, N	dyne	40091
watt per square meter, $W m^{-2}$	calorie per square centimeter minute (irradiance), $cal cm^{-2} min^{-1}$	698

النتح والتمثيل الضوئي

milligram per square meter second, $mg m^{-2} s^{-1}$	gram per square decimeter hour, g $dm^{-2} h^{-1}$	
---	---	--

milligram (H_2O) per square meter second, $mg m^{-2} s^{-1}$	micromole (H_2O) per square centimeter second, $\mu mol cm^{-2} s^{-1}$	
milligram per square meter second, $mg m^{-2} s^{-1}$	milligram per square centimeter second, $mg cm^{-2} s^{-1}$	

milligram per square meter second, $mg m^{-2} s^{-1}$	milligram per square decimeter hour, $mg dm^{-2} h^{-1}$	
---	---	--

زاوية المستوى

radian, rad	degrees (angle), °	1.75×10^{-2}
-------------	--------------------	-----------------------

المغناطيسية، الكهرباء و التوصيل الكهربائي

siemen per meter, $S m^{-1}$	millimho per centimeter, $mmho cm^{-1}$	0.1
tesla, T	gauss, G	40090

قياسات الماء

cubic meter, m ³	acre-inches, acre-in	102.8
cubic meter per hour, m ³ h ⁻¹	cubic feet per second, ft ³ s ⁻¹	101.9
cubic meter per hour, m ³ h ⁻¹	U.S. gallons per minute, gal min ⁻¹	0.23
hectare-meters, ha-m	acre-feet, acre-ft	0.12
hectare-meters, ha-m	acre-inches, acre-in	1.03 x 10 ⁻²
hectare-centimeters, ha- cm	acre-feet, acre-ft	12.33

التركيزات

centimole per kilogram, cmol kg ⁻¹	mill equivalents per 100 grams, meq 100 g ⁻¹	1
gram per kilogram, g kg ⁻¹	percent, %	10
milligram per kilogram, mg kg ⁻¹	parts per million, ppm	1

النشاط الإشعاعي

becquerel, Bq	curie, Ci	3.7 x 10 ¹⁰
becquerel per kilogram, Bq kg ⁻¹	picocurie per gram, pCi g ⁻¹	37
gray, Gy (absorbed dose)	rad, rd	0.01
sievert, Sv (equivalent dose)	rem (roentgen equivalent man)	0.01

ثوابت المغذيات النباتية

<i>Elemental</i>	<i>Oxide</i>	
P	P ₂ O ₅	0.44
K	K ₂ O	0.83
Ca	CaO	0.72
Mg	MgO	0.6

قيم الثوابت الرقمية لبعض المصطلحات (المصدر Nobel,1983)

الرمز	الوصف	القيمة
c	سرعة الضوء speed of light in vacuum	$2.998 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
C_{wv}^*	تركيز التشبع ببخار الماء saturation concentration of water vapor (i.e., at 100% relative humidity)	2.358 g m^{-3} ($0.1309 \text{ mol m}^{-3}$) at -10°C 3.407 g m^{-3} ($0.1891 \text{ mol m}^{-3}$) at -5°C 4.847 g m^{-3} ($0.2690 \text{ mol m}^{-3}$) at 0°C 6.797 g m^{-3} ($0.3773 \text{ mol m}^{-3}$) at 5°C 9.399 g m^{-3} ($0.5217 \text{ mol m}^{-3}$) at 10°C 12.83 g m^{-3} ($0.7121 \text{ mol m}^{-3}$) at 15°C 17.30 g m^{-3} ($0.9603 \text{ mol m}^{-3}$) at 20°C 23.05 g m^{-3} ($1.2790 \text{ mol m}^{-3}$) at 25°C 30.38 g m^{-3} ($1.6860 \text{ mol m}^{-3}$) at 30°C 39.63 g m^{-3} ($2.2000 \text{ mol m}^{-3}$) at 35°C 51.19 g m^{-3} ($2.8410 \text{ mol m}^{-3}$) at 40°C 65.50 g m^{-3} ($3.6360 \text{ mol m}^{-3}$) at 45°C 83.06 g m^{-3} ($4.6100 \text{ mol m}^{-3}$) at 50°C
C_P^{water}	السعة الحرارية الحجمية في الهواء الجاف volumetric heat capacity of dry air at constant pressure (1 atmosphere, 0.1013 MPa)	$4.217 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 0°C $4.175 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 20°C $4.146 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 40°C
C_P^{air}	السعة الحرارية الحجمية في الهواء الرطب volumetric heat capacity of moist air at constant pressure (1 atmosphere)	$1.29 \text{ kJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 0°C $1.21 \text{ kJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 20°C $1.13 \text{ kJ m}^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ at 40°C
D_{CO_2}	معامل الانتشارية لغاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء diffusion coefficient of CO_2 in air	$1.33 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at 0°C $1.42 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at 10°C $1.51 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at 20°C $1.60 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at 30°C $1.70 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ at 40°C

	(1 atmosphere, 0.1013 MPa)		
D_{O_2}	معامل الانتشارية لغاز الأكسجين في الهواء diffusion coefficient of O_2 in air (1 atmosphere, 0.1013 MPa)	$1.95 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	at 20 °C
D_{wv}	معامل الانتشارية لبخار الماء في الهواء diffusion coefficient of water vapor in air (1 atmosphere, 0.1013 MPa)	$2.13 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ $2.27 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ $2.42 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ $2.57 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ $2.72 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$	at 0 °C at 10 °C at 20 °C at 30 °C at 40 °C
e	اللوغاريتم الطبيعي base for natural logarithm	2.71828 ($1 / e = 0.368$)	
F	ثابت فاراداي faraday	$9.649 \times 10^4 \text{ coulomb mol}^{-1}$ $9.649 \times 10^4 \text{ J mol}^{-1} \text{ V}^{-1}$ $2.306 \times 10^4 \text{ cal mol}^{-1} \text{ V}^{-1}$ $23.06 \text{ kcal mol}^{-1} \text{ V}^{-1}$	
g	العجلة gravitational acceleration	9.780 m s^{-2} (sea level*, 0° latitude) 9.807 m s^{-2} (sea level*, 45° latitude) 9.832 m s^{-2} (sea level*, 90° latitude) 978.0 m s^{-2} (sea level*, 0° latitude) 980.7 m s^{-2} (sea level*, 45° latitude) 983.2 m s^{-2} (sea level*, 90° latitude)	
		(* The correction for height above sea level is $-3.09 \times 10^{-6} \text{ m s}^{-2}$ per m of altitude)	
h	ثابت بلانك Plank's constant	$6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}$ $6.626 \times 10^{-27} \text{ erg s}$ $0.4136 \times 10^{-14} \text{ eV s}$ $6.626 \times 10^{-37} \text{ kcal s}$	
hc		$1.986 \times 10^{-25} \text{ Jm}$ 1240 eV nm	
H_{sub}	حرارة تسامي الماء heat of sublimation of water	$51.37 \text{ kJ mol}^{-1}$ (2.847 MJ kg^{-1}) $51.17 \text{ kJ mol}^{-1}$ (2.835 MJ kg^{-1}) $51.37 \text{ kJ mol}^{-1}$ (2.826 MJ kg^{-1}) $12.27 \text{ kcal mol}^{-1}$ (680 cal g^{-1})	at -10 °C at -5 °C at -0 °C at -10 °C

		12.22 kcal mol ⁻¹ (677 cal g ⁻¹)	at - 5 °C
		12.18 kcal mol ⁻¹ (675 cal g ⁻¹)	at - 0 °C
H_{vap}	حرارة التبخير للماء	45.06 kJ mol ⁻¹ (2.501 MJ kg ⁻¹)	at 0 °C
	heat of vaporization of water	44.63 kJ mol ⁻¹ (2.477 MJ kg ⁻¹)	at 10 °C
		44.21 kJ mol ⁻¹ (2.454 MJ kg ⁻¹)	at 20 °C
		44.00 kJ mol ⁻¹ (2.442 MJ kg ⁻¹)	at 25 °C
		43.78 kJ mol ⁻¹ (2.430 MJ kg ⁻¹)	at 30 °C
		43.35 kJ mol ⁻¹ (2.406 MJ kg ⁻¹)	at 40 °C
		42.91 kJ mol ⁻¹ (2.382 MJ kg ⁻¹)	at 50 °C
		40.68 kJ mol ⁻¹ (2.258 MJ kg ⁻¹)	at 100 °C
		10.76 kcal mol ⁻¹ (597 cal g ⁻¹)	at 0 °C
		10.67 kcal mol ⁻¹ (592 cal g ⁻¹)	at 10 °C
		10.56 kcal mol ⁻¹ (586 cal g ⁻¹)	at 20 °C
		10.50 kcal mol ⁻¹ (583 cal g ⁻¹)	at 25 °C
		10.45 kcal mol ⁻¹ (580 cal g ⁻¹)	at 30 °C
		10.36 kcal mol ⁻¹ (575 cal g ⁻¹)	at 40 °C
		10.25 kcal mol ⁻¹ (569 cal g ⁻¹)	at 50 °C
		9.71 kcal mol ⁻¹ (539 cal g ⁻¹)	at 100 °C
k	ثابت بولتزمان	1.381 × 10 ⁻²³ J molecule ⁻¹ K ⁻¹	
	Boltzmann's constant	1.381 × 10 ⁻¹⁶ erg molecule ⁻¹ K ⁻¹	
		8.617 × 10 ⁻⁵ eV molecule ⁻¹ K ⁻¹	
kT		0.0235 eV molecule ⁻¹	at 0 °C
		0.0253 eV molecule ⁻¹	at 20 °C
		0.0257 eV molecule ⁻¹	at 25 °C
K^{air}	ثابت التوصيل الحراري	0.0237 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at -10 °C
	في الهواء الجاف	0.0243 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 0 °C
	thermal conductivity coefficient of dry air (1 atmosphere)*	0.0250 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 10 °C
		0.0257 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 20 °C
	ثابت التوصيل الحراري		
	في الهواء	0.0264 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 30 °C
	thermal conductivity coefficient of moist air (100% relative humidity, 1 atmosphere)	0.0270 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 40 °C
		0.0277 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 50 °C
		0.0242 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 0 °C
		0.0255 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 20 °C
	* The pressure sensitivity is very slight, K^{air} increasing only	0.0264 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 40 °C

	about 0.0001 W m ⁻¹ °C ⁻¹ per atmosphere (0.1013 MPa) increase in pressure.		
K^{water}	ثابت التوصيل الحراري في الماء	0.565 W m ⁻¹ °C ⁻¹ 0.599 W m ⁻¹ °C ⁻¹ 0.627 W m ⁻¹ °C ⁻¹	at 0 °C at 20 °C at 40 °C
	thermal conductivity coefficient of water		
\ln^2		0.693	
N	عدد أفوجادرو Avogadro's number	6.0220×10^{23} molecules mol ⁻¹	
Nhc		0.1196 J mol ⁻¹ m 119600 kJ mol ⁻¹ nm 28.60 kcal mol ⁻¹ m 28600 kcal mol ⁻¹ nm	
Nk		R	
N_{wv}^*	الكسر المولي لبخار الماء المشبع	0.00256 °C 0.00396 °C	at -10 at -5
	saturation mole fraction of water vapor (i.e., at 100% relative humidity (at 1 atmosphere (0.1013 MPa)	0.00603 0.00861 0.01211 0.01682 0.02307 0.03126 0.04187 0.05550 0.06281 0.09459 0.12180	at 0 °C at 5 °C at 10 °C at 15 °C at 20 °C at 25 °C at 30 °C at 35 °C at 40 °C at 45 °C at 50 °C
P_{wv}^*	ضغط بخار الماء المشبع saturation vapor pressure of water	0.260 KPa (2.60 mbar) 0.401 KPa (4.01 mbar) 0.611 KPa (6.11 mbar) 0.872 KPa (8.72 mbar) 1.227 KPa (12.27 mbar) 1.704 KPa (17.04 mbar) 2.337 KPa (23.37 mbar) 3.137 KPa (31.37 mbar) 4.243 KPa (42.43 mbar) 5.623 KPa (56.23 mbar)	at -10 °C at -5 °C at 0 °C at 5 °C at 10 °C at 15 °C at 20 °C at 25 °C at 30 °C at 35 °C

		7.378 KPa (73.78 mbar)	at	40 °C
		9.585 KPa (95.85 mbar)	at	45 °C
		12.34 KPa (123.4 mbar)	at	50 °C
<i>R</i>	ثابت الغاز gas constant	8.3143 J mol ⁻¹ K ⁻¹		
		1.987 cal mol ⁻¹ K ⁻¹		
		8.3143 m ³ Pa mol ⁻¹ K ⁻¹		
		8.3143 × 10 ⁻⁶ m ³ MPa mol ⁻¹ K ⁻¹		
		0.082054 liter atmosphere mol ⁻¹ K ⁻¹		
		0.083143 liter bar mol ⁻¹ K ⁻¹		
		83.143 cm ³ bar mol ⁻¹ K ⁻¹		
<i>RT</i>		2.271 × 10 ³ J mol ⁻¹ (m ³ Pa mol ⁻¹)	at	0 °C
		2.437 × 10 ³ J mol ⁻¹ (m ³ Pa mol ⁻¹)	at	20 °C
		2.479 × 10 ³ J mol ⁻¹ (m ³ Pa mol ⁻¹)	at	25 °C
		2.271 × 10 ³ J m ³ MPa mol ⁻¹	at	0 °C
		2.437 × 10 ³ J m ³ MPa mol ⁻¹	at	20 °C
		2.479 × 10 ³ J m ³ MPa mol ⁻¹	at	25 °C
		543 cal mol ⁻¹	at	0 °C
		582 cal mol ⁻¹	at	20 °C
		2.271 liter MPa mol ⁻¹	at	0 °C
		2.437 liter MPa mol ⁻¹	at	20 °C
		22.71 liter bar mol ⁻¹	at	0 °C
		24.37 liter bar mol ⁻¹	at	20 °C
		22710 m ³ bar mol ⁻¹	at	0 °C
		24370 m ³ bar mol ⁻¹	at	20 °C
		22.41 liter atmosphere mol ⁻¹	at	0 °C
		24.05 liter atmosphere mol ⁻¹	at	20 °C
2.303 <i>RT</i>		5.62 kJ mol ⁻¹	at	20 °C
		5.71 kJ mol ⁻¹	at	25 °C
		1.342 k cal mol ⁻¹	at	20 °C
		1.364 k cal mol ⁻¹	at	25 °C
		56120 cm ³ bar mol ⁻¹	at	20 °C
<i>RT/F</i>		25.3 mV	at	20 °C
		25.7 mV	at	25 °C
2.303 <i>RT/F</i>		58.2 mV	at	20 °C
		59.2 mV	at	25 °C
		60.2 mV	at	25 °C
<i>RT / \bar{V}_w</i>		135.0 M Pa	at	20 °C
		137.3 M Pa	at	25 °C
		32.4 cal cm ⁻³	at	20 °C
		135.0 J cm ⁻³	at	20 °C
		1350 bars	at	20 °C
		1330 atmosphere	at	20 °C
2.303		310.9 M Pa	at	20 °C

RT/\bar{V}_w	316.2 M Pa	at 25 °C
	3063 atmosphere	at 20 °C
	°C	
	3109 bars	at 20 °C
ثابت الأشعاع الشمسي	1360 W m ⁻²	
solar constant	1.95 cal cm ⁻² min ⁻¹	
	1.36 × 10 ⁵ erg cm ⁻² s ⁻¹	
الحرارة النوعية للماء	0.136 W cm ⁻²	
(وزنياً)	4187 J kg ⁻¹ °C ⁻¹	
specific heat of water	1.00 cal g ⁻¹ °C ⁻¹	
(mass basis)		
الحرارة النوعية للماء	75.4 J mol ⁻¹ °C ⁻¹	
(مول)	18.0 cal mol ⁻¹ °C ⁻¹	
specific heat of water		
(mole basis)		
\bar{V}_w	1.805 × 10 ⁻⁵ m ³ mol ⁻¹	at 20 °C
الجزئية المولالية لحجم	18.05 cm ³ mol ⁻¹	at 20 °C
الماء		
partial molal volume of		
water		
ϵ_0	8.854 × 10 ⁻¹² coulomb ² m ⁻² N ⁻¹	
النفاذية في الفراغ	8.854 × 10 ⁻¹² coulomb m ⁻¹ V ⁻¹	
permittivity of a		
vacuum		
η_w	1.784 × 10 ⁻³ Pa s	at 0 °C
لزوجة الماء	1.306 × 10 ⁻³ Pa s	at 10 °C
viscosity of water	1.002 × 10 ⁻³ Pa s	at 20 °C
	0.798 × 10 ⁻³ Pa s	at 30 °C
	0.653 × 10 ⁻³ Pa s	at 40 °C
	0.01002 dyn s cm ⁻²	at 20 °C
π	3.14159	
الثابت الطبيعي		
ρ_{air}	1.293 kg m ⁻³	at 0 °C
كثافة الهواء الجاف	°C	
density of dry air	1.205 kg m ⁻³	at 20 °C
(1 atmosphere, 0.1013 MPa)	°C	
	1.128 kg m ⁻³	at 40 °C
	°C	

	كثافة الهواء المشبع	1.290 kg m ⁻³	at 0
	density of saturated air	°C	
	(1 atmosphere)*	1.194 kg m ⁻³	at 20
	* Moist air is less dense	°C	
	than dry air at the same	1.097 kg m ⁻³	at 40
	temperature and	°C	
	pressure, since the		
	molecular weight of		
	water (18.0) is less than		
	the average for air		
	(29.0)		
ρ_w	كثافة الماء	999.8 kg m ⁻³ (0.9998 g cm ⁻³)	at 0 °C
	density of water	1000.0 kg m ⁻³ (1.0000 g cm ⁻³)	at 4 °C
		999.7 kg m ⁻³ (0.9997 g cm ⁻³)	at 10 °C
		998.2 kg m ⁻³ (0.9982 g cm ⁻³)	at 20 °C
		995.6 kg m ⁻³ (0.9956 g cm ⁻³)	at 30 °C
		992.2 kg m ⁻³ (0.9922 g cm ⁻³)	at 40 °C
$\rho_w g$		0.00979 MPa m ⁻¹	(20 °C, sea level,
		45° latitude)	
		0.0979 bar m ⁻¹	(20 °C, sea level,
		45° latitude)	
		979 dyn cm ⁻³	(20 °C, sea level,
		45° latitude)	
		0.0966 atmosphere m ⁻¹	(20 °C, sea level,
		45° latitude)	
σ	ثابت ستيفن - بولتزمان	5.670 × 10 ⁻⁸ W m ⁻² K ⁻⁴	
	Stefan - Boltzmann	5.670 × 10 ⁻¹² W cm ⁻² K ⁻⁴	
	constant	8.130 × 10 ⁻¹¹ cal cm ⁻² min ⁻¹ K ⁻⁴	
		5.670 × 10 ⁻⁵ erg cm ⁻² s ⁻¹ K ⁻⁴	
σ_w	الشدة السطحي للماء	0.0756 N m ⁻¹ (Pa m)	at 0 °C
	surface tension of water	0.0742 N m ⁻¹ (Pa m)	at 10 °C
		0.0728 N m ⁻¹ (Pa m)	at 20 °C
		0.0712 N m ⁻¹ (Pa m)	at 30 °C
		0.0696 N m ⁻¹ (Pa m)	at 40 °C
		0.0756 N m ⁻¹ (Pa m)	at 0 °C
		7.28 × 10 ⁻⁸ M Pa m	at 20 °C
		72.8 dyn cm ⁻¹	at 20 °C
		7.18 × 10 ⁻⁵ atmosphere cm	at 20 °C
		7.28 × 10 ⁻⁵ bar cm	at 20
		°C	

مواصفات الأحماض والقواعد المركزة المحضرة تجارياً

العيارية	الوزن النوعي (جم/سم ³)	النسبة المئوية الوزنية	المادة
11.30	1.18	25	HCl
16.00	1.42	70	HNO ₃
36.00	1.84	96	H ₂ SO ₄
11.60	1.66	70	HClO ₄
26.50	1.15	46	HF
41.10	1.69	85	H ₃ PO ₄
17.40	1.05	99.5	CH ₃ CO ₂ H
14.30	0.90	27	NH ₃

المحاليل المنظمة والرقم الهيدروجيني لها

رقم الحموضة pH	تركيب المحلول المنظم (التركيز مولار)
2.07	0.05 M - HCl + 0.09 M - KCl
1.48	0.10 M - Potassium tetra oxalate (KH ₃ (C ₂ O ₄) ₂ .2H ₂ O)
3.72	0.10 M - Potassium Dihydrogène Citrate (KH ₂ C ₆ H ₅ O ₇)
4.64	0.10 M - Acetic acid (CH ₃ CO ₂ H) + 0.10 M - Sodium acetate (CH ₃ COONa)
4.70	0.01 M - Acetic acid (CH ₃ CO ₂ H) + 0.01 M - Sodium acetate (CH ₃ COONa)
6.85	0.01 M - Potassium Dihydrogène Phosphate (KH ₂ PO ₄) + 0.01 M - Di sodium Hydrogène Phosphate (Na ₂ HPO ₄)
9.18	0.05 M - Borax (Di sodium Tetra Borate (Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O))
10.00	0.025 M - Sodium Bicarbonate (NaHCO ₃) + 0.025 M - Sodium Carbonate (Na ₂ CO ₃)
11.72	0.01 M - Tri Sodium Orthophosphate (Na ₃ PO ₄ .12H ₂ O)

معامل الفعالية لبعض الأيونات عند القوى الأيونية المختلفة

الأيون	حجم الأيون	معامل الفعالية				
		$\mu = 0.002$	$\mu = 0.01$	$\mu = 0.02$	$\mu = 0.10$	$\mu = 0.20$
H^+	9	0.967	0.933	0.914	0.86	0.83
Li^+	6	0.965	0.929	0.907	0.835	0.8
Na^+, IO_3^-, HSO_4^-	4	0.964	0.927	0.901	0.815	0.77
OH^-, F^-, ClO_4^-	3.5	0.964	0.926	0.9	0.81	0.76
K^+, Cl^-, Br^-, I^-	3	0.964	0.925	0.899	0.805	0.755
NH_4^+, Ag^+	2.5	0.964	0.924	0.898	0.8	0.75
Mg^{2+}, Be^{2+}	8	0.872	0.755	0.69	0.52	0.45
$Ca^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Ni^{2+}, Co^{2+}$	6	0.87	0.749	0.675	0.485	0.405
Ba^{2+}, Cd^{2+}	5	0.868	0.744	0.67	0.465	0.38
Pb^{2+}	4.5	0.867	0.742	0.665	0.455	0.37
SO_4^{2-}, HPO_4^{2-}	4	0.867	0.74	0.66	0.445	0.355
$Al^{3+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}$	9	0.738	0.54	0.445	0.245	0.18
PO_4^{3-}	4	0.725	0.505	0.395	0.16	0.095
$Tn^{4+}, Zr^{4+}, Ce^{4+}$	11	0.588	0.35	0.255	0.1	0.065

ثبتت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي

١

Equilibrium	الاتزان
Eutrofication	الإثراء الغذائي
Biological Oxygen Demand	الاحتياج الحيوي للأكسجين
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	الاحتياج الكيميائي الحيوي للأكسجين
(COD) Chemical Oxygen Demand	الاحتياج الكيميائي للأكسجين
Oxygen Demand (OD)	الاحتياج للأكسجين
Leaching Requirement (LR)	الاحتياجات الغسيلية
Presumptive test	الاختبار الاحتمالي
Confirmation test	الاختبار التحقيقي
Completed test	الاختبار التكميلي
Spectrophotometer	أجهزة القياس الطيفي
Management of Toxicity Problems	إدارة مشاكل السمية
Indicators	الأدلة

Precipitation Indicators	أدلة الترسيب
Colour Indicators	الأدلة اللونية
Adsorption	الامتصاص
Sodic Soils	أراضي صودية
Streptomycin	الأستربتومييسين
<u>S. aureofaciens</u> ,	الأستربتومييسين ايروفاسينس
<u>S. rimousus</u> .	الأستربتومييسين ريموزس
Reclamation Leaching	استصلاح التربة بالغسيل
Diarrhea	إسهال الحيوانات
Blue Babies	الأطفال الزرق
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	الأكسجين الحيوي المستهلك
Dissolved Oxygen (DO)	الأكسجين الذائب
Dissolved oxygen (D.O)	الأكسجين الذائب
Chemical Oxygen (COD)	الأكسجين الكيميائي المستهلك
Specific Ion Electrode	إلكترودات نوعية للأيونات
Illite	الإليت
Absorpance	الامتصاص
Water-based diseases	الأمراض المتمركزة في الماء
Water-borne diseases	الأمراض المحمولة بالمياه
Water-related diseases	الأمراض وثيقة الصلة بالماء
Gas Diffusion	الانتشار الغازي

swelling	الانتفاخ
Invertas	إنزيم انفيرتيز
Streptokinase	إنزيم ستروبتوكيناز
Hard Detergents	المنظفات العسرة

ب

Methyl Orange (MO)	برتقالي الميثيل
Bromocresol green	البروموكريزول جرين
Volhard method	بطريقة فولها رد
Faecal coliforms	البكتريا القولونية
Total bacteria	البكتريا الكلية
Enterococci	البكتريا الممرضة
Hexagonal	بناء سداسي
<u>Penicillium spp.</u>	البنسليوم
Purple	البنفسجي
Potassium	البوتاسيوم
(EMB) Eosin methylene blue	بيئة أجار الأوسين وأزرق الميثيلين
Aquatic environment	البيئة المائية

ت

Salinity Effect on Crop	تأثير الملوحة على المحاصيل
Improved subsurface drainage	تحسين صرف الطبقة تحت السطحية
Biotic degradation	التحلل الحيوي

Crop Tolerance to Salinity	تحمل المحاصيل للملوحة
Saline Sodic soils	الترب الملحية الصودية
Saline Non-Sodic Soils	تربة ملحية غير صودية
Water Composition	تركيب الماء
Fertilization	التسميد
Land grading	تسوية التربة
Development of Tolerance Data	تطور بيانات تحمل الملوحة
Changing Method of Irrigation	تغير طرق الري
Total Dissolved Solid (TDS)	تقدير المواد الصلبة الذائبة
Nitrate Determination (NO_3^-)	تقدير النترات
Water Hardness Determination	تقدير عسر الماء
Osmotic adjustment	التكيف الأسموزي
Water Pollution	تلوث المياه
Self Purification	التنقية الذاتية
Land Development for Salinity Control	تهيئة التربة للسيطرة على الملوحة
CO_2 in H_2O Equilibrium	توازن ثاني أكسيد الكربون و الماء
Electrical Conductivity (EC)	التوصيل الكهربائي
Irrigation Time	توقيت الري
(P.C.B.) Polychlorinated Biphenyls	ثنائي الفينيل متعدد الكلور
Dipolar	الثنائي القطب



Alpha particles (α)	جسيمات ألفا
Beta particles (β)	جسيمات بيتا
Gamma rays (γ)	جسيمات جاما
Atomic Absorption	جهاز الامتصاص الذري
Atomic absorption spectrophotometer	جهاز الامتصاص الذري
Spectrophotometer	جهاز التقدير اللوني
Colorimetric	جهاز القياس اللوني
Flame photo-meter	جهاز القياس باللهب
Gas Chromatograph mass Spectrometer	جهاز الكروماتوجراف الغازي
pH - meter	جهاز قياس الأس الهيدروجيني
EC-meter	جهاز قياس التوصيل الكهربائي
Turbid meter	جهاز قياس العكارة
Nansen Sampler	جهاز نانسين
Niskin Sampler	جهاز نسكين



Water Condition	حالة الماء
Lime Stone	الحجر الجيري
Iron	الحديد
Deep Cultivate	الحراثة العميقة
Incubator	حضانة

Ascorbic acid	حمض الأسكوربيك
Gluconic acid	الحمض الجلوكوني
Acetic Acid	حمض الخليك
Sulphanilic Acid	حمض السلفانيلك
Tartaric acid	حمض الطرطريك
Citric acid	حمض الليمون
Amino Naphthalene-7-Sulphonic Acid	حمض أمينوفثالين سلفونيك
Livestock	حيوانات المزرعة
ح	
Changing or Blending Water	خلط مياه الري
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	خميرة الخباز
<i>Saccharomyces cervisiae</i>	خميرة الخباز
Biological & Bacteriological Characteristics	الخواص الحيوية والبكتيريولوجية للماء
د	
Methylene Blue	دليل أزرق الميثيلين
Simple Indicators	الدليل البسيط
Ferroun	دليل الفريون
Screened Indicator	الدليل المختفي
Mixed Indicator	الدليل المختلط
Eriochrome Black T	دليل ايروكروم بلاك تي
Murexide	دليل بربرات الأمونيوم (الميروكسيد)

(P- dimethyle aminobenzal –
rhodanine)
Langelier Saturation Index (SI)

دليل روهدانين

دليل لانجلر للتشبع

Hydrogen bond

ر

الرابطة الهيدروجينية

Lead

الرصاص

Zinc

ز

الزنك

Sulfanilamide

س

سالفانيل أميد

Burette

السحاحة

Meniscus

سطح الانفصال المنحني

Cation Exchangeable Capacity (CEC)

السعة التبادلية الكاتيونية

Selenium

السليسيوم

Smectite

السمكتيت

Cyanide

السيانيد

Blank

ش

الشاهد

Impurities

شوائب

Sodium

ص

الصوديوم

ض

Osmotic Potential

الضغط الأسموزي

ط

Potassium antimonty tartarate

طرطرات البوتاسيوم الأنتيموني

Blue-molybdenum method

طريقة أزرق الموليبدنم

Azide Modification Method

طريقة الأزيد المعدلة

Turbid metric method

طريقة العكارة

ع

Alpha Counter

عداد ألفا

Beta Counter

عداد بيتا

Gamma Counter

عداد جاما

Geiger Counter

عداد جيجر

Threshold odor value

عدم ظهور الرائحة

Permanent hardness

العسر الدائم

Total hardness

العسر الكلي

Temporary hardness

العسر المؤقت

Streptococcus hemolyticus

العقدية المحللة للدم

Turbidity

العكارة

Infiltration

عمليات الترشيح

decomposition

عملية التحلل

Eutrophication

عملية التخصب الحيوي

Chlorination		عملية الكلورة
Doubtful presumptive		العينة مشكوكاً بها
	Ⓝ	
Radon		غاز الرادون
	Ⓝ	
<i>Aspergillus niger</i>		فطر الأسبرجلس نيجر
Filter membrane		فلتر غشائي
Fluoride		الفلوريد
Phosphate		الفوسفات
Ethylenediaminetetraacetate		الفيرسينات
Vermiculite		الفيرموكلويت
Phynolphthaline (pHph)		الفينولفتالين
	Ⓝ	
Total alkalinity		القاعدية الكلية
Water Alkalinity		قاعدية الماء
Indicator electrode		القطب الدليل
Combination glass electrode		قطب الزجاج المزدوج
Glasses electrode		القطب الزجاجي
Calomel electrode		قطب الكالوميل
Reference electrode		القطب المرجع
Polar		قطبياً

Cohesion	قوى الالتصاق
Adhesion	قوى التماسك
Odor	قياس الرائحة
ك	
Kaolinite	كاؤولنيت
Hydrogen Sulphide	كبريتيد الهيدروجين
Mole Fraction	الكسر المولي
Irrigation water Efficiencies	كفاءات مياه الري
Water Use Efficiency	كفاءة استخدام المياه
Water Application Efficiency	كفاءة إضافة الماء
Water Conveyance Efficiency	كفاءة نقل المياه
Chlorite	الكلورايت
Chloride	الكلوريد
ل	
Cathode lamb	لمبة الكاثود
Lithium	الليثيوم
م	
Deionized water	ماء منزوع الأيونات
Pipette	الماصة
Organochloride insecticides	مبيدات الحشرات
Gypsum Requirement	متطلبات الجبس

Streams	المجري المائية الصغيرة
Reducing Solution	محلول الاختزال
Normal Solution	المحلول الأساس أو العياري
Stock solution	المحلول الأساسي
Amine Solution	محلول الأمين
Molar Solution	المحلول الجزيئي
Blank Solution	محلول الشاهد
Standard Solution	المحلول القياسي
Buffer solution	محلول منظم
Dioxin	مركبات الداىوكسين
Toxicity Problems	مشاكل السمية
Salinity Problems	مشكلة الملوحة
Resources of Water Pollution	مصادر تلوث البيئة المائية
<i>Clostridium acetobutylicum</i>	المطثية اسيتوبوتيليكم
Acid Rain	المطر الحمضي
Alkali Metals	المعادن القاعدية
Saturation Index	معامل الإشباع
Leaching Factor (LF)	معامل الغسيل
Magnetic Stirrer	مقلب مغناطيسي
Photo-meter	مقياس ضوئي
Epsom salt	ملح إبسم

Glauber's salt	ملح جلوبر
Animalia	مملكة الحيوان
Protista	مملكة الكائنات الحية الدقيقة
Plantae	مملكة النبات
Montmoreillonite	المتنومورلنيت
Manganese	المنجنيز
Soft Detergents	المنظفات الميسرة
Organic matter	المواد العضوية
Placement of Seed	موقع البذرة
Molality	المولالية
Grey Water	المياه الرمادية
Black Water	المياه السوداء
Sewage Water	مياه الصرف الصحي
Methaemoglobin	الميثاموجلوبين
Methemoglobin	الميثيموجلوبين
Mica	الميكاف
Copper	النحاس
Activity	النشاط
End Point	نقطة التعادل

ثانياً: إنجليزي - عربي

A

Alpha particles (α)	جسيمات ألفا
Absorpance	الامتصاص
Acetic Acid	حمض الخليك
Acid Rain	المطر الحمضي
Activity	النشاط
Adhesion	قوى التماسك
Adsorption	الادمصاص
Alkali Metals	المعادن القاعدية
Alpha Counter	عداد ألفا
Amine Solution	محلول الأمين
Amino Naphthalene-7-Sulphonic Acid	حمض أمينوفثالين سلفونيك
Animalia	مملكة الحيوان
Aquatic environment	البيئة المائية
Ascorbic acid	حمض الأسكوربيك
<i>Aspergillus niger</i>	فطر الأسبرجلس نيجر
Atomic Absorption	جهاز الامتصاص الذري
Atomic absorption spectrophotometer	جهاز الامتصاص الذري
Azide Modification Method	طريقة الأزيد المعدلة

Beta Counter	عداد بيتا
Beta particles (β)	جسيمات بيتا
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	الاحتياج الكيميائي الحيوي للأكسجين
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	الأكسجين الحيوي المستهلك
Biological & Bacteriological Characteristics	الخواص الحيوية والبكتيريولوجية للماء
Biological Oxygen Demand	الاحتياج الحيوي للأكسجين
Biotic degradation	التحلل الحيوي
Black Water	المياه السوداء
Blank	الشاهد
Blank Solution	محلول الشاهد
Blue Babies	الأطفال الزرق
Blue-molybdenum method	طريقة أزرق الموليبدنم
Bromocresol green	البروموكريزول جرين
Buffer solution	محلول منظم
Burette	السحاحة
C	
Cation Exchangeable Capacity (CEC)	السعة التبادلية الكاتيونية
Calomel electrode	قطب الكالوميل
Cathode lamp	لمبة الكاثود
Changing Method of Irrigation	تغير طرق الري
Changing or Blending Water	خلط مياه الري

Chemical Oxygen (COD)	الأكسجين الكيميائي المستهلك
Chemical Oxygen Demand (COD)	الاحتياج الكيميائي للأكسجين
Chloride	الكلوريد
Chlorination	عملية الكلورة
Chlorite	الكلورايت
Citric acid	حمض الليمون
<i>Clostridium acetobutylicum</i>	المطية اسيتوبوتيليكم
CO ₂ in H ₂ O Equilibrium	توازن ثاني أكسيد الكربون و الماء
Cohesion	قوى الالتصاق
Colorimetric	جهاز القياس اللوني
Colour Indicators	الأدلة اللونية
Combination glass electrode	قطب الزجاج المزدوج
Completed test	الاختبار التكميلي
Confirmation test	الاختبار التحقيقي
Copper	النحاس
Crop Tolerance to Salinity	تحمل المحاصيل للملوحة
Cyanide	السيانيد
decomposition	عملية التحلل
Deep Cultivate	الحراثة العميقة
Deionized water	ماء منزوع الأيونات
Development of Tolerance Data	تطور بيانات تحمل الملوحة

Dissolved Oxygen (DO)	الأكسجين الذائب
Diarrhea	إسهال الحيوانات
Dioxin	مركبات الدايوكسين
Dipolar	الثنائي القطب
Dissolved oxygen (D.O)	الأكسجين الذائب
Doubtful presumptive	العينة مشكوكاً بها

E

EC-meter	جهاز قياس التوصيل الكهربائي
Electrical Conductivity (EC)	التوصيل الكهربائي
End Point	نقطة التعادل
Enterococci	البكتريا الممرضة
Eosin methylene blue (EMB)	بيئة أجار الأيوسين وأزرق الميثيلين
Epsom salt	ملح إبسم
Equilibrium	الاتزان
Eriochrome Black T	دليل ايروكروم بلاك تي
Ethylenediaminetetraacetate	الفيرسينات
Eutrofication	الإثراء الغذائي
Eutrophication	عملية التخصيب الحيوي

F

Faecal coliforms	البكتريا القولونية
Ferroun	دليل الفريون

Fertilization	التسميد
Filter membrane	فلتر غشائي
Flame photo-meter	جهاز القياس باللهب
Fluoride	الفلوريد
Gamma rays (γ)	جسيمات جاما
Gamma Counter	عداد جاما
Gas Chromatograph mass Spectrometer	جهاز الكروماتوجراف الغازي
Gas Diffusion	الانتشار الغازي
Geiger Counter	عداد جيجر
Glasses electrode	القطب الزجاجي
Glauber's salt	ملح جلوبر
Gluconic acid	الحمض الجلوكوني
Grey Water	المياه الرمادية
Gypsum Requirement	متطلبات الجبس

H

Hard Detergents	بالمُنظفات العسرة
Hexagonal	بناء سداسي
Hydrogen bond	الرابطة الهيدروجينية
Hydrogen Sulphide	كبريتيد الهيدروجين

K

Kaolinite	كاؤلنيت
-----------	---------

L

Illite	الإليت
Improved subsurface drainage	تحسين صرف الطبقة تحت السطحية
Impurities	شوائب
Incubator	حضانة
Indicator electrode	القطب الدليل
Indicators	الأدلة
Infiltration	عمليات الترشيح
Invertas	إنزيم انفيرتيز
Iron	الحديد
Irrigation Time	توقيت الري
Irrigation water Efficiencies	كفاءات مياه الري
Land Development for Salinity Control	تهيئة التربة للسيطرة على الملوحة
Land grading	تسوية التربة
Langelier Saturation Index (SI)	دليل لانجلر للتشبع
Leaching Factor (LF)	معامل الغسيل
Leaching Requirement (LR)	الاحتياجات الغسيلية
Lead	الرصاص
Lime Stone	الحجر الجيري
Lithium	الليثيوم
Livestock	حيوانات المزرعة

M

Magnetic Stirrer	مقلب مغناطيسي
Management of Toxicity Problems	إدارة مشاكل السمية
Manganese	المنجنيز
Meniscus	سطح الانفصال المنحني
Methaemoglobin	الميثاموجلوبين
Methemoglobin	الميثيموجلوبين
Methyl Orange (MO)	برتقالي الميثيل
Methylene Blue	دليل أزرق الميثيلين
Mica	الميكاف
Mixed Indicator	الدليل المختلط
Molality	المولالية
Molar Solution	المحلول المولي
Mole Fraction	الكسر المولي
Montmoreillonite	المتومورلونيت
Murexide	دليل بريرات الأمونيوم (الميروكسيد)

N

Nansen Sampler	جهاز نانسين
Niskin Sampler	جهاز نسين
Nitrate Determination (NO_3^-)	تقدير النترات
Normal Solution	المحلول الأساس أو العياري

O

Odor	قياس الرائحة
Organic matter	المواد العضوية
Organochloride insecticides	مبيدات الحشرات
Osmotic adjustment	التكيف الأسموزي
Osmotic Potential	الضغط الأسموزي
Oxygen Demand (OD)	الاحتياج للأكسجين

P

P- dimethyle aminobenzal – rhodanine	دليل روهدانين
<u>Penicillium spp.</u>	البنسليوم
Permanent hardness	العسر الدائم
pH - meter	جهاز قياس الأس الهيدروجيني
Phosphate	الفوسفات
Photo-meter	مقياس ضوئي
Phynolphthaline (phph)	الفينولفتالين
Pipette	الماصة
Placement of Seed	موقع البذرة
Plantae	مملكة النبات
Polar	قطبياً
Polychlorinated Biphenyls (P.C.B.)	ثنائي الفينيل متعدد الكلور
Potassium	البوتاسيوم

Potassium antimonty tartarate	طرطرات البوتاسيوم الأنتيموني
Precipitation Indicators	أدلة الترسيب
Presumptive test	الاختبار الاحتمالي
Protista	مملكة الكائنات الحية الدقيقة
Purple	البنفسجي
R	
Radon	غاز الرادون
Reclamation Leaching	استصلاح التربة بالغسيل
Reducing Solution	محلول الاختزال
Reference electrode	القطب المرجع
Resources of Water Pollution	مصادر تلوث البيئة المائية
S	
<u>S. aureofaciens</u> ,	الأسترتوميسين ايروفاسينس
<u>S. rimousus</u> .	الأسترتوميسين ريموزس
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	خميرة الخباز
<i>Saccharomyces cervisiae</i>	خميرة الخباز
Saline Non-Sodic Soils	تربة ملحية غير صودية
Saline Sodic soils	التربة الملحية الصودية
Salinity Effect on Crop	تأثير الملوحة على المحاصيل
Salinity Problems	مشكلة الملوحة
Saturation Index	معامل الإشباع

Screened Indicator	الدليل المختفي
Selenium	السليسيوم
Self Purification	التنقية الذاتية
Sewage Water	مياه الصرف الصحي
Simple Indicators	الدليل البسيط
Smectite	السمكتيت
Sodic Soils	أراضى صودية
Sodium	الصوديوم
Soft Detergents	المنظفات الميسرة
Specific Ion Electrode	إلكترودات نوعية للأيونات
Spectrophotometer	جهاز التقدير اللوني
Spectrophotometer	وأجهزة القياس الطيفي
Standard Solution	المحلول القياسي
Stock solution	المحلول الأساسي
Streams	المجري المائية الصغيرة
<i>Streptococcus hemolyticus</i>	العقدية المحللة للدم
Streptokinase	إنزيم ستروبوتوكيناز
Streptomycin	الأستربتوميسين
Sulfanilamide	سالفانيل أميد
Sulphanilic Acid	حمض السلفانيليك
swelling	الانتفاخ

T

Tartaric acid	حمض الطرطريك
Temporary hardness	العسر المؤقت
Threshold odor value	عدم ظهور الرائحة
Total alkalinity	القاعدية الكلية
Total bacteria	البكتريا الكلية
Total Dissolved Solid (TDS)	تقدير المواد الصلبة الذائبة
Total hardness	العسر الكلي
Toxicity Problems	مشاكل السمية
Turbid meter	جهاز قياس العكارة
Turbid metric method	طريقة العكارة
Turbidity	العكارة

V

Vermiculite	الفيرموكلويت
Volhard method	بطريقة فولها رد

W

Water Alkalinity	قاعدية الماء
Water Application Efficiency	كفاءة إضافة الماء
Water Composition	تركيب الماء
Water Condition	حالة الماء
Water Conveyance Efficiency	كفاءة نقل المياه

Water Hardness Determination

تقدير عسر الماء

Water Pollution

تلوث المياه

Water Use Efficiency

كفاءة استخدام المياه

Water-based diseases

الأمراض المتمركزة في الماء

Water-borne diseases

الأمراض المحمولة بالمياه

Water-related diseases

الأمراض وثيقة الصلة بالماء

Z

Zinc

الزنك

مسترد الرموز

الرمز	المعنى	الوحدة
ds/m	وحدة التوصيل الكهربائي	ديسمنز / م
EC	التوصيل الكهربائي	ديسمنز / م
TSC	الكاتيونات الكلية الذائبة	ملليمكافئ/لتر
TDS	الكمية الكلية للأملاح الذائبة	ملليمكافئ/لتر
SAR	نسبة الصوديوم القابلة للأدمصاص	%
EC _w	التوصيل الكهربائي للماء	ديسمنز / م
EC _s	التوصيل الكهربائي في محلول مستخلص التربة	ديسمنز / م
EC _e	التوصيل الكهربائي في مستخلص عجينة التربة المشبعة	ديسمنز / م
R _{Na}	نسبة الصوديوم المتبادل	%
RSC	بيكربونات الصوديوم المتبقية	ملليمكافئ/لتر
pH	رقم الحموضة	
F _{up}	القوى المحركة لأعلى في الأنايب الشاعرية	

الرمز	المعنى	الوحدة
F_{down}	القوى المحركة لأسفل في الأنابيب الشعاعية	
h	ارتفاع عمود الماء في الأنبوبة الشعرية بوحدات الطول	سم
r	نصف قطر المسام أو الأنبوبة الشعرية بوحدات الطول	سم
σ	التوتر السطحي	جم / ث ^٢
ρ_w	كثافة الماء	جم / سم ^٣
θ	زاوية الإلتصاق بجدار الأنبوية	درجة
$[H^+]$	درجة تركيز أيون الهيدروجين	مول / لتر
E	فرق الجهد	فولت
I	التيار الكهربائي	أمبير
R	المقاومة الكهربائية	أوم
A	مساحة الأقطاب	سم ^٢
α	ثابت المقاومة ويعتمد على مادة الموصل	أوم.سم
EC_s	التوصيل الكهربائي للمحلول القياسي	ديسيمنز/م
R_s	المقاومة المقاسة للمحلول القياسي	ملي أوم
K	ثابت الخلية	
EC_{25}	التوصيل الكهربائي المعدل عند ٢٥ °.	ديسيمنز/م
T	درجة الحرارة وقت القياس	درجة مئوية
EC_T	التوصيل الكهربائي عند درجة حرارة القياس	ديسيمنز/م

الرمز	المعنى	الوحدة
f_t	ثابت التغير في درجة الحرارة عن ٢٥° .	
C_g	درجة تركيز الغاز في حجم الغاز	جم / م ^٣
P_g	الضغط الجزئي للغاز في حجم الغاز	(باسكال) نيوتن / م ^٢
MW	عدد مولات الغاز	
K_H	ثابت هنري	
X_g	جزء مول الغاز	
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
EC_{dw}	التوصيل الكهربائي في ماء الصرف	ديسيمنز/م
C_s	درجة تركيز التشبع للغاز	جم / م ^٣
K_D	معامل التوزيع	
C'	ذوبانية الغاز عند ضغط P ودرجة الحرارة المعطاة	ملجم / لتر
C_s	درجة التركيز للغاز عند التشبع	ملجم / لتر
P	الضغط القياسي	ملم
P_w	ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الماء	ملم زئبق (كيلو باسكال)

الرمز	المعنى	الوحدة
pK	اللوغاريتم السالب لقيمة ثابت التفاعل لحمض الكربونيك	
S	ثابت الذوبانية	جم/لتر
P	اللوغاريتم السالب	
K _{1,A}	ثابت الإذابة	
C CO ₂	تركيز ثاني أكسيد الكربون	مول/لتر
pH _a	القيمة المقاسة لقيم رقم الحموضة	
PH _c	القيمة المحسوبة لقيم رقم الحموضة	
p(Ca + Mg)	اللوغاريتم السالب لتركيز الكالسيوم والمغنيسيوم	مول / لتر
pAlk	اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية	مول / لتر
L	تركيز المواد العضوية المتبقية في العينة عند زمن (t)	ملجم / لتر
t	الزمن	يوم
k ₁	ثابت التفاعل	
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	
BOD	الاحتياج للأوكسجين الحيوي	جزء في المليون
LF	نسبة الغسيل	

الرمز	المعنى	الوحدة
D_{dw}	عمق الماء الذي يلي منطقة الجذور	سم
D_w	عمق الماء المضاف للري	سم
m	المحتوى الرطوبي الوزني	جم
v	المحتوى الرطوبي الحجمي	سم ^٣
d	عمق منطقة الجذور	سم
D	عمق الماء في منطقة الجذور	سم
m	الجهد الماتري	بار
s	الجهد الأسموزي	بار
t	الجهد الكلي	بار
Q	حجم ماء الري	م ^٣
D	عمق ماء الري	م
C	تركيز الأملاح في ماء الري	ديسيمنز/م
LR	متطلبات الغسيل الدنيا للسيطرة على الملوحة ضمن قيم التحمل EC_e لكل محصول عند الري السطحي.	
EC_w	ملوحة ماء الري (dS/m)	ديسيمنز/م
EC_e	متوسط ملوحة التربة التي يتحملها النبات مقاسه في مستخلص التربة.	ديسيمنز/م
y	الإنتاج النسبي للمحصول	كجم
EC_0	التوصيل الكهربائي عندما يكون الإنتاج صفر٪	ملليموز/سم

الرمز	المعنى	الوحدة
EC ₁₀₀	التوصيل الكهربى عندما يكون الإنتاج ١٠٠٪	ملليموز/سم
EC _e	التوصيل الكهربى لمحلل التربة	ملليموز/سم
ECe	الملوحة فى مستخلص التربة المشبعة	ملليموز/سم
b	النقص فى المحصول لكل وحدة زيادة فى الملوحة	كجم
a	درجة الملوحة التى يبدأ عندها المحصول بالتناقص عن ١٠٠٪	ملليموز/سم
ESP	نسبة الصوديوم المتبادل	
SSP	نسبة الصوديوم الذائب	
RSC	قيمة الصوديوم المتبقى	
SSP	نسبة الصوديوم الذائب	
TDS	الكمية الكلية للأملاح	ملجم/لتر
BOD ₅	المتطلب الكيموحيوى للأكسجين	ملجم/لتر
COD	المتطلب الكيمىائى للأكسجين	ملجم/لتر
TOC	الكربونات العضوية الكلية	ملجم/لتر
ai	التركيز الفعال	مول/لتر
fi	معامل الفعالية	
{i}	التركيز المولارى للأيون I	مول/لتر
fi	الوحدة بالنسبة للمحاليل العضوية والمحاليل المخففة للإلكتروليتات	
	القوة الأيونية	

الرمز	المعنى	الوحدة
Zi	شحنة الأيون	
ΔT	الفرق بين درجة الحرارة 25°C ودرجة حرارة المحلول	درجة مئوية

oboeikandi.com

كشاف الموضوعات

- الاختبار التكميلي ٤٣٠
- الاختبارات الميكروبيولوجية لمياه
الصرف الصحي المعالجة ٤٢٧
- اختيار الأدلة في تفاعلات الحموضة
والقلوية ٣٢٣
- اختيار مواقع جمع العينات ٣٣٦
- اختيار نظام الري ٣٠٤
- إدارة استخدام المياه المرتفعة الملوحة في
المملكة ١٩٦
- الإدارة الحقلية ١٨٤
- إدارة مشاكل التسرب ٢٢٨
- إدارة مشاكل السمية ٢٤٨
- إدارة مشاكل الملوحة ١٥٤
- الأدلة ٣٢٠
- أدلة الترسيب ٣٢٢
- أبار الحقن ١٢٦
- الاتزان بين الكاتيونات والأنيونات
٣٣٥
- أثر المياه في البيئة ٩٩
- الإثراء الغذائي ١٢١
- الاحتياج الحيوي للأوكسجين
كمقياس لدرجة التلوث ٨٦
- الاحتياج الكيميائي للأوكسجين
كمقياس لدرجة التلوث ٨٦
- الاحتياجات المائية للنخيل ١٧
- الاحتياطات الواجب مراعاتها عند
إجراء التحليلات الحجمية ٣١٨
- الاختبار الاحتمالي ٤٢٨
- الاختبار التحقيقي ٤٢٩

- الإنتاجية باستخدام المياه المالحة في
البيت المحمي ٢٠٣
- الإنتاجية باستخدام المياه المالحة في
الحقل المكشوف ١٩٦
- الأوكسجين الذائب ٦٤
- البورون ٢٧٥
- تأثير المعاملات على توزيع الملوحة في
منطقة انتشار الجذور ١٩٩
- تأثير الملوحة على المحاصيل ١٤٨
- تأثير نوعية مياه الري على ترسيب
الكربونات في التربة ٢٦٤
- تأثير نوعية مياه الري على خواص
التربة ٢٦١
- تبخر الماء ٤٨
- تحسين وتطوير أنظمة الري ١٤
- التحليل الكمي الحجمي ٣٢٦
- التحليل الكمي بالألوان ٣٣٤
- التحليل الكمي بالوزن ٣٢٥
- تحمل المحاصيل للملوحة ١٦٨
- التخلص السطحي من النفايات ١٢٧
- الأدلة اللونية ٣٢١
- أدوات جمع العينات ٣٣٧
- الاستخدام البلدي للمياه ٣٠٤
- استخدام الماء الصالح لحيوانات المزرعة
٢٧٤
- استخدام المياه الرمادية ٢٨٤
- استخدام خلية تحتوي على قطب ذو
غشاء شبه منفذ ٣٠٥
- استخدام مياه الصرف الصحي في الري
٣٩٤
- استخدامات المياه ٢٩٥
- استصلاح الأراضي المتأثرة بالأملاح
٢٣٠
- استعمالات المياه الرمادية في الري
٣٠٧
- الأسس الحسابية وجمع العينات ٣١٣
- إضافة المواد العضوية وبقايا النباتات
٢٤٣
- الأكسدة والاختزال ٣٣٢
- إنتاج التمور في المملكة ١٧

تقدير ثاني أكسيد الكربون الذائب في الماء ٣٦٠	تداخل المياه المالحة ١٢٦
تقدير الأوكسجين الحيوي المستهلك ٣٨٥	التركيب الجزيئي للماء ٤٣
تقدير الأوكسجين الذائب ٣٨٣	التركيز الفعال ٣١٧
تقدير الأوكسجين الكيميائي المستهلك ٣٨٩	التسميد أو الأسمدة الكيماوية ١١٨
تقدير الأمونيا ٣٦٤	تصنيف مياه الآبار المدروسة ٢٦٥
تقدير البرومات ٣٧٤	تطبيقات على طرق التعبير عن تركيز المحلول ٣٣٠
تقدير البوتاسيوم ٤٠٧	تطور بيانات تحمل الملوحة ١٧٠
تقدير البورون ٤٢٥	التعادل ٣٣٢
تقدير الحديد ٣٩٦	تعريف الاحتياج الكيميائي الحيوي للأوكسجين ٨٦
تقدير الحموضة الكلية بالمعايرة ٣٥٧	تعريف الاحتياج الكيميائي للأوكسجين ٨٦
تقدير الرصاص ٤٠٠	تعريف الاحتياج للأوكسجين ٨٦
تقدير الزنك ٤٠٢	تعريف تلوث المياه ٩٨
تقدير الزيوت والدهون ٤٢٦	تعيين ثابت الخلية Kc لجهاز التوصيل الكهربائي ٣٤٨
تقدير السليكا ٤٠٥	تغير طرق الري ١٨٩
تقدير السلينيوم ٤٠١	التفاعلات الكيميائية للمواد المستخدمة في الاستصلاح ٢٣٣
تقدير الصوديوم ٤٠٩	تقدير السيانيد ٣٩٣
تقدير العناصر الثقيلة ٣٩٥	
تقدير الفضة ٣٩١	

- تقدير كبريتيد الهيدروجين ٣٧٢
- تقدير كمية السماد اللازمة عند الري
بالمياه المعالجة ٣٠٢
- تقسيم الترب التي يراد استصلاحها
٢٣١
- تقيم مياه الري في المملكة العربية
السعودية ٢٥٥
- تقييم مشكلة النفاذية ٢٢٢
- تقييم نوعية مياه الري في المملكة ٢٥١
- التلوث الإشعاعي ١٢١
- التلوث الحراري ١١٩
- تلوث الماء بالمخلفات الصناعية ١٠٤
- تلوث الماء بمياه الصرف الصحي ١٠٢
- تلوث المياه ٩٥
- تلوث المياه الجوفية ١٢٣
- تلوث المياه السطحية (المياه العذبة)
١٠٩
- تلوث المياه بالمبيدات ١٠٦
- تلوث المياه بمخلفات البترول ١٠٣
- تلوث المياه من الحوادث الطبيعية ٩٩
- التلوث الميكروبي ١١٩
- تقدير الفلوريد ٣٩٢
- تقدير الفوسفات ٤١٤
- تقدير الكالسيوم والمغنيسيوم ٤١٠
- تقدير الكربونات والبيكربونات ٤٦٩
- تقدير الكروم والنيكل والزنك
والكادميوم والزرنيخ ٤٠٣
- تقدير الكلوريد ٤٢٠
- تقدير الكلوريد الحر ٤٢١
- تقدير اللون ٣٥٠
- تقدير الليثيوم ٤١٠
- تقدير المنجنيز ٣٩٨
- تقدير المواد العضوية ٣٨٠
- تقدير النترات ٣٦٩
- تقدير النحاس ٣٩٩
- تقدير النيتروجين الكلي ٣٦١
- التقدير باستخدام أدلة الترسيب ٣٣٣
- تقدير ثاني أكسيد الكربون الذائب
٣٨٢
- تقدير رقم الأس الهيدروجيني ٣٥٣
- تقدير عسر الماء ٣٧٦
- تقدير قاعدية الماء بالمعايرة ٣٥٨

أ

- خدمة التربة ٢٤٣
 خزانات الصرف ١٢٦
 الخصائص الكيميائية لماء الري ٢٥١
 خلط أو مزج مياه الري ٢٤٢
 خلط مياه الري ١٩٣
 الخواص الحيوية والبكتيريولوجية
 للماء ٨٣
 الخواص الفيزيائية للماء ٣٤٦
 الخواص الكيميائية للماء ٥٩
 الخواص الكيميائية للمياه ٣٦١
 الخواص الميكروبيولوجية للماء ٤٢٧

ب

- درجة الحرارة ٥٥
 درجة تجمد الماء والانصهار ٤٩
 درجة غليان الماء ٤٧
 دليل لانجملر للتشبع ٧٥

ج

- الرائحة ٥٧
 الرقم الهيدروجيني ٥٩

التلوث بالنفط ١١٩

- تلوث مياه البحار والمحيطات ١٢٩
 تهيئة التربة للسيطرة على الملوحة
 ١٩٢
 توازن ثاني أكسيد الكربون و الماء
 ٦٨
 التوتر السطحي ٥٢
 توزيع الأملاح في منطقة انتشار الجذور
 في البيت المحمي ٢٠٤
 توزيع الماء في الكرة الأرضية ٣٦
 التوصيل الكهربائي ٥٩
 التوصيل الكهربائي ٣٤٦
 التوعية و الاحتياطات ٣٠٥

د

- الجبس الزراعي ٢٣٣

هـ

- حامض الكبريتيك ٢٣٤
 الحجر الجيري ٢٣٥

- حساب الكمية الكلية للأملاح الذائبة

٣٣٥

- طرق تلوث المياه ٩٩
- طريقة الأزيد المعدلة ٣٨٤
- طريقة التقدير باستخدام حمض
السلفانيلك ٣٦٦
- طريقة التقدير باستخدام محلول نسلر
(الطريقة اللونية) ٣٦٤
- طريقة الري المستخدمة ٢٥٤
- طريقة الكشف عن بكتريا القولون
البرازية ٤٢٨
- الطريقة اللونية ٣٩٤
- الطريقة اللونية باستخدام حمض
الفينول داي سلفونيك ٣٧٠
- طريقة المعايرة ٣٩٣
- طريقة حمض الأورثوفوسفوريك
٣٦٨
- طريقة فويهارد ٣٣٣
- طريقة قياس الـ pH باستخدام الجهاز
٣٥٥
- طريقة موهر ٣٣٣
- الطعم ٥٦
- ز**
- زمن الغسيل ١٦٣
- س**
- السعة التبادلية للكتيونات ٢٢٠
- السيطرة على الملوحة بالغسيل ١٦٠
- ش**
- الشروط الواجب مراعاتها عند جمع
العينات ٣٤٠
- ص**
- الصرف ١٥٦
- صلاحية المياه المعالجة ٢٩٩
- الصوديوم ٢٤٦
- صور التحليل الكمي الحجمي في الماء
٣٣٢
- ط**
- طبيعة التربة ٢٥٣
- طرق التحليل ٣٤٥
- طرق التحليل الكمي ٣٢٥
- طرق التعبير عن تركيز المحاليل ٣١٦
- الطرق الطبيعية ٣١٦
- الطرق الكيميائية ٣١٦

ج

قياس الرائحة ٣٥٣

قياس المواد المشعة ٣٥٢

ك

الكائنات الممرضة ٣٠٠

الكاؤولينيت ٢١٨

الكبريت ٢٣٤

الكبريتات ٤٢٣

كبريتات الحديدوز وأملاح الألمنيوم

الذائبة ٢٣٥

كربونات الصوديوم المتبقية ٢٦٥

كفاءات مياه الري ١٣

كفاءة استخدام المياه ١٤

كفاءة استخدام المياه في ري النخيل

١٧

كفاءة إضافة الماء ١٤

كفاءة نقل المياه ١٣

الكلوريد ٢٤٥

كيفية التأكد من صحة التحليل ٣٣٥

كيفية حساب متطلبات الجبس ٢٣٧

م

العسر الدائم ٣٧٧

العسر الكلي ٣٧٩

العسر المؤقت ٣٧٧

عسر الماء ٧٨

العكارة ٥٦

علاقة السعة التبادلية للكتيونات ونسبة

الصوديوم ٢٢٠

العلاقة بين نظام (ثاني أكسيد الكربون

والماء وكربونات الكالسيوم) ٧٤

العناصر الأخرى ٣٠٢

العناصر الثقيلة ٣٠٠

العناصر الكيماوية المغذية ٣٠١

العوامل التي تؤثر على تحمل الملوحة

١٨٢

العوامل التي تسبب تغير ثابت الخلية

(K) ٣٤٩

العوامل الجوية (المناخ) ٢٥٤

العينات ٣٣٥

ن

الفعل الميكانيكي للماء "الانجراف"

١٠١

- المطر الحمضي ١٢٠
- معدلة حدوث العسر ٧٨
- معادن الطين ٢١٧
- معالجة تلوث المياه ١٣٤
- المكونات التي يجب مراعاتها في المياه ٣٠٠
- الملوثات الزراعية ١١٨
- الملوثات الزراعية ١٢٥
- الملوثات الصناعية ١١٢
- الملوثات الصناعية ١٢٤
- الملوثات الفيزيائية ١١٣
- الملوثات الكيماوية ١١٤
- ملوثات المياه العذبة ١١٠
- الملوحة ٣٤٦
- الملوحة في التربة وزيادتها ١٤٠
- المواد السامة في مياه الشرب للحيوانات ٢٨٨
- المواد الصلبة ٥٨
- المواد العالقة ٣٠٤
- المواد العضوية المتحللة ٣٠٣
- المواد المذابة الأخرى ٦٤
- J**
- الزوجة ٥٢
- اللون ٥٧
- م**
- الماء المستخدم في الصناعة ٢٩٠
- الماء المستخدم في تربية الأسماك ٢٩٢
- ماء حيوانات المزرعة والدواجن ٢٨٤
- الماء كمنزيب ٦٢
- المبيدات العضوية ١١٨
- متطلبات الغسيل ١٦١
- المحسنات المضافة للتربة أو الماء ٢٢٩
- مخاطر الصوديوم ٢٦١
- المراقبة ١٦٨
- مشاكل السمية ٢٤٤
- مشكلة الملوحة ١٣٩
- مشكلة النفاذية ٢١٧
- مصادر تلوث البيئة المائية ١٠٧
- مصادر تلوث مياه البحار والمحيطات ١٣٠
- المصطلحات الكيمائية المستخدمة وبعض التحويلات ٣١٤

ب

هضم عينات المياه لتقدير العناصر

الثقيلة ٣٩٥

و

الوزن النوعي أو الكثافة ٤٩

مواد عضوية ثابتة ٣٠٤

المونتيموريلونيت ٢١٩

المياه والري ١

ن

نوع المحصول المزروع ٢٥٣

نوعية المياه ٢٣

