الباب الرابع

المحافظة على الماء

1-4: مصادر المياه وتنميتها

الماء كما أوضحنا هو سائل الحياة الذي لا يمكن تصور أي نـوع مـن الحيـاة بدونـه لأي كائن حي، ويتوفر الماء في الطبيعة في ثلاث صور أولها الصورة الـسائلة المألوفـة لنـا التي نشاهدها على شكل أمطار وأنهار وبحيرات وبحار ومحيطات، والصورة الثانية هـي المياه المتجمدة وهي المنتشرة في القطبين الشمالي والجنوبي، وعلى قمم الجبال وفي العروض الباردة في فصول الشتاء، والصورة الثالثة هـي بخـار المـاء في الغـلاف الجـوي. وتـشير المعلومات المتوفرة لنا إلى أن كمية المياه الموجودة عـلى سـطح الأرض وفي جوفهـا تقـدر بنحو 1400-1500 مليون كيلو متر مكعب، حوالي 97.2٪ منها في صورة المياه المالحة في البحار والمحيطات وحوالي 2.8٪ في صورة مياه عذبة، وحوالي 75٪ من المياه العذبـة في صورة ثلوج دائمة، حيث تشكل الثلوج الدائمة حوالي 2.15٪ من المياه الكليـة عـلى الأرض، وتمثل المياه الجوفية حوالي0.62٪ من المياه الكلية على الأرض.

ومقدار الماء المتوفر في صورة صالحة لاستعمالات البشر في الأنـشطة المختلفـة لهـم زراعية كانت أو صناعية أو غيرها يعادل حوالي0.65٪ من الماء الكلي الموجود في الكـرة الأرضية، وهذه كمية كافية إذا كانت موزعة بالتساوي بين مناطق العالم، حيـث يـضمن لنا الخالق العظيم سبحانه وتعالى من خلال استمرار الـدورة المائيـة تـوفير المـاء العـذب بصفة دائمة سنويًا من خلال هطول الأمطار.

مشكلة المياه تكمن في أنها لا تتوزع بالتساوي بين مناطق العالم، ففي الوقت الـذي تعاني فيه بعض الدول من فائض كبير في المياه يسبب فيـضانات تعـاني دول أخـرى مـن شح المياه يصل أحيانًا إلى الجفاف، وبالإضافة لندرة المياه في عديد من الدول ومنهـا دول العالم العربي فإن هناك مخاطر أخرى تزيد من مشكلة المياه ومنها:

1- أن الموارد المائية المتاحة يصعب زيادتها، ومن جانب آخر من الصعب السيطرة على الزيادة السكانية مما يعني زيادة الطلب على المياه.

2- هناك خطر تلوث الماء، وهذا سوف نناقشه فيما بعد.

3- هناك إسراف وهدر وسوء استخدام لموارد الماء المتاحة، وهذا يستدعي ترشيد استهلاك المياه، كما نوضح فيما بعد

4- ليس هناك تعاون بين الدول المتجاورة، خاصة الدول العربية، في مجال استخدام مصادر الماء المتاحة.

وعند الحديث عن المصادر المائية فإنها عادة تقسم إلى:

أولًا- مصادر تقليدية: وتشمل مياه الأمطار والأنهار والبحيرات والمياه الجوفية.

ثانيًا- مصادر غير تقليدية: وتشمل تحليه مياه البحر واستعمال مياه الصرف الزراعي والصحي.

أولاً- المصادر المائية التقليدية:

تشمل المصادر المائية التقليدية أولًا: مياه سطحية وهي الموجودة على سطح الأرض، ومنها البحيرات العذبة وكمية المياه بها حوالي 23 ألف كيلو متر مكعب وهذا يمثل حوالي0.009٪ من مياه الكرة الأرضية، ومياه الأنهار ومقدارها حوالي 1.23 ألف كيلو متر مكعب، وهذا يعادل فقط0.0001٪ من المياه في الكرة الأرضية.

وثانيًا: مياه تحت سطحية، وتشمل كلًا من ماء التربة (رطوبة أرضية) وكميتها حوالي 65 ألف كيلو متر مكعب وهو ما يمثل0.005٪ من مياه الكرة الأرضية والمياه الجوفية وكميتها حوالي 9.8 مليون كيلو متر مكعب وهذا يعادل حوالي0.62٪ من إجمالي المياه في الكرة الأرضية.

وبالنظر إلى توزيع الماء العذب في الكرة الأرضية نجد أن حوالي 75٪ منه في صورة ثلوج دائمة في القطبين الشمالي والجنوبي، وأن المياه الجوفية تمثل 24٪ منه، وأن مقدار 1٪ من الماء العذب هو ما يشمل مياه البحيرات العذبة ومياه الأنهار وماء التربة والرطوبة

الجوية. وبالنسبة لكميات مياه الأمطار الساقطة سنويًا على الكرة الأرضية فهي تعادل حوالي 518 ألف كيلو متر مكعب منها 411 ألف كيلو متر مكعب تسقط على البحار والمحيطات، ومقدار 107 ألف كيلو متر مكعب تسقط على اليابسة. وتوزيع الأمطار على الجزء اليابس من الأرض يختلف حسب الموقع الجغرافي والبعد أو القرب من خط الاستواء وأيضًا حسب الارتفاع والانخفاض عن سطح البحر وحسب توزيع اليابس والماء وحسب التيارات البحرية المؤثرة على كل منطقة.

ولذلك فإن المناخ يقسم إلى مناخ رطب، إذا ازدادت كمية الأمطار عن كمية التبخر، ومناخ في الحد بين الجاف والرطب عندما تتساوى كمية الأمطار مع كمية التبخر، ومناخ جاف عندما تكون كمية التبخر أكبر من كمية الأمطار، ولذلك نجد أن هناك بعض الأماكن والمناطق في العالم تكفي كمية الأمطار الساقطة عليها للقيام بعملية الزراعة بدون ري، وهناك مناطق أخرى من العالم لا يكفي المطر للزراعة بحيث نحتاج لمصدر آخر لري الحاصلات الزراعية، فقد تزيد كمية الأمطار السنوية عن 2000مم/ عام كما هو الحال في حوض الأمزون وحوض الكنغو وساحل غانا وجزر الهند الشرقية وبعض المناطق الساحلية في النطاق الموسمي والمناطق الجبلية المواجهة للرياح العكسية، وخاصة السواحل الشمالية الغربية لأمريكا الشمالية، وهناك مناطق قليلة الأمطار مثل المناطق الصحراوية المدارية وشبه المدارية والمناطق الداخلية من القارات.

وبالنسبة للوطن العربي فإن الصحراء تشكل حوالي 68٪ من مساحته، وهذا يعني أن كميات الأمطار قليلة وتتركز في بعض مناطق الشمال مثل شمال العراق وسوريا ولبنان وشمال دول المغرب العربي، وأيضًا في الجنوب في السودان والصومال واليمن، والمعدل السنوي لسقوط الأمطار في الوطن العربي يصل في المتوسط إلى أقل من 150مم، ومع ذلك فهذا يمثل نحو 2213 مليار متر مكعب سنويًا ولكن معظمها لا يستفاد منه لعدم الاهتمام بطرق حصاد وتجميع الأمطار وأيضًا بسبب ارتفاع معدل التبخر بسبب ارتفاع درجة الحرارة، إضافة لذلك فإن نصف الكمية المذكورة تسقط على جنوب السودان.

ويسقط على شمال مصر 150مم مطر/ سنة في فصل الشتاء وهذه الكمية يمكن بها استزراع مساحات من أراضي الساحل الشمالي الغربي وسيناء إذا أمكن تخزين هذه المياه ومنع فقدها، أما المناطق الممتدة من جنوب القاهرة وحتى أسوان فإن أمطارها ضئيلة ولا تكتفي أي نشاط زراعي.

وبالنسبة للمياه السطحية من مياه الأنهار والأودية والبحيرات فأنها لا تتوفر بشكل كبير في الوطن العربي وأهم مصادرها الأنهار الموجودة في ثلاث دول أساسًا هي مصر حيث يوجد نهر النيل، والعراق حيث نهري دجله والفرات والسودان حيث يمر بها نهري النيل الأزرق والأبيض، وأيضًا في سوريا ولبنان. إلا أن مشكلة مياه الأنهار في الوطن العربي تتمثل في أن معظمها تنبع من خارجه (وبنسبة تعادل 67٪)، حيث ينبع النيل من الهضبة الأثيوبية ومن بحيرة فكتوريا وينبع دجلة والفرات من تركيا، أي أن هناك أطراف أخرى قد تتحكم في هذا المصدر، وهناك أنهار أخرى أقل أهمية مثل نهر العاصي ونهر الليطاني في لبنان، ونهر الأردن في سوريا والأردن، وأنهار الملوية وسيبو وأم الربيع والشينف والمجردة وكلها من أنهار المغرب العربي.

ونهر النيل هو المصدر الأساسي لمياه الري في مصر على طول الوادي والدلتا، ويغذي النيل أيضًا بعض المساحات خارج الوادي والدلتا في الجزء الشمالي الغربي من مصر عن طريق ترعتي النصر والنوبارية، وأيضًا مساحات في سيناء عن طريق ترعة السلام التي تمر تحت قناة السويس عابرة إلى سيناء.

وهناك فرعان رئيسيان لنهر النيل هما النيل الأزرق والنيل الأبيض، حيث ينبع النيل الأزرق من الحبشة ويعتبر المصدر الأساسي لمياه النيل حيث يغذي مياه النيل بمقدار 45-90مليار متر مكعب في العام عادة في شهور يوليو وأغسطس وسبتمبر، أما النيل الأبيض فهو يمتد في عمق أفريقيا ويمر بالسودان وأوغندة ورواندا وبوروندي وغيرها وهو يمد النيل بمقدار من المياه يعادل 17-47 مليار متر مكعب في السنة،

ويلتقي النيل الأزرق بالنيل الأبيض عند الخرطوم، ونصيب مصر من مياه النيل بعد بناء السد العالي يعادل 55.5 مليار متر مكعب في السنة.

وبالنسبة للمياه التحت سطحية فهي تشمل ماء التربة (رطوبة أرضية) ومقدارها 65440 كيلو متر مكعب في الكرة الأرضية وهذه تمثل0.005٪ فقط من المياه الكلية في الكرة الأرضية، وتشمل المياه الجوفية وهذه مقدارها حوالي 9818000كيلو متر مكعب أي ما يعادل حوالي0.62٪ من المياه الكلية في الكرة الأرضية، والمياه الجوفية يتم الحصول عليها إما بحفر الآبار أو ظهورها على سطح الأرض في شكل ينابيع وعيون، وكما أوضحنا من قبل فإن بعض الخزانات الجوفية تكون مياهها متجددة من مياه الأمطار والمياه السطحية وبعضها غير متجدد حيث دخلت إلى جوف الأرض منذ آلاف السنين ولا يتم تعويضها عند استغلالها. ويوجد بالوطن العربي العديد من الأحواض المائية الجوفية في الصحراء مثل أحواض سهل الجفارة والجبل الأخضر وغدامس ومزرق والسرير والكفرة في ليبيا، وحوض الرياض والربع الخالي في السعودية وبعض الأحواض في مصر والجزائر والأردن وموريتانيا، وليس هناك تقديرات دقيقة لاحتياطي المياه الجوفية في الوطن العربي. وعند دراسة الإطار الهيدرولوجي (hydrological framework) لمصر نجد أنه يشمل ستة نظم للخزانات الجوفية هي:

1 – **الخزان الجوفي النيلي**: ويشغل منطقة المساحة الفيضية والأجانب الصحراوية حيث يعيش 90٪ من المصريين وبالنسبة لجيولوجية هذا الخزان فهو يتكون من الزلط والرمل المتدرج وامتداده على الأجانب في الصحراء يشمل رواسب. في وسط المستوى الفيضي يكون الخزان الجوفي شبه محصور حيث سمك طبقة الطمي الرملي التي تعلوه يصل في المتوسط إلى 10 متر، والطبقة السفلى للخزان من الطمي البحري، وأقصى سمك لطبقة التشبع هو 300 متر في الوادي و800 متر في الدلتا، قدرة انتقال المياه في

الخزان الجوفي تتراوح ما بين 20000 مترًا مربعًا في اليوم في وسط المستوى الفيضي إلى أقل من 500 مترًا مربعًا في اليوم عند الأطراف، ومتوسط منسوب المياه الجوفية يتدرج من 65 متر عند أسوان إلى 15 مترا عند القاهرة إلى حوالي 1 متر في شمال الدلتا، والمصدر الرئيسي لتغذية الخزان هو من مياه الري، والسحب من الخزان يكون باستخدام الآبار أو بالتسرب إلى النيل أو بالتسرب العلوي للمياه الجوفية كما هو الحال في الجزء الشمالي للدلتا.

2- **خزان جوفي الحجر الرملي النوبي**: ويشغل أساسًا الصحراء الغربية، وهذا الخزان يشغل حوالي 30٪ من مساحة مصر، وهو يمتد خارج الحدود إلى ليبيا (واحة الكفرة) والجزء الشمالي من السودان (واحة ساليما)، وفي مصر فإن الخزان متعدد الطبقات وأسفله طبقة صخرية، وإقليميًا فإن سمك الخزان يتراوح من أقل من 500 مترًا في الجنوب إلى أكثر من 3500 مترًا في الشمال حيث يتأثر الخزان الجوفي بدخول مياه البحر، وفي منطقة الوادي الجديد ينقسم الخزان الجوفي إلى ثلاث خزانات جوفية رئيسية منفصلة بواسطة عدسات شبه نفاذة من الطفل، العليا سمكها 200مترا والوسطى 400متر والسفلى 600متر. والطاقة التخزينية للخزان تعادل 200600مليار مترًا مكعبًا منها 200000مليار مترًا مكعبًا في الصحراء الغربية و500مليار مترًا مكعبًا في الصحراء الشرقية و 100 مليار مترًا مكعبًا في سيناء. ومعظم الدراسات أثبتت أن مياه هذا الخزان مياه طبيعية قديمة (fossil) غير متجددة عمرها ما بين 20000 إلى 40000 سنة. والتصرف من هذا الخزان يتم إما بالعيون أو الضخ بالآبار أو البخر أو التسرب إلى خزانات جوفية أخرى، ويقدر مقدار الضخ من الخزان بما يعادل حوالي نصف مليار متر مكعب سنويًا.

3- **خزان جوفي المغرة**: ويشغل أساسًا الحد الغربي للدلتا وجنوب منخفض القطارة ويمتد كذلك إلى غرب الفيوم وشمال الواحات البحرية ومساحته حوالي 2000 كيلو مترا مربعًا، ويتكون الخزان من طبقات رملية زلطية طفليه وطبقات من الطفلة

والحجر الجيري وقاعه من البازلت أو من طبقات الطفلة الصماء، سمك طبقة التشبع للخزان يتراوح ما بين 100 إلى 800 مترًا، التوصيل الهيدروليكي يتراوح ما بين 25 مترًا/ يوم (وادي الفارغ) إلى واحد متر في اليوم (منخفض القطارة).

العمق حتى منسوب خط التشبع للمياه الجوفية يتراوح ما بين 10 مترًا قريبًا من الدلتا إلى حوالي 60 مترًا عند منخفض القطارة، والمياه الجوفية تحت ظروف شبه محصورة وهي مياه طبيعية قديمة مع تسرب قليل وتغذية على الحدود مع خزان جوفي الدلتا. السعة التخزينية للخزان حوالي 800 مليار مترًا مكعبًا منها حوالي 100 مليار مترًا مكعبًا فقط مياه عذبة.

4- **الخزان الجوفي الساحلي**: ويشغل السواحل الشمالية والغربية ويوجد في شكل جيوب محلية منتشرة في المناطق الساحلية لكل من البحرين الأبيض والأحمر، وتتكون التربة من الحجر الجيري يعلوه طبقة من الحجر الرملي والقاعدة من الحجر الجيري الصلب. سمك الطبقة الحاملة للمياه حوالي 40 مترًا، والمياه في شكل عدسات سابحة فوق مياه البحر، وتتوقف تغذية الخزان على سقوط الأمطار المحلية، والسحب من الخزان يتم إما بالتدفق إلى البحر أو بالبخر أو السحب بواسطة الآبار الرومانية والسراديب (gallaries)، والسحب الكلي للمياه الجوفية بالآبار حوالي 0.8 ومليون مترًا مكعبًا في العام، في المنطقة الساحلية لشمال سيناء يمكن التعرف على أربع خزانات جوفية:

1- خزان ضحل للكثبان الرملية بطاقة تخزين 2 مليار مترًا مكعبًا.

2- خزان جوفي من رواسب الغرين الطمي في دلتا وادي العريش بطاقة تخزين 10 مليون مترًا مكعبًا.

3- خزان جوفي من الحجر الجيري وله طاقة تخزين 10 مليون مترًا مكعبًا.

4- خزان جوفي رملي وزلطي ذو مياه مالحة أساسًا.

وفي المنطقة الساحلية غرب خليج السويس (4000كيلو مترًا مربعًا) يتكون الخزان من الحجر الرملي النوبي. وفي المنطقة الساحلية للبحر الأحمر (حوالي 5000كيلو متر مربع) يتكون الخزان من الحجر الجيري ويتغذى من مياه الأمطار (جبل علبة) والتي تقدر بحوالي مليون مترًا مكعبًا في العام.

5- خزان جوفي الكربونات، حيث تغطي الكربونات أكثر من 50٪ من المساحة السطحية للصحراء الشرقية والغربية مع وجود بعض الأماكن القليلة في سيناء، ويكثر بهذه التكوينات الشقوق ولذلك تتكون العيون، وحتى الآن لم يتم التعرف بدقة على خزان جوفي الكربونات.

6- خزان جوفي الصخور الصلبة المفتتة والتي تنتشر في الصحراء وفي سيناء، وتشمل صخورًا نارية وصخورًا متحولة، ولازالت المعلومات قليلة عن هذا الخزان ولكن يمكن اصطياد حوالي 100 مليون مترًا مكعبًا من المياه الجوفية من الصخور الصلبة في جنوب سيناء، وتوجد احتمالات أخرى في الصحراء الشرقية.

وعمومًا فإن ضخ المياه الجوفية بواسطة الآبار يتطلب أن يكون سمك طبقة المياه العذبة كافيًا ويكون للخزان سعة ضخ نوعية عالية، مع الحزر من تغير النوعية أثناء الضخ نتيجة التغذية من البحر أو من أي نوعية من المياه غير جيدة أو ملوثة. ويبلغ مجموع المخزون من المياه الجوفية في مصر طبقًا للتقديرات الأولية حوالي 700 مليار مترًا مكعبًا، ومن الدراسات عن مخزون المياه الجوفية في الصحاري المصرية وُجد ما يلي:

1- منطقة الواحات (الفرافرة والواحات الخارجة والداخلة) بها كميات كبيرة من المياه العذبة تمامًا تجري في طبقات الحجر الرملي النوبي.

2- في منطقة الساحل الشمالي الغربي توجد مياه عذبة في طبقة الحجر الجيري فوق مستوى سطح البحر مباشرة وتمتد بعرض 15-30 كيلو مترًا على طول الساحل في مناطق: برج العرب – الحمام – الضبعة – فوكة – القصير – سيدي براني –

والسلوم. وهي مياه ليست عذبة تمامًا فتركيز الأملاح المذابة بها حوالي 190 ppm (جزءًا في المليون) في منطقة برج العرب ، 250 ppm في منطقة فوكة، 57 ppm في الحمام، 400ppm في منطقة الجداولة، أما الحد الأقصى فيزيد عن عشرة أضعاف هذه الملوحة، وتزيد الملوحة مع زيادة عمق الآبار نظرًا لتغلغل مياه البحر إلى هذه المياه.

3- منطقة الساحل الشمالي الشرقي بعرض 10 – 30 كيلو مترًا بها كميات محدودة من المياه الجوفية وتحتوي على تركيزات عالية من الأملاح قرب بحيرة المنزلة وتنخفض الملوحة كلما اتجهنا شرقًا ناحية العريش.

4- منطقة الصحراء الشرقية وباقي الصحراء الغربية بها خزانات جوفية غير متجددة تقريبًا وتحتاج دراسات أكثر للتعرف بدقة على هذه الخزانات.

استكشافات المياه الجوفية:

فالأمر يستدعي استكشاف المياه الجوفية بإجراء الدراسات الهيدروجيولوجية وحفر آبار استكشافية، ويتطلب ذلك وجود خرائط هيدرولوجية وخرائط جغرافية وأخذ عينات من آبار الاختبار وعمل لوغاريتم جيوفيزيقي لبئر الحفر، وهذه الدراسات سوف تعطي معلومات عن الطبقات الحاملة للمياه الجوفية وسمكها وعمقها وحجم المياه بها ومقدار التصرف النوعي والحجز النوعي للخزان ونفاذية الخزان ومعامل السحب وغيرها من المعلومات التي تحدد مدى إمكانية استغلال الخزان ومدى الجدوى الاقتصادية من استغلاله.

فبالنسبة للخرائط فإن طبوغرافية سطح الأرض والتركيب الجيولوجي لطبقات الأرض سوف يحدد مكان وجود المياه الجوفية، ولذلك فلابد من عمل خرائط طبوغرافية للمناطق المختلفة تعطي معلومات عن شكل السطح وأماكن مصادر المياه السطحية والمرتفعات والمنخفضات ونوع النباتات النامية، ولابد من توافر خرائط جيولوجية توضح المواد الجيولوجية ونفاذيتها والطبقات الصماء ونوع الصخور وسمك

الطبقات المختلفة ووجود الفواصل والفوالق حيث يفيد ذلك في تحديد إنتاجية الآبار. ويتم عمل خرائط هيدروكيميائية توضح الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية لأن نوع الأيونات السائدة في المياه يحدد لونها فأملاح البيكربونات مثلًا تعطي اللون الأزرق بدرجاته حسب نوع الكايتون السائد، وأملاح الكبريتات تعطي لونًا أصفر وبنيًا وأملاح الكلوريد تعطي اللون الأخضر وهكذا، ويمكن الاستعانة بالصور الجوية سواء المأخوذة قريبًا من الأرض أو المأخوذة من بعيد بواسطة الأقمار الصناعية (satellites). فالصور الجوية سوف تكشف معلومات هيدرولوجية لا يمكن ملاحظتها بوضوح عند سطح الأرض مثل الفوالق والمجاري القديمة للأنهار، بالإضافة عن معلومات عن منسوب المياه الجوفية وكل ذلك يتم عادة من خلال التحليل الدقيق لهذه الصور وألوانها.

ويمكن استعمال المياه الجوفية مباشرة في ري الحاصلات الزراعية أو في مجال الصناعة أو في أغراض الشرب والاستهلاك المنزلي بعد التأكد من مطابقة هذه المياه من ناحية النوعية للمقاييس الموصي بها، وإذا كانت ملوحتها عالية فيمكن استعمالها في دورات المياه وفي أغراض التبريد بالمنشآت الصناعية أو أي استعمالات أخرى لا تتطلب نوعية جيدة من المياه، ومن الممكن إجراء معالجة لها أو تحليتها كما سنوضح عند الحديث عند الحديث عن تحليه المياه المالحة، حيث تحليه المياه الجوفية المالحة أقل كلفة من تحليه مياه البحر.

ثانيًا- المصادر المائية غير التقليدية:

تحلية المياه المالحة:

كما أوضحنا فإن المياه المالحة في البحار والمحيطات تمثل حوالي 97.2٪ من المياه في الكرة الأرضية وأن باقي المياه إذا ما اعتبرتها مياه عذبة تمثل فقط 2.8٪ وهي موزعة كما يلي:

24٪ مياه جوفية، 75٪ مياه جليدية، 0.35٪ ماء بحيرات، 0.01٪ ماء أنهار وجداول، و0.04٪ ماء الغلاف الجوي. وبسبب استمرار الزيادة السكانية وزيادة الطلب على المياه، أصبحت الحاجة ملحة للحصول على مصادر إضافية للماء العذب

خاصة في المناطق الجافة والصحراوية كما هو الحال في العالم العربي، ولذلك فإن عملية تحليه المياه المالحة خاصة مياه البحر في زيادة مستمرة، وتشكل كمية المياه المحلاة في العالم العربي ما نسبته 46٪ من إجمالي المياه المحلاة في العالم (في عام 2000م) والنسبة المئوية من الإنتاج العالمي من هذه المياه في الدول العربية هي كما يلي:

السعودية 21٪، الإمارات العربية 11٪، الكويت 6٪، ليبيا 3٪، قطر 2٪، البحرين 2٪، وعمان 1٪.

وتُسمى عملية إزالة الأملاح من المياه المالحة «تحليه المياه» (desalination) وطرق التحليه يمكن إيجازها في ثلاث مجموعات هي:

1 – التحلية بواسطة فصل الأملاح عن الماء وذلك بتغير حالة الماء، من حالة سائلة إلى حاله غازية (بخار)، والمثال عليه عمليات التقطير المختلفة، أو تحويل الماء من سائل إلى صلب والمثال عليه ذلك التحلية بالتجمد.

2 – تحلية المياه بفصل الأملاح عن الماء بدون تغير حالة الماء وهذه تعتمد بالأساس على خصائص بعض سطوح الأغشية والمثال عليها التحلية بواسطة الانتشار الغشائي الكهربائي (الديلزة الكهربائية) والتناضح العكسي (الأسموز العكسي).

3 – تحليه المياه بفصل الأملاح منها بالاعتماد على خصائص التبادل الأيوني، ومنها المبادلات الأيونية والتحلية باستخدام المذيبات.

وسوف أتناول هذه الطرق فيما يلي بإيجاز:

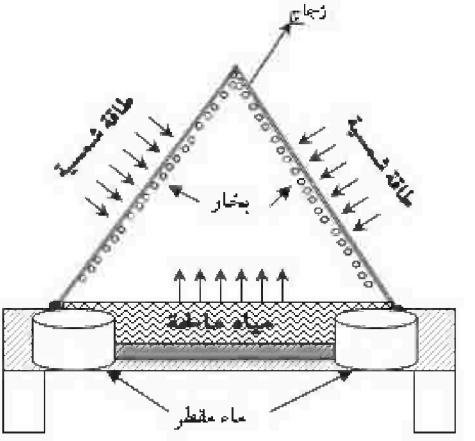
تحلية المياه بطرق التقطير (distillatiion):

تعتبر عملية التقطير من أقدم عمليات تحلية المياه في العالم وتستعمل في السفن منذ مئات السنين وهي الطريقة الأكثر تطورًا، إذ أن أكثر من نصف المياه المحلاة في العالم يتم إنتاجها بطرق التقطير، وهذه الطرق جميعها تعتمد على التسخين المستمر للمياه المالحة،

حيث يتبخر الماء وحده تاركًا خلفه الأملاح، وعندما يتكاثف البخار نحصل على الماء النقي، وهناك أنواع كثيرة من طرق التقطير هي:

1- التقطير بالتبخر الشمسي (Solar evaporation):

وفي هذه الطريقة يتم استخدام الطاقة الشمسية كمصدر حراري لعملية التحلية وذلك بعمل أجهزة خاصة بغرض جمع الطاقة الشمسية، والتي تتمثل في أحواض أرضيتها معزولة بطلاء أسود لكي يمتص أكبر قدر ممكن من الأشعة الشمسية، وهذه الأحواض المطلية باللون الأسود تُغطي بسقف مائل مضاعف من الزجاج أو البلاستيك الشفاف ويكون الماء المالح موجودًا داخل الأحواض، وعندما يسخن الماء المالح بواسطة أشعة الشمس يتبخر الماء ويتصاعد إلى أعلى ليلامس اللوح الزجاجي البارد، مما يؤدي إلى تكاثف البخار مشكلًا طبقة رقيقة من الماء النقي تسيل إلى قناة تجميع جانبية، حيث ينم هناك تجميع الماء المقطر الناتج (كما بالشكل 9).



شكل (9): مبدأ عمل وحدة تحليه شمسية

ويمكن زيادة كمية الحرارة الشمسية الداخلة إلى وحدة التحلية عن طريق تركيز الأشعة على الوحدة باستخدام عدسات أو مرايا أو طرق تركيز أخرى.

وهناك أجهزة تقطير شمسي متطورة تتكون من خزانات الطاقة الشمسية. ويتألف الخزان الشمسي من مجمع للطاقة الحرارية الشمسية مع خزان للطاقة الحرارية، بحيث يتم امتصاص وتخزين الطاقة الحرارية الشمسية في الخزان، وبعض هذه الأجهزة يتكون من خزانات شمسية مرتبطة ببعضها بمواسير خاصة تحمل المياه المالحة وتتم التحلية بالتسخين بثلاث مراحل متدرجة في درجات الحرارة والضغط.

2 - **التقطير الصناعي لمرحلة واحدة:**

وفيها يتم تسخين ماء البحر بأي وسيلة صناعية فيتبخر ويتكاثف ويتم تجميع الماء النقي، ومن الأمثلة على ذلك طريقة الأنابيب الغاطسة وفيها يتم غمر أنابيب في أوعية تحتوي على ماء البحر ويتم إدخال غاز ساخن في هذه الأنابيب وهذا يعمل على رفع درجة حرارة ماء البحر وتبخره ثم تكاثفه وجمعه في أنبوب آخر متصل بخزان لتجميع الماء النقي. وتستخدم طريقة التبخر أحادية التأثير عندما تكون كمية المياه المطلوب تحليتها قليلة في حدود عدد قليل من الأمتار المكعبة في اليوم، ويمكن استخدام حرارة التكاثف الناتجة من الأبخرة الناتجة من أي منشآت حرارية. وهناك أجهزة تقطير بالفلم الرقيق وفيها تعتمد طريقة التشغيل على التبادل الحراري، حيث يدفع الماء المالح من خلال وحدات تحتوي على أنابيب مسخنة ومن خلال تلامس الماء لهذه الأنابيب ترتفع درجة حرارته ويتبخر ويرتفع البخار إلى أعلى وينتقل إلى الوحدة الثانية ثم الثالثة والتي منها يؤخذ الماء النقي.

3 - التحلية بالتقطير المتعددة التأثير أو المتعدد الفعالية (MED muliti effect distillation):

وطريقة توليد البخار هنا تكون بالغليان والتبخر، بمعنى أنه يتم تسخين الماء الداخل إلى الوحدة تسخينًا أوليًا بواسطة مبادل حراري من أي مصدر حراري والبخار الساخن يدخل الوحدة الثانية مستفيدين من حرارته الكامنة لتسخين الماء الموجود في

هذه الوحدة وهكذا، فالبخار الذي ينتج من الوحـدة الثانيـة ينتقـل إلى الوحـدة الثالثـة لتسخين المياه في هذه الوحدة وهكذا، وتتم عمليـة التقطـير في عـدد مـن غـرف التـأثير (المراحل) وتعتمد على أنه إذا تم تخفيض الضغط بشكل مستمر من غرفة إلى أخرى فإنـه بالإمكان جعل الماء المالح يعـود إلى الغليـان في الغرفـة التاليـة التـي يـدخلها، وقـد تـم الوصول إلى أجهزة تقطير ذات 12 فعاليه (أي 12 غرفة أو مرحلة).

وعادة ما يتم إدخال مـاء البحـر إلى الوحـدة برشـه في صـورة رذاذ عـلى الـسطح الخارجي لأنابيب المبادل الحراري الساخنة ثم يتـولى دخـول المـاء إلى الخلايـا (الغـرف) بالتوالي بحيث يمتزج في كل غرفة مع ماء مالح جديد في صورة رذاذ هابط إلى أسفل بعد تبخر جزء منه. ويتم في كل خلية رفع درجة حرارة الماء المـالح المـرذذ إلى درجـة الغليـان المناسبة للضغط المؤثر في هذه الخلية. فوحدة التحليـة مكونـه مـن عـدد مـن المبخـرات وسلسلة من أوعية الغليان ومكثف ونظام تهوية. وكل خليـة تـأثير تحتـوي عـلى سـطح تبادل حراري وحيز لاستيعاب البخار وشبكة لالتقاط قطرات الماء المنطلقة مـع البخـار (demister) وبعض التجهيزات الأخرى.

ويجري تولد البخار في كل خلايا وحدة التحلية (ماعدا الخلية الأولى) نتيجة غليان ماء البحر فـوق أنابيـب المبـادلات الحراريـة، وكـذلك نتيجـة للغليـان المفـاجئ نتيجـة انخفاض الضغط.

ويتم استخدام نافث يمر عبره البخار لتوليد الضغط المنخفض الـلازم للغليـان في مختلف خلايا الوحدة وكذلك لامتصاص الغازات القابلة للانحلال.

ويتم تعريض الماء الداخل إلى وحـدة التحليـة إلى معالجـة أوليـة بإضـافة بـوليمير عضوي وحمض وبولي سلفات لمنع ترسيب كربونـات الكالـسيوم عـلى أنابيـب التبـادل الحراري.

4- التحلية بالتقطير الوميضي (flash distillation – FD):

يعتمد التقطير الوميضي على حقيقة عملية وهي أن الماء يغلي عند درجات حرارة تقل باستمرار عندما يتعرض لضغوط أقل، وفي هذه الطريقة يتم إجبار الماء المالح على الغليان عند درجات حرارة أقل من درجة الغليان العادية، حيث يتم تسخينه ثم إدخاله في غرفة مخلخلة الضغط ليحدث الغليان المباشر العنيف (أو ما يسمى بالومض).

ويمرر الماء الساخن إلى عدد من الخزانات تُسمى مراحل، والتي تلعب دور المبخر في وحدة التحلية، وفي هذه المراحل يكون الضغط المؤثر أقل من الضغط الجوي، لذلك فإن إدخال الماء الساخن إلى كل طبقة سيؤدي إلى غليان بشكل آني وعنيف مولدًا بخارًا ويتم تكثيف هذا البخار في مبادل حراري أنبوبي موجودًا داخل كل مرحلة، ويتم تبريد أنابيب المياه الحارة بواسطة الماء المالح القادم باتجاه المبخر، مما يؤدي إلى تسخين الماء، مما ينقص من كمية الحرارة اللازمة لتسخين الماء المالح الداخل، أما الماء النقي فينتقل من مرحلة إلى أخرى ثم يخرج كناتج ماء نقي من المرحلة الأخيرة. وبعد ذلك يتم معالجته (لتدقيق قيمة ثابت الحموضة pH ودرجة العسر أو القساوة) قبل إدخاله إلى خزان التجميع الرئيسي، وغالبًا ما يتم استخدام بقايا الطاقة الحرارية في وحدات التوليد لتسخين الماء المالح الداخل وذلك لرفع مردود المجموعة.

وهناك نوعان من وحدات التحلية بالتقطير الوميضي: النوع الأول يعتمد على المرور المباشر متعدد المراحل، والنوع الثاني وهو الأكثر شيوعًا يعتمد على إعادة تدوير الماء المالح وهذا النوع الدوراني يستهلك طاقة أقل ويحتاج مضافات كيميائية اقل وله مردود أعلى.

ويعرف مردود الوحدة أو الأداء الحراري بأنه كمية البخار اللازمة للتسخين لإنتاج كمية معينة من الماء النقي، أو نسبة كمية الماء المنتجة في وحدة الزمن إلى كمية بخار التسخين اللازمة، وأغلب وحدات التحلية الكبيرة تستخدم التقطير الوميضي بإعادة تدور الماء المالح (multistage flash – brine recycle MSF – BR).

بينما طريقة التقطير الوميضي بالمرور المباشر (multi stage flash – once through MSF -OT) فإن مرددوها أقل، وذلك لا تستخدم بكثرة.

5 – التقطير بانضغاط أو كبس البخار (distillation with vapor compression - VC):

والأساس أو المبدأ في هذه الطريقة يعتمد على تبخير مياه البحر ثم كبسها أو ضغطها حتى ترتفع درجة حرارتها ثم يتم تكثيفها بواسطة المكثف الذي يكون عادة تحت المبخر، وفي هذه الطريقة يتم جمع البخار المنطلق من الماء المالح ومن ثم ضغطه مما يؤدي إلى تكاثفه. إن الحرارة اللازمة لتبخير الماء المالح تأتي بشكل رئيسي من انضغاط البخار، إذ أن الحرارة المنطلقة نتيجة لتكاثف البخار تستخدم لتسخين الماء المالح الداخل وتبخيره. في هذه العملية فإن الطاقة الرئيسية تقدم من قبل الضاغط الذي لا يقوم فقط برفع ضغط البخار وبالتالي درجة إشباعه، بل يؤدي إلى خفض الضغط في غرفة التبخر، والأجزاء الرئيسية في وحدة التقطير بالانضغاط هي المبخر، المضخات، المبادل الحراري، والضاغط.

يدخل الماء المالح حجرة المبخر، حيث يتم تسخينه إلى درجة غليانه وتتبخر كمية الماء نتيجة البخار المنطلق إلى الضاغط، حيث يتم رفع ضغطه وبالتالي درجة إشباعه. وبعد رفع ضغط البخار وبالتالي درجة حرارته يعود البخار إلى المبخر حيث يتكاثف مقدمًا حرارة التكاثف لتبخير كمية جديدة من ماء البحر الذي يتم ترزيزه على أنابيب المكثف من الخارج، أما الماء النقي المتكاثف فيغادر الوحدة كناتج. وتستخدم عملية التقطير بالانضغاط في وحدات التحلية الصغيرة أو المتوسطة بطاقة إنتاجية تتراوح من 20–2000 مترًا مكعبًا في اليوم، وهناك نوعان من وحدات التحلية التي تستخدم كبس أو انضغاط البخار هما:

1 – الانضغاط الميكانيكي باستخدام ضاغط ميكانيكي (MVC) وهو ما تم الحديث عنه.

2- الانضغاط الحراري باستخدام نافث حراري (TVC) على شكل أنبوب فنتورى (venturi) يمر عبره بخار بضغط وسرعة كبيرتين، وهذه السرعة الكبيرة تؤدي إلى امتصاص بخار الماء من المبخر مخفضًا الضغط هناك، ثم يعود إلى ضغطه رافعًا درجة حرارته ومخفضًا سرعته.

ومن طرق التقطير بالكبس أو الانضغاط وحدات تحليه تعمل باستعمال الطرد المركزي أو ما يسمى بالضغط النابذي (centrifugal compression) وهذا النوع يحتوي على مبادل حراري يدور بسرعة كبيرة ويتم رش الماء المالح كطبقة رقيقة، مما يوفر عامل نقل حراري كبيرًا حتى عند درجات حرارة منخفضة تصل إلى 50°م. حيث يدخل ماء البحر الحيز المفرغ جزئيًا من الضغط، والذي له شكل مخروط مضاعف. يتم دفع ماء البحر إلى الجدار الداخلي للمخروط بفعل الطرد المركزي (القوة النابذة) ويتبخر جزئيًا. وهذا البخار المنطلق يتم ضغطه بواسطة ضاغط يدور بعدد دورات أعلى من عدد دورات المخروط المضاعف، حيث يتعرض البخار إلى التكاثف على الجدار الخارجي للمخروط المضاعف، مقدمًا الحرارة اللازمة لتبخر الماء داخل هذا المخروط المضاعف. أما الماء المالح المتبقي فيتم إخراجه بشكل مستمر بواسطة أنبوب إخراج، وقد أمكن بواسطة هذا النوع الحصول على 60طن ماء نقي في اليوم باستعمال 200مترًا مكعبًا ماء مالح بدرجة غليان تعادل 52°م وبقيمة عاليه لعامل النقل الحراري الكلي.

التحلية بالتجمد:

يعتمد فصل الماء النقي عن الملح المنحل فيه بطريقة التجمد (freezing) على أن البلورات الثلجية التي تتشكل عند تبريد الماء الملحي هي بلورات خالية من الملح، ومن هذا المنطلق فإن تشكيل الجليد مشابه لتشكيل البخار الخالي من الأملاح، على الرغم من أن السائل له نسبة ملوحة عالية. وهناك العديد من طرق التحلية بالتجمد الاختلاف

بينها هو استخدام الماء نفسه كسائل تجميد أو استخدام سائل آخر، وعندما يكون الماء هو سائل التبريد نفسه فتسمى هذه الطريقة بطريقة التجميد المباشر (direct freezing)، وفي حالة استخدام سائل آخر فتسمى بطريقة التجميد الثنائية، وإذا سمح لسائل التجميد أن يمتزج مع الماء المالح المطلوب تجميده باستخدام البوتان مثلًا فإن هذه الطريقة تسمى تجميدًا مباشرًا ثنائيًا (secondary – refrigerant direct freezing) أو ما يسمى أيضًا التحلية عن طريق الهايدرات، وعندما نفصل سائل التبريد عن الماء المالح بواسطة سطوح مبادل حراري، عندئذ تسمى طريقه التجميد غير المباشر باستخدام مجمد ثانوي (secondary – refrigerant indirect freezing).

1 – التجميد غير المباشر باستخدام مجمد ثانوي:

أفضل الأمثلة على هذه الطريقة هي الثلاجات المنزلية وذلك باستعمال مادة سهلة التطاير مثل النشادر أو الأمونيا أو الفريون، حيث تدفع هذه المادة بشكل سائل إلى ملف داخل حرة التبريد فتتطاير متحولة إلى بخار نتيجة حرارة الملف. ثم يسحب البخار إلى مكبس فيتحول إلى سائل يدفع به مرة أخرى ليؤدي دوره مرة ثانية في التبريد، ويمكن أن يمر في وعاء يحتوي على ماء البحر فيسبب تجمد الماء وتكوين الثلج.

ويتجمد الماء النقي عند درجة الصفر المئوي بينما يتجمد ماء البحر عند الضغط الجوي العادي عند درجة –1.92 °م. وتقوم دائرة تبريد تقليدية بامتصاص الحرارة من ماء البحر الموجود في المجمد وإيصال هذه الحرارة إلى الجليد المتجمع في غرفة إذابة الجليد بعد أن تم فصله عن الماء الملحي المتبقي. حيث يشكل المجمد إضافة إلى الضاغط والمبخر دائرة التجميد، بينما يلعب جهاز إذابة الجليد دور المكثف، ويعمل الضاغط بين درجة أخفض من درجة حرارة تجمد الماء ودرجة حرارة أعلى من درجة الحرارة اللازمة لإذابة الجليد (ما بين –7 °م و + 3 °م) وذلك لتأمين تدفق حراري كاف في كل من المبخر والمكثف، والضغط المطبق على ماء البحر الداخل والماء المالح الخارج والجليد والماء النقي المذاب هو الضغط الجوي.

2 – **التجميد المباشر**: وفيه يلعب الماء دور سائل التجميد، ويُستخدم في هذه الطريقة ضغطًا منخفضًا جدًا يصل إلى 0.005 ضغط جوي، حيث يتم تبريد ماء البحر بشكل أولى بواسطة مبادل حراري ثم يدخل هذا الماء البارد إلى برج التجميد، حيث يؤدي الضغط المنخفض المطبق إلى تبخير سريع لجزء من الماء وتجميد للجزء الباقي، والبخار يسحب عن طريق مضخة باستمرار إلى وعاء صهر الثلج فيتكثف معطيًا ماء عذبًا وبنفس الوقت يصهر الثلج متحولًا إلى ماء عذب.

3 – **التجميد المباشر باستخدام سائل تبريد ثانوي**: وفي هذه الطريقة يستخدم مواد تبريد في صورة سائل تبريد ثانوي غير قابل للامتزاج بالماء (immiscible)، ويشكل البوتان السائل المناسب لهذه الغاية في التبريد، ويكون سائل التبريد بالمشاركة مع الماء بلورات غير متحدة، ويتم إدخال البوتان السائل وماء البحر إلى المجمد الذي يكون فيه الضغط أخفض قليلًا من الضغط الجوي للسماح للبوتان بالغليان (عند درجة –0.5 °م) والتبخر، آخذًا حرارة التبخر اللازمة من الماء مشكلًا الجليد، وبعد تجمد الماء يمرر فيه غاز البوتان الناتج فيتحول البوتان إلى سائل وتذوب كتل الجليد. ثم يتم فصل الماء عن البوتان السائل بواسطة عمل فصل على أساس اختلاف الوزن النوعي للسائلين (الوزن النوعي للماء 1 وللبوتان0.6) ويتم إرجاع البوتان السائل إلى المجمد بينما يخرج الماء المذاب النقي.

طرق التحلية بالانتشار الغشائي:

لقد كان الحصول على المياه المحلاة حتى الثمانيات من القرن الماضي مقصورًا على إحدى الطرق التي تعتمد على التقطير، ولكن التقدم في تصنيع الأغشية ساعد في تطور تقنيات التحلية التي تعتمد على الأغشية، حيث نجد أن طريقة التحليل الكهربائي وطريقة التناضح العكسي تقدما حلًا أكثر اقتصادية لتحلية المياه الجوفية المالحة، وازداد حديثًا استعمال هذه الطرق في تحليه مياه البحر الأكثر ملوحة من المياه الجوفية. ومن طرق التحلية بالانتشار الغشائي كلًا من:

أ- التحلية بواسطة الانتشار الغشائي الكهربائي (الديلزة) electrodialysis:

والأساس في هذه العملية هو اقتناص الأملاح من المياه عن طريق ذوبانها وتأينها إلى أيونات موجبة وهي الأيونات المعدنية وأيونات سالبة وهي الأيونات الحامضية، وبالاستفادة من خاصية إمرار تيار كهربائي في الماء المالح فإن الأيونات السالبة تنجذب إلى القطب الموجب والأيونات الموجبة تنجذب إلى القطب السالب وبذلك يسهل اقتناص هذه الأيونات بواسطة أغشية خاصة وهي على نوعين:

- أغشية كيتونية تسمح بنفاذ الأيونات الموجبة (cations).
- أغشية أينونية تسمح بنفاذ الأيونات السالبة (anions).

أي أن الأيونات (ions) التي تولدها جزئيات الملح الذائب يتم سحبها من الماء المالح بواسطة القوة الكهربائية، ثم يتم تجميعها في حيز خاص، وكلما ارتفعت درجة ملوحة الماء احتجنا إلى قوة كهربائية أكبر لتنفيذ عملية الفصل.

وتتألف وحدة التحلية من عدد من الخلايا يتم خلالها ضخ الماء المالح، وهذه الخلايا مفصولة عن بعضها البعض بشكل متبادل بأغشية بعضها يمرر الكايتونات والآخر يمرر الأنيونات (الشوادر السالبة) ويتم وصل جداري الخلية الأولى والأخيرة بالقطبين الكهربائيين لتمرر التيار الكهربائي من النوع المستمر عبر مجموعة الخلايا، وفي النهاية يجمع الماء العذب من جانب ويخرج الماء المالح من الجانب الآخر. والتحلية بهذه الطريقة تستخدم عادة لتحلية المياه الجوفية وما زال استخدامها في تحلية ماء البحر غير اقتصادي، ويمكن استعمال هذه الطريقة في الحصول على ماء عذب وفي نفس الوقت الحصول على محلول ملحي مركز ممكن منه الحصول على ملح الطعام.

ب- التحلية بالتناضح العكسي أو الأسموزي (RO) reverse osmosis:

أصبحت التحلية بالتناضح العكسي واسعة الانتشار في العالم، وهي طريقة تصفية جزيئية عالية الدقة (hyper filtration). وهي تختلف عن آلية التصفية العادية مثل

فصل معلقات الطمي من الماء في مرشح رملي، أو فصل قطرات القطران من دخان السيجارة. وقد كان الاعتقاد السائد هو استحالة تمكن أي مرشح من منع الملح من المرور والسماح فقط للماء المقطر بالمرور، لأن المحلول الملحي يمثل طورًا وحيدًا، ولكن التجارب التي بدأت منذ عام 1920 أظهرت إمكانية فصل الماء عن الملح بواسطة أغشية مصنعة من مادة الكولوديون (Collodion) أو مادة السيللوز (Cellulose). ويجري الآن استبعاد الملح الموجود في الماء المالح باستخدام أغشية، وجرى إطلاق تسمية التناضح العكسي على هذه الطريقة، وتسمى الأغشية التي تسمح بتمرير الماء دون الملح المحلول فيه بالأغشية شبه المنفذة (semi permeable).

وعندما نفصل بين ماء مالح وماء عذب بواسطة غشاء شبه منفذ في حالة تساوي الضغط في الحيزين فإن الماء العذب سوف ينفذ عبر الغشاء باتجاه الماء المالح، حتى يتساوي التركيز وهذا ما يسمى بالتناضح الطبيعي أو الأسموزية (osmosis).

ولكنه يمكن إرغام الماء للانتقال من حيز المحلول الملحي إلى حيز الماء العذب بتطبيق ضغط على الماء المالح يكون على الأقل أعلى من 24.8 ضغط جوي أو ما يعادل 2.51 ميجاباسكال، ويسمى هذا الضغط الأصغر اللازم بضغط التناضح لماء البحر، ومن هنا جاءت كلمة التناضح العكسي، وكلما ازداد تركيز الأملاح في الماء احتجنا ضغطًا أعلى.

أي أن عملية التحلية بالتناضح العكسي تتم بواسطة توجيه ضغط على الماء المالح بحيث ينتقل الماء فيه عبر غشاء شبه منفذ (نصف نافد)، ونتيجة الاستمرار في هذه العملية ستصبح الأملاح مركزة جدًا في جانب الماء المالح وبواسطة مضخة يتم تصريف الأملاح المركزة، أما الماء العذب فيجمع من الوحدة.

تحليه المياه بالتبادل الأيوني (ion exchange):

لقد أمكن التخلص كليًا من الأملاح التي في الماء لأول مرة عن طريق التبادل الأيوني عام 1935. وأصبحت هذه الطريقة شائعة الاستخدام في معالجة المياه المستخدمة في المراجل عالية الضغط التي تتطلب ماءً دون أية أملاح، وتسمى هذه الطريقة أحيانًا بطريقة استبعاد المعادن (demineralization)، لأنها تزيل الإلكترونيات أو الشوارد (electrolytes) والتي هي في أصلها من أصل معدني. وهذه الطريقة تتم باستخدام أعمدة تملأ بمبادلات أيونية وتتمرر المياه المالحة فيها من قمة العمود إلى نهايته السفلى وخلال ذلك تتم عملية التبادل الأيوني والتخلص من الأملاح.

ومبدأ التحليه بالتبادل الأيوني هو أن الماء المالح يمر في عمود يحتوي على راتنجات أي: مواد صلبة فعالة (resion) تلعب دور مبادل أيوني موجب، وهذه المواد هي عادة مادة عضوية عطرية تحتوي على أيون هيدروجين $^{+}(H)$.

وعندما يغادر الماء العمود الأول تكون كل الأيونات الموجبة في الماء قد تم استبدالها بأيونات الهيدروجين وبذلك تحول الماء إلى محلول حمضي. وبعد ذلك يعبر الماء الحامضي إلى عمود تبادل أيوني سالب يحتوي على مادة عضوية تحتوي على أيونات الماءات أي الأيدروكسيل $^{-}(OH)$، وبذلك يتم تبادل الأيونات السالبة بأيونات الأيدروكسيل، وهكذا يكون تم استبدال جميع أنواع الأيونات (الشوارد) الموجودة في الماء المالح بأيون هيدروجين موجب أو أيون أيدروكسيل سالب، وبعد ذلك تتحد أيونات ^{+}H و$^{-}(OH)$ ويتكون الماء النقي. والميزة المهمة في عمل المبادلات الأيونية هي قابلية استعمالها مرة أخرى بعد تنشيطها بعد كل استخدام، وذلك بغسيلها بجريان الماء في الاتجاه العكسي وتنشيطها بتمرير محاليل حمضية أو أكاسيد مائية عبرها، وهناك إمكانية لاستخدام عمود واحد يحتوي على مزيج من المبادلات الموجبة والسالبة.

وعندما نحتاج ماء عالي النقاوة وهو الذي يُستعمل في المولدات النووية التي تستخدم الماء المضغوط لأغراض التبريد وفي الصناعات الالكترونية والدوائية فإنه يتم تنقية الماء أولًا باستخدام طرق التحلية المعروفة (مثل التناضح العكسي) ويلي ذلك التنقية باستخدام التبادل الأيوني.

ومن أهم المصادر المائية غير التقليدية أيضًا إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي والصناعي، وهذا ما نناقشه في الفصل التالي.

4-2: تدوير استعمال المياه

تحدثنا في الفصل الأول عن مصادر المياه، وأن مصادر المياه منها مصادر تقليدية وقد تحدثنا عنها ومصادر غير تقليدية وتشمل تحليه المياه المالحة (مياه البحر أساسًا) ومعالجة مياه الصرف الزراعي ومياه الصرف الصحي بهدف إعادة استعمالها. وقد ناقشنا في نهاية الفصل الأول موضوع تحليه المياه المالحة، وهنا سوف نتكلم عن معالجة مياه الصرف الزراعي والصرف الصحي بهدف تدوير استعمالها وسوف نوضح في إيجاز تدوير استعمال المياه المالحة والعذبة.

وحيث انه من الملاحظ أن هناك عجز في الموارد المائية العذبة خاصة في المناطق الجافة، وهناك زيادة مستمرة في طلب المياه بسبب استمرار الزيادة في عدد السكان وبسبب التطور في الأنشطة الصناعية والتوسع في الأنشطة الزراعية، فقد أصبح من اللازم توفير المياه العذبة وإعادة استعمال المياه لأكثر من مرة وهذا ما يسمى بالتدوير (recycling)، والأمثلة البسيطة التي تُقرب للذهن موضوع تدوير استعمال المياه هو تدوير الاستعمال للمياه في أغراض التبريد في المنشآت الصناعية. فعمليات التبريد تستهلك كميات كبيرة من المياه ولذلك فإنه من المناسب أن نستعمل هذه المياه لأكثر من مرة، بمعنى أن نستعمل المياه في أكثر من دورة من دورات التبريد، وقد يكون من المناسب أيضًا استعمال مياه البحر لأغراض التبريد. إن العمل على إعادة استخدام المياه العذبة إلى أبعد حد أصبحت ضرورة ملحة، ومن المناسب أيضًا استغلال البخار المنطلق من المنشآت الصناعية في التسخين في المجال الصناعي أو التدفئة في المنازل كما هو متبع في كثير من بلاد العالم.

إن موضوع معالجة المياه (water treatment) أصبح هدفًا منشودًا لسد حاجة الاستهلاك المائي في النواحي المختلفة، فعملية المعالجة سوف يكون لها هدفان هما توفير

مياه مناسبة للاستهلاك وأيضًا المحافظة على البيئة من التلوث، فمعالجة مياه الصرف الصحي والمياه الناتجة من المنشآت الصناعة أصبح منتشرًا في كثير من بلدان العالم، وهذا الماء المعالج ممكن استعماله في الزراعة (مثل زراعة الأشجار التي تنتج الخشب والغابات) واستعماله في المنازل (حتى لو في دورات المياه) ويمكن ضخ هذه المياه المعالجة في أحواض المياه الجوفية لرفع مخزونها من المياه. وإعادة استعمال مياه الصرف الزراعي في ري الحاصلات الزراعية من أهم الأمثلة على تدوير استعمال المياه، كما نوضح في الصفحات التالية.

4-2-1: إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي

إن استهلاك المياه في المجال الزراعي يمثل النصيب الأكبر من استعمال المياه في العالم، فمعدل الاستهلاك البشري للمياه في المنازل أي الاستهلاك المنزلي في الشرب والطبخ والاغتسال وغير ذلك لا يشكل إلا نسبة بسيطة من الاستهلاك الكلي للمياه. فاستهلاك الفرد لمياه الشرب لا يتجاوز 2–8 لترًا يوميًا، فمعدل استهلاك الماء العذب المنزلي في الولايات المتحدة مثلًا يعادل 0.62 مترًا مكعبًا للفرد في اليوم، وأيضًا استعمال المياه في المجال الصناعي أقل بكثير من استعمال المياه في المجال الزراعي. فقد كان استهلاك المياه في العالم في المجال الزراعي يمثل حوالي 94٪ من الاستهلاك الكلي للمياه في عام 1970، بينما تناقص إلى 80٪ في بداية التسعينات من القرن الماضي بسبب زيادة الطلب على المياه في المجال الصناعي مع زيادة التطور في العالم، ويصل ما يستهلك حاليًا في العالم من المياه في المجال الزراعي حوالي 75٪ من الاستهلاك الإجمالي للمياه، فمن المعلوم أن الفدان أو الهكتار الواحد من أي محصول زراعي يستهلك مئات المترات المكعبة من المياه في الموسم الواحد.

وكمية المياه المطلوبة لزراعة كثيفة على مساحة واحد كيلو مترًا مربعًا هي حوالي مليون مترًا مكعبًا. مع العلم أن وزن المنتجات الزراعية لا يتجاوز 1٪ من وزن الماء المستخدم في إروائها أو ريها، ولا تنسى هنا استعمال المياه في إنتاج جميع أنواع الطيور الداجنة وماشية إنتاج اللبن واللحوم. وبالطبع فإن المياه المستعملة في الزراعة لها مواصفات (من ناحية تركيز الأملاح ونوعيتها) تتوقف على نوع النبات ونوع التربة والظروف المناخية، ولكن هناك نباتات قليلة الحساسية للملوحة، ومن الممكن استنباط أصناف من المحاصيل تقاوم الملوحة. وهذا يقودنا إلى استهداف مياه الصرف الزراعي لإعادة استعمالها في الزراعة. وقبل الحديث عن إعادة استعمال مياه الصرف الزراعي أود أن أوضح أن المخلفات السائلة هي مخلفات سائلة للإنسان (كالصرف الصحي)، أو للحيوان، أو مخلفات الصرف الصناعي السائلة، أو الصرف الزراعي، أي أنها تشتمل على ما يلي:

1- المخلفات الآدمية أو الحيوانية الناتجة من عمليات تنقية المجاري (الصرف الصحي) أو شبكاتها من عقارات أو منشآت أخرى (كالمحال العامة والتجارية والصناعية والسياحية) سواء ثابتة أو متحركة أو عائمة.

2- المخلفات الحيوانية السائلة الناتجة من عمليات الذبح والسلخانات والمجازر ومزارع الدواجن وحظائر الحيوانات، وغيرها.

3- المخلفات السائلة الصادرة عن الصناعات المختلفة.

4- مياه الصرف الزراعي.

تتبنى دول عديدة ومنها مصر موضوع إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي في الزراعة. وذلك لأن توفير المياه اللازمة للزراعة سيكون عن طريق استغلال الموارد الطبيعية والعمل على تنميتها، ومن خلال ترشيد كفاءة استخدام مياه الري (وهو ما

سوف نناقشه في الفصل القادم) وأيضًا من خلال إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي، بالإضافة إلى مياه الصرف الصحي والصناعي بعد معالجتها.

ويمكن تلخيص مصادر المياه في المصارف على النحو التالي:

1- مياه الصرف الداخلي: وتشمل كمية المياه الزائدة على احتياج النبات التي تمر في قطاع التربة إلى المصارف.

2- مياه الصرف السطحي أو الجريان السطحي: وهي التي تجري على سطح التربة إلى المصرف مباشرة دون المرور في قطاع التربة ويحدث ذلك عند وجود انحدار في سطح التربة واستعمال مياه ري بمعدل أكبر من معدل تسرب الماء إلى التربة.

3- مياه تصل من مصادر الري إلى شبكة الصرف، عند اتصال نهاية الترع بشبكة الصرف وعدم الدقة في تصميم شبكة الري والصرف.

4- مياه الرشح من الأرض الزراعية والمجاري المائية المجاورة للمصارف.

5- وقد تصل إلى بعض المصارف أحيانًا مياه من مصادر أخرى، مثل مياه البحر أو مياه الصرف الصحي والصرف الصناعي. ومعنى ذلك أن المياه الموجودة في مجمعات الصرف الزراعي تعتبر خليطًا من المياه القادمة من مصادر مختلفة ومن أراضي مختلفة، ولذلك فإن نوعيتها في تغير من مكان إلى آخر، وقد تكون ملوثة من:

أ- مصادر زراعية مثل التلوث بالأملاح والأسمدة والمبيدات وأيضًا من مخلفات مزارع الطيور والحيوانات.

ب- التلوث بمياه الصرف الصحي التي تلقي في المصارف عادة دون معالجتها.

جـ- التلوث بمياه الصرف الصناعي والتي تصل إلى المصارف بما تحتويه من عناصر ومواد سامة وضارة، مثل الكيماويات والمعادن الثقيلة.

طرق إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي في الري:

يوجد ثلاث طرق لإعادة استخدام مياه الصرف الزراعي في الري هي:

1 – الاستعمال المباشر، ثم إجراء غسيل التربة في نهاية الموسم بريها بماء عذب.

2 –خلط مياه الصرف بمياه عذبة بنسب مختلفة ثم إجراء عمليات الري.

3 – استخدام مياه الصرف في الري بالتتابع أو التناوب مع المياه العذبة.

ونوع الطريقة أو الأسلوب الممكن إتباعه يتوقف على مدى تركيز الأملاح في كل من مياه الصرف الزراعي ومياه الخلط أو الري العادية، قوام التربة ونوع معدن الطين السائد بها، طريقة الري المتبع ومستوى الماء الأرضي، والمناخ السائد ونوع المحصول المزروع. وأحيانًا ما يتم استعمال مياه ري عذبة في فترة الإنبات خاصة في النباتات الحساسة، وذلك بهدف مساعدة النبات على الإنبات ثم تستخدم مياه الصرف بعد ذلك في الري، ويفضل إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي في الأراضي خشنة القوام والأراضي ذات البناء الثابت.

وعند اختيار طريقة الري عند استخدام مياه الصرف في ري الأراضي الزراعية يراعي أن تضاف كمية من مياه الري زائدة بهدف غسيل الأملاح وهذه ما تسمى بالاحتياجات الغسيلية، خاصة عند استعمال الري بالتنقيط حتى لا تتراكم الأملاح في شكل دوائر حول النبات حيث مناطق انتشار الجذور، وعند استخدام الري بالرش يجب عدم زيادة تركيز الأملاح في المياه على *2000* ppm (جزء من المليون) حتى لا يحدث احتراق للأوراق وينصح بالري بالرش والمجموع الخضري مبلل بماء الندى في الصباح الباكر أو رش بعض المياه العذبة أولًا ثم تتابع الري بمياه الصرف.

وفي مصر يتم في مناطق كثيرة صرف مياه الصرف الزراعي في مياه النيل وبذلك يتم تلقائيًا إعادة استخدام لمياه الصرف في الري، كما كان الحال في الوجه القبلي قديمًا وكما هو متبع حاليًا في ترعة النوبارية وترعة عبد القادر وترعة السلام وغيرها من الترع.

وهناك بعض الأمور يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند استعمال مياه الصرف الزراعي في الري منها:

1- زيادة تركيز الأملاح الذائبة في مياه الصرف يسبب زيادة الضغط الأسموزي في منطقة الجذور مما يصعب من امتصاص النبات للماء، ولذلك ينصح بتقليل الفترة بين الريات مع أفضلية استعمال مياه صرف تركيز الأملاح بها أقل من 750 جزء في المليون.

2- أحيانًا نجد أن استعمال مياه الصرف في الري يزيد الإنتاج بسبب ما تحتويه في بعض المناطق على كميات كبيرة من عنصر النيتروجين الذي مصدره الأسمدة النيتروجينية المستعملة.

3- يجب أخذ عينات من مياه الري ومياه الصرف وأيضًا عينات من التربة وتحليلها بصفة دورية، وذلك لمتابعة تغير الميزان الملحي في التربة.

4- يوصى بعدم إلقاء مياه الصرف الصحي والصناعي في المصارف إلا بعد معالجتها.

5- يجب مراعاة الناحية الاقتصادية عند إعادة استخدام مياه الصرف في الري.

6- تحت ظروف معينة يكون من الممكن تدوير الري بمياه الصرف الزراعي أكثر من مرة.

معالجة مياه الصرف الزراعي باستخدام التناضح العكسي:

نلاحظ أنه نتيجة للري الجائر للأراضي الزراعية في المناطق الجافة فإن مياه الصرف الزراعي تكون عالية في محتواها من الأملاح، ومن المفيد تحلية هذه المياه حتى نوفر مصدرًا إضافيًا للمياه النقية، وفي نفس الوقت نوفر تكلفة التخلص من هذه المياه، وغالبًا ما تكون ملوحة المياه المستخدمة للري في المناطق الحارة الجافة في حدود - *800* ppm *600*. ولكن استعمال الري الكثيف خاصة في الأراضي غير الجيدة الصرف سوف يزيد من ملوحة التربة وأيضًا تصل ملوحة مياه الصرف إلى حوالي *3000 – 3400* ppm.

ولمعالجة مياه الصرف الزراعي يمكن استخدام وحدات تحليه تعتمد على مبدأ التناضح العكسي (الذي سبق توضيحه) لتخفيض ملوحة هذه المياه إلى حوالي *400* ppm، بينما تكون نسبة الملوحة في الماء المستعبد (rejected) الخارج من وحدة التحلية بحدود *10000* ppm. وغالبًا ما يتم تعريض الماء قبل تحليته إلى معالجة أولية بسبب قساوته أو عسره، وكذلك لمنع ترسب أملاح الكالسيوم والماغنسيوم على أغشية وحدة التحلية.

يمكن استخدام التطرية الغضارية (الجير lime) لخفض درجة القساوة (العسر) في الماء عن طريق تثبيت كربونات الكالسيوم وهيدروكسيد الماغنسيوم وإزالة أملاح الحديد والمنجنيز وكذلك مواد صلبة معلقة أخرى، وغالبًا ما يتم الترسيب في ثلاث مفاعلات، حيث يتم الخلط ثم التهوية ثم التنقية (flocculation) في نفس الوقت، والماء الخارج من هذه المفاعلات تتم متابعة تنقيته بواسطة فحم الأنتراتسيت الموضوع فوق طبقة من الرمل، وتتم إضافة حمض الكبرتيك قبل وبعد التصفية.

وهناك أساليب أخرى لمعالجة مياه الصرف الزراعي، وأيضًا هناك طرق عديدة لإعادة استغلال مياه الصرف الزراعي والصحي والصناعة سوف نشير إليها في الأجزاء التالية من الكتاب.

4-2-2: إعادة استخدام مياه الصرف الصحي والصناعي

من المعروف أنه في المناطق المنفذ فيها شبكات للصرف الصحي فإن مياه المجاري المنزلية تلتقي بمياه الصرف الصناعي ومياه الأمطار وغسيل الطرق وكل هذه المياه تنتقل في مواسير المجاري العامة وتصل إلى محطات المجاري.

وهذه المياه والمخلفات الصلبة والسائلة يسبب تراكمها دون استخدام مشكلة تلوث للبيئة ويلحق الضرر بالإنسان والأحياء الأخرى، وفي نفس الوقت فإن إعادة استخدامها وتدويرها يمثل مصدرًا هامًا للمياه والطاقة والمادة العضوية من حق البشرية استغلاله، ويهمنا هنا المخلفات السائلة وهي مياه الصرف الصحي والصناعي التي

يمكـن معالجتهـا وإعـادة اسـتخدامها في الزراعـة أو الـصناعة وأيـضًا في المنـازل في استعمالات خاصة. وعمومًا فإن مياه الصرف الصحي والصناعي تشمل كلًا من:

1- مياه الصرف الصحي من المنـازل والمحـال العامـة والمنـشآت التعليميـة والـصحية والخدمية والمنشآت السياحية وما إلى ذلك.

2- مياه الأمطار وغسيل الطرق والمياه الأرضية المتسربة إلى مواسير المجاري.

3- المياه الناتجة من حظائر الدواجن والحيوانات بجميع أنواعها.

4- مياه المجازر والسلخانات وأماكن ذبح الطيور والحيوانات.

5- مياه صرف المصانع بجميع أنواعها ونشاطاتها.

وهذه تكون في مجملها كم هائل من المياه تعتبر مصدرًا غير تقليـدي هامًـا للميـاه، يمثل استخدامها مصدر كبير لسد العجز في الميزان المائي الموجود في كثير من بلدان العالم خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة كما هو الحال في أغلب بلاد الوطن العربي.

وكما يجري حاليًا في كثير من المدن بجميع دول العالم فإنه يتم تجميع ميـاه الـصرف الصحي والصناعي في محطات لمعالجة المياه أو يتم استعمالها بدون معالجة أيـضًا في بعـض الاستعمالات، وفي حالة عدم استخدام هذه المياه سواء بمعالجتها أو بـدون معالجـة فإنـه عادة ما تلتقي في البحر والبحيرات وفي الأنهار أحيانًا أو في المصارف، وهذا يمثل إهدارًا للمياه وفي نفس الوقت مصدرًا كبيرًا من مصادر التلوث.

ومعدلات استهلاك الفرد للمياه تزداد في مدن البلدان المتقدمـة وتقـل في المنـاطق التي يندر فيها المياه، وفي كل الأحوال فهناك كميات كبـيرة مـن ميـاه الـصرف الـصحي يمكن إعادة استخدامها مع مراعاة الاحتياطات اللازمة للحفـاظ عـلى الـصحة العامـة والبيئة. ففي مصر على سبيل المثال بلغت كمياه الصرف الصحي في عام 2000م حوالي

2.82 بليون متر مكعب في السنة وإعادة استخدام مياه الصرف الصحي (في الأغـراض الزراعية مثلًا) سوف يحقق أهدافًا عديدة منها:

1- زيادة الرقعة الزراعية حول المدن المتاخمة للصحراء.

2- التخفيف عن المصارف التي تصب فيها محطات التنقية.

3- تشجيع أقامة المجتمعات العمرانية الجديدة في الصحراء.

بالإضافة لتوفير تكلفة نقل ورفع هذه المياه إلى المصارف ثم البحيرات أو البحـر أو خلافه.

كما أن إلقاء هذه المياه بدون معالجة في المجاري المائية يؤدي إلى نقص الأوكـسجين الذائب في الماء، مما يؤثر على الثروة السمكية والأحياء المائية الأخرى، وسوف يزيـد مـن مصادر التلوث.

طرق معالجة مياه الصرف الصحي والصناعي:

هناك ثلاثة مستويات للمعالجة لمياه الصرف الصحي هي:

أ- المعالجة الأولية وتتم في خطوات متتالية كما يلي:

1- إمرار المياه على شـبكات مـن المعـدن تحجـز المـواد الكبـيرة مثـل الـصفيح والـزلط والقماش.

2- تنقل المياه إلى أحواض الترسيب وتترك لترسب المواد العالقة إلى القاع، وقد يـضاف بعض المركبات الكيماوية للمساعدة في الترسيب مثل مركبات الكالسيوم والحديد.

3- يتم كشط المواد الطافية من شحوم وزيـوت وغيرهـا، وأيـضًا الـتخلص مـن المـواد الراسبة في القاع، ويتبقى مواد غير مرغوب فيها يتم معالجتها في المرحلة الثانوية.

ب- المعالجة الثانوية، وتتم في مراحل كما يلي:

1 – يتم تجهيز أحواض المعالجة الثانوية بحيث تـوفر الأوكـسجين الـلازم لنـشاط البكتريا التي تقوم بأكسدة المواد العضوية وتحليل المركبات الموجودة بالميـاه وتحويلهـا إلى مواد معدنية بسيطة، وهي ما يطلق عليها عملية المعدنة.

2 – وتقوم البكتريا أيضًا بتكسير كثير من السموم مثل المبيدات والمذيبات وغيرها، ولكنها تعجز عن التعامل مع المعادن الثقيلة مثل الزئبق والكروم والكادميوم وغيرها.

وفي هذه المرحلة يتم التخلص من نحو 95٪ من المواد العضوية، والـسائل الرائـق يمكن تجميعه واستعماله في ري المحاصيل، أو يتم إجراء المعالجة الثلاثية عليه.

3 – المعالجة الثلاثية: وتجري بهدف التخلص مـن البكتريـا والميكروبـات المرضـية والمواد غير العـضوية مثـل الأصـباغ وأمـلاح الكلوريـدات والكبريتـات والفوسـفات والنترات ونسبة من المعادن الثقيلة، حيث يتم المعالجة بـالكلور للـتخلص مـن البكتريـا والكائنات الدقيقة، ويُستعمل الكربون النشط بهدف إزالة المركبات سابقة الذكر.

– كما يمكن معالجة مياه الصرف الصحي باستخدام بعض النباتـات مثـل الـبردي والبوص وورد النيل، والتي لها القدرة على امتصاص الملوثات وتحويلها إلى صـورة غـير ضارة، وكذلك تساعد في رفع نسبة الأوكسجين الذائب في الماء وتقلل أعـداد البكتريـا. حيث تمرر مياه الصرف الصحي في أحواض مملوءة بالزلط ومزروعة بهذه النباتات.

معالجة مياه الصرف الصناعي:

هناك كميات هائلة من المياه تنتج عن المنشآت الصناعية، وصلت كميتها في مـصر على سبيل المثال 2 مليار متر مكعب عام 2000م. وهـذه الميـاه بهـا كميـات كبـيرة مـن العناصر الثقيلة والكيماويات، فلذلك فإن معالجة مياه الصرف الصناعي تتطلب:

أولًا- إزالة الملوثات من مياه الصرف الصناعي، بواسطة وسائل عديدة منها:

1 -الترسيب، وذلك بإضافة مواد تساعد على ترسيب المواد العالقة وذلك بعد وضع هذه المياه في أحواض خاصة، وعادة ما يضاف الشبه (كبريتات الألمونيوم) أو أيدروكسيد الكالسيوم أو أملاح الحديد مثل كلوريد الحديد وكبريتات الحديدوز أولبوليمارز polymers، وهذا يساعد في ترسيب كثير من العناصر الثقيلة.

2- فصل الزيوت العائمة وذلك بالتعويم أو بالطرد المركزي.

3- قد يتم فصل المواد الصلبة العالقة بإضافة بعض المواد لمياه الصرف الصناعي مثل الأسمنت أو السليكا أو معادن الطين، ثم إجراء عملية التقليب الجيد ثم تترك المياه فترة حتى يتم الترسيب ثم يفصل الجزء العلوي الرائق عن الجزء المترسب أسفله.

4- في أحيان كثيرة يتم إعادة تدوير المذيبات الموجودة في مياه الصرف الصناعي، بإستخلاص هذه المذيبات بطرق خاصة ثم يتم إعاده استخدامها في الصناعة.

ثانيًا- استرجاع العناصر الثقيلة المتبقية في مياه الصرف الصناعي:

تمثل العناصر الثقيلة الموجودة في مياه الصرف الصناعي خطورة كبيرة على البيئة والصحة، ولذلك هناك وسائل عديدة لاسترجاعها (فصلها) ومنها: الفصل بالمعالجة الكيميائية – الفصل بالطرق الحرارية مثل التبخير تحت ضغط منخفض – الإدمصاص باستخدام الكربون المنشط – التبادل الأيوني – الديلزة الكهربائية – التناضح الأسموز العكسي. ولقد تناولنا هذه الطرق بالشرح عند الحديث عن تحليه المياه المالحة.

وأهم استخدامات مياه الصرف الصحي المعالجة ما يلي:

1 – استخدامها في ري المحاصيل الحقلية والبستانية والغابات.

2 – تربية الأزولا أو عدس الماء أو بعض الطحالب لإنتاج الأعلاف الخضراء للمواشي والدواجن.

3- تربية الأسماك والطيور المائية مثل البط والأوز، وغيرها.

4- استخدامها كمصدر شرب لحيوانات المزرعة.

5- ضخها في خزانات المياه الجوفية.

6- استخدامها في ترطيب مكورات الأسمدة العضوية.

وبالطبع فإن قبل استخدام مياه المعالجة لابد من التأكد من أنها تُطابق المعايير القياسية حسب نوع الاستخدام سواء في الري أو الأنشطة الزراعية الأخرى أو الصناعية أو في المزارع السمكية، وغيرها. وذلك من ناحية نسبة الأملاح الذائبة، ونسبة ادمصاص الصوديوم، ورقم الحموضة، وتركيز العناصر السامة والثقيلة، والطفيليات الممرضة، وغيرها.

3-4: ترشيد استعمال المياه

من خلال حديثنا عن الماء أتضح لنا أنه أساس الحياة وأنه لا حياة لأي كائن حي بدونه، وظهر لنا جليًا أن هناك عجز في مصادر المياه في كثير من المناطق. أليس من الحكمة إذًا عدم الإسراف في استعمال المياه وترشيد استخدامها. ولقد أعتاد الإنسان أن يحافظ على أشياءه القيمة من مجوهرات ومواد نادرة، بل ويحرص العاقل دائمًا على إدخار جزء من ماله لكي يستعمله عند الحاجة. فإذا كان الماء هو أهم ثروات الإنسان التي عليها يمارس الإنسان كل نشاطاته الزراعية والصناعية، وعن طريق الماء يربي الإنسان حيواناته ومن الماء يرتوي الإنسان ومزروعاته. ولذلك فإنه لابد أن نرشد استعمالنا للماء حتى لا يصل بنا الحال نحن أو الأجيال القادمة بأن نصل إلى وقت لا نجد فيه نقطة الماء للشرب.

ومن الغريب والمؤسف في نفس الوقت أن نجد صور عديدة من صور الإسراف في استعمال الماء خاصة في المناطق الجافة من الأمثلة عليها على سبيل المثال:

1- إضافة مياه الري إلى المحاصيل الزراعية بمقدار أكثر من حاجة هذه المحاصيل.

2- استعمال الماء النقي في رش الشوارع في أيام الصيف الحار.

3- الإسراف في الاستهلاك المنزلي للمياه أحيانًا بدون داعي، لدرجة أن يهمل الفرد في إصلاح صنابر المياه وغيرها ويترك الماء يضيع هباءًا.

4- استعمال الماء النقي في استعمالات يصلح فيها الماء الغير نقي وحتى ماء البحر مثل عمليات التبريد في المصانع وغسيل المركبات ودورات المياه وغيرها.

5-عدم الاهتمام بتجميع مياه السيول وتركها تضيع دون أي استغلال لها.

6- عدم الاهتمام بتجميع مياه الأمطار من الشوارع وأسطح المباني وتركها تصل إلى مجاري الصرف الصحي دون استغلالها.

7- عدم إعادة استخدام مياه الصرف الزراعي والصحي والصناعي، رغم ما تمثلة من حجم هائل من مياه على مستوي العالم.

وهناك صور أخرى عديدة من الهدر والإسراف في استعمال المياه. وإنه ليس من الحكمة بل ليس من الإنسانية أن أسرف في استهلاكي للماء وأنا أعلم أن هناك ملايين من الأفراد في بلاد العالم في المناطق الجافة، وخاصة الأطفال، يموتون من العطش ومن الجفاف الذي لا يُبقي على حرث أو نسل. فنقطة الماء التي تضيع وتفقد بدون فائدة والتي لا نحسن التعامل معها ونرشد استعمالها، تمثل هذه النقطة حياه أو موت لإنسان آخر في مكان آخر. وإذا كان الماء من أعظم النعم التي وهبنا إياها الخالق العظيم سبحانه وتعالى فإنه لزامًا علينا أن نشكر هذه النعمة ومن أهم صور الشكر المحافظة على الماء وترشيد استعماله.

4-3-1: عدم الإسراف في الماء كما جاء في القرآن والسنة:

إن الله أمرنا بعدم الإسراف في المأكل وفي المشرب، وأمرنا بالاعتدال في كل الأمور ومن الآيات الكريمة التي تحثنا على عدم الإسراف.

- ﴿ كُلُوا۟ وَٱشْرَبُوا۟ مِن رِّزْقِ ٱللَّهِ وَلَا تَعْثَوْا۟ فِى ٱلْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ﴾ (البقرة: 60)،

وبالتأكيد فإنه من الإفساد أن يسرف الإنسان في إهدار الماء بدون داعي وهناك إنسان آخر لا يجد الماء الذي يروي به عطشه.

- ﴿ وَلَا تُسْرِفُوٓا۟ ۚ إِنَّهُۥ لَا يُحِبُّ ٱلْمُسْرِفِينَ ﴾ (الأنعام: 141)

- ﴿ وَكُلُوا۟ وَٱشْرَبُوا۟ وَلَا تُسْرِفُوٓا۟ ۚ إِنَّهُۥ لَا يُحِبُّ ٱلْمُسْرِفِينَ ﴾ (الأعراف: 31).

- ﴿ وَلَا تُطِيعُوٓا۟ أَمْرَ ٱلْمُسْرِفِينَ ﴾ (الشعراء: 151).

وإن الله سبحانه وتعالى سوف يفيض علينا من الماء إذا ما اتبعنا أوامره واستقمنا على صراطه المستقيم، كما قال سبحانه: ﴿ وَأَلَّوِ ٱسْتَقَٰمُوا۟ عَلَى ٱلطَّرِيقَةِ لَأَسْقَيْنَٰهُم مَّآءً غَدَقًا ﴾ (الجن: 16)

وعلينا أن نتقي الله ولا نُسرف في الماء، هذه النعمة العظيمة التي أوجدها لنا سبحانه وتعالى، ومن مظاهر شكرنا لله على هذه النعمة أن نحافظ عليها، فمن غير الله يأتينا بالماء إذا ذهب وضاع بسبب إفسادنا وإسرافنا، واقرأ معي هذه الآيات الكريمة:

- ﴿ وَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءًۢ بِقَدَرٍ فَأَسْكَنَّٰهُ فِى ٱلْأَرْضِ ۖ وَإِنَّا عَلَىٰ ذَهَابٍۭ بِهِۦ لَقَٰدِرُونَ ﴾ (المؤمنون: 18)

- ﴿ وَأَرْسَلْنَا ٱلرِّيَٰحَ لَوَٰقِحَ فَأَنزَلْنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَأَسْقَيْنَٰكُمُوهُ وَمَآ أَنتُمْ لَهُۥ بِخَٰزِنِينَ ﴾ (الحجر: 22).

- ﴿ أَفَرَءَيْتُمُ ٱلْمَآءَ ٱلَّذِى تَشْرَبُونَ ﴿٦٨﴾ ءَأَنتُمْ أَنزَلْتُمُوهُ مِنَ ٱلْمُزْنِ أَمْ نَحْنُ ٱلْمُنزِلُونَ ﴿٦٩﴾ لَوْ نَشَآءُ جَعَلْنَٰهُ أُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُونَ ﴾ (الواقعة: 68-70).

- ﴿ قُلْ أَرَءَيْتُمْ إِنْ أَصْبَحَ مَآؤُكُمْ غَوْرًا فَمَن يَأْتِيكُم بِمَآءٍ مَّعِينٍۭ ﴾ (الملك: 30).

ونحن كمسلمين نعلم جيدًا أنه لا قوة ولا ماء ولا أنهار إلا بأمر الله، وعلينا أن نقول سبحان الله الذي سخر لنا هذا الماء وأن نقول: ما شاءَ الله حيث وفر لنا الماء ويسره، ولا نكون مثل الرجل الذي جعل الله له جنتين من أعناب ونخل وزرع وفجر الله له خلالهما نهرًا، ومع ذلك ظلم نفسه واغتر على صاحبه ولم يشكر لله نعمه فأصبحت بساتينه خاوية.

وهذه القصة ذكرها لنا الحق سبحانه وتعالى في سورة الكهف، ونذكر منها بعض الآيات للتذكرة:

﴿ وَلَوْلَآ إِذْ دَخَلْتَ جَنَّتَكَ قُلْتَ مَا شَآءَ ٱللَّهُ لَا قُوَّةَ إِلَّا بِٱللَّهِ ۚ إِن تَرَنِ أَنَا۠ أَقَلَّ مِنكَ مَالًا وَوَلَدًا ﴿٣٩﴾ فَعَسَىٰ رَبِّىٓ أَن يُؤْتِيَنِ خَيْرًا مِّن جَنَّتِكَ وَيُرْسِلَ عَلَيْهَا حُسْبَانًا مِّنَ ٱلسَّمَآءِ فَتُصْبِحَ صَعِيدًا زَلَقًا ﴿٤٠﴾ أَوْ يُصْبِحَ مَآؤُهَا غَوْرًا فَلَن تَسْتَطِيعَ لَهُۥ طَلَبًا ﴿٤١﴾ وَأُحِيطَ بِثَمَرِهِۦ فَأَصْبَحَ يُقَلِّبُ كَفَّيْهِ عَلَىٰ مَآ أَنفَقَ فِيهَا وَهِىَ خَاوِيَةٌ عَلَىٰ عُرُوشِهَا وَيَقُولُ يَٰلَيْتَنِى لَمْ أُشْرِكْ بِرَبِّىٓ أَحَدًا ﴾ (الكهف: 39-42).

وإلى الناس الذين عندهم فضل ماء ويبخلون به على عباد الله الـذين في حاجـة إلى الماء، اعلموا أن البشر شركاء في الماء فهذا الماء أوجده الله ولم توجـده أنـت أيهـا الإنـسان فأنت أضعف من أن تخلق الماء.

لقد جعل الله الماء حقًا شائعًا بين البشر جميعًا، فحق الانتفاع به مكفول للجميع بلا احتكـار ولا إفـساد ولا تعطيـل ولا إسراف، ويقـول الرسـول الكـريم ﷺ: **«الناس شركاء في ثلاث: في الماء والكلأ والنار»**.

وقد نهت السنة النبوية عن منع الماء حتى لا يؤدي هذا المنـع إلى الإضرار بالنبـات والحيوان والإنسان، فقد جاء عن أبي هريـرة رضي الله عنه أن رسـول الله ﷺ قـال: **«لا يُمنع فضل الماء ليُمنع به الكلأ»**.

بل نهى ﷺ عن بيع الماء فقال: **«لا يُباع فضلُ الماء ليُباع به الكلأ»**.

وعن أبي هريرة رضي الله عنه أن رسول الله ﷺ قـال: **«ثلاثـة لا يكلمهـم الله، ولا ينظر إليهم ولا يزكيهم ولهم عذاب أليم أولهم رجل على فضل ماء بالفلاة يمنعه مـن ابن السبيل»**.

ولقد أعطت السنة النبوية الشريفة اهتمامًا كبيرًا لحماية الماء والحفـاظ عليـه، حيـث جاءت التوجيهات النبوية الطاهرة بعدم الإسراف في الماء حتى في ماء الوضوء.

فعن عمر بن شعيب عن أبيه عن جده قال: إن رجلًا قـد أتي النبـي ﷺ فقال: يا رسول الله كيف الطهور؟ فدعا الرسول بماء في إناء، فغسل كفيه ثلاثًا ثـم غـسل وجهه ثلاثًا ثم غسل ذراعية ثلاثًا، ثم مسح برأسه وأدخل أصـبعيه الـسباحتين في أذنيـه ومسح بإبهامه على ظاهرة أذنيه وبالسباحتين باطن أذنيه ثم غسل رجليه ثلاثًا ثلاثًـا. ثـم قال ﷺ: **«هكذا الوضوء فمن زاد على هذا فقد أساء وتعدى وظلم»**.

وعن ابن عمر رضي الله عليهما قال: رأي رسول الله ﷺ رجلًا يتوضأ فقال: «**لا تسرف، لا تسرف**».

وعن ابن عبد الله بن عمرو رضي الله عنهما أن رسول الله ﷺ مر بسعد وهو يتوضأ فقال: «**ما هذا السرف**» فقال: أفي الوضوء إسراف. قال ﷺ: «**نعم وإن كنت على نهر جارٍ**».

4-3-2: بعض استخدامات الماء التي يجب الترشيد فيها

من المنطقي أن نحسن التعامل مع كميات المياه العذبة المتوفرة على سطح الأرض وفي جوفها، بدلًا من اللجوء إلى تحليه مياه البحر المالحة بوسائل اصطناعية عادة تكون عالية التكلفة، مع العلم بأن هناك دولًا لا تطل على البحر.

فمشكلة ندرة المياه العذبة في بعض المناطق تنبع أحيانًا من الإسراف في الماء بدون أي فائدة، وإذا دققنا النظر في استخدامات الماء في المجال الزراعي والصناعي وفي المدن والمنازل، لوجدنا أنه يمكننا توفير قدر كبير من المياه إذا ما رشدنا استخداماتنا لها ومن ذلك مثلًا:

أ- في المجال الزراعي:

الزراعة هي التي تخطي بالنسبة العظمى من استهلاك المياه العذبة على مستوى العالم بنسبة تصل في المتوسط إلى حوالي 75٪ من الاستهلاك الكلي للمياه، وتزيد هذه النسبة بالطبع في بعض بلاد العالم التي تعتمد على الري في الزراعة مثل مصر حيث تزيد فيها هذه النسبة عن 86٪. بينما استهلاك المياه في الصناعة وفي الاستهلاك المباشر للبشر فإنه يصل في المتوسط على حوالي 25٪ على مستوى العالم، وتتفاوت بالطبع هذه النسبة من دولة إلى أخرى.

ومعلوم أن الزراعة تعتمد في أغلب بلدان العالم على الري لأن مناطق قليلة فقط التي تكثر فيها الأمطار تعتمد على المطر في الزراعة، والاستهلاك المائي للمحاصيل الزراعية يمثل كميات هائلة من المياه، فالقمح على سبيل المثال يستهلك حوالي 2400متر مكعب للفدان أي ما يعادل حوالي 5700 متر مكعب مياه لكل هكتار. وهذا يمثل حوالي 65 – 70٪ من ماء الري المضاف للمحصول لأن هناك جزءًا فائضًا عن حاجة المحصول، وبالطبع هناك محاصيل أخرى تحتاج مياه أكثر من القمح مثل الأرز وقصب السكر وغيرها. وإذا أخذنا في الاعتبار أن مياه الري تنتقل من مصدر الري الرئيسي إلى الحقول عبر شبكة طويلة ومتفرعة من المجاري المائية المتعددة الدرجات، بحيث تفقد أكثر من 50٪ من مياهها أثناء هذه الرحلة الطويلة فإننا سوف ندرك مدى زيادة الاستهلاك للمياه في المجال الزراعي. ففي مصر مثلًا تنتقل مياه الري من النيل إلى الرياحات ثم إلى الترع الرئيسية ثم إلى الترع الفرعية ومنها إلى الترع التوزيعية والتي تصب المياه بعد ذلك في مساقي الحقل، ففي هذه الرحلة الطويلة تُفقد المياه بالبخر وبالتسرب من جوانب المجاري المائية. بالإضافة إلى ذلك فإن الحشائش المنتشرة في مجاري الري وفي التربة تستهلك حوالي 50٪ من كمية المياه المستخدمة في الري.

ومما يزيد من الهدر في مياه الري استعمال طرق الري غير المتطورة وانتشار العادات السيئة عند إجراء عمليات الري، بحيث نعطي للمحصول مياه أكثر من حاجته، مما يضر بالنبات وبالتربة ويتسبب في فقدان جزء كبير من المياه.

وطرق الري المستعملة ممكن تقسيمها إلى:

1 – الري السطحي: ويقصد به إضافة مياه الري إلى سطح الأرض ومنه الري بالأحواض والري بالشرائط والري بالخطوط.

2 – الري بالرش : ويقصد به رش مياه الري على سطح النبات، بأجهزة خاصة.

3- الري بالتنقيط: وهو وضع الماء حول النبات في صورة نقط بواسطة نقاطات خاصة، وهذا يعني إضافة الماء حول النبات فقط عند الحاجة أي أن الماء يُوزع في جزء فقط من التربة وليس على السطح كله.

4- الري تحت السطحي: وفيه يُتحكم في إضافة الماء تحت سطح التربة أسفل منطقة نمو جذور النبات، ومنه ري تحت سطحي طبيعي، وفيه يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي بحيث لا يتذبذب إلا في أضيق الحدود ويصبح مصدرًا لإمداد النبات بالرطوبة المطلوبة، ومنه ري تحت سطحي صناعي حيث يتم الري من خلال شبكة من الأنابيب المثقبة توضع على عمق حوالي 50سم من سطح التربة ويتم ضغط مياه الري فيها بحيث يحدث ابتلال لمنطقة جذور النبات فقط.

وبالطبع فإن اختيار طريقة الري يتوقف على عوامل عديدة مثل خواص التربة، وكمية المياه المتوفرة، ونوع المحصول، والتكاليف والتقنيات والإمكانيات المتوفرة لكل طريقة، وفي كل الأحوال فإن كفاءة الري لا يمكن أن تصل إلى 100٪ بمعنى أننا نحتاج إلى إضافة ماء ري بقدر أكبر من استهلاك المحصول للماء حتى نعوض الجزء من الماء المفقود خلال انتقال ماء الري في شبكة الري وخلال إجراء عملية الري وأيضًا لغسيل الأملاح من التربة.

واستعمال طرق الري الحديثة مثل الري بالرش والري بالتنقيط يوفر قدرًا كبيرًا من المياه حيث كفاءة الري بالتنقيط مثلًا تصل إلى 80 – 90٪ مقارنة بطرق الري السطحي (خاصة الري بالغمر) التي تكون فيها كفاءة الري في حدود 40- 50٪ فقط.

وهناك عديد من الوسائل التي بها يمكن الترشيد في استهلاك مياه الري منها:

1- استعمال طرق الري الحديثة مثل الري بالرش أو الري بالتنقيط في ري المحاصيل الحقلية والبستانية، أو على الأقل تطوير طرق الري السطحي بحيث نقلل من فقد مياه الري.

2- محاولة تقليل فقد المياه أثناء رحلتها من مصدر الري الرئيسي إلى الحقول، وذلك بمحاولة تقليل طول سير المياه وتقليل حجم المجرى المائي، وهناك أسلوب مثالي يتمثل في تطبتين جوانب وقيعان المجاري المائي بمواد خاصة (مثل الأسمنت والمواد المصنعة) بهدف تقليل فقد المياه بالتسرب الجانبي من المجرى المائي.

3- إزالة الحشائش والنباتات المائية من مجاري مياه الري، وبالطبع إزالة الحشائش من الحقول فهذا سوف يوفر حوالي 50٪ من الماء المستعمل في الري.

4- الاهتمام بتعليم المزارعين ثقافة استعمال مياه الري، وأن لكل نبات مقنن معين من مياه الري وأن أي إضافة أكثر من حاجة النبات من الماء يمثل فقدر وهدر في المياه دون طائل، بل ويسبب إضرارًا بالتربة والنبات.

5- إعادة تدوير استخدام مياه الصرف الزراعي في الري، كما سبق أن أوضحنا.

حيث يمثل ماء الصرف أو ما يسمى بمقنن الصرف حوالي 25 – 45٪ من مقنن الري. ويمكن أيضًا الري بماء الصرف الصحي بعد معالجته كما أوضحنا من قبل.

6- قد يكون من الممكن نقل مياه الري إلى الحقول خلال شبكة من المواسير أو من البلاستيك أو الخرسانة الأسمنتية مما يقلل من فقد المياه من جانب، ومن جانب آخر يوفر مساحة من الأرض يمكن زراعتها وهي المساحة التي تشغلها المجاري المائية الواسعة والممتدة والمفتوحة التي تمثل جزءًا كبيرًا من الأراضي يزيد أحيانًا عن 20٪ من مساحة الأراضي الزراعية.

وهناك في المجال الزراعي استهلاك آخر للمياه في مجال تربية الحيوانات والدواجن يمكن فيها توفير المياه من خلال الترشيد في استعمال المياه في غسيل حظائر الحيوانات ومزارع إنتاج الدواجن.

كما يمكن استعمال مياه الصرف الزراعي أو المياه المعالجة في ذلك أو حتى في سقى الحيوانات والدواجن وذلك عندما تتوفر في المياه شروط صلاحية الاستعمال في شرب الحيوانات والطيور، من حيث الطعم وتركيز الأملاح والمواد الضارة.

ب- ترشيد استهلاك المياه في المجال الصناعي:

هناك بعض الاستخدامات للمياه في المجال الصناعي يمكن فيها التوفير والترشيد في استعمال المياه العذبة مثل عمليات التبريد التي تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه، حيث يمكننا استعمال مياه مالحة ومياه ذات نوعية غير جيدة في عمليات التبريد، وأيضًا استعمال المياه المعالجة.

ويمكن تدوير استعمال المياه في التبريد بمعنى أن تُستعمل المياه في أكثر من دورة من دورات التبريد وهذا بالطبع يتطلب متابعة نوعية المياه بصفة مستمرة بحيث نضمن سلامة الأجهزة والمعدات، وغسيلها وإزالة الرواسب منها دوريًا.

وبالطبع فإن نوعية المياه المقبولة تتوقف على نوع الصناعة التي سوف تستخدم الماء، فالمياه المستخدمة في صناعة النسيج، الجلديات، الورق، الكيماويات والصناعات الغذائية يجب أن لا تكون فقط قليلة الملوحة ولكن أيضًا منخفضة في درجة العسر أو القساوة، بينما هناك صناعات أخرى مثل الصناعات الإلكترونية والبيولوجية تحتاج ماء عالي النقاوة يمكن توفيره بطرق خاصة مثل عملية تحليه المياه بالتبادل الأيوني. بينما نوعية المياه المستعملة لإنتاج القوة الكهربائية فهي أقل أهمية من حيث النوعية، وكذلك المياه المستعملة في عمليات التبريد.

وفي المجال الصناعي يمكن الترشيد في استخدام المياه العذبة، وذلك باستعمال المياه رديئة النوعية في غسيل الأرضيات ودورات المياه وغيرها من الاستعمالات التي لا تتطلب نوعية جيدة من المياه.

جـ- الترشيد في الاستهلاك البشري للمياه:

الاستهلاك البشري للمياه لا يشكل إلا نسبة بسيطة من الاستهلاك الإجمالي للمياه العذبة، فاستعمال المياه في الشرب والاغتسال وعمليات طبخ الطعام لا يمثل أي مشكلة في استهلاك المياه. المشكلة تكمن فقط في بعض العادات الاستهلاكية السيئة للمياه، والتي يجب تغيرها وحسن التعامل مع الماء العذب ومن ذلك مثلًا:

1- في كثير من مدن العالم وخاصة مع الأسف في المناطق الجافة وخاصة في بلاد الوطن العربي يتم رش الشوارع صيفًا بمياه عذبة بهدف تلطيف درجة الحرارة، وهذا يعتبر هدرًا للمياه العذبة دون أي عائد، حيث إذا كان ولابد فيمكن رش الشوارع بمياه غير جيدة مثل مياه البحر أو مياه الصرف الزراعي والصناعي وغيرها.

2- هناك إفراط في استهلاك المياه في ري أشجار الشوارع والحدائق حول المنازل، وهذا أيضًا مجال يمكن الترشيد فيه ويمكن أيضًا هنا استعمال مياه ذات نوعية غير جيدة.

3- هناك إسراف في المياه العذبة في غسيل السيارات والمركبات المختلفة، سواء كانت خاصة أو عامة، في البيوت ومحطات التشحيم وغيرها. وهنا أيضًا يجب الترشيد في استعمال المياه العذبة، مع استعمال مياه غير عذبة في هذا الغرض، أو إجراء التنظيف بأي وسيلة أخرى مثل شفط الهواء والمكانس وغيرها.

4- يجب الاهتمام بصيانة شبكات مياه الشرب في الشوارع وداخل المنازل بحيث لا نترك قطرة ماء واحدة تضيع وتفقد دون أي داعي، فهذا سوف يوفر المياه، وأيضًا يصون ويحافظ على المباني ويطيل من عمرها.

وخلاصة القول في مجال ترشيد استهلاك المياه فإنه من سوء التصرف في بعض البلدان التي تعاني عجزًا في توفير المياه العذبة أن تسرف في استهلاك المياه، مع أنها يمكنها توفير قدرًا هائلًا من المياه إذا رشدت في استهلاك المياه في المجال الزراعي والصناعي والبشري. فبعض بلدان العالم لا يمر بها أنهار، أو أن حصتها من مياه الأنهار التي يمر فيها لا تكفيها، وبلدان أخرى مصدر المياه عندها هي أساسًا المياه الجوفية التي مخزونها يكفي فقط عددًا قليلًا من السنوات ثم لن تجد نقطة مياه واحدة، خاصة إذا كانت الأمطار فيها نادرة أو شحيحة، أليس من الحكمة في هذه الحالة الترشيد في استعمال واستهلاك المياه، أمن العقل أن نسرف في استهلاك المياه حتى تنتهي كميات المياه العذبة المتاحة ثم نبحث بعد ذلك عن العلاج بعد حدوث المشكلة، وكما يُقال في المجال الطبي «الوقاية خير من العلاج»، نقول هنا أن الترشيد في استهلاك المياه العذبة المتاحة أولى وأقل تكلفة من زيادة كميات المياه العذبة المتاحة أو البحث عن مصدر إضافي للماء المتاح.

ومن النقاط الهامة في مجال توفير المياه العذبة هو حماية المياه من التلوث، وهذا موضوع الفصل القادم.

4-4: حماية الماء من التلوث

4-4-1: النهي عن تلويث الماء والتربة في القرآن والسنة:

الماء خلقه الله تعالى نقيًا عذبًا فراتًا فهو صالح لاستعمال الإنسان، وحتى ماء البحر المالح فهو بيئة مناسبة لحياة كثير من الأحياء وهو صالح لكثير من استعمالات الإنسان فهو نقي وطهور وصالح للضوء والاغتسال وغير ذلك. فمن المعروف أن ماء المطر يكون نقيًا عند بدأ تكوينه، قال تعالى:

﴿ وَهُوَ ٱلَّذِىٓ أَرۡسَلَ ٱلرِّيَٰحَ بُشۡرَۢا بَيۡنَ يَدَىۡ رَحۡمَتِهِۦۚ وَأَنزَلۡنَا مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً طَهُورًا ﴾.

(الفرقان: 48)

وماء البحر صالح لحياة كثير من الأحياء التي تعيش فيه ويعتمد عليها الإنسان في غذائه، حيث يقول الحق عَزَّ وَجَلَّ:

﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى سَخَّرَ ٱلۡبَحۡرَ لِتَأۡكُلُواْ مِنۡهُ لَحۡمًا طَرِيًّا ﴾ (النحل: 14)، ويقول أيضًا: ﴿ أُحِلَّ لَكُمۡ صَيۡدُ ٱلۡبَحۡرِ وَطَعَامُهُۥ مَتَٰعًا لَّكُمۡ وَلِلسَّيَّارَةِ ﴾ (المائدة: 96).

ويعطي الدين الإسلامي الحنيف اهتمامًا كبيرًا للحفاظ على الماء وحمايته من التلوث، بل يحذر من الإفساد في الأرض ومن تلويث الماء أو أي مورد طبيعي أوجده الله لمخلوقاته وأكرمها الإنسان. وهناك كثير من النصوص القرآنية التي تحث على حماية الماء والتربة من التلوث، ومنها قول الله تعالى:

﴿ كُلُواْ وَٱشۡرَبُواْ مِن رِّزۡقِ ٱللَّهِ وَلَا تَعۡثَوۡاْ فِى ٱلۡأَرۡضِ مُفۡسِدِينَ ﴾ (البقرة: 60).

وكم هي رائعة تلك المقارنة التي يعقدها القرآن الكريم بين الأرض الكريمة التربة التي يخرج نباتها بإذن ربها، غير ضار ولا مؤذٍ، وبين الأرض التي خبثت فلا يخرج نباتها إلا قليلًا وهذا القليل مُلوث فاسدً.

قَالَ تَعَالَىٰ: ﴿وَٱلْبَلَدُ ٱلطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُۥ بِإِذْنِ رَبِّهِۦ ۖ وَٱلَّذِى خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا ۚ كَذَٰلِكَ نُصَرِّفُ ٱلْءَايَٰتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ﴾ (الأعراف: 58).

وقد جاءت هذه الآية الكريمة في سياق الدعوة لعدم الإفساد في الأرض وتوضيح رحمة الله في إرسال الرياح التي تساعد في تكوين السحاب وتسقط منه الماء ليحي الله به الأرض بعد موتها، ففي الآية (56) يقول الحق ﴿وَلَا تُفْسِدُوا۟ فِى ٱلْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَٰحِهَا﴾، وفي الآية (57) يوضح لنا الخالق – سبحانه وتعالى – قصة سقوط المطر، حيث يقول:

﴿وَهُوَ ٱلَّذِى يُرْسِلُ ٱلرِّيَٰحَ بُشْرًۢا بَيْنَ يَدَىْ رَحْمَتِهِۦ ۖ حَتَّىٰٓ إِذَآ أَقَلَّتْ سَحَابًا ثِقَالًا سُقْنَٰهُ لِبَلَدٍ مَّيِّتٍ فَأَنزَلْنَا بِهِ ٱلْمَآءَ فَأَخْرَجْنَا بِهِۦ مِن كُلِّ ٱلثَّمَرَٰتِ ۚ كَذَٰلِكَ نُخْرِجُ ٱلْمَوْتَىٰ لَعَلَّكُمْ تَذَكَّرُونَ﴾ (الأعراف: 57).

والتلوث بكافة صورة يعد ضربًا من ضروب الفساد والإفساد، فهو يؤدي إلى إرهاق الأرواح، وذلك فمن الواجب علينا أن نحارب التلوث بمختلف صوره باستخدام شتى الطرق الممكنة، عملًا بقوله تعالى: ﴿مَن قَتَلَ نَفْسًۢا بِغَيْرِ نَفْسٍ أَوْ فَسَادٍ فِى ٱلْأَرْضِ فَكَأَنَّمَا قَتَلَ ٱلنَّاسَ جَمِيعًا وَمَنْ أَحْيَاهَا فَكَأَنَّمَآ أَحْيَا ٱلنَّاسَ جَمِيعًا﴾ (المائدة: 32).

وتؤيد الآية الكريمة أن من قتل نفسًا بسبب إفساد فكأنما قتل الناس جميعًا ونحن نعرف أن التلوث يتسبب في إهلاك الكثيرين وقتلهم دون جرم أو جناية.

وقد نهى سبحانه وتعالى عن الإفساد في الأرض، حيث قال: ﴿وَلَا تَعْثَوْا۟ فِى ٱلْأَرْضِ مُفْسِدِينَ﴾ (هود: 85).

وعندما تفسد في البر والبحر وتلوث التربة والماء فسوف يعود عاقبة هذا التلوث علينا، فالماء الذي أتسبب أنا في تلويثه سوف أشربه أو أحد أفراد أسرتي أو إخواني في

الدين والإنسانية، وسوف يروي بهذا الماء الملوث النباتات وسوف تسقي به الحيوانات، وسوف يظهر ضرر الإفساد على الإنسان عندما يتغذى على نبات ولحم حيوان به مواد ضارة ناتجة من التلوث، وهذا ما أوضحه الحق في قوله: ﴿ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُم بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ﴾ (الروم: 41).

وقد نهى الرسول الكريم ﷺ عن التسبب في وقوع الضرر وإلحاقه بالآخرين، فقال في الحديث الشريف: «**لا ضرر ولا ضرار**»، ورواه ابن ماجه والدار قطني ومالك في الموطأ.

ولا شك أن تلوث الماء والتربة ضرر يحيق بالبيئة الزراعية، وينتقل أثره إلى كل الكائنات الحية التي تعتمد على الماء في الشرب وتعتمد في غذائها على النباتات بما في ذلك الإنسان نفسه.

والماء الملوث ماء غير صالح للشرب، رغم وجوده ظاهرًا جاريًا أمامنا على سطح الأرض، وهناك كثير من الأنهار التي تلوثت تمامًا ولم يعد ماؤها صالحًا للاستعمال الآدمي. وهذا يذكر بقول الشاعر القديم:

كالعيس في البيداء يقتلها الظما والماء فوق ظهورها محمول

وهناك كثير من الأحاديث النبوية الشريفة التي تحث على حماية الماء من التلوث.

ويقول جابر بن عبد الله إنه سمع رسول الله ﷺ يقول: «**غطوا الإناء وأوكئوا السقاء فإن في السنة ليلة ينزل فيها وباء لا يمر بإناء ليس عليه غطاء أو سقاء ليس عليه وكاء إلا نزل فيه من ذلك الوباء**» (رواه مسلم).

ومعني «أوكئوا السقاء» أي أربطوا فوهات السقاء «ما يشرب منه» وذلك لحماية الماء من الملوثات التي تنتقل إليه من الهواء أو من الحشرات الناقلة للجراثيم والطفيليات كالصراصير والنمل والذباب والبعوض وغيرها.

عن جابر رضي الله عنه عـن النبـي ﷺ قـال: «**لا يبلـون أحـدكم في المـاء الراكد ثم يغتسل فيه**» رواه البخاري.

وذلك لأنه عندما يغتسل الإنسان في الماء الراكد الذي سبق التبـول فيـه فقـد يصاب ببعض الأمراض مثل الكوليرا والبلهارسيا وغيرها.

وكذا نهى الرسول ﷺ : «**أن يُبال في الماء الجـاري**» (رواه الطـبراني بإسـناد حسن).

وقال ﷺ أيضًا: «**اتقوا الملاعن الثلاث: الـبراز في المـاء، وفي الظـل، وفي طريق الناس**».

وما يهمنا في هذا المقام هو النهي عـن التـبرز في المـاء، الـذي جعلـه الرسـول ﷺ أحد الملاعن التي يجب علينا اتقاءها. حيـث تـصريف ميـاه المجـاري الصحية في المياه العذبة يؤدي إلى الروائح الكريهة ويتسبب في استهلاك الأكـسجين الذائب في المياه مما يـؤثر في حيـاه الأسـماك وبـاقي الأحيـاء المائيـة، وتـؤدي المـواد العضوية الموجـودة في مـاء المجـاري إلى تكـاثر ونمـو أنـواع عديـدة مـن البكتريـا والطفيليات والكائنات الأولية التي تلوث الماء.

ولما كان تلوث الماء يتسبب في إزهاق الأرواح فإن درء هذا التلـوث واجـب، وفقًا واستنادًا إلى القاعدة الفقهية التي تقول:

«ما أدى إلى الحرام فهـو حـرام». كـما أن منـع الـضرر قبـل حدوثـه أولى مـن معالجته بعد حدوثه حسب القاعدة الفقهية التـي تقـول: «درء المفاسـد مقـدم عـلى جلب المصالح».

4-4-2: مصادر تلوث الماء

يقصد بتلوث الماء كل ما يفسد خصائصه أو يغير من طبيعته، وتلوث الماء من أهم اهتمامات العلماء والمتخصصين في مجال حماية البيئة، ويعرف تلوث الماء بأنه: «إحداث تلف أو أفساد لنوعية المياه، مما يؤدي إلى حدوث خلل في نظامها الايكولوجي (أي البيئي) بصورة أو أخرى، مما يقلل من قدرتها على أداء دورها الطبيعي بل تصبح ضارة مؤذية عند استعمالها أو تفقد الكثير من قيمتها الاقتصادية، وبصفة خاصة مواردها من الأسماك والأحياء المائية».

وبعبارة أخرى، فإن المقصود بتلوث، هو: «تدنيس مجاري الماء من أنهار وبحار ومحيطات، إضافة إلى مياه الأمطار والمياه الجوفية، مما يجعل هذه المياه غير صالحة للإنسان أو الحيوان أو النبات أو الأحياء التي تعيش في المسطحات المائية»

وكما أوضحنا من قبل عند الحديث عن دورة الماء في الطبيعة أي: الدورة المائية الأرضي، فإن هناك دورة واتصالًا بين الماء الموجود على سطح الكرة الأرضية، أو في باطن الأرض أو في الغلاف الجوي. ولذلك فإن تلوث الماء في أي مكان في الأرض سوف يصل إلى كل المياه الموجودة في النظام البيئي المحيط بمكان التلوث، فتلوث المياه السطحية سوف يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية، وتلوث مياه الأمطار سوف يتسبب في تلوث المياه السطحية والجوفية، وهكذا.

وعندما ندقق النظر والبحث في تلوث الماء أو أي مورد طبيعي آخر نجد أن الإنسان هو المسئول الأول عن هذا التلوث، وكلما زاد عدد السكان وتزايدت أنشطة الإنسان تفاقمت مخاطر التلوث.

فأي نظام بيئي معزول عن تدخل الإنسان هو عادة نظام نقي غير ملوث، وكلما توسع الإنسان في نشاطه وخاصة الأنشطة الصناعية والتكنولوجية ازدادت مخاطر

التلوث. ولأن الماء كما أوضحنا من قبل هو المادة الأكثر تواجدًا في الكرة الأرضية، وهو مادة نشطة جدًا وتدخل في كل التفاعلات في التربة وفي أجسام جميع الأحياء من حيوان ونبات وإنسان، فإن تلوث الماء سوف يتسبب في تلوث كل شيء تقريبًا على كوكب الأرض وذلك ينتج من الفعل الكيميائي للماء.

ولقد تسبب زيادة النشاط الصناعي والإفراط في حرق مختلف أنواع الوقود من فحم وبترول في تلوث مياه الأمطار، فمياه الأمطار لم تعد نقية تمامًا في أغلب الأحوال. حيث تذيب مياه الأمطار أثناء سقوطها بعض الغازات أو الشوائب الموجودة في هواء الغلاف الجوي، فهي تذيب بعض الأكسجين والنتروجين وثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النتروجين والكبريت، وهذه الغازات الذائبة في مياه الأمطار هي غازات حمضية وينتج من تفاعلها مع مياه الأمطار تكون أحماض الكربونيك والنتريك والكبرتيك، ولذلك تعرف الأمطار المحملة بهذه الأكاسيد والأحماض باسم «الأمطار الحمضية». وهذه الأمطار تسبب كثيرًا من الأضرار لتربة الأرض والبيئة بأكملها.

وقد بينت الدراسات الحديثة أن نسبة الأمطار الحمضية قد زادت كثيرًا في المئة عام الأخيرة، وأن السبب الحقيقي وراء هذه الأمطار هو الإفراط في حرق مختلف أنواع الوقود مثل الفحم والبترول في محطات القوى وفي المراكز الصناعية وفي وسائل المواصلات الحديثة، وينتج عن إحراق هذه الكميات من الوقود تكون كميات ضخمة جدًا تصل إلى ملايين الأطنان من الغازات الحمضية الضارة مثل ثاني أكسيد الكبريت وكبرتيد الهيدروجين وبعض أكاسيد النتروجين بالإضافة إلى بعض آثار من الفلزات الثقيلة السامة مثل الكادميوم والزئبق والرصاص التي تتطاير مع الرماد الذي تحمله غازات الاحتراق. وتتفاعل هذه الغازات مع بخار الماء الموجود في هواء الغلاف الجوي وفي وجود الأكسجين وتحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية لتعطي أحماضًا، فيتحول غاز

ثاني أكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين إلى حمض الكبريتيك وتتحول أكاسيد النتروجين إلى حمض النتريك.

وهناك عدة صور لتلوث الماء، منها:

1- زيادة نسبة المواد الكيميائية في المياه، مما يجعلها سامة للأحياء.

2- ازدهار ونمو البكتريا والطفيليات والأحياء الدقيقة في المياه، مما يقلل من قيمتها كمصدر للشرب أو ري المحاصيل الزراعية (في حالة المياه العذبة)، أو السباحة والترفيه.

3- استنزاف كميات كبيرة من الأكسجين الذائب في مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار، مما يؤدي إلى تناقص أعداد الأسماك والأحياء المائية.

4- قلة الضوء الذي يعد ضروريًا لنمو الأحياء النباتية المائية (كالطحالب والعوالق planktons).

5- تغير رائحة وطعم ولون المياه.

وبالنسبة لمصادر تلوث المياه نجد أن الماء يتلوث عن طريق المخلفات الإنسانية أو الحيوانية أو النباتية أو المخلفات المعدنية والصناعية والكيميائية التي تلقي أو تصب في المسطحات المائية السطحية، كما أن المياه الجوفية فيه تتلوث نتيجة لتسرب مياه المجاري الصحية والصناعية بما تحتويه من بكتريا ومركبات كيميائية وغير ذلك، كما نوضح فيما يلي .

وتقسم بعض المراجع تلوث الماء إلى أربعة أنواع رئيسية هي:

1- **التلوث الطبيعي**: والمقصود به التلوث الذي يغير خصائص الماء الطبيعية مثل تغير الرائحة والطعم واللون، مما يجعل الماء غير مستساغ للاستعمال الآدمي.

2- **التلوث الكيميائي**: والمقصود به التلوث الذي يجعل الماء له تأثير سام بسبب وجود مركبات كيميائية ضارة فيه، مثل المبيدات الحشرية ومركبات الزرنيخ أو الكادميوم أو الزئبق أو الرصاص، وهذا التلوث الكيميائي سوف يضر بالإنسان ومختلف الأحياء المائية الحيوانية والنباتية، ومما يزيد من مشاكل التلوث الكيميائي الزيادة الهائلة في المنتجات الكيماوية الضارة وعدم الكشف عنها أحيانًا بسبب الأسرار الصناعية والسياسية لكثير من هذه المنتجات، والمواد الكيميائية يمكن تقسيمها من حيث قابليتها للذوبان في الماء إلى:

- مواد قابلة للذوبان والانحلال.

- مواد قابلة للتراكم والتجمع في الكائنات الحية التي تعيش في وعلى الماء، وهذه أشد خطرًا ومنها المعادن الثقيلة والمبيدات ومنتجات البترول والمواد العضوية المركبة مثل اللدائن (مثل البلاستيك).

3- **التلوث البيولوجي**: ويقصد به تواجد ميكروبات مسببة للأمراض بالمياه، أو طفيليات مثل البلهارسيا وديدان الإسكارس والانكلستوما وغيرها، أو وجود أحياء نباتية تتسبب في تغير نوعية المياه.

4- **التلوث الحراري**: وهذا ناتج من صرف المياه الساخنة الناتجة من عمليات التبريد في المنشآت الصناعية. وهذا يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة المياه التي تلقى فيها هذه المياه الساخنة، مما يتسبب في تعرض الأحياء المائية للخطر والضرر، وهذا يتسبب في حدوث خلل في النظام الحيوي للمياه. حيث يزداد نمو الطحالب غير المرغوب فيها ويتسبب ذلك في تغير رائحة المياه وتراكم السموم وفي أكسدة الملوثات المعدنية، وفي فقس بيض الأسماك قبل موسم توافر الغذاء لها.

أهم ملوثات الماء:

1 – **المخلفات الصناعية**: وتشمل كافة المواد الناتجة كمخلفات للصناعات المختلفة (الكيميائية – التعدينية – التحويلية – الزراعية – الغذائية) التي يتم تصريفها إلى المسطحات المائية السطحية، مما يؤدي على تلوث الماء بالأحماض والقلويات والأصباغ والمركبات الهيدروكربونية والأملاح السامة والدهون والأحياء الدقيقة.....ألخ

2 – **مياه المجاري**: حيث يتم في كثير من الدول تصريف مياه المجاري الصحية في المسطحات المائية، وهذه المياه تكون ملوثه بالمواد العضوية والكيميائية وأيضًا بالمعادن الثقيلة السامة والميكروبات الضارة.

وتتسبب المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري في حدوث ظاهرة الإثراء الغذائي (entrophication)، حيث يؤدي ارتفاع نسبة المواد العضوية في الماء إلى زيادة عمليات الأيض (metabolism) التي تقوم بها الطحالب مما يؤدي إلى تكاثر الطحالب بشكل ملحوظ وتبعًا لذلك تنشيط البكتريا التي تقوم بالتحلل البيولوجي للطحالب، وهذا يؤدي إلى تقليل نسبة الأوكسجين المذاب في الماء، ويترتب على ذلك قتل جماعي للأسماك والأحياء المائية الأخرى، وتصبح المياه عفنة عديمة الصلاحية ولها رائحة كريهة وتزداد بها المواد السامة.

وبواسطة مياه المجاري تنتقل كثير من الأمراض الخطرة إلى المسطحات المائية، حيث تحتوي مياه المجاري على مسببات الأمراض للإنسان مثل البكتريا والفيروسات والبروتوزوا والطفيليات القولونية.

وتنتقل هذه الأحياء الدقيقة المسببة للأمراض إلى الإنسان عند شرب هذا الماء الملوث أو الاغتسال به أو فيه أو عند تناول الإنسان الكائنات المائية المصابة بهذه الأحياء الممرضة. ومن الأمثلة على الأمراض التي تصيب الإنسان من جراء تلوث المسطحات

المائية بمياه المجاري: أمـراض حمـى التيفويـد والنـزولات المعويـة التـي تـسببها بكتريـا السالمونيلا (salmonella) أمراض الإسهال التي تسببها بكتريا الشيجلا (shigella) كما تتسبب بكتيريا الاسشريشيا كولاي (Escherichia coli) أمـراض الجفـاف والإسـهال والقيء عند الأطفال بصفة خاصة، كما تسبب بكتريا الفيبريو (vibrio) مرض الكوليرا.

3 – **النفط**: قد يتسرب النفط إلى المسطحات المائية إما بطريقة غير متعمدة في حالـة انفجار آبار النفط البحرية، أو بطريقة متعمدة كما حدث في حرب الخلـيج أو في الحـرب العراقية الإيرانية. ويؤدي تلوث المياه بالنفط إلى موت طيور البحر والأسـماك والأحيـاء المائية.

4 – **المبيدات**: تصل المبيدات الحشرية والفطرية ومبيدات الحشائش التي ترش على المحاصيل الزراعية مع مياه الصرف الزراعي إلى المسطحات المائيـة، ممـا يتـسبب في قتـل الأسماك والأحياء المائية الأخرى، وأيضًا يؤدي ذلك إلى نفـوق المـواشي والأنعـام التـي تشرب من المياه الملوثة بهذه المبيدات.

5 – **المفـاعلات النوويـة**: تتـسبب المفـاعلات النوويـة في التلـوث الحـراري لميـاه المسطحات المائية وذلك عندما يتم تصريف المياه المستعملة في تبريـد هـذه المفـاعلات في المسطحات المائية، مع احتمال حدوث تلوث إشـعاعي للميـاه، وهـذا يـؤدي إلى إلحـاق الضرر بالأحياء المائية وبالإنسان عندما يتغذى على هذه الأحياء.

6 – **البلاستيك**: يؤدي إلقـاء المـواد البلاسـتيكية في المـسطحات المائيـة إلى إلحـاق الضرر بل وإلى قتل الأسماك والطيـور والثـدييات البحريـة. والأمـر المـزعج في مـشكلة التلوث المائي بالبلاستيك هو أن هذه المواد لا تتحلل في الماء وتظل بـشكل عـام مـصدر خطر على الأحياء المائية. فعندما تلتهم صـغار الـسلاحف البحريـة أكيـاس البلاسـتيك العائمة ظنًا منها أنها قناديل البحر، فسوف تموت نتيجة انـسداد أمعائهـا بهـذه الأكيـاس

التي لا تُهضم. وعندما تلتقط الطيور البحرية حبيبات اللدائن، التي تُستعمل كمادة أولية في صناعة منتجات البلاستيك، ظنًا منها أنها بيض سمك طافيًا، فإن هذه الحبيبات سوف تتجمع في أمعائها وتؤدي إلى الموت البطيء للطيور البحرية.

7 - **المعادن الثقيلة**: تتعرض المسطحات المائية للتلوث بالرصاص والزئبق والكادميوم وغيرها عندما تصل المخلفات المحتوية على المعادن الثقيلة والعناصر النادرة السامة إلى المسطحات المائية بأية طريقة، فقد يصل الرصاص إلى المياه نتيجة لغرق السفن التي تحمل منتجات يدخل الرصاص في تكوينها أو عندما تلقي بعض المصانع والمعامل الكيميائية نفاياتها في المياه البحرية. وبذلك يتركز الرصاص في أنسجة الأسماك والأحياء المائية ومنها ينتقل إلى الإنسان مؤديًا بذلك إلى حوادث وأضرار التسمم بالرصاص التي تسبب الموت البطيء وهلاك خلايا المخ.

والزئبق في حالته العنصرية غير قابل للذوبان في الماء، ولكنه في حالته المتأينه يدخل في تركيب المركبات السائلة التي تصرف ضمن مياه الصرف الناتجة عن المصانع والمحطات تقطير المياه وأيضًا من مياه الصرف الزراعي، وعندما تصل هذه المياه الملوثة بالزئبق إلى البيئة البحرية والنهرية، فأنها سوف تتسبب في تركيز الزئبق في لحوم الأسماك والأحياء المائية الأخرى ثم يصل إلى الإنسان من خلال الغذاء ويهاجم خلايا المخ والجسم ويقتلها، ولا يوجد علاج حقيقي لعلاج التسمم بالزئبق.

ويستخدم الكادميوم في كثير من الصناعات الكيميائية والتحويلية، وحينما يتم تصريف النفايات المحتوية على الكادميوم في المسطحات المائية فأنه ينتقل من الأحياء المائية إلى الإنسان عن طريق الغذاء على هذه الأحياء، ويتسبب في أحداث تغير في تركيب الدم ويؤدي أيضًا إلى قصر طول عظام الإنسان وتقليل حجمه.

وقد تحدثت في كتابي عـن صرف الأراضي الزراعيـة بإيجـاز عـن موضـوع طبيعـة ومصادر الملوثات التي تصل لمياه الصرف، وأوردت تقسيم مخرجات نظم الصرف التـي تـؤثر عـلى نوعيـة الميـاه (Osborne and payne'1992)، حيـث أتـضح أن ميكانيكيـة التلوث وتغير نوعية المياه تشمل:

1- مخلفات تحتوي على مواد متطلبة للأكـسجين (oxygen-demanding) سـواء كانت مواد عضوية أو غير عضوية وهذه سوف تقلل مـن تركيـز الأكـسجين المـذاب في الماء.

2- تصريفات أو مخلفات تحتوي على مواد تمنـع إعـادة تجديـد الأكـسجين طبيعيًـا لسطح الماء، مثل الزيوت.

3- تـصريفات تحتـوي عـلى مـواد سـامة، مثـل الأمونيـا والمبيـدات والمخلفـات الصناعية وهذه تسبب ضررًا للأحياء المائية وللإنسان.

4- التصريفات أو المخرجات التي تحتوي على تركيزات عالية من المـواد الـصلبة المعلقة، التي تعطل النشاط الحيوي بحجب الضوء عن الماء أو بتكـوين غطـاء عـلى قـاع المسطح المائي.

مصادر تلوث الماء الجوفي:

يحدث تلوث للماء الجوفي نتيجة تسرب بعض المواد غير المرغوب فيها، وينتشر هذا التلوث بعيدًا عن موقع التلوث، وتلوث الماء الجوفي لن يقتصر على الماء الجوفي وحده بل سوف يتعداه إلى المياه السطحية لأن الماء الجوفي يصيب في النهاية في البحـار والبحـيرات والأنهار.

وتقسم المراجع ملوثات الماء الجوفي إلى:

1 – **مصادر مباشرة:** وهذه تشمل تسرب الملوثات من نظام تجميع المخلفات – تسرب البترول من أنابيب البترول وخزانات تخزين البترول – تسرب المواد الكيميائية من المنشئات الصناعية ومن أماكن التخلص من النفايات الصناعية – التسرب من مخلفات الصرف الصحي – التسرب من المدافن – التسرب من مخلفات الحيوانات وأماكن تخزين الحمأة – التسرب من الجريان السطحي للكيماويات ومن حوادث المركبات المحملة بالكيماويات والمنتجات البترولية.

2 – **مصادر غير مباشرة:** وتشمل تسرب المبيدات والأسمدة المستخدمة في الزراعة ووصول هذه المواد إلى ماء الصرف الزراعي ومنه إلى الماء الجوفي – تسرب المبيدات المضافة إلى الحدائق والغابات – تسرب الملوثات الموجودة في الأمطار والهواء الجوي.

ويمكن تقسيم مصادر تلوث المياه الجوفية إلى:

1 – مصادر تلوث زراعية. 2 – مصادر تلوث سكنية.

3 – مصادر التلوث الصناعية. 4 – مصادر التلوث الطبيعية.

وبالنسبة لمصادر التلوث الطبيعية، فإن الماء الجوفي يحتوي على بعض الشوائب الطبيعية التي تنتقل من المواد الجيولوجية التي يمر خلالها الماء. وهذه تشمل الأملاح الذائبة والمركبات والعناصر المختلفة الموجودة في تركيب القشرة الأرضية.

ولذلك فعند استخدام المياه الجوفية كمصدر لمياه الشرب فإنه يجب التأكد من أن هذه المياه تطابق المقاييس والمعايير الخاصة بمياه الشرب.

4-4-3: المحافظة على الماء من التلوث

من مطالعتنا لهذا الكتاب علمنا أن الماء ضرورة ملحة لكل كائن حي على وجه الكرة الأرضية، فهو مكون أساسي لجسمه، وهو ضروري لاستمرار حياته، ومن الواجب علينا العناية بالماء وحفظه من كل ملوثات الحياة. وأفضل الوسائل للمحافظة على الماء هو منع الملوثات من الوصول إليه، وأغلب هذه الملوثات كما رأينا ناتجة من أنشطة الإنسان الزراعية والصناعية والحياتية، فالمحافظة على الماء من التلوث هي الوسيلة المثلى لحماية الماء، حيث إن معالجة الماء من التلوث تكون صعبة ومكلفة بل ومستحيلة في بعض الأحيان.

وهناك وسائل عديدة لمكافحة تلوث المياه، منها:

1- تجنب إلقاء الملوثات فيه، وهذه هي الطريقة المثلى.

2- معالجة مياه المجاري (الصحية والصناعية) قبل تصريفها إلى المسطحات المائية، وهذا ما تناولنه بالشرح من قبل.

3- معالجة وتنقية وتطهير مياه الشرب، بطرق المعالجة التي أشرنا إليها من قبل، وبالترويق والتهوية وإزالة العسرة وباستعمال الأوزون والكلور أو الأشعة فوق البنفسجية.

4- التخلص من الطحالب والنباتات المائية الملوثة لمياه الأنهار وذلك باستعمال الوسائل الميكانيكية.

5- معالجة مخلفات المصانع قبل تسريبها أو تصريفها في المسطحات المائية.

6- تقليل جريان المياه والملوثة بالجريان السطحي باستعمال وسائل مناسبة لتخزين وترسيب الماء الملوث.

7- استعمال نظام البرمجة (modeling) بالاستعانة بالحسوب الآلي (الكمبيوتر)، للتعرف على التغيير في نوعية المياه السطحية والجوفية.

وينصح بالتخلص من النفايات التي تلوث التربة والمياه السطحية بتحويل هذه المواد إلى وقود وأسمدة وغيرها، مع الاعتماد على الوسائل الطبيعية والحيوية في تنقية المياه من الملوثات مثل استعمال البكتريا والأحياء الدقيقة، أفضل من استعمال المواد الكيميائية التي أضرارها تفوق منافعها أحيانًا.

والعلاج الأمثل لحل مشكلة تلوث المياه لا يتأتي من تطبيق سياسات إقليمية، وإنما يتطلب الأمر تطبيق خطط عالمية شاملة لحماية الماء من التلوث. وتلوث الماء يعني تلوث البيئة من تربة ونبات وحيوان، وهذا سوف يعود ضرورة في النهاية على الإنسان فيجب التعاون بين الأفراد والدول لتقليل تلوث الماء بكل الطرق الممكنة.

وأعود مرة أخرى للتأكيد على أن الإنسان هو المتسبب الرئيسي في إفساد الماء وتلويثه، فلقد خلق الله – سبحانه وتعالى – الأرض وما عليها من ماء وتربة وإنسان وحيوان ونبات في حالة اتزان كامل للمنظومة البيئية التي تحكم الحياة المتعددة على كوكب الأرض الذي نعيش عليه.

ولكن تدخل الإنسان غير المدروس وجهله بنواميس الكون أفسد البيئة الطبيعية التي خلقها الله بحكمه وباقتدار، وأصبح الاستخدام الجائر للماء من ناحية، وتلويثه من ناحية أخرى يشكل خطرًا على الماء وبالتالي على كل صور ومظاهر وأشكال الحياة على الأرض. ولذلك كان لزامًا علينا أن نهتم بإدارة الماء ونخطط بدقة لحمايته والمحافظة عليه، ويعتبر دور الإنسان في التقليل من تلوث الماء الناجم عن أنشطته المختلفة من أهم الوسائل للحفاظ على الماء كمورد طبيعي ضروري لاستمرار الحياة، مع استخدام كافة الوسائل التكنولوجية الحديثة لمعالجة الماء من التلوث والحفاظ عليه كمورد متجدد للأجيال الحالية والقادمة.

وقد تناولنا من قبل مناقشة موضوع معالجة ماء الصرف الصحي والصناعي والزراعي، ولكن منع الماء من التلوث سوف يكون له الأثر الأوضح على بقاء الماء بصورة نقية وصالحة لاستعمال الإنسان وأيضًا لاستهلاك جميع المخلوقات على وجه البسيطة، أي: أنه للحفاظ على ماء غير ملوث وبالتالي على بيئة نظيفة فإنه يجب حسن إدارة المخلفات السائلة الناتجة من العمليات الصناعية أو الاستخدامات المنزلية للإنسان، وذلك بالتخلص منها بطريقة فعالة وآمنة أو معالجتها من التلوث قبل صرفها في المسطحات المائية.

وتشمل طرق إدارة المخلفات السائلة (والصلبة)على:

1- تقليل المخلفات من المنبع (reduce).

2- إعادة استخدام المخلفات (reuse) مرة أخرى.

3- إعادة تدوير المخلفات (recycle) وذلك باستخدام المخلفات لإنتاج منتجات أخرى.

4- معالجة الماء من التلوث بالوسائل الطبيعية والكيميائية والحيوية، وبعدها يمكن استعماله عندما يطابق مقاييس ومعايير الصلاحية للاستعمالات المختلفة.

وفي مجال تقليل تلوث الماء وتدوير المخلفات السائلة فإن الأجهزة الحكومية لها دور كبير وهام من خلال وزارات الإعلام والثقافة والتعليم. حيث يجب توعية المواطنين بهدف تغيير سلوكياتهم نحو الاتجاه الإيجابي للحفاظ على الماء والبيئة من التلوث، وسوف يكون لكل من الإذاعة والتليفزيون والصحف والمجلات والمدارس والجامعات دور واضح في هذا المجال، وقد قامت دول عديدة بإصدار قوانين وتشريعات صارمة تحرم وتجرم تلوث الماء، وعدم المحافظة على البيئة. وفي كثير من الدول، ومنها مصر توجد وزارة للبيئة، تساهم بصورة واضحة في الحفاظ على البيئة من التلوث.

وأقترح لحماية الماء من التلوث أن تقوم وزارة البيئة بإصدار النشرات اللازمة لتوعية المواطنين بأفضل الأساليب لحماية البيئة ومنع الماء من التلوث، وأن يكون هناك تعاون وتنسيق بين وزارة البيئة والوزارات الأخرى مثل الزراعة والصناعة والإعلام والصحة والداخلية في هذا المجال بهدف تذليل العقبات التي تعترض تدوير المخلفات الصلبة والسائلة. ويجب التزام أصحاب المصانع بتوفير الوسائل الحديثة لتنقية المخلفات السائلة الناتجة من مصانعهم وتشديد العقوبة على من يلوث المسطحات المائية، بحيث لا يتم إلقاء مخلفات المصانع في المسطحات إلا بعد تنقيتها ومعالجتها من التلوث.

وقد سبق أن أوضحنا أنه يمكن إعادة استخدام المخلفات السائلة، لأن هذا يخدم هدفين رئيسيين هما:

1 – الاستفادة من هذه المخلفات السائلة باعتبارها موردًا هامًا يمكن استغلاله لسد حاجة البشرية من الغذاء والطاقة وغير ذلك.

فمن الممكن استعمال المخلفات السائلة مثل ماء الصرف الصحي والصناعي في زراعة بعض النباتات مثل محاصيل العلف للماشية أو زراعة الغابات وأشجار الأخشاب وغيرها.

2 – منع تراكم هذه المخلفات السائلة دون استخدام حتى لا تلوث البيئة وتلحق الضرر بالإنسان وممتلكاته وأيضًا بباقي الأحياء.

وكما أوضحت في كتابي «صرف الأراضي الزراعية» فإنه يمكن التحكم في تلوث المجاري المائية السطحية مثل الأنهار من خلال أنظمة الصرف. وحيث إن تلوث المسطحات المائية هو أساسًا من التصرف من أنظمة الصرف، أو من الجريان السطحي ومن مخلفات البشر سواء كانت غائط أو مياه صرف صحي وصناعي، فإنه يمكن تقليل التلوث بواسطة التحكم في مصادر التلوث بحيث لا تدخل في النظام أو بالتحكم في

أنظمة الصرف وإدارتها بحيث تقليل من كمية مياه الصرف، أو يتم معالجة المياه عند خروجها من المخرج الرئيسي لأنظمة الصرف.

وهناك اتجاه حديث في بعض بلاد العالم المتقدم باستخدام نظام صرف يضمن فصل المخلفات المنزلية (مياه الصرف الصحي والصناعي) عن المياه الناتجة من الجريان السطحي (مياه الأمطار في شوارع المدن).

وهناك محاولات عديدة لزيادة الوعي بين الناس بالمحافظة على المياه من التلوث بحيث لا تلقي المخلفات السائلة المنزلية والصناعية والزراعية في المياه العذبة إلا بعد معاملتها ومعالجتها.

ويمكن التحكم في نوعية مياه الصرف وبالتالي تقليل التلوث الناتج عن أنظمة الصرف بعده وسائل هي:

1- التحكم في مصدر التلوث وذلك بتقليل كمية المياه الخارجة من نظام الصرف باستعمال وسائل التخزين أو أماكن الترسيب، ولكن يجب الحزر بحيث لاتصل الملوثات من مكان التخزين إلى المياه الجوفية، ويتم التخزين في مناطق تربتها قليلة النفاذية أو تُستعمل وسائل إنشائية أو معاملات كيماوية خاصة لتقليل نفاذية التربة في مكان التخزين.

والمخلفات الصناعية يجب قبل ألقائها في مجاري الصرف معاملاتها بطرق خاصة تزيل منها المواد الملوثة وذلك باستعمال المرشحات والمعاملات الكيماوية.

2- استعمال نظام منفصل لكل من ماء الجريان السطحي وماء المخلفات المنزلية بمعنى أن لا يختلط النظامين بل يصرف ويعامل كل منهما على حدة.

3- التغلب على فائض الجريان السطحي للمياه بمحاولة تقليل حجمه أو تقليل الملوثات فيه ويتم ذلك بعمل تصميمات بنائية خاصة تسمح بتدفق الجزء الرائق الأقل تلوثًا وترسب الجزء الباقي الأكثر تلوثًا.

4- استعمال الوسائل غير البنائية للتخلص من الرواسب من المخلفات المائية، فالرواسب الصلبة يمكن إزالتها من مكان تخزين الملوثات السائلة بواسطة استعمال الضغط المرتفع لتيار ماء مع التقليب عند قاع الخزان. والرواسب العضوية غير المتصلبة يمكن أن تترسب فقط في فترة الجفاف ويمكن جمعها عند بداية السريان بالقشط أو الشفط. ويمكن الاستعانة أحيانًا بالوسائل الكيميائية بإضافة مواد تعمل على تكوين معقدات أو تعمل على تجميع المواد الملوثة كيماويًا مثل إضافة كبريتات الألومنيوم التي تشجع على ترسيب الملوثات من النظام.

ويجب الإشارة في هذا المجال إلى أن نظام الصرف الجيد سواء زراعي أم صناعي سوف يقلل من كمية الملوثات التي تصل إلى المجاري المائية السطحية بواسطة الجريان السطحي. والجزء من الملوثات التي يدخل قطاع التربة من الممكن أن يحدث له تحلل بالأحياء الدقيقة أو يتجمع فوق طبقات صماء وبذلك لا يصل إلى المياه السطحية، فالأرض يمكن أن تكون مخزنًا طبيعيًا لكل الملوثات.

وفي بعض المناطق يتم التحكم في مستوى الماء الأرضي بواسطة أنظمة الصرف بحيث نقلل من فقد المياه بواسطة المصارف، وبتقليل كمية المياه المنصرفة من المصارف سوف نقلل من الملوثات.

وخلاصة القول أن المحافظة على الماء من التلوث يعني المحافظة على استمرار الحياة على سطح الأرض، حيث جعل الخالق العظيم من الماء كل شيء.

الخاتمة

تناولت في كتابي هذا الحديث عن الماء كآية من آيات الخالق العظيم سبحانه وتعالى وكان الحديث يتناول الرؤية العلمية للماء وأيضًا الرؤية الإسلامية، فقد ناقشت خصائص وأهمية الماء من خلال ما تم التعرف عليه علميًا حتى الآن، وأيضًا من خلال البحث في القرآن الكريم والسنة المطهرة أحيانًا للتعرف على مواضع الحديث عن الماء لبيان أسراره كما وردت في القرآن. وقد كان هدفي أن أتعرف وأن يتعرف القارئ الكريم على عظمة الخالق ويتدبر آياته من خلال نعمة كبيرة هي الماء. فإذا ما تعرفنا على الماء فسوف يزداد تعلقنا بالله خالق الماء ومنزل القرآن، وتزداد أيضًا رغبتنا في حماية الماء والمحافظة عليه، على اعتبار أنه سر وسبب الحياة في الكون. فلقد تجلت عظمة الخالق وبديع صنعه في الماء لمن كان له قلب وعين مبصرة أما من صم أذنيه عن سماع الحق ولم يشغل نفسه في البحث في آيات الخالق في الكون لكي يعلم أن هناك خالقًا يدبر الأمر كله فهذا إنسان ميت أو جماد ولا يحس، وهذا ما يذكرني بقول الشاعر:

لقد أسمعت إذا ناديت حيًا ولكن لا حياة لمن تنادي

فالذي لا يرى ولا يدرك آيات الله الظاهرة في الكون، فهو يشبه ناطح صخرة يومًا ليوهنها، ولعله يذكرنا بقول الشاعر:

قد تُنكرُ العين ضوء الشمس من رمدٍ وينكرُ الفمُ طعمَ الماءِ من سقمٍ

فالماء هذه المادة العجيبة التي لا تماثلها مادة أخرى في الكون، بهذه الخصائص التي جعلته سر الحياة يدل عند إمعان التفكير أنه آية من آيات الله القادر سبحانه وتعالى الذي سخر كل شيء لمل خُلق له، وقد كشف العلم الحديث كثيرًا من أسرار الماء وخصائصه وإنني لعلي يقين بأنه كلما تقدم العلم فسوف يتم الكشف والتعرف على أسرار أخرى

للماء، مما سوف يوفر لنا معلومات تساعدنا على كشف وتفسير الإشارات الإلهية في القرآن العظيم عن الماء.

والقرآن الكريم لم يكن كتابًا في العلوم، ولكن الخالق العظيم كشف لنا فيه عن أسرار الطبيعة وسوف يستمر الكشف عن أسرار أخرى كلما أزداد العلم تقدمًا، فقد ذكر القرآن الكريم كثيرًا من الحقائق والخصائص الهامة للماء، التي تم استعراضها خلال صفحات هذا الكتاب.

ومن شواهد إعجاز القرآن أنه لا يزيده مر الزمان إلا رسوخًا وقوةً وعطاءً، ومع التقدم العلمي المستمر نتعرف على كثير من الأسرار والحقائق في القرآن، وكما قال عنه رسول الله ﷺ: «**لا تنقضي عجائبه، ولا يخلق من كثرة الرد**»... نعم ما زال القرآن جديدًا كأنه يتنزل على قلب النبي ﷺ الآن، وأنه حقًا كما قال رب العزة سبحانه وتعالى: ﴿ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَذِكْرَىٰ لِمَن كَانَ لَهُۥ قَلْبٌ أَوْ أَلْقَى ٱلسَّمْعَ وَهُوَ شَهِيدٌ ﴾

(ق: 37)

ولابد لنا أن نعترف أننا لا نعلم إلا قليلًا، وهذا القليل هو ما أفاض علينا ربنا تبارك وعلا به. وهل الإنسان نفسه إلا ذرة من جزئيات الكون، فهو لا يدري ما الذي يأتي به الغد ويتطور إليه العلم. أما القرآن فقد قدم تقريرًا علميًا جازمًا لكثير من النواميس الكونية الراسخة، وما هذا إلا دليل قاطع على أن للكون خالقًا عظيمًا وعلى أن القرآن وحيٌ من عند الله ولم يؤلفه سيدنا محمدًا ﷺ كما يدعى بعض المبطلون.

وبعد... فإني أشهد أن لا إله إلا الله، وأن القرآن كتاب الله، وأن الماء نعمة جليلة من نعم الله التي لا تعد ولا تحصى، رضيت بالله تعالى ربًا وبالإسلام دينًا وبسيدنا محمد ﷺ نبيًا ورسولًا، وأرجو من كل قارئ لكتابي هذا أن يدعوا الله تعالى لي

بالرحمة والغفران، وأن يصلي ويسلم على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه ومن تبعه بإحسان، وآخر دعوانا سبحانك اللهم والحمد لله رب العالمين.

المراجع

أولاً- القرآن الكريم وعلومه:

1- القرآن الكريم.

2- «تفسير القرآن العظيم» ابن كثير القرشي. المتوفى سنة 774هـ. عالم الكتب – بيروت لبنان – 1405هـ، 1985م.

3- «في ظلال القرآن»- سيد قطب. دار الشروق – القاهرة – مصر، 1987م.

4- «الإتقان في علوم القرآن» - السيوطي. مكتبة نزار مصطفى الباز – مكة المكرمة – المملكة العربية السعودية، 1996م.

5- «البحر المديد في تفسير القرآن المجيد» - بن عجيبة، تحقيق وتعليق أحمد عبد الله القريشي رسلان – مطابع الهيئة المصرية العامة للكتاب – القاهرة – مصر، 1999م.

6- «روح المعاني في تفسير القرآن العظيم والسبع المثاني» تأليف الالوسي المتوفى سنة 127هـ. دار الكتب العلمية بيروت – لبنان – الطبعة الأولى 1422هـ - 2001م.

7- «الجامع لأحكام القرآن» - لأبي عبد الله محمد بن أحمد الأنصاري القرطبي – المتوفى سنة 671هـ. الهيئة المصرية العامة للكتاب – القاهرة – مصر.

ثانيًا- الحديث وعلومه:

- صحيح البخاري: لأبي عبد الله محمد بن إسماعيل إبراهيم بن المغيرة البخاري – الناشر المكتبة التوفيقية – القاهرة – مصر بدون تاريخ.

- صحيح مسلم بشرح النووي/ النووي – دار الفكر – القاهرة – مصر، 1981م.

- «فتح الباري» بشرح صحيح البخاري/ ابن حجر العسقلاني – شرح وتحقيق محب الدين الخطيب. دار الريان للتراث – القاهرة – مصر، 1986م.

- سنن الترمذي (الجامع الصحيح): لأبي عيسى محمد بن عيسى بن سوره (209 – 279هـ) تحقيق وشرح أحمد شاكر – دار الكتب العلمية – بيروت – لبنان.

- «سنن أبي داود»: للإمام الحافظ المصنف المتيقن أبي داود سليمان بن الأشعث الأزدي (202 – 275هـ) دار الريان للتراث – القاهرة – مصر.

- مسند الدارقطني: لعلي بن عمر الدارقطني (المتوفى سنة 358هـ)- دار المحاسن للطباعة.

- سنن النسائي: لأبي عبد الرحمن أحمد شعيب النسائي – دار الفكر – بيروت – لبنان، 1348هـ.

- مسند الإمام أحمد: لأبي عبد الله بن محمد بن حنبل- المتوفى سنة 241هـ- مطبعة الحلبي – القاهرة – مصر – 1313هـ.

- موطأ الإمام مالك بن أنس (93 – 179هـ).

ثالثًا- معاجم اللغة:

- مختار الصحاح: محمد ابن أبي بكر الرازي – الطبعة الأميرية – القاهرة – مصر، 1426هـ.

- «القاموس المحيط»: للعلامة مجد الدين الفيروز أبادي – مطبعة الحلبي – 371هـ، 1952م.

رابعًا- مراجع أخرى باللغة العربية:

- دكتور/ محمد نجيب حسن، دكتور/ مصطفى خضر مصطفى (1971): أصول البيدولوجي – المكتب المصري الحديث للطباعة والنشر – الإسكندرية – مصر.
- دكتور/ محمد نجيب حسن، دكتور/ فوزي كشك، دكتور/ أحمد السيوي (1972): أصول الإيدافولوجي – الجزء الأول نظام الأرض. دار الكتب الجامعية – الإسكندرية – مصر.
- أخبار مكة وما جاء فيها من الآثار، للأزرقي محمد بن عبد الله، تحقيق: رشدي صالح ملحس – مطابع دار الثقافة، مكة المكرمة – 1403.
- دكتور/ حسين العروسي (1997): «الماء والحياة» مكتبة المعارف الحديثة – الإسكندرية – مصر.
- دكتور/ عبد المنعم بلبع، دكتور/ السيد خليل عطا (1997): الماء مآذق، ومواجهات. منشأة المعارف – الإسكندرية – مصر.
- دكتور/ صلاح الحجار (2000). «دليل الأثر البيئي في المشروعات الصناعية والتنمية». نهضة مصر للطباعة والنشر والتوزيع.
- دكتور/ حسن خالد حسن العكيدي (2001). «تكنولوجيا معالجة المياه». دار زهران للنشر والتوزيع – عمان – الأردن.
- جون جريبن – ترجمة دكتور/ مصطفى إبراهيم فهمي (2001): مولد الزمان (كيف قاس علماء الفلك عمر الزمان). الهيئة المصرية العامة للكتاب، مكتبة الأسرة – مصر.
- ستيفن هوكنج – ترجمة دكتور/ مصطفى إبراهيم فهمي (2001): «تاريخ موجز للزمان»: من الانفجار الكبير إلى الثقوب السوداء. الهيئة المصرية العامة للكتاب – القاهرة – مصر.

- دكتور/ شعبان محمد إبراهيم (2001): «صرف الأراضي الزراعية» – كلية الزراعة بكفر الشيخ – مصر.

-دكتور/ محمد السيد أرناؤوط (2003): طرق الاستفادة من القمامة والمخلفات الصلبة والسائلة – أوراق شرقية للطباعة والنشر والتوزيع – القاهرة – مصر.

- م/ محمد أحمد السيد خليل (2003): «المياه الجوفية والآبار». دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع – القاهرة – مصر.

- دكتور/ معن العظمة (2003): «مبادئ تحليه المياه المالحة». المركز العربي للتعريب والترجمة والتأليف والنشر – دمشق – الجمهورية العربية السورية.

- دكتور/ السيد أحمد الخطيب (2004): «تلوث الماء الجوفي» المكتبة المصرية – الإسكندرية – مصر.

- دكتور/ محمد محمد داود (2007): كمال اللغة القرآنية بين حقائق الإعجاز وأوهام الخصوم. دار المنار للطباعة والنشر والتوزيع – القاهرة – مصر.

خامسًا- مراجع أجنبية:

- Kohnke, H. (1969): Soil Physics. Mc Graw - Hill, Inc., Bombay - New Delhi.

- Gray, D.M. (1970): Principles of Hydrology, water information center, New York.

- Riley, J. p. and Skirrow, G. (1975): chemical Oceanography, 6vols. Academic press, New York.

- Barton, R. (1980):The Oceans. Aldus Bo. Limt., London.

- Spiegler, K.S. and Laird, A.D.K., eds., (1980): Principles of Desalinatoin, 2nd, tow volumes, Academic press, New York.

- Hillel, D.(1982): Introducton to soil physics. Academic press. Inc., Orlando and London.

- WHO (1988): Guidelines for Drinking water Quality, vol. 2. Health criteria and other supporting information.

- Michael, A.M. and Khepar, S.D. (1989): Water well and pump Engineering. Tata Mc Graw - Hill publishing company limited, New Delhi.

- Osborne, M.P. and payne, J.A. (1992): Pollution control. In: Drainage Design (Ed. Smart, P. and J.G. Herbertson, 1992), Blackie and Son ltd, Glasgow and London.

- Hassan, M.I. and Sorour, H.A. (2003): Human Histology, volume I. second Edition, Al- Azhar university, Egypt. Commercial press - Kalyoub - Egypt.