

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمه لخضر بالوادي

كلية التكنولوجيا

قسم هندسة الطرائق

مذكرة تخرج مقدمة لنيل شهادة

## ماستر اكاديمي

مجال: علوم و تكنولوجيا

تخصص: هندسة كيميائية

من إعداد:

حفصي عائشة – فقير الجبارية

الموضوع:

الفصل عن طريق المبادلات الأيونية واستعمالها في تنقية المياه  
(Ion Exchange)

نوقشت يوم:

أمام لجنة المناقشة المكونة من:

رئيس

جامعة الوادي

مناقش

جامعة الوادي

مؤطر

جامعة الوادي

أستاذ محاضر (ب)

محمد الأخضر بالفار

الموسم الجامعي: 2017/2016

## التشكرات

نشكر الله سبحانه وتعالى أولاً و آخرًا ونحمده على توفيقه ومنحنا الإرادة والصبر لإنجاز هذا

العمل المتواضع.

نتقدم بخالص الشكر للأستاذ المشرف "**بالفار محمد لخضر**" على إشرافه و توجيهه لنا خلال

مدة إنجاز هذا العمل، فجزاه الله عنا كل خير و له منا كل التقدير والاحترام.

كما نتوجه بالشكر لمسؤول مخبر "**VTRS**" و العاملين في مخبر "جامعة الشهيد حمه لخضر

بالوادي" الذين كانوا عوناً لنا.

والشكر موصول أيضاً للعاملين في مخبر "جامعة قاصدي مرباح بورقلة" لمساعدتهم لنا في

إتمام عملنا.

وكذلك نتقدم بالشكر إلى عمال مكتبة "معهد التكوين المهني بالوادي" لمساعدتهم.

كما نتوجه بالشكر و الاحترام و التقدير إلى أعضاء اللجنة الموقرة رئيساً ومناقشاً على منحنا

شرف قبولهم لمناقشة وتقييم هذا العمل على هذا العمل المتواضع.

وأخيراً، نتوجه بالشكر إلى جميع أولئك الذين ساهموا بشكل أو بآخر وقدموا لنا يد العون و

المساعدة و وقفوا إلى جانبنا من قريب أو بعيد في تحقيق هذا العمل.

## الفهرس

	الإهداء
	تشكرات
	الفهرس
	فهرس الأشكال
	فهرس الجداول
1	المقدمة العامة

### الجزء النظري

#### الفصل الاول: المياه وتنقيتها

4	1.I. عموميات حول المياه
4	1.1.I. دورة المياه في الطبيعة
4	2.1.I. مصادر المياه في الطبيعة
6	2.I. تلوث المياه
6	1.2.I. مصادر تلوث المياه
6	2.2.I. أنواع و حالات التلوث المياه
8	3.I. تنقية المياه
8	1.3.I. الغرض من تنقية المياه
8	2.3.I. طرق تنقية المياه
9	3.3.I. خطوات تنقية المياه
10	4.3.I. عمليات تنقية المياه
12	5.3.I. معالجة المياه
13	4. I. مياه الشرب
13	1.4.I. مكونات مياه الشرب
13	2.4.I. استخدامات مياه الشرب

13	<b>3.4.I. خصائص مياه الشرب</b>
14	<b>1.3.4. I. خصائص فيزيائية</b>
15	<b>2.3.4. I. خصائص فيزيوكيميائية</b>
16	<b>3.3.4. I. الخصائص الكيميائية</b>
19	<b>5.I. تراكيز العناصر المسموح بها في مياه الشرب</b>
	<b>الفصل الثاني: التبادل الايوني</b>
23	<b>1.II. التبادل الأيوني</b>
23	<b>2.II. المبادلات الأيونية</b>
23	<b>3.II. تصنيف المبادلات الأيونية</b>
23	<b>1.3.II. المبادلات الأيونية غير عضوية</b>
23	<b>1.1.3.II. الزيولايتات (Zeoltes)</b>
24	<b>2.1.3.II. أنواع المبادلات الأيونية غير عضوية</b>
25	<b>2.3.II. المبادلات الأيونية العضوية</b>
25	<b>1.2.3.II. الراتنجات (Resin)</b>
26	<b>2.2.3.II. أنواع المبادلات الأيونية العضوية</b>
27	<b>4.II. آلية عمل المبادلات الأيونية</b>
28	<b>5.II. خواص المبادلات الأيونية</b>
28	<b>1.5.II. سعة المبادلات الأيونية</b>
29	<b>2.5.II. تنشيط المبادلات الأيونية</b>
31	<b>3.5.II. تأثير درجة الحرارة على عملية التبادل الأيوني</b>
31	<b>4.5.II. الإدمصاص و التبادل الايوني</b>
31	<b>6.II. استعمالات المبادلات الأيونية</b>
31	<b>1.6.II. استعمالات المبادلات في المختبرات</b>
34	<b>2.6.II. استعمالات المبادلات في تنقية المياه</b>
36	<b>7.II. أجهزة التبادل الأيوني</b>

الجزء العملي

الفصل الثالث: الدراسة العملية ومناقشة النتائج

39	1.III. أخذ العينة
39	2.III. أجهزة القياس المستعملة
39	1.2.III. جهاز قياس الدليل الهيدروجيني الـpH
40	2.2.III. جهاز قياس الناقلية الكهربائية
41	3.2.III. جهاز قياس الفلور (فلورمتر)
41	3.III. آليات المعايرة
41	1.3.III. معايرة القساوة الكلية للمياه
42	2.3.III. معايرة الايونات $Ca^{2+}$ و $Mg^{2+}$ و $Cl^-$
44	4.III. التركيب التجريبي
46	5.III. النتائج و التحليل
46	6.III. المقارنة ومناقشة النتائج
51	الخاتمة العامة
53	الملاحق
58	المراجع
	الملخص

## فهرس الأشكال

الصفحة	عنوان الشكل	ترتيب الشكل
<b>الفصل الأول</b>		
3	دورة المياه في الطبيعة	(1-I)
4	يوضح نسب توزيع المياه على سطح الأرض	(2-I)
9	أمثلة عن طرق تنقية المياه الكيميائية و الفيزيائية	(3-I)
<b>الفصل الثاني</b>		
24	صورة لمبادل أيوني غير عضوي.	(1-II)
24	الصيغة الكيميائية والبنية الهيكلية للمبادل غير العضوي (الزيوليت)	(2-II)
25	صورة لزيوليت طبيعي	(3-II)
25	صورة لزيوليت صناعي	(4-II)
26	صورة لمبادل أيوني عضوي (الراتنجات)	(5-II)
26	الصيغة الكيميائية والبنية الهيكلية للمبادل العضوي (الراتنجات)	(6-II)
27	آلية عمل التبادل الأيوني في المياه	(7-II)
28	آلية عمل المبادلات غير العضوية (الزيوليت)	(8-II)
28	آلية عمل المبادلات العضوية (الراتنجات)	(9-II)
30	التنشيط باتجاه موافق لإتجاه التبادل الأيوني	(10-II)
30	التنشيط باتجاه موافق لإتجاه التبادل الأيوني	(11-II)
32	يوضح كيفية تقدير الاملاح البسيطة	(12-II)
32	يوضح معايرة HCl	(13-II)
33	شكل توضح خطوة جمع النحاس	(14-II)
33	شكل يوضح خطوة اراحة النحاس	(15-II)
34	شكل يوضح كيفية تنقية المياه	(16-II)
36	صورة لجهاز السوفنتر (Softener)	(17-II)
37	صورة لجهاز إزالة الأيونات (Deionizer)	(18-II)

الفصل الثالث

40	صورة لجهاز قياس الدليل الهيدروجيني الـpH	(1-III)
40	صورة لجهاز قياس الناقلية	(2-III)
41	يوضح تغير اللون في معايرة القساوة الكلية	(3-III)
42	يوضح تغير اللون في معايرة ايونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )	(4-III)
43	يوضح تغير اللون في معايرة ايونات الكلور ( $Cl^-$ )	(5-III)
44	صورة للتركيب التجريبي للدراسة	(6-III)
45	رسم تخطيطي يوضح عملية مرور المياه خلال طبقات العمود	(7-III)
46	مخطط يمثل قيمة الناقلية قبل وبعد التجربة	(8-III)
47	مخطط يمثل قيمة الـpH قبل وبعد التجربة	(9-III)
47	مخطط يمثل قيمة القساوة قبل وبعد التجربة	(10-III)
48	مخطط يمثل قيمة تركيز ايونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) قبل وبعد التجربة	(11-III)
48	مخطط يمثل قيمة تركيز ايونات المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ) قبل وبعد التجربة	(12-III)
49	مخطط يمثل قيمة تركيز ايونات الكلوريد ( $Cl^-$ ) قبل وبعد التجربة	(13-III)
49	مخطط يمثل قيمة تركيز ايونات الفلوريد ( $F^-$ ) قبل وبعد التجربة	(14-III)

## فهرس الجدول

الصفحة	عنوان الجدول	ترتيب الجدول
	<b>الفصل الأول</b>	
5	يمثل تقسيم مصادر المياه في الطبيعة	(1-I)
10	العمليات المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه	(2-I)
14	ذوبانية الغازات في المياه بدلالة درجة الحرارة	(3-I)
15	أهم الأيونات الموجبة و السالبة المسببة لقساوة الماء	(4-I)
20	تراكيز مسموح بها في مياه الشرب	(5-I)
	<b>الفصل الثالث</b>	
39	بطاقة تعريفية عن المياه المستعملة	(1-III)
46	نتائج المتحصل عليها من قبل وبعد التجربة.	(2-III)



## المقدمة العامة

أن الماء عنصر أساسي موجود في وضروي لكل شيء ينبض بالحياة. وعلى الرغم من أن المياه تغطي معظم سطح الكرة الأرضية حيث تتنوع مصادرها و أشكال تواجدها في الطبيعة إلا أن ما يمكن استهلاكه للاستعمال البشري يعد نسبة ضئيلة جداً من كمية المياه عموماً و مع ذلك فإنها تكفي لكل شخص في العالم. و لكن بسبب تزايد استعمالها في جميع المجالات كالزراعة و الصناعة بات نقاءها و الحفاظ عليها كما هي شبه مستحيل في ظل الملوثات الكبيرة والمنتشرة في البيئة، و مما لا شك فيه أن تلوث المياه يعد مشكلة خطيرة تهدد حياة الكائنات الحية. و بما أن المياه مهمة لحياة الفرد من هنا تأتي ضرورة الحفاظ عليها وتنقيتها و منع تفشي الأمراض الخطيرة.

و حيث أن المياه الجوفية تعد من أنقى مصادر المياه الطبيعية و التي تعتمد عليها الكثير من الدول في العالم. تعتبر هذه المياه المصدر الأساسي لتلبية احتياجات السكان كما هو الحال بالنسبة لسكان الجنوب الجزائري عموماً و منطقة وادي سوف تحديداً إلا أنها تستوجب العديد من عمليات التنقية قصد الحصول على مياه قابلة للاستهلاك. وحيث أنه و من المعروف أن مياه هذه المنطقة تتميز بارتفاع تراكيز بعض الأملاح و الأيونات التي تشكل ضرارا على صحة الإنسان على المدى البعيد.

وعلى الرغم من توفر العديد من الطرق الفعالة في تخفيض قساوة هذه المياه. إلا أنها لا تخفض من نسبة بعض الأيونات المتواجدة بنسب عالية في مياه والتي تتسبب في العديد من المشاكل الصحية.

ومن بين أحدث طرق تنقية المياه استخداماً طريقة التبادل الأيوني باستعمال المبادلات الأيونية لغرض نزع أيونات معينة من المياه المراد تنقيتها.

ولهذا قمنا في دراستنا بتنقية المياه باستعمال المبادلات الأيونية لتخفيض نسبة تراكيز الأيونات الغير مرغوب فيها من هذه المياه. و تنقسم هذه الدراسة إلى ثلاث فصول هي:

الفصل الأول: نبين فيه مصادر المياه و أنواع مسببات تلوثها كما نتطرق إلى طرق تنقيتها للحصول على مياه قابلة للاستهلاك و عرض معايير مياه الشرب.

الفصل الثاني: يوضح عملية التبادل الأيوني و كيفية عمل المبادلات الأيونية و أنواعها وخصائصها.

الفصل الثالث: نتطرق في هذا الفصل إلى خطوات العمل التطبيقي وكذلك مناقشة النتائج المتحصل عليها.

## 1.1.I. عموميات حول المياه:

### 1.1.I.1. دورة المياه في الطبيعة :

إن المياه في الطبيعة تكون في حالة حركة دائمة يشار إليها بدورة المياه الطبيعية. وخلال هذه الدورة فإن المياه المتكثفة تهطل إلى سطح الأرض في شكل أمطار و جليد وصقيع و غيرها من أنواع السقوط المائي. أما المياه الهاطلة على سطح التربة فيشكل جزء منها الجريان السطحي المتمثل في البحيرات و البرك و البحار، و ينساب جزء آخر من هذه المياه مترسحًا إلى باطن القشرة الأرضية ليُكوّن خزانات المياه الجوفية و التي تجد طريقها عاجلا أو آجلا إلى سطح الأرض لتشكل الينابيع و العيون الطبيعية للمياه. تتبخر المياه من الغطاء النباتي و من المسطحات المائية و من نتح النباتات، لتجد طريقها إلى الغلاف الجوي (الشكل 1-I). غير أن هذه الدورة ربما تنقطع في أي جزء من أجزائها كما لا يوجد نظام محدد في الفترة الزمنية التي تأخذها هذه الدورة، و كما أن كثافة المياه خلال الدورة و فتراتها تعتمد على العوامل الجغرافية و العوامل المناخ و مؤثراته. [1]



الشكل (1-I) : دورة المياه في الطبيعة.

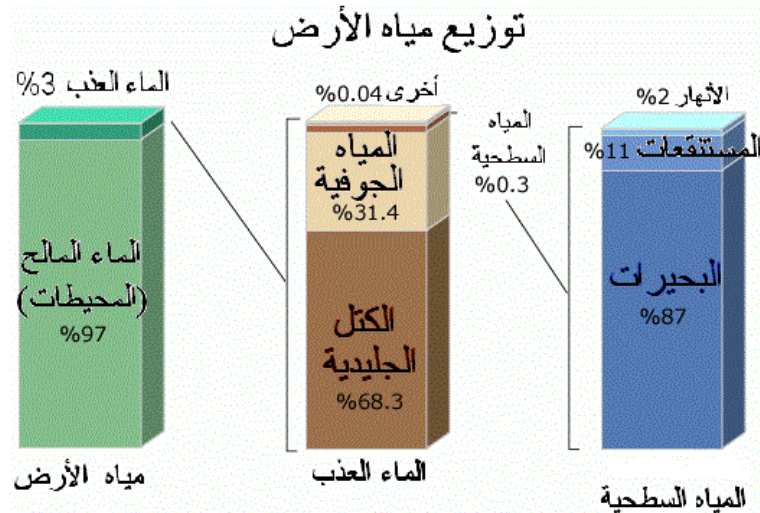
### 2.1.I.1. مصادر المياه في الطبيعة:

تتوزع المياه على سطح الكرة الأرضية على حسب مصادر تواجدها في الطبيعة والتي يمكن أن تكون على عدة أشكال مثل المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار والجداول والبرك وغير ذلك، والجدول (1-I) التالي يبين تقسيمها:

الجدول (1-I): يمثل تقسيم مصادر المياه في الطبيعة. [2][3]

المياه العذبة			المياه المالحة
الكتل الجليدية	المياه الجوفية	المياه السطحية	
- المناطق القطبية المتجمدة.	- المياه الموجودة في باطن الأرض (في الطبقات الصخرية).	- البحيرات. - مياه الأنهار. - المستنقعات. - مياه السدود. - مياه الأمطار.	- البحار - المحيطات

تتواجد المياه على سطح الأرض في المسطحات المائية مع العلم أن أغلب الماء الموجود على سطح الأرض هو على شكل مياه مالحة في المحيطات والبحار، وخاصة في نصف الأرض الجنوبي حيث يوجد نصف الكرة المائي. تعرف كمية الماء الكلية الموجودة على الأرض ككل بإسم غلاف الأرض المائي، بالرغم من أن المياه تغطي 80% من سطح الأرض إلا أنه لا يمكن استخدام هذا الكم الهائل منه استخدامًا مباشرًا. [4]



الشكل (2-I): يوضح نسب توزيع المياه على سطح الأرض.

وإذ أنه حسب الشكل (2-I) فإن 97% من هذه المياه موجودة في البحار والمحيطات، [2] و حوالي 3% فقط من مياه الأرض هي مياه عذبة. و أغلب هذه المياه العذبة موجودة في الأغطية والجبال الجليدية 69% وفي المياه الجوفية 30%، والكمية المتبقية تتمثل في البحيرات والأنهار والجداول والتي يمثل مجموعها نسبة صغيرة 0.3% من النسبة الكلية للمياه العذبة في الأرض. [4]

**2.I. تلوث المياه:**

عرّف هوبكنز و شولز (Hopkins et Schulz) سنة 1954م الماء الملوث بأنه الماء الذي تنخفض درجة جودته نتيجة لاختلاطه بمخلفات الصرف الصحي أو غيرها من المخلفات فتجعله غير صالح للشرب أو للاستعمال في الأغراض الصناعية. وتأثير مكونات الماء على استعماله تعتمد على تركيز هذه المكونات فإذا كانت بتركيز منخفض بدرجة كافية، فلا يكون لها تأثير ضار عند استخدام المياه في أي غرض، وفي الواقع هناك العديد من مكونات التي يمكن الاعتراض على وجودها بتركيز مرتفع، ولكن وجودها يمكن أن يصبح مقبولاً في حالة وجودها في تراكيز منخفضة عند استخدام المياه في غرض معين. [5][6]

و جاء تعريف منظمة الصحة العالمية عام 1961م لتلوث المياه: "بأنه أي تغير في الخصائص الفيزيائية و الكيميائية و البيولوجية للمياه مما يسبب تغير حالتها بشكل مباشر أو غير مباشر، بحيث تصبح أقل صلاحية للاستخدامات المختلفة المخصصة لها كالشرب، الاستخدامات المنزلية، الزراعية أو الصناعية أو غيرها". [7][8]

**1.2.I. مصادر تلوث المياه:**

تتعدد مصادر المياه ويمكن تقسيمها إلى:

- مصادر طبيعية و تشمل الجو، المعادن الذائبة، تحلل المواد النباتية و الحيوانية و جريان السطحي للأملح و الكيمياويات. [5]
- مصادر زراعية و تشمل الإنجراف المائي للتربة، مخلفات حيوانية (مزارع إنتاج الحيواني و الدواجن)، الأسمدة الكيميائية و المبيدات و مياه الري.
- مياه الصرف و تشمل الصرف الصحي، الصرف الصناعي و غيرها.
- مصادر أخرى متنوعة مثل أنشطة البناء و إنتاج الاسمنت، المناجم... [6]

**2.2.I. أنواع و حالات التلوث المياه:**

إن هناك العديد من أنواع تلوث المياه نذكر منها:

- ❖ **التلوث الطبيعي:** مخلفات طبيعية نباتية أو حيوانية مثل الأجسام الميتة للكائنات الحية أو المواد العضوية التي تخلفها. [9]
- ❖ **التلوث الحراري:** ينتج من استعمال المياه لتبريد المفاعلات النووية في محطات الطاقة و ينتج أيضاً نتيجة الحمم البركانية و محطات توليد الطاقة الكهربائية، و تمتاز هذه المياه بارتفاع درجة حرارتها عن المعدل العادي. [10][11]

- ❖ **التلوث بالنفط ومشتقاته:** ينتج من إنتشار النفط ومشتقاته على مساحات شاسعة من المياه ولعدة أسباب منها الحوادث البحرية التي تحدث لناقلات البترول، أو بعض الحوادث التي تقع أحيانًا أثناء عمليات الحفر لإستخراج البترول من الآبار البحرية، أو تسرب البترول من بعض الآبار المجاورة لمصادر المياه.[12][13]
- ❖ **الأمطار الحمضية:** هي الأمطار الملوثة بالغازات الحمضية وتكون غنية بأحماض النتريك و الكبريتيك (ناتجة من إنبعاث الغازات نتيجة عملية إحتراق الوقود من الصناعات المختلفة)، وتعود هذه الأحماض إلى التربة و مختلف مصادر المياه في الطبيعة، و تؤدي إلى أضرار بمياه المسطحات المائية خاصة المقفلة نتيجة رفع حموضتها مما يؤثر على الأسماك و كثير من الكائنات الأخرى.[14]
- ❖ **تلوث المياه بالمخلفات الصناعية:** يسبب التلوث المياه بالملوثات الكيميائية الصناعية مشاكل خطيرة على الكائنات الحية (حيوانية، النباتية والاحياء الدقيقة)، لأنه يعتبر من أخطر أنواع التلوث، و قد برز كنتيجة طبيعية للتقدم الصناعي الهائل، و خاصة في مجال الصناعات الكيماوية، حيث المركبات شديدة السمية و المعادن الثقيلة مثل الزئبق و الرصاص و الزرنيخ.[12]
- ❖ **التلوث بالمواد المشعة :** قد تحدث طبيعيا في المياه السطحية التي قد تحتوي على عناصر مشعة طبيعيا، مثل : الراديوم، اليورانيوم، أو بشكل غير طبيعي ناتج من المخلفات الصناعية و التفجيرات النووية أو ردم النفايات المشعة في أعماق البحر.[14][15]
- ❖ **التلوث بالمبيدات:** تعد المبيدات المستخدمة في مكافحة الآفات الزراعية من أخطر الملوثات و أكثرها إنتشارا، حيث أن المبيدات بمختلف أنواعها تكون شديدة السمية على البيئات المائية جراء مكوناتها الكيميائية.[12][13]
- ❖ **التلوث بأسمدة النباتات:** الأسمدة الزراعية بذوبانها في مياه الري تصل إلى المياه الجوفية، وتصل إلى المجاري المائية أي إلى الأنهار والبحار عن طريق الأمطار و من أكثرها خطورة أسمدة الفوسفور الذي يستخدم كمخصبات زراعية وكذلك النيترات.[16]
- ❖ **التلوث المياه بمسببات العدوى:** تعتبر مياه الصرف هي المصدر الوحيد لتلوث مياه الشرب بالميكروبات الممرضة وهذه المياه إذا كان مصدرها أناسًا أصحاء فإنها في الغالب لا تحتوي على ميكروبات ممرضة، أما إذا كانت ناتجة عن أناسًا مرضى فإنها تشكل مصدر خطير للعدوى حيث تتكاثر البكتيريا و الفيروسات والفطريات جراء مخلفاتهم و تنتقل إلى المسطحات المائية دون معالجة بيولوجية أو كيميائية.[17]

❖ **مخلفات الاستهلاك البشري:** وتنجم جراء الاستخدام المنزلي للمنظفات أو في المرافق العامة و في المصانع كالمواد الكيميائية البديلة للصابون.[9]

وهذا ما يجعل المياه مليئة بالعديد من الشوائب و العناصر العضوية وغير العضوية التي تنحل فيها والتي يمكن أن تسبب مشاكل عديدة.

### 3.I. تنقية المياه:

#### 1.3.I. الغرض من تنقية المياه:

إن الماء النقي كيميائياً غير موجود في الطبيعة وحتى ماء المطر الذي هو الشكل الأكثر نقاء من مياه الطبيعة فهو يحتوي على ملوثات من الغازات المنحلة فيه كالأكسجين و الأوزون و ثاني أكسيد الكربون و بعض الأملاح اللاعضوية. وحتى المياه الجوفية التي تعتبر من الناحية البيولوجية أفضل مصدر لمياه الشرب، فإن كميتها في أكثر البلدان قليلة و لا تكفي الاحتياجات المتزايدة لمياه الشرب وللأغراض الصناعية. و بالتالي فإن مزيداً من المياه السطحية يجب أن يستعمل لتحضير مياه الشرب و المياه الصناعية بما في ذلك مياه الأنهار والبحيرات والبحار. و هذه المياه تكون عادة ملوثة بشكل واضح وتحتاج إلى تنقية وتعقيم قبل أن تكون مأمونة ومناسبة للاستهلاك البشري.

لذلك يجب أن نؤمن تخليص المياه من موادها العالقة و قسم من موادها المنحلة. وأن نؤمن إزالة الطعم و الرائحة من المياه اللذين قد ينتجا عن امتزاجهما ببعض المواد العضوية أو الاعشاب أو نواتج مخلفات الصناعات.

كذلك يجب إزالة قساوة الماء إن وجدت و إزالة الحديد والمنغنيز وغيرها من المواد ذات الكميات الأكبر مما هو مقبول لغرض استعمالها.[18]

#### 2.3.I. طرق تنقية المياه:

إن الهدف من تنقية المياه الملوثة هو تأمين مياه قابلة للشرب، أي مياه آمنة كيميائياً و ميكروحيوياً للاستهلاك البشري. ومن أجل الاستهلاكات المحلية، فإنه يجب أن تكون المياه النقية مقبولة إجمالاً أي خالية من العكر الواضح، و اللون، و الرائحة، و الطعم غير المحتمل. و للحصول على هذه النتيجة توجد عدة طرق كيميائية وفيزيائية يجب إتباعها الشكل (3-I).[19]



الشكل (3-I): أمثلة عن طرق تنقية المياه الكيميائية و الفيزيائية.

### 3.3.I. خطوات تنقية المياه:

**1. المأخذ:** و هو المنشأ الذي يقع على المورد المائي و يكون الغرض منه سحب الماء الخام بمضخات حيث تركيب في هذه المضخات مصافي لمنع دخول المواد الطافية الكبيرة الحجم (كأكياس النايلون وقطع الخشب...) [20].

**2. التخثير:** إن بعض المواد العالقة تكون من الصغر بحيث يتم اللجوء إلى إضافة مخثرات بمختلف أنواعها بحيث توزع بانتظام في المياه لتتفاعل مع المواد العالقة لتشكل تكتلات يسهل ترسيبها. [20]

**3. الترسيب:** الغرض من هذه العمليات ترسيب أكبر نسبة ممكنة من المواد العالقة، والتي يمكن زيادة حجمها أثناء عملية التخثير و تصل نسبة ما يترسب من المواد العالقة في أحواض الترسيب إلى % 90 أو أكثر من ذلك ويعتمد ذلك على نوعية المياه وكيفية تشغيل وحدات الترسيب والتخثير على أساس تصميم الأحواض. [20]

**4. الترشيح:** تعد عملية الترشيح من العمليات الأساسية في محطات معالجة المياه حيث يدخل المياه آخر مراحل إزالة العوالق والتي يتم فيها إزالة المواد العالقة صغيرة الحجم لأن دور المرشحات في إزالة ما تبقى من هذه الشوائب يعد أمراً حيوياً لإنتاج مياه شرب ذات نوعية جيدة. [20][21]

**5. تطهير المياه:** تستخدم بعض المواد المطهرة في أعمال التنقية وخاصة في نهاية مراحلها، وذلك للقضاء على ما تبقى في المياه من الجراثيم وملوثات. و إن أغلب أنظمة معالجة المياه تدفع بكميات من المعقمات في المياه الخارجة من محطة المعالجة وذلك لحماية المياه من تسرب الملوثات إليها أثناء نقلها في شبكة التوزيع. [21]

### 4.3.I. عمليات تنقية المياه:

العمليات المستعملة للأغراض المختلفة في التنقية لكل صفة ملوثة في المياه الجدول (2-I).

الجدول (2-I): العمليات المستعملة للأغراض المختلفة في تنقية المياه. [18]

الصفة	عمليات المعالجة المستعملة
عكارة	التخثير و الترشيح (يمكن أن نحذف التخثير في بعض الاحيان إذا كانت عكارة الماء قليلة).
الطعم و الرائحة	الامتزاز بواسطة الكربون المنشط.
	التخثير و الترشيح.
	الكلورة، أو المعالجة بالأوزون أو بثاني أكسيد الكلور.
	التهوية.
ضبط تلوث المصدر المائي.	
النحاس و الزنك	تختلف طرق إزالة النحاس و الزنك حسب طبيعة الشوائب الأخرى الموجودة.
الكالسيوم و المغنيزيوم (القساوة)	الترسيب كماءات المغنيزيوم و كربونات الكالسيوم وذلك بإضافة الكلس والصودا . عمليات التبادل الأيوني.
الحديد و المنغنيز	تختلف طرق إزالة الحديد والمنغنيز حسب طبيعة الشوائب الأخرى الموجودة في الماء، وبشكل عام تعتمد إزالة الحديد والمنغنيز على الأكسدة والترسيب. ويمكن أحيانا إزالة الحديد بترسيبه ككربونات الحديد و إزالته نهائيا بواسطة التبادل الأيوني .
الصوديوم و البوتاسيوم و الكبريتات و الكلوريدات و النترات	هذه الشوارد الموجبة والسالبة لا يمكن أن تزال من الماء بكلفة معتدلة وإنما تحتاج إلى إزالة ملوحة مكلفة.

يمكن أن تعدل قيمة (pH) بإضافة بعض الحموض أو الأسس ويستعمل لهذا الغرض أحد المركبات: $\text{NaOH}$ , $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , $\text{CaOH}_2$ , $\text{CO}_2$ , $\text{HCl}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ .	دليل الهيدروجين الـ (pH)
ثاني أكسيد الكلور .	المركبات الفينولية
الأوزون.	
الكربون المنشط.	
التهوية في ظروف حامضية الكلورة أو المعالجة بالأوزون.	كبريت الهيدروجين
الترسيب مع أملاح الحديد بتشكيل كبريتيد الحديد.	
التهوية.	
تحويله إلى بيكربونات بإضافة مادة قلوية.	ثاني أكسيد الكربون
من الصعب إنقاص أكثر المواد السامة إلى تركيز منخفض يتلاءم مع متطلبات النظم.	المواد السامة ( بشكل عام )
يمكن أن يترسب في وسط قلوي.	الرصاص
إن التخثير والترشيح يمكن أن يزيل نسبة (50%) منه.	الزرنخ
إن التبادل الأيوني عبر سرير تبادل من الألومينا المنشطة يمكن أن ينقص تركيز الزرنخ إلى مستوى مقبول.	
يمكن أن يترسب الفلورايد مع المنغنيزيوم أثناء عمليات إزالة القساوة بإضافة الكلس. عمليات التبادل الأيوني.	الفلورايد
يقترح لإزالة النويدات المشعة عمليات خاصة للتبادل الأيوني ، وتخثير و ترشيح ينفذان بدقة، مع امتزاز بواسطة الكربون المنشط.	النشاط الإشعاعي

تتواجد هذه المواد على سطوح الندف أثناء عملية التخثير، كما تتواجد على سطوح حبيبات الكربون المنشط.	كميات قليلة من المواد العضوية أو البترول أو مبيدات الاعشاب أو مبيدات الحشرات.
--	---

### 5.3.I. معالجة المياه:

تختلف معالجة المياه على حسب مصادرها ودرجة تلوثها و نذكر من بينها ما يلي:

#### ✓ معالجة المياه الجوفية:

قد يكون من الضروري و المطلوب معالجة المياه الجوفية إما لإزالة الملوثات السامة أو لتحسين النوعية الإجمالية. و التهوية هي الخطوة الأولى الشائعة في معالجة المياه الجوفية وذلك لنزع الغازات المنحلة ولإضافة الاكسجين. و تستخدم عملية التبادل الأيوني بهدف إزالة الملوثات المؤينة، و يمكن للكلورة أن تعقم المياه الجوفية وتوفر وقاية متبقية. [19]

#### ✓ معالجة المياه السطحية :

المعالجة الرئيسية في معالجة المياه السطحية هي تنقية كيميائية عبر التخثير، والترسيب، والترشيح و يعتمد نوع المواد الكيميائية المحددة المستخدمة في التخثير لإزالة العكارة على طبيعة المياه و على الإعتبارات الإقتصادية. إن المادة الكيميائية الشائعة الاستخدام للقيام بهذا الدور هي البوليميرات التركيبية. كما يستخدم الكربون المنشط لإزالة المواد المسببة للطعم و الرائحة، بينما يعتبر الكلور و الفلور مادتين كيميائيتين لما بعد المعالجة. و قد تستخدم الكلورة لتعقيم المياه الخام على ألا يتسبب ذلك بتشكيل مواد تعقيم جانبية. [19]

#### ✓ معالجة مياه الشرب:

هي مياه أجريت عليها عمليات المعالجة التي تتوقف على درجة تلوث مصدر المياه وذلك بعرض حماية المستهلك من كل ما يضر بصحته. تشمل هذه العمليات: تجميع المياه و تطهيرها أولاً، عمليات الترسيب، عملية الترشيح، عملية التطهير النهائي و عمليات خفض نسبة الاملاح (التحلية). [22]

#### ✓ معالجة مياه الصرف الصحي:

تتضمن معالجة مياه الصرف الصحي مجموعة من العمليات الطبيعية و الكيميائية و الحيوية حيث تتم إزالة المواد الصلبة و العضوية و الكائنات الدقيقة أو تقليلها إلى درجة مقبولة و قد يشمل ذلك إزالة بعض العناصر ذات التراكيز مثل الفسفور و النتروجين في تلك المياه، و يمكن تقسيم تلك العمليات إلى: معالجة

تمهيدية، معالجة أولية، معالجة ثانوية و معالجة متقدمة. وتأتي عملية التطهير للقضاء على الأحياء الدقيقة في نهاية مراحل المعالجة. [23]

#### ✓ معالجة مياه البحر:

تجري عمليات معالجة المياه البحر لإزالة الملوحة بواسطة طرق مختلفة، و الطريقة الأكثر شيوعا لإزالة الملح من مياه البحر والتي ظلت مستخدمة لعدة قرون هي تغلية المياه ثم تكثيفها على أسطح باردة كما أن الإنسان استعمال طريقة التبخير و التي تعتبر وسيلة للحصول على مياه الشرب. [24]

### 4.I. مياه الشرب:

هي المياه التي ليس لها لون أو طعم أو رائحة والتي تحتوي على العناصر المعدنية بنسب معينة وبدون وجود هذه العناصر أو وجودها بنسب عالية لا تعتبر المياه صالحة للشرب. كما يجب أن لا تحتوي على عناصر مشعة وكذلك يجب أن تكون خالية من أي كائنات حية مسببة للأمراض. [25]

#### 1.4.I. مكونات مياه الشرب:

تحتوي مياه الشرب على العديد من العناصر وتشمل العناصر الطبيعية – الأيونات العامة وتشمل أيونات موجبة (Cations) وأيونات سالبة (Anions) – بالإضافة إلى العناصر النادرة والثقيلة والتي يجب قياسها لتحديد صلاحية المياه لشرب من عدمه وتحديد طرق معالجتها. [25]

#### 2.4.I. استخدامات مياه الشرب:

- الاستخدام المنزلي كغسل الفواكه والخضروات، تنظيف الأواني، إعداد الطعام و الشرب و تنظيف الملابس و غيرها من الأعمال المنزلية.
- استخدام مياه الشرب في المشروبات الغازية.
- استخدامه في بعض من المجالات الصناعية و الطاقة. [26]

#### 3.4.I. خصائص مياه الشرب:

إن نوعية المياه الشرب تتعلق بعدة معايير فيزيائية و كيميائية التي تحدد بدورها الخصائص الظاهرية المتنوعة للمياه والتي سرعان ما تلاحظ من طرف المستهلك و تكون المقاييس كالتالي: الطعم و الرائحة والتعكر والقساوة والاكسجين و ثاني أكسيد الكربون ودليل الهيدروجين (pH) و تركيز المواد المعدنية المنحلة على الشكل الشاردي. [27]

### 1.3.4.I. خصائص فيزيائية:

يتم بها تحديد القيم القصوى المسموح بها للخواص الطبيعية للماء مثل: اللون، و الطعم، و الرائحة، و درجة الحرارة، و نسبة المواد العالقة، ودرجة التوصيل الكهربائي، و الكثافة، و لكل من هذه الخواص أثاره البيئية على الفرد و ممتلكاته و تختلف أضرارها باختلاف مصادرها و مكوناتها. وربما كان لها أثر كبير على صحة الفرد على المدى الطويل.[28]

#### • الرائحة والطعم و اللون:

المياه الشرب مستساغة طعم وبلا رائحة ولا لون، ولكن ذوبان الغازات (جدول (3-I)) و إنحلال بعض الأملاح المعدنية ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) يكسبها طعمًا.[29]

الجدول (3-I): ذوبانية الغازات في المياه بدلالة درجة الحرارة.

30	25	20	15	10	0	T(C°) الغازات
7.4	8.1	8.8	9.7	10.8	13.9	O <sub>2</sub>
13.4	14.3	15.4	16.8	18.6	23.5	N <sub>2</sub>
-	-	0.53	0.59	0.70	1.06	CO <sub>2</sub>

#### • عكارة المياه :

هي تدل على إعاقة المواد العالقة لمرور الضوء خلال المياه وتتوقف درجة العكارة (NTU) على كمية المواد العالقة، ونوعها، و دقة حبيباتها وهي غير ثابتة،[27] وهذه المواد قد تكون بكتيريا أو رمل أو غيرها.[30] حيث تتغير درجة العكارة بتغير الزمن وتحدد كمية المواد العالقة بطريقة كهروضوئية مقارنة مع الماء المقطر(الشفاف).[27]

#### • قساوة المياه:

تنتج القساوة من كاتيونات معدنية متعددة التكافؤ، و أكثر الكاتيونات وفرة في الماء الطبيعة الكالسيوم ( $\text{Ca}^{2+}$ ) والمغنيزيوم ( $\text{Mg}^{2+}$ ). وبالرغم من أنها لا ضير من وجودها في الماء المخصصة للاستهلاك البشري إلا أنهما ترسبان الصابون و تخفضان فعله التنظيفي، و يسببان بتشكيل قشور من ( $\text{CaCO}_3, \text{Mg(OH)}_2$ ) في الخزانات الرئيسة لتوزيع الماء و في سخانات الماء الحار.[19] ويمكن تقسيم

قساوة الماء إلى قساوة مؤقتة (قساوة كربونية) و قساوة دائمة (قساوة غير كربونية). حيث تحتوي القساوة المؤقتة على بيكربونات الكالسيوم وكربونات وبيكربونات المغنيزيوم. أما القساوة الدائمة فتحتوي على كبريتات وكلوريد كل من الكالسيوم والمغنيزيوم. [21]

الجدول (4-I): أهم الأيونات الموجبة و السالبة المسببة لقساوة الماء.

الشوارد الموجبة	الشوارد السالبة
كالسيوم $Ca^{2+}$	بيكربونات $HCO_3^-$
حديد $Fe^{2+}$	نترات $NO_3^-$
مغنيزيوم $Mg^{2+}$	كبريتات $SO_4^{2-}$
منغنيز $Mn^{2+}$	كلوريد $Cl^-$
استرونسيوم $Sr^{2+}$	سيلكات $SiO_3^-$

#### 2.3.4.I. الخصائص الفيزيوكيميائية:

وهذه يتم بها تحديد أنواع و درجات تركيز المواد الكيميائية المسموح بها لتحديد أثارها السلبية على الفرد، و كمية ما استهلكه من المياه، و المواصفات الكيميائية منها: الرقم الهيدروجيني، ودرجة القلوية و الحمضية للماء، و كمية الأكسجين المذاب، و نسبة النتروجين والكلوريد و المعادن الثقيلة و المواد العضوية و غير عضوية. حيث لا بد من تحديد الأثار الضارة ودرجة سمية كل عنصر على حده و لعدة عناصر متباينة عندما يتم أخذها عن طريق مصدر معين. [28]

#### • دليل الهيدروجين الـ pH:

إن وجد الهيدروجين في الماء يجعله حامضياً و يمكن أن تقاس حامضية الماء بصورة تقريبية باستعمال دلائل الكواشف الورقية الملونة أو استعمال الـ pH – متر حيث أن الـ pH الماء الطبيعي يتراوح ما بين 6.3 و 9.5. إن دليل الهيدروجين للمياه الطبيعية مهم للغاية وهو الذي يقدر قابلية الذوبان و الصيغة الكيميائية لمعظم المواد، فكلما كان الـ pH الماء عالياً قل تركيز المعادن في الماء. [27]

#### • الناقلية الكهربائية:

يعتبر الماء المقطر من النواقل الضعيفة جداً لإحتوائه على تراكيز خفيفة من الأملاح المتشردة و بالتالي فجميعها تشارك بالناقلية الكهربائية للماء و تنتج الناقلية العالية عن إرتفاع نسبة الملوحة بسبب فعل

طبيعي أو صرف مياه الصرف المقذوفة بالوسط المائي و تصف المنظمة العالمية للصحة المياه الصالحة للشرب بدلالة الناقلية الكهربائية كما يلي :

- مياه ممتازة  $50 - 400 \mu\text{S}/\text{cm}$
- مياه جيدة  $400 - 750 \mu\text{S}/\text{cm}$
- مياه متوسطة  $700 - 1500 \mu\text{S}/\text{cm}$
- مياه معدنية عالية  $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$  [27].

• معيار القلوية الكلية (TAC):

تقاس بواسطة مجموع الكربونات  $\text{CO}_3^{2-}$  و الهيدروكسيدات  $\text{OH}^-$  والبيكربونات  $\text{HCO}_3^-$ ، و يعبر عن TAC بمعيار القلوية الكلية. [27]

• البقايا العالقة:

تحتوي المياه الطبيعية على مواد عالقة ناتجة عن التآكل الطبيعي للمجرى المائي و عن تحلل المواد العضوية ذات الأصل النباتي أو المياه السطحية المارة في المناطق الأهلة بالسكان بأنها تحمل مواد معلقة إضافية ناتجة عن الفضلات الحضرية أو الصناعية، تعتبر نسبة  $30 \text{ g}/\text{l}$  من المواد العالقة طبيعية في المياه السطحية، بينما إذا تجاوزت  $70 \text{ g}/\text{l}$  فإن الماء يصبح ملوثاً. [27]

3.3.4.I الخصائص الكيميائية:

1. العناصر الأساسية :

• الصوديوم ( $\text{Na}^+$ ):

تشكل شوارد الصوديوم نسبة 2.83 % من تركيز القشرة الأرضية و تمتاز بدرجة إنحلالية عالية في الماء، لذا فهو يتواجد في جميع أنواع المياه السطحية و الجوفية بشكل طبيعي بالإضافة إلى وجوده بصفة أكبر في مياه الشرب حيث يؤدي إلى ظهور حالات الإسهال عند الإنسان كما يجب على مرضى القلب و الكلى عدم استعمال المياه الغنية بالصوديوم، يعتبر الماء الحاوي على نسبة أقل من  $115 \text{ mg}/\text{l}$  صالح للشرب. [29]

• الكالسيوم ( $\text{Ca}^{2+}$ ):

تحتوي المياه الطبيعية على شوارد الكالسيوم بنسب مختلفة حسب نوعية الصخور و التربة التي مر بها كالصخور الجبسية ( $\text{CaSO}_4$ )، و تختلف نسبة الكالسيوم في مياه الأنهار باختلاف الصخور المكونة

لمجراها و تتراوح عموماً بين 2 mg/l و 8 mg/l علماً أنها تصل في المناطق الكلسية إلى 120 mg/l أحياناً و يعتبر الكالسيوم المكون الأساسي للعظام، و نذكر أن تركيز المسموح به في مياه الشرب هو 200mg/l. فلقد أوضحت الأبحاث أن الأمراض أوعية القلب تنتشر بنسب أكبر في المناطق التي تستهلك مياه خفيفة، كما تعتبر المياه التي تراكيزها أعلى من 70 mg/l و أقل من 5 mg/l من شوارد الكالسيوم غير جيدة لنمو و تكاثر النباتات و الحيوانات المائية. [27]

#### • المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ):

كما بالنسبة للكالسيوم، يرجع وجود المغنيزيوم في المياه إلى انحلال الصخور الكربونية المشكلة للمجرى المائي، غير أن تركيزه عادة أقل من تركيز الكالسيوم، و قد حدد التركيز المسموح به حسب معايير المنظمة العالمية للصحة (OMS) في مياه الشرب بـ 150 mg/l كحد أقصى. [27]

#### • البوتاسيوم ( $K^+$ ):

يتواجد البوتاسيوم في جميع أنواع المياه الطبيعية، و ذلك لكونه من أهم تركيبة القشرة الأرضية فهو يمثل نسبة 2.59%. إلا أنه و للتذكير فإن نسبته في المياه السطحية أقل من نسبة الصوديوم و قد يعود ذلك إلى تخزينه في التربة بشكل جيد. التركيز المسموح به في المياه الشرب حسب النظام الأوروبي (CE) هو 12 mg/l. [29]

#### • الكلور ( $Cl^-$ ):

يتواجد عنصر الكلور في جميع أنواع المياه الطبيعية و لكن بتركيز متفاوتة. يقدر التركيز المسموح به حسب (OMS) في مياه الشرب بـ 200mg/l. [29]

#### 2. العناصر غير مرغوب فيها :

هذه العناصر إن وجدت يجب أن تكون بتركيز ضعيفة جداً، و تواجدها في مياه الشرب مؤشر على التلوث من أهمها نذكر:

#### • الفلورايد ( $F^-$ ):

يتواجد عنصر الفلورايد أو الفلور في المياه و خاصة المياه الجوفية و ذلك عن طريق إذابة الصخور الرسوبية، يعتبر الفلور من العناصر المطلوبة و الضرورية لجسم الإنسان، ولكن زيادة الفلور في المياه بشكل كبير عن الحد المسموح به ينعكس بصوره سلبية جداً على صحة الإنسان و الحيوان. و يؤدي إلى وجود طبقة

لونية وتبقع و تشقق ميناء السن وترسبات في العظام وكذلك إلى تسمم الهيكل العظمي وتشوهات خلقية بالعظام، إذا ارتفع تركيزه في المياه على 1.5 mg/l [31].

#### • الحديد ( $Fe^{2+}$ ):

يرجع تواجد الحديد في الماء إلى انحلال المركبات الحديدية المكونة للتربة. في الشروط العادية للمياه السطحية يكون الحديد على شكل  $Fe^{2+}$ ، غير أن خاصيته السريعة للتأكسد فقد يتحول إلى  $Fe^{3+}$  و يترسب على شكل هيدروكسيد الحديد  $Fe(OH)_3$ ، للعلم أن تأثير الحديد على الأسماك يختلف باختلاف درجة الـpH، ففي الوسط القلوي يتشكل هيدروكسيد الحديد و يترسب على غلاصم الأسماك، بينما في الوسط الحمضي فإن السمية تحدث من شوارد الحديد. إما بالنسبة للإنسان فإن الحديد يعتبر عنصر ضروريًا لبناء الجسم و عليه يجب إستهلاك ما بين 1 و 2 mg يوميًا. [29]

#### • المنغنيز ( $Mn^{2+}$ ):

تحتوي المياه الطبيعية على أملاح المنغنيز نتيجة انحلال الصخور. و من التطور البيئي يعتبر المنغنيز عنصر سام للأسماك عند التركيز 1200 mg/l من مركب  $MnCl_2$  أو كبريتات المنغنيز (2400mg/l). أما البرمنغنات رغم سموميتها العالية جدًا لكنها من حسن الحظ فهي غير ثابتة في الوسط المائي حيث يكفي ما بين 2.2 و 4.1 mg/l للقضاء على الأسماك. [29]

#### • الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ ):

يعتبر الفوسفات مادة مغذية للنبات، غير أن ارتفاع نسبته إلى أكثر من 60 mg/l يؤدي إلى تغير في بنية بعض النباتات، أما ارتفاع نسبته في مياه الشرب فيؤدي إلى حالة تقيئ و إسهال عند الانسان. والمصدر الطبيعي للفوسفات ناتج عن تفكك المواد الحية، ذوبان الأملاح الفوسفاتية، الأسمدة، المنظفات، الصناعات الكيميائية. يتواجد الفوسفات في الماء بأشكال مختلفة تبعًا لدرجة الـpH. و المياه الطبيعية تحتوي على شوارد الفوسفات أحادية و ثنائية الهيدروجين ( $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ ). [27]

#### • النترات ( $NO_3^-$ ):

من أهم مصادرها تحلل المواد العضوية و مياه الصرف الزراعي و الصحي. و إن للنترات أعراض خطيرة على صحة الأطفال الرضع، حيث إستهلاك المياه ذات تركيز أعلى من 46 mg/l يسبب إختناق نتيجة تحول النترات إلى نترت داخل الجهاز الهضمي. [29]

• النترت ( $NO_2^-$ ):

تمثل شوارد النترت مرحلة إنتقالية بين النترات و شوارد الأمينيوم ( $NH_4^+$ ) ضمن عملية الأكسدة و الإرجاع. بينما يعتبر تواجد  $NO_2^-$  في المياه السطحية مضر بالأسماك إذ 50 mg/l منه تكفي لموت الأسماك خلال 15 يوما في مياه الشرب فتواجهه بسبب حالة إنخفاض الضغط عند الكبار و نقص الأكسجين في الدم عند الاطفال الرضع.[27]

3. العناصر السامة:

وجودها في الماء ضار بالصحة، لذا يجب الحرص على أن لا تزيد نسبتها على القيم المبينة في الجدول (5. I) و إن أمكن إنعدامها. من بين هذه العناصر نذكر:

• الرصاص ( $Pb^{2+}$ ):

الرصاص مادة سامة بالنسبة للإنسان حيث أن إستهلاك 1mg يوميًا لفترة طويلة يؤدي إلى الموت المفاجئ، وقد حددت نسبته حسب المنظمة العالمية للصحة (OMS) بـ 0.1 mg/l. بالإضافة إلى مركبات الذبال المنحلة، تعتبر التربة المصدر الطبيعي للرصاص في المياه السطحية، إلا أن المصدر الأساسي للرصاص يرجع إلى مياه الصرف الصناعي (صناعة المتفجرات، صناعة الأصبغة).[29]

• الكروم ( $Cr^{2+}$ ):

إن تواجد الكروم في المياه السطحية راجع نتيجة النفايات الصناعية. تختلف صيغ الكروم المياه باختلاف مصادرها، فهناك الشوارد البسيطة ( $Cr^{3+}$ ,  $Cr^{6+}$ ) و الشوارد المعقدة ( $Cr_2O_7^{2-}$ ,  $CrO_3^{3-}$ ,  $CrO_4^{2-}$ ,  $CrO_2^-$ ) و نظرا لسموميته فقد حدد تركيزه بـ 0.50 mg/l.[27]

• الكاديوم ( $Cd^{2+}$ ):

تواجد الكاديوم في المياه السطحية راجع إلى فضلات المصانع (التعدين، الأصبغة...). و للكاديوم تأثير على الحيوانات المائية و الإنسان حيث تكفي جرعة 0.4 g لقتل الإنسان.[27][29]

5.I. تراكيز العناصر المسموح بها في مياه الشرب:

لكي يمكن اعتبار المياه صالحة للشرب و للاستعمال يجب أن تكون مكوناتها بتراكيز معينه و مضبوط لأن الزيادة للبعض العناصر يؤدي إلى خطر على حياة الفرد لذلك وضعت تراكيز المسموح بها في مياه الشرب الجدول (5-I).

الجدول (5-I): تراكيز مسموح بها في مياه الشرب. [27][29]

الخاصة أو العنصر	الوحدات المستعملة	النظام العالمي OMS	النظام الأوروبي CEE	النظام الجزائري (معايير الجزائرية)
الدليل الهيدروجيني	pH	7 - 8.5	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5
الناقلية	μS/cm	-	1250	-
القساوة	F°	50	10 - 35	35
الكالسيوم Ca <sup>2+</sup>	mg/l	200	100	75 - 200
المنغنيز Mg <sup>2+</sup>		150	50	50 - 150
الصوديوم Na <sup>+</sup>		-	100	20 - 100
البوتاسيوم K <sup>+</sup>		-	12	10 - 12
الالمنيوم Al <sup>3+</sup>		-	0.2	0.2 - 0.05
الكبريتات SO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>		200	250	-
الكلور Cl <sup>-</sup>		200	200	200 - 600
النترات NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>		44	50	10 - 45
النترت NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>		-	0.1	0.1
الامينيوم NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		-	0.5	0.5 - 0.05
الفضة Ag <sup>2+</sup>		-	0.01	-
البروم Ba <sup>2+</sup>		-	0.1	-
الكروم Cr <sup>2+</sup>		-	0.05	-
النحاس Cu <sup>2+</sup>		0.05	0.05	-
الفلور F <sup>-</sup>		1.5	1.5	1.2
الحديد Fe <sup>2+</sup>		0.1	0.3	-

-	0.001	0.001		<b>Hg<sup>2+</sup></b> الزئبق
1	2	-		<b>Po<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> الفوسفات
-	0.005	0.1		<b>Pb<sup>2+</sup></b> الرصاص
-	2	5		<b>Zn<sup>3+</sup></b> الزنك
0.01 - 0.2	0.05	0.05		<b>Mn<sup>2+</sup></b> المنغنيز
-	0.005	0.01		<b>Cd<sup>2+</sup></b> الكاديوم

## 1.II. التبادل الأيوني:

إن عملية التبادل الأيوني عبارة عن تفاعل كيميائي عكوس [32]، ولكي تتم هذه العملية ينبغي أن يتم تأيين الأملاح لتنفصل إلى كاتيونات موجبة أو أنيونات سالبة [19]، ليتم من خلالها تبادل الأيونات الحرة في المحلول المائي مع أيونات حرة مكافئة مرتبطة بمادة صلبة (مبادل أيوني) لها القدرة على القيام بهذا التبادل [33] بدون إحداث تغييرات في بنيتها.

إن التبادل الأيوني يؤدي إلى تغير في تركيب الأيونات عما كانت عليه قبل المعالجة، مع بقاء العدد الكلي للمكافئات الأيونية دون تغيير. [34] وفي المحصلة فالعملية هي عملية مبادلة أيونية (Ion exchange) بين الطرفين. [33]

حيث يسمى التبادل الأيوني بالتبادل الحامضي ويحدث عندما يستبدل أيون موجب ذائب في المحلول المائي مع ذرة موجبة في المادة الصلبة. ويسمى بالتبادل القاعدي عند إستبدال أيون سالب ذائب في المحلول المائي مع ذرة سالبة في المادة الصلبة. [33]

## 2.II. المبادلات الأيونية:

المبادلات الأيونية عبارة عن أجسام حبيبية تكون بشكل كريات صغيرة تتراوح أقطارها بين (0.3 و 1.2 mm) غير ذوابة بالماء ولا في العديد من المذيبات العضوية [19]، تحمل في بنيتها الجزيئية جذورا وظيفية قد تكون كاتيونية أو أنيونية قابلة للتبادل مع الأيونات الموجبة أو السالبة في المحلول، دون حدوث تغير ظاهري في صفاتها الفيزيائية. [33]

## 3.II. تصنيف المبادلات الأيونية:

يوجد نوعين أساسيين من المبادلات الأيونية وهي عضوية وغير عضوية.

### 1.3.II. المبادلات الأيونية غير عضوية:

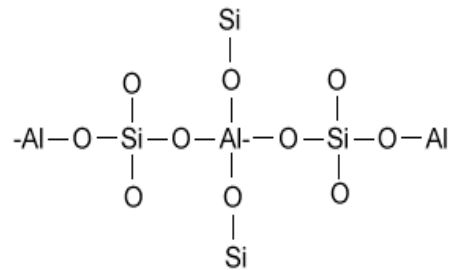
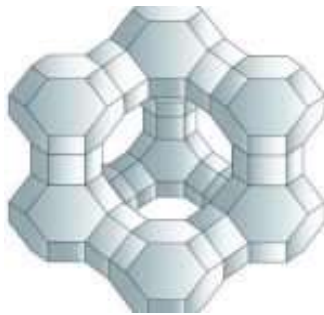
#### 1.1.3.II. الزيولايتات (Zéolites):

و هي نوع من الثروات الطبيعية المفيدة و الهامة و هي عبارة عن غضار طبيعي يحتوى على مجموعة من العناصر الكيميائية حيث تكون "سيليكات الألمنيوم" مكوناً أساساً فيها وكذلك من المعادن القلوية والمعادن الأرض القلوية، وهي أجسام صلبة تستعمل على شكل مسحوق أبيض ويمكن أن يتغير اللون إذا إستبدل الأيون بأحد العناصر الإنتقالية. [35]



الشكل(II-1): صورة لمبادل أيوني غير عضوي.

و على المستوى البنوي ينتمي الزيوليت إلى عائلة المجسمات الرباعية الوجوه ذات البنية ثلاثية الإبعاد و تشكل صفائح متماثلة وخاصة بكل نوع من الزيوليتات. و تحتوي هذه المجسمات الرباعية الوجوه في مركزها على ذرات الألمنيوم، كما يحمل كل رباعي أربعة ذرات أكسجين على غرار باقي المجسمات الرباعية الأوجه، يحمل كل رباعي شحنة سالبة إضافية. إن رباعيات الأوجه تترتب في الفضاء فتشكل تجاويف صغيرة وكبيرة ترتبط مع بعضها البعض بقنوات ضيقة تسمى النوافذ أو المسامات التي تنفذ من خلالها الجزيئات الخارجية، وهذا ما يفسر خاصية التبادل الأيوني.[36]



الشكل(II-2): الصيغة الكيميائية والبنية الهيكلية للمبادل غير العضوي (الزيوليت).

### II.2.1.3. أنواع المبادلات الأيونية غير عضوية:

- أنواع طبيعية: وتتواجد الزيوليتات عادة في الحجارة البازلتية و في الرواسب على عدة أشكال و التي تبلورت وتكونت عبر العصور الغابرة تحت تأثير المياه المعدنية الساخنة. و هنالك أكثر من 40 نوع معروف في الطبيعة.[35]



الشكل (II-3): صورة لزيوليت طبيعي.

- أنواع صناعية: نظرا لندرة الزيوليتات الطبيعية لجأ العلماء إلى محاولة صنع زيوليت له نفس خواص الزيوليت الطبيعي حيث يوجد 150 نوع من الزيوليتات الإصطناعية، وهي الأكثر استعمالا في الصناعة، منها ما له نظير في الزيوليتات الطبيعية، وهناك بعض منها بدون بنية هيكلية كاملة. من المواد الرئيسية التي تدخل في صناعة الزيوليت السيليكا أو أكسيد الألمنيوم. [36]



الشكل (II-4): صورة لزيوليت صناعي.

## II.2.3. المبادلات الأيونية العضوية:

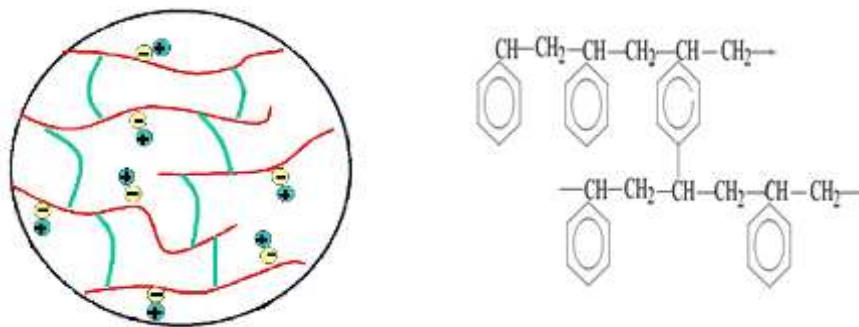
### II.1.2.3. الراتنجات ( Resin ):

و هي عبارة عن بوليمرات قادرة على تبادل الأيونات معينة داخل البوليمر مع الأيونات في المحلول الذي تم تمريره من خلالهم. وينظر إلى هذه القدرة أيضا في النظم الطبيعية المختلفة مثل التربة والخلايا الحية. وتستخدم الراتنجات الإصطناعية في المقام الأول لتنقية المياه، ولكن أيضا لمختلف التطبيقات الأخرى بما في ذلك فصل بعض العناصر. [37]



الشكل(II-5): صورة لمبادل أيوني عضوي (الراتنجات).

تتكون الراتنجات من شبكة ثلاثية الأبعاد من البوليمرات ذات لون أبيض إلى أصفر اللون و تعتبر البوليمرات الإصطناعية حبات صغيرة الحجم. و هي لها قابلية على الإنتفاخ في السائل وذات مسامات و تحتوي على مجاميع شحنة ثابتة و مرتبطة بمجاميع شحنة معاكسته قابلة للإستبدال مع أيونات مشابهة في المحلول.[38]



الشكل(II-6): الصيغة الكيميائية والبنية الهيكلية للمبادل العضوي (الراتنجات).

### II.2.2.3. أنواع المبادلات الأيونية العضوية:

تصنف المبادلات الأيونية العضوية ضمن صنفين أساسيين:

#### ❖ المبادلات الأيونية الموجبة (Echangeurs Cationiques):

و التي بدورها تقسم إلى قسمين:

- **شديدة الحموضة:** حيث تكون مراكزها الفعالة على شكل  $(H^+)$  الضعيفة الارتباط. و التي يمكن إستبدالها بأي أيون موجبة أخرى تبعاً لقانون الألفة.
- **ضعيفة الحموضة:** لا تستقطب إلا الأيونات الحامضية الضعيفة مثل  $(-COOH)$ ، وتسمى بالمبادلات المزيلة للبيكربونات.[34]

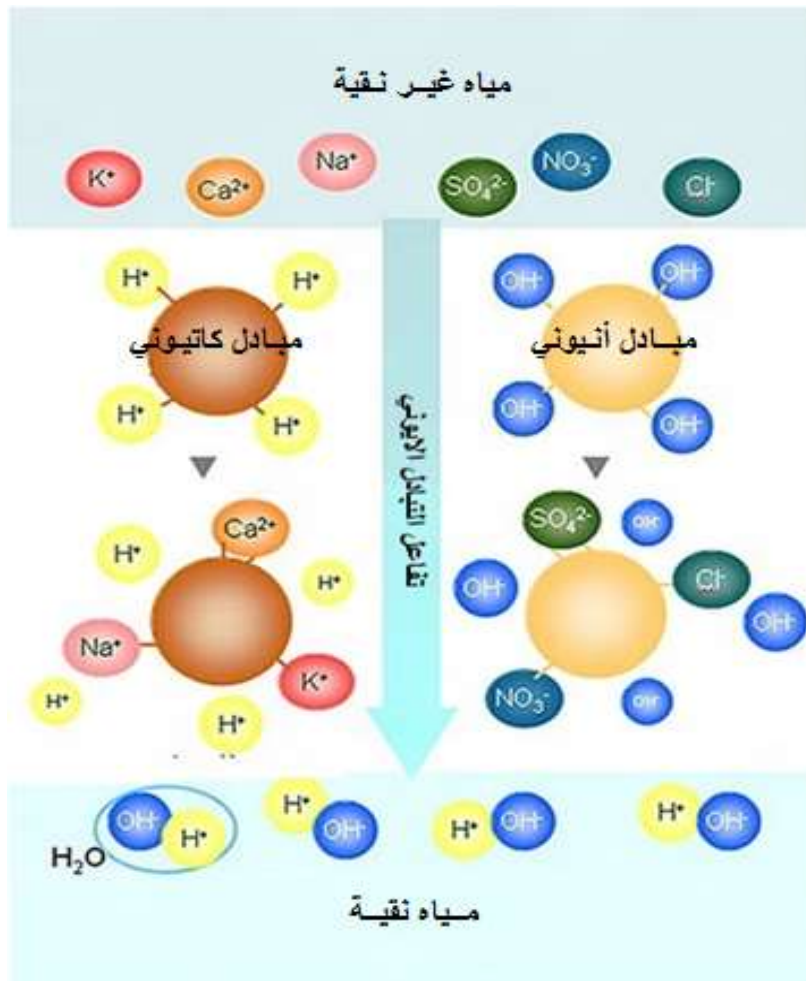
❖ المبادلات الأيونية السالبة (Echangeurs Anioniques):

وتنقسم بدورها إلى:

- قاعدية القوية: إن تلك المبادلات تتمتع بالوظيفة الهيدروكسيلية (-OH) أو الكلورية (-Cl) وذلك تبعاً لمحلول التنشيط ( NaCl ، NaOH ).
- القاعدية الضعيفة: هذا النوع من المبادلات لا يثبت إلا الأيونات السالبة القادمة من الحموض الضعيفة فقط و تكون عادة الوظيفة الفعالة فيه عبارة عن الجذر (-NH<sub>2</sub>). [34].

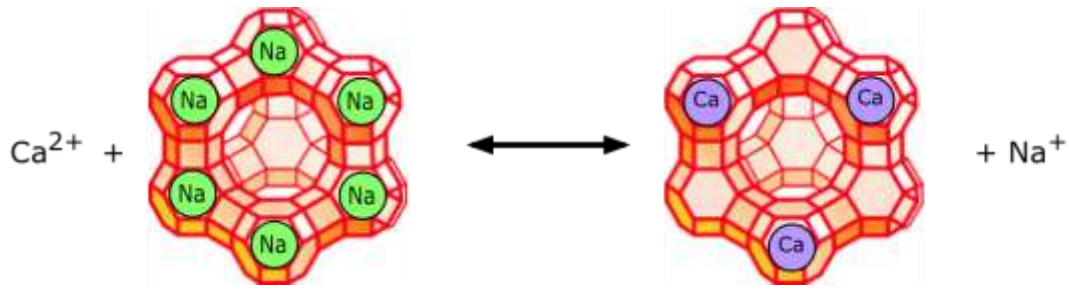
4.II. آلية عمل المبادلات الأيونية:

إن مبدأ عمل المبادلات العضوية و غير العضوية يتشابه على حد سواء حيث أن التبادل الأيوني هو عبارة عن العملية التي يمكننا من إزالة الأيونات الحرة غير المرغوب فيها في محلول ما وإستبدالها بأيونات المتواجدة على مستوى المجموعة الوظيفية في تركيبة المبادل وتكون مكافئة لها في الشحنة. و عليه فعندما تكون مجموعات وظيفية مشحونة سلبيًا، ينطوي التبادل على الكاتيونات فقط وعندما تكون إيجابية أنها تنطوي على الأنيونات فقط. [39]



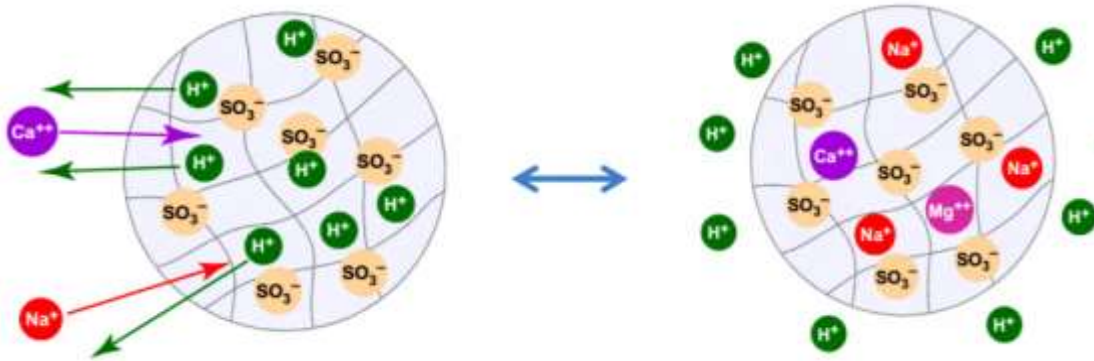
الشكل (II-7): آلية عمل التبادل الأيوني في المياه.

أما بصفة خاصة فالتبادل الأيوني على مستوى الزيوليتات فيتم كما يلي الشكل (8-II):



الشكل (8-II): آلية عمل المبادلات غير العضوية (الزيوليت).

ويتم كما يلي بالنسبة للراتنجات الشكل (9-II):

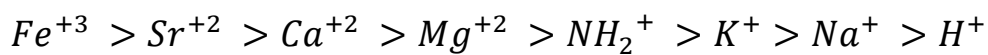


الشكل (9-II): آلية عمل المبادلات العضوية (الراتنجات). [40]

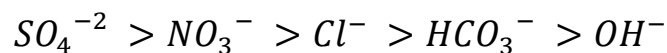
## 5.II. خواص المبادلات الأيونية:

### 1.5.II. سعة المبادلات الأيونية:

تعرف سعة المبادل بعدد المكافئات الغرامية التي تتم مبادلتها من قبل كيلوغرام واحد من المبادل، هذه السعة محدودة بعدد الوظائف أو المراكز النشيطة (Sites Actifs) الموجودة في وحدة الكتلة. أما الألفة التبادلية فإنها بشكل عام تزداد بإزدياد حجم وشحنة الأيونات، فمن أجل اللدائن العضوية (Résines) الشديدة الحموضة يمكن وضع التصنيف التالي لتزايد الألفة: [34]



وبنفس الطريقة للمبادلات الأيونية القاعدية القوية:



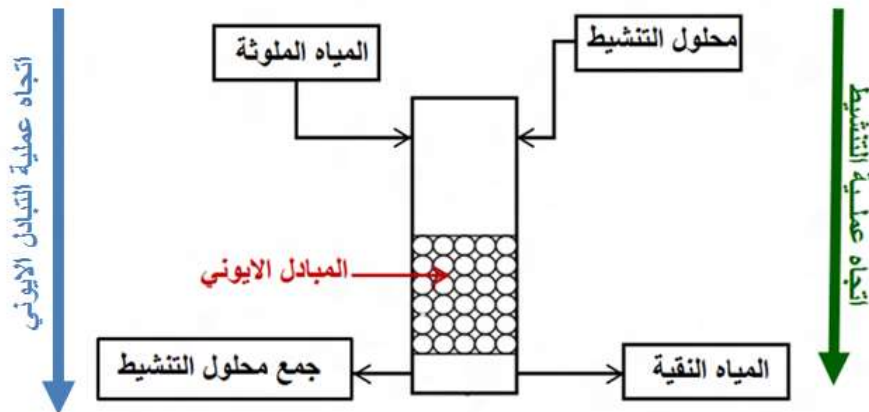
من جهة أخرى فإن سعة المُبادلات بالنسبة لأيون معين تتناسب مع تركيز الأيون في المحلول. فإذا وضع المبادل الأيوني في وسط ذو تركيز عالي من أيونات الصوديوم، فإن تلك الأيونات تقوم بطرد الأيونات المثبتة على المبادل إستناداً على مبدأ التركيز و تحل محلها، وهذه الخاصة تستعمل من أجل تنشيط المُبادلات الأيونية. ولكن إذا وضعت تلك المُبادلات المنشط في وسط من أيونات الكالسيوم مثلاً، فإن تلك الأخيرة تطرد أيونات الصوديوم من المبادل و تحل محلها اعتماداً على مبدأ الألفة. [34]

## II.2.5. تنشيط المُبادلات الأيونية:

إن عملية التبادل لإزالة الأيونات الغير مرغوب فيها تؤدي بطبيعة الحال إلى أن تنتشع الطبقات العليا منه بهذه الأيونات ومع مرور الوقت تنخفض كفاءة المبادل إلى الحد الذي يصبح فيه غير قادر على عملية التبادل الأيوني حيث يحدث تراكم على مستوى تركيبة المبادل فتصبح في حالة توازن مع تلك الموجودة في المحلول [32]. مما يتطلب إعادة تنشيطه ويقصد بهذه العملية إزالة الأيونات المتراكمة على مستوى المبادل وإستبدالها بأخرى [33]. فمثلاً إذا كان لدينا مبادل كاتيوني  $H^+$  فإنه يحتوي على أيونات  $M^+$  بعد استعماله لذلك يجب إعادته إلى شكله  $H^+$  وذلك بإمرار محلول مركز ليبدل أيونات  $M^+$  بأيونات  $H^+$  وبذلك يمكن استخدامه عدة مرات [41]. و تتم العملية بإتجاه مطابق لعملية التبادل أو بإتجاه عكسي لها.

### ❖ التنشيط بإتجاه موافق لإتجاه التبادل الأيوني:

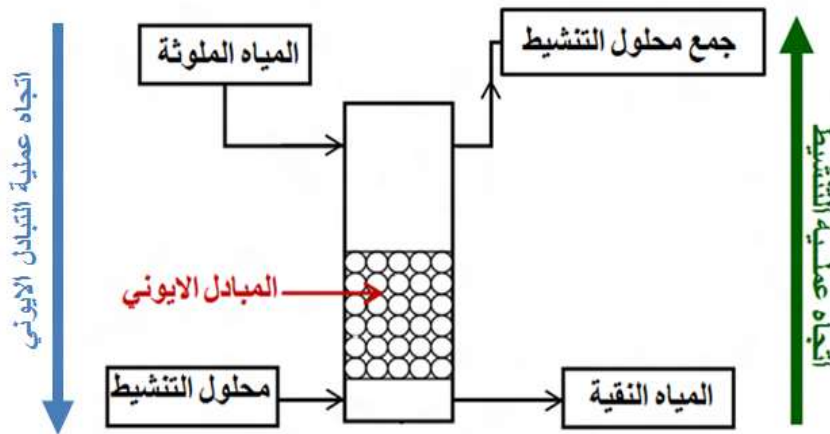
يتم التنشيط بإمرار محلول مركز والذي يعمل على إزاحة الأيونات المثبتة على المبادل حيث تنتقل مع المحلول إلى الطبقة الأدنى لتعود من جديد إلى المبادل بفعل التركيز، وهكذا تستمر العملية إلى أن تصل الأيونات المتراكمة إلى الطبقات الدنيا من العمود الحاوي على المُبادلات. بشكل عام فإن كمية من هذه الأيونات تبقى مثبتة في نهاية العمود، وذلك لأن إزالتها تماماً تتطلب كمية كبيرة من المحلول المجدد مما يجعل التكاليف باهظة. وينتج عن تجديد المُبادلات بهذه الطريقة تسرب للأيونات غير المرغوب فيها في بداية الدورة التالية الشكل (II-10). [34]



الشكل (10-II): التنشيط باتجاه موافق لإتجاه التبادل الأيوني.

❖ التنشيط باتجاه معاكس لإتجاه التبادل الأيوني:

أما في هذه الحالة فإن الأيونات المجددة تلامس الطبقات السفلى من العمود ذات التركيز الخفيف بالأيونات الملوثة، وبذلك تزيحها بسهولة حيث تنقل مع محلل المجدد الصاعد لملامسة طبقات مشبعة بتلك الأيونات، وبذلك لا تتم عملية تثبيت الأيونات المحمولة ضمن الطور السائل بل تخرج معه مباشرة. [34]



الشكل (11-II): التنشيط باتجاه معاكس لإتجاه التبادل الأيوني.

تتميز هذه الطريقة بميزتين مهمتين هما:

- تحسين في المردود مع استعمال كميات أقل من الكواشف الكيميائية.
- تحسين في نوعية الماء المعالج لأن الطبقات الدنيا من العمود قد جددت باستعمال تراكيز عالية ( منطقة دخول المحلول المجدد ) و لذلك فإنها تشكل أثناء عملية التبادل ضمانا بعدم تسرب فوري للأيونات التي أزلتها. [34]

كما تتكون حلقة التشغيل بصفة عامة لطبقة ثابتة نموذجية من الخطوات الأربعة التالية:

- حلقة تشغيل تمر فيها مياه التغذية إلى الأسفل عبر طبقة المبادل تخضع فيها إلى تفاعل التبادل.
- غسل مرتد مناسب للأعلى مع مياه ناتجة تمكن من تنشيط المبادل.
- إنسياب المياه المالحة نحو الأسفل لتنشيطها، وبالتالي لتزيج الأيونات المتبادلة من الصمغ.
- غسل مبادل التبادل الأيوني لإزالة المياه الفائضة الموجهة للصرف. [19]

### 3.5.II. تأثير درجة الحرارة على عملية التبادل الأيوني:

تعتمد قدرة المُبادلات الأيونية خلال عملية التبادل الأيوني اعتمادًا رئيسيًا على درجة حرارة الماء المعالج، و بشكل عام فإن تفاعل التبادل الأيوني يزداد تقدمًا مع زيادة درجة حرارة الماء بإستثناء مادة سيليكات التي يزداد قدرة المبادل على إزالتها مع إنخفاض الحرارة. و كقاعدة عامة يفضل ألا تزيد درجة الحرارة عن 30°C و لا تقل عن 10°C لضمان كفاءة المبادل. [33]

### 4.5.II. الإدمصاص و التبادل الأيوني:

الإدمصاص هو عملية فصل بين طورين [39] و يعرف على أنه عملية تثبيت جزيئات أو جذور أو أيونات على سطح جسم ما. و يستخدم استخدامًا واسعًا في التطبيقات الصناعية بغرض تنقية وسط ما [42]، سائل أو غاز. وهناك ثلاث أنواع للإدمصاص وذلك حسب الروابط: إدمصاص فيزيائي، كيميائي و الكترولستاتيكي. بحيث أن الإدمصاص الكترولستاتيكي يعنى بقوى التجاذب بين الأيونات والمجموعات الوظيفية المشحونة و المعروف كذلك بالتبادل الأيوني. [39]

### 6.II. استعمالات المُبادلات الأيونية:

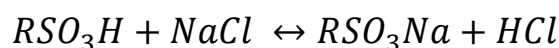
#### 1.6.II. استعمالات المُبادلات في المختبرات:

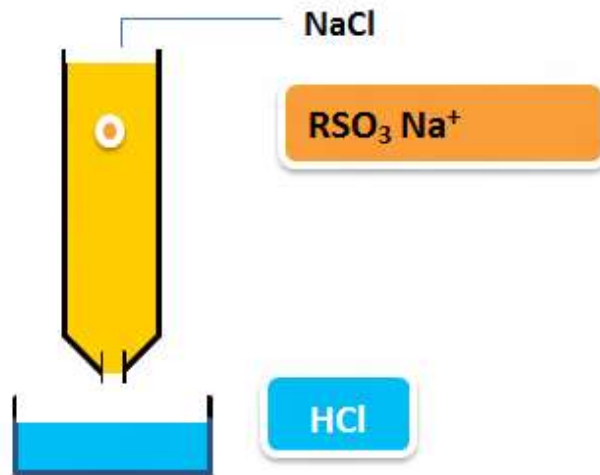
##### ❖ تقدير تركيز الأملاح البسيطة:

يوجد عدة تطبيقات لاستعمال المُبادلات الأيونية لتقدير تركيز الاملاح البسيطة وعلى سبيل المثال:

- محلول كلوريد الصوديوم NaCl .

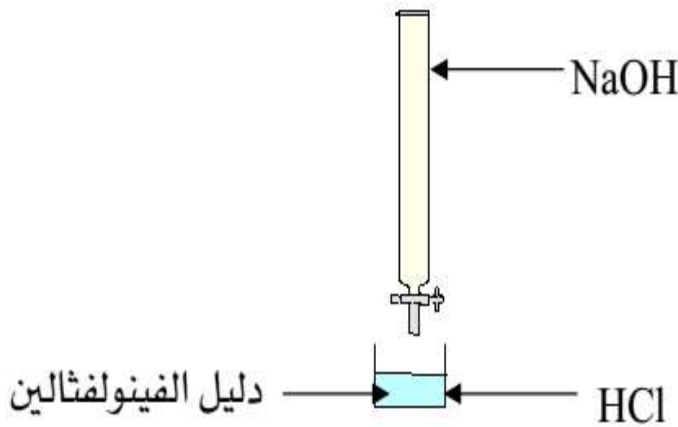
يمرر محلول كلوريد الصوديوم على مبادل كاتيوني في الشكل الهيدروجيني الشكل (II-12). [32][41]





الشكل(II-12): يوضح كيفية تقدير الاملاح البسيطة.

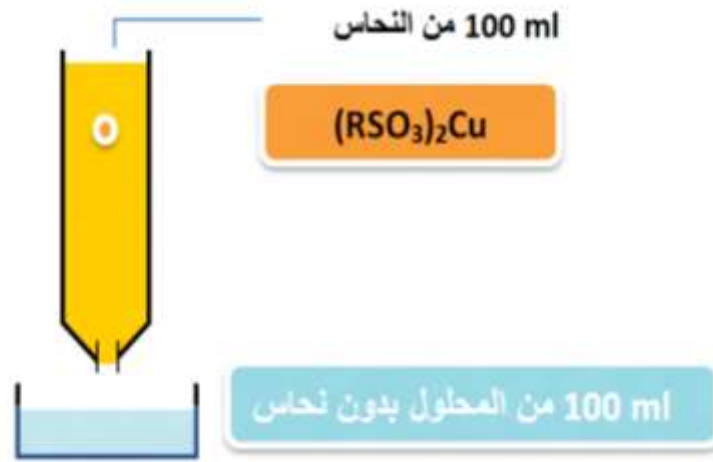
الكمية المزاحة على هيئة حمض الهيدروكلوريك تعادل كمية الصوديوم المأخوذ بواسطة المبادل وبمعايرة الـ HCl (لتحديد تركيزه) بمحلول قياسي من هيدروكسيد الصوديوم كما في الشكل (II-13) نجد أن عدد مولات الـ HCl يعادل عدد مولات كلوريد الصوديوم. [41]



الشكل(II-13): يوضح معايرة HCl.

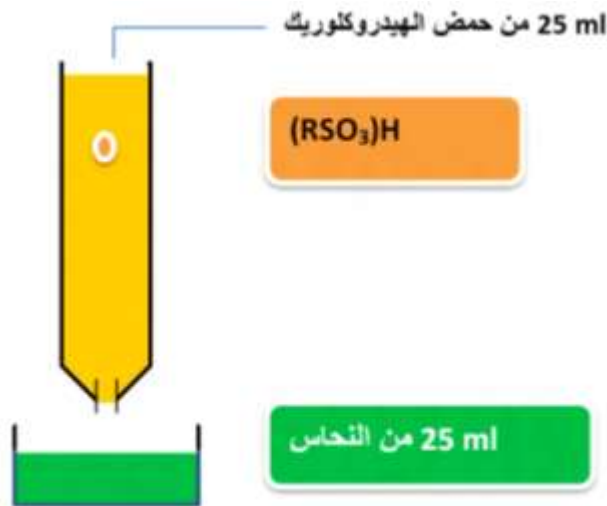
❖ إعادة تركيز المحاليل المخففة قبل التحليل:

يعتبر 0.1 جزء في المليون (ppm) من النحاس محلولاً مخففاً (منخفض التركيز) ويصعب تقديره بطرق التحليل المختلفة، لذا يمرر 100 ml من هذا المحلول خلال عمود يحتوي على مبادل كاتيوني في الشكل الهيدروجيني (RSO<sub>3</sub>H) (هذه الخطوة لجمع النحاس في العمود) الشكل(II-14). [32]



الشكل(II-14): شكل توضح خطوة جمع النحاس.

ثم يزاح النحاس من العمود بواسطة 25 ml حمض الهيدروكلوريك (1.0 M) كما في الشكل(II-15).



الشكل(II-15): شكل يوضح خطوة إزاحة النحاس.

وعليه يكون تركيز النحاس المزاح في 25 ml من المحلول 0.4 جزء في المليون (ppm) أي تركيز النحاس المخفف إلى أربعة أضعافه لذا يسهل قياسه بواسطة الأجهزة المختلفة.[32]

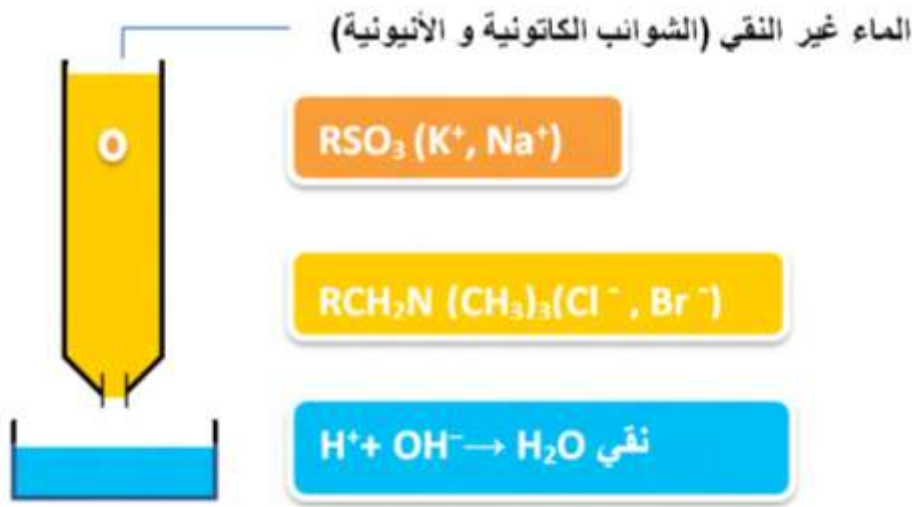
#### ❖ فصل الأيونات بالمبادل الأيوني (كروماتوجرافيا الأيونات):

يأتي هذا التطبيق ضمن الطرق الكروماتوجرافية. وتستخدم حالياً أجهزة حديثة خاصة بهذا التطبيق تعمل بأعمدة مبادلات أيونية، ويكون الطور المتحرك فيها سائلاً. هنالك تطبيقات عديدة نذكر منها فصل وتقدير الفلزات في خليط واحد:

يمكن فصل أغلب الفلزات على مبادلات أيونية من وسط حمض الهيدروكلوريك وذلك بسبب تكون معقدات سالبة الشحنة مع حمض HCl. كل عنصر يتم إستبداله في مدى محدد من الرقم الهيدروجيني (تركيز الحمض)، وهذا يمثل الأساس النظري لهذه الطريقة. [43]

### ❖ تنقية المياه من الشوائب الكاتيونية والأيونية :

تمر المياه الغير نقية خلال عمود يحتوي على مخلوط من مبادل كاتيوني في الشكل الهيدروجيني ( $H^+$ ) و مبادل أنيوني في الشكل الهيدروكسيلي ( $OH^-$ ) لنتحصل في النهاية على مياه نقية خالية من الأيونات. [41] الشكل (16-II):



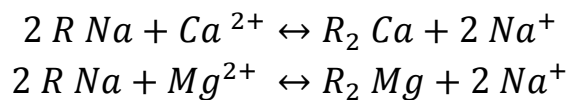
الشكل(16-II): شكل يوضح كيفية تنقية المياه.

## 2.6.II. استعمالات المبادلات في تنقية المياه:

إن استعمالات المبادلات الأيونية في تنقية المياه واسع جداً، ومنها ما يلي:

### ❖ إزالة قساوة المياه:

إزالة قساوة المياه يعتبر التطبيق الأول للمبادلات الأيونية، حيث يتم تبديل أيونات الكالسيوم  $Ca^{2+}$  و المغنيزيوم  $Mg^{2+}$  المسببة لقساوة المياه بأيونات الصوديوم المثبتة على المبادل الأيوني الموجب ذو الحموضة القوية المعالجة بكلور الصوديوم. تتم عملية التبادل طبقاً للمعادلتين التاليتين:

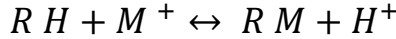


إن الماء الناتج له نفس درجة الملوحة للماء قبل المعالجة ولكنه خالي من الكالسيوم والمغنيزيوم. [40]

### ❖ نزع التمعدن من الماء (Déméralisation):

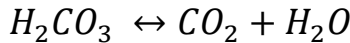
تتم عملية نزع التمعدن من الماء في ثلاث مراحل هي:

- تتضمن المرحلة الأولى إزالة الأيونات المعدنية الموجبة من الماء باستعمال مبادل أيوني موجب وقوي الحموضة، حيث يتم إبدال تلك الأيونات الهيدروجين المثبتة على المبادل نتيجة معالجته بحمض قوي كحمض كلور الماء. تكتب معادلة التبادل كالاتي:



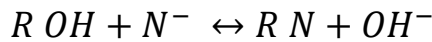
الماء الناتج بعد هذه المرحلة يحوي على الحموض المتشكلة من الأيونات السالبة الموجودة أصلاً بالماء وأيونات الهيدروجين. [34]

- المرحلة الثانية، إن حمض الكربون الناتج في المرحلة الأولى غير ثابت ويتفكك إلى  $H_2O$  و  $CO_2$  حسب التالية:



إن هذه المرحلة مكونة من عمود للتهوية على شكل شلال وذلك لإزالة غاز ثاني أكسيد الكربون المنحل بالماء، وبالتالي إزالة حمض الكربون الناتج في المرحلة الأولى. [34]

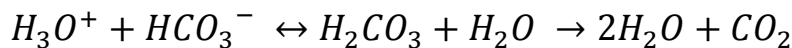
- المرحلة الثالثة مخصصة لإزالة الأيونات السالبة باستعمال مبادل الأيوني سالب وقوي القاعدية حيث تكون مراكزه الفعالة مشبعة بالأيونات  $OH^{-}$  نتيجة معالجته بماءات الصوديوم.



الماء الناتج يكون عادة نقيًا جدًا وذو مقاومة نوعية تفوق  $(0.3 M\Omega/cm)$ . [34]

### ❖ إزالة الكربونات من الماء:

تستعمل المبادلات الأيونية الموجبة و الضعيفة الحموضة في إزالة الكربونات من الماء المبادلات المستعملة لهذه الغاية تتكون مراكزها الفعالة من الوظيفة حمضية كربوكسيلية ( $-COOH$ ) قادرة على تثبيت الأيونات الموجبة المرتبطة بأيونات الكربونات الحامضية مع تحرير حمض الكربون والذي يتفكك بدوره إلى  $CO_2$  وماء. حيث تمثل هذه العملية بالمعادلة التالية:



بالإضافة للاستعمالات العامة السابقة، فإن المبادلات الأيونية تستعمل في حالات خاصة مثل إزالة الملوحة العالية أو المواد المشعة و بعض الأيونات السامة. [37]

## 7.II. أجهزة التبادل الأيوني:

### ❖ جهاز السوفتندر:

يعتبر جهاز السوفتندر من أكثر الأجهزة إنتشارًا و استخدامًا في إزالة قساوة الماء الدائمة و المؤقتة و قد أصبح استعماله حتى في المنازل واسعًا بعد أن أصبح الماء المستخدم للشرب يحتوي على نسب عالية من أملاح الكالسيوم و المغنيزيوم بشكل خاص و قد يحتوي على أيونات أخرى كالحديد و المغنيز و غيرها. [33]



الشكل(II-17): صورة لجهاز السوفتندر (Softener)

يبين الشكل(II-17) جهاز السوفتندر (Softener) و الذي يتكون من الأجزاء التالية:

- عمود التبادل الأيوني (Ion Exchange Column).
- خزان التنشيط الملحي (Brine Tank).
- لوحة التشغيل و التحكم (Control Panel). [33]

### ❖ جهاز إزالة الأيونات (Deionizer):

يستخدم هذا الجهاز لإزالة الأيونات السالبة و الموجبة و بنفس الأسلوب المستخدم في جهاز السوفتندر إلا أن الجهاز إزالة الأيونات يتكون من عمودين:



الشكل(II-18): صورة لجهاز ازالة الأيونات (Deionizer).

- عمود التبادل الكاتيوني الهيدروجيني (Cation- Exchanger Column).
- عمود التبادل الأنيوني (Anion – Exchange Column). [33].

**1.III. أخذ العينة:**

قمنا بأخذ العينة التي ستتم دراستها بإتباع منهجية سليمة وعملية للحفاظ على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للماء وهذا وفق الخطوات التالية:

- غسل القارورة بالماء المقطر جيدا ومن ثم تجفيفها.
- يجب السماح للمياه بالسريان لمدة 5 دقائق قبل ملء القارورة.
- تغسل القارورة عدة مرات بالماء المراد معايرته.
- أخذ المياه من أقرب نقطة للصنبور و إحكام غلقها.

الجدول (1-III): بطاقة تعريفية عن المياه المستعملة.

التاريخ	المصدر	الحجم	العينة المستعملة
03 أبريل 2017	حنفية مخبر VTRS بجامعة الشهيد حمه لخضر - الوادي	كمية معتبرة حوالي 500 ml	مياه الحنفية

**2.III. أجهزة القياس المستعملة:****1.2.III. جهاز قياس الدليل الهيدروجيني الـpH:**

نقوم بقياس قيمة الـpH للعينة بواسطة جهاز pH-mètre.

**طريقة العمل:**

نقوم بضبط الجهاز بواسطة المحلول موقى أي عملية (ETALONAGE). حيث نقوم بغسل خلية الـpH متر بواسطة الماء المقطر، ثم نجفقه بالقطن الخاص و نغمسها في محلول الموقى ذا  $pH = 4.01$ ، ثم نقوم بغسل الخلية بالماء المقطر ونغمسها عند  $pH = 7.01$ ، وكذلك نفس العملية عند  $pH = 10$ . وتكون عندها قد قمنا بتهيئة الجهاز لقراءة الـpH العينة ثم نضع الخلية في البيشر الذي يحتوي ماء العينة، فيعطي الجهاز قيمة الـpH العينة.



الشكل (III-1): صورة لجهاز قياس الدليل الهيدروجيني الـpH.

### III.2.2. جهاز قياس الناقلية الكهربائية:

وهي تعتمد علي قياس الأيونات والكاتيونات في الماء وحدتها ms/cm أو  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .

#### ■ طريقة العمل:

نقوم بضبط الجهاز بواسطة محلول محضر ذا ناقلية كهربائية  $\text{cond} = 1000 \mu\text{s}/\text{cm}$  ثم نغسل مشعر الجهاز بالماء المقطر و نجففه بالقطن الخاص و نغمسه في بيشر يحوي الماء المراد تحليله و بعدها نضغط علي الزر  $\text{cond}$  ثم الضغط علي الزر Reed فيعطينا النتيجة مباشرة.



الشكل (III-2): صورة لجهاز قياس الناقلية.

**3.2.III. جهاز قياس الفلورايد (فلور متر):**

مبدأ عمل جهاز قياس الفلورايد مشابه تماما لطريقة عمل جهاز الـ pH متر حيث يتم قياس تركيز الفلور في العينة بواسطة إلكترود موصول بالجهاز و الحصول على النتائج. الجهاز موجود على مستوى جامعة "قاصدي مرباح" بورقلة.

**3.III. آليات المعايرة:**

لمعرفة قيمة القساوة الكلية وكذلك تراكيز أيونات الكالسيوم والمغنيزيوم والكلور المتواجدة في مياه العينة إتبعنا طريقة المعايرة (Titration).

**1.3.III. معايرة القساوة الكلية للمياه:**

لتحديد القساوة الكلية لمياه العينة تقوم بإتباع الخطوات التالية:

- نأخذ عينة الماء مقدارها 10 ml ونضيف لها 3 قطرات من الايروكروم الاسود (T) ثم نضع 2 ml من محلول موقى النشار  $pH = 10$ .
- نبدأ المعايرة بمعقد EDTA (Ethylene Diamine Tetra Acetate) ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ) إلى غاية تحول اللون بنفسجي إلى اللون الأزرق. حيث نحدد حجم التكافؤ لمعقد EDTA.



بعد المعايرة



قبل المعايرة

الشكل (III-3): يوضح تغير اللون في معايرة القساوة الكلية.

- نحسب تركيز القساوة الكلية وفق العلاقة التالية:

$$TH = \frac{V_{EDTA} C_{EDTA}}{V_{eau}}$$

$TH$ : القساوة الكلية ( $F^\circ$ ).

$V_{EDTA}$ : حجم محلول EDTA (ml).

$C_{EDTA}$ : تركيز محلول EDTA (mol/l).

$V_{eau}$ : حجم العينة (ml).

### 2.3.III. معايرة الأيونات $Ca^{2+}$ و $Mg^{2+}$ و $Cl^-$ :

❖ معايرة الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ):

لمعايرة أيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ):

- نأخذ 25 ml من عينة الماء و نضيف لها 2 ml من NaOH وكذلك نضع كمية بسيطة من الميروكسيد (H.S.N).
- نعايره بواسطة معقد الـ EDTA إلى غاية ظهور اللون الأزرق.



بعد المعايرة



قبل المعايرة

الشكل (III-4): يوضح تغير اللون في معايرة أيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ).

- و بمعرفة حجم معقد EDTA الموافق نحسب تركيز كل من الأيونات الكالسيوم وفق العلاقة التالية:

$$C_{Ca^{2+}} (mol/l) = \frac{V_{EDTA} C_{EDTA}}{V_{eau}}$$

$$C_{Ca^{2+}} (g/l) = C_{Ca^{2+}} (mol/l) \times M_{Ca}$$

$C_{Ca^{2+}}$ : تركيز أيونات الكالسيوم (mol/l).

❖ معايرة المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ):

من خلال قياسنا لأيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) والقساوة الكلية (TH) يمكننا معرفة تركيز أيونات المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ) من خلال العلاقة التالية:

$$TH = [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]$$

ومنه نستنتج تركيز أيونات المغنيزيوم:

$$[Mg^{2+}] = TH - [Ca^{2+}]$$

❖ معايرة الكلور ( $Cl^-$ ):

لمعايرة أيونات الكلور:

- نأخذ 10 ml من عينة الماء ونضيف لها 3 قطرات من الكرومات البوتاسيوم ( $K_2CrO_4$ ).
- ونعاير بمحلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ ) إلى غاية تغير اللون من الأصفر إلى الأحمر الآجوري ثم نسجل الحجم  $V_1$ .



بعد المعايرة



قبل المعايرة

الشكل (III-5): يوضح تغير اللون في معايرة أيونات الكلور ( $Cl^-$ ).

- و يحسب تركيز أيونات الكلور، وفق العلاقة التالية:

$$C_{Cl^-}(\text{mol/l}) = \frac{C_{AgNO_3} \times V_{AgNO_3}}{V_{eau}}$$

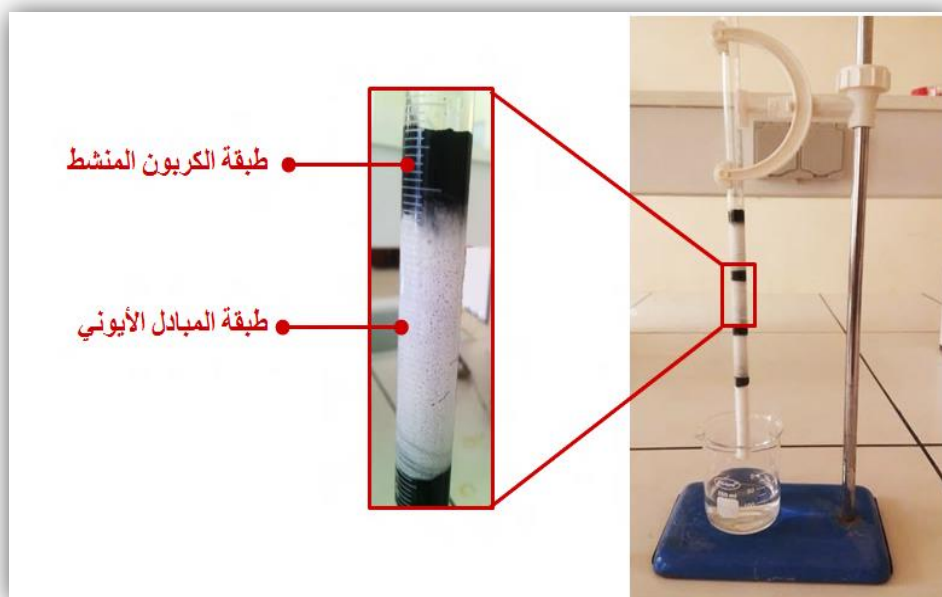
$$C_{Cl^-}(\text{g/l}) = C_{Cl^-}(\text{mol/l}) \times M_{Cl}$$

$C_{AgNO_3}$ : تركيز  $AgNO_3$  المستعمل في المعايرة (g/l).

$V_{AgNO_3}$ : حجم  $AgNO_3$  المستعمل في المعايرة (ml).

$M_{Cl}$ : الكتلة المولية للكلور (g/mol).

### 4.III. التركيب التجريبي:



الشكل (6-III): صورة للتركيب التجريبي للدراسة.

في هذه التجربة لتنقية المياه بطريقة التبادل الأيوني استخدمنا عدة طبقات من المبادل الأيوني والكربون المنشط حيث :

- المبادل المستخدم: هو "سيليكات-الامونيوم" وهي عبارة عن بودرة بيضاء اللون حبيبية الشكل
- استعملنا منها كمية مقدارها 15g على ثلاث طبقات في كل طبقة 5g الشكل (6-III)

- الكربون المنشط: كما استخدمنا طبقة من مسحوق الكربون بسمك 1cm بين كل طبقة و أخرى من المبادل. الشكل(III-6)
- قد قمنا بوضع عدة طبقات في العمود:
  - ليصبح لدينا أكبر مساحة سطح تلامس بين المياه والمبادل للقيام بعملية التبادل الأيوني .
  - لكي نتجنب تشبع المبادل بالأيونات المبادلة مع المياه.
- نضيف إلى مياه العينة 100 µl من حمض الكبريت H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ذو تركيز 50%.
- حيث نقوم بتمرير كمية من العينة المياه المستعملة خلال هذا التركيب التجريبي ومنتظر إلى أن تمر الكمية كلها عبره. عندئذ نقوم بإضافة هيدروكسيد الصوديوم NaOH ذو تركيز 30% بحجم قدره 200 µl

يعتمد مبدأ العمل التجريبي على إمرار مياه العينة على عمود مملوء بالمبادل ثم تجمع المياه النقية من الأيونات المزاحة بواسطة المبادل في نهاية العمود.



الشكل (III-7): رسم تخطيطي يوضح عملية مرور المياه خلال طبقات العمود.

حيث أن العملية مرور المياه خلال المبادل تكون وفق نفاذية المبادل و الكربون مما يتطلب مدة زمنية بمدة قدرها ساعة حتى تتمكن المياه من المرور عبر طبقات العمود للبداية نزول المياه النقية.

عند الحصول على كمية الكاملة للمياه المارة من خلال طبقات المبادل و الكربون المنشط نقوم مباشرة بقياس الـ pH و الناقلية و تركيز الفلوريد (F<sup>-</sup>) و من ثم نقوم بخطوات المعايرة السابقة لكل من القساوة الكلية و تراكيز أيونات الكالسيوم (Ca<sup>2+</sup>) و المغنيزيوم (Mg<sup>2+</sup>) و الكلوريد (Cl<sup>-</sup>).

## 5.III. النتائج و التحليل:

القياسات قبل وبعد التجربة أعطت النتائج الموضحة في الجدول التالي:

الجدول (III-2): نتائج المتحصل عليها من قبل وبعد التجربة.

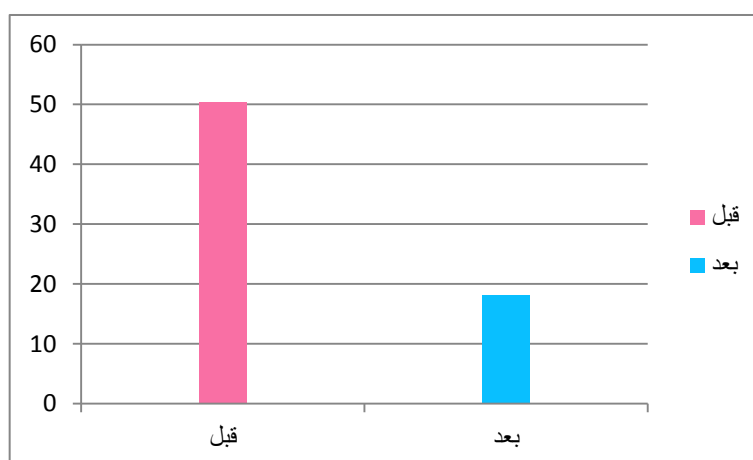
العناصر	الوحدة	التحاليل الأولية	النظام العالمي	النظام الأوروبي	النظام الجزائري	التحاليل النهائية
[Ca <sup>2+</sup> ]	(mg/l)	262	200	100	75 – 200	112
[Mg <sup>2+</sup> ]	(mg/l)	118	150	50	50 – 150	70
[Cl <sup>-</sup> ]	(mg/l)	735	200	200	200 - 600	117.5
[F <sup>-</sup> ]	(mg/l)	2.76	1.5	1.5	1.2	1.05
pH	-	7.05	7 – 8.5	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	8.1
الناقلية الكهربائية	(μs/cm)	50.40	-	-	-	18.07
TH	(F°)	38	50	10 - 35	35	23

## 6.III. المقارنة ومناقشة النتائج:

لمعرفة فعالية المبادل الأيوني المستخدم قمنا بمقارنة النتائج التجريبية مع القيم الحدية

والموصى بها لمياه الشرب مع مياه العينة قبل وبعد التجربة وجاءت كما يلي:

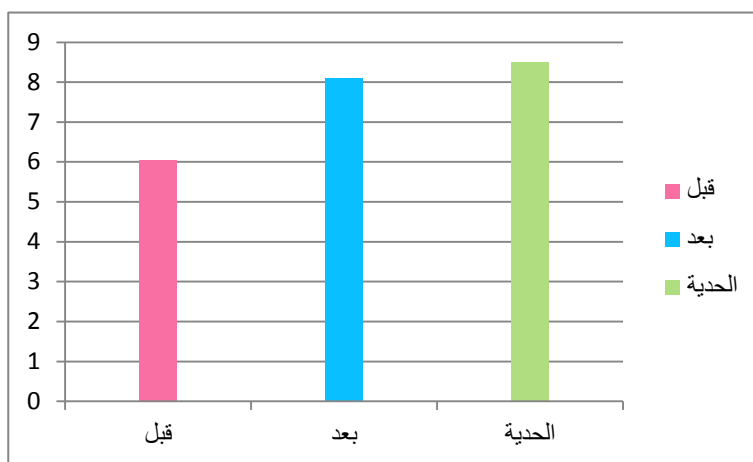
■ الناقلية الكهربائية :



الشكل (III-8): مخطط يمثل قيمة الناقلية الكهربائية قبل وبعد التجربة.

من خلال المخطط نلاحظ أن قيمة الناقلية الكهربائية لعينة المياه المستعملة انخفضت من  $50.4 \mu\text{s/cm}$  قبل التجربة إلى قيمة  $18.07 \mu\text{s/cm}$  بعد التجربة و هذا دليل على انخفاض الأيونات الموجبة والسالبة في هذه المياه .

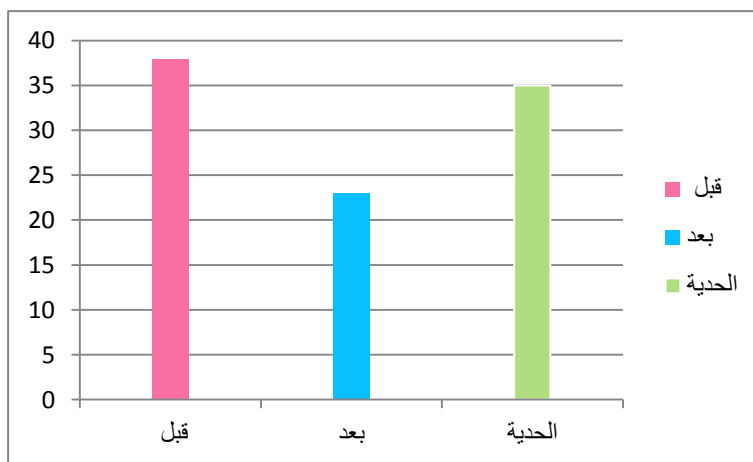
▪ الدليل الهيدروجيني الـ pH:



الشكل (III-9): مخطط يمثل قيمة الـ pH قبل وبعد التجربة.

بالنسبة لقيمة الدليل الهيدروجيني الـ pH عند قياسها في البداية كانت ذات قيمة أقل من القيمة الحدية أما بعد التجربة فقد ارتفعت قيمة الـ pH ولكن لم ترتفع عن القيمة الحدية.

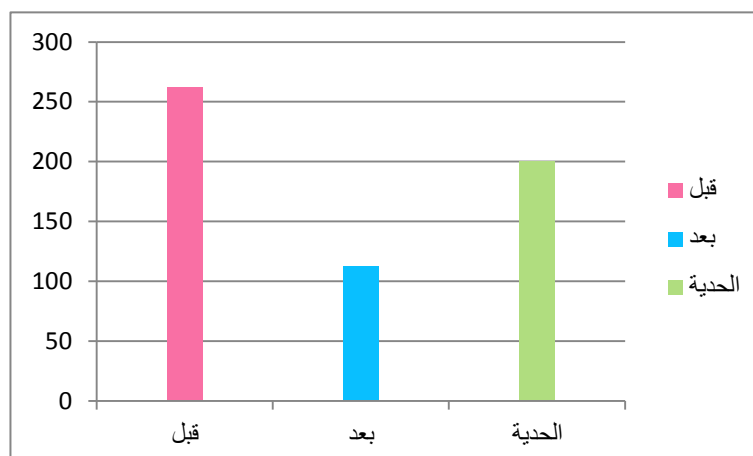
▪ القساوة الكلية:



الشكل (III-10): مخطط يمثل قيمة القساوة الكلية قبل وبعد التجربة.

من خلال المنحنى نلاحظ أن قيمة القساوة الكلية لمياه العينة قبل التجربة كانت أعلى من القيمة الحدية ولكن بعد التجربة تناقصت إلى قيمة أدنى من القيمة الحدية.

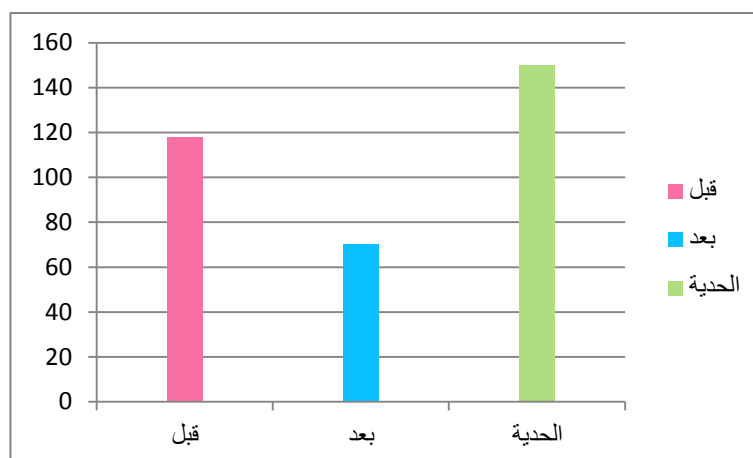
■ الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ):



الشكل (III-11): مخطط يمثل قيمة تركيز أيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) قبل وبعد التجربة.

من خلال المخطط نلاحظ أن قيمة تركيز أيونات الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ ) قد تناقصت إلى القيمة 112mg/l بعد التجربة بعد أن كانت قبل التجربة 262 mg/l والتي هي أكبر من القيمة الحدية 200 mg/l.

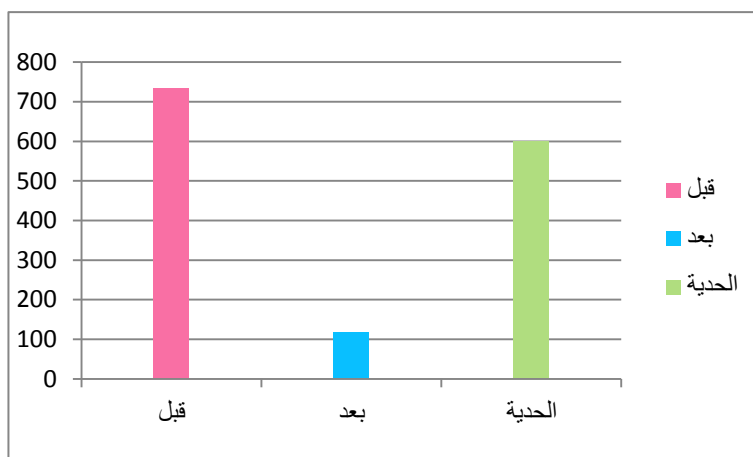
■ المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ):



الشكل (III-12): مخطط يمثل قيمة تركيز أيونات المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ) قبل وبعد التجربة.

من خلال المخطط نلاحظ أن قيمة تركيز أيونات المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ) قبل القيام بالتجربة ذات قيمة 118 mg/l وانخفضت إلى القيمة 70 mg/l بعد التجربة و القيمتين لم تتعدى القيمة الحدية لتركيز أيونات المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ ).

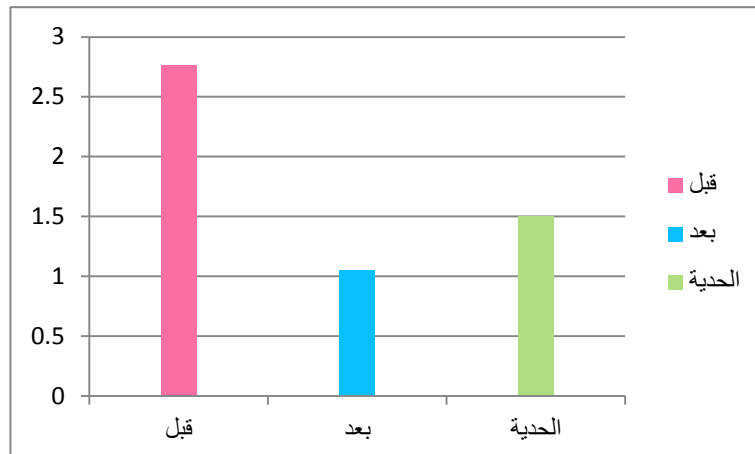
▪ الكلوريد ( $Cl^-$ ):



الشكل (III-13): مخطط يمثل قيمة تركيز أيونات الكلوريد ( $Cl^-$ ) قبل وبعد التجربة.

من خلال المخطط نجد أن قيمة تركيز أيونات الكلوريد ( $Cl^-$ ) قبل التجربة كانت  $735 \text{ mg/l}$  وبعد قيامنا بالتجربة أصبحت القيمة  $117.6 \text{ mg/l}$  والتي هي أقل بكثير القيمة الحدية  $600 \text{ mg/l}$ .

▪ الفلورايد ( $F^-$ ):



الشكل (III-14): مخطط يمثل قيمة تركيز أيونات الفلورايد ( $F^-$ ) قبل وبعد التجربة.

من خلال المنحنى نلاحظ أن تركيز أيونات الفلورايد في مياه العينة قبل التجربة كان أكبر بكثير من القيمة الحدية الموصى بها أما بعد التجربة فإن تركيز أيونات الفلورايد تراجعت إلى  $1.05 \text{ mg/l}$  وهي قيمة مقبولة حيث أنها أقل من القيمة الحدية.

## الخاتمة العامة

تبين الدراسة التجريبية أن المياه الجوفية لمنطقة جامعة " الشهيد حمة لخضر بالوادي" بها تراكيز جد عالية و تفوق الحد المسموح به خاصة من الأملاح المسببة للقساوة وكذلك إرتفاع تراكيز أيون الكلور و الفلور المتواجدة فيها وحيث أن هذا الأخير يعتبر عنصر سام وغير مرغوب فيه لما يسببه من أضرار على مستوى العظام والأسنان إذا أخذ بتراكيز مرتفعة على المدى البعيد.

حيث أن معايرة عينة من هذه مياه بين أن نسبة الأملاح المسببة للقساوة كانت مرتفعة على القيم الحدية و كما أن تركيز الفلور فيها يصل إلى ضعف القيمة المسموح بها تقريباً.

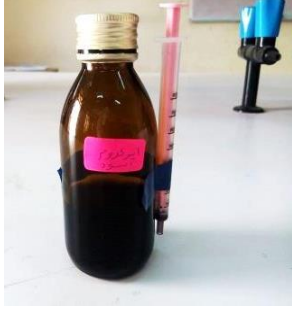
تنقية مياه العينة المأخوذة من المياه المزودة بها جامعة "الشهيد حمة لخضر بالوادي" أدت إلى انخفاض قيمة القساوة الكلية من  $38\text{ F}^\circ$  إلى  $23\text{ F}^\circ$  بعد عملية التنقية وتناقص تركيز أيونات الكلور من  $735\text{ mg/l}$  إلى  $117.6\text{ mg/l}$  وكما انخفضت تراكيز الفلور إلى قيمة  $1.05\text{ mg/l}$  بعد التنقية من  $2.79\text{ mg/l}$  قبلها. كما أن الدليل الهيدروجيني pH كان ذو قيمة منخفضة نوعاً ما حيث إرتفعت قيمته من  $6.05$  إلى  $8.1$  بعد تنقية المياه أما بالنسبة للناقلية الكهربائية فقد انخفضت بعد عملية التنقية من  $50.40\text{ }\mu\text{s/cm}$  إلى  $18.07\text{ }\mu\text{s/cm}$ .

معايرة المياه الجوفية أظهرت من خلال العمل التطبيقي أن المبادلات الأيونية لها قدرة فعالة في إزالة الأيونات السامة وغير المرغوب فيها بفعالية تامة واعطاء نتائج مرضية.

وعليه فإنه حسب هذه الدراسة التنقية بالمبادلات الأيونية ذات أثر إيجابي وجيد في تنقية المياه وعلى الرغم من أن هذه الطريقة أثبتت فعاليتها وجودتها لتنقية المياه من الأيونات وخفض تراكيزها لقيم مسموحة أو التخلص من أيونات السامة والضارة بغرض الحصول على مياه قابلة للاستهلاك إلا أنها تبقى مكلفة جداً على الصعيد الاقتصادي.

## الملاحق

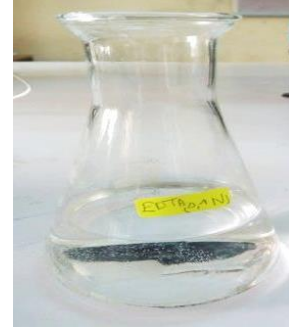
- الملحق (1): المواد و المحاليل المستخدمة:



الكاشف الايركروم الاسود



محلول  $NH_4OH$



محلول معقد EDTA



المبادل الايوني " سيليكات الالمنيوم"



كاشف الكرومات البوتاسيوم  
( $K_2CrO_4$ )



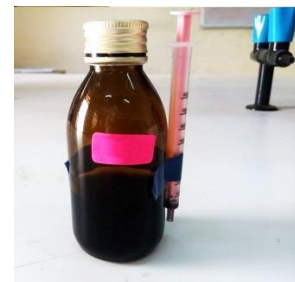
كاشف الميروكسيد (H.S.N)



كمية من المياه المستعملة



الكربون المنشط



محلول نترات الفضة  
( $AgNO_3$ )

• الملحق (2): الادوات والزجاجيات المستعملة:



بيشر



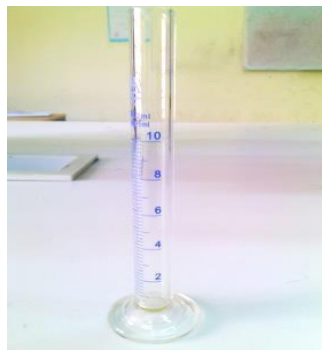
قمع



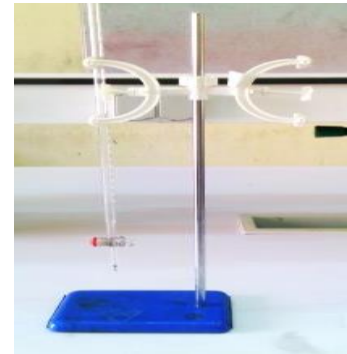
مخلاط مغناطيسي



جهاز تسخين

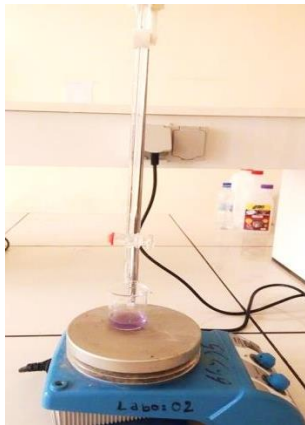


مخبار مدرج سعته 10 ml

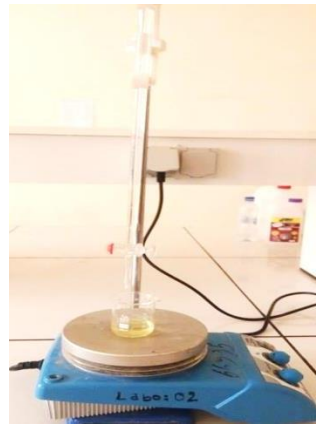


حامل و سحاحة

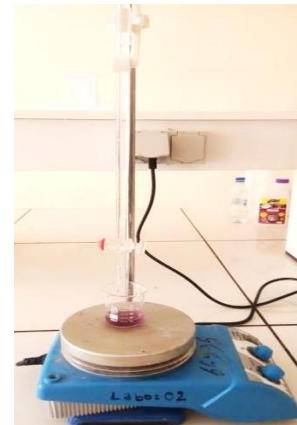
• الملحق (3): التركيب التجريبي للمعايرة:



معايرة أيونات الكالسيوم  
(Ca<sup>+2</sup>)



معايرة أيونات الكلور (Cl<sup>-</sup>)



معايرة أيونات القساوة الكلية

• الملحق (4): بطاقة تقنية للمبادل المستخدم:

سيليكات- الألمونيوم		
	$Al_2O_5Si$	الصيغة الكيميائية
	162,05 g/mol	الكتلة الجزيئية
	صلب	الحالة الفيزيائية
	$2.6 \text{ g/cm}^3$	الكثافة
	غير قابل للذوبان	الذوبان في الماء

• الملحق (5): بعض أشكال الزيوليت الطبيعية: [44]



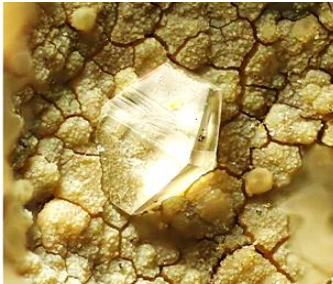
**APOPHYLLITE  
CRYSTALS**



**CAVANSITE-  
ZEOLITE**



**MESOLITE –  
ZEOLITE**



**TSCHERMICHIT**



**FAUJASIT-Na,Ca**



**BILDBREITE-Ca**



**THOMONIT-Ca**



**ERIONIT-K**



**THOMSONITE-Ca**

• الملحق (6): بعض أنواع الراتنجات الصناعية: [45]



راتنج التبادل أنيون



الراتنج الحفاز



راتنج الامتزاز

• الملحق (7): أمثلة على أعمدة لاستعمال المبادلات الأيونية: [45]



أعمدة تبادل أيوني (طبقات حسب نوعية المياه)



عمود لتنقية المياه (طبقة كربون- طبقة مبادل أيوني).



العمود التبادل الأيوني

## قائمة المراجع

## ر قائمة المراجع باللغة العربية:

- [1] اسلام محمود عبد المجيد، "التلوث: مخاطر والحلول"، المنظمة العربية للتربية و الثقافية و العلوم، تونس، ص16، 2002.
- [2] المملكة العربية السعودية، "تلية المياه - مصادر الطبيعة المياه"، مؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، ص 04 – 11، العدد 1.
- [3] اتفاقية التراث العالمي ومنظمة الامم المتحدة للتربية و العلم والثقافية، "دراسة حالات عن تغير المناخ و التراث العالمي"، مركز اليونسكو، ص16، 2013 (نسخة العربية).
- [4] اس.اتش.شينيدير، "موارد المياه"، موسوعة المناخ و الطقس، مطبعة جامعة اكسفورد، نيويورك، المجلد 2، ص 817-828.
- [5] جورجى نسيم ماهر، "تحليل و تقويم جودة المياه"، دار نشأة المعارف جلال حزى و شركاءه، ص121، 2007.
- [6] الشرابى نجم الدين، هابيل منير، ابوليدة زياده، "أساسيات الأحياء الدقيقة"، الجزء العملي، المطبعة الجديدة بدمشق، ص 71-72، 1987.
- [8] د. م. بسام العجى، "تلوث المياه: التعريف بالمصادر المائية الطبيعية و مواصفاتها وتصنيفاتها ومؤشراتها و ظواهر و انواع تلوثها"، قسم الهندسة البيئية، جامعة دمشق، 2015.
- [9] مؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، "تقنية البيئة – علم البيئة"، الإدارة العامة لتصميم و تطوير المناهج، ص 67 – 80.
- [10] ابوسعد م. نجيب ابراهيم، " التلوث البيئي و دور الكائنات الدقيقة ايجابيا و سلبيا"، دار الفكر العربي، القاهرة، ص4 – 132، 2000.
- [11] السعدي حسين علي، "أساسيات علم البيئة و التلوث"، دار اليازوري العلمية، عمان الاردن، 2006.

- [12] السعداني عبد الرحمان و السيد عودة ثنائي مليحي، "مشكلات بيئية: طبيعتها – أسبابها – أثارها – كيفية معالجها"، دار الكتاب الحديثة، ص 55 – 45، 2007.
- [13] عباس مصطفى عبد اللطيف، "حماية البيئة من التلوث"، دار الوفاء لدينا الطباعة و النشر، الطبعة الأولى 2004.
- [18] د.م. سلوى حجار، "محطات تنقية المياه الشرب بواسطة الترسيب"، المجموعة الهندسية للأبحاث البيئية. ص 01 – 03، 2013.
- [19] مارك ج . هامر ، جونيور (ترجمة: يوسف رضوان)، "الماء و تنقية مياه الصرف"، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم و التقنية، سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية و المتقدمة، 2011/3.
- [20] محمد جاسم محمد، "تقييم أداء مشروع الوحدة لمعالجة المياه"، فرع الهندسة الصحية و البيئية، جامعة التكنولوجيا، العراق، ص 5-12، 2010.
- [21] ع. العظيم يوسف دقو وزملائه، "مقترح لتصميم محطة تنقية مياه الشرب في منظمة وحدة شمال بحري"، جامعة العلوم و التكنولوجيا، السودان، ص 10-22 ، 2014.
- [22] اللجنة الفنية الخليجية لقطاع المنتجات الغذائية و الزراعية، " مياه الشرب المعبأة"، هيئة التقييس لدول مجلس التعاون لدول الخليج العربية، ص6، 2008.
- [23] د. عبد الرحمن احمد عبد الله، "معالجة مياه الصرف الصحي"، جامعة العلوم و التكنولوجيا، السودان، ص5، أكتوبر 2016.
- [24] المملكة العربية السعودية، "تحلية المياه- طرق تحلية المياه المالحة"، المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني، ص17، العدد 2.
- [25] م. عبد القادر الوشلي، "دليل معالجة المياه"، YRCS، ص2 ، 2009.
- [26] سلسلة التعلم و العمل من الإتحاد العالمي للشباب و الأمم المتحدة، "شارة التحدي الخاصة بالمياه"، منظمة الأغذية و الزراعية للأمم المتحدة ، ص 38 – 41 ، 2013.
- [27] حفصي مصطفى الحبيب، ترعة ايوب، مذكرة تخرج " الدراسة الفيز و كيميائية لمياه مدينة قمار"، المركز الجامعي بالوادي، ص 27-42، 2010.
- [28] د. عصام محمد عبد الماجد ، د. بشير محمد الحسن " معايير مياه الشرب"، ص2، 2015.

- [29] باوية قيس، مذكرة تخرج " معالجة عسرة مياه طبقة الألبان . حوصلة تجريبية و امكانية استغلال النتائج في منطقة وادي ريغ "، كلية العلوم و العلوم الهندسية، جامعة ورقلة، ص 20 – 50، 2004.
- [30] المملكة العربية السعودية، "تحلية المياه - معالجة المياه"، المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، ص90، العدد4.
- [31] مها الحاصباني، ملك الجبة، " دراسة طرائق نزع الفلوريد من مياه الشرب "، كلية العلوم، مجلة جامعة دمشق للعلوم الاساسية، المجلد 22، العدد1، سورية، 2006.
- [32] المملكة العربية السعودية، " التبادل الأيوني"، المؤسسة العامة للتعليم الفني و التدريب المهني، العدد 2.
- [33] م. جمال عبد الله زيت، "استخدام معدات التبادل الأيوني في معالجة مياه الشرب"، معهد التدريب المتخصص للصناعات الكيماوية، الأردن، ص 08-17.
- [34] د. نصر الحايك، "تلوث المياه و تنقيتها"، ديوان المطبوعات الجامعية، جامعة قسنطينة، ص 101-1989.
- [41] أ. عادل عباس حسن مجوه، "تجارب في التحليل الالي"، قسم الكيمياء، جامعة الملك سعود، ص 23 – 25.

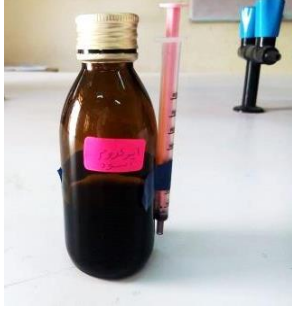
❧ قائمة المراجع باللغة الأجنبية:

- [7] LANGEVIN, J, LEFELVRE ,R, Toutant , " Histoires d'eaux tout ce que-il savoir sur l'eau et l'hygiène publique", Editions berger, Montréal, pp157-159, c. 1997.
- [14] RAMADE FRANCOIS, "éléments d'écologie ( écologie appliquée) Mcgraw – Hill" , Paris , p372, 1982.
- [15] BOUZIANI, l'eau de la pénurie aux maladies, Edition IBN Khaldoun. p 247-249, 2000.
- [16] NGO CHRISTIAN et REGENT ALAIN. "Déchets et pollution impact sur l'environnement et la santé DUNOD", PARIS. p129-131, 2004.

- [35] K.G.M, " Micropous and mesorous materials, Zeolites" , Sweden , p4,2006.
- [36] Ch.Baerlocher, L.B.McCusker, D.H. Olson, "ATLAS OF ZEOLITE FRAMEWORK TYPES", ELSEVIER,p14 , 2007.
- [37] R.M.Wheaton, L.J.Lefevre, "Fundamentals of Ion Exchange", Dow Chemical U.S.A, 2000.
- [38] Charles "Chubb" Michaud and Don F.Brodie, "Ion Exchange Resin, Methode of Degradation", water conditioning et purification january 1990.
- [39] "Application of ion exchange processes for the treatment of radioactive waste and management of spent ion exchangers", International Atomic Energy Agency, Vienna, 2002.
- [40] Rohm and Haas, " ION EXCHANGE FOR DUMMIES", lenntech, sep 2008.
- [42] Oscar Allahdin<sup>1</sup>, Michel Wartel<sup>2</sup>, Joseph Mabingui<sup>1</sup>, Abdel Boughriet, "Implication of Electrostatic Forces on the Adsorption Capacity of a Modified Brick for the Removal of Divalent Cations from Water", American Journal of Analytical Chemistry, 2015.
- [43] Özlem Bahadır Acikara, "Ion-Exchange Chromatography and ItApplications", INTECH, 2013-2014.
- [44] Volker Betz, "The Zeolite collection", Germany, 2012.
- [45] TLTIC, "Taiyuan Lanlang Technology Industrie Crop", Chaina, 2005.

## الملاحق

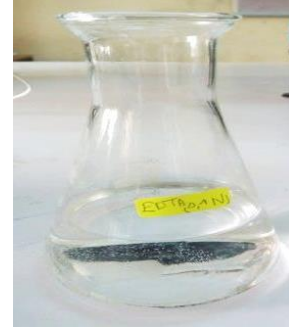
- الملحق (1): المواد و المحاليل المستخدمة:



الكاشف الايركروم الاسود



محلول  $NH_4OH$



محلول معقد EDTA



المبادل الايوني " سيليكات الالمنيوم"



كاشف الكرومات البوتاسيوم ( $K_2CrO_4$ )



كاشف الميروكسيد (H.S.N)



كمية من المياه المستعملة



الكربون المنشط



محلول نترات الفضة ( $AgNO_3$ )

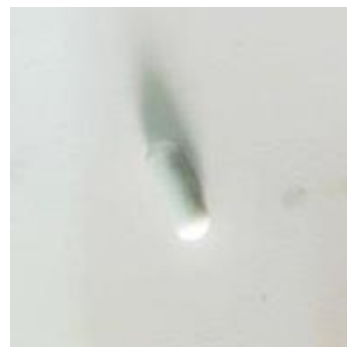
• الملحق (2): الادوات والزجاجيات المستعملة:



بيشر



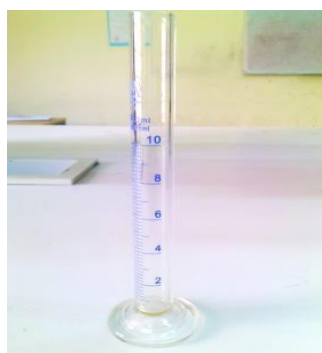
قمع



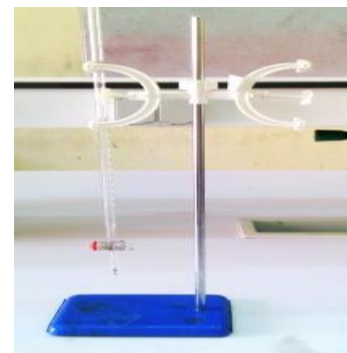
مخلاط مغناطيسي



جهاز تسخين

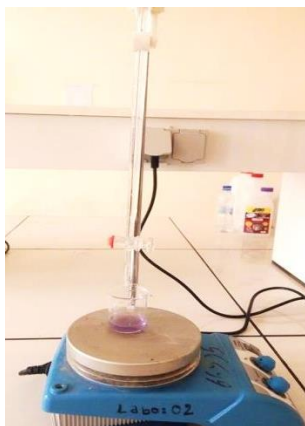


مخبار مدرج سعته 10 ml

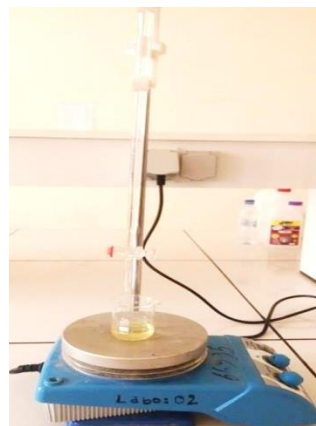


حامل و سحاحة

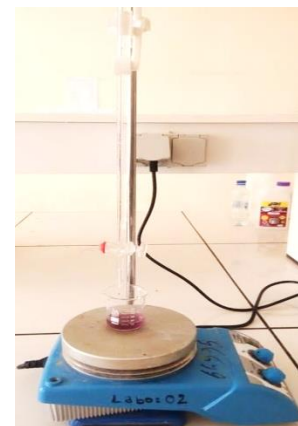
• الملحق (3): التركيب التجريبي للمعايرة:



معايرة أيونات الكالسيوم  
(Ca<sup>+2</sup>)



معايرة أيونات الكلور (Cl<sup>-</sup>)



معايرة أيونات القساوة الكلية

• الملحق (4): بطاقة تقنية للمبادل المستخدم:

سيليكات- الألمونيوم		
	$Al_2O_5Si$	الصيغة الكيميائية
	162,05	الكتلة الجزيئية
	صلب	الحالة الفيزيائية
	$2.6 \text{ g/cm}^3$	الكثافة
	غير قابل للذوبان	الذوبان في الماء

• الملحق (5): بعض أشكال الزيوليت الطبيعية: [44]



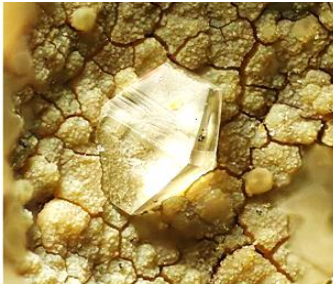
**APOPHYLLITE  
CRYSTALS**



**CAVANSITE-  
ZEOLITE**



**MESOLITE –  
ZEOLITE**



**TSCHERMICHIT**



**FAUJASIT-Na,Ca**



**BILDBREITE-Ca**



**THOMONIT-Ca**



**ERIONIT-K**



**THOMSONITE-Ca**

• الملحق (6): بعض أنواع الراتنجات الصناعية: [45]



راتنج التبادل أنيون



الراتنج الحفاز



راتنج الامتزاز

• الملحق (7): أمثلة على أعمدة لاستعمال المبادلات الأيونية: [45]



أعمدة تبادل أيوني (طبقات حسب نوعية المياه)



عمود لتنقية المياه  
(طبقة كربون- طبقة مبادل  
أيوني).



العمود التبادل الأيوني