

جامعة ورقلة  
كلية العلوم والعلوم الهندسية



رقم

قسم الري والهندسة المدنية

# مذكرة

## لنيل شهادة الماجستير

الري

فرع : منشآت

والهندسة المدنية

تخصص : منشآت الري في المناطق الصحراوية

لطالب : باوية قيس

عنوان المذكرة :

معالجة عسرة مياه طبقة الألبان.  
حوصلة تجريبية وإمكانية استغلال النتائج في منطقة والدي ريغ

رئيس اللجنة

جامعة ورقلة

أستاذ محاضر

د/ سعدي مختار

ممتحن

جامعة ورقلة

أستاذ محاضر

د/ تهامي العانز

ممتحن

جامعة بسكرة

أستاذ محاضر

د/ مغزي احمد

ممتحن

جامعة ورقلة

أ.م. بالدروس

م/ كموخ عبد الرحمان

مقرر

جامعة ورقلة

أستاذ محاضر

د/ مصيطني عمار

السنة الجامعية 2004/2003

# المقدمة

تعتبر المياه الجوفية المصدر الأساسي لتلبية احتياجات الجنوب الجزائري عموما و منطقة وادي ريغ على الخصوص بالمياه الصالحة للشرب. على مستوى منطقة وادي ريغ ( حوض تقرت ) يتم إستغلال كل من بئري عين الصحراء و سيدي مهدي II بصفة رئيسية في عملية التزويد المناطق الحضرية و كذا الصناعية بالاحتياجات اللازمة من الماء ، لكن بسبب عسرتها المرتفعة تسبب هذه الظاهرة سنويا مشاكل عديدة من انسداد القنوات بنسبة قد تصل إلى 70 % في أقل من عشرة سنوات ، و إلى إنخفاض في فعالية المبردات بالإضافة إلى التكاليف الضخمة التي تسخرها الدولة للترميم شبكتها و التي تقدر بمعدل مليار سنتيم سنويا.

تعد ظاهرة الترسب من أكبر المشاكل التي تهدد يومنا هذا مستقبل منشآت الري للجنوب الجزائري ( قنوات ، مبردات ... ) ، و هذا التهديد يأتي جرا تواجد العناصر المسؤولة عن الخشونة ( ...  $Ca^{2+}$  ,  $Mg^{2+}$  ,  $Fe^{2+}$  ) في المياه الجوفية العميقة بنسب ملحوظة ، تضاف إليها عوامل و الشروط المناسبة للترسب ( درجة الحرارة ، pH ). الحل و بدون شك يتطلب الأخذ بعين الاعتبار المشكل بواسطة التحكم في عوامل و طرق نزع عسرة المياه لجنوب الجزائري على العموم و حوض تقرت بالخصوص. هذه المخاطر التي أدت إليها ظاهرة الترسب على الأنشطة الاقتصادية و التنمية المحلية للمنطقة تعتبر كمبررات لهذا البحث حتى تتمكن من تقليص الأضرار ، والتحكم الجيد في الميكانيزمات الفيزيائية و الكيميائية للمياه المنطقة.

نذكر أن مياه الآبار من أنقى مصادر المياه الطبيعية التي تعتمد عليها الكثير من سكان العالم ، إلا أن بعض مياه الآبار ، و خصوصا العميقة منها قد تحتاج إلى عمليات تقنية متقدمة ، و باهظة التكاليف تخرج عن نطاق العمليات التقليدية ، و أبسط صورة لهذه العمليات إضافة الكلور للتطهير . و يستخدم التطهير كعملية وحيدة لتنقية مياه الآبار ذات النوعية الجيدة إلا أن هذه النوعية من المياه هي الأقل وجودا في الحاضر ، لذلك فإن غالبية المياه الجوفية تحتاج إلى عمليات فيزيائية و كيميائية بالإضافة إلى عملية التطهير لإزالة بعض الغازات الذائبة مثل ثاني أكسيد الكربون ، و المعادن المسببة لعسرة الماء. رغم العديد من الطرق العلمية الجيدة و ذات

فاعلية في تخفيض عسرة هذه المياه ( الترسيب الكيميائي ، التبادل الأيوني ، إضافة الحمض ، إضافة الموانع ) فلقد كان الأجدد بنا في هذه الرسالة إلى المساهمة كبدائية للمنطقة في معالجة عسرة هذه المياه عن طريق الجير مراعين في ذلك الجانب الاقتصادي و خلوها من الآثار السلبية . نعتد في معالجة عسرة مياه منطقة الدراسة على مرحلتين فالأولى بإضافة الجير و الصودا بغرض الحصول على مياه ذات عسرة توافق المعايير العالمية ، و الثانية بإضافة الجير و الصودا بزيادة للحصول على مياه ذات عسرة مرغوب فيها. و تقسم هذه الدراسة إلى ستة فصول :

الفصل الأول : نبين فيه أهم خصائص منطقة وادي ريغ و تأثير ظاهرة الترسيب الكلسي ،

الفصل الثاني : يبين ظاهرة الترسيب و آثارها على شبكة توزيع المياه ،

الفصل الثالث : يبرز أهم الخصائص الفيزيوكيميائية للماء و علاقتها بالترسيب ،

الفصل الرابع : يوضح أهم الطرق و الوسائل المتبعة في إنجاز هذا البحث ،

الفصل الخامس : نتطرق في هذا الفصل إلى طرق معالجة عسرة المياه ،

أما الفصل السادس و الأخير يميز النتائج التجريبية و مقارنتها بالدراسة النظرية النموذجية.

# الفصل الأول

## خصائص المنطقة و ظاهرة الترسب الكلسي.

### 1. الخصائص الجغرافية و الهيدرولوجية

تقع مدينة تقرت بمنخفض وادي ريغ بين خطي طول 06° و 05' ، ودائرة عرض 33° و 04' شمالا ، و ترتفع على مستوى سطح البحر بـ 87,10م.

مناخ المنطقة كباقي المناطق الصحراوية ، حار جاف صيفا و بارد شتاءا . حيث الحرارة المتوسطة الشهرية القصوى تقدر بـ 33,29°م. أما التساقطات فهي نادرة و متذبذبة حيث القيمة الشهرية القصوى لا تتعدى 7 ملم ( 6,46 ملم ).

### 2. الخصائص الهيدروجيولوجية

تتوضع منطقة وادي ريغ فوق طبقات جيولوجية ذات مخزون مائي هائل ( الشكل 1 ) ، نبينه من الأعلى إلى الأسفل كمايلي:

- الميوبليسان (Miopliocène)
- السينونيان (Sénonien)
- التيرونيان (Turonien)
- الألبيان (l'Albien)
- الجيراسيك (Jurassique)

من بين هذه الأخيرة ، تعتبر طبقتي ” المركب النهائي ” و ” المتداخل القاري ” المصدر الرئيسي لتزويد المنطقة بالمياه الصالحة للشرب و الري.

Previsions Géologiques			
profondeur	Etages	Lithologie	
218	Miopliocène	-----	Sable
		.....	Calcaire
		-----	Marne
		-----	Sableuse
335	Eocène	- - - - -	Calcaire
		- - - - -	Dolomie et Silex
443	Sénonien carbonaté	////	Calcaire
		- - - - -	Dolomie et anhydrite
647	Sénonien anhydritique	XXXX	Anhydrite
		- - - - -	Marne et Dolomie
780	Sénonien Salifère	⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌	Sel massif et anhydrite
		⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌ ⌌	
892	Turonien	- - - - -	Calcaire
		- - - - -	Dolomitique
1044	Cénomonien	////	Dolomie Marne
		-----	et Argile et fine
		-----	Passes de grès
1760	Albien	-----	Grès et Argile
		-----	Silteuses
		-----	Dolomie

الشكل 1. الطبقات الجيولوجيا لوادي ريغ ( منطقة عين الصحراء )

## 1.2. الطبقة النهائية المركبة (Nappe du mio-pliocène)

تشكل هذه الطبقة من الطبقات الليتولوجية التالية ( شكل 1 ) :

- طبقة رمال الميوليسان
- طبقة الجير لطبقة السينونيان
- طبقة الجير التيرونيالي

وهي تستغل لسقي واحات النخيل حيث يتراوح عمقها بين 60 و 230 م ، وهي ذات ملوحة تتراوح بين 1,8 إلى 6,4 غ/ل [07]. أهم خصائصها الكيميائية مبينة في الجدول التالي :

جدول 1. الخصائص الكيميائية للمياه وادي ربيع ( بئر عين الطيارة )

النظام العالمي OMS	بئر عين الطيارة	الوحدة المستعملة	العناصر
200	312	مغ/ل	$Ca^{2+}$
150	292		$Mg^{2+}$
200	499		$Na^{+}$
20	24		$K^{+}$
500	952		$Cl^{-}$
-	142		$HCO_3^{-}$
400	1452		$SO_4^{2-}$
-	00		$CO_3^{2-}$
500	1980	ppm ( $CaCO_3$ )	العسر الكلي
50	198	(F)	العسر الكلي
-	4,15	مغ/ل	الملوحة
8,5-7	7,9	-	pH

يبين الجدول 1 أهم الخصائص الكيميائية للمياه وادي ريغ ( بئر عين الطيارة ). و الملاحظ أن تراكيز كل العناصر الكيميائية لهذه المياه تفوق معايير المنظمة العالمية للصحة ( OMS ) ، حيث يقدر تركيز شوارد الكبريتات (  $SO_4^{2-}$  ) بـ 1452 مع/ل و بالتالي هي تفوق التركيز العالمي المسموح به ( 400 مع/ل ) أكثر من ثلاثة مرات. أما عسرة المياه فهي جد مرتفعة إذ تصل إلى F 198 و هي أكبر بأربع مرات تقريبا من التركيز العالمي المسموح به ( F 50 ).

## 2.2. الطبقة القارية المتداخلة (Nappe Albienne)

تتواجد على عمق يتعدى 1500 متر ، جريان مياهها من الجنوب إلى الشمال ، وتتغذى عن طريق ترشح مياه الأطلس الصحراوي والمياه الجارية تحت حمادة بشار [ 07 ] ، وهي مستغلة لغرض التزويد بالمياه الصالحة للشرب بتدفق يتراوح بين 150 و 180 م<sup>3</sup>/ثا.

## 3. شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب لمدينة تقرت

### 1.3. الآبار المستغلة

تخضع مياه الشرب لشروط فيزيائية و كيميائية ( جدول 2 ، 3 ) و بكتيرية معينة ، فهي نقية و عديمة اللون و الرائحة . درجة حرارتها يجب أن تكون بين 7 و 12 م° ، لا تحتوي على مركبات كيميائية سامة أو جراثيم ضارة بالصحة .

تعتبر مياه طبقة الالبيان الممول الوحيد لمنطقة تقرت بالمياه الصالحة للشرب حيث يقدر عدد الآبار المستغلة ثلاثة هي :

\* بئر سيدي مهدي II ،

\* بئر سيدي مهدي III ،

\* بئر عين الصحراء.

يبين الجدول 2 أهم الخصائص الفيزيائية لهذه الآبار حيث يلاحظ أن درجة حرارتها مرتفعة و قد تصل إلى 60م° على رأس البئر [07] ، مما يساعد على انخفاض ذوبانية أملاح الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>) و أملاح المغنيزيوم (Mg(OH)<sub>2</sub>) و ترسيبها في الأخير [16] . التدفق المستغل لهذه الآبار قدر بـ 150 ل/ثا و بضغط يتراوح بين 20 و 24 بار ، للإشارة أن أول بئر تم حفره كان سنة 1974 و بعمق قدر بـ 1978م. أما بخصوص الخصائص الكيميائية ( جدول 3 ) ، نلاحظ أنه باستثناء عنصر المغنيزيوم ( 85,53 مع/ل ) لبئر عين الصحراء تحتوي هذه المياه على تراكيز عالية من الشوارد الموجبة ( K<sup>+</sup> , Na<sup>+</sup> , Ca<sup>2+</sup> ) حيث تفوق هذه الأخيرة معايير المنظمة العالمية للصحة ( OMS ) ، أما بالنسبة للشوارد السالبة نلاحظ أن شوارد الكبريتات ( SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ) و البيكربونات ( HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ) تشكل نسبة 65 % من مجموع الأيونات السالبة. عسرة المياه مرتفعة إذ تصل إلى 103,1 F ، و بالتالي فهي أكبر بمرتين من التركيز العالمي المسموح به 50 F مما يؤدي إلى تشكيل ترسبات على جدران قنوات الجر مؤديا في الأخير إلى انسدادها ( الشكل 2 ) . العسرة المرتفعة تضاف إليها العوامل المساعدة على ظاهرة الترسب ( درجة الحرارة ، pH ) و تأثيرها على الصعيد الاقتصادي و التنمية المحلية تعتبر كمبررات للمساهمة بهذا البحث و التقليل من الأضرار الناجمة من هذه الظاهرة و التحكم الجيد في الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للمياه المنطقة.

جدول 2. الخصائص الفيزيائية للآبار المدروسة بمنطقة وادي ريغ [07]

III سيدي مهدي	II سيدي مهدي	عين الصحراء	المنطقة الخصائص
الألبان	الألبان	الألبان	نوع الطبقة
1992	1974	1978	تاريخ الإنجاز
1758	1978	1799	العمق ( م )
24	24	20	الضغط ( بار )
250	200	200	التدفق الحقيقي ( ل/ثا )
150	150	150	التدفق المستغل ( ل/ثا )
60	55	57	درجة الحرارة (م°)



الجدول 3. الخصائص الكيميائية لمياه الآبار المدروسة بمنطقة وادي ريغ

النظام العالمي OMS	بئر سيدي مهدي III	بئر سيدي مهدي II	بئر عين الصحراء	الوحدة المستعملة	العناصر
200	233,00	253,51	267,6	مغ/ل	$Ca^{2+}$
150	104,20	97,04	85,53		$Mg^{2+}$
200	319,80	325,00	323,25		$Na^+$
20	30,00	44,18	43,06		$K^+$
500	520,25	530,61	532,47		$Cl^-$
-	161,00	159,88	160,23		$HCO_3^-$
400	803,00	818,69	837		$SO_4^{2-}$
-	00	00	00		$CO_3^{2-}$
500	1009,5	1031	1019,5		ppm ( $CaCO_3$ )
50	100,95	103,1	101,95	(F)	العسر الكلي
8,5-7	7,80	7,53	7,24	-	pH

### 2.3. هياكل التخزين

تعد الخزانات منشآت هيدروليكية ضرورية في شبكة التوزيع. يتمثل دورها الهام في تجميع و تخزين المياه وضمان التموين بالمياه الصالحة للشرب للمناطق السكانية ، كما أنه لا ينحصر دورها في التموين فقط بل له فوائد عدة نذكر منها مايلي :

- تخزين المياه في حالة الإستهلاكات الضعيفة ،
- تنظيم الضغط في شبكة التوزيع ،
- الحفاظ على استهلاك المياه في حالة الساعات الحادة ،
- المحافظة على استمرارية التزويد بالمياه في حالة حدوث عطب في البئر أو قناة الجر أو المضخة أو إنقطاع التيار الكهربائي ،
- يساعد على التنظيم عمل المضخة ( تدفق ثابت ) ،
- يساهم في مكافحة الحرائق.

يتواجد بحوض تقرت نوعان من الخزانات :

● خزانات علوية تتواجد في كل من زاوية سيدي العابد و عين الصحراء و بني سود و بلعير والدائرة و عانس بسعة تقدر بـ 6350 م<sup>3</sup> لكنها غير مستغلة لعدم وجود توازن في الشبكة .

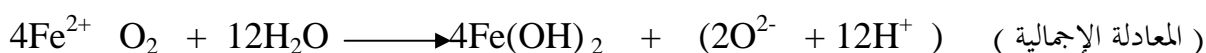
● خزانات أرضية و عددها اثنان و متواجدة على مستوى المركب الهيدروليكي (شكل 2) و بسعة إجمالية تقدر بـ 6000 م<sup>3</sup>. تتم عملية الضخ من المركب إلى الشبكة بواسطة أربع مضخات طاقة تدفقها تساوي 520 ل/ثا. من المعاينة الميدانية نستنتج أنه يسبب الضخ المباشر من الخزانات الأرضية إلى الشبكة نقص في الضغط و التدفق بالإضافة إلى عدم وصول مياه الصالحة للشرب إلى الأماكن البعيدة على منطقة المركب الهيدروليكي، و كذا عدم استغلال المبرد كان السبب الرئيسي في المساهمة هي حدوث ترسبات في قنوات التزويد ( الشكل 2).



شكل 2. الخزانات الأرضية على مستوى المركب الهيدروليكي

### 3.3. عملية التبريد

تعد مرحلة تبريد المياه أول المراحل الهامة في معالجة مياه طبقة الالبان. لتتخفف حرارة مياهها من الدرجة 60 م° إلى الدرجة 30 م°. حيث تندفع مياه الآبار العميقة إلى المبرد من خلال الأنابيب الصاعدة لتصل إلى حوض التوزيع بأعلى المبرد ( بدرجة حرارة 60 م° ) ، وتوزع هذه المياه بالتساوي عبر فوهات ذات أقطار متساوية على سقف حوض التوزيع ، حيث يتم نشرها و ترديدها إلى قطرات صغيرة لتتلاطم على الألواح الخشبية المركبة داخل المكب و تنخفض درجة حرارتها إلى 30 م° وتتجمع في الحوض السفلي للمبرد. هذه العملية يتم خلالها التخلص على جزء كبير من الغازات الذائبة مثل ثاني أكسيد الكربون و ترسب الحديد نتيجة تأكسده وفق التفاعلات التالية :



يتواجد بمنطقة وادي ريغ مبردان : الأول يرجع تاريخ إنجازه إلى سنة 1960 بمنطقة سيدي مهدي ( شكل 3 ) و هو غير مستغل حالياً بسبب الترسبات التي ظهرت على مستوى فتحات التهوية.



شكل 3. مبرد المياه المستعمل بمنطقة سيدي مهدي

و الثاني ( شكل 4 ) تم إنجازه في العشرية الأخيرة و يمتاز بارتفاعه العالي ( 19 م ) و بسعة تخزين تقدر بـ 380 م<sup>3</sup> و بتدفقه الكبير ( 1440 م<sup>3</sup>/سا ). قدرت نسبة ضياع المياه التبخر بـ 5,4 % ، لكن بسبب توقف استعمال مركب الهيكساميتافوسفات ( HMP ) في محطة التبريد لاحتقال ظهور انعكاسات صحية تم توقيف عملية التبريد خوفا من حدوث ترسبات في المناطق المجاورة للمبرد. أهم الخصائص الكيميائية للمركب ( HMP ) مبينة في الجدول 4.

جدول 4. الخصائص الكيميائية للمركب ( HMP )

العناصر	التركيز
فسفور الكلي ( P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	( 56,5 - 68 )
الفليور	10 ppm
الرصاص	5 ppm
الزرنبيخ	3 ppm
المعادن الثقيلة الأخرى	10 ppm
فوسفات	8 %
pH	7,3 - 6,8

أظهرت التجارب أن استعمال مركب الهيكساميتافوسفات يعطي نتائج مقبولة للعسرة الكلية للمياه ( 55 F ) لكن تعتبر النسبة المضافة لتخفيض العسرة إلى 55 F مرتفعة [17] ، بالإضافة إلى احتواء هذا المركب ( هيكساميتافوسفات ) على بعض من المعادن الثقيلة ( الرصاص و الزرنبيخ ... ) و عليه فإننا ننصح على استعماله بحذر و خاصة إذا علمنا أن هناك نوعين من المركب : تجاري (commercial) و أهلي (domestique).



شكل 4. مبرد المياه المستعمل بمنطقة عين الصحراء

## الفصل الثاني

### ظاهرة الترسيب

### وآثارها على شبكة توزيع المياه

عموما ترجع عسرة المياه إلى أيونات كل من  $Ca^{2+}$  ,  $Mg^{2+}$  ,  $Sr^{2+}$  ,  $Mn^{2+}$  ,  $Fe^{2+}$  ، إلا أنه و بسبب إمكانية التأكسد السريع للحديد و المنغنيز ( جدول 5 ) و ترسيبهما من جهة و إلى خلو المياه طبقة الالبان من  $Sr^{2+}$  ، فإن عسرة مياه طبقة الالبان تتمثل في مجموع تراكيز أيونات  $Ca^{2+}$  ,  $Mg^{2+}$ .

جدول 5. التصنيف الكهروكيميائي لبعض الشوائب ( قوة التأكسد متزايدة من الأسفل إلى الأعلى )

المعادلة النصفية الإلكترونية	
$Fe_2 + 2e^- \longrightarrow$	$2F^-$
$MnO_4^- + 8H_3O^+ + 5e^- \longleftarrow$	$Mn^{2+} + 12H_2O$
$ClO^- + 2H_3O^+ + 2e^- \longleftarrow$	$Cl^- + 3H_2O$
$Cl_2 + 2e^- \longleftarrow$	$2Cl^-$
$Cr_2O_7^{2-} + 14H_3O^+ + 6e^- \longleftarrow$	$2Cr^{3+} + 21H_2O$
$O_2 + 4H_3O^+ + 4e^- \longleftarrow$	$6H_2O$
$Br_2 + 2e^- \longleftarrow$	$2Br^-$
$NO_3^- + 4H_3O^+ + 3e^- \longleftarrow$	$NO + 6H_2O$
$Ag^+ + e^- \longrightarrow$	$Ag$
$Fe^{3+} + e^- \longleftarrow$	$Fe^{2+}$
$I_2 + 2e^- \longleftarrow$	$2I^-$
$Cu^{2+} + 2e^- \longleftarrow$	$Cu$
$SO_4^{2-} + 4H_3O^+ + 2e^- \longleftarrow$	$SO_2 + 6H_2O$
$Sn^{4+} + 2e^- \longrightarrow$	$Sn^{2+}$
$2H_3O^+ + 2e^- \longleftarrow$	$H_2 + 2H_2O$
$Pb^{2+} + 2e^- \longleftarrow$	$Pb$
$Sn^{2+} + 2e^- \longleftarrow$	$Sn$
$Fe^{2+} + 2e^- \longleftarrow$	$Fe$
$Zn^{2+} + 2e^- \longleftarrow$	$Zn$
$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow$	$Al$
$Na^+ + e^- \longleftarrow$	$Na$

## الفصل الثاني — طاهرة الترسيب و آثارها على الشبكة

من بين الأربع بلديات التابعة لدائرة تقرت و التي شملها البحث هي :

\* بلدية تقرت .

\* بلدية النزلة .

\* بلدية تسيست .

\* بلدية الزاوية العابدية .

يتبين أن أهم الأحياء التي تعاني من ظاهرة مشكل الترسيب على مستوى شبكة التوزيع و التزويد بالمياه الصالحة للشرب هي تلك التي تقع في حدود الكيلومتر الأول من المركب الهيدروليكي ( شكل 5 ). على مستوى بلدية تقرت نذكر كل من حي خميستي ، حي الرمال ، حي الأمير عبد القادر ، حي النخيل ، وحي وسط المدينة. أما على مستوى بلدية النزلة فأهم الأحياء المتضررة هي : حي النصر ، حي المستقبل ، حي سيدي بوجذان ، وحي بومرداس .

و لقد بينت المعاينة ( شكل 6 ) أن قطر قنوات التزويد أنخفض بنسبة 50 % في مدة لا يتجاوز 10 سنوات فمن القطر 400 ملم عند الوضع إلى قطر 200 ملم خلال هذه المدة .



شكل 6. ظاهرة الترسيب داخل قنوات قطرها 400 ملم في منطقة المركب الهيدروليكي

## الفصل الثاني — طاهرة الترسيب و آثارها على الشبكة

بالإضافة إلى انسداد القنوات فإن أجهزة التنظيم ( سدادة عدم الرجوع ، حنفية سكر ، مفرع هواء ... ) لم تسلم من هذه الظاهرة مما يؤثر سلبيًا على تسيير الأمثل للشبكة و يتجلى ذلك في إنخفاض التدفق و ارتفاع الضغط. يبين الشكل 7 أهم الأمثلة على انسداد أكثر من نصف حنفية سكر في مدة لا تتعدى عشرة سنوات.



شكل 7. ظاهرة الترسيب على مستوى حنفية سكر بالقرب من المركب الهيدروليكي

أما أحياء كل من سيدي بوعزيز ، عركوب و بعض من وسط المدينة و تبسيبت المتواجدة على مسافة أكثر من واحد كيلومتر فإنها لم تسلم كذلك من المشكل لكن بأقل حدة من تلك الأحياء التي تقع في قطر واحد كيلومتر من المركب الهيدروليكي كما يبينه الشكل 8 لإحدى قنوات الربط.



شكل 8. ظاهرة الترسيب على مستوى تجهيزات شبكة التوزيع



## 1. تكاليف صيانة الشبكة

يقدر عدد سكان منطقة وادي ريغ حسب إحصائيات سنة 2001 إلى 135266 ساكن. هذه الكثافة السكانية تزود بالمياه عبر شبكة طولها أكثر من 431584 متر طولي. من أجل إعادة تأهيل هذه الأخيرة و صيانتها أو تجديدها بسبب ترسب الأملاح كلف ميزانية الدولة و على مدى العشرية الماضية فقط إلى أكثر من 40.000.000,00 دج ( جدول 6 ).

### جدول 6. تكاليف تجديد و تأهيل و صيانة شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب بمنطقة تقرت

سنة الصيانة	طول القنوات المنزوعة ( ml )	تكاليف الصيانة ( DA )	سنة إنجاز الشبكة	الأحياء المتضررة بالترسبات
بلدية النزلة				
1999	1400	4.999.128,00	1987	حي النزلة
2002	1000	990.054,00	1994	حي سيدي بوجنان
2002	1000	1.031.413,50	1992	حي النصر
بلدية تقرت				
2000	1950	3.839.492,00	1987	حي الزهرة و حي خميسي
2000	5360	11.842.125,75	1987	وسط المدينة ، حي الأمل و الأمير عبد القادر
1998	1800	6.099.912,00	1987	وسط المدينة
1998	2445	8.587.620,00	1987	وسط المدينة
2002	980	1.016.379,00	1987	حي الأمير عبد القادر
2000	310	3.667.365,00	1987	أجهزة التنظيم
<b>42.073.489,25 دينار جزائري</b>				<b>التكلفة الإجمالية</b>

## الفصل الثاني — طاهرة الترسب و آثارها على الشبكة

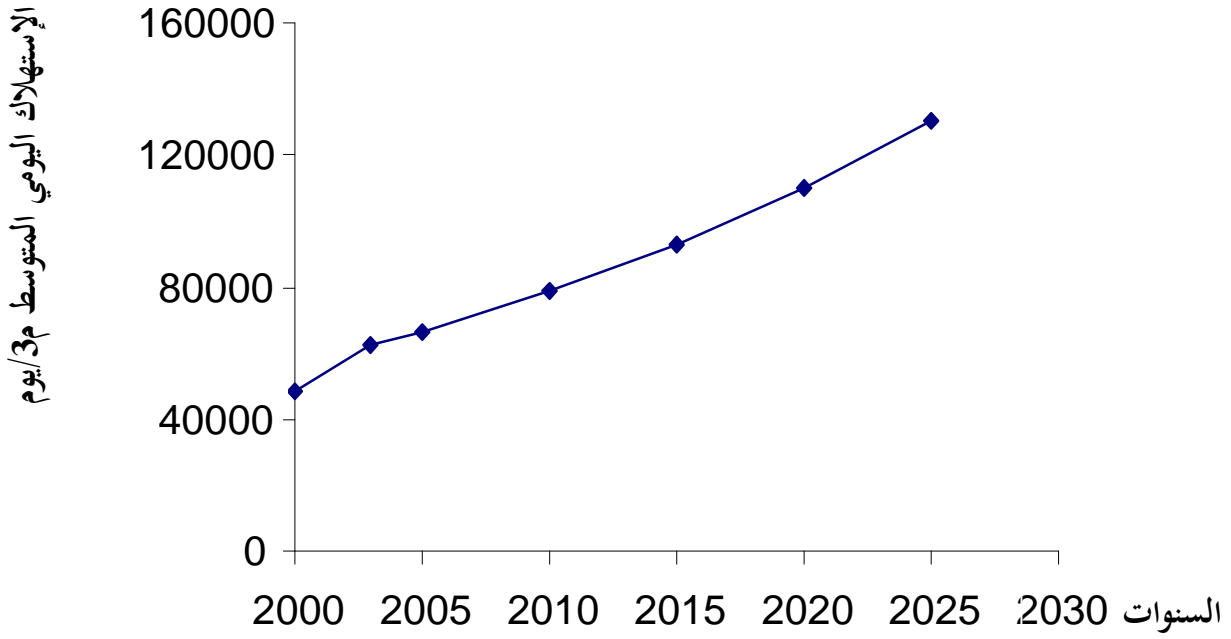
يلاحظ من الجدول 6 ، أن التكاليف التي تسخرها الدولة لترميم شبكة دائرة تقرت خلال أربع سنوات الأخيرة فاقت الأربع ملايين سنتيم . بلدية تقرت التي يصل إجمالي تكاليف إعادة تأهيل شبكتها إلى 35.000.000,00 دج ، بلغت فيها تكاليف حي الأمير عبد القادر و حي الأمل و وسط المدينة فقط إلى 27.000.000,00 دج إي بنسبة تفوق 65 % من المبلغ الإجمالي. نرجع هذه التكلفة المرتفعة لهذه الأحياء إلى كونها تقع بالقرب من المركب الهيدروليكي.

أما بخصوص بلدية النزلة فقد قدرت تكاليف إعادة تأهيل الشبكة بـ 7.000.000,00 دج في أقل من 10 سنوات حيث صرف أكثر من نصف المبلغ ( 4.999.128,00 دج ) على شبكة ( 1400 م ) لحي النزلة وحده سنة 1999 لإعادة ترميمها. أما المبلغ المتبقي فقد إستعمل لعملية صيانة شبكة لحي سيدي بوجنان ، و حي النصر خلال سنة 2002.

## 2. تقدير الإحتياجات من المياه الصالحة للشرب بمنطقة الدراسة

تعاني شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب لمدينة تقرت من عدة مشاكل ( تذبذب في الضغط ، ترسب الأملاح ) . و لتقدير آثارها على فعالية شبكة التوزيع و تلبية حاجيات السكان ، لابد من معرفة مدققة للاحتياجات خلال هذه العشرية ( شكل 9 ) .

تقدر كمية المياه المستغلة حاليا إلى 14191200 م<sup>3</sup> / سنة ، و هو ما يوافق الاحتياجات المائية لدائرة تقرت خلال سنة 200 أي بعجز نسبته 25 % من احتياجات المنطقة من المياه خلال سنة 2003 ( 18968330 م<sup>3</sup> / سنة ) . أما الاحتياجات المتوقعة لسنة 2015 فقد قدرت بضعف الكمية المستغلة حاليا.



شكل 9. تقدير الاحتياجات المائية لمنطقة وادي ريبغ

نشير أن تكلفة بئر واحد لطبقة الالبيان يصل إلى 3 مليار دينار ، بالإضافة إلى مصاريف الصيانة المتكررة فإن سعر الحقيقي للتر الواحد من المياه يغدو جد مرتفع. و نظرا لمشاكل ظاهرة الترسب ، سنتطرق في الفصول الموالية إلى دراسة شاملة للظاهرة الترسب مع إبراز أهم الطرق الاقتصادية لإزالة عسرة الماء.

# الفصل الثالث

## ظاهرة الترسيب و مشاكلها.

إن الحديث عن ظاهرة الترسيب يقودنا حتما إلى معرفة و دراسة الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للمياه العسرة  
عموما و مياه منطقة وادي ريغ خصوصا.

### 1. أهم العناصر المنحلة في الماء

إن وجود الماء في الطبيعة بشكل نقي غير وارد في الشروط الحالية من التطور التكنولوجي و الصناعي ، لأنه  
مذيب جيد للكثير من المواد ( غازية ، سائلة ، صلبة ) ، و المياه الطبيعية سواء كانت جوفية أو سطحية فهي  
تأخذ خصائص الطبقات الأرضية المتواجدة عليها. ومن بين أهم العناصر الكيميائية الموجودة في المياه الطبيعية  
الغير ملوثة نذكر :

#### 1.1. العناصر الأساسية

##### 1.1.1. الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )

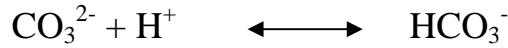
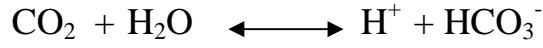
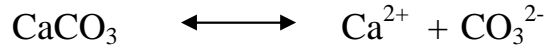
تواجده مرتبط بنوعية الصخور ( جبسية أو كلسية ) و التربة التي مرت بها المياه . عموما يتراوح  
عموما تركيز الكالسيوم في المياه بين 2 و 8 مغ/ل ، و قد يصل في المناطق الكلسية إلى 120  
مغ/ل [12]. نذكر أن التركيز المسموح به في مياه الشرب هو 200 مع/ل ( الجدول 7 ). من آثار عدم التقيد  
بمذه المعايير ، فلقد أوضحت الأبحاث [12] أن أمراض أوعية القلب تنتشر بنسب أكبر في المناطق التي  
تستهلك مياه خفيفة ، كما تعتبر المياه التي تراكيزها أعلى من 70 مغ/ل و أقل من 5 مع/ل من شوارد  
الكالسيوم غير مناسبة لنمو و تكاثر النباتات و الحيوانات المائية.

### 2.1.1. المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ )

كما في الكالسيوم ، يرجع وجود المغنيزيوم في المياه إلى انحلال الصخور الكربونية المشكّلة 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 مغ/ل ( جدول 7 ).

و تتواجد شوارد الكالسيوم و المغنيزيوم على شكل بيكربونات الكالسيوم و المغنيزيوم المنحلة ، و كما يتعلق تركيز الكربونات (  $CO_3^{2-}$  ) و البيكربونات (  $HCO_3^-$  ) في الماء بشروط التوازن القائم بين الوسط المائي و الطورين الصلب و الغازي المحيطين.

عموما فان تواجد شاردي (  $CO_3^{2-}$  ،  $HCO_3^-$  ) تنشأ من خلال الكربونات الطبيعية الذائبة في الماء ، و تماس الماء بالتربة أو غاز  $CO_2$  الجوى . و نلخص أهم التوازنات القائمة في الوسط المائي وفق العلاقات التالية :



### 3.1.1. البوتاسيوم ( $K^+$ )

يتواجد البوتاسيوم في جميع أنواع المياه الطبيعية ، و ذلك لكونه من أهم تركيبة القشرة الأرضية فهو يمثل ما نسبته 2,59 % . إلا أنه و للتذكير فأن نسبته في المياه السطحية أقل من نسبة الصوديوم و قد يعود ذلك إلى تخزينه في التربة بشكل جيد. التركيز المسموح به في مياه الشرب حسب النظام الأوروبي ( CE ) هو 12 مغ/ل.

### 4.1.1. الصوديوم ( Na<sup>+</sup> )

تشكل شوارد الصوديوم نسبة 2,83 % من تركيز القشرة الأرضية و تمتاز بدرجة انحلالية عالية في الماء ، لذا فهو يتواجد في جميع أنواع المياه السطحية و الجوفية. و قد حدد التركيز المسموح به قي مياه الشرب وفق ( OMS ) بـ 100 مع/ل.

### 5.1.1. الكلور ( Cl<sup>-</sup> )

يتواجد عنصر الكلورور في جميع أنواع المياه الطبيعية و لكن بتركيز متفاوتة. يقدر التركيز المسموح به حسب ( OMS ) في مياه الشرب بـ 200 مع/ل.

## 2.1. العناصر الغير المرغوب فيها

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

### 1.2.1. الحديد ( Fe<sup>2+</sup> )

بالإضافة إلى مياه الصرف الصناعية ، يرجع تواجد الحديد في الماء إلى إنحلال المركبات الحديدية المكونة للتربة. في الشروط العادية للمياه السطحية ( pH = 5,5 إلى 8,5 ) يكون الحديد على شكل Fe<sup>2+</sup> ، غير أن خاصيته السريعة للتأكسد فقد يتحول إلى Fe<sup>3+</sup> و يترسب على شكل هيدروكسيد الحديد Fe(OH)<sub>3</sub> .

للعلم أن تأثير الحديد على الأسماك يختلف باختلاف درجة pH ، ففي الوسط القلوي يتشكل هيدروكسيد الحديد و يترسب على غلاصم الأسماك ، بينما في الوسط الحمضي فإن السُمومية تحدث من شوارد الحديد. أما بالنسبة للإنسان فإن الحديد يعتبر عنصر ضروريا لبناء الجسم و عليه يجب إستهلاك ما بين 1 و 2 ملغ يوميا.

### 2.2.1. المنغنيز ( $Mn^{2+}$ )

تحتوي المياه الطبيعية على أملاح المنغنيز نتيجة إنحلال الصخور . و من النطور البيئي يعتبر المنغنيز عنصر سام للأسماك عند التركيز 1200 مغ/ل من مركب  $MnCl_2$  [12] أو كبريتات المنغنيز (2400 مغ/ل). أما البرمنغنات رغم سموميتها العالية جدا لكنها من حسن الحظ فهي غير ثابتة في الوسط المائي حيث يكفي ما بين 2,2 و 4,1 مغ/ل للقضاء على الأسماك.

### 3.2.1. الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ )

يعتبر الفوسفات مادة مغذية للنبات ، غير أن إرتفاع نسبته إلى أكثر من 60 مغ/ل يؤدي إلى تغيير في بنية بعض النباتات ، أما إرتفاع نسبته في مياه الشرب فيؤدي إلى حالة تقيئ وإسهال عند الإنسان [12]. المصدر الطبيعي للفوسفات ناتج عن تفكك المواد الحية ، ذوبان الأملاح الفوسفاتية ، الأسمدة ، المنظفات ، الصناعات الكيميائية. يتواجد الفوسفات في الماء بأشكال مختلفة تبعا لدرجة الـ pH. المياه الطبيعية (  $pH = 5,5 - 8,5$  ) تحوي على شوارد الفوسفات أحادية و ثنائية (  $H_2PO_4^-$  ,  $HPO_4^{2-}$  ).

### 4.2.1. النترات ( $NO_3^-$ )

من أهم مصادرها تحلل المواد العضوية و مياه الصرف الزراعي و الصحي . إن للنترات أغراض خطيرة على صحة الأطفال الرضع ، حيث استهلاك المياه ذات تركيز أعلى من 46 مغ/ل يسبب إحتناق نتيجة تحول النترات إلى نترت داخل الجهاز الهضمي .

### 5.2.1. النتريت (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

تمثل شوارد النتريت مرحلة انتقالية بين النترات و شوارد الأمينيوم (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) ضمن عملية الأكسدة و الإرجاع. بيئيا يعتبر تواجد NO<sub>2</sub><sup>-</sup> في المياه السطحية مضر بالأسماك إذ 50 مغ/ل منه تكفي لموت الأسماك خلال 15 يوما [12]. أما في مياه الشرب فتواجهه بسبب حالة إنخفاض الضغط عند الكبار و نقص الأوكسجين في الدم عند الأطفال الرضع.

### 3.1. العناصر السامة

وجودها في الماء ضار بالصحة ، لذا يجب الحرص على أن لا تزيد نسبتها على القيم المبينة في الجدول 7 و إن أمكن انعدامها. من بين هذه العناصر نذكر :

### 1.3.1. الرصاص (Pb<sup>2+</sup>)

الرصاص مادة سامة بالنسبة للإنسان حيث أن استهلاك واحد ملي غرام يوميا لفترة طويلة يؤدي إلى الموت المفاجئ [16] ، و قد حددت نسبته حسب المنظمة العالمية للصحة (OMS) بـ 0,1 مغ/ل. 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 ، صناعة رباعي إيثيل الرصاص (Pb(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)<sub>4</sub>).

### 2.3.1. الكروم (Cr<sup>2+</sup>)

يتواجد الكروم في المياه السطحية نتيجة النفايات الصناعية. تختلف صيغ الكروم في المياه باختلاف مصادرها ، فهناك الشوارد البسيطة (Cr<sup>3+</sup> , Cr<sup>6+</sup>) و الشوارد المعقدة ( , CrO<sub>2</sub><sup>-</sup> CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> ) ، نظرا لسموميته فقد حدد تركيزه بـ 0,05 مغ/ل ( جدول 7 ).

### 3.3.1. الكادميوم (Cd<sup>2+</sup>)

تواجد الكادميوم في المياه السطحية راجع إلى فضلات المصانع ( التعدين ، الأصبغة...). للكادميوم تأثير على الحيوانات المائية و الإنسان حيث تكفي جرعة 0,4 غ لقتل الإنسان [12].



جدول 7. تراكيز العناصر المسموح بها في مياه الشرب [16].

النظام الأوروبي CEE	النظام العالمي OMS	الوحدات المستعملة	الخاصة أو العنصر
8,5 – 6,5	8,5 – 7	pH	الدليل الهيدروجيني
1250	-	ميكروسيمنس /سم	النقلية
35-10	50	درجة فرنسية	القساوة
100	200	مغ/ل	$Ca^{2+}$ الكالسيوم
50	150		$Mg^{2+}$ المنغنيز
100	-		$Na^{+}$ الصوديوم
12	-		$K^{+}$ البوتاسيوم
0,2	-		$Al^{3+}$ الألمنيوم
250	200		$So_4^{2-}$ الكبريتات
200	200		$Cl^{-}$ الكلور
50	44		$NO_3^{-}$ النترات
0,1	-		$NO_2^{-}$ النتريت
0,5	-		$NH_4^{+}$ الأمونيوم
0,01	-		$Ag^{2+}$ الفضة
0,1	-		$Ba^{2+}$ البروم
0,05	-		$Cr^{2+}$ الكروم
0,05	0,05		$Cu^{2+}$ النحاس
1,5	1,5		$F^{-}$ الفلور
0,3	0,1		$Fe^{2+}$ الحديد
0,001	0,001		$Hg^{2+}$ الزئبق
2	-		$PO_4^{3-}$ الفوسفات
0,005	0,1		$Pb^{2+}$ الرصاص
2	5		$Zn^{2+}$ الزنك
0,05	0,05	$Mn^{2+}$ المنغنيز	
0,005	0,01	$Cd^{2+}$ الكاديوم	

## 2. الرائحة والطعم

المياه الشرب مستساغة الطعم و بلا رائحة و لا لون ، لكن ذوبان الغازات ( جدول 8 ) و انحلال بعض الأملاح المعدنية (  $\text{Na}^+$  ,  $\text{Cl}^-$  ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ) يكسبها طعما.

جدول 8. ذوابانية الغازات في المياه بدلالة درجة الحرارة [13]

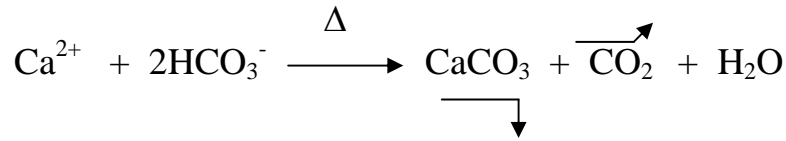
						درجة الحرارة (م°)
30	25	20	15	10	0	الغازات
7,4	8,1	8,8	9,7	10,8	13,9	O <sub>2</sub>
13,4	14,3	15,4	16,8	18,6	23,5	N <sub>2</sub>
-	-	0,53	0,59	0,70	1,06	CO <sub>2</sub>

## 3. خصائص المياه العسرة

ترجع عسرة المياه على مدى احتوائه من عناصر التالية :  $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  ,  $\text{Fe}^{2+}$  ,  $\text{Mn}^{2+}$  ,  $\text{Sr}^{2+}$  . و باعتبار خلو مياه طبقة الالبان من  $\text{Mn}^{2+}$  و  $\text{Sr}^{2+}$  و بسبب أكسدة الحديد و ترسيبه ، نرجع خشونة مياه طبقة الالبان إلى مجموع تراكيز عنصري  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  :

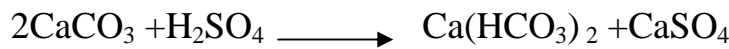
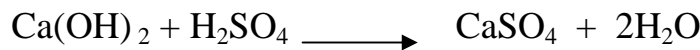
$$\text{TH} = [\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}]$$

تقسم القساوة إلى قساوة مؤقتة و قساوة دائمة . الأولى ترجع إلى تفاعل و ارتباط عنصرى الكالسيوم و المغنيزيوم بالكربونات (  $CO_3^{2-}$  ) و البيكربونات (  $HCO_3^-$  ) الذائبة في المياه و تسمى بالعسرة الكربوناتيية أما الثانية ( القساوة الدائمة ) ناتجة عن تفاعل و ارتباط الكالسيوم و المغنيزيوم مع كل من الكلورور (  $Cl^-$  ) و كبريتات (  $SO_4^{2-}$  ) على شكل أملاح :  $CaSO_4$  ,  $CaCl_2$  ,  $MgSO_4$  ,  $MgCl_2$  و تسمى هنا بالعسرة الغير كربوناتيية. و هذه الأخيرة ولا يمكن إزالتها إلا بالتفاعلات الكيميائية [12]. أما الأولى ( القساوة المؤقتة ) فيمكن إزالتها عند الدرجة 60 م ° كما نبينه في المعادلة التالية :

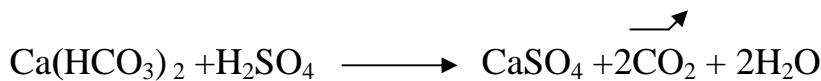


### 1.3. معايير القلوية البسيطة ( TA ) والكاملة ( TAC )

إن معيار قلوية الماء تسمح لنا بتعين مجموع أيونات الهيدروكسيل والكربونات والبيكربونات المتفاعلة مع معدني الكالسيوم والمغنيزيوم. تقاس القلوية باستعمال محلول عياري من حمض الكبريت (  $H_2SO_4$  ). يظهر اللون الأحمر للفينول فتالين عندما نعاير درجة الدليل الهيدروجيني ( pH ) عند 8,3 ، أي بعد تفاعل شوارد الهيدروكسيل ونصف الكربونات وتدعى هذه القلوية بالقلوية البسيطة ( TA ) وفق التفاعل التالي :



في حالة استعمال برتقالي الميثيل فان نقطة التحول تكون عند pH يساوى 4,3 و عندها تكون كافة الكربونات (  $CO_3^{2-}$  ) و البيكربونات (  $HCO_3^-$  ) و شوارد الهيدروكسيد (  $OH^-$  ) قد تفاعلت ، حيث حجم الحمض المستعمل للمعايرة يعبر عن القلوية الكاملة ( TAC ) وفق العلاقة التالية :



يبين الجدول 9 تراكيز مختلف الشوارد اعتمادا على القلوية الكاملة ( TAC ) والقلوية البسيطة ( TA ).

جدول 9. تركيز الأملاح المنحلة في الماء بدلالة القلوية البسيطة والكاملة [14]

	TA=0	TA < TAC/2	TA = TAC/2	TA > TAC/2	TA=TAC
OH <sup>-</sup>	0	0	0	2TA-TAC	TAC
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0	2TA	TAC	2(TAC- TA)	0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	TAC	TAC-2TA	0	0	0

يمكن معرفة طبيعة المياه من ناحية التوازن الكيميائي (متوازنة ، آكلة ، ترسيبية ) بتحديد قيمة معامل التشبع ( I<sub>L</sub> : Indice de Langelier ). انطلاقا من شروط التوازن للنظام الكالكوكربوني وبتعيين الدليل الهيدروجيني لتشبع النظام ( pHe ). يعطى دليل التشبع ( I<sub>L</sub> ) بالعلاقة التالية :

$$I_L = pH - pHe \quad [16]$$

أو عن طريق حساب دليل الاستقرار ( I<sub>R</sub> : Indice de Rysnard ) حسب المعادلة التالية :

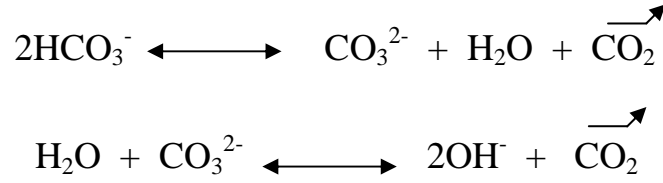
$$I_R = 2 pHe - pH$$

#### 4. أنواع الرواسب

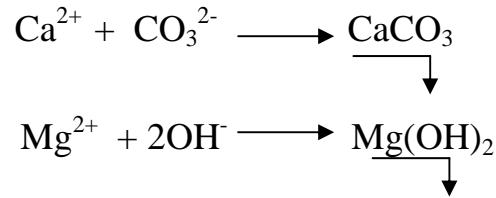
##### 1.4. الراسب القلوي

يتميز هذا الراسب بتواجد الكربونات و أيون الهيدروكسيل ( OH<sup>-</sup> ) نتيجة للتفكك الحراري لأيون البيكربونات ( HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ) حسب التفاعلات التالية :

الفصل الثالث — ظاهرة الترسيب و مشاكلها



إن انبعاث غاز ثاني أوكسيد الكربون و تكوين أيون  $\text{CO}_3^{2-}$  يؤدي عند تواجد شوارد الكالسيوم و المغنيزيوم و الهيدروكسيل إلى تشكيل راسب كما يبينه التفاعل التالي :



## 2.4. الراسب غير القلوي

هذا الراسب متعلق بتواجد ملح كبريتات الكالسيوم في الماء :



هذه الأشكال لكبريتات الكالسيوم لديها ذوبانية عالية مقارنة بذبوانية كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) و هيدروكسيد المغنيزيوم ( $\text{Mg(OH)}_2$ ) ، ولذلك فهو يتواجد عادة عند تشبع الماء بكبريتات الكالسيوم في درجات حرارة المرتفعة [16].

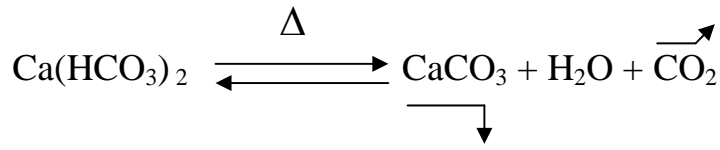
## 5. التوازن الكالكوكربوني

إن وجود الماء في حالة عدم الاتزان يؤدي إلى:

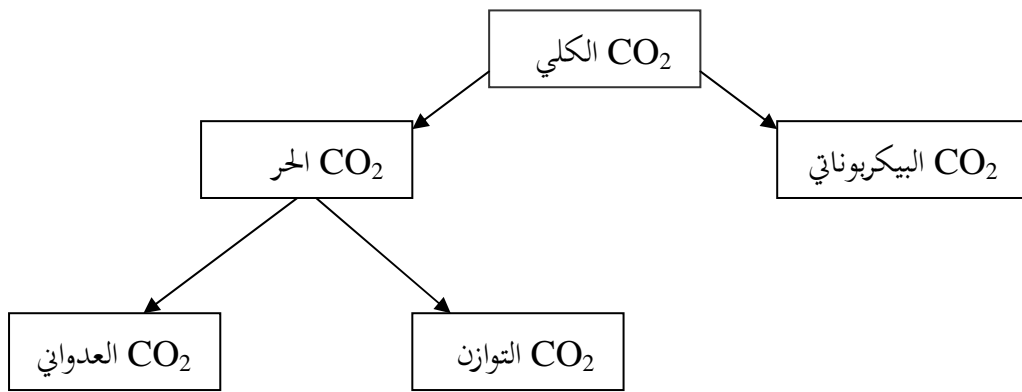
- تآكل قنوات التوزيع و منشآت التخزين
- حدوث ترسبات.

الفصل الثالث — ظاهرة الترسيب و مشاكلها

وطاهرة عدم توازن الماء هي نتيجة التوازن الكالكوكربوني :



حيث تبخر غاز ثاني أكسيد الكربون ( $\text{CO}_2$ ) من الماء بسبب الحرارة أو التهوية يؤدي إلى قلوية الماء وتشكل كربونات الكالسيوم ، و قد يسلك الماء الاتجاه العدواني بانحلال غاز ثاني الكربون [10]. يوضح الشكل 10 توزيع تركيز ثاني أوكسيد الكربون في الماء.



شكل 10. توزيع غاز  $\text{CO}_2$  في الماء

يمكن تلخيص المشاكل الممكن حدوثها في النقاط التالية :

- إذا كان تركيز  $\text{CO}_2$  الحر  $< \text{CO}_2$  التوازن أي  $\text{pH} < \text{pHe}$  ، فإن المياه ذو خاصية أكالة ونرجع انخفاض قيمة  $\text{pH}$  إلى وجود  $\text{CO}_2$  بزيادة ، أي هناك قيمة لثاني أوكسيد الكربون العدواني [11].

الفصل الثالث — ظاهرة الترسيب و مشاكلها

• إذا كان تركيز  $CO_2$  الحر =  $CO_2$  التوازن أي  $pH = pHe$  ، فإن كمية  $CO_2$  الحر انحلت كلها معبرة بذلك على  $CO_2$  التوازن ، ولا يوجد في هذه الحالة ثاني أكسيد الكربون العدواني و بالنتيجة فإن المياه متوازنة.

• إذا كان تركيز  $CO_2$  الحر  $CO_2 >$  التوازن أي  $pH > pHe$  ، فهذا مؤشر على نقص في  $CO_2$  الحر مؤديا بذلك إلى حدوث ظاهرة الترسب.

## 6. مشاكل وآثار المياه العسرة

ينتج عن استعمال المياه العسرة عدة تأثيرات نذكر منها :

• زيادة إستهلاك الصابون ، حيث المياه العسرة لا تحدث رغوة سريعة مع الصابون بسبب تفاعل أملاح كل من  $Ca^{2+}$  و  $Mg^{2+}$  مع المركبات الدهنية الموجودة في الصابون. تقدر الزيادة في استهلاك الصابون بحوالي 100 غ/م<sup>3</sup> من ماء الغسيل [14]. بالإضافة إلى المشكل الاقتصادي ، فإن الاستهلاك المفرط للصابون ينجر عنه آثار بيئية خطيرة و خاصة من عنصر الفوسفات.

• المياه العسرة تؤثر على متانة الأقمشة مما يقلص من مدة صالحيتها إلى ما نسبته 20 % من عمرها الافتراضي [14].

• إحداث ترسبات على سطح القنوات و الخزانات مؤديا بذلك إلى انسدادها مع الزمن.

• سوء التبادل الحراري على مستوى المسخنات المائية ، وبالتالي فهي تمثل مقاومة حقيقية للتبادل الحراري بين الماء و الوسط الخارجي [15].

الفصل الثالث ——— ظاهرة الترسب و مشاكلها

على الرغم من السلبيات المذكورة ، يجب أن نذكر أن للمياه العسرة خاصية إيجابية صحية تتمثل في العلاقة العكسية بين كمية عسر المياه و أمراض أوعية القلب الدموية ، حيث الزيادة المعقولة من الكالسيوم في الغذاء تقلل من مستويات الكوليسترول في الأوعية الدموية ، كما أن لوجود المغنيزيوم دور في حماية الأوعية الدموية من ترسبات الغرويات (الليبيدات ) في الشرايين. و على نقيض ذلك و لقد أشارت بعض البحوث [12] أن وجود المعادن الثقيلة ( الكادميوم ، الرصاص ، النحاس ،...) بنسب غير مسموح بها في المياه العسرة يساعد على الإصابة بأمراض أوعية القلب الدموية.



# الفصل الرابع

## طرق و وسائل

### 1. أخذ العينات

عملية أخذ العينات تركز على منهجية علمية سليمة من شأنها المحافظة قدر الإمكان على الخصائص الكيميائية و الفيزيائية للماء و ذلك بإتباع الخطوات التالية :

بعد تنظيف القارورات من نوع الزجاج باستعمال محلول من حمض الكلور (  $HCl$  ) تم غسلها بالماء العادي عدة مرات ثم بالماء المقطر ، و أخيرا تجفيفها في فرن درجة حرارته  $60^{\circ}C$  . و تهدف هذه العملية إلى إزالة آثار التلوث.

أثناء أخذ عينات لكل من بئر سيدي مهدي II و بئر عين الصحراء و حوض التبريد ، تغسل القارورات عدة مرات بالماء المراد معايرته ، و في الأخير تغلق القارورات بشكل محكم مع المحافظة على عدم ترك فقاعات الهواء بالبقاء داخلها.

## الفصل الرابع — طرق و وسائل

و لقد تم تصنيف العينات على النحو التالي :

- ثلاثة عينات بدون معالجة ،

- ثلاثة عينات عولجت بإضافة قطرات من حمض  $\text{HNO}_3$  مخصصة لمعايرة كل العناصر ماعدا  $\text{NO}_2^-$  ،  
 $\text{NO}_3^-$  ،

- ثلاثة عينات عولجت بإضافة قطرات من حمض  $\text{HCl}$  مخصصة لمعايرة كل العناصر ماعدا  $\text{Cl}^-$ .

أما بخصوص عينات الراسب المتشكل على جدران قنوات المركب ( الشكل 11 ) ، فقد أخذت بعناية دون المساس بالجدران ، و لمعايرة المكونات الأساسية للراسب ( $\text{Ca}^{2+}$  ,  $\text{Mg}^{2+}$  ,  $\text{Fe}^{2+}$  ,  $\text{Na}^+$  ... ) تم طححه و بعد 24 ساعة من تفاعل عينة وزنها 0,5 غ مع 10 ملل من حمض النتريك ( $\text{HNO}_3$ ) تم إضافة 100 ملل من الماء المقطر و في الأخير تم ترشيح العينات . نتائج التحليل يبينها الجدول 10.



شكل 11. عينة من الراسب مأخوذة من قنوات التوزيع

الجدول 10. نتائج معايرة الراسب المأخوذ من جدران القنوات

النسبة المئوية للملح المترسب ( % )	التركيب الكتلي للملح المترسب ( gr )	نوع الملح المترسب	التركيز الكتلي (mg/l)	العنصر
85,2	0,426	CaCO <sub>3</sub>	170,39	Ca <sup>2+</sup>
11,42	0,056	Mg(OH) <sub>2</sub>	23,17	Mg <sup>2+</sup>
0,78	0,00390	FeCO <sub>3</sub>	1,95	Fe <sup>2+</sup>
1,84	0,0092	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	2,00	Na <sup>+</sup>

لمعرفة نسبة كتلة الملح المترسب نحسب التركيب الكتلي للملح المترسب ثم النسبة المئوية للملح المترسب وفق العلاقات التالية :

$$\frac{\text{التركيب الكتلي للعنصر} \times \text{الكتلة المولية الجزئية}}{\text{الكتلة المولية الذرية للعنصر}} = \text{التركيب الكتلي للملح المترسب ( غ )}$$

$$100 \times \frac{\text{التركيب الكتلي للملح المترسب}}{\text{كتلة عينة الملح المترسب المستخدمة في التحليل}} = \text{التركيب المئوي للملح المترسب ( \% )}$$

من الجدول 10 نلاحظ أن الأملاح الأساسية في تكوين الراسب هي أملاح الكالسيوم و المغنيزيوم . يمثل جزئي كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub> ) أكثر من 85 % من الراسب لمياه المنطقة.

## 2.1. سرعة الترسيب

لتحديد سرعة الترسيب تم تعيين سمك الراسب المتشكل للعدة قنوات قطرها 400 ملم في منطقة المركب الهيدروليكي ، و بمعرفة مدة الاستعمال للقنوات و بالاعتماد على قانون الميكانيك ( قانون الحركة المنتظمة ) تم حساب سرعة الترسيب (الجدول 11 ) وفق العلاقة التالية :

$$\text{سر} = \frac{\text{س}}{\text{ز}}$$

حيث :

سر : سرعة الترسيب

س : سمك الراسب

ز : مدة استعمال الشبكة

جدول 11. قيم سرعة الترسيب لعدة قنوات على مستوى المركب الهيدروليكي لدائرة تقورت

القناة	1	2	3	4	5	6
سمك العينة (سم)	8,5	9,0	10,0	10,5	12,0	14,0
مدة الاستعمال (سنة)	10	10	10	10	10	10
سرعة الترسيب (سم/سنة)	0,85	0,90	1,00	1,05	1,20	1,40

من الجدول 11 نستنتج أن تشكل سمك الراسب خلال كل سنة وصل إلى 1,4 سم ، مؤديا بذلك إلى تقليص المدة النظرية المفترضة للإستغلال ب 60% .

## 2. أجهزة القياس المستعملة و آليات المعايرة

### 1.2. جهاز قياس الدليل الهيدروجيني و الناقلية الكهربائية

تبدأ عملية قياس الدليل الهيدروجيني بعد معايرته و ضبطه بغمس مسرى الجهاز الذي تم تنظيفه في العينة مع تحريكه بسيط تقرأ القيمة على المؤشر بعد استقرار الجهاز. نتبع نفس الخطوات لقياس الناقلية الكهربائية ( Conductimétre ) للمياه.

### 2.2. معايرة الأيونات الموجبة $K^+$ و $Na^+$ و $Mg^{2+}$ و $Ca^{2+}$

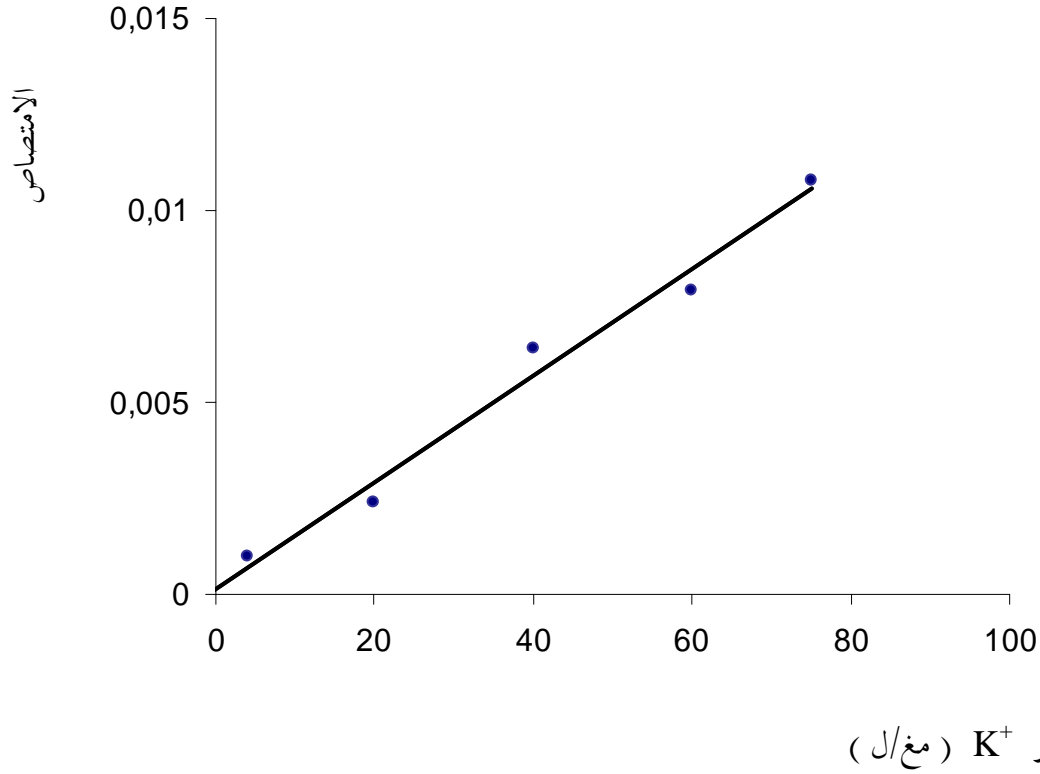
تم تحليل العينات في مخبر الكيمياء لمركز البحث و التنمية CRD ( Centre de Recherche et Développement ) بحاسي مسعود . جهاز المعايرة المستعمل هو المطياف الضوئي "Spectrophotomètre à Absorption Atomique" نوع Perkim-Elmere 1100B. فبعد نضح المعادن على شكل ذرات ( atomes ) يصل التركيز المعادن إلى خلية الكشف حيث تخترقه حزمة من الأشعة فوق البنفسجية ذات طول موجة مميزة للمعدن المراد تقدير تركيزه ( جدول 12 ).

#### جدول 12. طول الموجة المميزة للمعادن المدروسة

المعدن	Ca	Mg	Na	K
طول الموجة ( nm )	422,7	285,2	589,0	766,5

### 1.2.2. معايرة شوارد البوتاسيوم

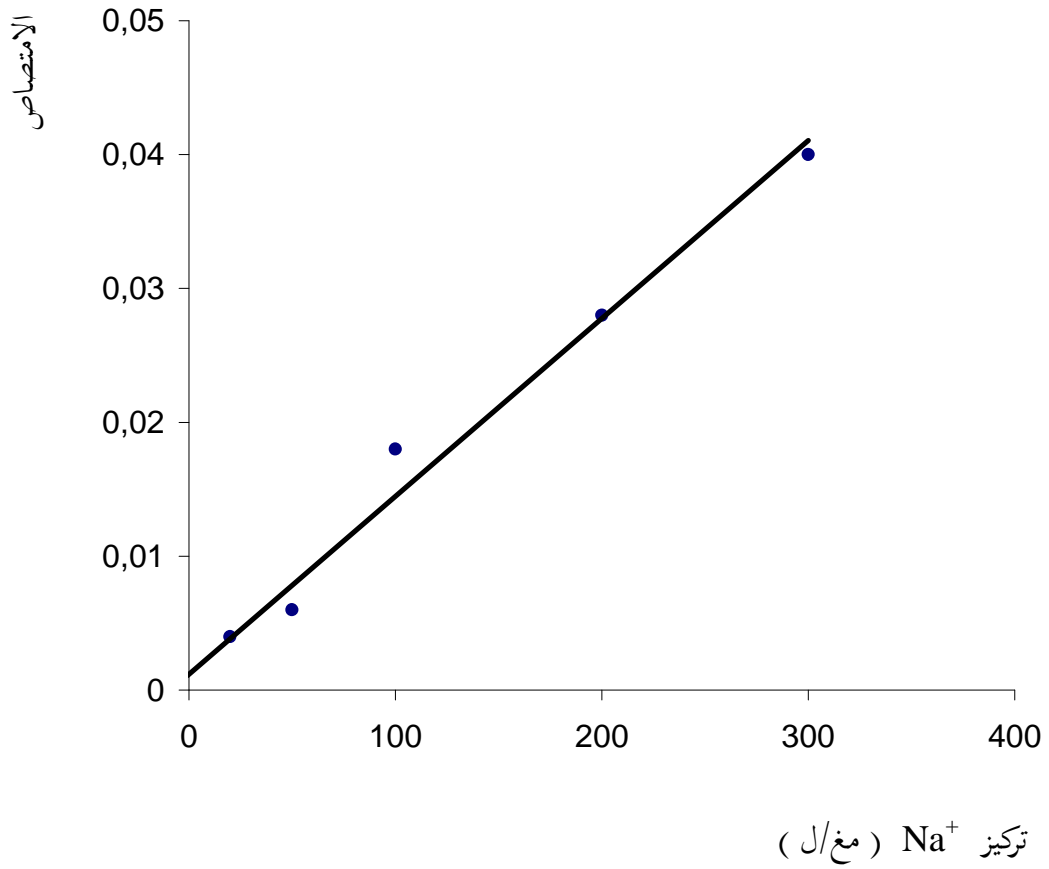
لمعرفة تركيز شوارد البوتاسيوم يحضر في زجاجات عيارية لمحالول كلورور البوتاسيوم. بعد إضافة الماء المقطر نتحصل على محاليل عيارية مختلفة : 4 ، 10 ، 20 ، 30 ، 40 ، 60 ، 80 ، 100 مغ/ل من شوارد البوتاسيوم ، ثم يضبط الجهاز بتمرير هذه المحاليل العيارية على الجهاز. إنطلاقا من المنحى العياري ( شكل 12 ) نحدد تركيز البوتاسيوم لعينة الماء المأخوذة من منطقة الدراسة.



الشكل 12. المنحى البياني العياري لشوارد البوتاسيوم

### 2.2.2. معايرة شوارد الصوديوم

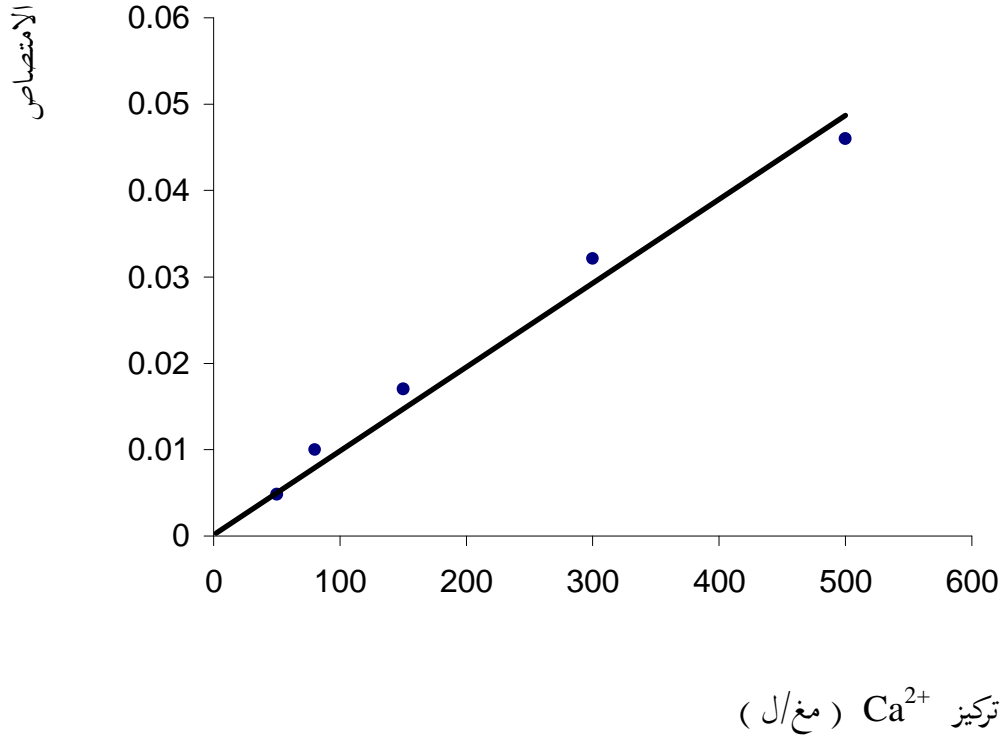
لمعايرة شوارد الصوديوم نتبع نفس الخطوات السابقة و ذلك باستعمال محلول من كلورور الصوديوم ( NaCl ) للحصول على المحاليل العيارية التالية 2 ، 5 ، 10 ، 15 ، 20 ، 30 ، 40 ، 50 مل. باستكمال الحجم إلى 1000 مل من الماء المقطر ، نحصل على المحاليل العيارية : 50 ، 100 ، 150 ، 200 ، 300 ، 400 ، 500 مغ/ل من شوارد الصوديوم. ثم تمرر هذه المحاليل على جهاز المعايرة للحصول على المنحى البياني العياري لشوارد الصوديوم ( شكل 13 ). و لمعرفة تركيز  $Na^+$  في المياه المدروسة تمرر العينات لتحديد تركيز شوارد الصوديوم .



الشكل 13. المنحى البياني العياري لشوارد الصوديوم

### 3.2.2. معايرة الكالسيوم

لمعايرة شوارد الكالسيوم تحضر محاليل عيارية مختلفة التراكيز لشوارد الكالسيوم يتراوح تركيزها من 50 إلى 500 مغ/ل ( شكل 15 ). و انطلاقا من المنحى العياري السابق وبعد تمرير عينات الماء المراد دراسته على الجهاز تعرف تراكيز شوارد الكالسيوم.



الشكل 14. المنحى البياني العياري لشوارد الكالسيوم

#### 4.2.2. معايرة المغنيزيوم

باستعمال طريقة المعايرة ( Titration ) يعرف تركيز المغنيزيوم في عينات الماء وفق الخطة التالية :

نأخذ 10 مل من عينة الماء و نضيف لها من 7 إلى 8 قطرات من أسود إيثروكروم ( T ) ثم بضع قطرات من محلول الامونياك و ذلك حتى ظهور اللون البنفسجي. نبدأ المعايرة بمعقد EDTA ( )

( Ethylene Diamine Tetra Acetate ) ( C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub>O<sub>8</sub> ) إلى غاية تحول اللون البنفسجي إلى اللون الأزرق. بمعرفة حجم معقد EDTA الموافق نحسب تركيز كل من شوارد الكالسيوم و المغنيزيوم معا وفق العلاقة التالية :

$$N = \frac{N_{EDTA} \times V_{EDTA}}{V}$$



حيث :

$N_{EDTA}$  : تركيز المعقد ( ملي مكافئ/ل )

$V_{EDTA}$  : حجم المعقد ( مل )

$N$  : تركيز شوارد الكالسيوم و المغنيزيوم في العينة ( ملي مكافئ/ل )

$V$  : حجم العينة ( مل )

و انطلاقا من نتيجة معايرة الكالسيوم على جهاز الامتصاص الذري نحسب تركيز المغنيزيوم بحساب الفرق بين الطريقتين :

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

### 3.2. قلوية الماء ( $HCO_3^-$ , $CO_3^{2-}$ , $OH^-$ )

تقاس قلوية الماء باستعمال حمض الكلوريدريك (  $HCl$  ). يحدد أولا حجم الحمض الموافق لعيار القلوية البسيطة ( TA ) عند  $pH = 8,3$  ، ثم حجم الحمض المناسب لعيار القلوية الكاملة ( TAC ) عند  $pH = 4,3$ . بعد ضبط جهاز  $pH$  ، نأخذ 50 ملل من عينة الماء ، ثم نغمس مسرى جهاز  $pH$  في العينة و نضيف الحمض قطرة قطرة . نسجل حجم الحمض (  $V_1$  ) الموافق ل  $pH = 8,3$  ثم نستمر في المعايرة بالحمض إلى  $pH = 4,3$  ثم نسجل الحجم (  $V_2$  ). تعطى تراكيز شوارد (  $HCO_3^-$  ,  $CO_3^{2-}$  ,  $OH^-$  ) بالعلاقات المبينة في الجدول 13.

جدول 13. قياس قلوية الماء

$\text{HCO}_3^- = (V_2 \times N \times 61 \times 1000) / \text{Pe}$ $\text{CO}_3^{2-} = 0$ $\text{OH}^- = 0$	$V_1 = 0$
$\text{HCO}_3^- = [(2 V_1 - V_2) \times N \times 61 \times 1000] / \text{Pe}$ $\text{CO}_3^{2-} = [(2 V_1) \times N \times 60 \times 1000] / \text{Pe}$ $\text{OH}^- = 0$	$V_1 < 1/2 V_2$
$\text{HCO}_3^- = 0$ $\text{CO}_3^{2-} = [(2 V_1) \times N \times 60 \times 1000] / \text{Pe}$ $\text{OH}^- = 0$	$V_1 = 1/2 V_2$
$\text{HCO}_3^- = 0$ $\text{CO}_3^{2-} = [(2 V_2 - 2 V_1) \times N \times 60 \times 1000] / \text{Pe}$ $\text{OH}^- = [(2 V_1 - V_2) \times N \times 17 \times 1000]$	$V_1 > 1/2 V_2$
$\text{HCO}_3^- = 0$ $\text{CO}_3^{2-} = 0$ $\text{OH}^- = \text{Pe} / (V_2 \times N \times 17 \times 1000)$	$V_1 = V_2$

يعطى كل من عيار القلوية البسيطة (TA) ، و عيار القلوية الكاملة (TAC) على التوالي :

$$\text{TA} = (V_1 \times N \times 1000) / \text{Pe} \quad (\text{meq/l})$$

$$\text{TAC} = (V_2 \times N \times 1000) / \text{Pe} \quad (\text{meq/l})$$

حيث :

Pe : حجم العينة ( مل ).

$V_2$  : حجم الحمض المعايير للبيكربونات ( مل ).

$V_1$  : حجم الحمض المعايير للكربونات ( مل ).

N : نظامية الحمض المعايير.

### 1.3.2. معايرة شوارد الكلورور ( $\text{Cl}^-$ )

وفق طريقة " MOHR " نحسب تركيز شوارد الكلورور هذه الطريقة تتركز على ترسيب شوارد الكلور

بإضافة محلول نترات الفضة ( $\text{AgNO}_3$ ) و بوجود بكرومات البوتاسيوم ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ).

## الفصل الرابع — طرق و وسائل

لمعايرة الماء تأخذ 10 مل من العينة المراد تحليلها ثم نضيف بعض القطرات من ( $K_2CrO_4$ ) و نعاير بواسطة محلول نترات الفضة إلى غاية نقطة تغير اللون من الأصفر إلى الأحمر الآجري ثم نسجل الحجم ( $V$ ). يحسب تركيز شوارد الكلورور وفق العلاقة التالية :

$$[Cl^-] = (V \times 35,457N \times 1000 \times D) / Pe \quad (\text{مغ/ل})$$

حيث :

$V$  : حجم محلول نترات الفضة (مل)

$N$  : نظامية نترات الفضة

$D$  : التخفيف ( التمديد )

### 2.3.2. معايرة شوارد الكبريتات ( $SO_4^{2-}$ )

تعتمد طريقة المعايرة على ترسيب شوارد الكبريتات على شكل كبريتات الباريوم ، عند إضافة كلوريد الباريوم ( $BaCl_2$ ) بإستعمال الكواشف التالية :

- حمض كلور الماء ( $HCl$ ) 50 %

- الهليانتين (برتقالي المثل) 1 %

بعد عملية التكليليس في فرن درجة حرارته 100 م° و معرفة وزن الراسب ، نحسب تركيز الكبريتات وفق العلاقة التالية :

$$SO_4^{2-} = (\Delta P \times D \times 20,576 \times 20 \times 10^3) / Pe \quad (\text{mg/l})$$

حيث :

$\Delta P = P_2 - P_1$  : فرق الوزن للجفنة الحاوية للراسب

$P_1$  : وزن الجفنة فارغة

$P_2$  : وزن الجفنة بعد التكليليس

$D$  : التخفيف

# الفصل الخامس

## طرق معالجة عسرة المياه

يتم إزالة عسرة المياه (عملية التيسير) بعدة طرق نذكر منها :

- الترسيب الكيميائي ،
- التبادل الأيوني ،
- إضافة الحمض ،
- إضافة الموانع (المثبطات).

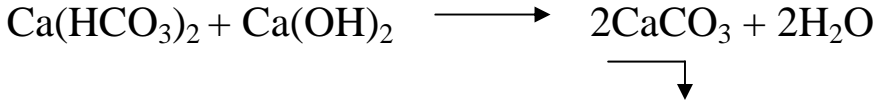
ويعتمد استخدام أي من هذه الطرق على تركيز العسرة في المياه الخام وكمية المياه المعالجة ونوعية المياه المطلوبة ، حيث يراعى في كل من هذه الطرق العامل الاقتصادي.

### 1. الترسيب الكيميائي

تعتمد طريقة الترسيب الكيميائي على pH الماء ، وتتم عملية التيسير بتحويل العسرة الناتجة عن أملاح الكالسيوم ( بيكربونات ، كبريتات ، وكلوريد الكالسيوم ) إلى كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) وتحويل العسرة الناتجة عن أملاح المغنيزيوم إلى هيدروكسيد المغنيزيوم ( $\text{Mg (OH)}_2$ ).

### 1.1. إضافة منفردة للجير

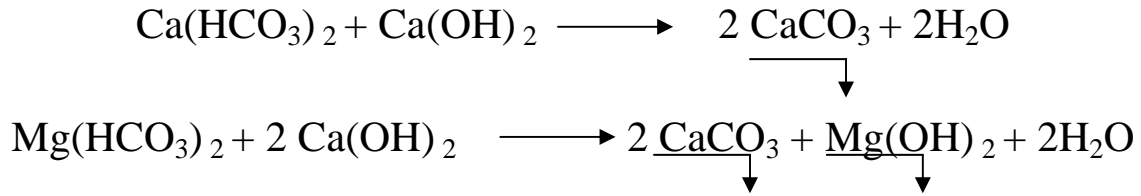
تهدف طريقة الإضافة المنفردة للجير إلى تخفيض العسرة الكربونية الكلسية وليس لها أي تأثير على العسرة الغير كربوناتيّة و المنغنيزية . أهم نتائج هذه الطريقة بينه التفاعل التالي :



### 2.1. إضافة زائدة للجير

تضاف كمية زائدة بهدف التخفيف من العسرة الكربوناتيّة فقط. وفق التفاعلات الكيميائيّة التالية :

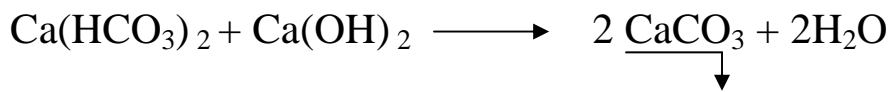
\* ترسيب بيكاربونات الكالسيوم والمنغنيزيوم



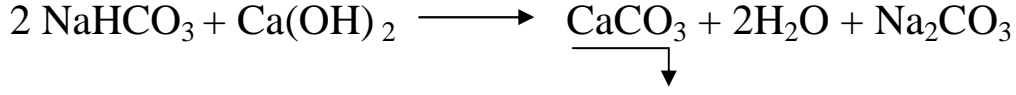
### 3.1. إضافة الجير مع الصودا

نلجأ إلى إضافة الجير مع الصودا (  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ) لنزع الخشونة الدائمة ( العسرة الغير كربوناتيّة ) و الخشونة اللحظية ( العسرة الكربوناتيّة ). أهم التفاعلات الكيميائيّة نلخصها فيمايلي :

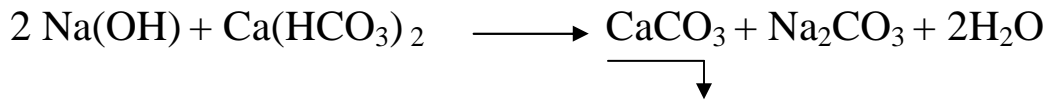
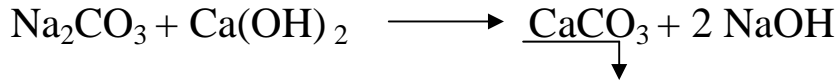
\* ترسب الكالسيوم



\* تحول بيكربونات الصوديوم الى كربونات



\* تفاعل رماد الصودا مع الجير وترسب الكالسيوم

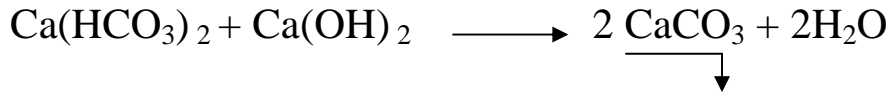


#### 4.1. إضافة الجير والصودا بزيادة

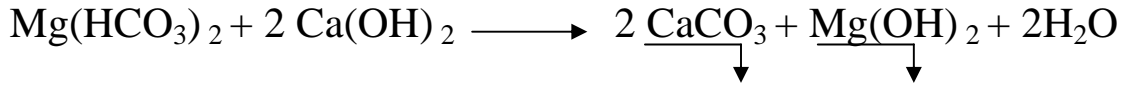
تهدف هذه الطريقة إلى نزع الخشونة الكربوناتية و الغير كربوناتية الدائمة و اللحظية. أهم التفاعلات

توضحها المعادلات التالية :

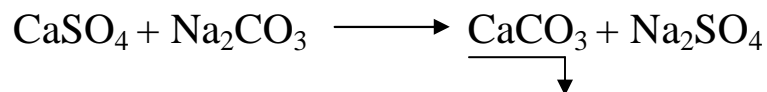
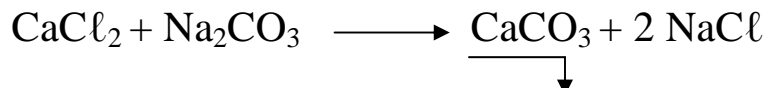
\* ترسب الكالسيوم



\* ترسب المغنيزيوم



\* تحول كلوريد وكبريتات الكالسيوم إلى كربونات الكالسيوم





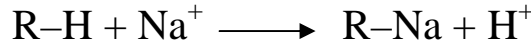
### 3. استعمال المبادلات الشاردية

المبادلات الشاردية عبارة عن جزئيات حبيبية صلبة لا تدوب في الماء ولا العديد من المحلات العضوية ، و تحمل في بنيتها الجزئية جذورا حامضية (  $H^+$  ) أو قاعدية (  $OH^-$  ) ، قابلة للتبادل مع الشوارد الموجبة أو السالبة دون حدوث تغير ظاهري في خصائصها الفيزيائية. تصنف المبادلات الشاردية إلى نوعين :

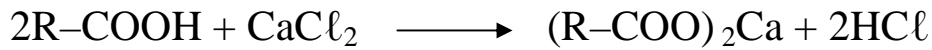
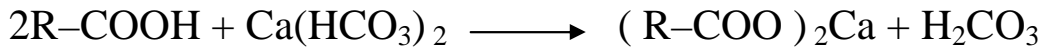
#### 1.3. المبادلات الشاردية الموجبة ( Echangeurs cationiques )

تقسم بدورها إلى :

- شديدة الحموضة : إذ مركزها الفعال على شكل (  $H^+$  ) ضعيفة الارتباط ، ويمكن استبدالها بأي شاردة موجبة :



- ضعيفة الحموضة : لا تستقطب إلا الشوارد الحامضية الضعيفة مثل "  $COOH$  " ، وتسمى بالمبادلات المزيلة للبيكربونات [19] كما يبينه التفاعلين التاليين :



#### 2.3. المبادلات الشاردية السالبة ( Echangeurs anioniques )

و تنقسم بدورها إلى :

- قوية القاعدية : تتمتع بالوضيفة الهيدروكسيلية (  $OH^-$  ) ، أو الكلورية (  $Cl^-$  ) و ذلك تبعا لمحلل التجديد أو التنظيف :  $NaCl$  أو  $NaOH$  .



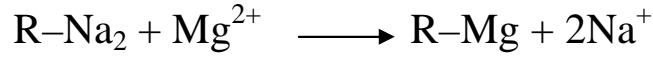
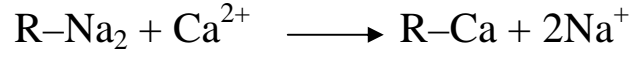
- **ضعيفة القاعدية** : عادة تكون الوظيفة الفعالة عبارة عن الجدر ( $-NH_2$ )

النتائج المستخلصة باستعمال التبادل الأيوني في مجال تيسير المياه هي :

#### \* إزالة عسرة الماء

تعد راتنجات ( Resine ) التبادل الأيوني الموجب قوي الحامضية في صورة الصوديوم من أشهر

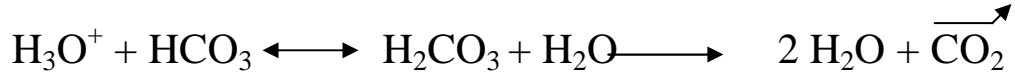
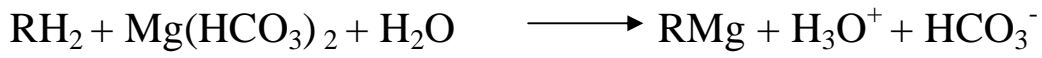
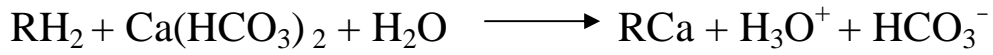
الراتنجات المستخدمة في تيسير المياه :



#### \* إزالة الكربونات من الماء

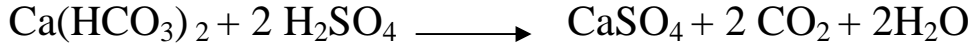
كما يمكن إزالة الكربونات من الماء مع تحرر حمض الكربون الذي يتفكك بدوره إلى ثاني أكسيد

الكربون والماء [19] :



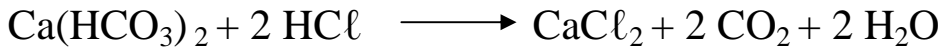
#### 4. إضافة الحمض

حمض الكبريت ( $H_2SO_4$ ) من بين أهم الأحماض الأكثر استعمالاً في إزالة العسرة و ذلك لقلّة تكلفته. نتيجة هذا التفاعل تبينه العلاقة الكيميائية التالية :



للعلم أن تخفيض درجة فرنسية واحدة من قيمة القلوية الكاملة (TAC) يتطلب إضافة 10 غ من حمض الكبريت لكل متر مكعب من الماء.

بالإضافة إلى حمض الكبريت يمكن أيضاً استعمال حمض الكلور الذي يستعمل في إزالة الراسب وفق المعادلة التالية :



مقارنة بحمض الكبريت ، فلتقليل درجة فرنسية واحدة من قيمة القلوية الكاملة (TAC) يجب إضافة 20 غ من حمض الكلور في متر مكعب الواحد [21] ، أي ضعف كمية حمض الكبريت ( $H_2SO_4$ ).

#### 5. إضافة الموانع (المثبطات)

تكمّن خاصية إضافة المثبطات الكيميائية ( الموانع ) للمياه العسرة على منع التشكل البلوري للراسب و تأخير سرعة نموها. من بين أهم المثبطات نذكر :

##### ● الفوسفات المكثف

- عديد الفوسفات ( تجمع خطي للفوسفات  $PO_4^{3-}$  )
- فوق الفوسفات ( تجمع متفرع للفوسفات  $PO_4^{3-}$  )
- الميثافوسفات ( تجمع حسب الحالة الحلقية للفوسفات  $PO_4^{3-}$  )

● الفوسفات العضوي

يتميز الفوسفات العضوي بمجموعة أو عدة مجموعات وظيفية تتجمع في جدر عضوي. هذه المركبات الكيميائية لديها قابلية ضعيفة للإتحلال بالماء لذلك فهي تستعمل على شكل حمضي أو ملحي. العديد من هذه المركبات لديها القدرة على منع تشكل كربونات الكالسيوم . تركيز العتبة لبعض لأهم المركبات مبينة في الجدول 14 :

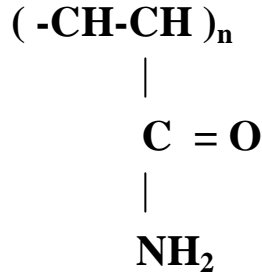
جدول 14. تركيز العتبة لبعض مركبات الفوسفات العضوية

تركيز العتبة	المركب
$10^{-4}$ - $10^{-3}$ مول/ل	غليسروفوسفات ( Glysrophosphate )
$10^{-5}$ - $10^{-4}$ مول/ل	ميثافوسفات الثلاثية ( Trimeyaphosphate )
$10^{-6}$ - $10^{-5}$ مول/ل	بيروفوسفات ( Pyrophosphate )
أقل $10^{-7}$ مول/ل	ميثافوسفات السداسي ( Hexametaphosphate )
$10^{-7}$ - $10^{-6}$ مول/ل	ثيامين بيروفوسفات ( Thiamine pyrophosphate )
$10^{-7}$ - $10^{-6}$ مول/ل	عديد الفوسفات الثلاثي ( Tripolyphosphate )
أقل $10^{-7}$ مول/ل	سلاسل عديد الفوسفات ( chaîne de poly phosphate )

● البوليميرات العضوية

مكونة من جزيئات ضخمة ذات أصل طبيعي أو اصطناعي وتنقسم إلى :

- البوليميرات غير المتشردة : نذكر منها على سبيل المثال عديد الاكربلاميد ذو كتلة جزئية تتراوح بين مليون و ثلاثين مليون :



شكل 15. عديد الاكربلاميد

- البوليميرات السالبة : يحوى هذا النوع على مجموعات قابلة للتشرد (شوارد سالبة) ونذكر منها عديدات الاحماض الكربوكسيلية و الكبريتية التالية :





## الفصل السادس

### معالجة عسرة مياه وادي ريغ

#### بإستعمال طريقة الجير

تعد المياه الجوفية المصدر الأساسي لتلبية احتياجات الجنوب الجزائري عموما و منطقة وادي ريغ على الخصوص من مياه الشرب ، لكن و بسبب عسرتها الكبيرة فإنها تؤدي سنويا إلى حدوث مشاكل عديدة لقطاع توزيع المياه الصالحة للشرب. لكن برغم العديد من الطرق المتوفرة و ذات فاعلية في تخفيض عسرة هذه المياه فلقد ارتأينا إلى معالجة عسرة هذه المياه عن طريق إضافة الجير ، بسبب قلة تكلفتها و خلوها من كل الآثار السلبية على المياه المعالجة.

نعتمد في معالجة عسرة المياه وفق هذه الطريقة على مرحلتين :

- الأولى بإضافة الجير و الصودا بغرض الحصول على مياه ذات عسرة توافق المعايير العالمية ،
- و الثانية بإضافة الجير و الصودا بزيادة للحصول على مياه ذات عسرة مرغوب فيها.

## 1. الخاصية التوازنية و مواصفات مياه طبقة الاليان لمنطقة وادي ريغ

جميع المياه الطبيعية تحتوي و بنسب مختلفة على أملاح معدنية :  $Ca^{2+}$  ,  $Mn^{2+}$  ,  $Na^+$   $Mg^{2+}$  ,  $Fe^{2+}$   $Cl^-$  ,  $SO_4^{2-}$  ,  $HCO_3^-$  ,  $K^+$  . إرتفاع تراكيز هذه الأملاح في المياه تحد من صلاحيتها للشرب و مما يستوجب التخفيف منها للوصول إلى الحد المسموح به وفق مواصفات المنظمة العالمية للصحة ( OMS ) أو معايير السوق الأوروبية المشتركة ( CE ) ( Communauté Européen ) أو الوطنية.

### 1.1. مواصفات مياه طبقة الاليان

بعد معايرة المياه وفق الطرق السابقة الذكر ، يجب تحديد دقة التحاليل و ذلك لحساب نسبة الخطاء في التوازن الايوني (  $\delta$  % ) حسب العلاقة التالية :

$$\delta \% = \frac{\Sigma [C^+] - \Sigma [A^-]}{\Sigma [C^+] + \Sigma [A^-]} \times 100$$

حيث :

$\Sigma [C^+]$  : مجموع الشوارد الموجبة بالمكافئ/ل

$\Sigma [A^-]$  : مجموع الأيونات السالبة بالمكافئ/ل

تقدر نسبة الخطأ (  $\delta$  % ) في نتائج تحاليل المياه بـ 0,28% ( جدول 15 و 16 ) و بالتالي فهي عشرين مرة تقريبا أقل من الخطأ المسموح به ( 5 % ) . بمقارنة النتائج المتحصل عليها ( جدول 15 ، 16 ) بمواصفات المنظمة العالمية للصحة ( OMS ) ، و المعايير الجزائرية نستنتج أن مياه بئر عين الصحراء و سيدي مهدي II يفوق تركيز الكالسيوم بها ( 267,6 مع/ل ) التركيز المسموح به ( 200 مع/ل ) . أما بالنسبة للمغنيزيوم ( 85,53 مع/ل ) فهي أقل مرتين تقريبا من التركيز المسموح به ( 150 مع/ل ) . بقية العناصر الأخرى  $Na^+$  و  $K^+$  و  $SO_4^{2-}$  فتركيزها يفوق بكثير التركيز المسموح به بـ 46 % إلى 60% .

جدول 15. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لمياه بئر عين الصحراء.

الملاحظة	النظام الجزائري		النظام العالمي OMS		نتائج التحاليل	العناصر
	التركيز الأقصى المسموح به	التركيز الأقصى المرغوب فيه	التركيز الأقصى المسموح به	التركيز الأقصى المرغوب فيه	mg/l	
غير مسموح به	200	75	200	75	267,6	Ca <sup>2+</sup>
مسموح به	150	-	150	30	85,53	Mg <sup>2+</sup>
غير مسموح به	200	-	-	-	323,25	Na <sup>+</sup>
غير مسموح به	20	-	-	-	43,06	K <sup>+</sup>
35,84 meq / ℓ						مجموع (+)
غير مسموح به	500	200	600	200	532,47	Cl <sup>-</sup>
	-	-	-	-	160,23	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
غير مسموح به	400	200	400	200	837	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	-	-	-	-	00	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
35,64 meq / ℓ						مجموع (-)
مقاييس أخرى						
مسموح به	-	8,5-6,5	-	8,5-7	7,24	PH
غير مسموح به	50	10	50	10	101,95	( F° ) TH
غير مسموح به	500	100	500	100	1019,5	(ppm) TH
مسموح به	2800	-	-	-	2437	الناقلية μS/Cm
13,1						( F° ) TAC
00						( F° ) TA



جدول 16. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لمياه بئر سيدي مهدي II.

الملاحظة	النظام الجزائري		النظام العالمي OMS		نتائج التحاليل	العناصر
	التركيز الأقصى المسموح به	التركيز الأقصى المرغوب فيه	التركيز الأقصى المسموح به	التركيز الأقصى المرغوب فيه	mg/l	
غير مسموح به	200	75	200	75	253,51	Ca <sup>2+</sup>
مسموح به	150	-	150	30	97.04	Mg <sup>2+</sup>
غير مسموح به	200	-	-	-	325,00	Na <sup>+</sup>
غير مسموح به	20	-	-	-	44,18	K <sup>+</sup>
35,82 meq / ℓ						مجموع (+)
غير مسموح به	500	200	600	200	530,61	Cl <sup>-</sup>
	-	-	-	-	159,88	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
غير مسموح به	400	200	400	200	818,69	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	-	-	-	-	00	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>
34,62 meq / ℓ						مجموع (-)
مقاييس أخرى						
مسموح به	-	8,5-6,5	-	8,5-7	7,53	PH
غير مسموح به	50	10	50	10	103,10	( F° ) TH
غير مسموح به	500	100	500	100	1031	(ppm) TH
مسموح به	2800	-	-	-	2377	الناقلية μS/Cm
13,10						( F° ) TAC
00						( F° ) TA

2.1. الخاصية التوازنية

المياه الطبيعية قد تكون ذات طبيعة متوازنة أو مستقرة أو ذات طبيعة ترسيبية أو عدوانية. يمكن تشخيص طبيعتها بقياس معامل التشبع ( Langelier Saturation Index ) I<sub>L</sub> أو بحساب مؤشر ( Ryznar stability Index ) I<sub>R</sub> ، اللذان يحسبان بالتسلسل حسب العلاقات التالية [21] :

$$I_L = pH - pHs$$

$$PHs = pCa + pAlk + C$$

$$I_R = 2pHs - pH$$

حيث :

pH : الدليل الهيدروجيني للمياه قبل التشبع

pHs : الدليل الهيدروجيني للمياه بعد التشبع

pCa : اللوغاريتم السالب لتركيز الكالسيوم

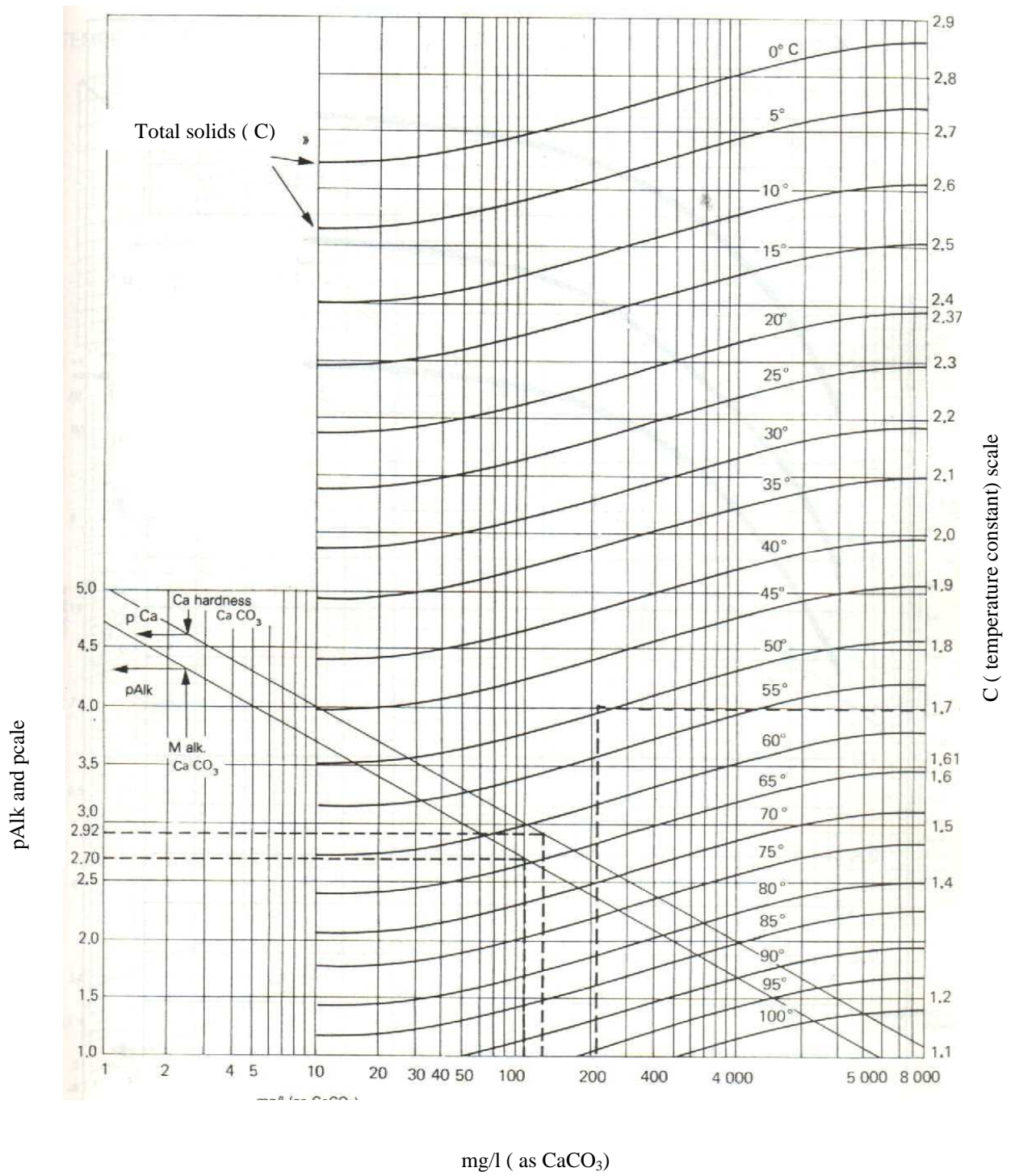
pAlk : اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية

C : قيمة متغيرة يتم تحديدها اعتماداً على نسبة الأملاح و درجة الحرارة حسب المخطط البياني للانجليه (شكل 16) .

بعد معرفة معامل كل من Ryznar ( جدول 17 ) و Langelier ( جدول 18 ) يمكن تحديد طبيعة المياه طبقة الالبان لمنطقة وادي ريغ ( جدول 19 و 20 ) .

جدول 17. طبيعة المياه حسب مؤشر لانجليه [21].

معامل التشبع لانجليه ( $I_L$ )	طبيعة المياه
0	متوازنة (مستقرة)
< 0	ترسيبية
> 0	أكالة



شكل 16. المخطط البياني للانجليه

جدول 18. طبيعة المياه حسب مؤشر ريزنار.

مؤشر ريزنار (I <sub>R</sub> )	طبيعة المياه
6 - 5	قليلة الترسيب
7 - 6	تميل إلى الإتزان
7,5 - 7	قليلة التآكل
8,5 - 7,5	قوية التآكل

الجدول 19. الخاصية التوازنية لمياه عين الصحراء

معامل التشبع لانجليه (I <sub>L</sub> ) و مؤشر ريزنار (I <sub>R</sub> )	
1988	البقايا الجافة (مع/ل)
57	درجة الحرارة (م 0)
1,74	قيمة (C) من مخطط للانجليه
2,60	اللوغاريتم السالب لتركيز الكالسيوم (pCa)
2,52	اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية (pAlk)
6,86	الدليل الهيدروجيني للمياه بعد التشبع (pHs)
0,38	معامل التشبع لانجليه (I <sub>L</sub> )
6,48	مؤشر ريزنار (I <sub>R</sub> )

## الجدول 20. الخاصية التوازنية لمياه بئر سيدي مهدي II

معامل التشبع لانجليه ( I <sub>L</sub> ) و مؤشر ريزنار ( I <sub>R</sub> )	
1880	البقايا الجافة ( مع/ل )
59	درجة الحرارة ( م0 )
1,63	قيمة ( C ) من مخطط للانجليه
2,65	اللوغاريتم السالب لتركيز الكالسيوم ( pCa )
2,55	اللوغاريتم السالب لتركيز القلوية ( pAlk )
6,83	الدليل الهيدروجيني للمياه بعد التشبع ( pHs )
0,7	معامل التشبع لانجليه ( LSI )
6,13	مؤشر ريزنار ( RSI )

من خلال حساب معامل التشبع لانجليه لبغري عين الصحراء ( جدول 19 ) و سيدي مهدي ( جدول 20 ) نقرأ أن  $I_L < 0$  و بالتالي نستنتج أن الطبيعة الكيميائية للمياه هي من النوع الترسيبية.

أما بالاستدلال إلى مؤشر ريزنار المحصور بين  $6 < I_R < 7$  ، يمكن أن نقول أن طبيعة مياه البئر تميل إلى الاتزان.

## 2. مراحل معالجة عسرة المياه بطريقة الجير و الصودا

نذكر أن الهدف من إضافة الجير و الصودا هو التخلص من خشونة المياه ، بتحويل العسرة الناتجة من أملاح الكالسيوم ( بيكربونات و كبريتات و كلوريد الكالسيوم ) إلى كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub> ) ،

و تحويل العسرة الناتجة من أملاح المغنيزيوم إلى هيدروكسيد المغنيزيوم  $Mg(OH)_2$  وذلك وفق مخطط العمل التالي :

- إضافة منفردة للجير
- إضافة الجير بزيادة
- إضافة الجير مع الصودا
- إضافة الجير و الصودا بزيادة

عبر كل مرحلة من هذه المراحل أخذنا في الحسبان على مراقبة تغيرات قيم pH و الناقلية الكهربائية عند أزمنة محددة سلفا. تجدر الإشارة أن نتائج التجارب المخبرية ستقارن مع نتائج الدراسة النظرية النموذجية.

مرت عملية تيسير المياه بإضافة الجير و الصودا عبر مرحلتين :

## 1.2. الأولى بإضافة الجير فقط

أهم الخصائص الكيميائية للجير المستعمل خلال دراستنا نبينها في الجدول 21 التالي :

الجدول 21. خصائص الجير المستعمل

العنصر	النسبة المئوية
الحديد ( $Fe^{2+}$ )	% 0,1
الرصاص ( $Pb^{2+}$ )	% 0,005
الكلور ( $Cl^-$ )	% 0,02
الكبريتات ( $SO_4^{2-}$ )	% 0,05
الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )	% 97

لدراسة طريقة الجير في التخفيف من عسرة مياه طبقة الالبان لوادي ريغ ، تم اتخاذ خصائص مياه بئر عين الصحراء ( جدول 22 ) كمنطلق لبحثنا المخبري و النموذجي النظري.

إنطلاقاً من التراكيز المكافئة للعناصر التي تم معايرتها في المياه عين الصحراء و بتطبيق العلاقة التالية :

$$C_{(CaCO_3)} = \frac{C \times 50}{ME}$$

نرسم مخطط بار للمياه المدروسة ( مخطط بار 1 ) ، حيث :

$$ME = \frac{M}{e}$$

$C_{(CaCO_3)}$  : تركيز العنصر ( المكافئ / لتر )

C : تركيز العنصر ( مغ / لتر )

ME : الكتلة المكافئة ( masse équivalente de l'ion )

M : الكتلة الذرية للعنصر ( مول / ل )

e : عدد التشرّد ( valence )

الجدول 22. نتائج تحاليل مياه بئر عين الصحراء

العناصر	نتائج التحليل المياه ( مغ / ل )	نتائج التحاليل للمياه ( المكافئة لـ $CaCO_3$ )
$Ca^{+2}$	267,6	669
$Mg^{+2}$	85,53	350
$Na^+$	323,25	703
$K^+$	43,06	55
$Cl^-$	532,47	750
$HCO_3^-$	160,23	131
$SO_4^{2-}$	837	872

مخطط بار 1. الماء الخام لبئر عين الصحراء

0	669	1019	1722	1777
Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	131	1003	1753	

1.1.2. الدراسة النظرية النموذجية

للوصول إلى النتائج المرجوة تم اتباع الخطوات التالية :

أ. كمية الجير الضرورية

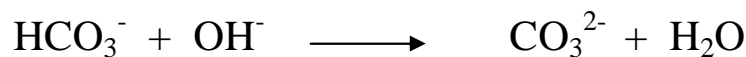
كمية الجير في حالة الإضافة المنفردة تكافئ تركيز أيونات البيكربونات ( HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ) في الماء [01] .  
 و منه و حسب مخطط بار للماء الخام ( مخطط 1 ) فإن كمية الجير الضرورية لمياه وادي ريغ ( بئر عين الصحراء ) هي 131 مغ/ل. بإضافة 131 مغ/ل من الجير فإن مخطط بار 1 للمياه الخام يصبح على الشكل التالي ( مخطط بار 2 ) :

مخطط بار 2. إضافة الجير المكافئ لتركيز HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>

131	0	669	1019	1722	1777
Ca <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
OH <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
131	0	131	1003	1753	



عملية إضافة الجير للماء الخام تؤدي إلى تفاعل كيميائي بين شوارد الهيدروكسيد ( $\text{OH}^-$ ) و شوارد بيكربونات ( $\text{HCO}_3^-$ ) الماء الخام مؤدينا إلى تشكيل شوارد الكربونات ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) وفق التفاعل التالي :



على ضوء هذا التفاعل يصبح مخطط بار 2 على شكل مخطط بار 3 التالي :

### مخطط بار 3. تفاعل أيونات $\text{HCO}_3^-$ و $\text{OH}^-$

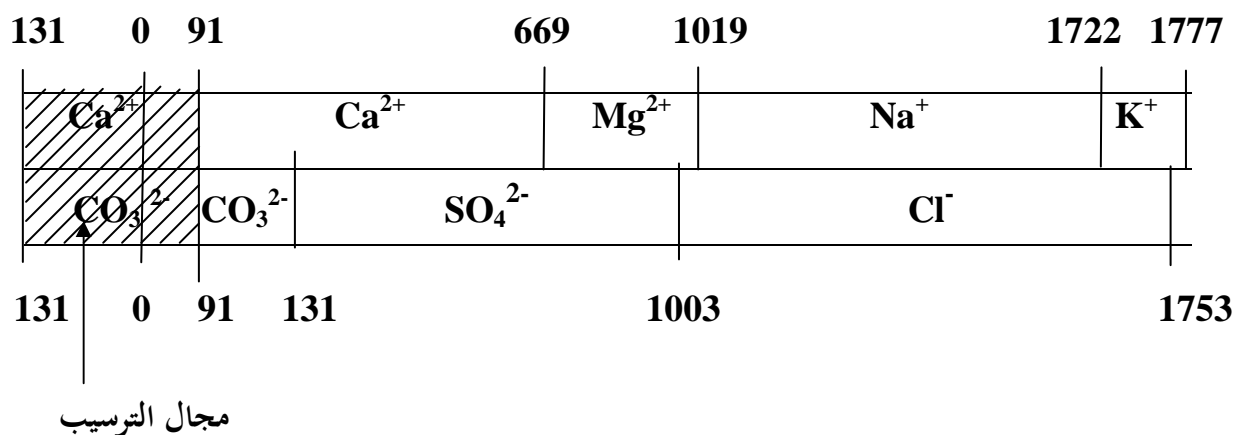
131	0	669	1019	1722	1777
$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	
$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$		
131	0	131	1003		1753

### ب. ترسب كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ )

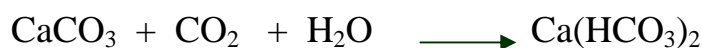
بعد تحول شوارد البيكربونات إلى كربونات ، ترسب نسبة من الكالسيوم المتواجد في الماء على شكل كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) (مخطط بار 4). يقدر وزن الكالسيوم المترسب إذا أخذنا بعين الاعتبار ترك 40 مغ/ل من الكالسيوم منحلا لتفادي الخاصية العدوانية للماء المعالج بـ 222 مغ/ل (أي 131 مغ/ل ناتجة عن الجير المضاف و 91 مغ/ل من  $\text{Ca}^{2+}$  الماء).

وعليه فإن مخطط بار 3 يصبح على الشكل التالي :

مخطط بار 4. ترسب كربونات الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>)

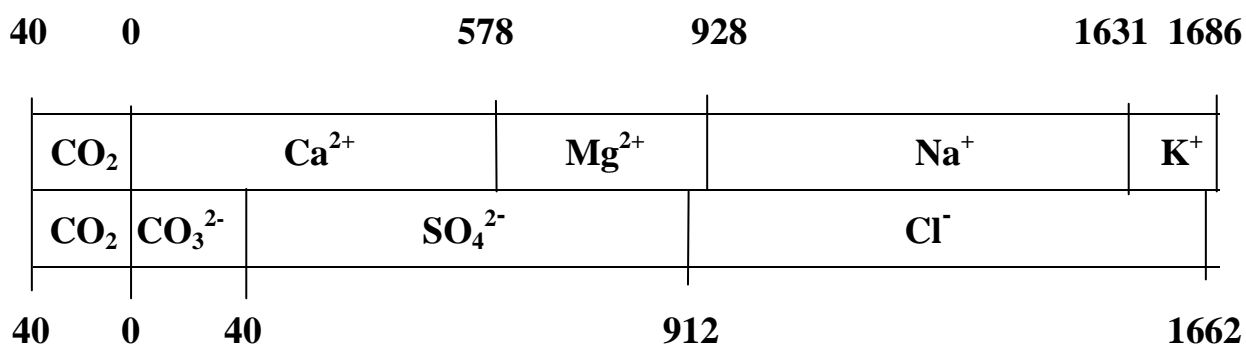


إن ترسب كل شوارد الكربونات المتواجدة في المياه ( 131 مغ/ل ) تؤدي حتما إلى عدوانيته ، و عليه وللحفاظ على إستقرار و توازن مياه بئر عين الصحراء ، يجب ترك ما يكافئ 40 مع/ل من شوارد الكربونات [1] ، و ذلك بإذابة 40 مع/ل من غاز ثاني أوكسيد الكربون (CO<sub>2</sub>) بغية إعادة إذابة 40 مغ/ل من كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub>) المترسبة إلى بيكربونات الكالسيوم Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> المنحلة و ذلك حسب التفاعل التالي :



و حسب مخطط بار يأخذ الماء المواصفات المبينة في مخطط بار 5.

مخطط بار 5. مواصفات الماء المعالج و إضافة ثاني أوكسيد الكربون



و منه فإن الحالة النهائية للمياه المعالجة بطريقة الجير يبينها مخطط بار 6.

مخطط بار 6. المواصفات النهائية للمياه المعالجة

0	578	928	1631	1686
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	40	912	1662	

من مخطط بار السابق نستنتج أن عسرة مياه بئر عين الصحراء انخفضت من العسرة F 101,95 إلى العسرة F 92,85 بعد المعالجة. هذا الفارق البسيط ( F 9,1 ) في العسرة لم يحقق العسرة المرجوة المسموح بها والموافقة لمعايير المنظمة العالمية للصحة ( F 50 ). و بالتالي فإن الإضافة المنفردة للجير لوحدها تعتبر غير مجدية لخفض عسرة مياه طبقة الالبان لمنطقة وادي ريغ إلى المجال المسموح به.

### 2.1.2. الدراسة التجريبية

نتائج الدراسة النظرية النموذجية السابقة تم اختبارها تجريبيا في المخبر و ذلك بالاعتماد على المواصفات الكيميائية للماء الخام لبئر عين الصحراء ( جدول 22 ).

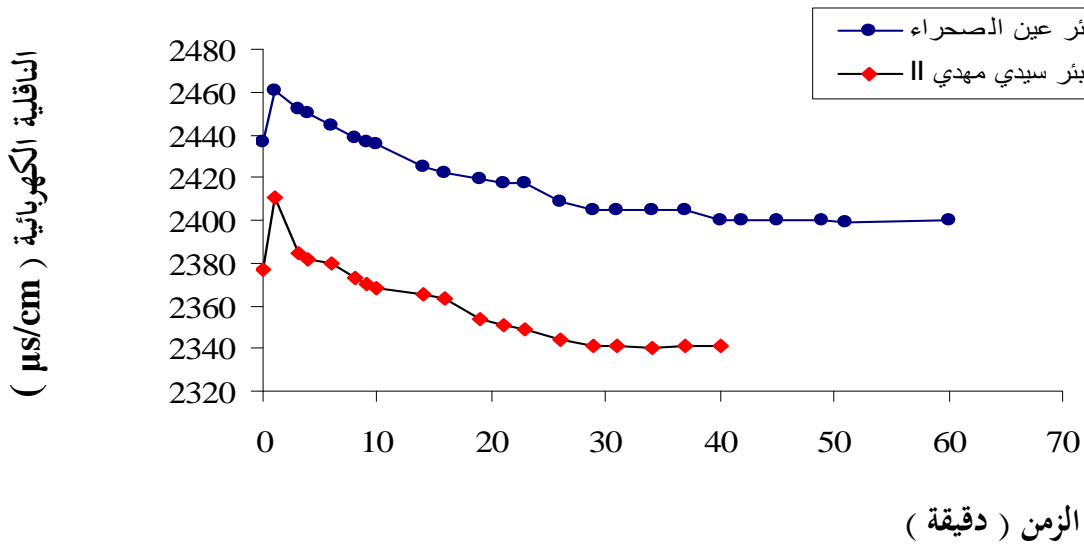
بإتباع نفس الخطوات السابقة تم الوصول إلى مياه ذات المواصفات النهائية المبينة في مخطط بار التالي :

مخطط بار 7. نتائج المعالجة التجريبية

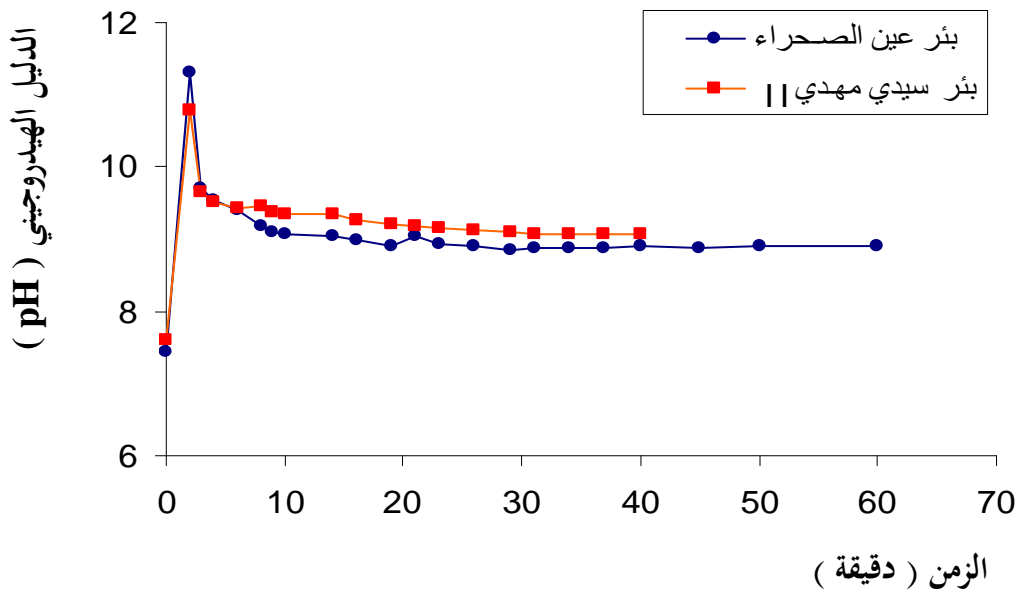
0	534	871	1501	1553
Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	20	912	1647	

إن متابعة تغيرات درجة pH ( الشكل 17 ) و الناقلية الكهربائية ( الشكل 18 ) وفق أزمنة مختلفة تهدف إلى تحديد الزمن المثالي للتفاعل .

من الشكل 17 نلاحظ أن الناقلية الكهربائية لمياه بئر عين الصحراء قد ارتفعت من القيمة 2437  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ( قبل إضافة الجير ) إلى القيمة 2467  $\mu\text{s}/\text{cm}$  ( بعد إضافة الجير ) و هو أمر طبيعي لارتفاع تركيز كل من أيونات Ca<sup>2+</sup> و OH<sup>-</sup> ، تبدأ مباشرة بعد 3 دقائق من التفاعل بالتناقص التدريجي وتستقر عند القيمة 2400  $\mu\text{s}/\text{cm}$  بعد 54 دقيقة من زمن التفاعل و هو دليل على ترسب الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>). نفس الظاهرة نلاحظها في تغيرات الدليل الهيدروجيني ( شكل 18 ) ، حيث درجة الدليل الهيدروجيني ( pH ) ارتفعت من القيمة 7,49 ( قبل إضافة الجير ) إلى درجتها القصوى ( 11,21 ) بعد إضافة الجير ، لتبدأ في التناقص و تستقر عند الدرجة 8,86 بعد 35 دقيقة من التفاعل. و هي نفس الملاحظات بالنسبة لمياه بئر سيدي مهدي II.



الشكل 17. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن عند إضافة منفردة للجير.



الشكل 18. تغيرات الذليل الهيدروجيني بدلالة الزمن عند إضافة منفردة للجير

### 3.1.2. مقارنة نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير فقط

يبين الجدول 23 المقارنة بين النتيجة النظرية و التجريبية لطريقة معالجة العسرة بالإضافة المنفردة للجير. من نتائج المعالجة التجريبية نلاحظ انخفاض تركيز الكالسيوم في الماء الخام من 267,60 مغ/ل إلى التركيز 213,75 مغ/ل إي بانخفاض قدره 53,85 مغ/ل. بينما انخفض تركيز البيكربونات إلى أكثر من خمسة مرات عن تركيزه الأصلي في الماء الخام إي من 131 مغ/ل ( قبل المعالجة ) إلى 24,40 مغ/ل ( بعد المعالجة ) و بالنتيجة و رغم انخفاض عسرة مياه بئر عين الصحراء إلى 85,15 ( تجريبيا ) أو 92,85 ( نظريا ) فإنها تبقى في المجال الغير مسموح به عالميا ( F50 ) ، مما يتطلب متابعة معالجة إضافية باستعمال رماد الصودا.

#### الجدول 23. مواصفات مياه بئر عين الصحراء قبل و بعد المعالجة بطريقة الجير فقط

العناصر	خصائص الماء قبل المعالجة (مغ/ل)	نتائج المعالجة التجريبية (مغ/ل)	النتائج المعالجة النظرية (مغ/ل)	التركيز المسموح به (OMS)
الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )	267,60	213,75	231,20	200
المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ )	85,53	82,32	85,53	150
الصوديوم ( $Na^+$ )	323,25	290,00	323,25	200
البوتاسيوم ( $K^+$ )	43,06	41,03	43,06	20
كربونات ( $CO_3^{2-}$ )	00	00	00	-
بيكربونات ( $HCO_3^-$ )	160,23	24,40	48,80	-
الكبريتات ( $SO_4^{2-}$ )	837,00	837,00	837,00	400
الكلور ( $Cl^-$ )	532,47	535,76	532,47	500
مقاييس أخرى				
pH	7,24	8,86	-	8,5-7
الناقلية $\mu s/cm$	2437	2400	-	-
القساوة (F)	101,95	85,15	92,85	50

## 2.2. معالجة العسرة بطريقة إضافة رماد الصودا

تهدف طريقة إضافة رماد الصودا ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) إلى إزالة العسرة الغير كربوناتيّة ، بمعنى نزع الكالسيوم والمغنيزيوم المرتبطتين بشوارد  $\text{SO}_4^{2-}$  و  $\text{Cl}^-$  . من الطريقة السابقة ( إضافة الجير فقط ) نستنتج أن غالبية عسرة مياه بئر عين الصحراء من النوع الغير كربوناتي و بالتالي فان معالجة عسرة هذه المياه بإضافة الجير فقط غير مجدية مما يستوجب بالضرورة مرحلة ثانية للمعالجة لنزع الحشونة الغير كربوناتيّة بإضافة محلول رماد الصودا إلى المياه.

### 1.2.2. الدراسة النظرية النموذجية

تعتمد هذه الطريقة على المراحل التالية :

#### أ. إضافة الصودا ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ )

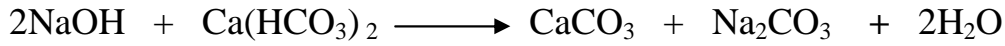
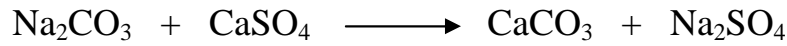
تم تحديد تركيز محلول الصودا المناسب بحساب الفرق بين العسرة الكلية المكافئة لأيونات الكالسيوم و العسرة الكربوناتيّة المرتبطة بأيونات الكالسيوم ، بمعنى آخر هي القساوة المكافئة المتبقية لأيونات الكالسيوم بعد عملية المعالجة بطريقة إضافة الجير فقط ( أي 538 مغ/ل ) مع إبقاء 40 مغ/ل من أيونات  $\text{Ca}^{2+}$  لتفادي عدوانية الماء كما يبينه مخطط بار 8.

مخطط بار 8. خصائص مياه بئر عين الصحراء بإضافة الصودا

538	0	578	928	1631	1686
$\text{Na}^+$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	
$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^-$		
538	0	40	912		6621

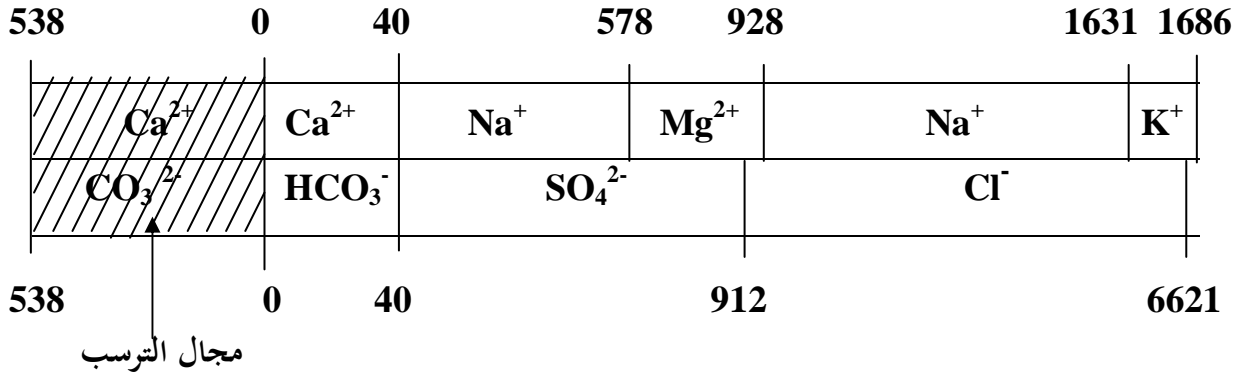
ب. ترسب كربونات الكالسيوم (  $\text{CaCO}_3$  )

بعد عملية التبادل بين شوارد الكالسيوم و الصوديوم في المياه المعالجة يترسب الكالسيوم بقدر الكمية المضافة من الصودا ( 538 مغ/ل ) على شكل كربونات الكالسيوم (  $\text{CaCO}_3$  ) كما هو مبين في التفاعلات الكيميائية التالية :



و عليه فإن مخطط بار 8 يصبح على الشكل التالي :

مخطط بار 9. تحديد مجال الترسيب و تركيز الكالسيوم المترسب



و عليه فعند إضافة 40 مغ/ل من  $\text{CO}_2$  بغرض تحول ايونات  $\text{CO}_3^{2-}$  إلى  $\text{HCO}_3^-$  فان الحالة النهائية للمياه المعالجة بإضافة الجير و الصودا بينها مخطط بار 10.



مخطط بار 10. المواصفات النهائية للمياه المعالجة بإضافة الجير و الصودا فقط

0	40	390	1631	1686
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	40	912	1662	

نلاحظ من مخطط بار للحالة النهائية للإضافة الجير و الصودا فقط ، ارتفاع تركيز الصوديوم من 323 مغ/ل ( قبل المعالجة ) إلى 570 مغ/ل ( بعد المعالجة ) و هو أمر متوقع نتيجة إضافة الصودا (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) إلى المياه المعالجة ، بينما إنخفض تركيز الكالسيوم إلى 16 مع/ل أي بنسبة تفوق 80 % عن تركيزه الأصلي (267,60 مغ/ل). و بالنتيجة تنخفض عسرة مياه بئر عين الصحراء من F 101,95 ( قبل المعالجة ) إلى العسرة F 39,05 ( بعد المعالجة ) فتتحقق بذلك العسرة المرجوة و الموافقة لمعايير المنظمة العالمية للصحة (F 50).

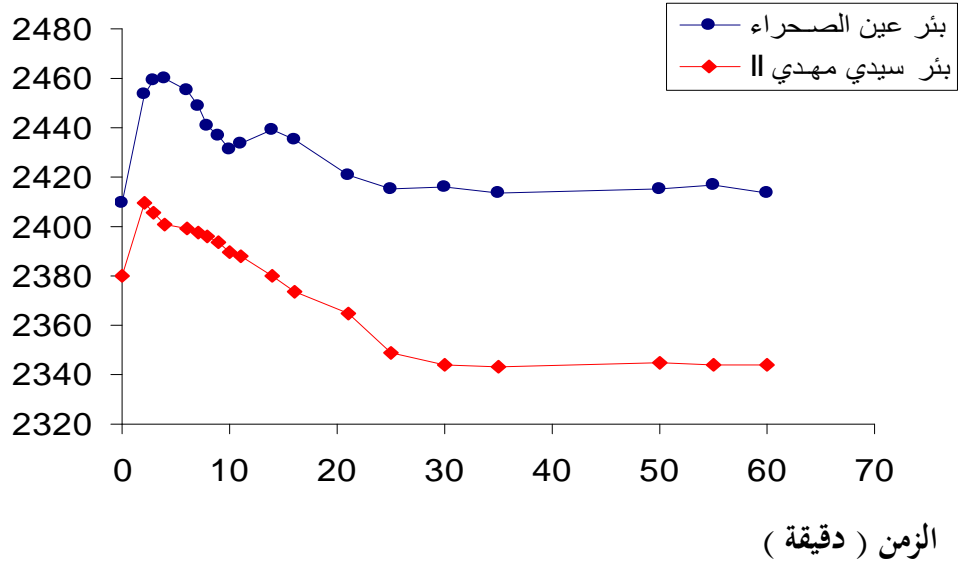
### 2.2.2. الدراسة التجريبية

يأتبع نفس الخطوات السابقة ( الدراسة النظرية النموذجية ) تم الوصول إلى مياه ذات المواصفات النهائية للدراسة التجريبية المبينة في مخطط بار التالي :

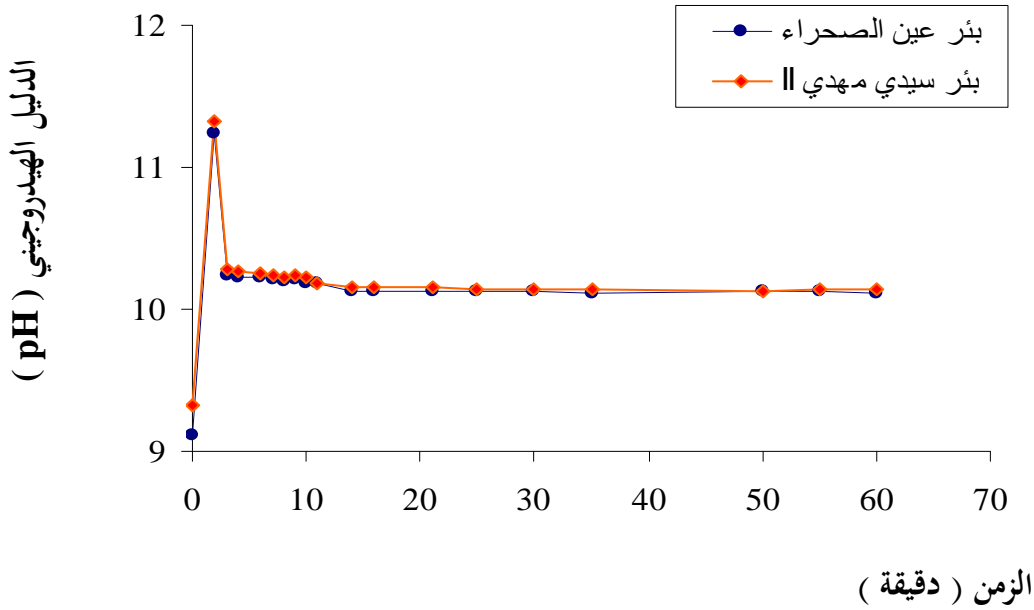
مخطط بار 11. نتائج المعالجة التجريبية بإضافة الجير و الصودا فقط

0	38	260	1560	1612
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	21	893	1645	

كما في تجربة إضافة الجير فقط ، فإن تغيرات الناقلية الكهربائية ( شكل 19 ) و الدليل الهيدروجيني ( شكل 20 ) تم معاينتهما وفق أزمنة مختلفة :



الشكل 19. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن لطريقة إضافة منفردة للجير مع الصودا.



الشكل 20. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن لطريقة إضافة منفردة للجير مع الصودا.

من الشكل 19 نلاحظ أن الناقلية الكهربائية لمياه بئر عين الصحراء ارتفعت من القيمة  $2410 \mu\text{s/cm}$  ( بإضافة الجير فقط ) إلى القيمة  $2462 \mu\text{s/cm}$  ( عند إضافة الصودا ) ، لتبدأ مباشرة بعد أربع دقائق من التفاعل بالتناقص التدريجي و تستقر عند القيمة  $2415 \mu\text{s/cm}$  بعد 50 دقيقة من زمن التفاعل و هو دليل على توقف ترسب أملاح الكالسيوم (  $\text{CaCO}_3$  ). بينما قيم الدليل الهيدروجيني ( شكل 20 ) فهي متقاربة ، حيث درجة الدليل الهيدروجيني pH ارتفعت من القيمة 9,11 ( بإضافة الجير فقط ) وتصل إلى قيمتها القصوى (11,26) لتبدأ في التناقص و تستقر عند الدرجة 10,11 بعد 35 دقيقة من التفاعل.

### 3.2.2. مقارنة نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير و الصودا

من نتائج المعالجة التجريبية ( الجدول 24 ) نلاحظ انخفاض تركيز الكالسيوم في الماء الخام من التركيز  $267,60 \text{ مغ/ل}$  إلى التركيز  $15,31 \text{ مغ/ل}$  أي أقل من التركيز المرغوب فيه (  $50 \text{ مغ/ل}$  ) بخمس مرات تقريبا و عليه فإن عسرة مياه وادي ريغ انخفضت إلى  $F 26,02$  ( تجريبا ) أو  $F 39,05$  ( نظريا ) لتدرج بذلك المياه في المجال المسموح به (  $F 50$  ) . بينما تنخفض تراكيز شوارد البيكربونات بنسبة 80 % عن تركيزها الأصلي في الماء الخام أي من  $160,23 \text{ مغ/ل}$  ( قبل المعالجة ) إلى  $25,55 \text{ مغ/ل}$  ( بعد المعالجة ) ، بينما و من المتوقع ، أنه بإضافة الصودا ترتفع تراكيز الصوديوم .

الجدول 24. نتائج المعالجة بالجير و الصودا.

العناصر	خصائص الماء قبل المعالجة (مغ/ل)	نتائج المعالجة التجريبية (مغ/ل)	النتائج المعالجة النظرية (مغ/ل)	التركيز المسموح به (OMS)
الكالسيوم ( $Ca^{2+}$ )	267,60	15,31	16,00	200
المغنيزيوم ( $Mg^{2+}$ )	85,53	54,16	85,53	150
الصوديوم ( $Na^+$ )	323,25	598,00	570,86	200
البوتاسيوم ( $K^+$ )	43,06	40,85	43,06	20
كربونات ( $CO_3^-$ )	00	00	00	-
بيكربونات ( $HCO_3^-$ )	160,23	25,55	48,80	-
الكبريتات ( $SO_4^{2-}$ )	837,00	837,00	837,00	400
الكلور ( $Cl^-$ )	532,47	532,92	532,47	500
مقاييس أخرى				
pH	7,24	10,06	-	8,5-7
النقلية $\mu s/cm$	2437	2414	-	-
القساوة (F)	101,95	26,02	39,05	50

### 3. مراحل معالجة عسرة المياه بطريقة الجير و الصودا بزيادة

تمت عملية تيسير مياه وادي ريغ عن طريق إضافة الجير و الصودا بزيادة عبر مرحلتين :

#### 1.3. إضافة الجير بزيادة

تهدف طريقة إضافة الجير بزيادة نزع الخشونة الكربوناتيية ، بمعنى نزع الكالسيوم و المغنيزيوم المرتبطتين بالبيكربونات.

#### 1.1.3. الدراسة النظرية النموذجية

أهم التفاعلات الكيميائية للمياه وادي ريغ (بئر عين الصحراء) مبينة في مخطط بار كالتالي :

#### أ. كمية الجير الضرورية

تكافئ كمية الجير اللازمة إلى مجموع تراكيز أيونات البيكربونات و المغنيزيوم. لكن و بما أن ذوابانية أملاح المغنيزيوم ( $Mg(OH)_2$ ) تقدر بـ 15 مع/ل من  $CaCO_3$  عند  $pH = 9$  و لهذا يجب إضافة كمية زائدة من الجير ( 50 مع/ل ) لرفع قيمة الـ  $pH$  إلى الدرجة 11 تقريبا و هذا ما يسمح بخفض ذوابانية هيدروكسيد المغنيزيوم في الماء إلى 12,5 مع/ل من  $CaCO_3$ . بإضافة الكمية الملائمة من الجير ( 531 مع/ل ) يصبح مخطط بار للمياه الخام على شكل مخطط بار 12 التالي :

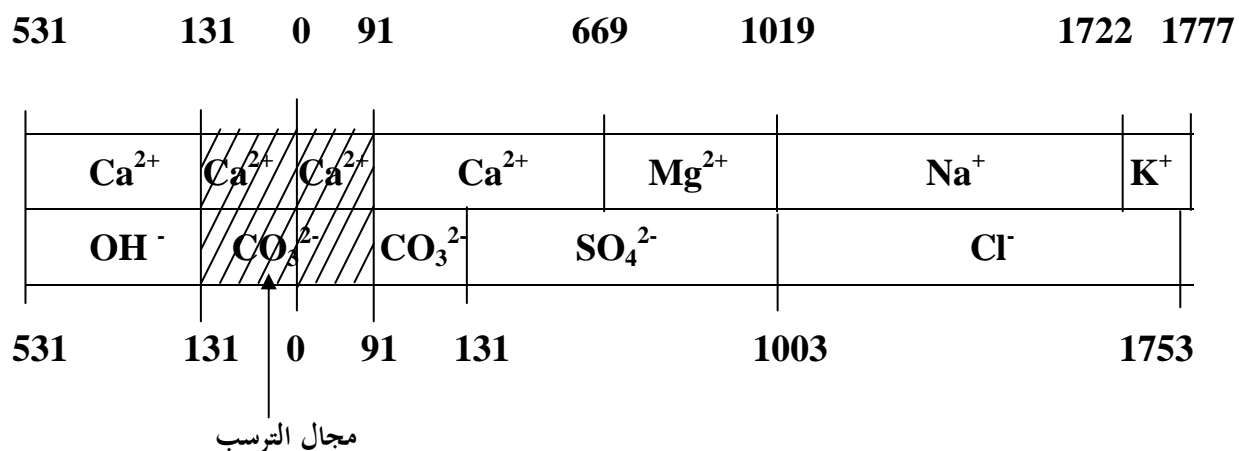
#### مخطط بار 12. كمية الجير الضرورية

531	0	669	1019	1722	1777
$Ca^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	
$OH^-$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$		
531	0	131	1003		1753

ب. ترسيب أيونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) و المغنيزيوم ( $\text{Mg(OH)}_2$ )

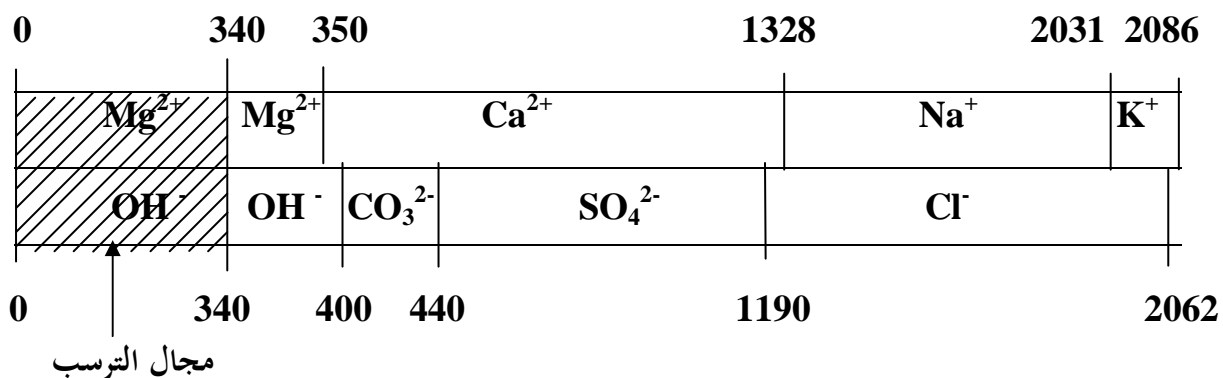
أي يقدر وزن الكالسيوم المترسب على شكل كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) بـ 222 مغ/ل  
131 مغ/ل ناتجة عن إضافة الجير و 91 مغ/ل من الماء المعالج كما نبيته في مخطط بار 13 :

مخطط بار 13. تحديد مجال الترسيب و تركيز الكالسيوم المترسب



أما وزن أيونات المغنيزيوم المترسبة على شكل هيدروكسيد المغنيزيوم إذا أخذ بعين الاعتبار ترك 10 مغ/ل من المغنيزيوم منحلا لتفادي الخاصية العدوانية للماء المعالج تقدر بـ 340 مغ/ل. و عليه فإن مخطط بار 13 يصبح على الشكل التالي :

مخطط بار 14. ترسيب هيدروكسيد المغنيزيوم ( $\text{Mg(OH)}_2$ )



بإضافة الكمية الضرورية من  $\text{CO}_2$  ( 50 مع/ل ) ، فإن الحالة النهائية للإضافة الجير بزيادة للمياه المعالجة بينها مخطط بار 15 :

مخطط بار 15. المواصفات النهائية للمياه المعالجة بإضافة الجير بزيادة

0	928	938	1641	1696
$\text{Ca}^{2+}$		$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$
$\text{HCO}_3^-$	$\text{SO}_4^{2-}$		$\text{Cl}^-$	
0	50	922	1672	

من مخطط بار 15 نلاحظ أن نتيجة إضافة الجير بزيادة تؤدي إلى تخفيض تركيز المغنيزيوم بنسبة تفوق 90 % أي من 85,53 مع/ل ( قبل إضافة الجير ) إلى 2,44 مع/ل ( بعد المعالجة ) ، في المقابل يرتفع تركيز الكالسيوم من 267,60 مع/ل ( قبل إضافة الجير ) إلى 371,20 مع/ل ( بعد المعالجة ) . و عليه تنخفض عسرة مياه بئر عين الصحراء من العسرة F101,95 ( الماء الخام ) إلى العسرة F94,8 ( بعد المعالجة ) ، و بالتالي فإن طريقة إضافة الجير بزيادة لوحدها تعتبر غير مجدية لخفض عسرة مياه طبقة الالبيان لمنطقة وادي ريغ إلى المجال المسموح به ( F 50 ) .

### 2.1.3. الدراسة التجريبية

نتائج الدراسة النموذجية السابقة تم اعتبارها تجريبية و ذلك بالاعتماد على المواصفات الكيميائية للماء الخام لبئر عين الصحراء ( جدول 22 )

باتباع نفس الخطوات السابقة تم الوصول إلى مياه ذات المواصفات النهائية المبينة في مخطط بار التالي :

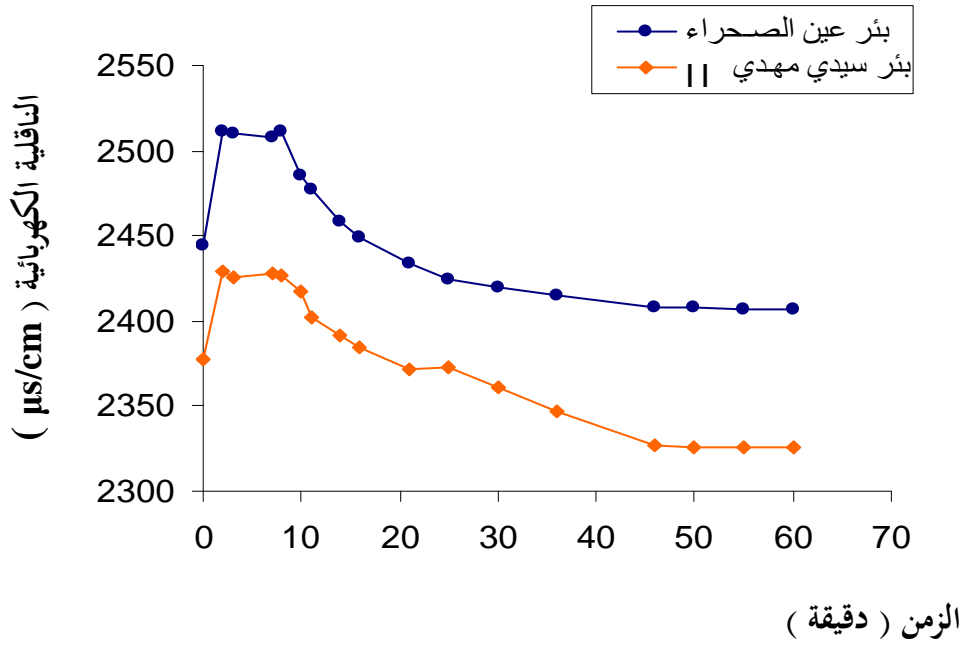
مخطط بار 16. نتائج المعالجة التجريبية لطريقة إضافة الجير بزيادة

0	1034	1072	1698	1748
Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	16	888	1643	

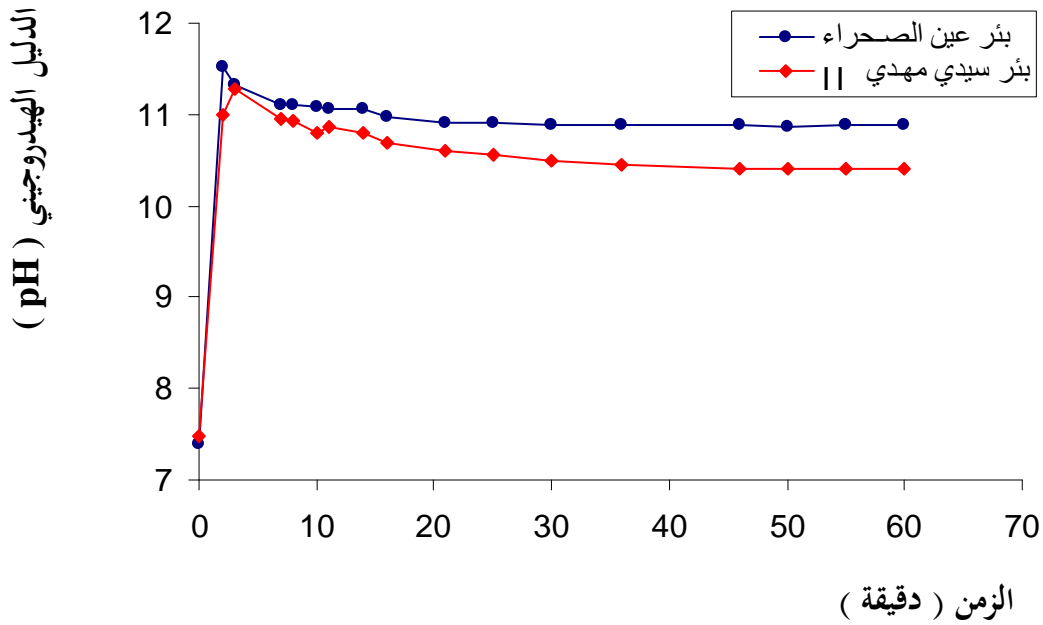
لمراقبة تغيرات درجة pH و الناقلية الكهربائية و كذا تحديد الزمن المثالي لانتهاء التفاعل ، يبين الشكل 21 و 22 تغيرات الناقلية الكهربائية و درجة pH على التوالي بدلالة زمن التفاعل.

من الشكل 21 نلاحظ أن الناقلية الكهربائية للمياه بئر عين الصحراء قد ارتفعت من 2448  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( قبل إضافة الجير ) إلى القيمة 2511  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ( بعد إضافة الجير ) لتتخفض و تستقر عند القيمة 2408  $\mu\text{S}/\text{cm}$  بعد 50 دقيقة من الزمن، هو دليل على انتهاء ترسب أملاح الكالسيوم (CaCO<sub>3</sub>) و المغنيزيوم (Mg(OH)<sub>2</sub>). نفس الظاهرة نلاحظها في تغيرات الدليل الهيدروجيني ( شكل 22 ) حيث ارتفعت درجة pH من 7,39 ( قبل إضافة الجير ) إلى قيمتها القصوى 11,51 ، لتبدأ في التناقص و تستقر عند القيمة 10,88 بعد 30 دقيقة من التفاعل.





الشكل 21. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن عند إضافة الجير بزيادة.



الشكل 22. تغيرات الذليل الهيدروجيني بدلالة الزمن عند إضافة الجير بزيادة.

### 3.1.3. مقارنة نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير بزيادة

من نتائج طريقة المعالجة بإضافة الجير بزيادة ( جدول 25 ) نلاحظ ارتفاع تركيز الكالسيوم في الماء الخام من 267,60 مغ/ل إلى التركيز 374,4 مغ/ل بسبب الإضافة الزائدة للجير ، انخفض تركيز المغنيزيوم بنسبة تفوق 85 % أي من 85,53 مغ/ل (قبل إضافة الجير ) إلى 9,22 مغ/ل ( بعد المعالجة ) . و بالنتيجة فإن عسرة مياه بئر عين الصحراء تبقى نظريا ( F 94,8 ) أو تجريبيا ( F 97,37 ) في المجال الغير مسموح به ( F 50 ) .

الجدول 25. مواصفات مياه بئر عين الصحراء قبل و بعد المعالجة بطريقة الجير بزيادة

العناصر	خصائص الماء قبل المعالجة (مغ/ل)	نتائج المعالجة التجريبية (مغ/ل)	نتائج المعالجة النظرية (مغ/ل)	التركيز المسموح به (OMS)
الكالسيوم (Ca <sup>2+</sup> )	267,60	374,4	371,20	200
المغنيزيوم (Mg <sup>2+</sup> )	85,53	9,22	2,44	150
الصوديوم (Na <sup>+</sup> )	323,25	288,10	323,25	200
البوتاسيوم (K <sup>+</sup> )	43,06	39,25	43,06	20
كربونات (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	00	00	00	-
بيكربونات (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	160,23	18,91	48,80	-
الكبريتات (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	837,00	837,00	837,00	400
الكلور (Cl <sup>-</sup> )	532,47	535,76	532,47	500
مقاييس أخرى				
pH	7,24	8,86	-	8,5-7
الناقلية μs/cm	2437	2400	-	-
القساوة (F)	101,95	97,37	94,80	50

### 2.3. معالجة العسرة بطريقة إضافة الصودا

نذكر أن الطريقة السابقة ( إضافة الجير بزيادة ) لوحدها غير مجدية مما يستوجب بالضرورة مرحلة ثانية للمعالجة لنزع العسرة الغير كربوناتية بإضافة محلول رماد الصودا.

#### 1.2.3. الدراسة النظرية النموذجية

أهم التفاعلات الكيميائية للوصول إلى النتائج المرجوة نتابعها في الخطوات التالية :

##### أ. كمية الصودا الضرورية

تم تحديد محلول الصودا المناسب لطريقة إضافة الجير و الصودا بزيادة بحساب الفرق بين العسرة الكلية المكافئة لأيونات الكالسيوم و المغنيزيوم و العسرة الكربوناتية المرتبطة بأيونات الكالسيوم و المغنيزيوم . أو بمعنى آخر التساوة المكافئة المتبقية لأيونات الكالسيوم و المغنيزيوم بعد عملية المعالجة بطريقة إضافة الجير بزيادة ( أي 888 مع/ل ) كما يبينه مخطط بار 17 :

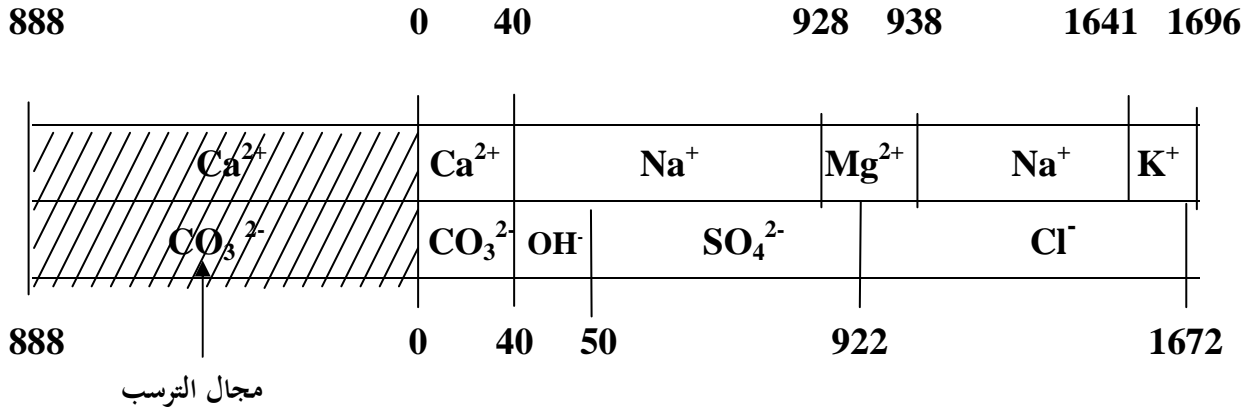
##### مخطط بار 17. خصائص مياه بئر عين الصحراء بإضافة الصودا

888	0	928	938	1641	1696
Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>		Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	OH <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	
888	0	40	50	922	1672

## ب. ترسب كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub> )

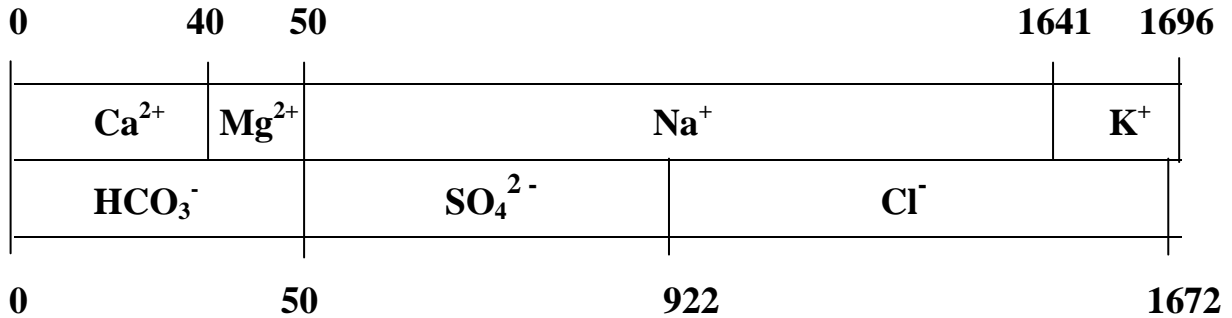
تتم في هذه المرحلة نفس التفاعلات الكيميائية المذكورة سابقا (إضافة الجير و الصودا ) ، مع ترك 40 مع/ل من الكالسيوم منحلا لتفادي الخاصية العدوانية للماء المعالج . يقدر وزن الكالسيوم المترسب على شكل كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub> ) بـ 888 مع/ل كما مبين في مخطط بار التالي :

### مخطط بار 18. تحديد مجال الترسيب و ترسيب الكالسيوم



بإضافة الكمية الضرورية من CO<sub>2</sub> ( 50 مع/ل ) ، فإن الحالة النهائية للمياه بعد إضافة الجير و الصودا بزيادة بينها مخطط بار 19.

### مخطط بار 19. الموصفات النهائية للمياه المعالجة بعد إضافة الجير و الصودا بزيادة



يلاحظ من المخطط بار السابق انخفاض تركيز الكالسيوم بنسبة أكثر من 90 % أي من 267,6 مع/ل ( ماء خام ) إلى التركيز 16 مع/ل ( بعد المعالجة ) ، أما لشوارد المغنيزيوم فقد انخفضت من التركيز من 85,53 مع/ل إلى التركيز 2,44 مع/ل بعد المعالجة ، بينما يلاحظ ارتفاع تركيز الصوديوم أكثر من مرتين عن تركيزه الأصلي أي من 323,25 مع/ل ( قبل المعالجة ) إلى 708,86 مع/ل ( بعد المعالجة ) . وفق هذه الطريقة فإن عسرة مياه بئر عين الصحراء انخفضت من الدرجة F 101 ( قبل المعالجة ) إلى الدرجة F 5 ( بعد المعالجة ) مما يسمح إدراج هذه المياه المعالجة ضمن المياه المرغوب فيها ( F 10 ) .

### 2.2.3. الدراسة التجريبية

باتباع نفس الخطوات السابقة (الدراسة النظرية النموذجية ) تم الوصول إلى مياه ذات المواصفات النهائية للدراسة التجريبية المبينة في مخطط بار التالي :

مخطط بار 20. نتائج المعالجة التجريبية لطريقة إضافة الجير و الصودا بزيادة

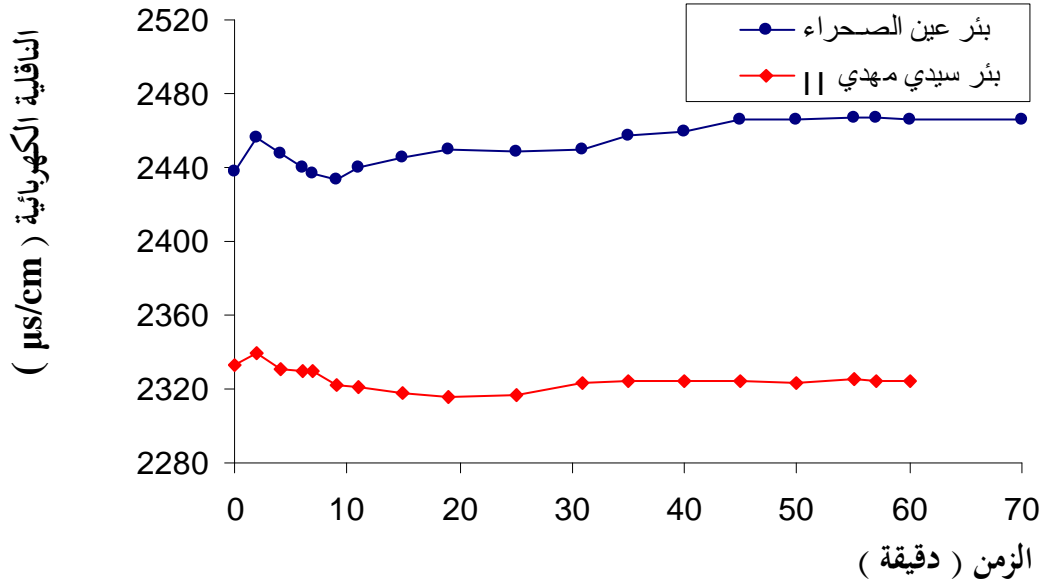
0	38	48	1643	1693
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>		K <sup>+</sup>
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl <sup>-</sup>	
0	21	893	1403	

لمعرفة زمن التفاعل تم معاينة تغيرات الناقلية الكهربائية ( الشكل 23 ) و الدليل الهيدروجيني ( الشكل 24 ) وفق أزمنة مختلفة .

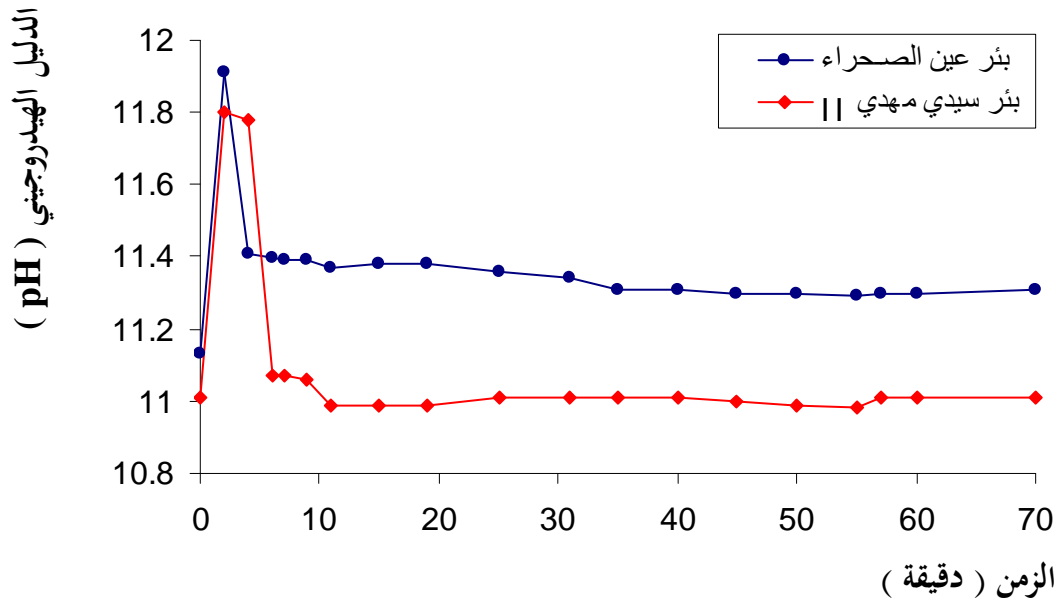
من الشكل 23 يلاحظ تغير طفيف في قيم الناقلية الكهربائية مقارنة بطريقة إضافة الجير بزيادة ( شكل 21 ) حيث ترتفع من القيمة 2431  $\mu\text{s/cm}$  ( بإضافة الجير ) إلى القيمة 2466  $\mu\text{s/cm}$  ( بعد إضافة الصودا ) ، لتبدأ مباشرة بعد ثلاثة دقائق من التفاعل بالتناقص التدريجي و تستقر عند القيمة 2456  $\mu\text{s/cm}$  بعد 55 دقيقة من زمن التفاعل وهو دليل على ترسب كل من كربونات الكالسيوم ( CaCO<sub>3</sub> ) و هيدروكسيد

الفصل السادس — معالجة عسرة المياه بالجير

المغنيزيوم ( $Mg(OH)_2$ ). و عليه المدة الزمنية التقريبية الملائمة للترسب كل من كربونات الكالسيوم و هيدروكسيد المغنيزيوم بإضافة الجير و الصودا بزيادة لبتري عي الصحراء يقدر ب 105 دقيقة. بالنسبة لتغيرات الدليل الهيدروجيني فإنها ترتفع من 11,11 (بإضافة الجير) إلى قيمتها القصوى 11,92 ( بإضافة الصودا ) ، لتبدأ بعد أربع دقائق بالتناقص و تستقر عند القيمة 11,30 بعد 40 دقيقة من التفاعل.



الشكل 23. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن لخاصية إضافة الجير مع الصودا بزيادة.



الشكل 24. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن لخاصية إضافة الجير مع الصودا بزيادة.

الفصل السادس — معالجة عسرة المياه بالجير

### 3.2.3. مقارنة نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير مع الصودا بزيادة

بما أن معالجة العسرة بطريقة إضافة الجير بزيادة لم تحقق النتائج المرجوة و هي الوصول إلى مياه ذات عسرة مسموح بها على الأقل ، فلقد تم الاستمرار في المعالجة باعتماد طريقة إضافة الصودا و الجير بزيادة ( جدول 26) من هذا الأخير نستنتج أن تركيز الكالسيوم انخفض من 267,60 مع/ل ( قبل المعالجة ) إلى التركيز 15,2 مع/ل ( بعد المعالجة بالجير و الصودا بزيادة ) أي بانخفاض يفوق 17 مرة و بالتالي فإن عسرة هذه المياه انخفضت إلى ما يقارب 11 مرة عن عسرة المياه المسموح بها ( 50 F° ).

#### الجدول 26. نتائج المعالجة بالجير و الصودا بزيادة

العناصر	خصائص الماء قبل المعالجة (مغ/ل)	نتائج المعالجة التجريبية (مغ/ل)	نتائج المعالجة النظرية (مغ/ل)	التركيز المسموح به (OMS)
الكالسيوم (Ca <sup>2+</sup> )	267,60	15,20	16,00	200
المغنيزيوم (Mg <sup>2+</sup> )	85,53	2,43	2,44	150
الصوديوم (Na <sup>+</sup> )	323,25	733,70	708,86	200
البوتاسيوم (K <sup>+</sup> )	43,06	39,25	43,06	20
كربونات (CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	00	00	00	-
بيكربونات (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	160,23	25,62	61,00	-
الكبريتات (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	837,00	837,00	837,00	400
الكلور (Cl <sup>-</sup> )	532,47	362,19	532,47	500
مقاييس أخرى				
pH	7,24	10,06	-	8,5-7
النقلية μs/cm	2437	2414	-	-
القساوة (F)	101,95	4,80	5,00	50

الفصل السادس — معالجة عسرة المياه بالجير

تنتج عن عملية إزالة العسرة بإضافة الجير و الصودا مخلفات مترسبة (  $Fe(OH)_3$  ,  $Mg(OH)_2$  ,  $CaCO_3$  )  
وزن الرواسب المتحصل عليها بالحساب النموذجي النظري أو عن طريق العملية التجريبية يبينه الجدول 27 .

جدول 27.وزن الراسب المتشكل في مراحل المعالجة النظرية و التجريبية للمياه بئر عين الصحراء

وزن الراسب نظريا ( غ/ل )	وزن الراسب تجريبيا ( غ/ل )	بعد التجفيف ( غ )		قبل التجفيف ( غ )		نوع المعالجة
		الإناء	ورق الترشيح	الإناء	ورق الترشيح	
0,222	0,296	164,25	0,888	163,97	0,868	إضافة الجير فقط
0,562	0,565	25,35	0,914	24,80	0,892	إطاقة الجير بزيادة
1,45	1,58	25,34	1,02	24,30	0,988	إضافة الجير و الصودا فقط

من الجدول 27 نلاحظ تشكل مخلفات مترسبة في نهاية التفاعل لعملية المعالجة بالجير و الصودا ، و التي تصل إلى  
1,58 غ/ل تجريبيا ، و بالنتيجة يقدر وزن الراسب المتشكل بحوض الترسيب بـ 622,83 قنطار يوميا .



## الخاتمة

يتضح من الدراسة التجريبية للمياه وادي ريغ أن الأسباب الرئيسية لتشكيل الراسب داخل قنوات و أجهزة التوزيع ناتجة عن توفير العوامل و الظروف الملائمة للترسب ( درجة الحرارة ، الدليل الهدروجيني ، العسرة المرتفعة ).

معايرة عينة من الراسب المتشكل تبين أن الأملاح الأساسية في تكوين هذا الراسب هي أملاح الكالسيوم و المغنيزيوم حيث يمثل جزئي كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) أكثر من 85 % من الراسب. للحد من هذه الظاهرة تمت معالجة مياه المنطقة بإضافة الجير فقط و بإضافة الجير و الصودا و بإضافة الجير بزيادة و بإضافة الجير و الصودا بزيادة .

معالجة مياه حوض تقرت بإضافة الجير فقط أدى إلى انخفاض عسرة مياه المنطقة من  $F 101,95$  ( الماء الخام ) إلى القيمة  $F 85,15$  ( بعد المعالجة بالجير ) بعد 45 دقيقة من زمن التفاعل مع إرتفاع في قيمة الدليل الهدروجيني من القيمة 7,49 ( ماء خام ) إلى القيمة 8,86 ( بعد المعالجة بالجير ). وهي نتيجة تبقى فيها مياه المنطقة في المجال الغير مسموح به ( $F 50$ ) ، مما يتطلب متابعة عملية المعالجة باستعمال طريقة إضافة الصودا حيث إنخفضت عسرة مياه المنطقة من  $F 85,15$  ( بإضافة الجير فقط ) إلى القيمة  $F 26,02$  ( بإضافة الصودا ) مع ارتفاع قيمة الدليل الهدروجيني إلى القيمة 10,11 في مدة زمنية تقدر بـ 95 دقيقة من التفاعل. مما يسمح إدراج مياه المنطقة بإضافة الجير فقط و الصودا ضمن المياه المسموح بها ( $F 50$ ) .

إضافة الجير بزيادة للمياه وادي ريغ ترتفع عسرة مياه المنطقة من القيمة  $F 101,95$  إلى  $F 97,37$  و التي تفوق معايير العالمية المسموح بها ( $F 50$ ) بنسبة 50 % مع ارتفاع قيمة الدليل الهدروجيني من 7,49 ( الماء الخام ) إلى القيمة 10,88 ( بعد إضافة الجير ) بعد 50 دقيقة من زمن التفاعل. بإضافة رماد الصودا للمياه المنطقة تنخفض عسرة مياه المنطقة من  $F 97,37$  ( بإضافة الجير بزيادة ) إلى القيمة  $F 4,80$  ( بعد المعالجة بالصودا ) مع ارتفاع درجة pH إلى القيمة 11,30 بعد ساعة و 45 دقيقة من زمن التفاعل مما يسمح إدراج هذه المياه ضمن المياه المرغوب فيها ( $F 10$ ). .

نتبين من الدراسة التجريبية أن بإضافة الجير و الصودا بزيادة يمكن الحصول على نتائج جد مرضية للعسرة ( F 4,80 ) و هي ضمن المعايير المرغوب فيها ( F 10 ) لكن تعتبر النسبة المضافة للجير و الصودا مرتفعة بالإضافة إلى ارتفاع قيمة الدليل الهيدروجيني إلى القيمة 11,30 ، وعليه فإننا ننصح على استعمال طريقة إضافة الجير و الصودا فقط و خاصة إذا علمنا أن المياه المعالجة تكون ذات عسرة مسموح بها ( F 26,02 ) و بدرجة .10,11 pH

## الخاتمة

يتضح من الدراسة التجريبية للمياه وادي ريغ أن الأسباب الرئيسية لتشكيل الراسب داخل قنوات و أجهزة التوزيع ناتجة عن توفير العوامل و الظروف الملائمة للترسب ( درجة الحرارة ، الدليل الهيدروجيني ، العسرة المرتفعة ).

معايرة عينة من الراسب المتشكل تبين أن الأملاح الأساسية في تكوين هذا الراسب هي أملاح الكالسيوم و المغنيزيوم حيث يمثل جزئي كربونات الكالسيوم ( $CaCO_3$ ) أكثر من 85 % من الراسب. للحد من هذه الظاهرة تمت معالجة مياه المنطقة بإضافة الجير فقط و بإضافة الجير و الصودا و بإضافة الجير بزيادة و بإضافة الجير و الصودا بزيادة .

معالجة مياه حوض تقرت بإضافة الجير فقط أدى إلى انخفاض عسرة مياه المنطقة من  $F 101,95$  ( الماء الخام ) إلى القيمة  $F 85,15$  ( بعد المعالجة بالجير ) بعد 45 دقيقة من زمن التفاعل مع إرتفاع في قيمة الدليل الهيدروجيني من القيمة 7,49 ( ماء خام ) إلى القيمة 8,86 ( بعد المعالجة بالجير ). وهي نتيجة تبقى فيها مياه المنطقة في المجال الغير مسموح به (  $F 50$  ) ، مما يتطلب متابعة عملية المعالجة باستعمال طريقة إضافة الصودا حيث إنخفضت عسرة مياه المنطقة من  $F 85,15$  ( بإضافة الجير فقط ) إلى القيمة  $F 26,02$  ( بإضافة الصودا ) مع ارتفاع قيمة الدليل الهيدروجيني إلى القيمة 10,11 في مدة زمنية تقدر بـ 95 دقيقة من التفاعل. مما يسمح إدراج مياه المنطقة بإضافة الجير فقط و الصودا ضمن المياه المسموح بها (  $F 50$  ) .

إضافة الجير بزيادة للمياه وادي ريغ ترتفع عسرة مياه المنطقة من القيمة  $F 101,95$  إلى  $F 97,37$  و التي تفوق معايير العالمية المسموح بها (  $F 50$  ) بنسبة 50 % مع ارتفاع قيمة الدليل الهيدروجيني من 7,49 ( الماء الخام ) إلى القيمة 10,88 ( بعد إضافة الجير ) بعد 50 دقيقة من زمن التفاعل. بإضافة رماد الصودا للمياه المنطقة تنخفض عسرة مياه المنطقة من  $F 97,37$  ( بإضافة الجير بزيادة ) إلى القيمة  $F 4,80$  ( بعد المعالجة بالصودا ) مع ارتفاع درجة pH إلى القيمة 11,30 بعد ساعة و 45 دقيقة من زمن التفاعل مما يسمح إدراج هذه المياه ضمن المياه المرغوب فيها (  $F 10$  ).

نتبين من الدراسة التجريبية أن بإضافة الجير و الصودا بزيادة يمكن الحصول على نتائج جد مرضية للعسرة ( F 4,80 ) و هي ضمن المعايير المرغوب فيها ( F 10 ) لكن تعتبر النسبة المضافة للجير و الصودا مرتفعة بالإضافة إلى ارتفاع قيمة الدليل الهيدروجيني إلى القيمة 11,30 ، وعليه فإننا ننصح على استعمال طريقة إضافة الجير و الصودا فقط و خاصة إذا علمنا أن المياه المعالجة تكون ذات عسرة مسموح بها ( F 26,02 ) و بدرجة pH 10,11.

01	المقدمة .....
03	الفصل الأول : خصائص المنطقة و ظاهرة الترسيب الكلسي .....
03	1. الخصائص الجغرافية و الهيدرولوجية.....
03	2. الخصائص الهيدرولوجية.....
05	1.2 الطبقة النهائية المركبة ( Nappe du mio- pliocène ) .....
06	2.2 الطبقة القارية المتداخلة ( Nappe Albienne ) .....
06	3. شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب لمدينة تقرت .....
06	1.3 الآبار المستغلة .....
08	2.3 هياكل التخزين .....
10	3.3 عملية التبريد .....
13	الفصل الثاني : ظاهرة الترسيب و آثارها على شبكة توزيع المياه .....
17	1. تكاليف صيانة الشبكة .....
18	2. تقدير الاحتياجات من المياه الصالحة للشرب بمنطقة الدراسة .....
20	الفصل الثالث : ظاهرة الترسيب و مشاكلها .....
20	1. أهم العناصر النحلة في الماء .....
20	1.1 العناصر الأساسية .....
22	2.1 العناصر الغير مرغوب فيها .....
24	3.1 العناصر السامة .....
26	2. الرائحة و الطعم .....
26	3. خصائص المياه العسرة .....
27	1.3 معايرة القلوية البسيطة ( TA ) و الكاملة ( TAC ) .....
28	4. أنواع الرواسب .....
28	1.4 الرواسب القلوي .....

- 29 ..... 2.4. الراسب غير القلوي
- 29 ..... 5. التوازن الكالكوكروبيوني
- 31 ..... 6. مشاكل و آثار المياه العسرة

### 33 ..... الفصل الرابع : طرق و وسائل

- 33 ..... 1. أخذ العينات
- 36 ..... 2.1. سرعة الترسيب
- 37 ..... 2. أجهزة القياس المستعملة و آليات المعايرة
- 37 ..... 1.2. جهاز قياس الدليل الهدروجيني و الناقلية الكهربائية
- 37 ..... 2.2. معايرة الأيونات الموجبة
- 37 ..... 1.2.2. معايرة شوارد البوتاسيوم
- 38 ..... 2.2.2. معايرة شوارد الصوديوم
- 39 ..... 3.2.2. معايرة شوارد الكالسيوم
- 40 ..... 4.2.2. معايرة شوارد المغنيزيوم
- 42 ..... 3.2. قلووية الماء (  $\text{HCO}_3^-$  ,  $\text{CO}_3^{2-}$  ,  $\text{OH}^-$  )
- 42 ..... 1.3.2. معايرة شوارد الكلورور
- 43 ..... 2.3.2. معايرة شوارد الكبريتات

### 44 ..... الفصل الخامس : طرق معالجة عسرة المياه

- 44 ..... 1. الترسيب الكيميائي
- 45 ..... 1.1. إضافة منفردة للجير
- 45 ..... 2.1. إضافة زائدة للجير
- 45 ..... 3.1. إضافة الجير مع الصودا
- 46 ..... 4.1. إضافة الجير و الصودا بزيادة
- 47 ..... 2. إضافة الصودا الكاوية
- 48 ..... 3. إستعمال المبادلات الشاردية
- 48 ..... 1.3. المبادلات الشاردية الموجبة
- 48 ..... 2.3. المبادلات الشاردية السالبة

50	..... إضافة الحمض
50	..... إضافة الموانع ( المثبطات )
53	الفصل السادس : معالجة عسرة مياه وادي ريغ بإستعمال طريقة الجير .....
54	1. الخاصية التوازنية و مواصفات مياه طبقة الالبان لمنطقة وادي ريغ
54	1.1. مواصفات مياه طبقة الالبان
60	2. مراحل معالجة عسرة المياه بطريقة الجير و الصودا
61	1.2. الأولى بإضافة الجير فقط
66	1.1.2. تغيرات درجة pH و الناقلية الكهربائية بدلالة زمن التفاعل
68	2.1.2. نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير فقط
70	2.2. معالجة العسرة بطريقة إضافة الصودا
72	1.2.2. تغيرات درجة pH و الناقلية الكهربائية بدلالة زمن التفاعل
74	2.2.2. نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير و الصودا
76	3. مراحل معالجة عسرة المياه بطريقة الجير و الصودا بزيادة
76	1.3. بإضافة الجير بزيادة
79	1.1.3. تغيرات درجة pH و الناقلية الكهربائية بدلالة زمن التفاعل
81	2.1.3. نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة بزيادة
82	2.3. معالجة العسرة بطريقة إضافة الصودا
84	1.2.3. تغيرات درجة pH و الناقلية الكهربائية بدلالة زمن التفاعل
85	2.2.3. نتائج المعالجة النظرية و التجريبية بطريقة إضافة الجير و الصودا بزيادة
88	..... الخاتمة
90	المراجع .....

## قائمة الجداول

- 05 ..... جدول 1. الخصائص الكيميائية للمياه وادي ريغ ( بئر عين الطيارة )
- 07 ..... جدول 2. الخصائص الفيزيائية للآبار المدروسة بمنطقة وادي ريغ
- 08 ..... جدول 3. الخصائص الكيميائية للآبار المدروسة بمنطقة وادي ريغ
- 11 ..... جدول 4. الخصائص الكيميائية للمركب ( HMP )
- 13 ..... جدول 5. التصنيف الكهروكيميائي لبعض الثنائيات ( قوة التأكسد متزيدة من الأسفل إلى الأعلى ) ..
- 17 ..... جدول 6. تكاليف تحديد و تأهيل و صيانة شبكة التزويد بالمياه الصالحة للشرب بمنطقة تقرت .....
- 25 ..... جدول 7. تركيز العناصر المسموح بها في مياه الشرب .....
- 26 ..... جدول 8. ذوابانية الغازات في المياه بدلالة درجة الحرارة .....
- 28 ..... جدول 9. تركيز الأملاح المنحلة في الماء بدلالة القلوية البسيطة و الكاملة .....
- 35 ..... جدول 10. نتائج معايرة الراسب المأخوذ من جدران القنوات .....
- 37 ..... جدول 11. قيم سرعة الترسب لعدة قنوات على مستوى المركب الهيدروليكي لدائرة تقرت .....
- 39 ..... جدول 12. طول الموجة المميز للمعادن المدروسة .....
- 42 ..... جدول 13. قياس قلوية الماء .....
- 51 ..... جدول 14. تركيز العتبة لبعض مركبات الفوسفات العضوية .....
- 55 ..... جدول 15. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لمياه بئر عين الصحراء .....
- 56 ..... جدول 16. الخصائص الكيميائية و الفيزيائية لمياه بئر سيدي مهدي II .....
- 57 ..... جدول 17. طبيعة المياه حسب مؤشر لانجليه .....
- 59 ..... جدول 18. طبيعة المياه حسب مؤشر رينزار .....
- 59 ..... جدول 19. الخاصية التوازنية لمياه بئر عين الصحراء .....
- 60 ..... جدول 20. الخاصية التوازنية لمياه بئر سيدي مهدي II .....
- 61 ..... جدول 21. خصائص الجير المستعمل .....
- 62 ..... جدول 22. نتائج تحاليل مياه بئر عين الصحراء .....
- 69 ..... جدول 23. مواصفات مياه بئر عين الصحراء قبل و بعد المعالجة بطريقة الجير فقط .....



75	..... جدول 24. نتائج المعالجة بالجير مع الصودا
81	..... جدول 25. مواصفات مياه بئر عين الصحراء قبل و بعد المعالجة بطريقة إضافة الجير بزيادة
86	<b>جدول 26. نتائج المعالجة بالجير و الصودا بزيادة</b>
	.....
87	..... جدول 27. وزن الراسب المتشكل في مراحل المعالجة النظرية و التجريبية للمياه بئر عين الصحراء ....

## قائمة الأشكال

04	<b>الشكل 1. الطبقات الجيولوجيا لوادي ريغ ( منطقة عين الصحراء )</b>
	.....
09	..... الشكل 2. الخزانات الأرضية على مستوى المركب الهيدروليكي
10	..... الشكل 3. مبرد المياه المستعمل بمنطقة سيدي مهدي
12	..... الشكل 4. مبرد المياه المستعمل بمنطقة عين الصحراء
15	<b>الشكل 5. الأحياء الأكثر تضررا من ظاهرة الترسب في دائرة تقرت</b>
	.....
14	..... الشكل 6. ظاهرة الترسب داخل قنوات قطرها 400 ملم في منطقة المركب الهيدروليكي
16	..... الشكل 7. ظاهرة الترسب على مستوى حنفية سكر بالقرب من المركب الهيدروليكي
16	..... الشكل 8. ظاهرة الترسب على مستوى تجهيزات شبكة التوزيع
19	..... الشكل 9. تقدير الاحتياجات المائية لمنطقة وادي ريغ
30	..... الشكل 10. توزيع غاز CO <sub>2</sub> في الماء
34	..... الشكل 11. عينة من الراسب مأخوذة من قنوات التوزيع
38	..... الشكل 12. المنحى البياني العياري لشوارد البوتاسيوم
39	..... الشكل 13. المنحى البياني العياري لشوارد الصوديوم
41	..... الشكل 14. المنحى البياني العياري لشوارد الكالسيوم
52	..... الشكل 15. عديد الاكربلاميد
58	..... الشكل 16. المخطط البياني للانجليزية
67	..... الشكل 17. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن عند إضافة منفردة للجير
67	..... الشكل 18. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن عند إضافة منفردة للجير

- الشكل 19. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن لطريقة إضافة منفردة للجير مع الصودا ..... 73
- الشكل 20. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن لطريقة إضافة منفردة للجير مع الصودا ..... 73
- الشكل 21. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن عند إضافة الجير بزيادة ..... 79
- الشكل 22. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن عند إضافة الجير بزيادة ..... 80
- الشكل 23. تغيرات الناقلية الكهربائية بدلالة الزمن لخاصية إضافة الجير و الصودا بزيادة ..... 84
- الشكل 24. تغيرات الدليل الهيدروجيني بدلالة الزمن لخاصية إضافة الجير و الصودا بزيادة ..... 84

## قائمة مخطط بار

- مخطط بار 1. الماء الخام لبئر عين الصحراء ..... 63
- مخطط بار 2. إضافة الجير المكافئ لتركيز  $\text{HCO}_3^-$  ..... 63
- مخطط بار 3. تفاعل أيونات  $\text{HCO}_3^-$  و  $\text{OH}^-$  ..... 64
- مخطط بار 4. ترسيب كربونات الكالسيوم ( $\text{CaCO}_3$ ) ..... 65
- مخطط بار 5. مواصفات الماء المعالج و إضافة ثاني أكسيد الكربون ..... 65
- مخطط بار 6. المواصفات النهائية للمياه المعالجة ..... 66
- مخطط بار 7. خصائص مياه بئر عين الصحراء بإضافة الصودا ..... 70
- مخطط بار 8. تحديد مجال الترسيب و تركيز الكالسيوم المترسب ..... 71
- مخطط بار 9. المواصفات النهائية للمياه المعالجة بإضافة الجير و الصودا فقط ..... 72
- مخطط بار 10. كمية الجير الضرورية ..... 76
- مخطط بار 11. تحديد مجال الترسيب و تركيز الكالسيوم المترسب بإضافة الجير بزيادة ..... 77
- مخطط بار 12. ترسب هيدروكسيد المغنيزيوم ..... 77
- مخطط بار 13. مواصفات الماء المعالج و إضافة ثاني أكسيد الكربون بإضافة الجير بزيادة ..... 78
- مخطط بار 14. المواصفات النهائية للمياه المعالجة بإضافة الجير بزيادة ..... 78
- مخطط بار 15. خصائص مياه بئر عين الصحراء بإضافة الصودا ..... 82
- مخطط بار 16. تحديد مجال الترسيب و تريب الكالسيوم ..... 83

مخطط بار 17. المواصفات النهائية للمياه المعالجة بعد إضافة الجير و الصودا بزيادة ..... 83