

جامعة قاصدي مرباح ورقلة
كلية المحروقات و الطاقات المتجددة و علوم الأرض والكون
قسم علوم الأرض و الكون



مذكرة مقدمة لنيل شهادة ماستر أكاديمي

في : الجيولوجيا

التخصص : الميكرولوجيولوجيا

من إعداد : بن حمو ادريس

تحت إشراف : حسيني مسعود

العنوان

التطور الجيوكيميائي للمياه في سبخة سفيون
(انقوسة- ورقلة)

نوقشت يوم : 2024/06/27

أمام لجنة المناقشة :

مشرفا

استاذ

حسيني مسعود

رئيسا

أستاذ مساعد قسم "أ"

رميته عبد الرؤوف

مناقشا

أستاذ محاضر قسم "ب"

بالأعور عبد العزيز

السنة الجامعية : 2023 - 2024

شكر و عرفان

بسم الله والصلاة والسلام على أشرف خلق الله محمد بن عبد الله نحمد الله
ونشكره عزوجل على توفيقنا في إنجاز هذا العمل كما تقدم بجزيل الشكر وعظيم
العرفان إلى كل من ساهم في إنجاز هذا العمل ونخص بالذكر الأستاذ الفاضل "حسيني
مسعود" الذي أشرف على هذه مذكرة ولم يخل علينا بنصائح والإرشادات
ومعلومات القيمة دون أن ننسى لجنة المناقشة بقبولها مناقشة هذه المذكرة وكل
أساتذة قسم الهيدروجيولوجيا كما لا يفوتني أن أتقدم بالشكر إلى كل من ساعدني من
قريب أو بعيد خاصة : مسؤول مخبر جيولوجيا الصحراء "عمار قاجة" و الاستاذ
"بن فرج الله السعيد" و الأخ والصديق عبد الرؤوف قروط كما لا ننسى عمال
مؤسسة الديوان الوطني للتطهير الذين لم يخلوا علينا بكل ما لديهم من مجهودات فكرية
وعملية ونخص بالذكر المهندس علي خليفة و الى كل الأصدقاء و الزملاء .

امريس

إهداء

الحمد لله الذي هدا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن هدا الله الحمد الله الذي ألهمنا القوة
والصبر لإتمام هذا العمل المتواضع إلى منبع الحنان ورمز الأمان إلى من تحت قدميهما
الجنان إلى من حصد الأشواك عن دربي ليمهدا لي طريق العلم إلى من شقيا لأنجح
ويحزنان لأفرح والديا الغاليان أطال الله في عمرهما وأعلى في قدرهما كما لا ننسى
أستاذ الفاضل "حسيني مسعود" الذي كان فيضا ننهل من علمه ونصائحه إلى اخوتي
وكل عائلة بن حمو إلى أصدقائي : إسحاق - لحسن - عامر - علاء و زكريا - العائش
إلى جميع زملاء ولأصدقاء إلى كل من ساعدنا في إتمام هذا العمل من قريب أو بعيد
إلى جميع أساتذة قسم جيولوجيا و إلى كل طلبة السنة الثانية ماستر هيدروجيولوجي

دفعة 2024 .

امريس

ملخص

الماء هو مصدر أساسي للتنمية المستدامة، وهو ضروري لجميع الكائنات الحية بما في ذلك الحيوانات، النباتات، ، لأنه يضمن الحياة على كوكبنا وكذلك الصحة والتقدم الاجتماعي والاقتصادي للمجتمعات مع الحفاظ على البيئة. تتميز الشطوط والسبخات بمحتواها المائي، وقد أجريت العديد من الدراسات لمراقبة التطور المكاني والزمني للمحاليات الملحية في هذه المناطق. سبخة سفيون هي محور دراستنا، وهي تقع في جزء من الصحراء الجزائرية.

تقع سبخة سفيون في حوض ورقلة ضمن نطاق الصحراء الجزائرية الشمالية. ترتفع المنطقة حوالي 103 مترًا فوق مستوى سطح البحر. يتميز مناخ المنطقة بتغيرات ملحوظة وموجات جفاف طويلة ، تتميز هذه المنطقة بمناخ صحراوي جاف حيث تصل درجات الحرارة صيفًا إلى 54° مئوية وتنخفض لتصل إلى حدود (0 C°) في فصل الشتاء. تتغذى سبخة سفيون بشكل رئيسي من مياه الصرف الصحي وكذلك من مياه الطبقة المائية السطحية إضافة إلى مياه التساقط التي في الغالب جد ضئيلة. الخصائص الجيولوجية و الجيوتولوجية للترسبات الناتجة عن التبخر في سبخة سفيون بانقوسة تكشف عن وجود نظام بحيرات صغيرة مغلقة، حيث تتجمع المحاليل الملحية الغنية بأيونات : Na^+ ، Cl^- ، SO_4^{2-} ، تحت تأثير التبخر، يحدث ترسب للملح الصخري والجبس.

لتحقيق هذه الدراسة تم أخذ عينات من مياه السبخة بانتظام خلال فترة (2024-03-25 الى 2024-05-21). مع قياس المعامل الهيدروجيني pH، درجة الحرارة و الناقلية. ثم قمنا بتحليل هذه العينات في مخبر التحاليل المياه لتحديد تركيز كل عنصر من العناصر الغالبة. حيث تم استعمال عدة طرق منها: قياس المعايرة بالتحليل الحجمي ، التحليل الطيفي للانبعاث اللهبية .

من نتائج هذه الدراسة كون إن العناصر الغالبة في مياه السبخة تخضع في سلوكها إلى تأثير مياه الصرف و عوامل الطقس الخارجي مع كون بعض عناصر تتصرف تصرف خاص و أخرى وجود ترابط بينها خلال الدورة التطورية.

تنقسم التكوينات الجيولوجية لهذا الحوض إلى ثلاثة رئيسية مهمة :

1. الطبقة التحتية من الميوسين، والتي لم يتم تحديدها بدقة.
2. صخور الميو-بليوسين ذات الطبيعة التكتونية بالحجر الرملي .
3. رباعي: الغريني ، التربة السبخة ، الكثبان الرملية مع القشور الجيرية والجبسية.

الكلمات المفتاحية : الهيدروكيميائية، الهيدروجيولوجيا، سبخة، متبخرات ،سبخة سفيون

1: المقدمة عامة

الفصل الأول : الإطار الجغرافي و الجيولوجي لمنطقة الدراسة

3.....: 1 (تعريف منطقة الدراسة :

3: 1-1) لمحة تاريخية :

3.....: 2-1) الموقع الجغرافي :

3.....: 1-3) حدود ولاية ورقلة :

4.....: 2) هيدرولوجيا المنطقة :

4.....: 1-2) موارد المياه السطحية :

4.....: 1-1-2) واد ميزاب :

4.....: 2-1-2) واد ميا :

4.....: 3-1-2) واد نساء :

5.....: 3) المناخ :

5.....: 1-3) الحرارة :

6.....: 2-3) التساقط :

6.....: 2-2-3) هطول الأمطار الشهري :

7.....: 3-3) الرطوبة النسبية :

8.....: 4-3) الرياح :

8.....: 5-3) تشمس :

8.....: 6-3) التبخر :

9.....: 7-3) مخطط الأمبروثيرمي (Diagramme Ombrothermique) :

10.....: 4) الجيولوجيا الإقليمية :

12.....: 5) تاريخ دراسة الجيولوجية لمنطقة الصحراء

12.....: 6) علم الطبقات (التركيب الصخري) :

14.....: 1-6) الزمن الجيولوجي الرابع (Le Quaternaire) :

14.....: 1-1-6) لعصر الحديث الأقرب البليستوسين (Pleistocene) :

14.....: 2-1-6) لعصر الحديث الهولوسين (Holocene) :

14.....: 2-6) الزمن الجيولوجي الثالث :

14.....: 1-2-6) الايوسين (L'eocene) :

14.....: 2-2-6) الميولبليوسان (Miopliocène) :

14.....: 3-6) الزمن الجيولوجي الثاني :

- 14 : البرميان (Le Permien) (1-3-6)
- 15 : الابتيان (l'Aptien) (2-3-6)
- 15 : الالبيان (l'Albien) (3-3-6)
- 15 : الفراكونيان (Le Vraconien) (4-3-6)
- 15 : السينونيان (5-3-6)
- 15 : السينونيان البحيري: (1-5-3-6)
- 15 : السينونيا ن كلسي : (2-5-3-6)
- 15 : (Le Cénomaniien) السينومانيان (6-3-6)
- 15 : (Le Turonien) الطورونيان (7-3-6)
- 16..... : هيدروجيولوجيا المنطقة: (7)
- 16 : طبقات المياه الجوفية في المنطقة : (2-7)
- 16 : نظام الطبقة المائية المتداخل القاري (Continental Intercalaire) : (1-2-7)
- 17 : لطبقة المائية المركب النهائي (Complexe Terminal) : (2-2-7)
- 17 : الطبقة الجوفية الميوباليوسين (Nappe Mio-Pliocène) : (1-2-2-7)
- 17 : الطبقة الجوفية السينونيان (Nappe du sénonien) : (2-2-2-7)
- 17 : الطبقة الجوفية السطحية (Nappe phréatique) : (3-2-2-7)
- 18 : الخصائص الجيومورفولوجية : (8)
- 18..... : الرق : (1-8)
- 18..... : الحمادة : (2-8)
- 18..... : الرمال : (2-8)
- 18..... : السبخة : (4-8)
- 19 : نظرة تكتونية عامة : (9)
- 19 : سبخة سفيون : (10)
- 19..... : نشأة سبخة سفيون : (1-10)
- 20 : الموقع ولإحداثيات الجغرافي لسبخة سفيون : (2-10)
- 21 : الإطار الجيومورفولوجي في منطقة سبخة سفيون : (3-10)
- 22 : التنوع البيولوجي في سبخة سفيون : (4-10)
- 23 : الاضرار البيئية الناجمة عن تحويل سبخة سفيون الى مصب لمياه الصرف الصحي : (5-10)

الفصل الثاني : المنهجية و الوسائل المستخدمة

- 25..... : المقدمة : (1)
- 25..... : حملة أخذ العينات : (2)
- 25..... : بروتوكول أخذ عينات المحاليل : (3)
- 26 : تغليف العينات في الحال : (1-3)
- 26 : الترشيح : (1-1-3)
- 26..... : تقنيات قياس وتحليل المحاليل : (4)

- 26 (1-4) قياس المعامل الهيدروجيني (pH), و الناقلية الكهربائية (conductivité) :
- 27 (2-4) الفحص الوزني لأيونات الكبريتات (SO_4^{2-}) :
- 28 (3-4) التحليل الطيفي للانبعاث اللهبى :
- 29 (4-4) قياس المعايرة بالتحليل الحجمي :
- 30 (1-4-4) بروتوكول تجريبي نموذجي للمعايرة بالتحليل الحجمي :
- 30 (2-4-4) تحديد المغنيسيوم (Mg^{2+}) :
- 31 (3-4-4) تحديد الكالسيوم (Ca^{2+}) :
- 32 (4-4-4) تحديد بيكربونات (HCO_3^-) :
- 32 (5-4) تقدير الكلوريد (Cl^-) بواسطة معايرة الجهد التيومترية لجهاز نوع "Metrohm" :
- 33 (5) بروتوكول أخذ عينات الرواسب والصخور :
- 33 (1-5) تحضير العينة الصلبة :
- 33 (2-5) طحن العينات لتحليل DRX :
- 34 (3-5) التفريق بالأشعة السينية (DRX) :
- 35 (6) البرمجيات :
- 35 (1-6) برنامج الاكسل (Excel) :
- 35 (2-6) رسم باير البياني (Diagramme de piper) :
- 35 (3-6) برنامج (high-score Plus) تحليل مسح الأشعة السينية (DRX) :

الفصل الثالث : التحليلات والنتائج الجيوكيميائية

- 37 (1) دراسة العوامل الفيزيائية-الكيميائية :
- 37 (1-1) الحرارة :
- 37 (1-2) المعامل الهيدروجيني (pH) :
- 37 (1-3) الناقلية الكهربائية (CE) :
- 40 (2) سلوك العناصر الرئيسية :
- 40 (1-2) سلوك الكلوريد (Cl^-) :
- 41 (2-2) سلوك الصوديوم (Na^+) :
- 41 (3-2) سلوك المغنيسيوم (Mg^{2+}) :
- 43 (4-2) سلوك الكالسيوم (Ca^{2+}) :
- 43 (5-2) سلوك السلفات (SO_4^{2-}) :
- 45 (6-2) سلوك البوتاسيوم (K^+) :
- 46 (7-2) سلوك البيكربونات (HCO_3^-) :
- 47 (8-2) الملحوظة :
- 48 (3) المخططات البيانية للتحليلات الجيوكيميائية :
- 48 (1-3) مخطط باير (Le diagramme de Piper) :
- 49 (2-3) الرسوم البيانية الثنائية :
- 49 (1-2-3) المخططات الثنائية لأيونات الكلور :

- 50 : (Na⁺- Cl⁻) (1-1-2-3) مخطط ثنائي كلور الصوديوم
- 51 : (Ca²⁺-Cl⁻) (2-1-2-3) المخطط الثنائية الكلور- الكالسيوم
- 52 : (Mg²⁺- Cl⁻) (3-1-2-3) المخطط الثنائية الكلور- المغنسيوم
- 52 : (SO₄²⁻ - Cl⁻) (4-1-2-3) الرسم البياني الثنائية
- 53 : (K⁺- Cl⁻) (5-1-2-3) الرسم البياني الثنائية
- 53..... : (DRX) (4) تفسيرات تحليلات
- 54..... : (5) المناقشة و الاستنتاجات
- 55..... خاتمة عامة.
- 66..... قائمة المصادر:

قائمة الجداول :

الفصل الأول : الإطار الجغرافي و الجيولوجي لمنطقة الدراسة

- الجدول 1 : متوسط درجات الحرارة الشهرية لولاية ورقلة (2013-2023) مصدر ((<https://fr.tutempo.net/climat/ws-605800.html>)... 5
- الجدول 2 : هطول الامطار السنوي (<https://fr.tutempo.net/climat/ws-605800.html>). (2013-2023) 6
- الجدول 3: تساقط الشهرية للأمطار (2013-2023) ((<https://fr.tutempo.net/climat/ws-605800.html>) 6
- الجدول 4 :متوسط الرطوبة الشهرية(2013-2023) 7
- الجدول 5 : متوسط سرعة الرياح (2013-2023) (<https://fr.tutempo.net/climat/ws-605800.html>) 8
- الجدول 6 : متوسط التشميس الشهري (محطة ورقلة , 2015-2004)..... 8
- الجدول 7 : متوسط التشميس الشهري (محطة ورقلة , 2015-2004)..... 8

الفصل الثالث : التحليلات والنتائج الجيوكيميائية

- الجدول 8 : العناصر الرئيسية للمياه السطحية 40
- الجدول 9 : خصائص الجيوكيميائية لمصادر الملوحة (وفقاً لفينغوش، 2003) 50

قائمة الأشكال والصور

الفصل الأول : الإطار الجغرافي و الجيولوجي لمنطقة الدراسة

- الشكل 1 خريطة الموقع الجغرافي لولاية ورقلة 3
- الشكل 2 متوسط درجات الحرارة الشهرية لولاية ورقلة (2013-2023). (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>) 5
- الشكل 3 : هطول الامطار السنوي ولاية ورقلة (2013-2023)..... 6
- الشكل 4: أعمدة بيانية توضح معدل هطول الامطار الشهرية ولاية ورقلة للفترة (2013-2023) 7
- الشكل 5 تطور الرطوبة الشهري لولاية ورقلة للفترة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>) 7
- الشكل 6 : متوسط سرعة الرياح لولاية ورقلة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>) 8
- الشكل 7 : المخطط البياني الأمروثيرمي لولاية ورقلة للفترة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>) 9
- الشكل 8 : الخريطة الجيولوجية للصحراء السفلى (1978 D'après Nesson)..... 10
- الشكل 9: خريطة جيولوجية لمنطقة الدراسة (الصحراء الشمالية) 11
- الشكل 10: الطبقات الجيولوجية بالصحراء المنخفضة (الوكالة الوطنية للموارد المائية) 11
- الشكل 11 : قسم الشمال والجنوب يوضح الوحدات الهيكلية الرئيسية الجزائر (لاميني عبد الله 2019) 12
- الشكل 12 : الوحدة الستراتغرافية لإقليم الدراسة (المصدر :الوكالة الوطنية للموارد المائية) 13
- الشكل 13 : مقطع جيولوجي للصحراء 15
- الشكل 14 : حدود الطبقات المائية داخل الحوض الهيدروجيولوجي في الصحراء الشمالية 16
- الشكل 15 : نمط الطبقات المائية المتعددة الطبقات في الصحراء الشمالية 17
- الشكل 16 : مقطع هيدروجيولوجي في الصحراء الشرقية 17
- الشكل 17 مقطع جيومورفولوجي تخطيطي لوادي ورقلة (بلعور عبد العزيز 2008) 18
- الشكل 18 : مراحل تطور المنخفضات التكتونية 19
- الشكل 19 : صورة بلقمر الاصطناعي لسبخة سفيون 20
- الشكل 20: صورة مأخوذة بالقمم الاصطناعي لولاية ورقلة..... 20
- الشكل 21 : بعض الصور الملتقطة لسبخة سفيون 21
- الشكل 22 : التمثيل المورفولوجي للتنوع في حوض انقوسة 21
- الشكل 23 : قائمة لبعض الأنواع الطيور المائية لولاية ورقلة (مصدر : محافظة الغابات ورقلة) 22
- الشكل 24 : بعض الاضرار التداعية البيئية و الاضرار الناجمة عن تحويل سبخة سفيون الى مصب لمياه الصرف 23

الفصل الثاني : المنهجية و الوسائل المستخدمة

- الشكل 25 : مواقع اخذ العينات 25
- الشكل 26 : مبدأ الترشيح 26
- الشكل 27 : أجهزة المستخدمة في قياس نسبة الحموضة (pH) و الناقلية الكهربائية ((conductivité) 26
- الشكل 28 : مراحل متابعة الفحص الوزني لأيونات الكبريتات (SO_4^{2-}) 27
- الشكل 29 : مبدأ أنبعاث اللهب (قوانين بير لامبرت) 28
- الشكل 30 : مقياس الطيف الضوئي لانبعاث اللهب من النوع JENWAY PFP7 28
- الشكل 31 : منحى معايرة الصوديوم 29
- الشكل 32 : منحى معايرة البوتاسيوم 29
- الشكل 33 : الوضع النموذجي للمعايرة 30
- الشكل 34 : اللون نهائي عند عملية معايرة لحساب تركيز (Ca^{2+}) 31
- الشكل 35 : اللون نهائي عند عملية معايرة لحساب تركيز (Mg^{2+}) 31
- الشكل 36 : مقياس جهد أوتوماتيكي (جهاز Titrimo Plus 848 من Metrohm) 32
- الشكل 37 : العينة المستخدمة في تحاليل DRX 33
- الشكل 38: مدقة مصنوعة من العقيق 33
- الشكل 39 : هندسة براغ-برينتانو التي تشرح قانون براغ عن طريق التشبيه بالانعكاس 34
- الشكل 40 : جهاز المستخدم لقياس حيود الأشعة السينية نوع OLYMPUS 35

الفصل الثالث : التحليلات والنتائج الجيومكانية

- الشكل 41 : تغيرات درجة حرارة الماء مع مرور الوقت خلال فترة الدراسة (2024-03-25 الى 2024-05-21)..... 37
- الشكل 42 : تغير في الناقلية الكهربائية لمياه العينات للمرحلة 1 (2024-03-25)،..... 38
- الشكل 43 : تغير في الناقلية الكهربائية لمياه العينات مرحلة 2 (2024-03-25)،..... 38
- الشكل 44 : تغير في الناقلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 3 (2024/05/07)..... 39
- الشكل 45 : تغير في الناقلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 4 (2024-05-14)..... 39
- الشكل 46 : تغير في الناقلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 5 (2024-05-21)..... 39
- الشكل 47 : تراكيز الكلوريد في المياه الجوفية و السطحية ومياه الصرف..... 40
- الشكل 48 : تراكيز الصوديوم في المياه الجوفية و السطحية ومياه الصرف..... 41
- الشكل 49 : تراكيز المغنيسيوم في المياه الجوفية و السطحية ومياه الصرف..... 41
- الشكل 50 : تغير تراكيز لمغنيسيوم (Mg^{2+}) بناءً على تركيز البوتاسيوم (K^+) في المحاليل المالحة لسبخة سفيون..... 42
- الشكل 51 : تغيرات تراكيز المغنيسيوم (Mg^{2+}) نسبةً إلى تراكيز الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 42
- الشكل 52 : تغيرات تراكيز المغنيسيوم (Mg^{2+}) نسبةً إلى تراكيز البيكربونات (HCO_3^-) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 42
- الشكل 53 : تراكيز الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الجوفية و السطحية ومياه الصرف..... 43
- الشكل 54 : تراكيز الكبريتات في المياه السطحية والجوفية ومياه الصرف..... 44
- الشكل 55 : تغيرات تراكيز الكبريتات (SO_4^{2-}) نسبةً إلى تراكيز المغنيسيوم (Mg^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 44
- الشكل 56 : تغيرات تراكيز الكبريتات (SO_4^{2-}) نسبةً إلى تراكيز الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 44
- الشكل 57 : تغيرات تراكيز الكبريتات (SO_4^{2-}) نسبةً إلى تراكيز البوتاسيوم (K^+) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 45
- الشكل 58 : تراكيز البوتاسيوم في المياه السطحية والجوفية لسبخة سفيون ومياه الصرف..... 45
- الشكل 59 : تغيرات تراكيز البوتاسيوم (K^+) نسبةً إلى تراكيز البيكربونات (HCO_3^-) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 46
- الشكل 60 : تغيرات تراكيز البوتاسيوم (K^+) نسبةً إلى تراكيز الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون..... 46
- الشكل 61 : تراكيز البوتاسيوم في المياه السطحية والجوفية لسبخة سفيون ومياه الصرف..... 47
- الشكل 62 : الاختلافات في ملوحة المياه كدالة للوقت لفترة الدراسة..... 47
- الشكل 63 : مشاركة العناصر الرئيسية بالنسب المئوية (%)..... 48
- الشكل 64 : تمثيل مخطط باير للمياه التي تم تحليلها..... 49
- الشكل 65 : تراكيز الصوديوم المذاب كدالة للكلوريدات (بالمغرم/ل) والخط النظري لتطور المحاليل..... 50
- الشكل 66 : لنسب المولارية بين الصوديوم والكلور (Na/Cl) والكبريتات والكلور (SO_4/Cl) للمصادر الرئيسية للملوح (وفقًا لفينغوش، 2003). 51
- الشكل 67 : تركيز الكالسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمغرم/لتر) وخط التطور النظري للحلول..... 51
- الشكل 68 : تركيز المغنيسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمغرم/لتر) وخط التطور النظري للحلول..... 52
- الشكل 69 : تركيز الكبريتات المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمغرم/لتر) وخط التطور النظري للحلول..... 52
- الشكل 70 : تركيز البوتاسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمغرم/لتر) وخط التطور النظري للحلول..... 53
- الشكل 71 : تحاليل (DRX) لعينة املاح في منطقة الدراسة..... 53

المقدمة:

تعد الجزائر موطنًا لمجموعة من الأراضي الرطبة شديدة التنوع: البحيرات، والمستنقعات، والشطوط والسبخ. وكان انضمام الجزائر إلى اتفاقية رامسار ساريا سنة 1984، وإلى يومنا هذا، تم تصنيف 42 موقعا ضمن قائمة رامسار للأراضي الرطبة ذات الأهمية الدولية، تغطي مساحة 2,958,704 هكتار تمثل 0,78% من التراب الوطني مقابل 0.02% و 0.08% علالتوالي بالنسبة للمغرب وتونس . السبخات أحد الأنظمة البيئية الفريدة والمهمة على سطح الأرض، حيث تتميز بتراكم الأملاح والمعادن نتيجة التبخر المرتفع وانخفاض معدل الأمطار. هذه المناطق ذات أهمية بيئية واقتصادية كبيرة، نظراً لدورها الحيوي في التنوع البيولوجي وتوازن النظام البيئي، بالإضافة إلى قيمتها في العديد من الصناعات مثل استخراج الأملاح والمعادن. دراسة السبخات تكتسب أهميتها من خلال فهم العمليات الجيوكيميائية التي تحدث فيها، والتي تساهم في تشكيل تركيبها الكيميائي والبيولوجي الفريد. توفر هذه الدراسات العلمية معلومات حيوية تساعد في إدارة هذه النظم البيئية والحفاظ عليها، وتحقيق توازن مستدام بين الاستغلال البشري والحفاظ على البيئة ..

تكتسب سبخة سفيون أهمية خاصة كونها تمثل نظامًا بيئيًا معقدًا يتفاعل فيه الماء مع الرواسب والمعادن بشكل مستمر، مما يؤدي إلى تطورات جيوكيميائية مميزة. تهدف هذه المذكرة إلى دراسة التطور الجيوكيميائي لمياه سبخة سفيون، وفهم العوامل المؤثرة على تركيبها الكيميائي وديناميكيته البيئية.

تتكون هذه الدراسة من ثلاثة فصول و هي كتالي **الفصل الأول** : السياق الجيولوجي لمنطقة الدراسة و **الفصل الثاني** : المواد والوسائل المخصصة لعرض محطات وطرق أخذ العينات ، والتحليلات الفيزيائية والكيميائية ، **الفصل الثالث** : التحاليل والنتائج تم إجراء تحاليل مفصلة على العينات المجمع، حيث شملت هذه التحاليل قياس تراكيز الأيونات والعناصر الرئيسة للماء. أن الهدف من هذه الدراسة يرمي إلى إعادة بناء الدورة الجيوكيميائية للسبخة ، محاولة لدراسة سلوكيات العناصر الرئيسية المشكلة لمياه السبخة و تأثير مياه الصرف عليها ، وكذلك حساب مؤشر التشبع للمعادن المتبخرة ومقارنته بنتائج حيود الأشعة السينية (DRX) . إن فهم التطورات الجيوكيميائية لمياه سبخة سفيون ليس فقط ضروريًا للمحافظة على هذا النظام البيئي الهش، ولكنه أيضًا يساهم في تطوير استراتيجيات فعالة لإدارة المياه المالحة والمناطق الجافة بشكل عام. من خلال هذا البحث، نسعى إلى تقديم معرفة علمية دقيقة يمكن أن تكون مرجعًا للباحثين والمختصين في مجال الجيولوجيا .

**الفص الأول :
الاطار الجغرافي و
الجيولوجي لمنطقة
الدراسة**

1) تعريف منطقة الدراسة :**1-1) لمحة تاريخية :**

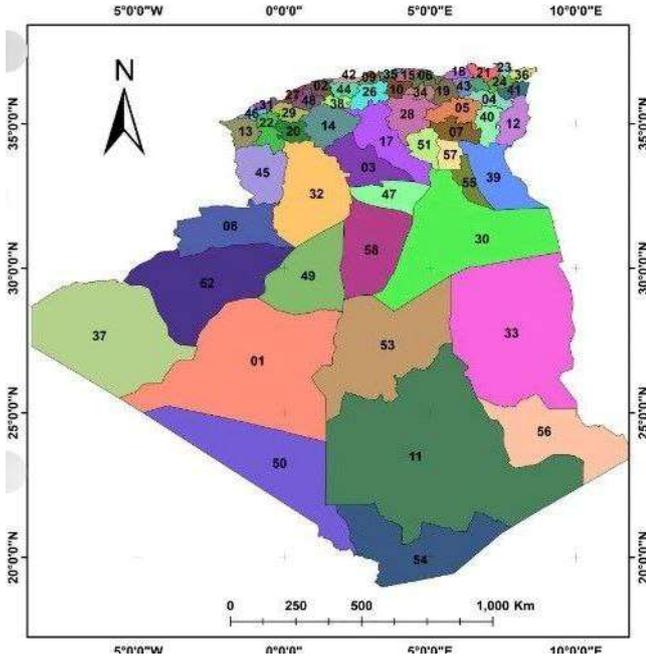
تقع هذه المدينة في الجنوب الشرقي من الجزائر، على بعد حوالي 820 كيلومتر من العاصمة. تُرجع المصادر تاريخها العريق إلى ما قبل الفتوحات الإسلامية في شمال إفريقيا بقرون عدة. أسستها قبيلة بني واركال الزناتية الأمازيغية التي فرت إلى المنطقة هرباً من الضغوط واغتصاب الأراضي التي فرضها الاستعمار الروماني على السكان في الشمال بعد اجتياحهم لمنطقة جنوب البحر الأبيض المتوسط قبل نهاية القرن الأول قبل الميلاد. هاجر الأمازيغ إلى الجنوب وعندما وصلوا إلى منطقة الزاب، انتشروا في الصحراء وأسسوا مدناً وقرى جديدة. من بين هؤلاء الوافدين كانت قبيلة بني واركال الزناتية، التي استقرت في جنوب غرب بسكرة على بعد ثمانية مراحل وفقاً لما ذكره ابن خلدون، في منطقة تتوفر فيها المياه والاكل. استقرت القبيلة على ربوة عالية خالية من السكان، حيث بنوا قصورهم وبدأوا بزراعة النخيل حتى تكونت واحة، وأصبح اسمها مرتبطاً بالقبيلة. وقد تنوعت الأسماء التي أطلقت عليها مثل (واركلة، واركال، وارجال، وارجل، وارقلة، وارقلة)

2-1) الموقع الجغرافي :

تقع ولاية ورقلة في جنوب شرقي للجزائر , على خط عرض (31°95' شمالاً) وخط طول (5°33' شرقاً) تبلغ مساحتها حوالي 163.233 كم2 . بلغ تعداد السكاني للولاية 380 الف نسمة حسب تقديرات عام 2020. تبعد حوالي 820 كلم عن العاصمة . ضاربة في القدم ، ومركزا عمرانيا هاما ، فهي ملتقى للطرق ، وتحتوي على ثروة هامة من النخيل، فضلا عن الثروات البترولية التي تزخر بها باطن الأرض اليوم.

3-1) حدود ولاية ورقلة :

- _ شمالا : الولايات التالية: تقرت و المغير و ولاد جلال و الجلفة.
- _ الشرق : دولة تونس .
- _ الجنوب : ولايتي عين صالح و ايليزي.
- _ الغرب : ولاية غرداية و المنيعه



الشكل 1 خريطة الموقع الجغرافي لولاية ورقلة

(57 ولاية المغير	(51 ولاية أولاد جلال	(47 ولاية غرداية
(58 ولاية المنيعه.	(53 ولاية عين صال	(17 ولاية الجلفة
	(55 ولاية تقر	(33 ولاية إليزي

(2) هيدرولوجيا المنطقة :

(1-2) موارد المياه السطحية :

المياه السطحية مرتبطة بشكل وثيق بمعدل هطول الأمطار، خاصة في أحواض التصريف. في الصحراء، تكون هذه المياه ذات أهمية نسبية، خاصة في أطلس الصحراء (مثل وادي ميزاب، وادي نساء، وادي ميا ... إلخ). الفيضانات نادرة بشكل عام وتأتي بشكل رئيسي من جبال أطلس الصحراء، وكذلك في مناطق الأغواط، ميزاب، و ورقلة. تستند هذه المعلومات إلى دراسات (هيدرولوجيا الصحراء) وخاصة تلك التي قامت بها الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH). تقدر هذه الدراسات التدفق السنوي بحوالي 250 مليون متر مكعب في السنة؛ بالإضافة إلى ذلك، تتسبب الأمطار الغزيرة في حدوث فيضانات في هذه المنطقة من الصحراء الشمالية.

(1-1-2) واد ميزاب :

يغطي حوض وادي مزاب مساحة كبيرة تبلغ 19.500 كيلومتر مربع. أما جانبا الحوض فهما على النحو التالي: يواجه الجانب الشمالي تقلبات مناخية تؤدي إلى هطول أمطار غزيرة، حيث تدخل الأمطار إلى أودية الحوض الرئيسية، بما في ذلك وادي مزاب. تندمج ثلاثة أودية رئيسية، الأبيض، ولادير، وأرقدان، على بعد بضعة مئات من الأمتار من المنبع لتشكيل وادي مزاب، الذي يتدفق عبر مدينة غرداية يبدأ الوادي على ارتفاع 750 مترًا في منطقة بوطمة طويلة، ويمتد بطول 225 كيلومترًا معظمها من الغرب إلى الشرق، وينتهي على ارتفاع 110 متر من سطح البحر في سبخة سفيون .

(2-1-2) واد ميا :

يقع في جنوب الغربي للصحراء المنخفضة ومنبعه في جنوب في الكتلة الجبيلة في تادمايت باعين صالح , كان هذا الوادي الأحفوري ذو مساحة حوالي 19800 كلم² , يعبر مدينة ورقلة قديمًا، قبل أن يتلقى، عند مستوى سبخة سفيون، مساهمات اثنين من الأودية الرئيسية لدعامته (وادي ميزاب ووادي نساء). وفي الشمال، بالقرب من تقرت، تلتقي وديان وادي ميا ووادي إيغارغار لتشكيل وادي ريغ الذي ينتهي في شط ملغيغ .

(3-1-2) واد نساء :

يمتد وادي على مساحة حوالي 7000 كم²، ينبع الوادي من فوق مصاب (حاسي الدلاعة بارتفاع حوالي 750 متر) ولاية الأغواط ليمر بمدينة آت برقان من جهة القبلة ويلتقي بعدها بواد لروي والوديان الأخرى. يقطع مسافة حوالي 240 كم في اتجاه الغرب والشرق وصولاً إلى سبخة سفيون ذات لارتفاع 103 متر فوق سطح البحر وتقع على بعد 40 كلم شمال ورقلة.

(3) المناخ :

يسود ولاية ورقلة المناخ الصحراوي الذي يتميز بالقساوة (حار صيفا وبارد في شتاء) و بضعف كمية الأمطار و درجات الحرارة المرتفعة و التبخر القوي , (حسب الدوان الوطني للأرصاد الجوية للولاية) .

(1-3) الحرارة :

باعتبار أن منطقة ورقلة يغلب عليها الطابع الصحراوي, فإن مناخها يتميز بالجفاف و عليه فإن درجة الحرارة تكون مهمة في الدراسة و من أهم العوامل.

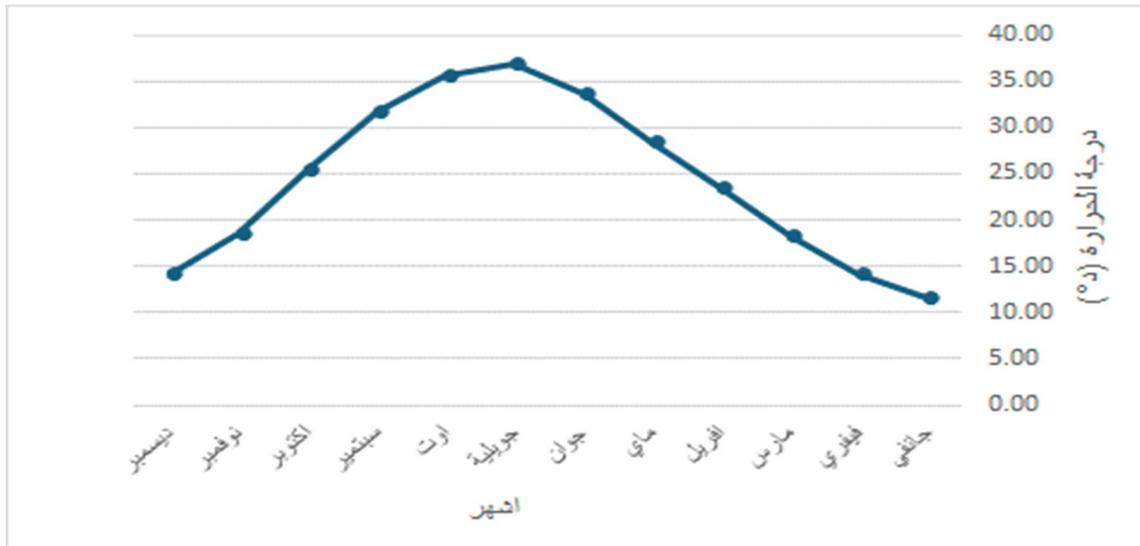
تم قياس درجات الحرارة لولاية ورقلة من البيانات التي تم جمعها (2013-2023) مصدر(<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

تعتبر درجة الحرارة المتوسطة السنوية في مناخ جاف مثل ورقلة غير ذات أهمية كبيرة. الأهم هو متوسط درجات الحرارة الشهرية والتفاوتات الحرارية. القيم المتوسطة المسجلة خلال السنوات الإحدى عشرة الماضية تظهر استقراراً طفيفاً عند 23 درجة مئوية. ومع ذلك، تخفي هذه القيم تباينات شهرية؛ حيث تكون 12 درجة مئوية في يناير و 35.9 درجة مئوية في يوليو، مما يشير إلى تفاوت حراري قدره 24 درجة مئوية بين الشهرين.

الجدول 1 : متوسط درجات الحرارة الشهرية لولاية ورقلة (2013-2023) مصدر(<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

متوسط	ديسمبر	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أوت	جويلية	جوان	ماي	أبريل	مارس	فيفري	جانفي	درجة الحرارة (°د)
24.35	14.20	18.51	25.35	31.76	35.55	36.85	33.73	28.47	23.57	18.38	14.24	11.58	

نلاحظ أن درجات الحرارة الصيفية مرتفعة جداً، حيث تتراوح بين 33° و 35.5° مئوية. يصل الحد الأقصى في شهر جويلية . أما في الشتاء، فتتراوح درجات الحرارة بين 11° و 14° مئوية ويُعد شهر جانفي الأبرد. هذا يقودنا إلى القول بأن منطقة ورقلة تتميز بشتاء معتدل و صيف شديد الحرارة .



الشكل 2 متوسط درجات الحرارة الشهرية لولاية ورقلة (2013-2023). (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

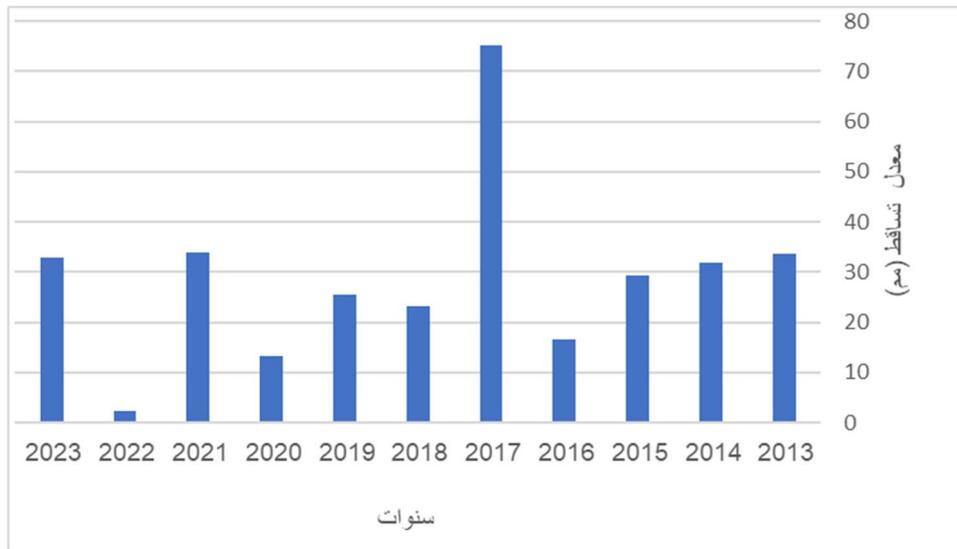
2-3 (التساقط :

ضعف هطول الأمطار هو السمة الأساسية لمناخ الصحراء. البيانات المتعلقة بقياسات الأمطار المستخدمة تم جمعها في محطة ورقلة على مدى فترة 10 سنة (2013-2023).

الجدول 2 هطول الامطار السنوي لولاية ورقلة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>).

متوسط	2023	2022	2021	2020	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	السنة
متوسط تساقط (مم)	28.79	32.77	2.27	33.78	13.21	25.41	23.11	75.17	16.51	29.2	31.74	33.52

القيم المرصودة (الشكل 3) تظهر أن الحد الأقصى لمتوسط التساقط هو 75.17 (مم) الذي سُجل في عام 2017، والحد الأدنى كان 2.27 (مم) وسُجل في عام 2022. وهكذا، نلاحظ عدم انتظام و تقلب هطول الأمطار من سنة إلى أخرى خلال هذه الفترة.



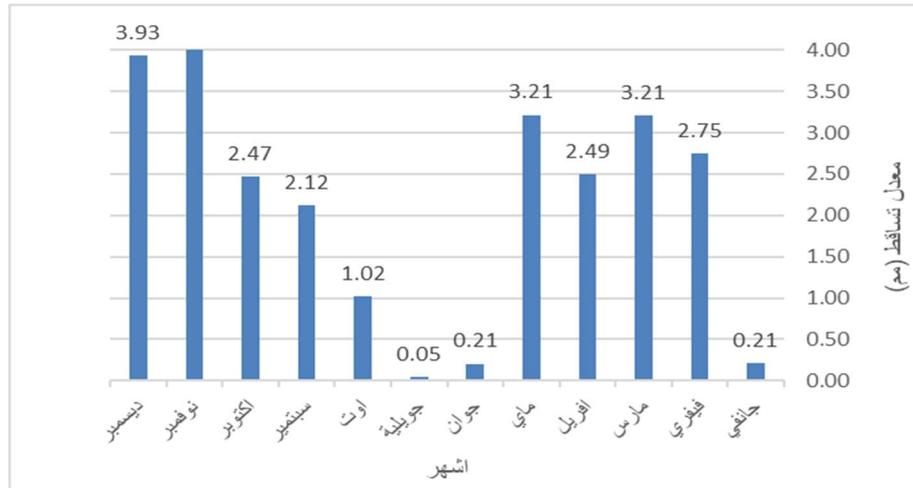
الشكل 3 : هطول الامطار السنوي لولاية ورقلة (2023-2013)

2-2-3 (2-2-3) هطول الأمطار الشهري :

يوضح الجدول أدناه توزيع متوسط ارتفاعات الأمطار الشهرية في منطقة ورقلة. تتراوح قيم الهطول المطري الشهري بين 0.21 مم في جانفي وجوان و5.73 مم في نوفمبر. يبلغ المجموع السنوي للأمطار حوالي 28.79 مم/سنة. بشكل عام، تكون الأمطار في المنطقة ذات شدة منخفضة.

الجدول 3: تساقط الشهرية للأمطار لولاية ورقلة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

متوسط	نوفمبر	أكتوبر	سبتمبر	أوت	جويلية	جوان	ملي	أفريل	مارس	فيفري	جانفي	الشهر
متوسط تساقط (مم)	3.93	5.73	2.47	2.12	1.02	0.05	0.21	3.21	2.49	3.21	2.75	0.21



الشكل 4: أعمدة بيانية توضح معدل هطول الامطار الشهرية للفترة (2013-2023)

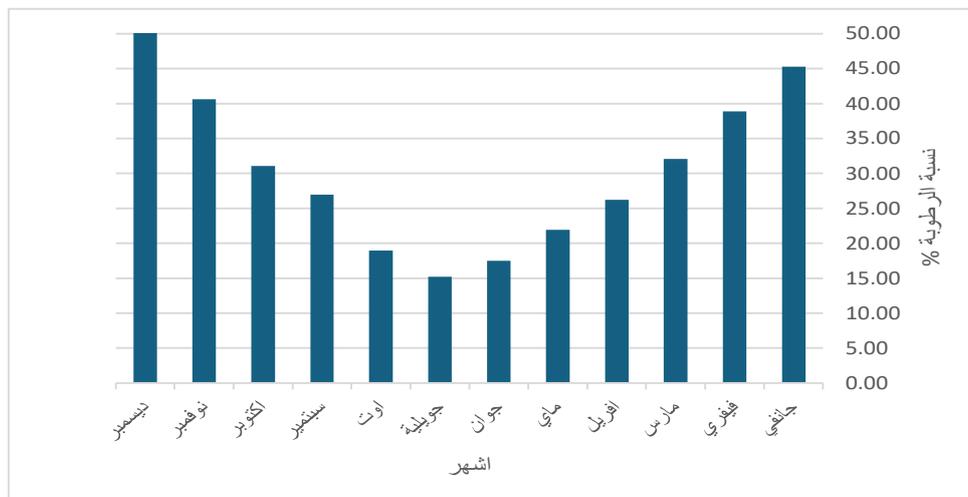
3-3 الرطوبة النسبية :

درجة الرطوبة في الهواء (أو الرطوبة النسبية) هي نسبة ضغط البخار الفعلي إلى ضغط البخار المشبع تحت نفس ظروف الحرارة والضغط. لقد أدرجنا في الجدول أدناه المتوسط الشهري للرطوبة المقاسة في ورقلة (2013-2023) .

الجدول 4: متوسط الرطوبة الشهرية لولاية ورقلة (2013-2023)

شهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جون	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
الرطوبة (%)	45.25	38.87	32.05	26.25	21.94	17.50	15.20	18.95	26.93	31.06	40.60	50.76	30.45

تُعد الرطوبة النسبية للهواء منخفضة جداً، حيث تتراوح بين 15.20% و 50.76% خلال فترة المراقبة. تُسجل أعلى نسبة للرطوبة في شهر ديسمبر بنسبة 50.76%، بينما تُلاحظ أدنى نسبة في شهر جويلية بقيمة 15.20%، ويبلغ المتوسط السنوي 30.45% (2013-2023) . (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)



الشكل 5 تطور الرطوبة الشهرية لولاية ورقلة للفترة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

4-3) الرياح :

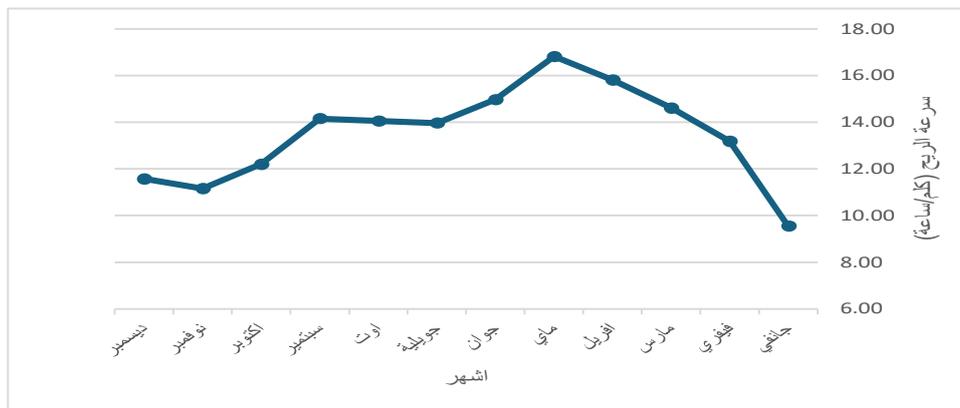
يمكننا القول إن الرياح هي العامل المناخي الأكثر انتظامًا في منطقة ورقلة. يتم تحديدها من خلال اتجاهها وسرعتها .

الجدول 5: متوسط سرعة الرياح لولاية ورقلة للفترة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

شهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
سرعة الرياح (كم/س)	9.55	13.18	14.61	15.81	16.82	14.97	13.96	14.05	14.15	12.20	11.15	11.57	13.50

تحدث أقوى الرياح خلال الفترة من مارس إلى سبتمبر، مع أقصى سرعة تبلغ 15.81 كم/ساعة في شهر أبريل. يبلغ متوسط السرعة القصوى السنوية للرياح 13.50 كم/ساعة.

عادةً، تكون الرياح الأكثر شيوعًا هي التي تتجه من الجنوب إلى الشمال ومن الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي، بينما الرياح المتجهة نحو الجنوب والجنوب الغربي تهيمن فقط في شهر يناير. يمكن اعتبار أن الاتجاه العام لشمال-جنوب الوادي يلعب دورًا في توجيه الرياح (بلعور عبدالعزيز، 2008).



الشكل 6: متوسط سرعة الرياح لولاية ورقلة للفترة (2013-2023) (<https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>)

5-3) تشمس :

يتعلق الأمر بفترة السطوع الفعلي للشمس، أي الفترة بالساعة التي تشرق فيها الشمس. تتوافق التغيرات السنوية في السطوع مع تلك المتعلقة بالغيوم، وهي من النوع المتوسطي الذي يظهر أقصى درجاته في الصيف. ومع ذلك، توجد عدة تغيرات سنوية ناتجة عن العواض الصغيرة التي تسببها الجسور السحابية (بلعور عبدالعزيز، 2008).

الجدول 6: متوسط التشميس الشهري (محطة ورقلة , 2004-2015)

شهر	جانفي	فيفري	مارس	أفريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
تشمس (ساعة)	245.9	239.9	262.4	280.1	304.9	252	328.1	329	256.4	264.7	251.4	225.8	581

أكبر معدل للسطوع الشمسي الشهري يتوافق مع الأشهر الأكثر حرارة "أوت" بمقدار 329 ساعة . أما الحد الأدنى فيكون في ديسمبر حيث تكون مدة السطوع أقل وتبلغ 225.8 ساعة. بشكل عام، تبلغ مدة السطوع الشمسي السنوية حوالي 581 ساعة.

6-3) التبخر :

التبخر هو عملية انتقال تدريجي من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية. لذلك، فإن هذه الظاهرة هي تبخر تدريجي يؤدي إلى امتصاص السرعات الحرارية وبالتالي تقليل درجة حرارة البيئة المحيطة.

تم جمع بيانات التبخر المعروضة في الجدول رقم 7 على مستوى محطة ورقلة للفترة من 2004 إلى 2015.

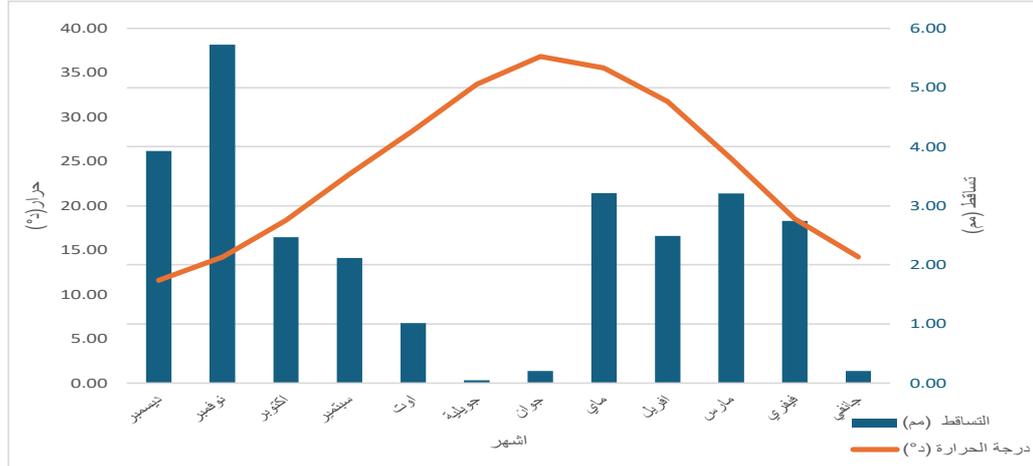
الجدول 7: متوسط التشميس الشهري (محطة ورقلة , 2004-2015)

شهر	جانفي	فيفري	مارس	أبريل	ماي	جوان	جويلية	أوت	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	متوسط
البخر (مم)	91	126	201	255	328	397	455	374	292	255	123	88	277.4

نسبة التبخر في وادي ورقلة عالية جداً، تصل إلى حدها الأقصى ملم في شهر يوليو والحد الأدنى 88 ملم في شهر ديسمبر. المعدل السنوي معدل التبخر 2955 ملم/سنة

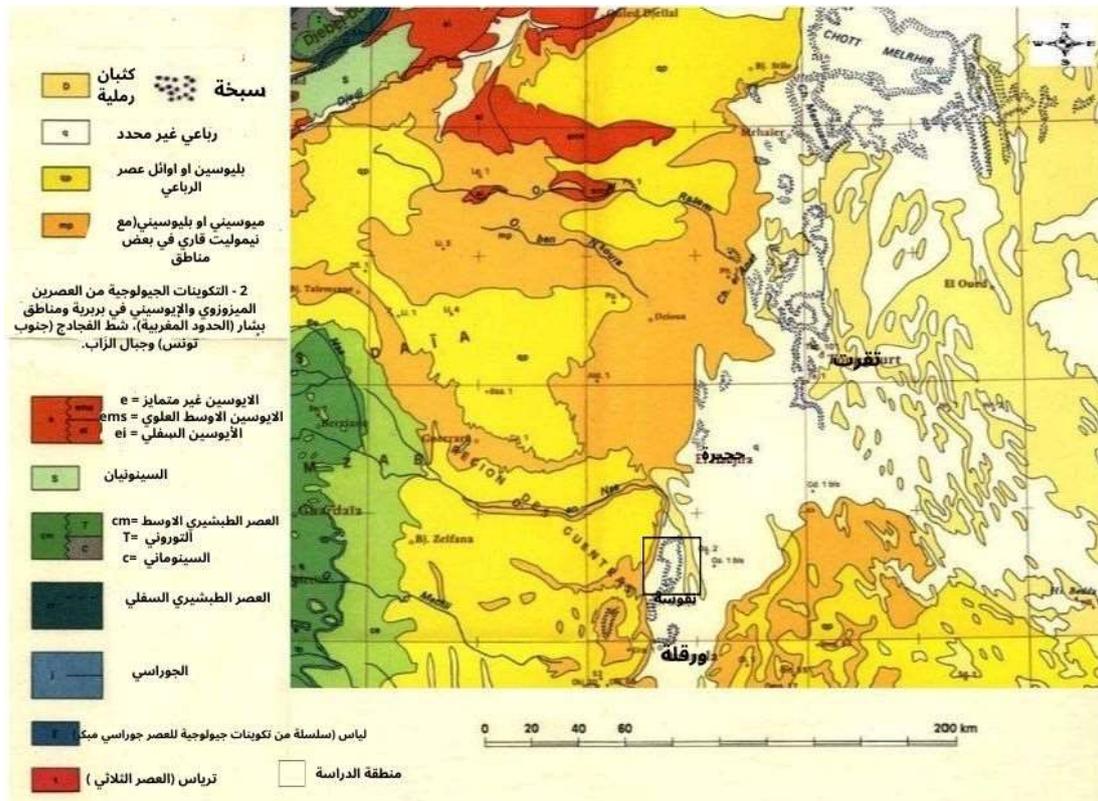
(7-3) مخطط الأمبروثيرمي (Diagramme Ombrothermique) :

حسب Gaussen و Bagnouls (1953)، يعتبر الشهر جافاً عندما يكون مجموع التساقطات الشهرية أقل من أو يساوي ضعف متوسط درجة الحرارة الشهرية، أي $P \leq 2T$.
يتيح لنا الرسم البياني تحديد مدة وشدة الموسم الجاف. في حالة منطقتنا المدروسة، يمتد الموسم الجاف على مدار السنة (الشكل 6).

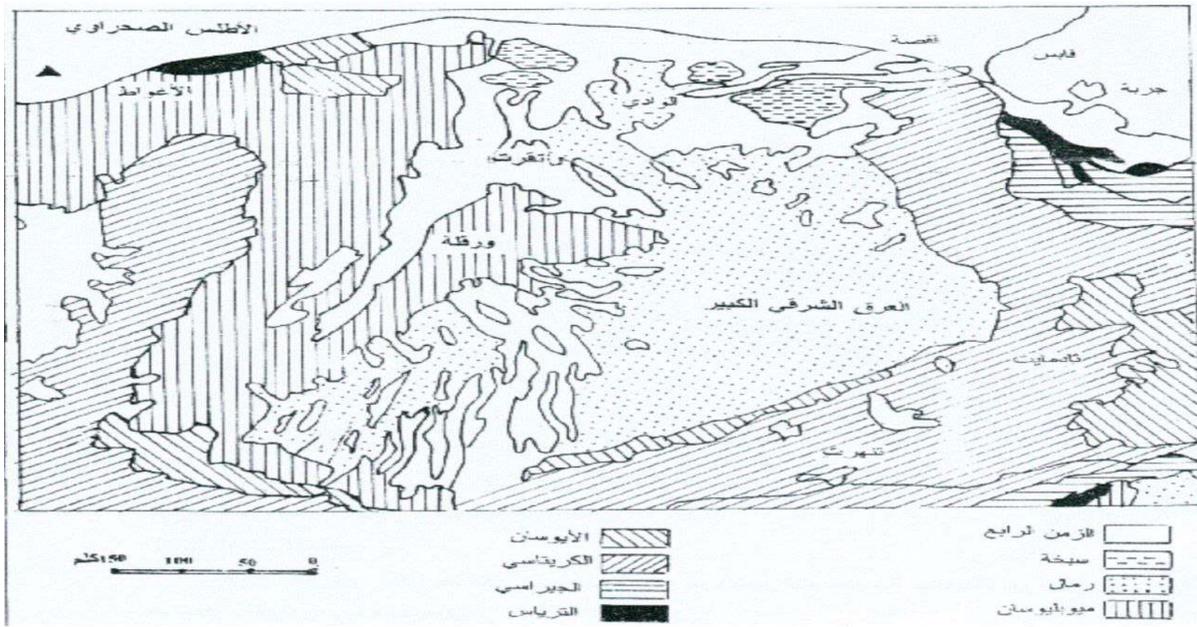


الشكل 7 : المخطط البياني الأمبروثيرمي لولاية ورقلة (2013-2023) (<https://fr.tutempo.net/climat/ws-605800.html>)

في منطقة ورقلة، تظهر فقط أراضي الميو-بليوسين (فترة الجديدة من العصر الثالث العلوي لحقبة الحياة الحديثة) (الشكل 9)، وهي مغطاة بطبقة رقيقة من الترسبات الرباعية (العرق والكثبان).



الشكل 9: خريطة جيولوجية لمنطقة الدراسة (الصحراء الشمالية)



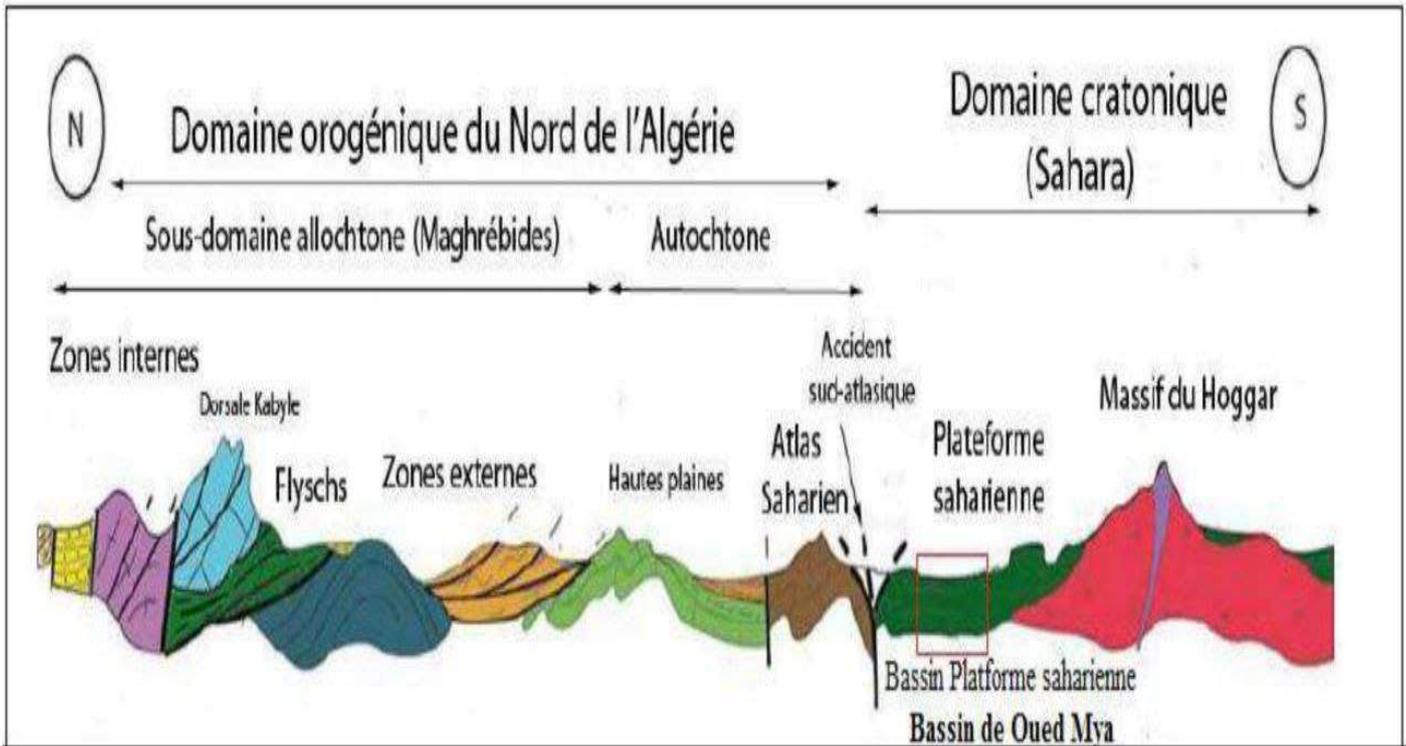
الشكل 10: الطبقات الجيولوجية بالصحراء المنخفضة (الوكالة الوطنية للموارد المائية)

(5) تاريخ دراسة الجيولوجية لمنطقة الصحراء

بدأت أول أعمال التعرف الجيولوجي في المنطقة في القرن التاسع عشر. وقد أدى ذلك إلى إعداد أول تخلص جيولوجي خلال رحلة جيولوجية نظمها أوسكار لينز في عام 1880، مع مسار يمتد من المغرب إلى مالي، عبر الصحراء الجزائرية. خلال هذه الرحلة، تم تحديد أولى بقايا الحياة القديمة من الديفوني والكربوني. تم إجراء أعمال تعرف جيولوجي أخرى في بداية القرن العشرين، بما في ذلك أعمال غوتيه في عام 1906؛ Meyendorf, 1938; Pouytto, 1952; Beuf et al, 1972; Fabre, 1978 كونراد كيليان، العقيد فلاترز، 1921؛ مينشيكوف 1924, 1930, 1949 (لاميني عبد الله، 2019).

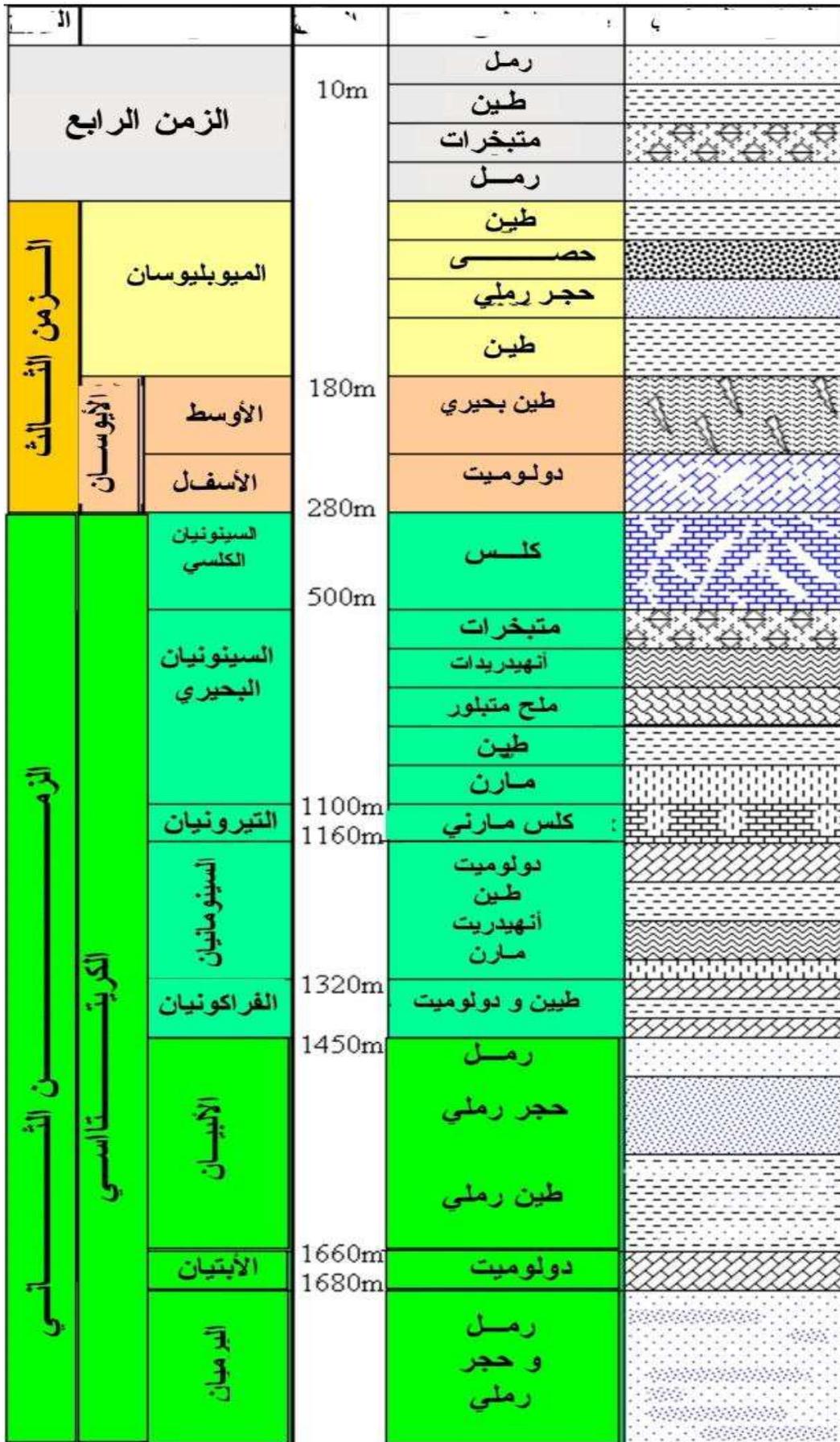
(6) علم الطبقات (التركيب الصخري) :

الصحراء هي قطعة ضخمة، أحياناً مكشوفة وأحياناً مغمورة، حيث تتواجد رواسب قارية وبحرية. في الجزء الشمالي من المنصة (وادي ميا)، تعرض السلسلة الرسوبية النموذجية التي يمكن أن يصل سمكها إلى 6000 متر، رواسب العصر القديم التي تم تأكلها غالباً حتى العصور الأوردوفيسية والعصر الكمبري .
بفضل التنقيبات المنجزة في المنطقة، نجد مختلف التكوينات الجيولوجية التي تتراوح من الزمن الثاني (العصر الميزوزوي "Le Mésozoïque") إلى الزمن الرابع (العصر الرباعي "Le Quaternaire").



الشكل 11 : مقطع شمال-جنوب يُظهر الوحدات الهيكلية الرئيسية للجزائر

_ الحقب الوسطى، الذي يعلو الحقب القديم بشكل غير متطابق، موجود من العصر الترياسي إلى العصر الطباشيري. الحقب الحديث ممثل بسلسلة رقيقة من الرواسب الحثاتية من العصر الميوسيني-البليوسيني. التكوينات الممثلة في منطقة الدراسة هي كما يلي:



خلال الشكل رقم 11 الذي يبين الوحدة الستراتغرافية لإقليم الدراسة ، يتبين لنا بوضوح مختلف التشكيلات الصخرية التي يمكن أيضا أن نستفيد منها في تحديد الطبقات التي يمكن أن تشكل طبقات مائية ، كما سيتم التفصيل في هذا في جزء هيدروجيولوجية المنطقة لاحقا ، و كذلك نلاحظ من خلال الشكل رقم 11 أن الطبقة الطينية القريبة من رمال السطح، والتي سبق و أن أشرنا بأنها تمنع تسرب المياه ، تعد شكلا من أشكال حساسية منطقة الدراسة ، وكذا الصخور الكربونية المتسمة بالملوحة ، و التي يعود تكوينها إلى الفترات المطيرة من الزمن الرابع ، و من أشكال الحساسية أيضا نوعية المياه المالحة التي تتسبب فيها أيضا نوعية الصخور ، و يتجلى لنا ذلك ، من خلال هذه الوحدة الستراتغرافية الصخور الكلسية و الدولوميتية التي تضيف على المياه خصائصها الهجومية للمياه ، و توافق أيضا هذه الصخور عدة ازمته جيولوجية .

الشكل 12 : الوحدة الستراتغرافية لإقليم الدراسة (المصدر: الوكالة الوطنية للموارد المائية)

6-1) الزمن الجيولوجي الرابع (Le Quaternaire) :

الزمن الجيولوجي الرابع، المعروف أيضًا بالعصر الرباعي (Le Quaternaire)، هو أحدث الفترات الزمنية في مقياس الزمن الجيولوجي، ويشمل آخر 2.58 مليون سنة من تاريخ الأرض. يتكون العصر الرباعي من عصرين رئيسيين:

6-1-1) العصر الحديث الأقرب البليستوسين (Le Pléistocène) :

- يمتد من حوالي 2.58 مليون سنة إلى حوالي 11,700 سنة مضت.
- يتميز بفترات متناوبة من التجلد والدفء، والمعروفة بالعصور الجليدية والفترات بين الجليدية.
- شهد ظهور وتطور الإنسان الحديث، بالإضافة إلى انقراض العديد من الثدييات الكبيرة مثل الماموث والصنجات.

6-1-2) العصر الحديث الهولوسين (L'Holocène) :

- بدأ منذ حوالي 11,700 سنة ويستمر حتى اليوم.
- يمثل فترة الدفء النسبي بعد آخر عصر جليدي.
- شهد تطور الحضارات البشرية وازدهارها، وتطور الزراعة والصناعة.

التكوينات الجيولوجية للعصر الرباعي:**1) الرواسب الجليدية:**

- تشمل المورينات، وهي الرواسب التي خلفتها الأنهار الجليدية المتراجعة.
- تنتشر في المناطق التي غطتها الأنهار الجليدية خلال العصور الجليدية.

2) الرواسب البحرية:

- تتشكل في البيئات الساحلية والبحرية نتيجة لتراكم الرواسب التي تنقلها الأنهار والمحيطات.

3) الرواسب النهرية:

- تتكون من الرمال والحصى والطمي التي ترسبها الأنهار على حوافها وفي أحواض الفيضانات.

4) الرواسب الريحية:

- تشمل الكثبان الرملية، وهي رواسب دقيقة الحبيبات تحملها الرياح وترسب في المناطق القاحلة وشبه القاحلة.

5) الرواسب البركانية:

- تشمل الريوليت والبازلت وغيرها من المواد البركانية التي ترسب نتيجة للأنشطة البركانية خلال العصر الرباعي.

6) التكوينات الكارستية:

- تتشكل في المناطق الجيرية نتيجة لعمليات التجوية الكيميائية التي تؤدي إلى تكوين الكهوف والأحواض الكارستية.
- العصر الرباعي مهم للغاية لفهم تاريخ الأرض الحديث وتطور البيئة والمناخ والبشرية.

6-2) الزمن الجيولوجي الثالث :

إن حقبة الحياة الحديثة متناظرة وغير مكتملة. وهي مكونة من الحجر الجيري الدولوميت من العصر الأيوسيني من الغطاء الرملي من العصر الميو-بليوسين، وذات سمك صغير نسبياً.

6-1-2) الايوسين (L'eocene) :

يتكون من الرمل والطين الكاريوناتي في جزءه الأسفل، بينما في الأعلى نجد الطين البحري، كما نجد في بعض الأحيان تكوينات من الجبس والحصى، وهي طبقة غير نفوذة يتراوح سمكها بين 150 و 200 م.

6-2-2) الميوبليوسان (Le Miopliocène) :

هي نتيجة لتفكيك النقوش الحدودية الناتجة عن جبال الألب، خلال فترة غمرت فيها الصحراء بالكامل، تكوينات هذه الفترة (الميوبليوسين)، والتي توجد في بعض المناطق على الطباق الكريتاسي السفلي، أو التاورينان، أو فوق السينومانان، وفي بعض المناطق الأخرى نجدها فوق طبقة المركب النهائي للتكوين الحجري الكلسي. تتميز بعدة مستويات، وهي: مستوى الطين، ومستوى الصخور الرملية، ومستوى الرمل، ومستوى الطين الجبسي، ومستوى الرمل. ومن خلال الملاحظات المستمرة، التي تتابعها الوكالة الوطنية للموارد المائية (ANRH)، فإن المستويات الرابعة والأولى تشكل سرير الرمال للتكوين الحجري الكلسي النهائي. يجب أن يلاحظ أن هذه المستويات تختلف في السمك، فعلى سبيل المثال، فإن مستوى الصخور الرملية أكبر من مستوى الطين الدقيق.

6-3) الزمن الجيولوجي الثاني :

لميزوزويك تقع بتقارب زاوي (التشوه الهرسيني) على رواسب العصر الباليوزويك. تعود هذه الرواسب إلى أصول كسرية ولاجونية. تمتد هذه الرواسب على سماكة إجمالية تتراوح بين 2300 متر إلى 3500 متر. تحتوي هذه التكوينات على احتياطيات غنية من المياه والغاز. انطلقا دائما من أعمال التنقيب والحفر، نتعرف على مختلف العصور، وتكويناتها في المنطقة وهي عموما تكوينات الكريتاسي السفلي :

6-1-3) البرميان (Le Permien) :

يتميز هذا الطبقة بسمكه الكبير الذي يتراوح بين 200 و 230 مترًا، حيث يتكون من تناوب طبقات محددة، بما في ذلك طبقات من الحجر الرملي والطيني، ويفصل بينهما الكلس الدولوميتي أو الرمل السيليسي.

2-3-6 (L'Aptien) الابتيان :

لا يتعدى سمكه الـ 30م يتشكل من تكوينات دلوميكية مارنية .

3-3-6 (L'Albien) الابيان :

تألف الألبيان من ترسبات رملية قارية سميكة بحوالي 400 متر في وادي ميا. تتضمن هذه الترسبات رملاً ناعماً وطينياً مع بعض الأحجار الجيرية المتداخلة، بالإضافة إلى طبقات من الرمال الخشنة والطين الطمي والرمل الطينية ذات اللون البني الأحمر. ويُعتبر الألبيان طبقة مائية جوفية للقارة الوسطية، تنتهي هذه الطبقة عند سقف طبقة الابتيان ، بينما النهاية العليا نجدها تتكون من طبقات كتيمة ، وهي بالخصوص الطين الكلسي.

4-3-6 (Le Vraconien) الفراكونيان :

وهي طبقة كتيمة تتشكل من الطين الرملي والحجر الرملي الكلسي في أحيان نادرة ، وعموما هي منطقة إنتفالية بين الألبيان الرملي و السينويمانين الطين، يتراوح سماكتها بين 70 متر إلى 100 متر في شمال الصحراء الكبرى الشرقية، وهو الطبقة الأخيرة في العصر الطباشيري السفلي.

5-3-6 (Le Senonian) السينونيان:

ونميز نوعين من السينونيان :

1-5-3-6 (Le Senonian) السينونيان البحيري:

سمكه في حدود الـ 150م ، يتكون في الأساس من الكلس الدلومي والطين.

2-5-3-6 (Le Senonian) السينونيان كلسي :

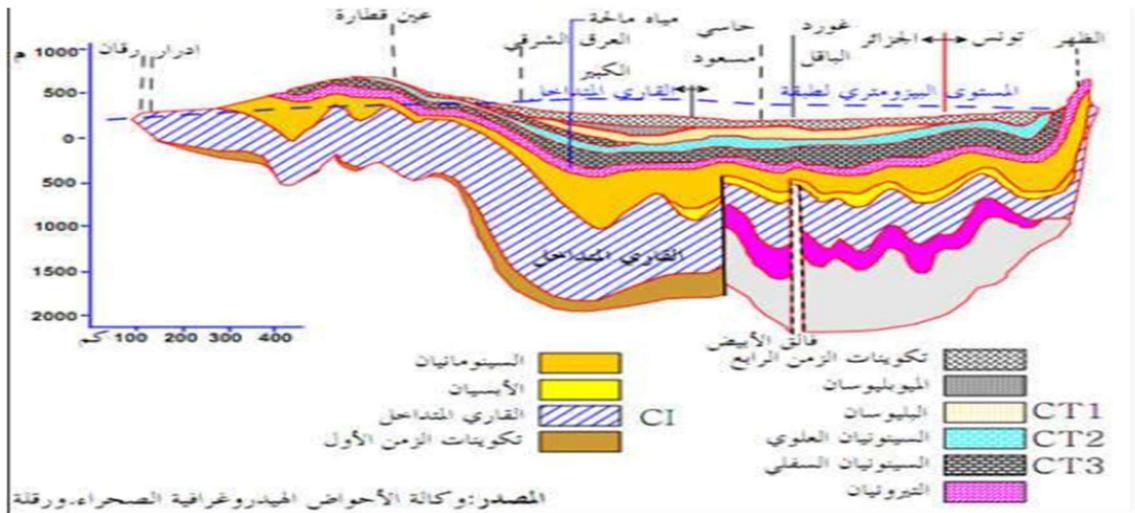
سمك هذه الطبقة في حدود الـ 300م ، يتكون من تشكيلات من الدولوميت الممزوج بالمارن الطيني ، مع غالبية من الكلس المتشقق والدولوميت المتحول .

6-3-6 (Le Cenomanien) السينومانيان (Le Cénomanien) :

السينومانيان يتكون من سلسلة من الطين البحيري. الطين السينومانيان الأخضر غني بطبقات الجبس (المتبخرات) ويبدو أن سمكه يتراوح حوالي 150 متر. يمثل في القاعدة بطين الجبس والمرل الرمادي، ومع الحجر الجيري الدولوميتي، وفي الأعلى بتناوب الطين المالح مع طبقات مترية من الأنهدريت والمرل الرمادي الدولوميتي.

7-3-6 (Le Turonien) الطورونيان (Le Turonien) :

الطورونيان يُعد أحد أكثر التكوينات الرسوبية تميزاً في الحوض الشرقي للصحراء الجزائرية، مما يجعله مستوى مرجعي ممتاز. يبلغ سمكه حوالي 70 متراً في منطقة الدراسة، ويتكون من حجر جيري طباشيري أبيض إلى رمادي يحتوي على حفريات دقيقة (مثل الجلوجيرين، الفوزولين، والأوستراكويد)، بالإضافة إلى حجر جيري دولوميتي ناعم مع طبقات طينية نادرة ودولوميت بلوري مثقوب.

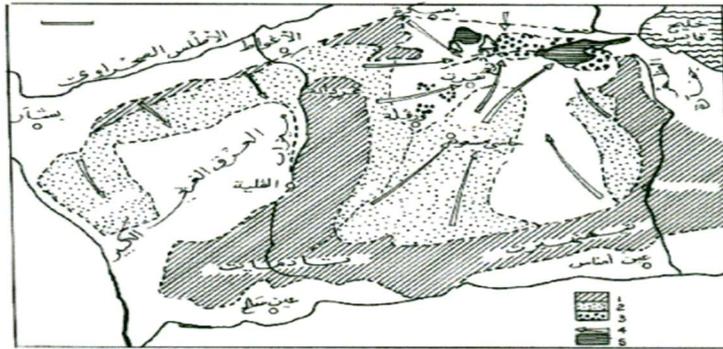


الشكل 13 : مقطع جيولوجي للصحراء

الشكل 13 , يقدم تصوّرًا لهيدروجيولوجيا المنطقة. تشير خلاصة الدراسة الجيولوجية والهيدرومورفولوجية إلى أن المنطقة قد شهدت فترات تعرية وترسيب، بالإضافة إلى فترات مطرية وفترات تجاوز وانسحاب خلال هذه الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة، حيث تشكلت أحواض وأسماطة مائية في الصحراء المنخفضة. حيث تعتمد منطقة الصحراء المنخفضة بشكل كامل على المياه الجوفية لتلبية احتياجاتها.

(2-2-7) لطبقة المائية المركب النهائي (Complexe Terminal) :

يغطي هذا النظام مساحة شاسعة أيضا تقدر بحوالي 350,000 كلم²، ويتميز هذا النظام بثلاث طبقات مجزئية وهي : طبقة السينونيان ، وطبقة الميولبوسان ، وطبقة الفريتيك . وكذا السماط السطحي عموما يتشكل نظام الطبقة المائية المركب النهائي من ثلاثة طبقات رئيسية وهي :



1- مستوى الكهاسم الأغلن والأيومسات
2- الكهاسم الأغلن والميولبوسان تحت الغران الغوية.
3- حطوط ترشع عشوية
4- حطوط تقسيم المياه الجوفية.
5- حطوط
المصدر : اليونسكو 1972

الشكل 15 : نمط الطبقات المائية المتعددة الطبقات في الصحراء الشمالية

(1-2-2-7) الطبقة الجوفية الميولبوسين (Nappe Mio-Pliocène) :

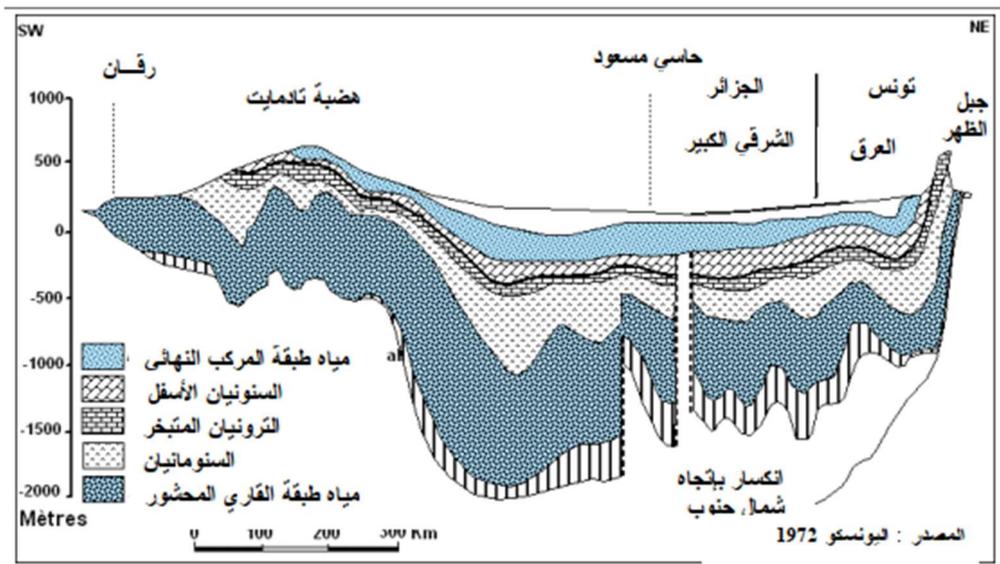
استغلال الطبقة المائية الميوسينية-البليوسينية قديم للغاية، حيث توجد هذه الطبقة على عمق يتراوح بين 60 إلى 200 متر. تكون هذه الطبقة على عمق 130 متر في منطقة سفيون، حيث لا تزال تتدفق ذاتيًا. تبلغ نسبة الملح فيها حوالي 2 إلى 3 جرام/لتر. تُستخدم هذه الطبقة حاليًا لتزويد مدينة ورقلة بالمياه الصالحة للشرب من خلال 23 بئرًا مجهزة بمضخات (بوتلي محمد هشام، 2012).

(2-2-2-7) الطبقة الجوفية السينونيان (Nappe du sénonien) :

تم استغلال الطبقة المائية الأرتيزية للسينوني في الحجر الجيري على أعماق تتراوح بين 140 و200 متر. تُستغل هذه الطبقة في بئر حاسي خفيف، الواقعة شمال شرق سبخة سفيون، على عمق 400 متر. تتراوح نسبة الرواسب الجافة فيها بين 2.5 و3.6 جرام/لتر. في المجمل، يتم استغلال 274 بئرًا، معظمها يستخرج المياه من المجمع النهائي، لتوفير إنتاج سنوي يبلغ 50 مليون متر مكعب من المياه للاستخدامات المنزلية والزراعية. (بوتلي محمد هشام، 2012)

(3-2-2-7) الطبقة الجوفية السطحية (phréatique) :

وجد الطبقة المائية الجوفية في تكوينات الرباعي المسامية التي تحتوي على الرمال والجبس. وهي متواجدة في جميع أنحاء المنطقة على أعماق قريبة جدًا من سطح الأرض. وغالبًا ما تظهر حافتها الشعرية على سطح الأرض في شكل شطوط صغيرة توجد من جانب وآخر من مدينة ورقلة. تحافظ مياه الصرف الحضري والزراعي (الواحات) على مستويات بيضومترية مرتفعة جدًا مقارنة بتضاريس المنطقة (ارتفاع مستوى الطبقة المائية)، مما يؤدي إلى تقويض استقرار البنية العمرانية وعرقلة التطور الزراعي في المنطقة.



الشكل 16 : مقطع هيدروجيولوجي في الصحراء الشرقية

(8) الخصائص الجيومورفولوجية :

جيومورفولوجيا منطقة ورقلة تتميز بالمناظر الطبيعية التالية :

(1-8) الرق :

السفوح الغربية للحوض، تتدرج من الأقدم إلى الأحدث، من الغرب إلى الشرق على أربعة مستويات تتراوح بين 200 و 140 مترًا من الارتفاع. يتميز السفوح الموجودة عند 180 و 160 مترًا بظهور الصخور الرملية الأصلية للميو-بليوسين. إلى الشرق من الحوض، توجد سهول رسوبية واسعة تحتوي على رمال خشنة تقع عند ارتفاع 150 مترًا..

(2-8) الحمادة :

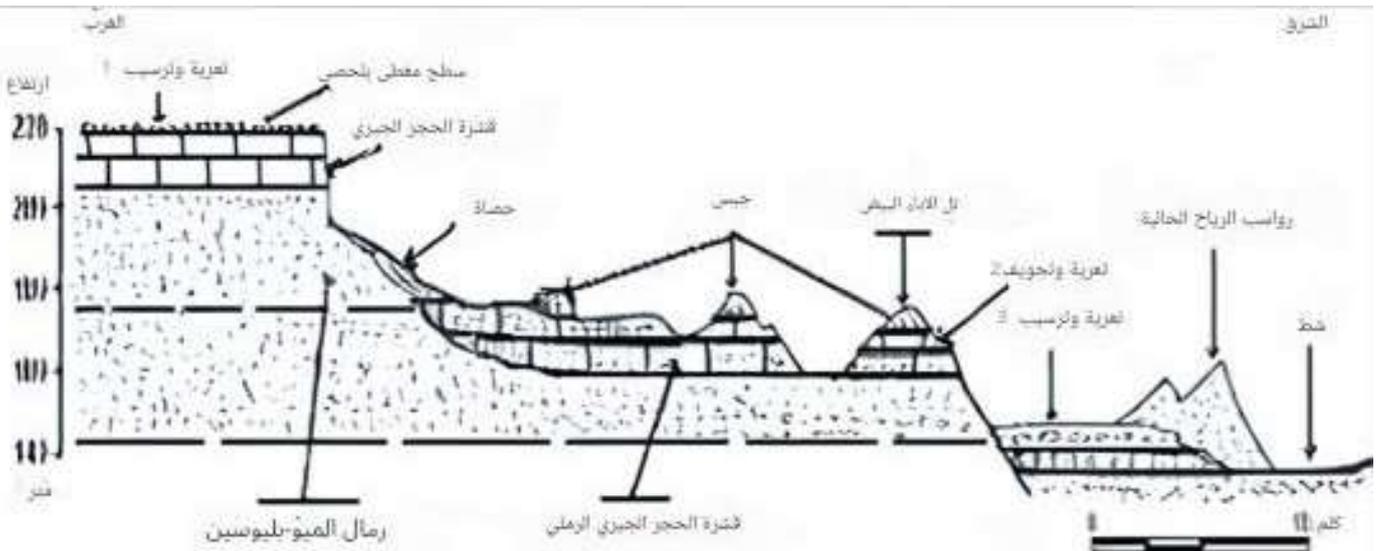
الحمادات هي هضبات صخرية أفقية ومسطحة تحاط بالمنحدرات. يمكن أحيانًا تسمية الحمادات , على الرغم من أن هذا المصطلح ينطبق بشكل أكبر على السهول الصحراوية في الصحارى بدلاً من الهضاب الصخرية. تغطي حمادا بطبقة من الرق الإيلوفيا، وهي تكوينات صخرية متفككة تشمل حصى ناتجة عن تفكك ميكانيكي للصخور. تعود هذه الحمادات إلى العصور الميو-بليو-رباعية، حيث تشكل هضبة تتوسطها ألواح صخرية كبيرة، وترتفع بمتوسط يبلغ 200 متر.

(2-8) الرمال :

تنتشر هذه الرمال على سطح المنطقة بأكملها على شكل غطاءات رملية أو تجمعات صغيرة من الرمال المحبوسة في كتل صغيرة من النباتات، خصوصاً في القطاع الشمالي الغربي وحوله. العوامل الرئيسية للتعرية التي أثرت وما زالت تؤثر، حتى وإن كان بدرجة أقل، في تطور المنطقة هي الجريان السطحي بكتلتا صورته المركزة والمبعثرة من جهة، وعملية الرياح التي تلعب دوراً رئيسياً خاصة في العصر الحالي. هاتان العمليتان المتكاملتان مسؤولتان عن إزالة المواد الحثائية ونقلها وتراكمها التي تُنتزع من الصخرة الأم. وتزداد تأثيرات هذين العاملين على التعرية بفعل الطبيعة الصخرية للطبقة التحتية التي تحتوي على مواد قابلة للتآكل، وهي عادةً من الحجر الرملي؛ والمناخ، الذي يتميز بندرة الأمطار وسوء توزيعها؛ أو بفعل غياب الغطاء النباتي الواقي (عبد الله لامي، 2012).

(4-8) السبخة :

الشط (السبخة) يشير إلى حوض يحتل قاع منخفض ذي قاع مسطح، وعادة ما يكون عرضة للفيضانات، حيث تحد التربة المالحة من نمو النبات (بلخيرة، 2008). وهو بشكل النقطة الأكثر انخفاضاً ويتكون من رمال سيليسية أو جبسية مع قشرة جبسية على السطح وتحت السطح (بلخيرة، 2008). يتميز هذا المنخفض بوجود طبقة مياه جوفية دائمة ضحلة جداً يتراوح عمقها بين 1 إلى 5 أمتار. في اتجاه مجرى ورقلة، تتناوب السبخات المختلفة مع الكثبان الرملية حتى سبخة سفيون التي تقع على ارتفاع 103 متر فوق سطح البحر، وهي النقطة الأكثر انخفاضاً في المنطقة.



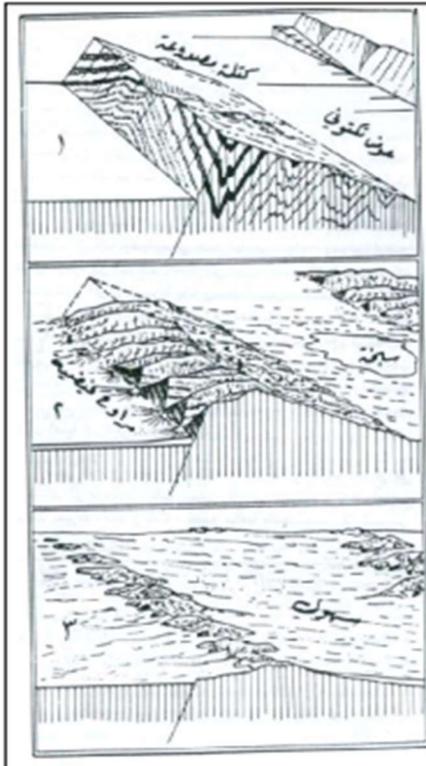
الشكل 17: مقطع جيومورفولوجي تخطيطي لوادي ورقلة

(9) نظرة تكتونية عامة :

حوض صحراء الشمال الصحراوي نسبياً مستقر. كانت المنصة الصحراوية مقرراً للحركات الجبلية الفوقية خلال العصر الثانوي والعصر الثالث، حيث كانت في بعض الأحيان تظهر على سطح الأرض، وفي أحيان أخرى تكون غارقة، مما يسهم في ترسيب المواد القارية والمواد النيريتية على المنصة. ومع ذلك، كانت الحركات الجبلية تؤثر في الأخاديد الأطلسية والتلية، مكونة سلاسل جبلية حقيقية. انهيار الجزء المركزي من الحوض على طول محور شمال - جنوب أو شمال شرق - جنوب غرب الذي يمتد تقريباً على طول وادي واد ميا و واد ريغ ، كان يميز العصر السينوماني، وكانت الحركات الجبلية الألبية في العصر الإيوسيني المتوسط والعصر الإيوسيني العلوي مسؤولة عن إغلاق الأخدود الأطلسي، وأدت إلى تشكيل سلسلة جبلية داخل الكراتون في جبال الأطلس الصحراوي. تتميز تأثيرات هذه الحركات بارتفاع عام يمكن أن يفسر غياب العصر الأوليوسيني في جميع أنحاء الصحراء، تليه حركة هبوط منذ العصر الميوسيني وتستمر حتى الوقت الحالي. تمثل التموجات الشمالية الجنوبية الكبيرة بعرض يتراوح بين 50 و 100 متر) ظهرة (واد ميزاب) ، والتي تمتد من الأخاديد الكبيرة الجنوبية لجبال الهقار والتي ستكون مسؤولة عن الانكسار (فابر، 1976). التكتونيات الحالية، على الرغم من وجودها، لا تلعب دوراً كبيراً في طبيعة الترسيبات على عكس ما نراه في المناطق الأطلسية وخاصة على شواطئ البحر الأبيض المتوسط. وعلى الجانب الآخر، يبدو أنها مسؤولة عن إنشاء بعض الحفر والبحيرات وطريقة تغذيتها. ارتفاع الكتلة المركزية الصحراوية الوسطى في العصر البليو-الرباعي يبلغ حوالي 500 متر على مدى 5 ملايين سنة، ومسافة 4 أمتار فقط منذ وصول العصر البليستوسيني العلوي .

(10) سبخة سفيون :**(1-10) نشأة سبخة سفيون :**

ارتبط مفهوم الصحراء المنخفضة كما هو واضح اسمها ، بالانخفاض ، ويتجلى ذلك في وقوعها جغرافياً ما بين سلسلة جبال الأطلس الصحراوي شمالاً وجبال الظهر التونسية شرقاً وجبال الطاسيلي وهضبة تيهينهرت وهضبة تادمايت جنوباً ومرتفعات ميزاب غرباً ، وهذا ما توضحه كما يوجد بها أخفض نقطة بالجزائر بشط مروان ، أين يصل أقصى انخفاض لها إلى 40م تحت سطح البحر ، والجدير بالذكر أن هذا المنخفض ، ارتبط تكتونياً بحركة رفع جبال الأوراس ، والتي نتج عنها انخفاض في الجهة المقابلة ، فكانت الشطوط والسبخات ، كان ذلك في نهاية الزمن الجيولوجي الثالث ، وتحتوي هذه المنطقة فز يائياً ، كل من منطقة الزاب ببسكرة وسوف بالوادي ، وريغ بتقوت وواد ميا بورقلة ... الخ و الثابت الآن أن كل منخفض يرتبط بتنوع أصوله و شكله ، بحيث نميز المنخفضات حسب أصولها ، فنجد المنخفضات تكتونية المنشأ ، و التي بدورها تنقسم إلى منخفضات صدعية و أخرى بنيوية ، و ثانياً منخفضات النحت ، و المتعلقة بالإذابة و الترسيب ، وثالثاً المنخفضات الليتولوجية ، وعموماً فإن منطقة دراستنا تتعلق منشأها بالتكتونيك ، حسب فرضية قوية ، بالنظر الى الحوادث التكتونية التي حدثت بالسلسلة الأطلسية ، في نهاية الزمن الجيولوجي الثالث ، انظر (الشكل رقم 16) الذي يعطي صورة عن كيفية نشأت هذا المنخفض ، و ان كنت أعتقد أن لعامل النحت أيضاً.

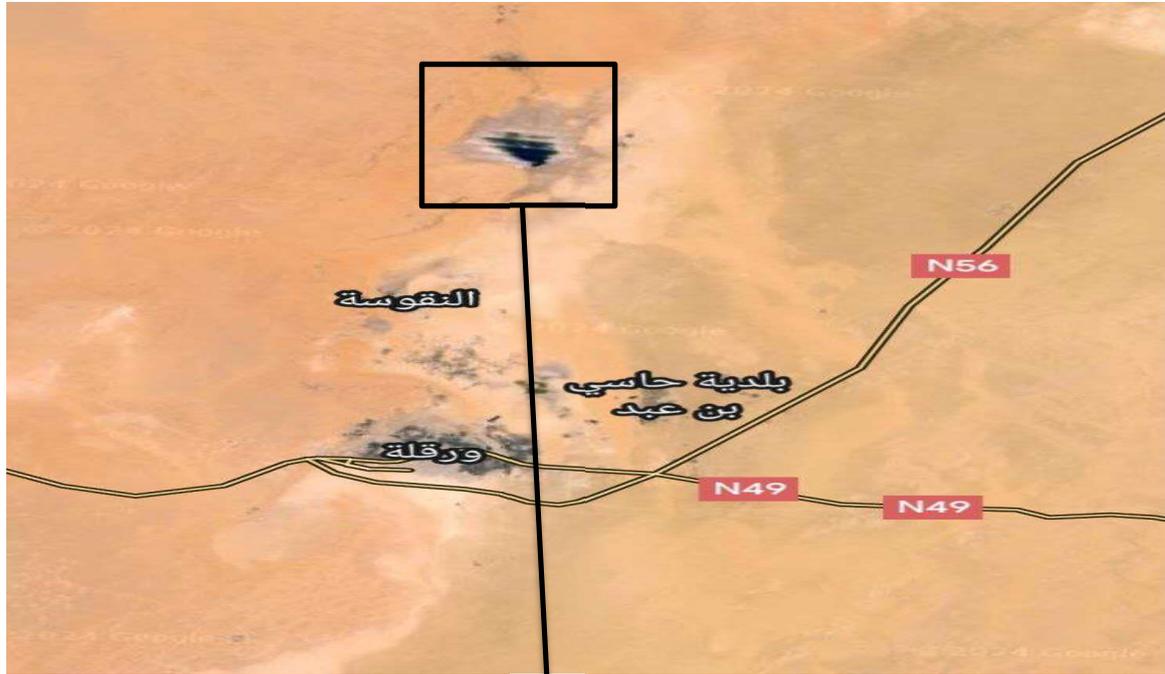


دوره الفعال في إذابة الصخور الجيرية و الجبسية ، و رغم من و مقاومة هذه الصخور لعوا التجوية ، في ، ظروف المناخ الحالية ، إلا أن ظروف الأحقاب الممطرة من عصر البلايستوسين ، أذابت هذه الصخور ، و دليل ذلك المتبخرات والرواسب الجبسية والملحية الغالبة في أرض نطاق الدراسة ، و باعتبار ان سبخة سفيون احد المنخفضات لمنطقة بورقلة فيعتبر حوض يصب فيه ثلاثة وديان (واد ميا و واد نساء و واد ميزاب) ، هذه العوامل المذكورة سالفاً شكلنا سبخة سفيون ، مع انخفاض تدفق الوديان و زيادة مشكل صعود المياه في حوض ورقلة اتخذ قرار للقضاء على هذا مشكل وهو اتخاذ من سبخة سفيون كمصب لمياه الصرف بعتباره اخفض منطقة في الولاية بمقدار (103 متر) فشكل لنا المنطقة الرطبة التي على ما هي الان .

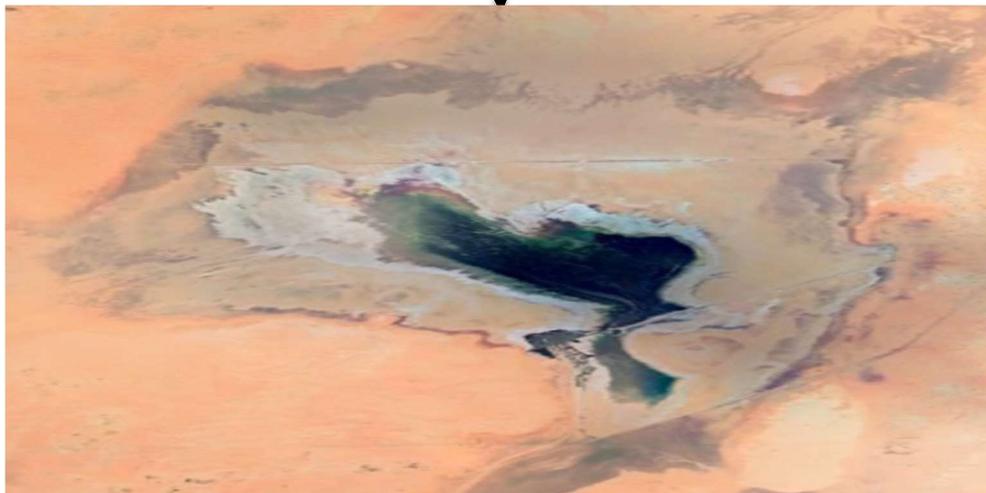
الشكل 18 : مراحل تطور المنخفضات التكتونية

(2-10) الموقع وإحداثيات الجغرافي لسبخة سفيون :

تقع سبخة سفيون شمال مدينة ورقلة على بعد نحو 40 كلم احداثياتها جغرافية كتالي (دائرة العرض : " 32°19'05.40 شمالا خط الطول : " 05°22 '38.82 شرقا), تغطي سبخة سفيون مساحة تقارب 8.000 هكتار (على شكل صدفه محار) منها 2.500 هكتارا غمرتها المياه المستعملة التي يتم ضخها في إطار مشروع التطهير باعتبارها اخفض نقطة على مستوى الولاية ب 103 متر فوق سطح البحر .



الشكل 20: صورة مأخوذة بالقمر الاصطناعي لولاية ورقلة



الشكل 19 : صورة بلقمر الاصطناعي لسبخة سفيون



الشكل 21 : بعض الصور الملتقطة لسبخة سفيون

10-3) الإطار الجيومورفولوجي في منطقة سبخة سفيون :

لمنظر الطبيعي في منطقة الواحات، وبالتحديد منطقة سبخة سفيون (الشكل 20)، يتميز بتكرار الهضاب والوديان الرملية بشكل رتيب، مع اختلافات في الارتفاع لا تتجاوز 160 مترًا (حيث تتراوح الارتفاعات بين 50 و 90 متر على الهضاب، وبين 100 و 120 متر في الوديان). يبدو أن هذا التشكيل الطبوغرافي ناتج بشكل كبير عن الفترات المتعاقبة من الجفاف والرطوبة خلال العصر الرباعي.

في منطقتنا قيد الدراسة، التي تُعرف بشكل كبير بالبنى الطبقيّة المشيدة على طبقات أفقية، نلاحظ هضاب متدرجة محاطة بمنحدرات حادة (انظر الشكل 4.22). كما هو الحال مع المستويات الجبسية التي تبدو وكأنها تستبدل على حافة الأحواض في سبخة سفيون. لا يمكن ملاحظة هذه الظاهرة إلا في الواجهات البحرية المالحة في وسط الأحواض الصحراوية .



الشكل 22 : التمثيل المورفولوجي للتوّهات في حوض انقوسة

(4-10) التنوع البيولوجي في سبخة سفيون :

الموقع الذي عرف تشكل مناخ رطب مصغر في استقطاب ثروة من الطيور البرية - وفق إحصاء أجري في 18 يناير 2011 - تضم عددا من أصناف الطيور المهاجرة مثل الغواص الوردي و البلشون الأبيض و اللقلق الأبيض و مالك الحزين الرمادي و الزقزاق الصغير. و تضم هذه المناطق الرطبة ثروة هامة من الطيور و النباتات منها ما يقارب 20 نوعا من الطيور المهاجرة مثل طير الغواص الوردي و مالك الحزين الرمادي و البط البري و البلشون الأبيض و البط البري الرخامي و العصفور الغطاس, من بين النباتات التي تنمو بصورة طبيعية بهذه المناطق الرطبة هناك نباتات القصبية و العقة و القرنة و حنة الإبل و الرتم و الزيتون.



بلشمون الرمادي



نحام الوردي



بلشون ابيض كبير



ابو منجل لماع



شهران



ابو مجرفة شمالي



بلبول الشمالي



البط البري



البلشمون الابيض الصغير



طائر اللقلق الابيض



كرسوع أسود الجناحين

الشكل 23 : صور لبعض الأنواع الطيور المائية لولاية ورقلة (مصدر : محافظة الغابات ورقلة)

10-5) الاضرار البيئية الناجمة عن تحويل سبخة سفيون الى مصب لمياه الصرف الصحي :

- تحويل سبخة سفيون إلى مصب لمياه الصرف الصحي إلى تداعيات بيئية خطيرة على البيئة المحيطة وعلى الصحة العامة للمنطقة (الشكل 22).
- ففي سنوات الأخير شاهدنا تفاقم المخاطر الناجمة عن ذلك ومن بينها التالي :
- تسرب المياه وخروجها عن النطاق المفترض ان تكون محصورة فيه (شكل)
 - معاناة سكان مناطق قريب من الروائح الكريهة التي تزداد وبشدة عند هبوب الرياح .
 - تشكل مستنقعات الطحلة التي تعتبر بيئة مثالية لظهور بعض امراض و الفيروسات الخطيرة .
 - تفاقم ازمة حشرات الضارة وخاصة البعوض الذي انتشر بشكل رهيب خاصة في مناطق قريبة التي عانة بشدة كونه هذا أخير احد مصادر نقل الامراض و الفيروسات .
 - نفوق الحيوانات جراء سقوطها في مياه خاصة الجمال.
 - اختفاء غطاء نباتي .



اختفاء الغطاء النباتي



مستنقعات المنشاء الممثالي للابونة

تسرب المياه خارج نطاق
مفترض

اختفاء غطاء نباتي

الشكل 24: بعض الاضرار التدايعيات البيئية و الاضرار الناجمة عن تحويل سبخة سفيون الى مصب لمياه الصرف

**الفصل الثاني :
المنهجية والوسائل
المستخدمة**

1 (المقدمة :

يعد أخذ العينات خطوة أساسية في الدراسات الهيدروجيولوجية. تتحدد خصائص المنهجية المستخدمة بناءً على أهداف الدراسة. قبل عرض نتائج القياسات والتحليلات الفيزيائية والكيميائية للمياه التي تم الحصول عليها في منطقة دراستنا، نرى من المفيد تقديم ظروف وأسلوب أخذ العينات، بالإضافة إلى تقنيات القياس والتحليل لعيناتنا. كما ينبغي تقديم الأدوات الحاسوبية (البرمجيات) المستخدمة في معالجة نتائجنا بشكل موجز. في هذا الفصل، نناقش أولاً الجوانب الفنية المختلفة لحملة أخذ العينات المنفذة لهذا المشروع. في وقت لاحق، المعلمات يتم تقديم القياس في الميدان وتحليلها في المختبر.

2 (حملة أخذ العينات :

علق الخصائص الجيولوجية الموصوفة بمحطات أخذ العينات، وتم تحديد خصائص تقنية للسماح بجمع العينات بما يتوافق مع أهدافنا. كان من الضروري تحديد معايير لأخذ العينات تسمح بتقييم التغيرات الهيدروجيولوجية الزمانية والمكانية، واختيار المعدات الميدانية المناسبة لمختلف الحالات، وتحديد مراحل تكييف العينات لضمان تحسين جودة وموثوقية نتائج التحليل.

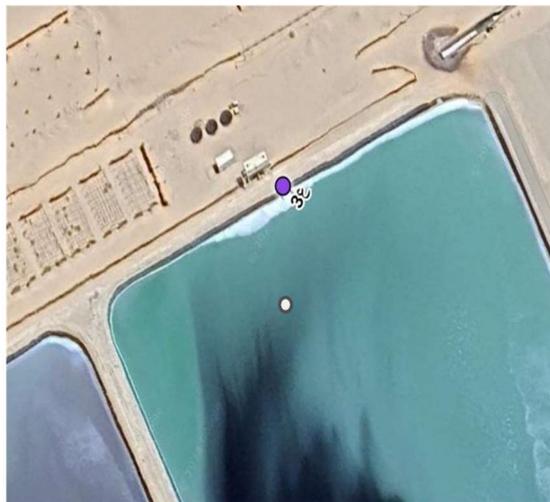
3 (بروتوكول أخذ عينات المحاليل :

في البيئة الصحراوية في واحات جنوب الجزائر، تعتبر المياه الجوفية المصدر الوحيد لتلبية احتياجات الري والاستخدامات المنزلية المختلفة. هذه المياه تكون محملة بالأملاح، ويعتمد مستقبل البيئة الواحات بشكل كبير على الإدارة الجيدة للمياه التي تعتبر مواردها غير متجددة إلى حد كبير [48]. لدراسة في هذه المنطقة من جنوب الجزائر، منطقة الواحات .

تم اخذ العينات من اربع مناطق مختلفة (الشكل 1 و الشكل 2) وتقسيمها على اربع مراحل بين كل مرحلة ومرحلة فترة زمنية من أسبوع الى ثلاث أسابيع , 3 عينات في محيط دراسة و واحدة في محطة تصفية بسعيد عتبه (عينة 1: من مصب بسخة سفيون , عينة 2 : بركة صغيرة من ماء بموقع دراسة, عينة 3 : محطة تصفية بسعيد عتبه , عينة 4 : بيزومتر في منطقة الدراس) استمرت عملية أخذ العينات 25 مارس 2024 الى 21 ماي 2024 في فترة زمنية (7:30 - 9:36 ص), تُقاس المتغيرات الروتينية عادةً بين الساعة 10:00 صباحًا الى الساعة 3:40 ظهرًا في مخبر جيولوجيا الصحراء بجامعة قسدي مبراح ورقلة .



2: مواقع اخذ العينات في منطقة الدراسة



1: موقع اخذ العينة بمحطة تصفية سعيد عتبه

الشكل 25 مواقع اخذ العينات

أجريت دراسة التركيب الكيميائي لمياه السبخة على عينات مأخوذة من المواقع المذكورة سلفاً . لمتابعة كيمياء المياه بشكل جيد في المنطقة الرطبة (السبخة)، تم جمع مياه العينات في قوارير مُعلّمة ومحفوظة بشكل جيد , تم أخذ عينات من المياه قياس درجة الحموضة (pH) والناقلية الكهربائية وإجراء التحليل الكيميائي في المختبر. أجريت التحاليل في مختبر جيولوجيا الصحراء بجامعة قاصدي مرباح ورقلة ، واشتملت هذه التحاليل على العناصر الرئيسية التالية: $(Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-)$.

(1-3) تغليف العينات في الحال :

بالنسبة لعينة من مياه السطح أو المياه تحت السطح، يجب أخذ حجم معين من الماء. في بعض الأحيان، يجب ترشيح هذا الماء، ويجب دائماً حفظه بشكل مناسب.

(1-1-3) الترشيح :

يسمح الترشيح بإزالة الجسيمات الصلبة العالقة في الماء والحصول على سائل متجانس، كما هو موضح في الشكل 25 . الهدف من هذا المرشح هو إزالة معظم البكتيريا والجسيمات الطينية. السائل الناتج بعد عملية الترشيح، والمعروف بالراشح، يكون صافياً وخالياً من الجسيمات الصلبة، مما يجعل نتائج التحليل أكثر دقة وموثوقة.



الشكل 26 : مبدأ الترشيح

(4) تقنيات قياس وتحليل المحاليل:

(1-4) قياس نسبة الحموضة (pH) و الناقلية الكهربائية (conductivité) :

قياس نسبة الـ pH، والتوصيل الكهربائي بوحدة ملي سيمنز/سم (م/س م). يتم إجراء هذه القياسات باستخدام جهاز متعدد المعايير يحتوي على مجس إلكتروني. تُعد الأجهزة متعددة المعايير أدوات تمكن من قياس مختلف المعايير الكيميائية مثل قياس الـ pH أو التوصيلية. يقوم الجهاز بتغيير وضعه بناءً على المجس المتصل به. يُعد الجهاز مدمجاً ومحمولاً، مما يتيح إجراء قياسات سريعة وموثوقة في المختبر وفي الخارج. تم استخدام جهازين متعدد المعايير هما ("multi"HQ40d" و جهاز ("Milwaukee "Mi 170 Bench Meter").



Milwaukee "Mi 170
Bench Meter"



multi"HQ40d"

الشكل 27 : أجهزة المستخدمة في قياس نسبة الحموضة (pH) و الناقلية الكهربائية (conductivité)

(2-4) الفحص الوزني لأيونات الكبريتات (SO₄²⁻):

لجاذبية بالتساقط هي طريقة تحليل كمي تتيح فصل الأيونات من محلول باستخدام تفاعل التساقط , في كؤوس سعة 250 مل، يتم أخذ 10 مل من العينة، ويضاف 0.5 مل من حمض الهيدروكلوريك "HCl" ذو تركيز 0.5%، ثم يضاف 200 مل من الماء المقطر . توضع الكؤوس على سخان ومحرك مغناطيسي (شكل 3-6) على درجة حرارة 40 ° لمدة 20 دقيقة، بعد ذلك يضاف 40 مل من محلول كلوريد الباريوم "BaCl₂" ذو تركيز 0.05%، وتُغطى الكؤوس بورق الألومنيوم وتُوضع على السخان المغناطيسي على درجة حرارة 40 ° لمدة ساعتين حتى تغلي (شكل 3-7) و بعدها نترك عينة حتى تبرد ويترسب محتواها , نحظر أوراق الترشيح التي ستستخدم في ترشيح ويتم قياس وزنها (شكل 3-8) , الناتج المترسب يتم فصله بعد ذلك عن المكونات السائلة الأخرى بعملية الترشيح باستخدام جهاز الترشيح تحت التفريغ كما هو موضح في الشكل (3-9) بعد إنتها من عملية الأخير توضع أوراق ترشيح في فرن على درجة حرارة 106 ° لمدة 4 ساعات لتجف و ضمان زوال رطوبة منها تماما. التقدير الوزني لأيونات الكبريتات (SO₄²⁻) يتم بعد التحميص والتسخين وإضافة فائض من محلول كلوريد الباريوم (BaCl₂) وفقاً للتفاعل التالي:
 كلوريد الباريوم (aq) + BaCl₂ + أيونات الكبريتات (aq) SO₄²⁻ ← كبريتات الباريوم (s) + BaSO₄ + أيونات الكلوريد (aq) Cl⁻
 كتلة كبريتات الباريوم المترسبة تسمح بحساب نسبة كبريتات في العينة المحللة. تعطى محتوى كبريتات، المعبر عنه بالجرام لكل لتر، بالعلاقة التالية:

$$[SO_4^{2-}] = \frac{M_{BaSO_4} \times M_{SO_4^{2-}}}{M_{BaSO_4} \times V_p} \times 1000.$$

- _ (M BaSO₄) تركيز كبريتات الباريوم في المحلول .
- _ (M SO₄²⁻) هو تركيز أيونات الكبريتات في نفس المحلول.
- _ (Vp) حجم العينة المأخوذة ب (مل).
- _ (1000) لتغيير الوحدة من غرام الى ميليغرام .
- المعادلة المستخدمة في الحسابات كتالي :

$$SO_4^{2-} = \frac{B \cdot 0.412 \cdot 1000 \cdot A}{V} \quad g/L$$

- _ (B) هو وزن كبريتات الباريوم BaSO₄(s) المترسبة ب (غرام) .
- _ (A) هو معامل تمديد .
- _ (V) الحجم المأخوذ من العينة المدروسة .



مرحلة الثانية من عملية تسخين



عملية تسخين العينات



جهاز الترشيح تحت التفريغ

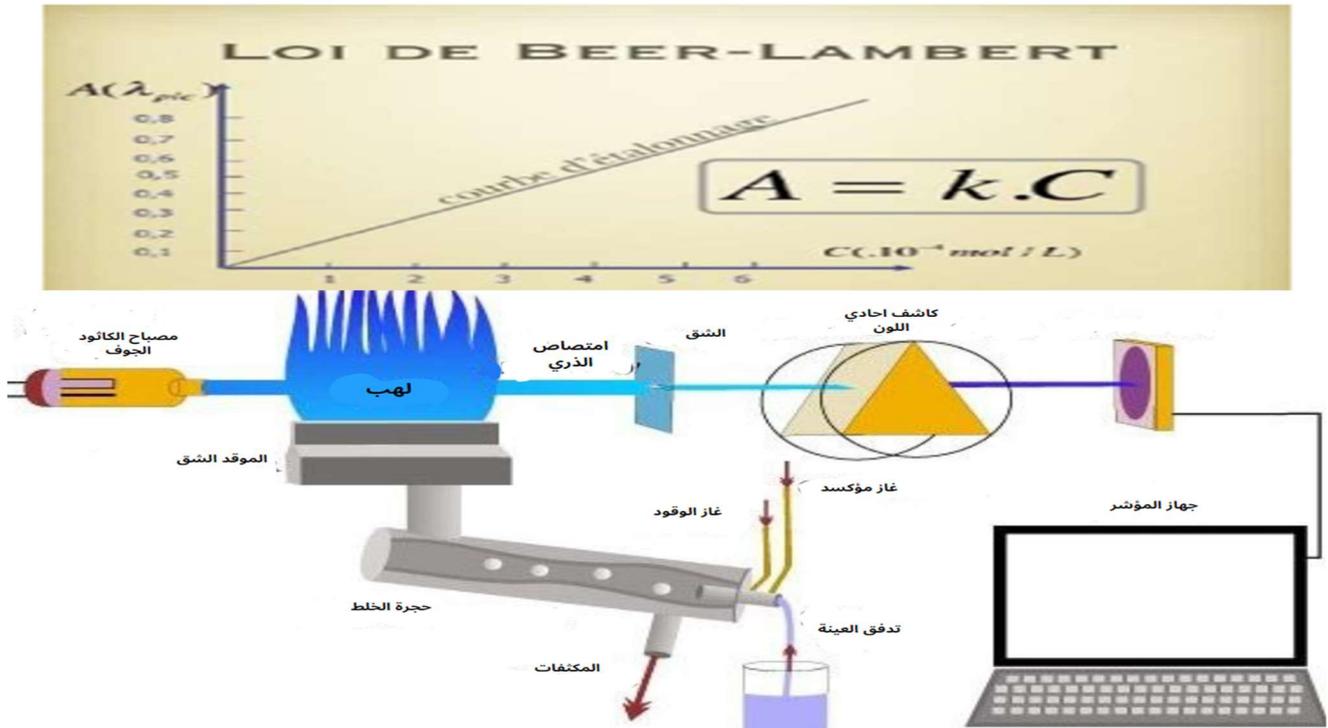


وزن ورقة الترشيح

الشكل 28 مراحل متبعة الفحص الوزني لأيونات الكبريتات (SO₄²⁻)

3-4 التحليل الطيفي للانبعث اللهبى :

التحليل الطيفي للانبعث اللهبى هو تقنية تستخدم لقياس تراكيز العناصر المعدنية في العينة، مثل الصوديوم والبوتاسيوم، من خلال دراسة الضوء المنبعث من هذه العناصر عندما يتم تحفيزها بواسطة اللهب (شكل 3-10) ، ينص قانون بير لامبرت على أن امتصاص العينة للضوء يتناسب طردياً مع طول مسارها عبر العينة وتركيز المحلول. في التحليل الطيفي، يُستخدم قانون بير لقياس تركيز المواد الكيميائية في المحلول من خلال امتصاصها للضوء ، بالنسبة للتراكيز الأعلى مثل حالة المياه المالحة في الشطوط والسبخات، سنقوم بتخفيفات كافية للعمل ضمن المجال الخطي أو شبه الخطي. من خلال حساب بسيط جداً سيتم تطويره، يمكننا بسهولة العودة إلى التركيز الأولي للعنصر أو مستوى عينتنا. ومع ذلك، يجب أن نكون ضمن مجال صلاحية قانون بير-لامبرت للحصول على نتائج دقيقة.



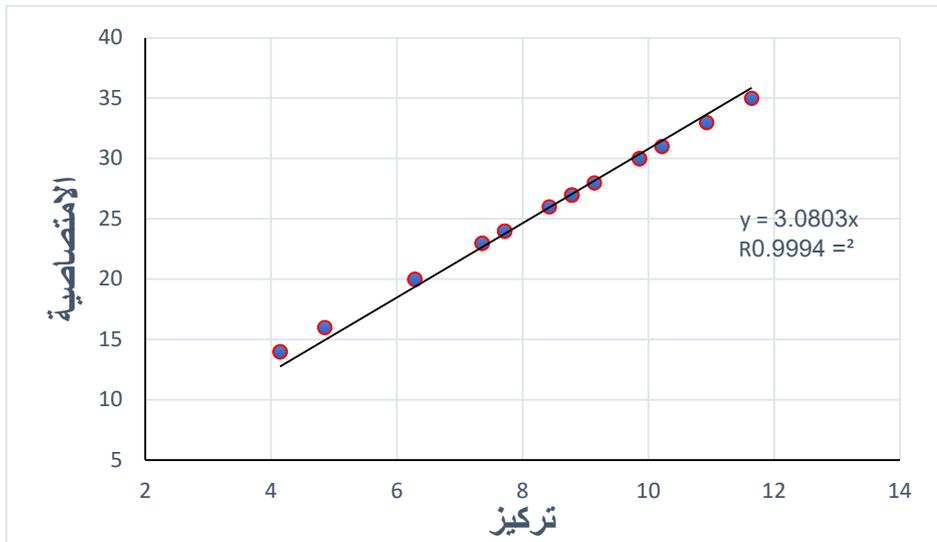
الشكل 29 : مبدأ انبعث اللهب (قوانين بير لامبرت)

تم تحليل الصوديوم (Na+) والبوتاسيوم (K+) بواسطة مقياس الطيف اللهبى من نوع Sherwood. يتم استخدام مقياس الطيف اللهبى موديل JENWAY PFP7 كما هو موضح في (الشكل 30) بدقة تصل إلى أقل من 0.2 جزء في المليون (ppm) .

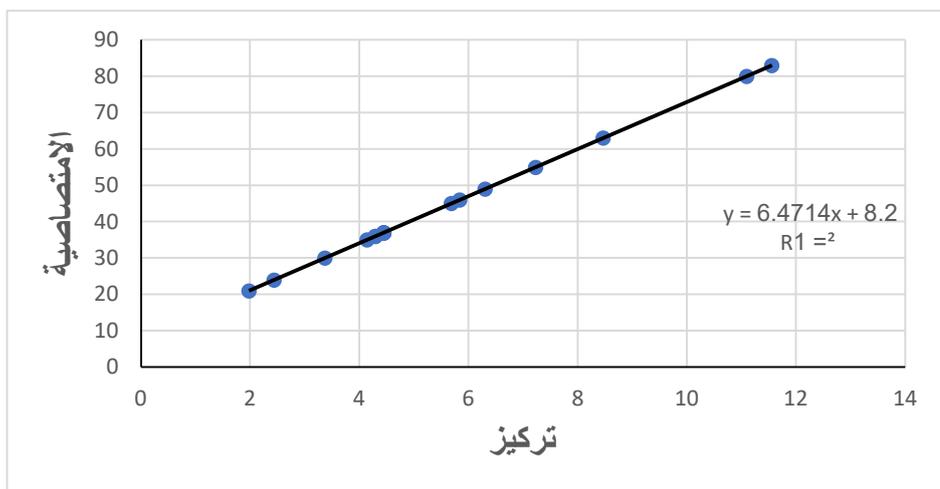


الشكل 30 : مقياس الطيف الضوئي لانبعث اللهب من النوع JENWAY PFP7

المواد المتفاعلة هي محاليل معيارية لكل عنصر، والتي تم تحضيرها في مختبر جيولوجيا الصحراء في جامعة ورقلة . يتم تمثيل منحنيات المعايرة المقابلة لتحديد هذه العناصر في (الشكل 31)، (الشكل 32) .



الشكل 31 : منحنى المعايرة للصدوديوم



الشكل 32 : منحنى المعايرة للبوتاسيوم

4-4 قياس المعايرة بالتحليل الحجمي :

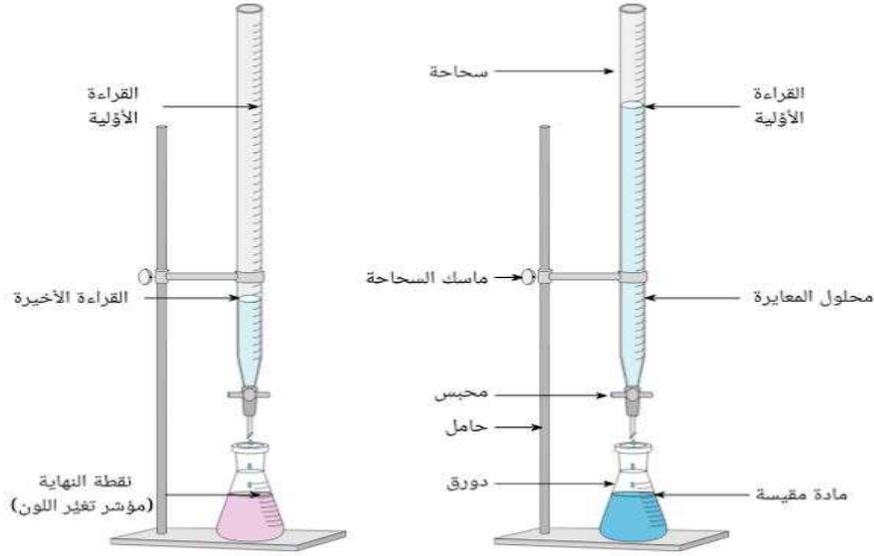
المعايرة هي العملية التي تتضمن تحديد تركيز نوع كيميائي (مثل المغنيسيوم (Mg) و الكالسيوم (Ca) وكذلك البيكربونات (HCO₃)) في محلول باستخدام تفاعل كيميائي .

قبل المعايرة، يتم فصل المفاعلات إلى محلولين. يحتوي أحدهما على النوع الكيميائي غير المعروف تركيزه، ويُسمى المحلول المعيار. أما المحلول الآخر فيحتوي على مفاعل بتركيز معروف بدقة، ويُسمى محلول المعايرة. أثناء عملية المعايرة، يتم إضافة أحد المحلولين تدريجيًا إلى الآخر. لتحقيق ذلك، يُوضع حجم معروف بدقة من أحد المحلولين في كأس، بينما يُوضع المحلول الآخر في سحاحة مدرجة تتيح إضافة حجم محدد إلى الكأس. بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم جهاز تقليب مغناطيسي لضمان بقاء المحلول في الكأس متجانسًا. عادةً ما يُوضع المحلول المعيار في الكأس ومحلول المعايرة في السحاحة . تم تحديد تركيز المغنيسيوم (Mg) و الكالسيوم (Ca) البيكربونات (HCO₃) باستخدام طريقة المعايرة .

1-4-4) بروتوكول تجريبي نموذجي للمعايرة بالتحليل الحجمي :

يؤخذ حجم V_A من كأس زجاجية باستخدام ماصة حجمية أو متدرجة تحديد المحلول المائي الذي يحتوي على النوع الكيميائي A المراد معايرته ، وتركيزه غير معروف CA .

- تصب المحلول المعيار ببطء في الحوجلة المحتوية على المحلول المعين.
- يتم التوقف عن صب المحلول المعيار عندما نصل إلى التعادل. كيف تعرف أنك وصلت إلى التعادل؟ يعتمد ذلك على نوع التعيين:
 - في حالة التعيين اللوني، تراقب تغيير اللون. هذه هي اللحظة التي تتوقف فيها عملية التعيين.
 - بعد ذلك، تقيس حجم التعادل (Véquiv)، والذي يعبر عن حجم المحلول المعيار الذي تم صبه عند التعادل.



الشكل 33 : الوضع النموذجي للمعايرة.

_ القياس التجريبي ل Véquiv يسمح بحساب التركيز المجهول :

$$C_A = \frac{n(A)prélevé}{V_A}$$

- $C(A)$: تركيز المجهول
- $n(A)prélevé$: كمية المادة للعينة
- $V(A)$: هو حجم المحلول المعيار الذي تم صبه عند التعادل

2-4-4) تحديد المغنيسيوم (Mg^{2+}) :

_ تحضير المحلول :

- محلول منظم (solution tampon) : 70 جرام من كلوريد الأمونيوم $NH_4Cl + 500$ مل من الماء المقطر + تقليب + 350 مل من الأمونيا 25%، ثم نكمل بالماء المقطر حتى نصل إلى 1 لتر .
- حمض الإيثيلين دي أمين رباعي حمض الأسيتيك (EDTA) بتركيز 0.05 (مول / لتر) :
 - أخذ 0.25 مل من عينة التخفيف 25مل .
 - إضافة 3 مل من المحلول المنظم NH_4 (solution tampon) .
 - إضافة طرف ملعقة من إيروكروم بلاك.
 - تسخين المحلول إلى 40 درجة مئوية لمدة بضع دقائق.
 - معايرة المحلول باستخدام EDTA بتركيز 0.05 (مول / لتر) حتى يتغير اللون من الوردي إلى الأزرق . (شكل 34)

المعادلة :

$$[Mg^{2+}] = \frac{V_2 * C_1 * A * 1000 * F}{V_0} * 1000$$

- C_1 : التركيز المعبر عنه بالمول لكل لتر من محلول EDTA ، في هذه الحالة 0.05.
- V_0 : الحجم بالمليتر للعينة هذه الحالة 25 مل.
- V_2 : الحجم بالمليتر لمحلول EDTA المستخدم في المعايرة ($V_2 =$ حجم EDTA مستخدم في معايرة (Mg) – حجم EDTA مستخدم في معايرة الكالسيوم (Ca)) .
- A: الكتلة الذرية للمغنيسيوم (24) .
- F : معامل التخفيف.

3-4-4 تحديد الكالسيوم (Ca^{2+}) :

- تم أخذ 0.25 مل من عينة ثم تمدد الى 25 مل بالماء المقطر .
- أضف 2 مل من محلول هيدروكسيد الصوديوم (NaOH) وإضافة طرف ملعقة من ميروكسيد الصوديوم NaCl .
- قم بتحريك المزيج جيدًا.
- نعاير المحلول باستخدام محلول EDTA ببطء.
- ستظهر اللون البنفسجي عندما يتم التحول. (شكل 34) .
- قم بقياس تركيز الكالسيوم بالمعادلة.

المعادلة :

$$[Ca^{2+}] = \frac{V_1 * C_1 * A * 1000 * F}{V_0}$$

- C_1 : التركيز المعبر عنه بالمول لكل لتر من محلول EDTA ، في هذه الحالة 0.05.
- V_0 : الحجم بالمليتر للعينة المأخوذة، في هذه الحالة 25 مل.
- V_2 : الحجم بالمليتر لمحلول EDTA المستخدم في المعايرة .
- A: الكتلة الذرية للكالسيوم (40.08) .
- F : معامل التخفيف.



الشكل: 34 اللون النهائي عند عملية معايرة لحساب تركيز (Ca^{2+})



الشكل: 35 اللون النهائي عند عملية معايرة لحساب تركيز (Mg^{2+})

4-4-4) تحديد بيكربونات (HCO_3^-):

_ نقوم بإخذ 10 مل من العين V_{PE} . نضيف لها 2 قطرات من ميثيل أورانج (méthylorange) . ثم المعايرة بالتحليل الحجمي باستخدام حمض الهيدروكلوريك (HCl) ذو تركيز (0.02%) .

المعادلة :

$$\text{HCO}_3^- = \frac{[\text{HCl}] * 61000 * V_{\text{HCl}}}{V_{PE}}$$

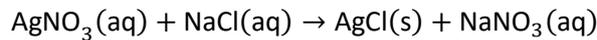
- o V_{PE} : حجم العينة بمليلتر .
- o V_{HCl} : الحجم بالمليلتر لحمض الهيدروكلوريك (HCl) المستخدم في المعايرة .
- o $[\text{HCl}]$: تركيز حمض الهيدروكلوريك = 0.02 .

5-4) تقدير الكلوريد (Cl^-) بواسطة معايرة الجهد التيومترية لجهاز نوع "Metrohm" :

البوتنسيومتر هو طريقة كيميائية كهربائية تتيح قياس القوة المحركة الكهربائية لخلية تتكون من قطب نوعي وقطب مرجعي مغموس في محلول للتحديد

يتم متابعة المعايرة البوتنسيومترية عن طريق قياس تطور الجهد بدلالة الحجم المضاف من المادة المعايرة باستخدام جهاز مبرمج للمعايرة (نترات الفضة AgNO_3) . (الشكل36) .

o يرتبط هذا الجهد ارتباطا مباشرا بتركيز Cl^- الذي يختلف خلال التفاعل التالي:



الشكل36 : مقياس جهد أوتوماتيكي (جهاز Titrino Plus من 848 من Metrohm)

طريقة التشغيل :

- o نأخذ 0.25 مل من عينة ثم تخفف (بالماء المقطر) الى 50 مل .
- o نضيف إليه 2 مل من حمض النتريك (HNO_3) بتركيز 2 (مول/لتر) .
- o نضيف إلكترود مركب من نوع الفضة الخالصة .
- o يتم إعطاء تركيز أيونات الكلوريد (Cl^-) مباشرة بواسطة جهاز القياس.

5) بروتوكول أخذ عينات الرواسب والصخور :

تم جمع عينتين من رواسب منطقة دراسة (عينتين من تراب سبخة) ، ثم حفظها في زجاجة بوليبروبيلين (شكل 37) .



الشكل 37 : العينة المستخدمة في تحليل DRX

5-1) تحضير العينة الصلبة :

باختلاف عن العينات السائلة، تتطلب العينات الصلبة (الرواسب والصخور) إعدادًا خاصًا استنادًا إلى نوع تقنية التحليل التي يجب تنفيذها. تصل جميع العينات إلى المختبر جافة وجاهزة لتنفيذ المهام التالية للتحضير.

تم تنفيذ الغريلة لتوصيف حجم حبيبات الرواسب وتحديد الكسور التي يجب قياس التركيب الكيميائي الكلي عليها. تم تطبيق طحن الأملاح المأخوذة بهدف إجراء تحليلات الانكسار باستخدام الأشعة السينية والمجهر الإلكتروني الماسح للحصول على فكرة عن المعدنية للأملاح المترسبة. تم تحضير أقسام مصقولة من الصخور وشرائح رقيقة من الرواسب لأساليب المجهر. يتم تفصيل هذه الإجراءات فيما يلي :

5-2) طحن العينات لتحليل DRX :

العينات تم طحنها للهضم الحمضي في جميع الحالات باستخدام مدقة مصنوعة من العقيق (الشكل 38) . تضمن مذاق العقيق طحنًا خاليًا من التلوث للعينات , تم تنظيف مذاق العقيق المختلفة بعناية بين كل عينة باستخدام قطعة قماش من الورق ثم بالغسيل بالماء عدة مرات. تسمح هذه الإجراءات بالتخلص من التلوث بين العينات المطحونة بعد هذه المرحلة يتم غريلتها كي توضع في جهاز القياس .



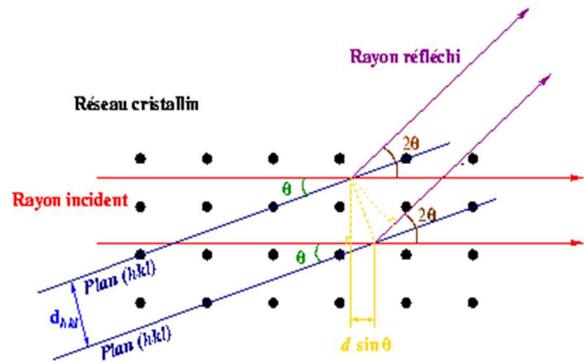
الشكل 38: مدقة مصنوعة من العقيق

3-5 التفريق بالأشعة السينية (DRX) :

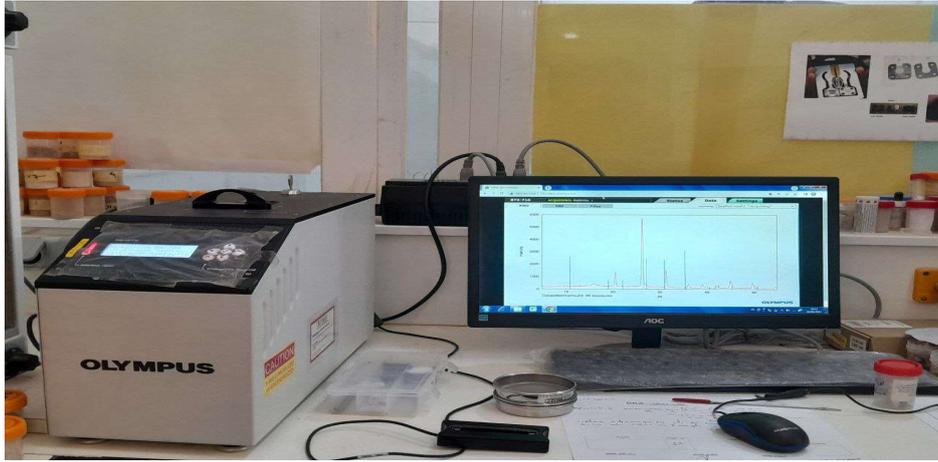
لكريستالوغرافيا باستخدام أشعة الأشعة السينية أو تقنية تفريق أشعة الأشعة السينية (DRX) تُعتبر الكريستالوغرافيا باستخدام أشعة الأشعة السينية (DRX) أداة تحليلية قوية تستند إلى تفريق أشعة الأشعة السينية على المادة. يتم تطبيق هذه التقنية على المواد البلورية فقط، ولذلك يُشار أيضًا إلى الكريستالوغرافيا بالأشعة السينية. بالنسبة للمواد غير البلورية، يُشار إلى هذه الظاهرة بالانعكاس. تعتبر التفريق بالأشعة السينية جزءًا من أساليب الانعكاس المرنة. تعتمد هذه الطريقة على شعاع من الأشعة السينية يصطدم بالبلورة، مما يؤدي إلى تشتت الشعاع الضوئي في اتجاهات محددة. تتميز كل مرحلة بلورية بنمط فريد من التفريق، وبالتالي، تُعد تقنية الأشعة السينية DRX المعيار المرجعي لتحديد المواد (مثل المعادن في مجال الجيولوجيا).

في طريقة مسحوق للأملح التي تم الحصول من منطقة الدراسة، يُستخدم إشعاع أحادي اللون، حيث يتم تعريض العينة المكونة من عدد كبير من الميكروكريستالات بأحجام تتراوح بين 0.01 و 0.001 ملم لهذا الإشعاع. يتواجد بالضرورة في العينة ميكروكريستالات في وضع الانعكاس لكل سطح شبكي (hkl)، مما يؤدي إلى توليد شعاع منثنٍ ينحرف بزوايا 2θ مقارنة بالشعاع الأصلي. يشكل مجموع هذه الشعاعات المنعكسة فتحة بزوايا 2θ ، حيث يُحدد زاوية θ بموجب قانون براغ: $d \sin \theta = n\lambda$. تعبر علاقة براغ عن الشرط البنائي للتداخل بين الأشعة الساقطة على الخطط البلورية للمادة. تربط هذه العلاقة بين زاوية الانكسار (θ)، طول موجة الإشعاع (λ)، المسافة بين الخطط (d) وعدد صحيح n . تعتبر هذه العلاقة أساسية لتحليل البنية البلورية للمواد. (شكل 39).

في هذه الدراسة، تم استخدام تقنية DRX لتوصيف الأملاح، وهي طريقة تجريبية تهدف إلى فحص جميع الخصائص المهمة للمحارقات والأملاح. تم الحصول على أنماط الـ XRD للأملاح باستخدام نموذج من مطحنة Rigaku Diffractomètre للأشعة السينية بإشعاع Cu K alpha كما هو موضح في الشكل رقم 39. تم استخدام تقنية DRX لتحديد التركيب المعدني للمحارقات والأملاح المترسبة في أحواض الصحراء الشمالية، بالإضافة إلى تحديد مكوناتها وتحليل الطور النوعي والكمي للخلائط.



الشكل 39 : هندسة براغ-برينتانو التي تشرح قانون براغ عن طريق التشبيه بالانعكاس



الشكل 40 : جهاز المستخدم لقياس حيود الأشعة السينية نوع OLYMPUS

(6) البرمجيات :

(1-6) برنامج الاكسل (Excel) :

برنامج Excel هو برنامج جداول بيانات يستخدم لتنظيم وتحليل البيانات الرقمية بشكل فعال. يتيح Excel إمكانية إنشاء جداول بيانات، وإدخال البيانات فيها، وإجراء العمليات الحسابية والإحصائية عليها، ورسم الرسوم البيانية والتحليلات البيانية، يعتبر Excel أداة قوية ومتعددة الاستخدامات للباحثين الجيولوجيين لتنظيم البيانات وتحليلها وتقديم التقارير الجيولوجية .

(2-6) رسم بايير البياني (Diagramme de piper) :

برنامج Diagrammes هو أداة شاملة لإنشاء المخططات الهيدروجية مثل (مخطط بايير و شلاور , ستبلار ... الخ) والتحقق من صحة البيانات التحليلية، مما يساعد في تحسين فهم الأنظمة المائية واتخاذ قرارات مدروسة لإدارة الموارد المائية.

(3-6) برنامج (high-score Plus) تحليل مسح الأشعة السينية (DRX) :

High-Score مع الخيار Plus هو أداة تحليل شاملة لنماذج المساحيق. يجمع بين تحديد الطور، التحليل لبوري، التحليل الطبوغرافي غير المحدود، وتطابق البنية والملف الشخصي في برنامج واحد تحت واجهة مستخدم مشتركة، تم دعم صيغ XRDML و ASCII وملفات التحليل الثنائية من جميع الموردين الرئيسيين، في جميع الحالات، تم الحصول على الإحداثيات الذرية من الملف + PDF-4، قاعدة البيانات، التي تم الحصول عليها من حسابات البنية الأولية. في High-Score Plus، تم استخدام الإعدادات الافتراضية طوال العملية. يتيح استخدام الإعدادات الافتراضية تحسين عوامل القياس، ومعلمات الخلايا الأولية، وحجم البلورات والخلفية .

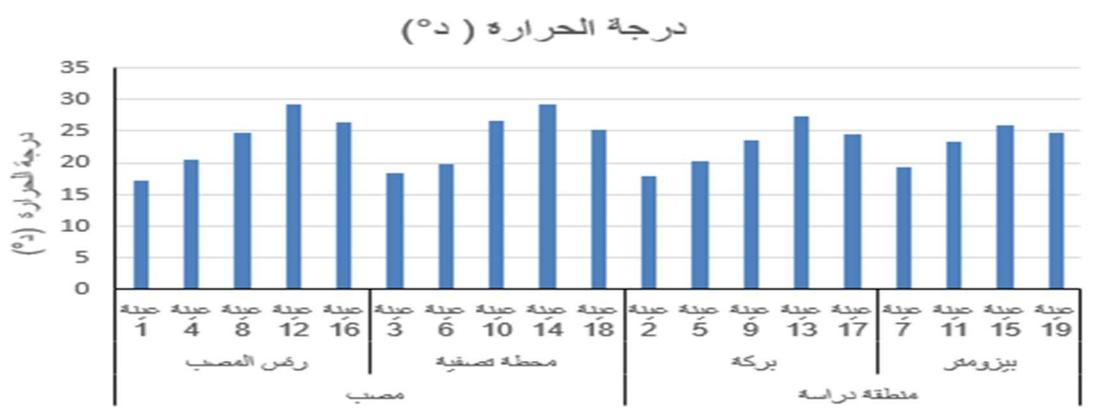
الفصل الثالث :
النتائج والتحليل
الجيو كيمياء

1) دراسة العوامل الفيزيائية-الكيميائية :

يتعلق الأمر بالمعايير القابلة للقياس بسهولة والمفيدة لتحديد التركيب الكيميائي للماء.

1-1) الحرارة :

تلعب درجة حرارة الماء دورًا هامًا، على سبيل المثال، فيما يتعلق بذوبان الأملاح والغازات بما في ذلك الأكسجين الضروري لتوازن الحياة المائية. بالإضافة إلى ذلك، تساهم درجة الحرارة في زيادة سرعات التفاعلات الكيميائية والبيوكيميائية بمعدل 2 إلى 3 أضعاف عند زيادة درجة الحرارة بمقدار 10 درجات مئوية (°C). لذلك، يجب قياس درجة الحرارة في الموقع. إن تطور درجة حرارة البحيرة المالحة يبقى مرتبطًا بالظروف المحلية مثل المناخ الإقليمي، الطبوغرافيا، مدة التعرض لأشعة الشمس، معدل التدفق والعمق. تُظهر نتائج الشكل 41 التغيرات الزمنية خلال فترة الدراسة (2024-03-25 إلى 2024-05-21). لا تتجاوز سعة التغير بين الفترات 30°C بأي حال. تتراوح درجة حرارة المياه السطحية بين 17.8 و 27.3 (°C). يتم قياس أدنى القيم في فترة (2024-03-25). يعكس هذا بوضوح تأثير المناخ الإقليمي. تشجع درجة الحرارة المرتفعة للمياه على نمو الكائنات الدقيقة وتسبب روائح كريهة.



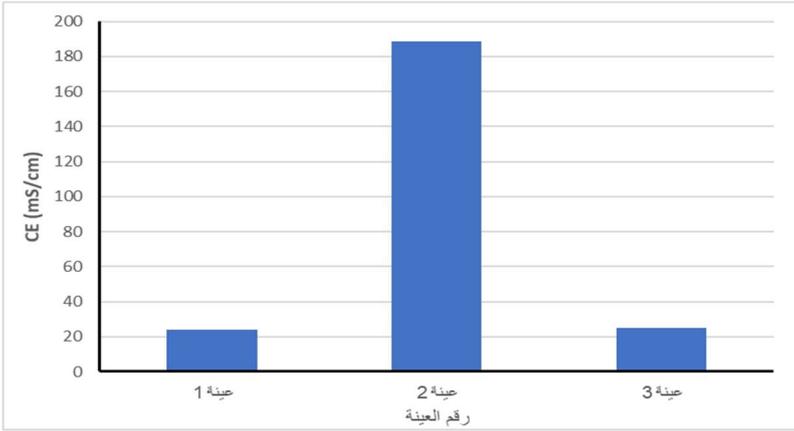
الشكل 41 : تغيرات درجة حرارة الماء مع مرور الوقت خلال فترة الدراسة (2024-03-25 إلى 2024-05-21)

2-1) المعامل الهيدروجيني (pH):

يقيس معامل الحموضة (pH) درجة الحموضة في الماء، أي تركيز أيونات الهيدروجين (+H). يتم ذلك بدقة تصل إلى 0.1. يعتبر معامل الحموضة (pH) معلومة هامة للمعرفة؛ حيث يمكن من خلاله تقدير العدوانية الكيميائية للمياه غير مباشرة بمعرفة تراكيز ثاني أكسيد الكربون المذابة. تتراوح قيم معامل الحموضة (pH) للمياه خلال فترة الدراسة حيث تتراوح بين 7.03 و 7.47 للحملة الأولى (2024-03-25)، وبين 6.85 و 7.7 للحملة الثانية (2024-03-31) وبين 6.94 و 8.19 للحملة الثالثة (2024/05/07). ويتراوح بين 6.82 و 7.86 للحملة الرابعة (14-05-2024) ومن 6.32 إلى 7.86 للحملة الخامسة (21-05-2024). بشكل عام، يتراوح pH مياه التصريف حول القيم من 6.32 إلى 8.19، وهو ماء يكون من حامضي إلى القلوي.

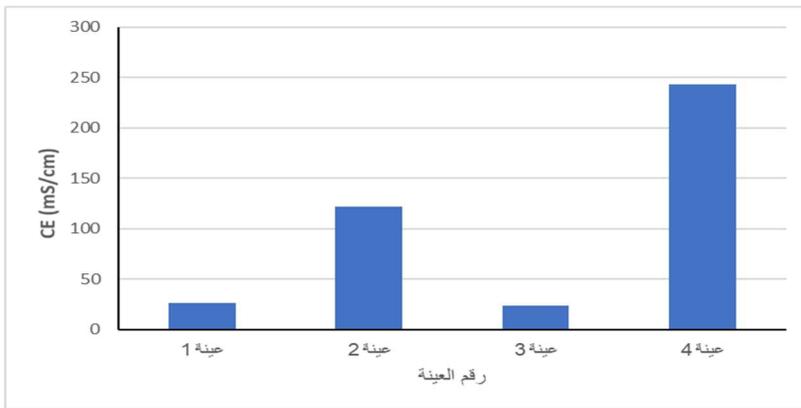
3-1) الناقلية الكهربائية (CE) :

الناقلية الكهربائية (CE) هي تعبير رقمي عن قدرة المحلول على توصيل التيار الكهربائي. يتم قياسها لتقييم التمدن الكلي لمياه السبخة. معظم الأملاح المذابة هي موصلات جيدة. عادةً ما تُعبر الناقلية الكهربائية القياسية بالملي-سيمنز لكل سم (mS/cm). تزداد التوصيلية مع زيادة محتوى الماء من الأملاح المذابة ومع زيادة حركة الأيونات.



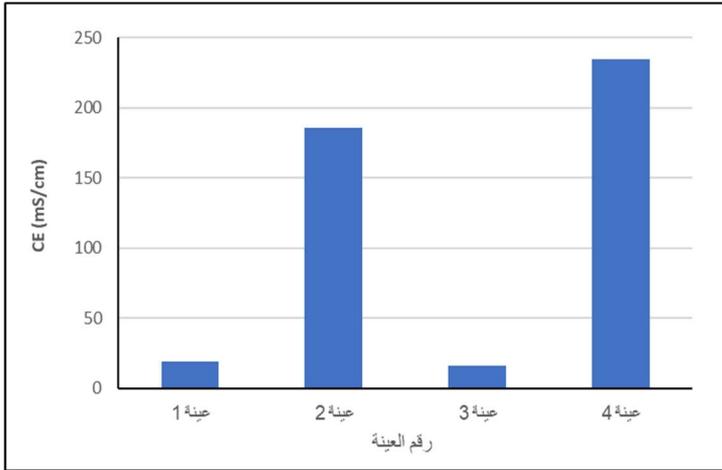
الشكل 42 : تغير في التوصيلية الكهربائية لمياه العينات للمرحلة 1 (2024-03-25)،

- قيم الناقلية الكهربائية للعينات خلال الحملة الأولى (2024-03-25)، تتراوح بين 24 ms/cm إلى 188.50ms/cm (الشكل 42) .
- لاحظ أن النقاط التي تعرض توصيلية كهربائية عالية (العينة رقم 2) تقع على مستوى بركة بالقرب من المصب في منطقة الدراسة



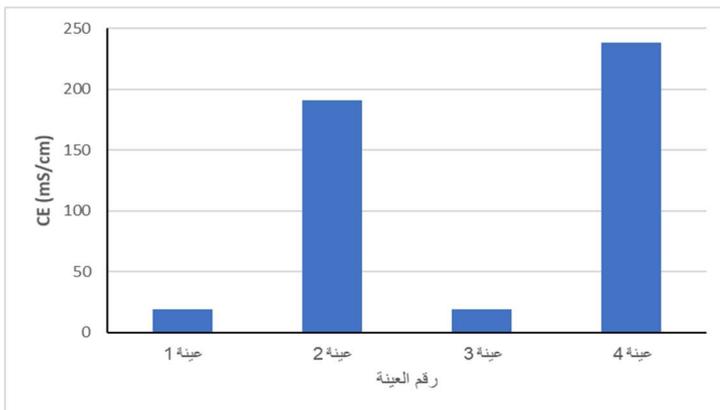
الشكل 43 : تغير في التوصيلية الكهربائية لمياه العينات مرحلة 2 (2024-03-25)،

- بالنسبة للحملة الثانية (2024-03-31)، فتتراوح الناقلية الكهربائية من 23.5 mS/cm في العينة رقم 1 إلى أكثر من 243 mS/cm في العينة رقم 04. وتقع النقطة رقم 1 على مستوى مصب الصرف في منطقة الدراسة وثانية من احد الابار البيزومترية لمنطقة دراسة حيث تتميز هذه الأخيرة بدرجة ملوحة عالية (الشكل 43) .



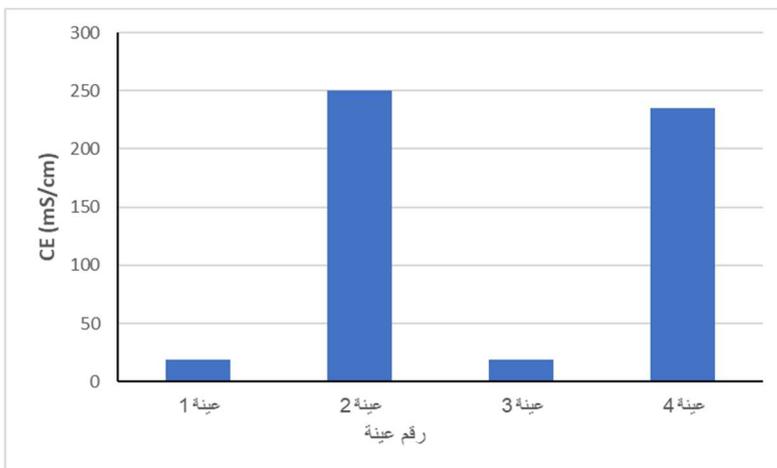
الشكل 44 : تغير في التوصيلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 3 (2024/05/07).

- اما بالنسبة للحملة الثالثة (2024/05/07). فتتراوح الناقلية الكهربائية من 16.32 mS/cm في العينة رقم 3 إلى 235 mS/cm في العينة رقم 04. وتقع عينة رقم 3 على مستوى محطة التطهير في سعيد عتبة وثانية من احد الابار البيزومترية في منطقة الدراسة حيث تتميز هذه الأخيرة بدرجة ملوحة عالية. (الشكل 44)



الشكل 45 : تغير في التوصيلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 4 (2024-05-14)

- بالنسبة للحملة الرابعة (2024-05-14). فتتراوح الناقلية الكهربائية من 18.98 mS/cm في العينة رقم 3 إلى 238 mS/cm في العينة رقم 04. وتقع عينة رقم 3 على مستوى محطة التطهير في سعيد عتبة وثانية من احد الابار البيزومترية في منطقة الدراسة حيث تتميز هذه الأخيرة بدرجة ملوحة عالية. (الشكل 45)



الشكل 46 : تغير في التوصيلية الكهربائية لمياه عينات مرحلة 5 (2024-05-21)

- بالنسبة للحملة الخامسة (21-05-2024). فتتراوح الناقلية الكهربائية من 18.75 mS/cm في العينة رقم 3 إلى 250 mS/cm في العينة رقم 02. وتقع عينة رقم 3 على مستوى محطة التطهير في سعيد عتبة وثانية بركة صغيرة في منطقة الدراسة حيث تتميز هذه الأخيرة بدرجة ملوحة عالية. (الشكل 46)

- النتائج المعروضة في دراستنا تظهر أن القيم المسجلة تتراوح بين 217 و 218 mS/cm في الشتاء، وبين 218 و 219 mS/cm في الصيف، مما يجعل مياه السبخة غير صالحة للري. تشير التوصيلية العالية إما إلى pH طبيعي، أو غالبًا إلى ملوحة عالية.
- نلاحظ أن قيم الناقلية الكهربائية تتغير من أسبوع لآخر. هذه التغيرات تتأثر بالعوامل المناخية، التساقط والتبخر. حيث نلاحظ قبل هطول المطر في (13 افريل 2024) كانت قيمة مسجلة تتراوح بين (23.5 mS/cm الى 243 mS/cm) في كل من عينات (2 و 4) مأخوذة على توالي من (البركة في موقع دراسة و احد الابار البيزومترية من نفس منطقة) ، ما بنسبة للقيم المتحصل عليها التي تخص العينتين (1 و 3) كانت قيم محصورة بين (23.5 و 26.4) ، بعد مرور حوالي شهر من تساقط الامطار نلاحظ زيادة في قيم الناقلية الكهربائية في عينة 2 (بركة) فكانت قيم محصورة بين (185.9 mS/cm الى 250 mS/cm) و يفسر هذه زيادة في تبخر المياه ونسب املاح ، اما بنسبة للعينة رقم 4 (بيزومتر) سجلنا تراجع في قيم مسجلة حيث كانت القيم محصورة بين (235 mS/cm الى 238 mS/cm) ، و نفس امر حصل مع عينتين (1 و 3) حيث سجل تراجع في القيم فكانت محصورة بين (16.32 mS/cm الى 18.99 mS/cm).

2) سلوك العناصر الرئيسية :

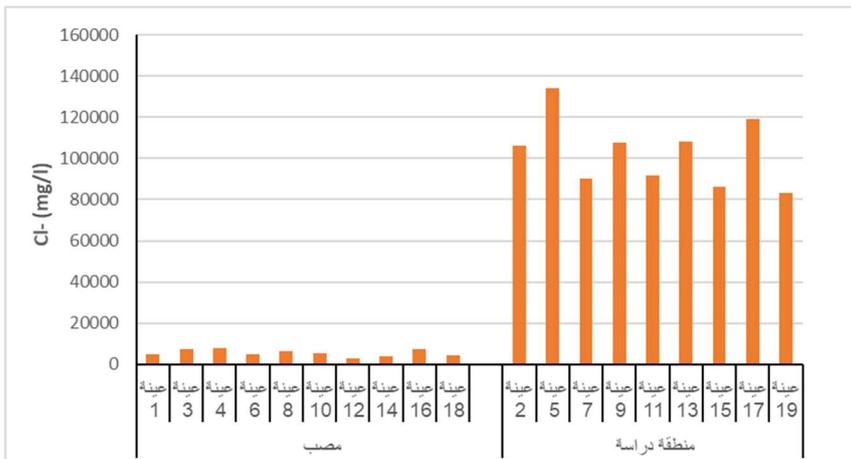
دراسة العناصر الرئيسية (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) توفر معلومات قيمة الواجهة الكيميائية للمياه. خلال الحملات الميدانية التي أجريت في فترة بين (2024-03-25 الى 2024-05-21) ، قمنا بأخذ تسعة عشر عينة مأخوذة من اربع مواقع موزعة على فترة زمنية مذكورة سالفا : عشرة عينات من مياه الصرف (5 عينات من مصب (1، 4، 8، 12، 16) و 5 عينات من محطة تصفية بسعيد عتبة (3، 6، 10، 14، 18)) و تسع عينات من منطقة الدراسة (خمسة من بركة عينات (2، 5، 9، 13، 17) و اربع عينات من احد الابار البيزومترية (7، 11، 15، 19)) لتحليلها في المختبر ومقارنة نتائج التركيب الكيميائي للمياه.

الجدول 8 : العناصر الرئيسية للمياه السطحية

Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+	الأيونات الموجبة الرئيسية (Cation majeurs)
Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-	لأيونات السالبة الرئيسية (Anion majeurs)

1-2) سلوك الكلوريد (Cl^-) :

الكلوريد هو العنصر الأكثر هيمنة مقارنة بالعناصر الكيميائية الأخرى . تراكيز الكلوريد في المياه السطحية او الجوفية لمنطقة الدراسة أعلى بشكل ملحوظ مقارنة بمياه الصرف (الشكل 47). حيث سجلنا اقصى قيمة 134220 ملغم/لتر في عينة 5 (بركة) و اعلى قيمة مسجلة كانت 91540 ملغم/لتر في عينة 11(بيزومتر) . تتراوح تراكيز الكلوريد في مياه الصرف كأعلى قيمة بين 7820 ملغم/لتر في عينة رقم 4 الواقعة عند مصب المصرف الرئيسي و 7500 ملغم/لتر في عينة رقم 3 مأخوذة من محطة تصفية .

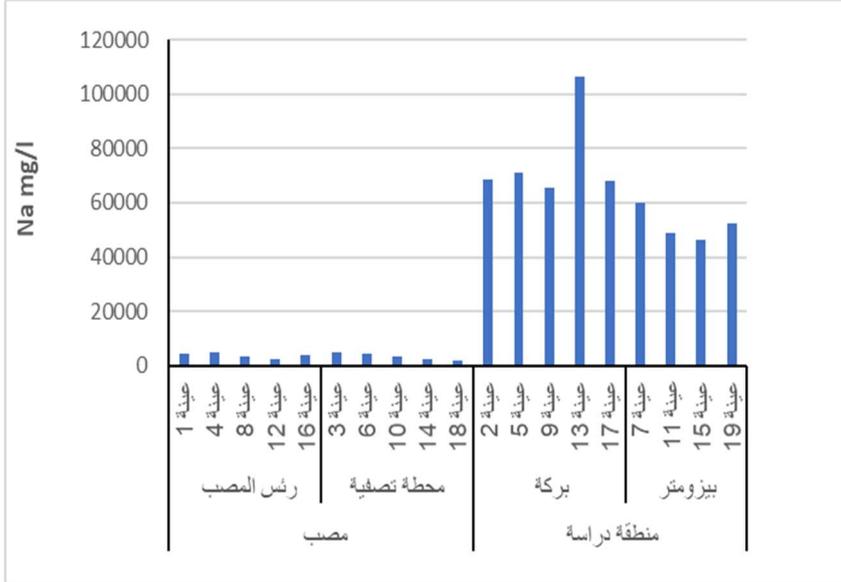


الشكل 47 : تراكيز الكلوريد في المياه الجوفية والسطحية ومياه الصرف .

- يمتلك أيون الكلوريد خصائص تختلف عن تلك الخاصة بالعناصر الأخرى؛ فهو لا يُمتص بواسطة التكوينات الجيولوجية، ولا يتحد بسهولة مع العناصر الكيميائية الأخرى، ويبقى شديد الحركة. لهذا السبب، تكون تراكيزه مرتفعة جدًا. تُسجل قيم عالية للكلوريدات خلال دورة الجيوكيميائية بأكملها ، يمكن أن يكون للكلوريدات عدة مصادر، على سبيل المثال: غسل الرواسب التبخرية للسبخة أو ارتفاع مستوى المياه الجوفية.

2-2) سلوك الصوديوم (Na⁺) :

الصوديوم عنصر ثابت في المياه، ومع ذلك، يمكن أن تكون التراكيز متغيرة للغاية، خاصة في حالة المياه الملحية. بغض النظر عن ترشيح التكوينات الجيولوجية التي تحتوي على كلوريد الصوديوم، يمكن أن يأتي الملح من تحلل التكوينات المتبخرة مثل ملح الهاليت، وحتى من السيليكات الصوديومية عن طريق الاستبدال. تتكون الترب الجبسية، بالإضافة إلى ترسبات الملح المتبخرة التي تحيط بالسبخة، من تراكيز عالية من أيونات الصوديوم نتيجة لعمليات الغسيل والتبخر والتبادل القاعدي.

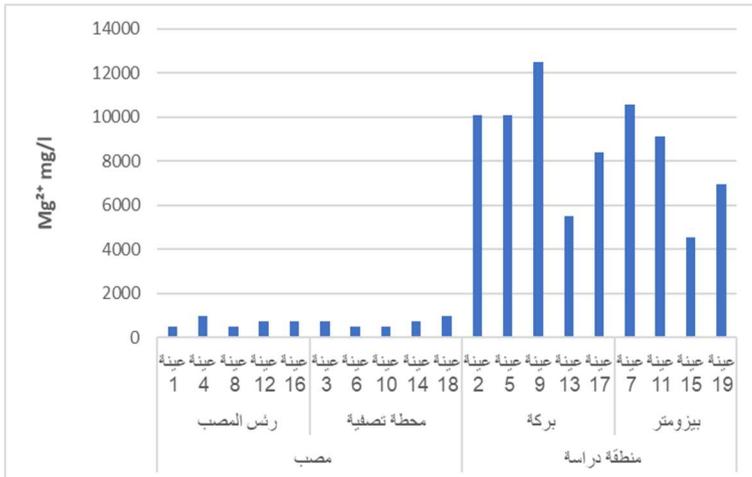


الشكل 48 تركيزات الصوديوم في المياه الجوفية والسطحية ومياه الصرف

تراكيز الصوديوم في المياه الجوفية والسطحية أعلى بكثير من تلك الموجودة في مياه الصرف (الشكل 48)، حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص مياه الجوفية (بيزومتر) حوالي 60171.42 ملغ/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر و محصورة بين (46254.18 ملغ/لتر (15ع) و 52457.14 ملغ/لتر (19ع)) بعد هطول امطار , واما فيما يخص عينات سطحية (بركة) قبل تساقط كانت القيمة محصورة بين (68528.57 ملغ/ لتر (2ع) و 71314.28 ملغ/لتر (5ع)) وبعد التساقط انحصرت القيم بين (65742.85 ملغ/لتر (9ع) و بلغ ذروته حيث وصل الى 106457.14 ملغ/لتر (13ع)) , أما مياه الصرف فتظهر تراكيز من Na⁺ تتراوح بين (2185.71 ملغ/لتر (12ع) و 5107.14 ملغ/لتر (4ع)) عند رأس المصب و محصورة بين (2071.42 ملغ/لتر (18ع) و 4928.57 ملغ/لتر (3ع)) عند محطة تصفية. حيث نلاحظ زيادة في تركيز صوديوم خلال مساره عبر قناة الصرف ذات طول أكثر من 40 كيلومتر .

2-3) سلوك المغنيسيوم (Mg²⁺) :

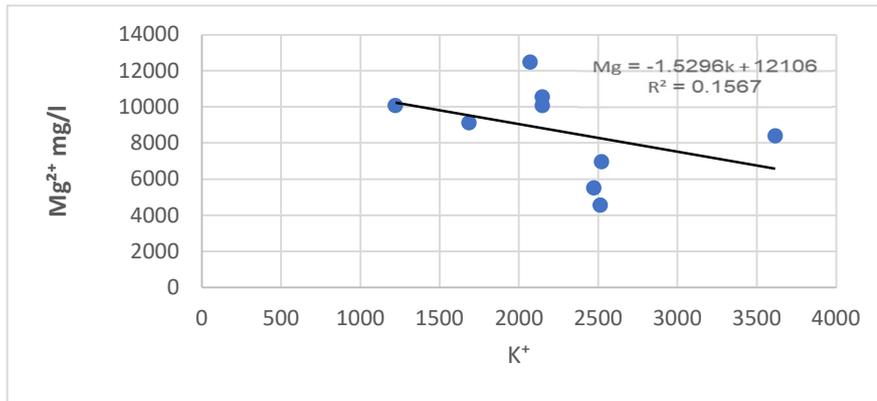
المغنيسيوم هو واحد من أكثر العناصر انتشارًا في الطبيعة، حيث يُشكل حوالي 2.1% من قشرة الأرض. تأتي أيونات المغنيسيوم (Mg²⁺)، مثل أيونات الكالسيوم، من ذوبان التكوينات الكربونية (مثل الحجر الجيري)، وأحيانًا من التكوينات الغنية بالمغنيسيوم (مثل الدولوميت). بالإضافة إلى ذلك، فإن معظم أملاح المغنيسيوم قابلة للذوبان بشكل كبير في الماء؛ حيث يمكن للكربونات أن تذوب حتى 300 ملغ/لتر عند 20 درجة مئوية، مما يمثل جزءًا من المغنيسيوم المذاب في البحيرات المالحة مثل (سبخة). تعتمد نسبة المغنيسيوم على تكوين الصخور الرسوبية المحيطة (مثل الحجر الجيري الدولوميتي) وأيضا نسبتها في المياه المغذية للسبخة. تُسهم تغذية السبخة بمياه الصرف الصحي ومياه الجريان السطحي التي تمر عبر تكوينات الجبس وترسبات الملح المتبخر في غسل هذه التكوينات وهذا يفسر التراكيز العالية المسجلة في هذه المنطقة، بمتوسط يبلغ حوالي 9312 ملغ/لتر في مياه سطحية و 7800 ملغ/لتر في مياه الجوفية (بيزومتر).



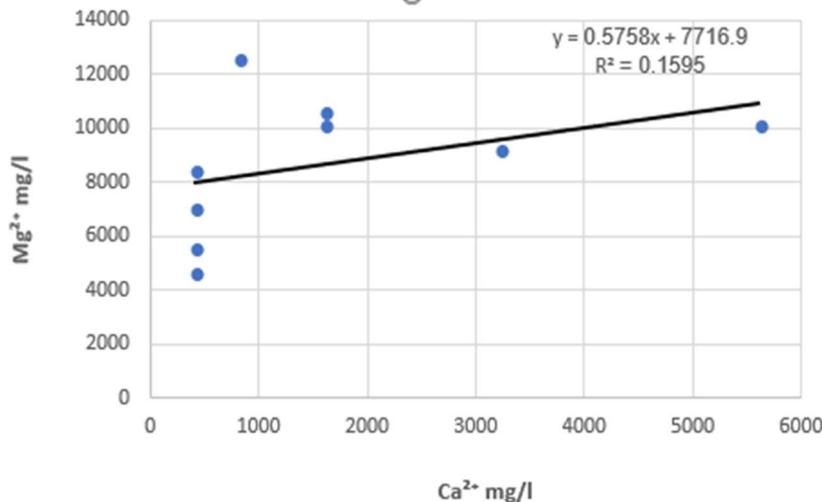
الشكل 49 : تركيزات المغنيسيوم في المياه الجوفية والسطحية ومياه الصرف .

تراكيز المغنيسيوم في المياه الجوفية والسطحية أعلى بكثير من تلك الموجودة في مياه الصرف (الشكل 49)، حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص مياه الجوفية (بيزومتر) حوالي 10560 ملغ/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر و محصورة بين (4560 ملغ/لتر (15ع) و 9120 ملغ/لتر (11ع)) بعد هطول امطار , واما فيما يخص عينات سطحية (بركة) قبل تساقط كانت قيمة تركيز مقدر ب: (10080 ملغ/ لتر في كل من (2ع) و (5ع)) وبعد التساقط انحصرت القيم بين (5520 ملغ/لتر (13ع) و بلغ ذروته حيث وصل الى 12480 ملغ/لتر (9ع)) , أما مياه الصرف فتظهر تراكيز من Mg²⁺ تتراوح بين (480 ملغ/لتر (1ع) و 960 ملغ/لتر (4ع)) عند رأس المصب و محصورة بين (480 ملغ/لتر (6ع) و 960 ملغ/لتر (18ع)) , حيث نلاحظ انخفاض في تركيز مغنيسيوم خلال مساره عبر قناة الصرف وصولاً إلى مصب .

علاقة المغنيسيوم بالبوتاسيوم، الكالسيوم والبيكربونات تظهر ترابطاً إيجابياً ($R^2 = 0.1567$ للبوتاسيوم، $R^2 = 0.1595$ للكالسيوم، و $R^2 = 0.0603$ للبيكربونات) كما هو موضح في الشكل رقم 50 إلى الشكل رقم 52 يمكن تفسير هذا الترابط الإيجابي بترسيب الكالسيت و الهاليت في مراحل مبكرة من التطور الجيوكيميائي سخات و الشوط ونسبة تركيز عناصر في مياه المغذية للسبخة (مياه صرف) . بالإضافة إلى ذلك، يمكن تفسيرها معدنياً من خلال ترسيب أملاح المغنيسيوم مثل الكينيت. هذه الأملاح تترسب مع ارتفاع درجة الحرارة.



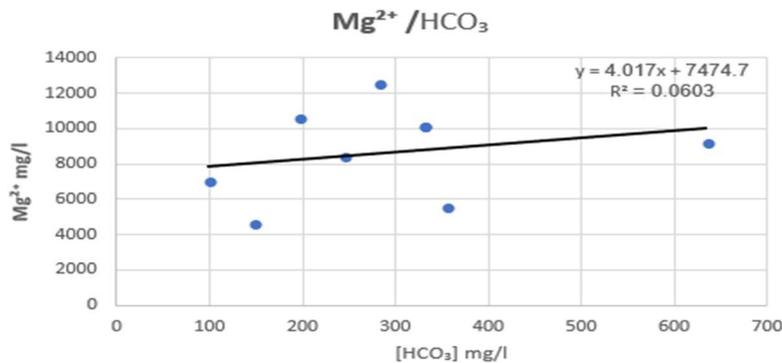
الشكل 50 : تغير تراكيز لمغنيسيوم (Mg^{2+}) بناءً على تركيز البوتاسيوم (K^+) في المحاليل المالحة لسبخة سفيون



الشكل 51 : تغيرات تركيزات المغنيسيوم (Mg^{2+}) نسبةً إلى تركيزات الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون

تعتبر تفاعل التبادل بين أيونات الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنيسيوم (Mg^{2+}) (الدولوميتية) السبب الرئيسي لزيادة نسبة Mg/Ca في المحاليل الملحية. تكون هذه الزيادة تدريجية وفقاً لمعدل التبخر وتركيز المعادن في مياه المغذية ان وحدة ، وتتحكم فيها التوازن بين الكالسيت والدولوميت وتعتمد بشكل كبير على درجة الحرارة.

تُعزز عملية تقليل الكبريتات ذوبان المعادن الكربونية، مما قد يؤدي إلى تغيير نسبة Mg/Ca بشكل أكبر. في مياه الأحواض المغلقة مثل حالة منطقة دراستنا، تكون نسبة Mg/Ca مرتفعة بمتوسط حوالي 10.72 ، حيث يمنع التبخر الزيادة السريعة في تركيز الكالسيوم (Ca) مقارنةً بتركيز المغنيسيوم (Mg). يعود ذلك إلى قابلية الذوبان المنخفضة نسبياً لكريونات الكالسيوم ($CaCO_3$) وكبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$). وبالتالي، تعتمد نسبة Mg/Ca في حالتنا هذه على تركيز مغنيسيوم في مياه الصرف وتأثير ملوحة اسبخة وكذلك على معدلات التبخر.

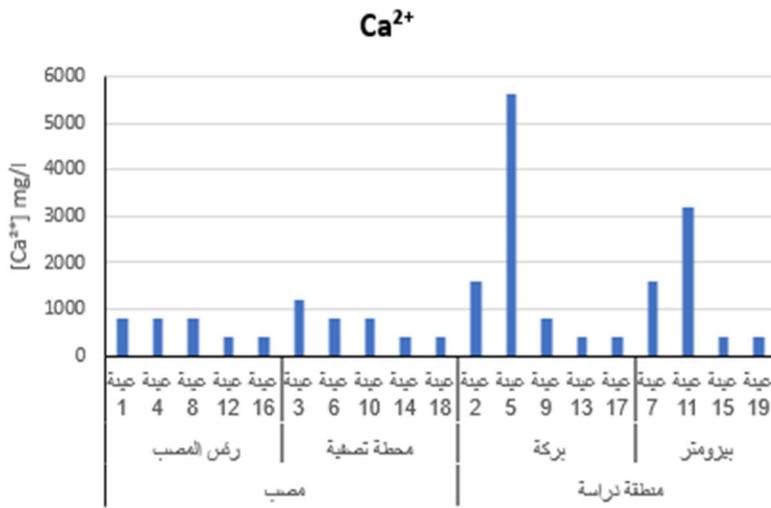


الشكل 52 : تغيرات تركيزات المغنيسيوم (Mg^{2+}) نسبةً إلى تركيزات البيكربونات (HCO_3^-) في المياه الملحية لسبخة سفيون

4-2 (سلوك الكالسيوم (Ca²⁺) :

خلال الدورة الجيوكيميائية، يُظهر تركيز الكالسيوم في المياه المالحة نمطًا تراجعياً. يبدأ هذا الانخفاض في مرحلة الثانية عند 5611.2 ملغم/لتر، ويستمر حتى يصل إلى 400.8 ملغم/لتر في مرحلة الرابعة. بدءاً من المرحلة الرابعة، تُلاحظ مرحلة أخرى من التطور حيث تستقر تراكيز الكالسيوم في 400.8 ملغم/لتر حتى نهاية الدورة.

انخفاض تركيز الكالسيوم يُعبر عن ترسيب في الكالسيت (CaCO₃) او الارجونيت، يحدث تشكيل من المحاليل فوق المشبعة، نتيجة زيادة درجة الحرارة والتبخّر أو تفاعل مع عناصر مثل الكبريتات (SO₄²⁻) ليشكل الجبس (CaSO₄·2H₂O) حيث ان مياه الصرف تحتوي على تراكيز عالية من كبريتات بارتفاع درجة الحرارة أو انخفاض تركيزه فيها. ويمكن بسبب تبادل مع كاتيونات اخرى مثل الصوديوم (Na⁺) و المغنيسيوم (Mg²⁺) أو بفعل عوامل بيولوجية من خلال استهلاكه من قبل الطحالب و النباتات المائية. يفسر حالة ثبات تركيز الكالسيوم الى عدة عوامل منها تبادل كاتيونات المذكور سابقا اذا وصلت التربة الى حالة توازن أو امتصاصه من طرف بعض معادن التربة مما يؤدي الى تثبيت تركيزه ومن العوامل المؤثرة ايضا ثبات تركيزه في مياه الصرف، أو بسبب التحلل الحيوي الناتج عن البكتيريا و الميكروبات.



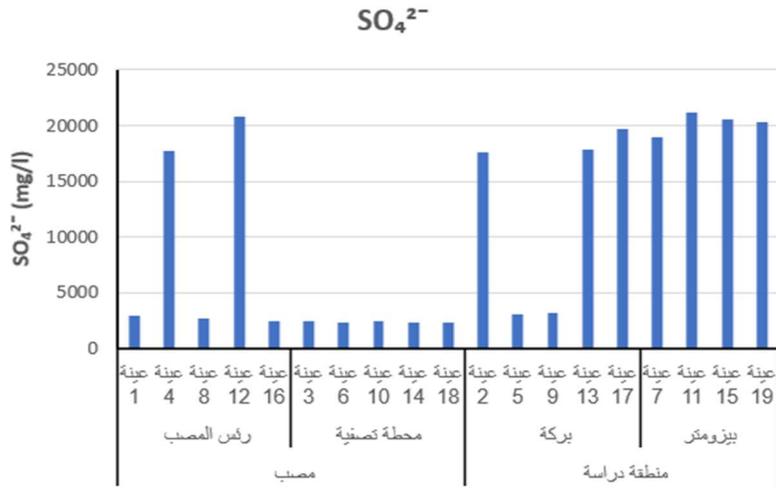
الشكل 3-11: تركيزات الكالسيوم (Ca²⁺) في المياه الجوفية و السطحية ومياه الصرف و تغيراتها حسب الزمن

تراكيز الكالسيوم في المياه الجوفية و السطحية أعلى بكثير من تلك الموجودة في مياه الصرف (الشكل 53)، حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص مياه الجوفية (بيرومتر) حوالي 1603.2 ملغم/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر و محصورة بين (400.8 ملغم/لتر (15ع) و 3206.4 ملغم/لتر (11ع)) بعد هطول امطار، واما فيما يخص عينات سطحية (بركة) قبل تساقط كانت قيمة تركيز مقدرة ب: (1603.2 ملغم/ لتر (2ع) و 5611.2 ملغم/ لتر (5ع)) وبعد التساقط انحصرت القيم بين (400.8 ملغم/لتر (13ع) و بلغ ذروته حيث وصل الى 801.6 ملغم/لتر (9ع))، أما مياه الصرف فتظهر من Ca²⁺ تتراوح بين (400.8 ملغم/لتر (12ع, 16ع) و 801.6 ملغم/لتر (4ع, 1ع, 8ع)) عند رأس المصب و محصورة بين (400.8 ملغم/لتر (14ع, 18ع) و 1202.4 ملغم/لتر (3ع))، حيث نلاحظ تقريبا استقرار في تركيز الكالسيوم خلال مساره عبر قناة الصرف وصولا الى مصب

5-2 (سلوك السلفات (SO₄²⁻) :

تمر السبخة بفترة من التذبذب، كما هو موضح في الشكل 54. في المرحلة الأولى، حيث تكون التراكيز في تراجع، تتراوح التراكيز من 17580.04 ملغم/لتر (2ع) إلى 3003.48 ملغم/لتر (5ع) خلال مرحلة الأولى، ثم تبدأ التراكيز في التطور التصاعدي في مرحلة الثانية بتركيز 3122.96 ملغم/لتر (7ع). تصل هذه الزيادة السريعة في التراكيز إلى ذروتها في حملة الرابعة، حيث تبلغ 21160.32 ملغم/لتر (15ع).

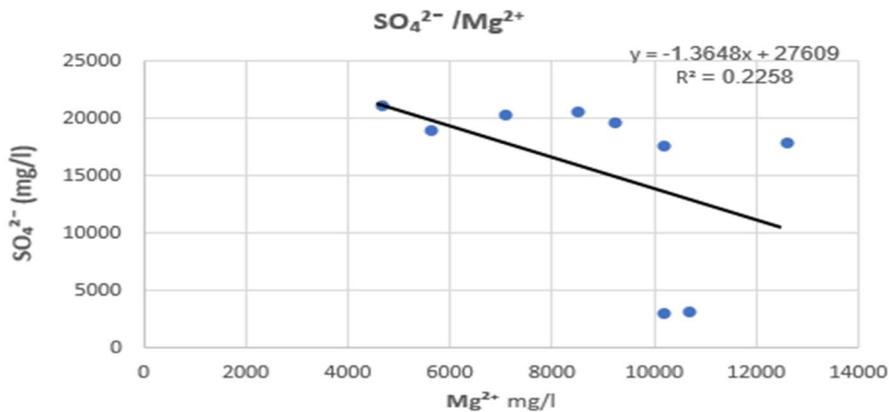
- يمكن تفسير انخفاض تراكيز الكبريتات خلال الدورة الجيوكيميائية بمرحلة ترسيب المعادن الجبسية حيث تتناقص التراكيز في المحلول المائي. يحدث هذا عندما تنتشر الكبريتات في الوسط.
- في المقابل، يمكن أن تبدأ زيادة استثنائية في التراكيز مع ذوبان المعادن الكبريتية. هذه السلوكيات مرتبطة بعوامل درجة الحرارة والكثافة والتبخّر.



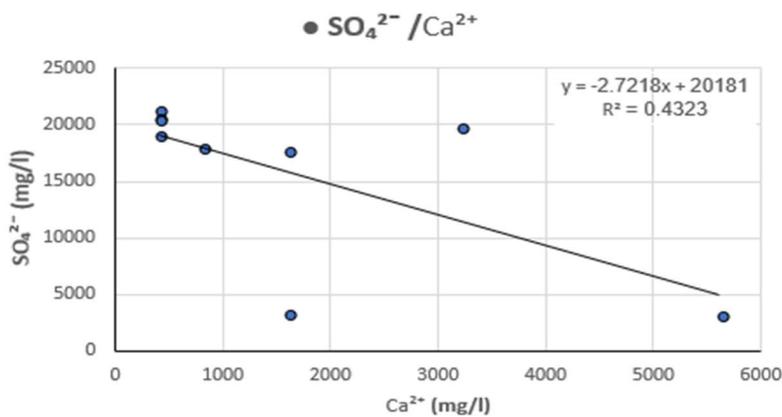
الشكل 54 : تركيزات الكبريتات في المياه السطحية والجوفية ومياه الصرف

تركييزات الكبريتات في المياه الجوفية والسطحية أعلى بكثير من تلك الموجودة في مياه الصرف، حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص بيزومتر حوالي 3122.96 ملغ/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر و محصورة بين (19693.6 ملغ/لتر (11ع) و 21160.32 ملغ/لتر (15ع)) بعد هطول امطار واما فيما يخص عينات سطحية قبل تساقط كانت القيمة محصورة بين (3003.48 ملغ/ لتر (5ع) و 17580.04 ملغ/لتر (2ع)) وبعد التساقط انحصرت القيم بين (17872.56 (9ع) و 20546.44 ملغ/لتر (17ع)) ، أما مياه الصرف فتظهر تركيزات من SO₄²⁻ تتراوح بين (2900.48 ملغ/لتر (1ع) و 2241.28 ملغ/لتر (16ع) عند رأس المصب و محصورة بين (17695.4 ملغ/لتر (3ع) و 20822.48 ملغ/لتر (6ع)) عند محطة تصفية .

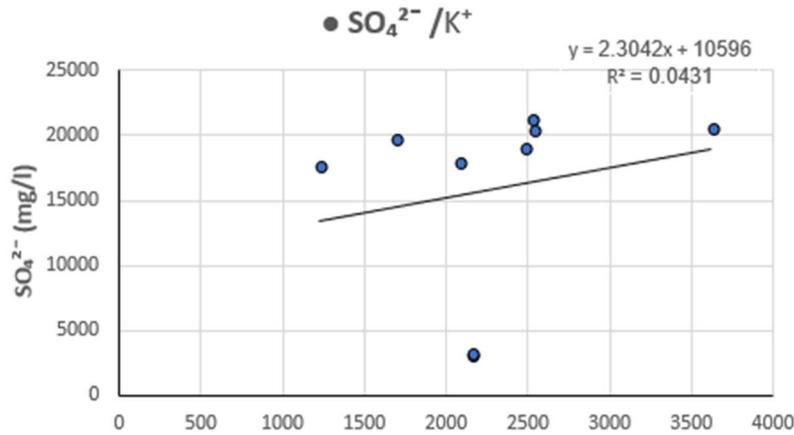
تظهر الكبريتات ترابطًا إيجابيًا مع المغنيسيوم والكالسيوم (معامل الارتباط R²= 0.2258 و R²= 0.4323 على التوالي)، ولكن مع البوتاسيوم تكون العلاقة ارتباط ضعيفة جدا (R²= 0.0431) . يمكن تفسير الارتباط الإيجابي مع مغنيسيوم او الكالسيوم مصدر مشترك وزيادة متزامن لهذه العناصر و بتشبع المياه المالحة لتشكيل الجبس (CaSO₄·2H₂O) و الأنهيدريت ، اما عن الترابط السلبي مع بوتاسيوم هو تفعل سلفات مع ايونات لتكوين جبس مما يقلل توافر بوتاسيوم ، و بتأثير تبخر الشديد و بدرجة الحموضة (pH) الذي يتسبب بترسيب البوتاسيوم على املاح معقدة وبتالي انخفاض تركيزه في الماء اثم إعادة ذوبانها في الماء، كما هو موضح في الأشكال (57 ,56 ,55) .



الشكل 55 : تغيرات تركيزات الكبريتات (SO₄²⁻) نسبةً إلى تركيزات المغنيسيوم (Mg²⁺) في المياه الملحية لسبخة سفيون



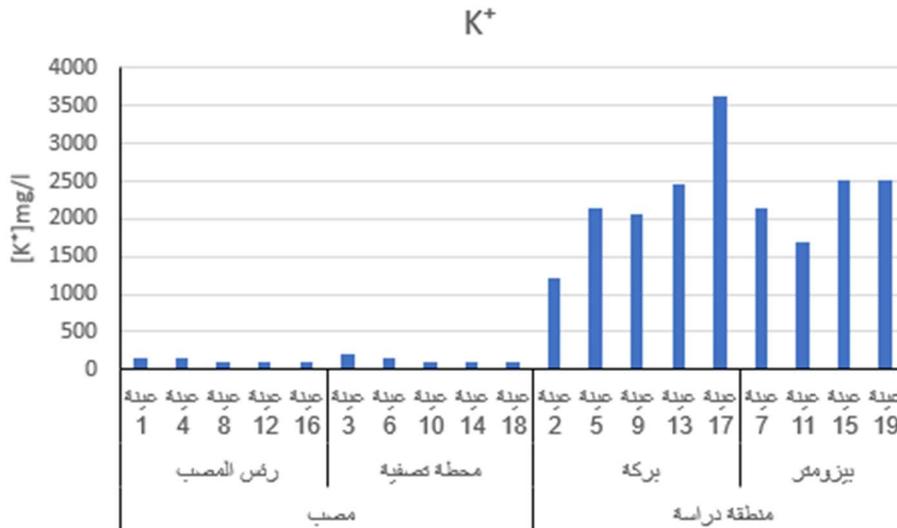
الشكل 56 : تغيرات تركيزات الكبريتات (SO₄²⁻) نسبةً إلى تركيزات الكالسيوم (Ca²⁺) في المياه الملحية لسبخة سفيون



الشكل 57 : تغيرات تركيزات الكبريتات (SO_4^{2-}) نسبةً إلى تركيزات البوتاسيوم (K^+) في المياه الملحية لسبخة سفيون

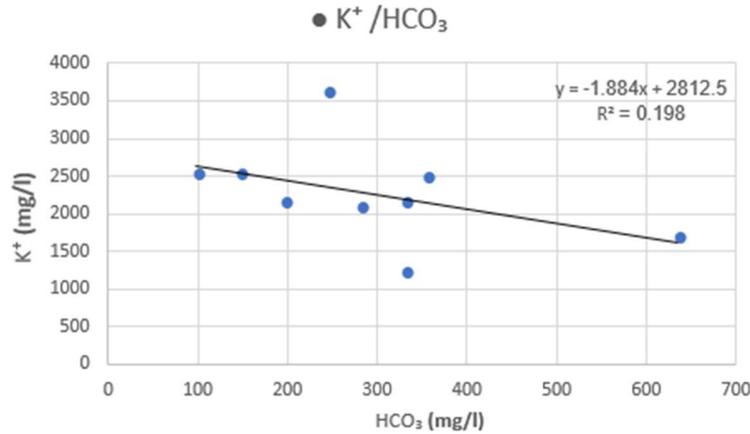
6-2 سلوك البوتاسيوم (K^+) :

البوتاسيوم ينتج نتيجة تحليل الطين الغني بالبوتاسيوم مثل الإيليت والمونتموريلونابيت وكذلك من مياه الصرف المغذية لسبخة سفيون . تراكيز البوتاسيوم في المياه الجوفية والسطحية أعلى بكثير من تلك الموجودة في مياه الصرف، حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص بيزومتر حوالي 2147.90 ملغ/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر ومحصورة بين (19693.6 ملغ/لتر (11ع) و 21160.32 ملغ/لتر (15ع)) بعد هطول امطار واما فيما يخص عينات سطحية قبل تساقط كانت القيمة محصورة بين (1220.75 ملغ/ لتر (2ع) و 2147.90 ملغ/لتر (5ع)) وبعد التساقط انحصرت القيم بين (2070.64 ملغ/لتر (9ع) و 3615.89 ملغ/لتر (17ع)) ، أما مياه الصرف فتظهر تراكيز من (K^+) فسجل في مرحلة الأولى 146.02 ملغ/لتر (1ع) و ازدادت في مرحلة الثانية حيث سجل 157.61 ملغ/لتر (4ع) ثم تراجع ليستقر في مراحل (3,4,5) في 111.25 ملغ/لتر (8ع, 12ع, 16ع) عند رأس المصب . في مرحلة الأولى كان تركيز 211.69 ملغ/لتر (3ع) ونخفض في مرحلة ثانية الى 142.16 ملغ/لتر (6ع) ثم تستقر نسبة تركيز في 111.25 ملغ/لتر (10ع, 14ع, 18ع) في كل من مراحل (3,4,5) المأخوذة من محطة تصفية .

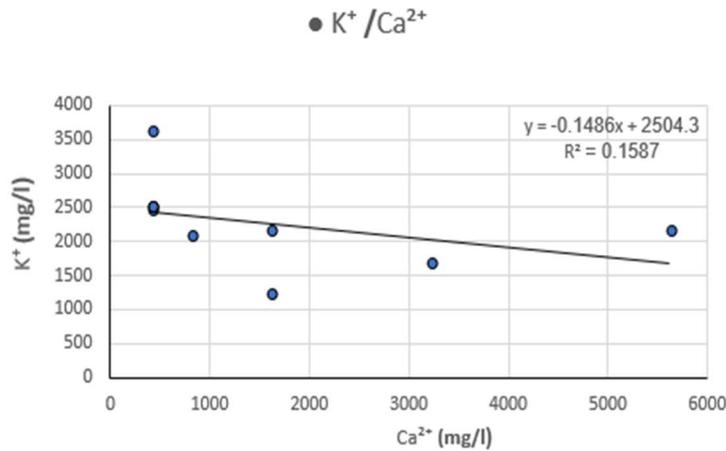


الشكل 58 : تركيزات البوتاسيوم في المياه السطحية والجوفية لسبخة سفيون ومياه الصرف

تتضح العلاقة الإيجابية بين البوتاسيوم وبيكربونات و الكالسيوم و المغنيسيوم ($R^2 = 0.198$ للبيكربونات و $R^2 = 0.1587$ للكالسيوم و $R^2 = 0.1567$ للمغنيسيوم) , بينما تكون سلبية مع الكبريتات (SO_4^{2-}) و الكلوريد (Cl^-), ($R^2=0.0431$ للسلفات و $R^2=0.0242$ للكلوريد) .



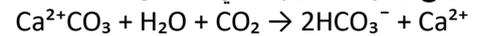
الشكل 59 : تغيرات تركيزات البوتاسيوم (K^+) نسبةً إلى تركيزات البيكربونات (HCO_3^-) في المياه الملحية لسبخة سفيون



الشكل 60 : تغيرات تركيزات البوتاسيوم (K^+) نسبةً إلى تركيزات الكالسيوم (Ca^{2+}) في المياه الملحية لسبخة سفيون

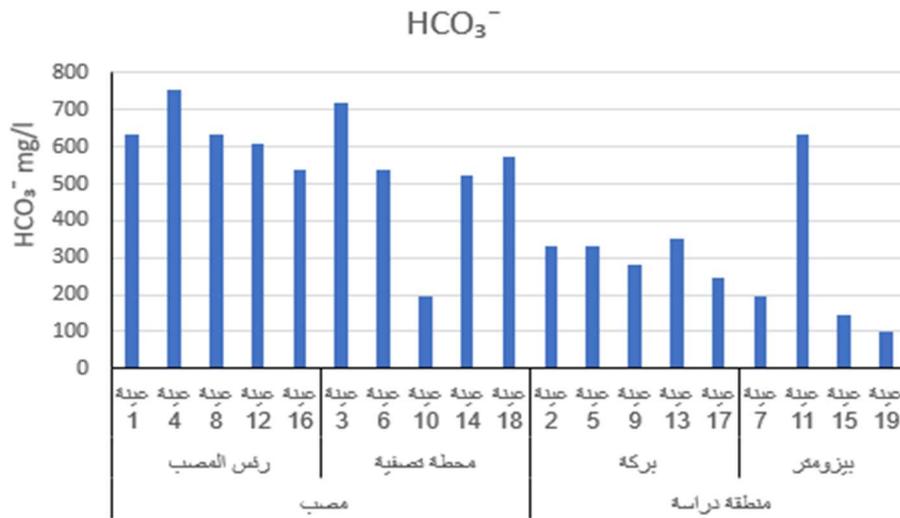
7-2) سلوك البيكربونات (HCO_3^-) :

يرجع وجود البيكربونات في الماء إلى مياه صرف لتغذي سبخة وكذلك إذابة التكوينات الكربونية التي تحيط بمنطقة دراستنا وفقاً للتفاعل التالي:



تظهر البيكربونات بتراكيز متوسطة أو منخفضة نسبياً مقارنةً مع العناصر الرئيسية الأخرى باستثناء الكالسيوم. في السبخات المغلقة مثل سبخة سفيون التي تشهد معدلات تبخر عالية والتغذية المستمرة بمياه الصرف , حيث كانت قيمة التركيز في عينات التي تخص بيزومتر حوالي 195.2 ملغ/لتر (7ع) قبل فترة هطول مطر و حيث بعد فترة هطول المطر سجل أعلى تركيز في مرحلة الثالثة بنسبة (634.4 ملغ/لتر(ع11) ثم انخفض ليصل الى (97.6 ملغ/لتر) (ع19) من مرحلة الخامسة . و اما فيما يخص عينات سطحية (بركة) قبل تساقط كانت القيمة مستقرة و ثابت عند (329.4 ملغ/ لتر (ع2) و (ع5) , بعد فترة هطول المطر سجل نسبة تركيز في مرحلة الثالثة (280.6 ملغ/لتر(ع9) ثم ارتفع ليصل الى ذروته بنسبة (353.8 ملغ/لتر) (ع13) من مرحلة الرابعة تم سجلنا تراجع في مرحلة الخامسة ليصل الى نسبة (244 ملغ/لتر(ع17) .

أما بما يخص تراكيز (HCO_3^-) في مياه الصرف عن المصب بمنطقة الدراسة فتظهر تراكيز كتالي : سجل في مرحلة الأولى 634.4 ملغ/لتر (1ع) و تزداد في مرحلة الثانية حيث سجل 756.4 ملغ/لتر (4ع) ثم سجل تراجع الى 536.8 ملغ/لتر (16ع) في مرحلة الخامسة. اما عن تراكيز عند محطة التصفية كانت كتالي : في مرحلة الأولى كان تركيز 719.8 ملغ/لتر (3ع) ثم يستمر في لانخفاض الى 195.2 ملغ/لتر (10ع) من مرحلة الثالثة ثم يتواصل ارتفاع نسبة تركيز الى 573.4 ملغ/لتر (18ع) من المرحلة الخامسة . حيث نلاحظ في اغلب اتراجع في تركيز خلال مساره عبر قناة الصرف وصولا الى مصب .

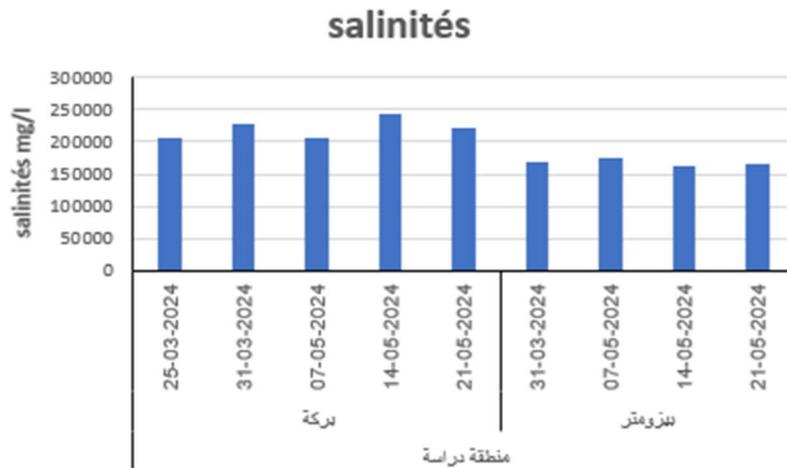


الشكل 61 : تراكيز البوتاسيوم في المياه السطحية والجوفية لسبخة سفيون ومياه الصرف

8-2) الملوحة :

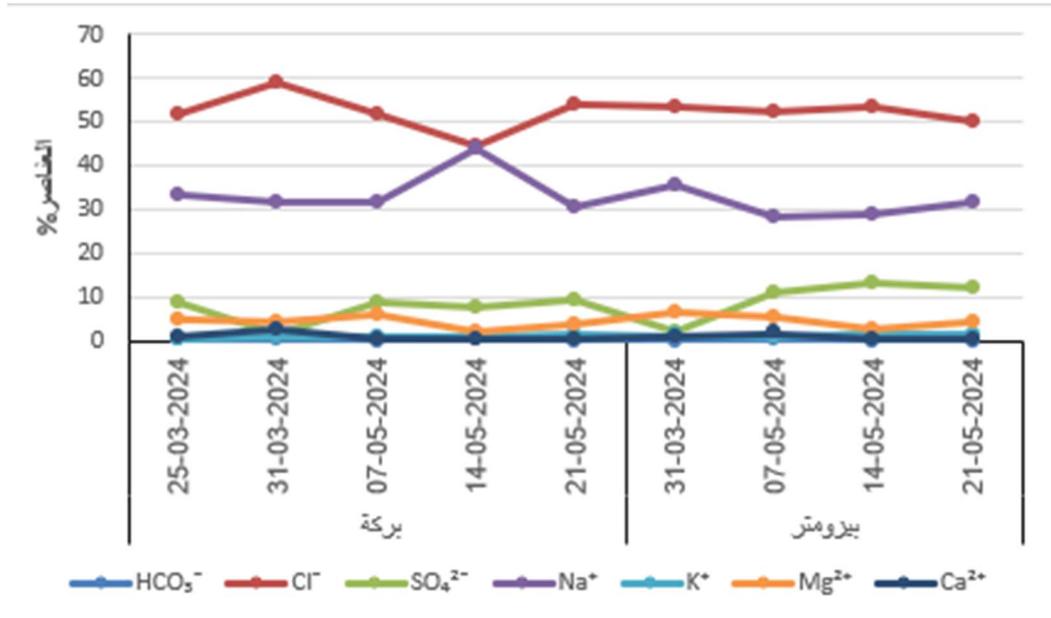
من الناحية المبدئية، يجب أن تشير الملوحة إلى الكتلة الإجمالية للمواد الصلبة المذابة لكل كيلوجرام من الماء السطحي المحلل. في الواقع، يصعب تحديد هذه الكتلة. إن التحليل الكيميائي الكامل لعينة معينة سيكون عملية طويلة ومكلفة للغاية لا يمكننا القيام بها. في حالتنا، يمكننا التعبير عن ملوحة المياه المالحة بمجموع تراكيز العناصر الرئيسية في الماء المحلل (مجموع الأيونات والكاتيونات). تتغير الملوحة بنفس اتجاه التمدن. يوضح الشكل (62) أن التغير في الملوحة خلال خمس فترات الزمنية (2024-03-25 الى 2024-05-21) يظهر أن أعلى تراكيز الأملاح تُسجل في مرحلة الرابعة (2024-05-14) .

تبلغ الزيادة في الملوحة خلال مرحلة الرابعة حوالي (2024-05-14) 242289.709 ملغم/لتر (13ع) على مستوى مياه سطحية (بركة) و 174907.29 ملغ/لتر (11ع) من مياه الجوفية (بيزومتر) في مرحلة الثالثة وتنتج عن التبخر الكبير للماء و تزايد درجات الحرارة خلال هذه مرحلتين . تُسجل أدنى تركيز في مرحلة الأولى وتبلغ حوالي 226706.26 ملغم/لتر (5ع) و 161394.41 ملغ/لتر (15ع) . يعود انخفاض الملوحة ابتداءً من مرحلة الرابعة بشكل رئيسي حيث ان مرحلة التي سبقتها شهدت تساقط للأمطار لتي تخفف من ملوحة مياه السبخة.



الشكل 62 : الاختلافات في ملوحة المياه كدالة للوقت لفترة الدراسة

تعد هذه ملوحة عالية جداً، وقد تكون هذه القيم المرتفعة للملوحة ناتجة عن ظروف الاحتباس و التغذية المستمرة بمياه الصرف التي تساهم في تركيز المياه. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي العجز المائي والتبخر المكثف أيضاً إلى زيادة ملوحة المياه. يُوضح الشكل 63 نسبة مشاركة كل عنصر رئيسي في الملوحة. تهيمن الكلوريدات والصوديوم على الجزء الأكبر من هذه الملوحة. تتراوح نسب الكلوريدات بين 46-59%، بينما تتراوح نسب الصوديوم بين 28-43% في السبخة على مدار فترة الدراسة (2024-03-25 الى 2024-05-21). في فترة الثالثة (2024-05-07)، تنخفض تراكيز الصوديوم تدريجياً إلى 28%، مما يجعل مساهمتها في الملوحة أقل أهمية. تبلغ نسبة الكلوريدات حوالي 52% في المتوسط، وهي قيم في متوسط أو في مراحل تطويرية.



الشكل 63 : مشاركة العناصر الرئيسية بالنسب المئوية (%)

3 المخططات البيانية للتحليلات الجيوكيميائية :

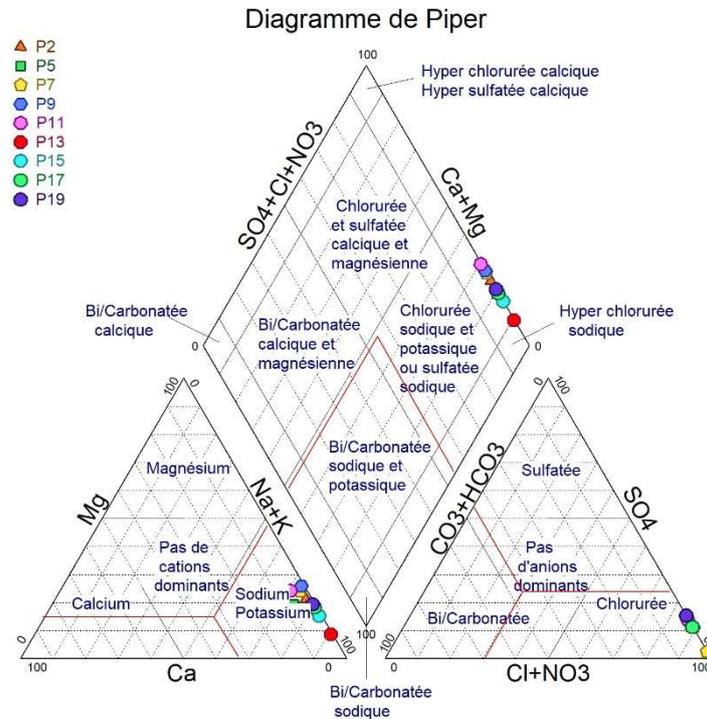
توجد عدة أنواع من المخططات لتمثيل الأنماط الكيميائية للمياه بشكل بياني. تتميز هذه التمثيلات البيانية بأهمية كبيرة، حيث تتيح الوصول السريع إلى النتائج التحليلية بهدف تسهيل توصيف المياه، وتتبع تطورها الزمني، أو مقارنتها بمياه أخرى ذات تركيبات فيزيائية وكيميائية مشابهة أو قريبة جغرافياً. من أكثر المخططات استخداماً هي مخططات باير (التي تجمع بين مخططين ثلاثيين للأيونات الموجبة والسالبة، ومخطط معين يجمع بينهما)، ومخططات شولر (التي تعرض التراكيز المكافئة على مقياس لوغاريتمي).

1-3 مخطط باير (Le diagramme de Piper) :

يُعتبر مخطط باير الأنسب للحصول على قراءة سريعة للوجه الكيميائي للمياه. فهو يتيح تمثيل الأيونات والكاتيونات على مثلثين محددين، حيث تُعبّر الأضلاع عن التراكيز النسبية لكل من الأيونات الرئيسية مقارنةً بمجموع هذه الأيونات (الكاتيونات على المثلث الأيسر، والأيونات على المثلث الأيمن). يسمح الموقع النسبي لنتيجة التحليل على كل من هذين المثلثين بتحديد الهيمنة الأيونية والكاتيونية في البداية. يرتبط بهذين المثلثين معين يتم فيه رسم تقاطع الخطين الناتجين من النقاط المحددة على كل مثلث. تمثل هذه النقطة التحليل العام للعينة، ويسمح موقعها النسبي بتحديد الوجه الكيميائي للمياه المعنية.

لا يقدم مخطط باير دلالة على التركيز المطلق للمكونات، على عكس مخطط شولر، مما يؤدي إلى تكامل معين بين التمثيلين. يتيح استخدام مخططات باير تصنيف المياه ضمن عائلات جيوكيميائية كبيرة وتحديد الروابط المحتملة بين كل عائلة، مثل المناطق المدروسة وأنواع التربة الموجودة.

لتحقيق ذلك، قمنا بدراسة جميع تحليلاتنا، بما في ذلك جميع مواسم محطاتنا لجمع العينات. تم وضع تحليلات 9 عينة كاملة على مخطط باير ومخطط شولر بيركالوف (الشكل 64). يُظهر توزيع النقاط على المثلثين عائلة واحدة فقط من المياه، وهي مياه تحتوي على كلوريد الصوديوم والبوتاسيوم أو كبريتات الصوديوم، مميزة بشكل أساسي بوجود كميات كبيرة من الصوديوم والبوتاسيوم. يُظهر توزيع النقاط على المعين أنها ليست مياه بيكربوناتية قلووية، بل مياه تحتوي على الكلوريد.



الشكل 64 : تمثيل مخطط باير للمياه التي تم تحليلها.

وفقاً لمخطط PIPER، يمكن القول إن المياه المالحة في سبخة سفيون تتميز بوجود كلوريدية صوديوم و بوتاسيوم أو كبريتات صوديوم. هذا يرتبط بشكل مباشر بوجود التكوينات الجبسية و الملحية في المنطقة

(2-3) الرسوم البيانية الثنائية :

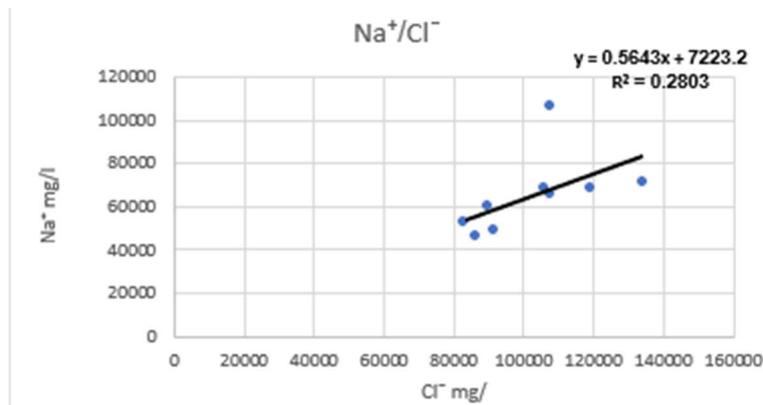
إعداد الرسوم البيانية الثنائية يتضمن تمثيل تطور عنصر معين أو نسبة أيونية محددة بالنسبة إلى عنصر آخر يُفترض عادةً أنه ثابت، على مخطط ثنائي الأبعاد. المعلومات التي يتم الحصول عليها من هذه الرسوم البيانية يمكن أن توفر معلومات عن أصل بعض العناصر المذابة (مثل الكلوريد، البيكربونات، الصوديوم، الكالسيوم، البوتاسيوم، المغنيسيوم) ويمكن اختبارها باستخدام الرسوم البيانية الثنائية للعناصر المعنية للحصول على مزيد من التفاصيل حول تطور هذه العناصر في سبخة سفيون. التحليل التالي يستند إلى هذه الطريقة ويطبق على المياه المالحة التي تم أخذ عينات منها خلال دورة جيوكيميائية تطويرية .

(1-2-3) المخططات الثنائية لأيونات الكلور :

أنواع هذه الرسوم البيانية تسمح برؤية تطور تراكيز الكاتيونات و الأيونات الرئيسية استناداً إلى تراكيز الكلور، الذي يُعتبر عنصرًا ثابتًا. تُمثل محاور الرسم البياني غالباً التراكيز العنصرية بوحدة ملغ/لتر. تُمكن هذه الطريقة من توضيح العديد من الظواهر الجيوكيميائية التي تحدث داخل السبخة (منطقة مغلقة). تُعكس الكاتيونات والأيونات الرئيسية تفاعلات المياه المالحة مع التكوينات الجيولوجية المحيطة والمتضمنة للمياه الجوفية (مثل التبادلات الأيونية، الذوبان، الترسيب، والامتصاص)، والمياه المغذية لها (مياه الصرف) مثل ما يحدث مع منطقة دراستنا . القيم (النقاط) التي تقع خارج العلاقة الخطية البسيطة (مثل التخفيف، التبخر دون ترسيب المعادن، والخلط الثنائي) يمكن أن تشهد على عمليات متنوعة داخل البحيرة، مثل الاختزال البكتيري للكبريتات وترسيب الكالسيت أو الكالسيت المغنيسيومي (Vallet-Coulomb et al, 2009) تطور تراكيز الكلوريد خلال العام يعتمد بشكل حصري على العوامل الهيدرولوجية: الإمدادات النهريّة أو المطرية، السحب، والتبخّر. يُمكن اعتبار هذا العنصر ثابتاً، بمعنى أنه لا يشارك في الظواهر الكيميائية والجيوكيميائية والبيولوجية داخل عمود الماء والرواسب. أما العناصر الأخرى، فقد تتغير تحت تأثير العوامل الهيدرولوجية و البيوجيوكيميائية بشكل متزامن. لذا يُفيد دراسة تطورها بالنسبة للعنصر الثابت المُتخذ كمرجع .

1-1-2-3) مخطط ثنائي كلور الصوديوم (Na⁺- Cl⁻) :

الصوديوم والكلوريدات هي اكثر المعلمات الدائبة تحفظا . العلاقة تربط العنصرين اذا تطورت الكلوريدات و الصوديوم بطريقة مماثلة . يزيد التبخر من تركيز كل من الصوديوم والكلوريد ولكن مع تغيرات طفيفة في نسبة (Na⁺- Cl⁻) . ومع ذلك هناك اختلافات في السلوك بين هذين العنصرين .
 يفسر التراكيز الأعلى بوقت إقامة طويل للحل في التربة . ومع ذلك، فإن الامتزاز على مركب الطين يحد من زيادة تراكيز الكاتيونات +Na مقارنة بتلك الخاصة بالكلوريد . بالإضافة إلى ذلك، فإن ترسيب الهاليت الذي يتكون من الصوديوم والكلوريد، والذي له درجة ذوبان منخفضة، يلعب دوراً في هذا التوازن . تعتبر التراكيز العالية للكلوريدات والصوديوم مهمة بشكل خاص . تخضع تراكيز الكلوريدات والصوديوم لديناميكية المياه المالحة . يمكن ربط هذه التراكيز العالية بتجوية الصخور الغنية بالعناصر الصودية ودور غسل المياه الجوفية وتغذية المستمرة بمياه الصرف .
 يعد التبخر العملية الأكثر احتمالاً لتفسير التغيرات في تراكيز هذين العنصرين في هذه العائلات المختلفة من المياه . كما أن تأثير التبخر الذي يعمل بشكل متزامن على Na⁺ و Cl⁻ يؤدي إلى ارتباطهما الجيد بشكل عام (Na⁺=0.5643Cl⁻+7223.2) و (R² = 0.2803) تظهر العلاقة الإيجابية بين الكلور والصوديوم بشكل أكثر وضوحاً في الشكل (65)، تُترجم هذه العلاقة بشكل عام إلى تكوين الهاليت خلال الدورة الجيوكيميائية حتى المراحل المتقدمة.

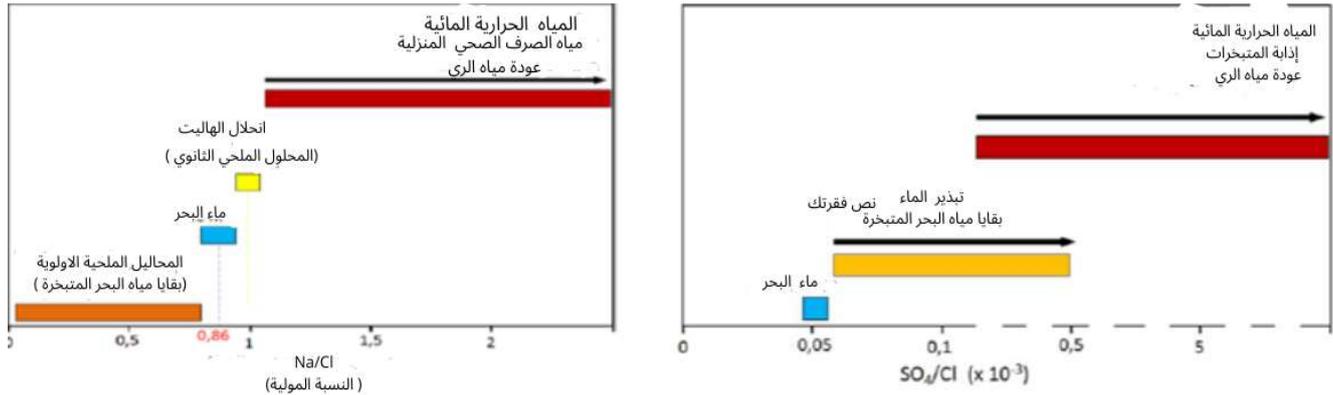


الشكل 65 : تراكيز الصوديوم المذاب كدالة للكلوريدات (بالمغم/ل) والخط النظري لتطور المحاليل

العلاقة بين تركيز الكلوريدات وتركيز الصوديوم، والمعبر عنها بوحدة (ملغم/لتر). تظهر العينات التسعة نسبة (Na⁺/Cl⁻) أقل من 0.86، وهو ما يتوافق مع نسبة المحلول الملحي الأساسي (الشكل 65).

الجدول 9 : خصائص الجيوكيميائية لمصادر الملوحة (وفقاً لفينغوش، 2003)

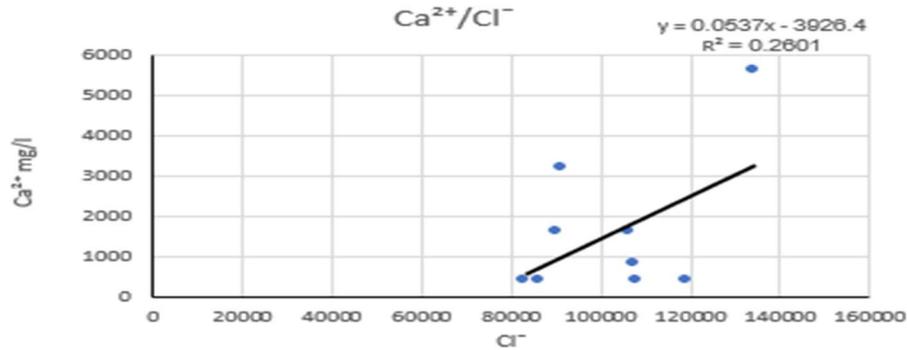
مصدر	الصلية الذاتية (جم/لتر)	Na/Cl (النسبة المئوية)	SO4/Cl [10 ⁻³]	النسبة المئوية المولية -Br/Cl (10 ⁻³)	النسبة المئوية المولية (10 ⁻³) B/Ci	δ11B(‰)	δ34S (‰)	36Cl / Cl (10 ⁻¹⁵)
ماء البحر	35	0.86	0.05	1.5	0.8	39	21	<5
المحاليل الملحية الأولية (بقايا مياه البحر المتبخرة)	>35	<0.86	>0.05	>1.5	<0.8	>39	>21	5 إلى 100
ذوبان المتبخرات	>1	1 (حاليات)	>>0.05	<1.5	<0.8	20 إلى 30	<21	<5
المياه الحرارية المائية	0.2 إلى <1	>1	>>0.05	<1.5	>5	0±5	<<21	<5
تبخير الماء	≈ 1	>1	>0.05	<1.5	5	10 إلى 0	6 إلى 10	50 إلى <100
عودة مياه الري	0.5 إلى 5	>1	>>0.05	<1.5	>0.8	20 إلى 30	-	50 إلى <100



الشكل 66 : لنسب المولارية بين الصوديوم والكلور (Na/Cl) والكبريتات والكلور (SO4/Cl) للمصادر الرئيسية للملوح (وفقًا لفينغوش، 2003)

2-1-2-3 المخطط الثنائية الكلور- الكالسيوم (Ca²⁺-Cl⁻) :

يظهر الشكل 67 إلى استهلاك ملحوظ لعناصر الكالسيوم، والذي يتزايد تدريجياً مع ارتفاع ملوحة المياه المعبر عنها بتراكيز الكلور. هذا الظاهرة طبيعية عند النظر إلى ترسيب الكالسيوم، او كربونات الكالسيوم (CaCO₃) او سلفات الكالسيوم (CaSO₄) ، الذي يفسر استهلاكاً سنوياً متوسطاً للكالسيوم في سبخة سفيون . طوال العام، تكون محطة الدراسة في حالة فوق التشبع بالمعادن الكربونية او سلفاتية مثل الجبس بالإضافة إلى ذلك، تفسر التفاعلات الأخرى، مثل تكوين الطين الجديد والطريقة البيوكيميائية، أيضاً اختفاء عنصر الصوديوم، مثل تثبيته في التكوينات الطينية. يبدو أن دورة التثبيت وإعادة الذوبان سريعة نظراً لحالة فوق التشبع العامة للمياه بثاني أكسيد الكربون، وخاصة في البيئات المغلقة حيث تكون درجات الحرارة مرتفعة وتزداد باستمرار بمياه الصرف الذي يمكن اعتباره المصدر الرئيسي للكلوريد . العلاقة بين العنصرين إيجابية ضعيفة بمقدار (Ca²⁺ = 0.0537 Cl⁻ - 3926.4 و R² = 0.2601) .

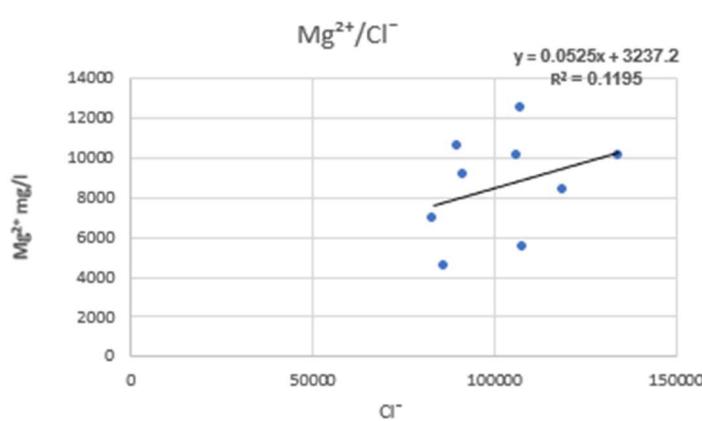


الشكل 67 : تركيز الكالسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمغم/لتر) وخط التطور النظري للحلول

3-1-2-3 (Mg²⁺- Cl⁻) المغنسيوم الكلور- الثنائية الكلور : (Mg²⁺- Cl⁻)

ترتفع تراكيز المغنيسيوم المذاب بالتوازي مع تراكيز الكلوريدات، بسبب التغذية المستمرة لسبخة بمياه الصرف التي تساهم في انخفاض في تركيز المواد الذائبة في مياه السبخة. عند التراكيز العالية، تبتعد النقاط عن خط التطور النظري للعنصر، مما يثبت طبيعته غير المحافظة الشكل 68 ومع ذلك، يبدأ هذا الظاهرة عند تراكيز أعلى من الكلوريدات مقارنة بالكالسيوم. من غير المحتمل أن تتدخل العمليات البيولوجية بشكل كبير في تنظيم عنصر المغنيسيوم المذاب. من ناحية، تعتبر تكوين الدولوميت أو التفاعلات الأيونية مع العناصر الأخرى التي تعتبر من التفاعل الأكثر أهمية الذي يؤثر على تغيرات تراكيز المغنيسيوم. ومن ناحية أخرى، قد تكون التغيرات في نسب المغنيسيوم ناتجة عن التوزيع غير المتجانس للكلوريد والمغنيسيوم بسبب التبخر والتراكم المتفاوتة لمصادر تغذية للسبخة .

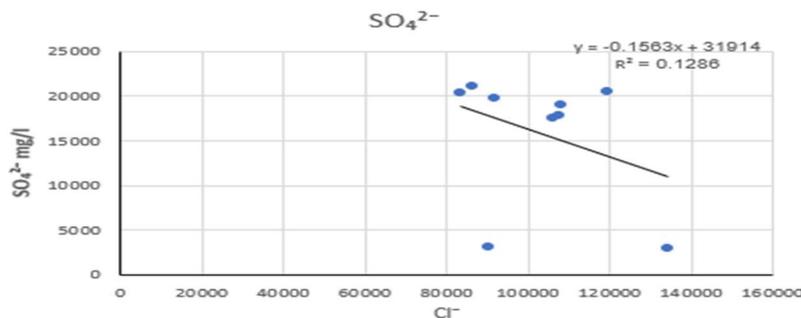
العلاقة بين Mg²⁺ و Cl⁻ تظهر ارتباطًا إيجابيًا حيث ($R^2 = 0.1195$ و $Mg^{2+} = 0.0525 Cl^- + 3237.2$) هذه العلاقة تظهر إثناء العينات المائية المحللة مقارنة بخط المزيج. يمكن أن يكون هذا الإثراء ناتجًا عن ذوبان الدولوميت والتغذية المستمر بمياه الصرف .



الشكل 68 : تركيز المغنيسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمجم/لتر) وخط التطور النظري للحلول

4-1-2-3 (SO₄²⁻ - Cl⁻) البياني الثنائية (SO₄²⁻ - Cl⁻)

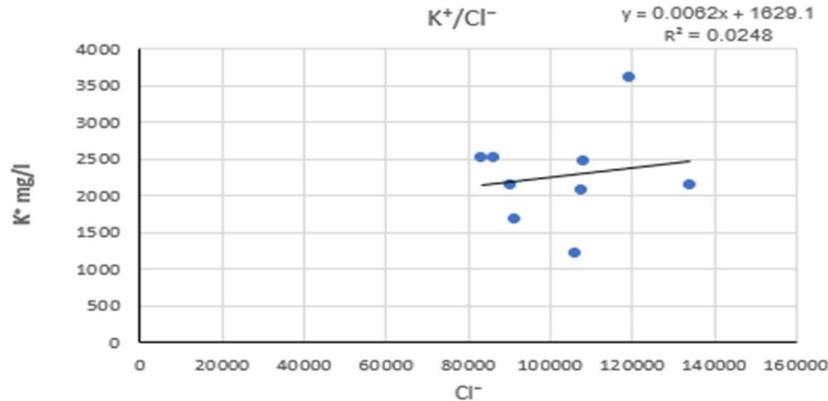
تنظيم الكبريتات الجيوكيميائي هو الأكثر تعقيدًا في التفسير. يعتبر تتبع الخط الذي يمثل تطور الحلول النظرية أمرًا مشكلًا لأن كلوريدات وكبريتات لا تكون في ذروة تخفيفها في نفس الوقت . تحتمل زيادة نقاط الكبريتات بوجود الصخور التبخيرية على الحدود وفي الصخور الجبسية . عمومًا، يكون نسبة SO₄/Cl في مياه البحيرات منخفضة (0.16 في المتوسط) بسبب تصريف الأراضي الذي يزيل الكلور بشكل أسهل من الكبريتات و ، مما يترك أقل كمية للذوبان في المياه السطحية. التبخر يركز الكلور أكثر من الكبريتات التي تمتلك قابلية الذوبان ضعيفة نسبيًا. بالإضافة إلى ذلك، هذه النسبة لا تبدو تعتمد على طبيعة التضاريس بالنسبة للصخور الجبسية والصخور الملحية باستثناء الحالات الفردية. وتتأثر بشكل أساسي بالعمليات الثانوية: الاختزال للكبريتات من قبل الكائنات الحية المرتبطة بالمادة العضوية والتغذية المستمرة بمياه الصرف ، فضلاً عن التراكيز بواسطة التبخر أو التحلل. ولهذا السبب، يميل هذا التناسب إلى الانخفاض. تظهر العلاقة بين الكبريتات والكلوريدات ارتباطًا إيجابيًا ضعيف ($R^2 = 0.1286$ و $SO_4^{2-} = -0.1563 Cl^- + 31914$) شكل 69 .



الشكل 69 : تركيز الكبريتات المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالمجم/لتر) وخط التطور النظري للحلول .

5-1-2-3 (الرسم البياني الثنائية (K⁺ - Cl⁻) :

يُظهر الشكل 70 فقداناً صافياً متوسطاً طيلة فترة الدراسة , للعنصر عبر طرق أخرى غير المائية. تفسر العمليات الجيوكيميائية، مثل تكوين الإليت وخاصة تكوين مونتموريلونيتات البوتاسيوم (2(Si4O10)(OH)2.nH2O(K,Na)(Al,Mg)) من مونتموريلونيتات الكالسيوم Ca0.2-0.3(Si,Al)4O10(OH)2.nH2O بتبادل بسيط بين Ca²⁺ و K⁺، استهلاك البوتاسيوم. وتكون ثبات العنصر عن طريق الطرق الحيوية ضعيفاً. العلاقة بين البوتاسيوم (K⁺) والكلوريد (Cl⁻) تشير إلى ترابط إيجابي يكاد يكون معدوم حيث يُعبر عنه بالمعادلة $K^+ = 0.0062Cl^- + 1629.1$ ، مع معامل التحديد الارتباط $R^2 = 0.0248$.



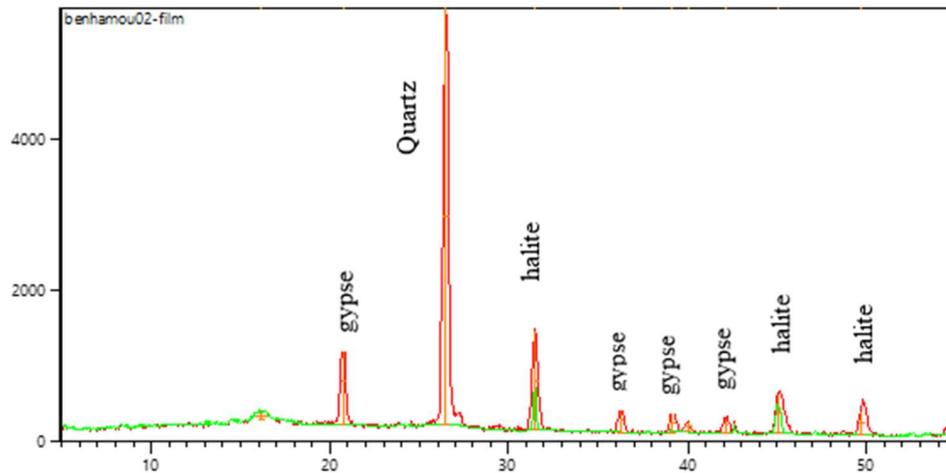
الشكل 70 : تركيز البوتاسيوم المذاب بالنسبة إلى تركيز الكلوريدات (بالملجم/لتر) وخط التطور النظري للحلول

4 تفسيرات تحليلات (DRX) :

تم اخذ عينة من الأملاح لتحقيق هدفين رئيسيين، وهما:

- توزيع العناصر الرئيسية في الأملاح التي تم أخذ عينات منها.
- التحاليل المعدنية باستخدام أشعة إكس لتحديد المراحل المعدنية المختلفة التي تترسب في سبحة سفون .

التحليل بواسطة حيود الأشعة السينية للأملح المأخوذة من العينة مأخوذة من سبحة سفون إلى وجود مجموعة من المعادن المترسبة تظهر تشير أطراف حيود الأشعة السينية للأملح المأخوذة من العينة مأخوذة من سبحة سفون إلى وجود مجموعة من المعادن المترسبة تظهر التحاليل وجود الهاليت، وهو ملح شائع يتكون من كلوريد الصوديوم (NaCl) ، والجبس، وهو معدن يتكون من كبريتات الكالسيوم المائية. (CaSO₄·2H₂O) بالإضافة إلى ذلك، تظهر الأطياف وجود الكوارتز .



الشكل 71 : تحاليل (DRX) لعينة املاح في منطقة الدراسة

(5) المناقشة و الاستنتاجات :

خلصت الاستنتاجات التي تم التوصل إليها في نهاية هذا الفصل إلى تقييم المياه السطحية والجوفية في سبخة سفيون ، وهي واحدة من السبخات الشمالية الجزائرية (ورقلة - انقوسة) ، من خلال متابعة وتحليل زمني لعدد من المؤشرات الفيزيائية والكيميائية. تمتد القيم على مدار دورة أسبوعية في فترة (2024-03-25 الى 2024-05-21) ، وتشمل تغذية متواصلة من مياه الصرف ، تساقط كمية معتبرة من الامطار خلال فترة مذكورة سالفاً أثر على نتائج متحصل عليها .

أظهر التشخيص وجود حمولة معدنية كبيرة في هذه المنطقة الدراسية (سبخة سفيون) ، مما يعكس تأثير المناخ شبه الجاف مع التغذية المستمرة بمياه الصرف الصحي بشكل واضح. ومع ذلك، فإن هذه الحمولة الإجمالية ليست ثابتة بل تتغير مع مرور الوقت وفي الأماكن المختلفة. أظهرت نتائج تحليل المعايير الفيزيائية والكيميائية للعينات المأخوذة من هذه المنطقة الرطبة في منطقة انقوسة ، المعروضة في هذا الفصل، أنها سمحت لنا بتقييم جودة المياه و سلوكها مع مرور الزمن . أظهرت هذه النتائج عمومًا أن معايير الملوحة المسجلة في العينات ذات تمعدن عالي بمحتويات مرتفعة من الكلوريدات.

تُظهر الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه السبخة تغيرات موسمية واضحة، وقد تم توضيح ذلك من خلال سلوك العناصر الرئيسية وجميع بيانات تحديد المعايير الفيزيائية والكيميائية للمياه خلال دورة جيوكيميائية. ومع ذلك، فإن هذه النتائج تشكل خطوة في دراسة الأداء الجيوكيميائي للسبخة في هذه المنطقة. يُعتبر نطاق الحوض الصغير ضروريًا لفهم التوازنات الجيوكيميائية في المناطق الأوسع.

خاتمة عامة

أتاحت لنا دراسة الهيدرومناخية و الهيدروجيوكيميائية لسبخة سفيون الواقعة شمال انقوسة (مصب لكل من واد نساء و واد ميزاب) فهماً شاملاً للتطور الكمي والنوعي للمياه الجيوكيميائية في المنطقة. من خلال هذه الدراسة، توصلنا إلى النتائج التالية:

الدراسة الجيومورفولوجية للمنطقة: يمتد الحوض المائي على مساحة 80 كيلومتر مربع ويتخذ شكلاً دائرياً (يشبه الى حد ما صدفة المحار). تنقسم المنطقة إلى أربع وحدات جيومورفولوجية رئيسية: الحمادة، (الرق) ، السبخات، والكثبان الرملية. الدراسة الجيولوجية: التشكيلات الجيولوجية الرئيسية تعود إلى العصر الرباعي (Le Quaternaire) بسمك محدود، مما يشير إلى أن المنطقة تحتوي على تكوينات سطحية من طبيعة حطاميه وتبخريه ، مع استمرارية تأثير التعرية على معظم سطح الحوض، خاصة في المناطق ذات الانحدارات الشديدة والتي تفتقر إلى الغطاء النباتي.

البيانات المناخية للمنطقة: تتميز المنطقة بمناخ شبه جاف، حيث يبلغ متوسط الهطول السنوي للفترة (2003-2023) ب 28.79 ملم، ومتوسط درجة الحرارة السنوي 30.96 درجة مئوية. يبلغ متوسط التبخر الفعلي حوالي 2955 ملم في فترة (2004-2015) ،

متابعة كيمياء المياه السطحية في السبخات: كشفت متابعة كيمياء المياه السطحية في سبخة سفيون من فترات الزمنية (2024-03-25 الى 21-05-2024) عن مياه شديدة الملوحة

تحليل الرسوم البيانية المختلفة: أظهرت الرسوم البيانية أن الكلوريد هو العنصر السائد في المنطقة، مع وجود الكالسيوم أو المغنيسيوم في دورة عينات الجيوكيمياء. كما أظهرت التطورات الكيميائية مع مرور الوقت أن التراكيز العالية من الكبريتات والكالسيوم ترتبط بالتكوينات التبخرية أو الملحية مثل الجبس و نسبة تركيزها في مياه الصرف . تحتوي مياه سبخة سفيون على تراكيز لبعض العناصر الرئيسية مثل الكلوريد مقارنة ببعض السبخات الأخرى .

دراسة النظام التبخري لسبخة سفيون : أكدت أشعة الأشعة السينية وجود معادن تبخرية متنوعة بتدرجات متفاوتة. كما لوحظ وجود عالي لمعدن الهاليت في عينة ، مع تردد أقل للجبس.

قائمة المصادر

- (2008). BELKHIRA .C. المساهمة في دراسة ارتفاع مياه الطبقة الجوفية في منطقة ورقلة: نمذجة ديناميكية مائية للارتفاع. رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح- ورقلة.
- BELLAOUEUR.A. (2008): دراسة هيدروجيولوجية للمياه الجوفية في منطقة ورقلة التي تتعرض لارتفاع مياه الطبقة الجوفية وآفاق الحلول التخفيفية (الصحراء الشمالية الشرقية - الجزائر). رسالة ماجستير، جامعة باتنة
- LAMINI Abdellah (2012): دراسة جيوكيميائية ومعدنية للشطوط في منطقة الحجرية اجرة رسالة ماجستير، جامعة قاصدي مرباح، ورقلة.
- NESSON, C. (1978): تطور الموارد المائية في واحات الصحراء السفلى الجزائرية. في: بحث حول الجزائر، تحرير(CNRS ، الصفحات 7-100، باريس) .
- NEZLI, I. (2004): آليات اكتساب الملوحة والفلورة لمياه الطبقة الحاملة للمياه في وادي ميا السفلى (ورقلة). رسالة ماجستير، جامعة باجي مختار عنابة. .
- OSS (2003): النظام المائي للأكوفر الشمالي للصحراء، ورقلة. تقرير داخلي. ملاحق تونس، تونس.
- Mr. LAMINI Abdellah: دراسة جيوكيميائية ومعدنية مقارنة لسبخة نقوسة وشط بغداد في الحجرية (ورقلة) 2019 .
- بنعون موسى : رصد تطور ملوحة مياه تصريف منطقة ورقلة 2016.
- لأخضر مرابط : حساسية الصحراء المنخفضة وانعكاسات التدخل البشري مقارنة منطقتي واد ريغ وواد سوف الأسباب والنتائج 2005 .
- بيانات المناخ : <https://fr.tutiempo.net/climat/ws-605800.html>