رقم الترتيب:

رقم التسلسل:

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الشهيد حمة لخضر الوادي

كلية علوم الطبيعة والحياة

قسم البيولوجيا

مذكرة تخرج

لنيل شهادة ماستر أكاديمي

ميدان : علوم الطبيعة وحياة

شعبة: علوم بيولوجية

تخصص: التنوع الحيوي وفيزيولوجيا النبات

الموضوع

فعالية الري بالمياه الجوفية الساخنة في الخصائص الفيزيولوجية والفيتوكيميائية لنبات النعناع المائي Mentha aquatica والنعناع الجبلي Mentha longifolia ،ونبات البوقريبة Zygophyllum Cornutum .

من إعداد:

- ✓ **عماري إكرام**
- ✓ **عاشور حوى**

نوقشت يوم: 2025/06/00 من طرف لجنة المناقشة:

مسلوب أحلام	أستاذ مساعد (أ)	رئيسا	جامعة الوادي
بن قدور منية	أستاذ مساعد (أ)	ممتحنا	جامعة الوادي
غمام عمارة الجيلاني	أستاذ محاضر (أ)	مؤطرا	جامعة الوادي

الموسم الجامعي: 2025/2024

شكر والتقدير

بسم الله الرحمن الرحيم

«وَقُلِ ٱعۡمَلُواْ فَسَيَرَى ٱللَّهُ عَمَلَكُمۡ وَرَسُولُهُۥ وَٱلۡمُؤۡمِنُونَ»

الحمد لله حمداً كثيراً طيباً مباركاً فيه كما يحب ربنا ويرضى، والصلاة والسلام على خير الأنام نبينا محمدٍ صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

نحن الطالبتان إكرام عماري وعاشور حوى نتقدم بأسمى كمات الشكر والعرفان إلى والدينا الأعزاء، وإلى أهلنا وإخوتنا الكرام، على ما قدموه لنا من دعمٍ مادي ومعنوي، وما بذلوه من جهدٍ خفيّ وصبرٍ كريم طوال مسيرتنا الدراسية، فكنتم لنا خير سندٍ وعونٍ بعد الله عز وجل.

ولا يفوتنا أن نعبر عن عميق امتناننا لرفيق الدرب الذي كان إلى جانبنا في كل خطوة، ولكل أصدقائنا الأوفياء الذين شاركونا لحظات التعب والإنجاز، وكانوا لنا عونًا بالكلمة الطيبة والدعاء الصادق والتشجيع الدائم.

كما نتوجه بخالص التقدير وعظيم الامتنان إلى أستاذنا الفاضل ومؤطرنا الكريم الدكتور عمارة غمام الجيلاني، على ما بذله من وقتٍ وجهدٍ وما قدمه لنا من توجيهاتٍ قيّمة وملاحظاتٍ بنّاءة ساعدتنا في إنجاز هذه المذكرة وإخراجها في أبهى حُلّة.

نسأل الله تعالى أن يجزيه خير الجزاء، وأن يبارك له في علمه وعمله، وأن يوفقه لمزيدٍ من العطاء والتميز.

وأخيراً، جزيل الشكر والعرفان موصول لكل من مدّ لنا يد العون وساندنا بكلمةٍ أو نصيحةٍ أو تشجيع، ولكل من كان له أثر في إتمام هذا العمل المتواضع.

جزاكم الله عنا خير الجزاء ووفقنا وإياكم لما يحب ويرضى.

المخلص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم فعالية الري بالمياه الجوفية الساخنة على مجموعة من الخصائص الفيزيولوجية والفيتوكيميائية في ثلاثة نباتات طبية شائعة هي: النعناع المائي(Mentha aquatica) ، النعناع الجبلي(*Mentha longifolia*) ، ونبات البوقريبة (Zygophyllum Cornutum)، في ظل الظروف البيئية القاسية التي تميز المناطق الجافة كمنطقة وادي سوف جنوب الجزائر.

تم تطبيق معاملتين ري مختلفة (ماء جوفي ساخن(50°م)، ماء جوفي ساخن مبرد(30°م)) على النباتات المدروسة، ثم جرى قياس مجموعة من المؤشرات الفيزيولوجية والبيوكيميائية، أبرزها: محتوى الكلوروفيل، المحتوى المائي، السعة الخلوية، المردود، عديدات الفينول، الفلافونويدات، التانينات، والفاعلية المضادة للأكسدة (باستخدام DPPH وFRAP).

كشفت النتائج عن فروقات معنوية بين المعاملات، حيث أظهر الري بالماء الجوفي الساخن المبرد تأثيرًا إيجابيًا على معظم المؤشرات المدروسة مقارنة بالمعاملات الأخرى، مما يعكس دور التعديل الحراري في تحسين استجابة النبات وتقليل تأثير الإجهاد. بالمقابل، سُجل تراجع في بعض المؤشرات تحت تأثير الري المباشر بالماء الساخن، مما يدل على وجود تأثير حراري ضار في حال عدم التبريد.

وقد أظهرت الاختبارات الإحصائية (تحليلANOVA متبوعا باختبار اقل فرق معنويLSD) وجود فروقات ذات دلالة احصائية، مع تأكيد وجود تباين في الاستجابة بين الأنواع النباتية الثلاثة، مما يدل على اختلاف في التحمل البيوكيميائي والفيزيولوجي.

توصلت الدراسة إلى أن استغلال المياه الجوفية الساخنة بعد تبريدها يمكن أن يمثل بديلًا مستدامًا في الري الزراعي بالجنوب الجزائري، مع الحفاظ على جودة الإنتاج النباتي، خصوصًا في ظل التحديات المناخية الحالية وشح الموارد السطحية.

الكلمات المفتاحية: المياه الجوفية الساخنة؛ الكلوروفيل؛ المركبات الفيتوكيميائية؛ النعناع المائي؛ النعناع الجبلي؛ البوقريبة .

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of irrigation using hot groundwater on a range of physiological and phytochemical characteristics in three common medicinal plants: water mint (*Mentha aquatica*), mountain mint (*Mentha longifolia*), and *Zygophyllum cornutum*, under the harsh environmental conditions typical of arid regions such as the Wadi Souf area in southern Algeria.

Two irrigation treatments (hot groundwater (50°C) and cooled hot groundwater (30°C) were applied to the studied plants. Various physiological and biochemical indicators were then measured, including chlorophyll content, water content, cellular water capacity, yield, total polyphenols, flavonoids, tannins, and antioxidant activity (using DPPH and FRAP assays).

The results revealed significant differences between the treatments. Irrigation with cooled hot groundwater showed a positive effect on most of the indicators compared to direct hot groundwater irrigation, highlighting the role of thermal adjustment in improving plant response and mitigating stress impacts. Conversely, a decline in certain indicators was observed under direct hot water irrigation, indicating a potentially harmful thermal effect in the absence of cooling.

Statistical analyses (ANOVA followed by the Least Significant Difference (LSD) test) confirmed statistically significant differences and revealed variability in responses among the three plant species, demonstrating differences in biochemical and physiological tolerance.

The study concludes that using hot groundwater after cooling may represent a sustainable alternative for agricultural irrigation in southern Algeria, helping to maintain the quality of plant production, especially in light of current climate challenges and limited surface water resources.

Keywords: hot groundwater; chlorophyll; phytochemical compounds; water mint; mountain mint; Zygophyllum cornutum.

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'efficacité de l'irrigation avec de l'eau souterraine chaude sur un ensemble de caractéristiques physiologiques et phytochimiques de trois plantes médicinales courantes : la menthe aquatique (Mentha aquatica), la menthe des montagnes (Mentha longifolia) et le Zygophyllum cornutum, dans les conditions environnementales difficiles qui caractérisent les régions arides comme la région de Ouargla au sud de l'Algérie.

Deux traitements d'irrigation différents (eau souterraine chaude(50°C), eau souterraine chaude refroidie(30°C)) ont été appliqués aux plantes étudiées. Un ensemble d'indicateurs physiologiques et biochimiques a ensuite été mesuré, notamment : la teneur en chlorophylle, la teneur en eau, la capacité hydrique cellulaire, le rendement, les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins et l'activité antioxydante (DPPH et FRAP).

Les résultats ont révélé des différences significatives entre les traitements, l'irrigation avec de l'eau souterraine chaude refroidie ayant montré un effet positif sur la plupart des indicateurs étudiés par rapport à l'irrigation directe à l'eau chaude, ce qui met en évidence le rôle de la modification thermique dans l'amélioration de la réponse des plantes et la réduction de l'impact du stress. En revanche, une diminution de certains indicateurs a été enregistrée sous l'effet de l'irrigation directe avec de l'eau chaude, indiquant un effet thermique potentiellement nocif en l'absence de refroidissement.

Les tests statistiques (analyse ANOVA suivie du test de la plus petite différence significative, LSD) ont montré des différences statistiquement significatives, confirmant une variation de la réponse entre les trois espèces végétales, ce qui indique une différence dans la tolérance biochimique et physiologique.

L'étude conclut que l'exploitation des eaux souterraines chaudes après refroidissement peut représenter une alternative durable pour l'irrigation agricole dans le sud de l'Algérie, tout en préservant la qualité de la production végétale, notamment face aux défis climatiques actuels et à la rareté des ressources superficielles.

Mots-clés : eaux souterraines chaudes ; chlorophylle ; composés phytochimiques ; menthe aquatique ; menthe des montagnes ; Zygophyllum cornutum.

الفهرس

شكر وعرفـــان .....

المخلص.. .....

الفهرس.....

قـــائمة الجداول.....

قـــائمة الوثائق.....

قـــائمة الملاحق.....

قائمة المختصرات .....

مقدمة..... 1

الجزء النظري

الفصل الأول: عموميات حول النباتات المدروسة

I.النعناع المائي: (Mentha aquatica) 5

1. التعريف:..... 5

2. تصنيف نبات النعناع المائي (Mentha aquatica) : 5

3. الوصف المرفولوجي للنعناع المائي (Mentha aquatica): 6

4. الاحتياجات البيئية والزراعية لنبات (Mentha aquatica) :..... 7

II. النعناع الجبلي:(Mentha longifolia) 8

1. التعريف:..... 8

2. أصل نبات النعناع الجبلي(Mentha longifolia) :..... 8

3. التصنيف العلمي: 8

4. الوصف المرفولوجي للنعناع الجبلي (Mentha longifolia):..... 9

5. الاحتياجات البيئية والزراعية للنعناع الجبلي:..... 10

III. نبات البوقريبة (Zygophyllum Cornutum):..... 10

1. التعريف:..... 10

2. التسمية وأهم الميزات:..... 11

3. التصنيف العلمي: 12

4. الوصف المورفولوجي لنبات البوقريبة: 12

5. الاحتياجات البيئية والزراعية:..... 13

IV. تأثير العوامل المناخية على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنباتات: 13

1. الضوء:..... 13

2. الارتفاع عن سطح البحر: 13
3. التربة: 13
4. الحرارة: 14
5. الماء: 14
6. درجة حرارة الماء: 15

الفصل الثاني: دراسة خصائص المياه الجوفية والمياه الجوفية الساخنة

I. دراسة خصائص المياه الجوفية: 17
1. المياه الجوفية: 17
2. خصائص المياه الجوفية 17
3. طبقات المياه الجوفية: 18
1.3.طبقات المياه الجوفية غير المحصورة (الضحلة): 18
2.3.طبقات المياه الجوفية المحصورة: 18
3.3.طبقات المياه الجوفية شبه المحصورة (المتوسطة أو المتسربة): 19
II. دراسة خصائص المياه الجوفية الساخنة: 19
1. المياه الجوفية الساخنة: 19
2. أصل المياه الساخنة: 20
3. العناصر المعدنية الأساسية: 21
4. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية الساخنة: 22
5. ملائمة المياه الحرارية الأرضية للري: 23
6. التاثيرات الفيزيائية والكيمائية للمياه الجوفية الساخنة على النبات: 24
1.6.التأثيرات الفيزيائية: 24
2.6.التأثيرات الكيميائية: 25

الجزء التطبيقي

الفصل الأول: المواد المستعملة والطرق المتبعة

1.الموقع الجغرافي لمنطقة وادي سوف: 28
2.العينات النباتية المدروسة: 28
3.تصميم التجربة وإظهار المعاملات: 29
4.الدراسة الفيزيولوجية للمادة النباتية: 30
1.4.تقدير الكلوروفيل: 30
2.4.تقدير المحتوى المائي: 30

3.4.تقدير السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي:..... 31
5.الدراسة الفيتوكيمائية للمادة النباتية:..... 32
1.5.تحضير المستخلص الميثانولي: 32
2.5.حساب المردود:..... 33
3.5.تحضير المستخلص: 33
4.5.التقدير الكمي لعديدات الفينول:..... 34
5.5.التقدير الكمي للفلافونويدات:..... 34
6.5.التقدير الكمي للتانينات:..... 35
6.تقدير الفاعلية المضادة للأكسدة:..... 36
1.6.اختبار الجذر الحر DPPH:..... 36
2.6.اختبار القدرة الارجاعية للحديد FRAP: 37

الفصل الثاني: النتائج والمناقشة

1.التقديرات الفيزيولوجية:..... 42
1.1.تقدير الكلوروفيل:..... 42
2.1.تقدير المحتوى المائي:..... 44
3.1.تقدير السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي:..... 44
2.التقديرات الفيتوكيميائية:..... 46
1.2.المردود:..... 46
2.2.التقدير الكمي لعديدات الفينول:..... 47
3.2.التقدير الكمي للفلافونويدات:..... 48
4.2.التقدير الكمي للتانينات:..... 49
3.تقدير الفاعلية المضادة للأكسدة:..... 51
1.3.اختبار الجذر الحر DPPH:..... 51
2.3.اختبار القدرة الارجاعية للحديد FRAP: 56
الخاتمة..... 63
قائمة المصادر والمراجع..... 65
الملاحـــــــق..... 81

قـــائمة الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	رقم الصفحة
01	التصنيف العلمي لنبات النعناع المائي (Mentha aquatica)	6
02	التصنيف العلمي لنبات النعناع الجبلي (*Mentha longifolia*)	9
03	التصنيف العلمي لنبات البوقريبة	12
04	المعاملات	31

قـــائمة الوثائق

رقم الوثيقة	عنوان الوثيقة	رقم الصفحة
01	النعناع المائي (Mentha aquatica)	5
02	السمات المورفولوجية لنبات للنعناع المائي (Mentha aquatica)	7
03	نبات النعناع طويل الورقة (*Mentha longifolia*)	8
04	نبات البوقريبة Zygophyllum album	11
05	الشكل التخطيطي لنبات Zygophyllum album	12
06	آلية تكوّن خزان جوفي غير محصور	17
07	طبقات المياه الجوفية	19
08	الموقع الجغرافي لمنطقة الوادي	28
09	جهاز SPAD-502Plus	31
10	مخطط يوضح أهم المراحل الضرورية لإستخلاص مواد الأيض الثانوي	33
11	المنحنى القياسي لحمض الغاليك	35
12	المنحنى القياسي للمحلول القياسي الكرستين	36
13	المنحنى القياسي للمحلول القياسي الكاتشين	37
14	المنحنى القياسي لمحلول حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار الجذر الحر DPPH	38
15	المنحنى القياسي لمحلول حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار الFRAP	39
16	أعمدة بيانية تمثل نسب متوسط محتوى الكلوروفيل لكل من نبات النعناع المائي Mentha aquatica والنعناع الجبلي *Mentha longifolia*	42
17	أعمدة بيانية تمثل نسب محتوى المائي لكل من نبات النعناع المائيMentha aquatica والنعناع الجبلي *Mentha longifolia*	43
18	أعمدة بيانية تمثل نسب السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي لكل من نبات النعناع المائي Mentha aquatica والنعناع الجبلي *Mentha longifolia*	44
19	مخطط يوضح نسبة مردود المستخلصات الميثانولية المدروسة	46
20	التقدير الكمي للمحتوى الكلي لعديدات الفينول في المستخلص الخام للعينات النباتية المدروسة	47

21	التقدير الكمي لمحتوى الفلافونويدات الكلية في المستخلصات النباتية المدروسة	48
22	التقدير الكمي لمحتوى التانينات في المستخلصات النباتية المدروسة	49
23	المنحنى القياسي لحمص الاسكوربيك المعتمد في اختبار الجز الحر DPPH	51
24	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن.	51
25	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن المبرد.	52
26	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع المائي المسقي بالماء العادي	52
27	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء العادي	52
28	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد	53
29	منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد	53
30	قيم IC50 المثبطة لـ 50% من الجذر الحر DPPH للمستخلصات النباتية المدروسة ، وحمض الأسكوربيك	54
31	المنحنى القياسي لتغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار القدرة الارجاعية للحديد. FRAP	56
32	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن	57
33	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن المبرد	57
34	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع المائي المسقي بالماء العادي	58
35	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء العادي	58

36	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد	59
37	منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد	59
38	قيم EC50 المرجعة لـ 50% من الحديد للمستخلصات النباتية المدروسة وحمض الأسكوربيك	60

قائمة المختصرات

MA/S: نعناع مائي مسقي بالماء الساخن

MA/C: نعناع مائي مسقي بالماء الساخن المبرد

ML/S: نعناع جبلي مسقي بالماء الساخن

ML/C: نعناع جبلي مسقي بالماء الساخن المبرد

ZC/S: بوقريبة مسقي بالماء الساخن

ZC/C: بوقريبة مسقي بالماء الساخن المبرد

DPPH: 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (اختبار مضاد للأكسدة)

FRAP: Ferric Reducing Antioxidant Power (القدرة الارجاعية للحديد)

LSD: أقل فرق معنوي(Least Significant Difference)

ANOVA: تحليل التباين الأحادي(Analysis of Variance)

IC50: التركيز المثبط بنسبة 50%

UV-Vis: مطياف الامتصاص فوق البنفسجي-المرئي

E AG/mg: Acide Gallique Equivalent par milligramme

ECA/mg: Catéchine Equivalent par milligramme

EQU/mg: Quercitine Equivalent par milligramme

AlCl3: Aluminiumchloride

TCA: d'acide trichloracétiques

WC%: المحتوى المائي

RWC%: المحتوى الرطوبي للسعة الخلوية

MF: كتلة العينة الطازجة

MS: كتلة العينة الجافة

MT: كتلة العينة بعد الغمر

%R: نسبة المستخلص (Rendement)

PEB: وزن المستخلص الصافي

PMV: وزن المادة النباتية

%I: النسبة المئوية لتثبيط الجذر الحر

Ac: الامتصاصية المقاسة لـ DPPH في غياب المستخلص النباتي

As: الامتصاصية المقاسة لـ DPPH في وجود المستخلص النباتي

مـــقدمـــــة

مقدمة

تُعدّ النباتات الطبية من أقدم الموارد التي اعتمد عليها الإنسان، وقد شكّلت عبر العصور أساس الحياة الاقتصادية والاجتماعية في العديد من المجتمعات، خاصة تلك التي تعتمد بشكل مباشر على الموارد الطبيعية. ولا تُعدّ النباتات الطبية مجرد عناصر علاجية، بل تُعتبر جزءًا أساسيًا من نظام بيئي متكامل يشمل العلاقة التبادلية بين الإنسان، التربة، الماء، والنبات. وتُعدّ النباتات الطبية من أقدم الموارد العلاجية التي اعتمدت عليها البشرية منذ الحضارات القديمة مثل المصرية والهندية والصينية، ولا تزال إلى اليوم مصدرًا هامًا للعقاقير والأدوية، خاصةً في الطب البديل (الموصلي، 2016؛ المحمدي ونعمة، 2018). وتمتاز هذه النباتات باحتوائها على مركّبات كيميائية فعّالة تُستخدم في الصناعة الصيدلانية لتحضير الأدوية بأشكالها المختلفة، وتتميز بفعاليتها العالية وقلة تأثيراتها الجانبية مقارنةً بالعقاقير الكيميائية (فوزي، 1987؛ جندل، 2011؛) .(Farnsworth et al., 1986 كما أصبحت تمثل بديلًا استراتيجيًا للعديد من الأدوية التقليدية، وتحتل مكانة متزايدة في الإنتاج الزراعي والصناعات الحيوية كالدواء، التجميل والصناعات الغذائية، مما يجعلها ركيزة اقتصادية ذات قيمة مضافة في العديد من الدول المنتجة لها (غميض، 2019؛ حسام وعبد الله، 2017).

وفي السياق نفسه، تُشير دراسة أخرى إلى أن الفهم المعمق لبيولوجيا النبات، وخاصة العمليات الفيزيولوجية والفيتوكيميائية التي تحدث داخل أنسجته، يمثل خطوة جوهرية نحو تحقيق زراعة مستدامة. هذا الفهم لا يساعد فقط في تحسين إنتاجية المحاصيل، بل يساهم كذلك في تقليل الاعتماد على الأسمدة والمبيدات الكيميائية، مما ينعكس إيجابًا على صحة الإنسان والبيئة على حد سواء .(Bose, 2024) إذ كلما زادت معرفتنا بكيفية استجابة النبات للعوامل المحيطة به، كلما أصبح بالإمكان تطوير تقنيات زراعية أكثر فاعلية واستدامة، خاصة في ظل تحديات الظروف البيئية القاسية المتزايدة، وعلى رأسها الجفاف، وارتفاع درجات الحرارة، وتناقص الموارد المائية السطحية، التي تؤثر بشكل كبير على نمو النباتات وتطورها وإنتاجيتها (الطائي، 2020؛ جبور، 2007).

في ظل هذه الظروف، أصبح من الضروري البحث عن حلول بديلة ومستدامة لضمان استمرارية الإنتاج الزراعي، ومن بين أهم هذه البدائل استغلال الموارد المائية غير التقليدية، وعلى رأسها المياه الجوفية .(Karandish et al., 2025) وتتميز هذه المياه بتنوعها حسب مصدرها وعمقها وخصائصها الفيزيائية والكيميائية، إذ نجد منها المياه العذبة، والمالحة، والساخنة، وهي مياه غالباً ما ظلت غير مستغلة بالشكل الكافي رغم إمكانياتها الهامة.(Bloomfield et al., 2020)

ومن بين أنواع هذه المياه، تبرز المياه الجوفية الساخنة كخيار مثير للاهتمام، نظرًا لخواصها الفريدة التي قد تؤثر فيزيولوجيًا وفيتوكيميائيًا على النباتات، مما يفتح آفاقًا جديدة في مجال تحسين النمو النباتي تحت ظروف بيئية غير ملائمة.(Marais & Walter, 2019)

وبهدف تقييم مدى قدرة هذه المياه على تحسين أداء النباتات الطبية في ظل التغيرات المناخية وشح الموارد المائية، مما يُسهم في دعم الزراعة المستدامة في المناطق الجافة وشبه الجافة، جاءت هذه الدراسة لتبحث مدى فعالية الري بالمياه الجوفية الساخنة في التأثير على الخصائص الفيزيولوجية والفيتوكيميائية للنعناع المائي، النعناع الجبلي، والبوقريبة، في ظل ظروف بيئية قاسية ومحدودية الموارد المائية.

وتتضمن خطة العمل المحاور التالية:

أولًا: الجزء النظري، ويشمل:

الفصل الأول: عموميات حول النباتات المدروسة

- النعناع المائي *(Mentha aquatica)*
- النعناع الجبلي *(Mentha longifolia)*
- نبات البوقريبة *(Zygophyllum cornutum)*

الفصل الثاني: خصائص المياه الجوفية والجوفية الساخنة

ثانيًا: الجزء التطبيقي، ويشمل:

الفصل الأول: المواد وطرق العمل

الفصل الثاني: تحليل النتائج ومناقشتها

الجزء النظري

الفصل الأول

عموميات حول النباتات المدروسة

I. النعناع المائي: (*Mentha aquatica*)

1. التعريف:

يُعد النعناع المائي من النباتات المعمرة المائية المحبة للرطوبة، حيث ينمو طبيعيًا على ضفاف الأنهار، السواقي، والينابيع المائية، مما يجعله نباتًا متكيفًا مع البيئات الرطبة (Asadollah-Pour et al., 2021) . الوثيقة (1) توضح صورة للنعناع المائي

الوثيقة (1): النعناع المائي (*Mentha aquatica*) (Mozaffariane, 1996)

2. تصنيف نبات النعناع المائي (*Mentha aquatica*) :

ينتمي النعناع المائي (*Mentha aquatica*) إلى الفصيلة الشفوية Lamiaceae، وهو أحد الأنواع البرية المنتشرة في أوروبا وشمال إفريقيا وغرب آسيا، ويُعد من الأسلاف الوراثية الرئيسية للعديد من أنواع النعناع المزروعة، لاسيما النعناع الفلفلي (*Mentha × piperita*). أظهرت دراسات حديثة أن *M. aquatica* يتميز بتنوع وراثي كبير، يتجلى في اختلاف الصيغ الصبغية (معظم العينات كانت ثمانية أو متعددة الصيغة الصبغية)، وتباين ملحوظ في محتوى الزيوت العطرية، خاصة مركب المنثوفيوران (menthofuran). كما أن بعض عيناته أظهرت مقاومة نسبية لذبول الفرتيسيليوم، مما يجعله مورداً جينيًا هامًا في برامج تربية وتحسين النعناع التجاري. وقد تم تأكيد هذا التنوع من خلال استخدام علامات SSR الجزيئية، التي كشفت عن ثلاث مجموعات جينية رئيسية، إحداها مخصصة للنعناع المائي، مما يدل على وضوح هويته الوراثية وتميزه ضمن جنس Mentha. (Vining et al., 2019)

الجدول (01): التصنيف العلمي لنبات النعناع المائي(*Mentha aquatica*) (Corolla & Kupfer, 2019)

المملكة Kingdom	النباتات Plantae
الشعبة Phylum	كاسيات البذور *Magnoliophyta*
الصف Class	ثنائيات الفلقة *Magnoliopsida*
الرتبة Order	الشفويات *Lamiales*
العائلة Familly	الشفوية *Lamiaceae*
الجنس Genus	النعناع *Mentha*
النوع Sepecies	النعناع المائي *Mentha aquatica* L

3. الوصف المرفولوجي للنعناع المائي (*Mentha aquatica*):

يُعد *Mentha aquatica* نباتًا معمرًا جذريًا عطري الرائحة، يبلغ ارتفاعه حوالي 90 سم (Abbaszadeh et al., 2009). يمتلك جذعًا إما أخضر اللون أو مائلًا إلى الأرجواني، ويكون مغطى بزغب ناعم في بعض الأحيان أو أملس في أحيان أخرى. أوراقه بيضاوية الشكل، متقابلة، مسننة الحواف، يتراوح طولها بين 2 إلى 6 سم وعرضها من 1 إلى 4 سم، وتكون بلون أخضر، وقد يظهر عليها لون أرجواني في بعض الحالات. كما أن سطحها قد يكون مغطى بزغب أو ناعم حسب الظروف (Dai et al., 2015).

أما الجذور، فهي ليفية ومنتشرة على نطاق واسع في التربة. الزهور صغيرة الحجم، تنمو بكثافة على شكل تجمعات شبه كروية، أنبوبية الشكل، وتتدرج ألوانها من الوردي إلى الأرجواني. تبدأ فترة الإزهار في منتصف فصل الصيف وتستمر حتى نهايته(Malingré & Maasre, 1974; Chaker et al., 2014).

الوثيقة: (2) السمات المورفولوجية لنبات للنعناع المائي (*Mentha aquatica*)

(Nkosi, 2023)

4. الاحتياجات البيئية والزراعية لنبات (*Mentha aquatica*) :

النعناع المائي(*Mentha aquatica*) كغيره من أنواع النعناع، يحتاج إلى مجموعة من الظروف البيئية الدقيقة لضمان نموه الأمثل. من جهة الضوء، يُعد النبات حساسًا للفترة الضوئية , حيث أن زيادة مدة ذالإضاءة اليومية تُحفّز استطالة الأوراق وتزيد من إنتاج المادة الجافة، في حين أن فترات إضاءة قصيرة (أقل من 10 ساعات) أو درجات حرارة منخفضة أقل من 10 C تؤثر سلبًا على النمو ; GUY) 1971 in Hnatyszyn et Guais ; 1989), أما من حيث الحرارة، فإن النعناع يظهر استجابة واضحة للتغيرات الحرارية اليومية والموسمية، ويُفضل درجات حرارة معتدلة تتراوح بين 10 °C كحد أدنى و30 °C كحد أقصى، حيث تعطي هذه الأخيرة نموًا مثاليًا. وقد لوحظ أن النبات يدخل في حالة سكون شتوي طبيعي خلال الفترات الباردة، ما يدل على تأقلمه مع الطقس الموسمي(Mader, 2001) . ومن جهة التربة، فإن النعناع يمتلك جهازًا جذريًا سطحيًا نسبيًا، مما يستلزم زراعته في تربة خفيفة، غير مدموغة، جيدة التهوية والتصريف، وغنية بالمواد العضوية، ذات pH قريب من 5.5 .كما يُنصح بتجنب الترب شديدة الرطوبة التي قد تشجع على الإصابة بأمراض فطرية مثل الصدأ، وينبغي عدم إعادة زراعة نفس الأرض بالنبات نفسه قبل مرور 5 إلى 6 سنوات(Aumont ,1993) . أما من حيث الارتفاع، فيمكن زراعة النعناع في المرتفعات الرطبة المعتدلة حتى 900–1000 متر، أو في المناطق الجبلية المتوسطية بشرط توفر الري في فترات الجفاف الصيفي(Gilly, 1989)

II. النعناع الجبلي :(*Mentha longifolia*)

1. التعريف:

هو نبات عطري دائم ينتمي إلى الفصيلة الشفوية(Lamiaceae) ، وينتشر بشكل واسع في مناطق حوض البحر الأبيض المتوسط، وأوروبا، وأستراليا، وشمال إفريقيا. يُستخدم في الصناعات الدوائية والغذائية والتجميلية، وله مكانة بارزة في الطب الشعبي نظراً لخواصه المضادة للميكروبات، والمهدئة، والمنبهة، والمضادة للتقلصات (Mikaili et al., 2013), ويُستعمل تقليديًا لعلاج الصداع واضطرابات الجهاز الهضمي. تمثل الوثيقة (3) صورة للنعناع الجبلي .

الوثيقة (3): النعناع طويل الورقة (*Mentha longifolia*)

(Kelly J.Vet al,2016)

2. أصل نبات النعناع الجبلي(*Mentha longifolia*) :

يُعد النعناع الجبلي (*Mentha longifolia*) من الأنواع البرية العطرية المعمّرة التابعة لجنس *Mentha*، والذي يُصنف ضمن قسم *Mentha section*، من تحت فصيلة *Nepetoideae*التابعة للفصيلة الشفوية *Lamiaceae*. يتميز هذا النوع بتنوع وراثي واسع يشمل ما لا يقل عن 22 نويعًا والعديد من الأصناف المحلية، مما يجعله من أكثر أصناف النعناع البرية انتشارًا على المستوى العالمي. وقد أكد Panjeshahin et al. (2018) هذا التنوع من خلال دراسة للتباين المورفولوجي والوراثي لنويع *Mentha longifolia subsp. noeana* في جنوب وجنوب شرق إيران، حيث

أظهرت النتائج وجود اختلافات ملحوظة بين العينات المدروسة تعكس تكيّفها البيئي وقدرتها على التوطن. كما توصّل Vining et al. (2022) من خلال تحليل جينومي عالي الدقة إلى توصيف التركيب الصبغي الكامل لهذا النوع، مؤكدين دوره كأساس وراثي لأنواع هجينة مهمة مثل *Mentha × spicata* و*Mentha × piperita*، وذلك بفضل قابليته العالية للتهجين وتوزيعه الواسع في البيئات المعتدلة وشبه القاحلة.

3. التصنيف العلمي:

ويُصنَّف هذا النوع وفق النظام العلمي التالي، كما هو موضح في الجدول أدناه:

الجدول (02): التصنيف العلمي لنبات النعناع الجبلي *(Mentha longifolia)*: (Ahrar., 2016).

المملكة	النباتية	*Plantae*	*Kingdom*
القسم	كاسيات البذور	*Mangnoliophyta*	*Division*
الصف	ثنائية الفلقة	*Mangnoliopsida*	*Class*
الرتبة	الشفويات	*Lamiales*	*Order*
العائلة	الشفوية	*Lamianae*	*Family*
الجنس	النعناع	*Mentha*	*Genus*
النوع	الورقة الطويلة	*Longifolia L*	*Species*

4. الوصف المرفولوجي للنعناع الجبلي (*Mentha longifolia*):

يتميز النعناع طويل الورقة برائحة لطيفة وخفيفة تُشبه رائحة الفواكه. ينمو من جذور أرضية زاحفة تُعرف بالريزومات، تساعده على الانتشار بثبات في التربة، وقد يصل ارتفاع النبات إلى حوالي 90سم. السطح الخارجي للساق أخضر مائل للبياض، ويغطيه كثافة من الأوبار (الشعيرات)، كما تظهر الأوراق بشكل متقابل على طول الساق. الأوراق ذات تعريق شبكي واضح، حيث تكون العروق بارزة في الجهة السفلية وغائرة نسبيًا في الجهة العلوية.

أما من حيث اللون والملمس، فالسطح العلوي للورقة يميل إلى الأخضر الرمادي ومغطى بزغب خفيف، بينما السطح السفلي يكون مصفرًا مبيضًا .قمة الورقة مدببة، في حين أن قاعدتها قلبية أو شبه قلبية .

وتتميز حواف الأوراق بكونها متموجة في النصف السفلي، ومسننة بشكل غير منتظم في النصف العلوي . (Harley et Brighton, 1977)

5. الاحتياجات البيئية والزراعية للنعناع الجبلي:

يُعد النعناع الجبلي (*Mentha longifolia*) من النباتات ذات الرائحة القوية والاستخدامات المتعددة، مما يجعله خيارًا جيدًا للزراعة في الحدائق. ويتميز بسهولة نموه، إذ يتطلب نفس الظروف البيئية التي تحتاجها معظم أنواع النعناع الأخرى.

يُعرف هذا النبات بسرعة نموه وقدرته على الانتشار عبر المدادات الأرضية، حيث يمكن أن يختفي من مكان ويظهر في أماكن جديدة تتوفر فيها ظروف مناسبة. يحتاج النعناع إلى تربة غنية بالمواد العضوية، ويُفضل المواقع المشمسة أو شبه المظللة، كما أنه من النباتات المحبة للماء والعناصر المغذية.

يزرع النعناع بنجاح في أوعية زراعية، مما يتيح التحكم في انتشاره، ولكن يُنصح بإعادة زراعته كل عام أو عامين في تربة جديدة غنية بالكمبوست. ويوصى بوضع الوعاء تحت مصدر للماء مثل الصنبور، للاستفادة من تسربات المياه في الحفاظ على رطوبة التربة. لتحفيز النمو الجديد والطازج، يُفضل تقليم النعناع بانتظام. كما أن إكثاره سهل للغاية، سواء بتقسيم الجذور أو بزراعة أجزاء صغيرة من الجذور الصحية، حيث تنمو بسرعة عند توافر الماء والمواد العضوية. كذلك، يمكن إكثاره عن طريق العقل، إذ تتجذر البراعم النامية بسهولة خلال جميع فصول السنة (Van der Walt, 2004).

III. نبات البوقريبة (*Zygophyllum Cornutum*):

IV. حليس ي. 2005 الوسوعة النباتية لمنطقة سوف ، النباتات الصحراوية الشائعة في منطقة العرق الشرقي الكبير. الطبعة الأولى، ص 182.

1. التعريف:

ينتمي نبات البوقريبة إلى عائلة الرطراطية، والتي تضم حوالي 27 إلى 28 نوعًا، معظمها من الشجيرات أو الأعشاب، ونادرًا ما تشمل أشجارًا (مصباحي ,2025). تنتشر أنواع هذه العائلة في المناطق الاستوائية والدافئة، إلا أن الغالبية منها تتأقلم مع البيئات القاحلة مثل الصحارى.

تتميز نباتات هذه العائلة بالخصائص التالية:

- أوراقها بسيطة أو ريشية، وتتوزع إما بشكل متقابل أو متناوب (يوسف ,2005)

- النورات تظهر في مواضع إبطية أو طرفية.
- الأزهار خنثى غالبًا، وتحتوي في العادة على عشر أسدية.
- المبيض يتكون من 4 إلى 5 كرابل، ويحتوي على بويضات متعددة داخل كل حجيرة.

(Kipling ,1910)

تُعد هذه النباتات معمّرة في أغلبها، مع استثناءات قليلة. وقد كشفت الدراسات التشريحية لأعضاء نباتات من جنس الرطريط عن خصائص تشريحية مميزة، تشمل: شكل المقطع العرضي للساق والورقة، ونمط انتظام النسيج الوعائي داخل الورقة، إلى جانب صفات تشريحية ثانوية أخرى (ناهد مراد ,2006).

الوثيقة (4): نبات البوقريبة *Zygophyllum Cornutum* (حليس ,2005)

2. التسمية وأهم الميزات:

- **الاسم العلمي:** *Zygophyllum Cornutum*
- **الاسم الشائع:** بوقرباية، ويدعى agga أو aggaia
- **الموطن:** المناطق الجافة والمناطق المالحة وقليل الرطوبة
- **التوزيع:** منتشر في الصحراء الشمالية
- **التزهير:** شهر مارس وأفريل (مصباحي ,2025).

3. التصنيف العلمي:

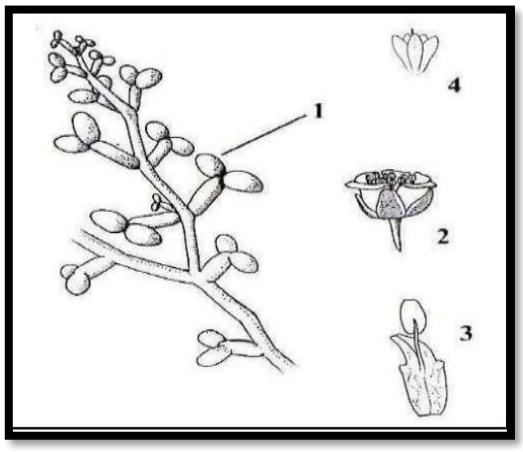
الجدول (03): يمثل التصنيف العلمي لنبات البوقريبة (BENHAMMOU; 2012)

المستوى التصنيفي	الاسم التصنيفي
المملكة	النباتات
الشعبة	Spermaphytes نباتات الذرية
تحت الشعبة	Angiospermes مغلفات البذور
الرتبة	Zygophyllale
العائلة	Zygophyllaceae
الجنس	Zygophyllum
النوع	Zygophyllum album L

4. الوصف المورفولوجي لنبات البوقريبة:

هي شجيرات شبه نادرة وتعد من النباتات الشائعة في المناطق الصحراوية ونخص بذكر وادي سوف صغيرة كثيرة التفرع، الأوراق منتفخة، خضراء باهتة، تغطيها طبقة من الشعيرات أو الحراشف البيضاء والتي تظهر مثل الغبار، وعند بلوغ الأوراق يتحول لونها إلى الأصفر أو البرتقالي ولا تلبث أن تسقط الأزهار بيضاء صغيرة وحجمها قريب من حجم الأوراق وتعطي عند البلوغ ثمارا خماسية الفصوص ملحومة عند قاعدتها بمستدق في الجزء العلوي، كما تتميز سداتها بخيط واسع وعريض من جزئها السفلي (Quezel et Santa , 1962)

1. **أوراق البوقريبة هي أوراق مركبة من وريقتين لحميتين.**
2. **الزهرة.**
3. **السداة 1 تتميز بخيط واسع وعريض في جزئها السفلي.**
4. **يمكن تمييز الأنواع المختلفة بواسطة الثمار.**



الوثيقة (5): يوضح الشكل التخطيطي لنبات Zygophyllum album (يوسف ,2005)

5. الاحتياجات البيئية والزراعية:

ينتمي نبات البوقربية إلى مجموعة النباتات العصارية التي أظهرت قدرة عالية على التكيّف مع البيئات القاسية، خاصة في المناطق ذات التربة المالحة والجافة. يتميز هذا النبات بقدرته على تخزين الماء داخل أنسجته، مما يتيح له مقاومة الإجهاد الناتج عن الجفاف وارتفاع ملوحة التربة. وقد أثبتت ملاحظات بيئية أن البوقربية قادر على النمو في تربة ذات محتوى مائي منخفض يصل إلى 5.5% في الطبقة العلوية، كما يتحمل مدى واسعًا من الكربونات في التربة يتراوح بين 1.5% و31.5%. إضافة إلى ذلك، فإن توزّع هذا النبات في الموائل الطبيعية يرتبط ارتباطًا وثيقًا بالتركيب الكيميائي للتربة، مما يعكس اعتماده على خصائصها الفيزيائية والكيميائية في تحديد مدى انتشاره واستقراره (مصباحي ,2025).

V. تأثير العوامل المناخية على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للنباتات:

تتأثر النباتات الطبية بالعوامل المناخية والبيئية، حيث تظهر استجابات فيزيولوجية وكيميائية نتيجة التغير في هذه العوامل، مثل انخفاض المواد الفعالة أو تراجع البناء الضوئي والتنفس. وقد تختلف هذه التأثيرات باختلاف البيئة الإقليمية، فمثلًا نبات الخلة البلدي *Ammivisnaga* قد ينمو جيدًا في بيئة جديدة لكنه يفتقر إلى المادة الفعالة *Visnagin*، والتي تتوفر بتركيز مرتفع في بيئته الأصلية، مما يؤكد أهمية الظروف البيئية. وتُعد العوامل المباشرة مثل الماء، الحرارة، الرطوبة، والضوء من أبرز المؤثرات في نمو النباتات الطبية وتراكيبها الفيزيائية والكيميائية *(مجاهد، 2001؛ الشحات، 1986)* .

1. الضوء:

تُعد الإضاءة ضرورية لنمو النباتات، إذ تؤثر على البناء الضوئي وإنتاج المركبات الفعالة مثل الجليكوسيدات والزيوت العطرية، ويتباين تأثيرها حسب شدة الضوء وطول موجته *(فهمي وآخرون، 2003)* .

2. الارتفاع عن سطح البحر:

يُعد الارتفاع عن مستوى سطح البحر عاملًا مهمًا في إنتاج النباتات الطبية والعطرية، حيث تزداد نسبة المواد الفعالة عند زراعتها في الارتفاع المناسب، كما هو الحال مع الشاي الذي يُفضل زراعته بين 3000 و6000 قدم، وكذلك نباتات الراوند، الكينا، والكثيراء. *(فهمي وآخرون، 2003)*

3. التربة:

تُعد التربة من العوامل المهمة في زراعة النباتات الطبية، كونها مصدرًا للغذاء والماء والعناصر المعدنية الضرورية لنمو النبات. وتؤثر مكوناتها في نوع النبات ونسبة المواد الفعالة فيه، فمثلًا يرفع عنصر

النحاس من محتوى الفلافونويدات والجليكوسيدات في بعض النباتات. وتختلف التربة المناسبة باختلاف النبات؛ فبعضها يفضل التربة الرملية، وأخرى الطميية أو الجيرية.*(الشحات، 1986)*

4. الحرارة:

تُعد الحرارة من العوامل البيئية الرئيسية التي تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر على العمليات الفسيولوجية والتمثيل الغذائي في النبات(Wijesekera, 1991) ، حيث يؤدي انخفاض درجات الحرارة إلى زيادة إنتاج بعض المركبات الثانوية كالفينولات والأنثوسيانينات .(Ncube et al., 2012) كما يُلاحظ ارتفاع في محتوى حمض الكلوروجينيك في أشجار التفاح (*Malus domestica*) وزيادة تركيز البولي أمينات في نبات القمح (*Triticum aestivum*) استجابة للإجهاد الحراري الناتج عن البرودة (Akula & Ravishankar, 2011).

وفي المقابل، فإن ارتفاع درجات الحرارة يسهم في زيادة إنتاج الزيوت العطرية في نبات البابونج(*Matricaria chamomilla*) (Abdelmajeed et al., 2013)، ويؤدي كذلك إلى ارتفاع تركيز قلويد الكابسيسين في ثمار الشطة .(Voirin & Lebreton, 1972) في حين يُسجل انخفاض في محتوى القلويدات في نبات الداتورة) (*Datura*) هيكل وعبد الله، 1993)، وكذلك تراجع في نسبة الزيوت الطيارة في نبات (Moghaddam & Farhadi, 2015) *Ferula assa-foetida* .

5. الماء:

يُعد الماء من أبرز العوامل المؤثرة في نمو النباتات بشكل عام والنباتات الطبية بشكل خاص، حيث يؤدي دورًا محوريًا في العديد من العمليات الفسيولوجية والكيميائية داخل النبات. يعمل الماء كمذيب عام لمعظم المعادن الموجودة في التربة، مكونًا بذلك ما يُعرف بمحلول التربة، وهو الوسط الذي تنتقل من خلاله العناصر الغذائية إلى أنسجة النبات. كما يسهم في إذابة وتأيين الأملاح داخل الخلايا النباتية، مما يسهل حدوث التفاعلات الكيميائية الحيوية. إضافةً إلى ذلك، يحافظ الماء على امتلاء الخلايا النباتية، وهي حالة ضرورية لأداء وظائفها الحيوية بشكل سليم.

يلعب الماء أيضًا دورًا في تنظيم درجة حرارة النبات من خلال امتصاص الحرارة، كما يُعد أحد المواد الخام الأساسية في عملية التمثيل الضوئي. وعلى الرغم من أهميته، إلا أن الإفراط في الري قد يؤدي إلى انخفاض تركيز المواد الفعالة في بعض النباتات؛ فعلى سبيل المثال، أظهرت دراسات أن الري المستمر لنبات الحنظل يؤدي إلى زيادة المحتوى المائي فيه، متسببًا في انخفاض نسبة الجليكوسيدات. في المقابل، فإن ارتفاع الرطوبة النسبية قد يعزز من إنتاج بعض المركبات الثانوية المفيدة مثل الزيوت الطيارة، كما هو الحال في نبات الكزبرة (مجيد وحكمت، 1989؛ الحسيني وتهاني، 1990).

6. درجة حرارة الماء:

إلى جانب توفر الماء، فإن درجة حرارته تُعد عاملاً مناخيًا مؤثرًا بحد ذاته. أظهرت دراسة حديثة أن استخدام نظام لتسخين مياه الري داخل دفيئة زراعية ساهم في رفع متوسط درجة حرارة المياه بمقدار 7.7 إلى 8.6°C، مما أدى إلى تحسين نمو الخس وزيادة إنتاجيته بنسبة 15.9% لكل نبات .وقد بينت الدراسة أن درجة حرارة مياه الري المثلى تراوحت بين 22.0و32.2°C، دون أن تؤثر ظروف التسخين سلبًا على النظام أو الكفاءة الطاقية. توضح هذه النتائج أن استخدام مياه دافئة للري خاصة في البيئات المحمية أو الباردة يمكن أن يُحسن امتصاص الماء، ويُعزز النشاط الفسيولوجي للنباتات، ويزيد من إنتاج المركبات الثانوية الفعالة(Sun et al., 2024) .

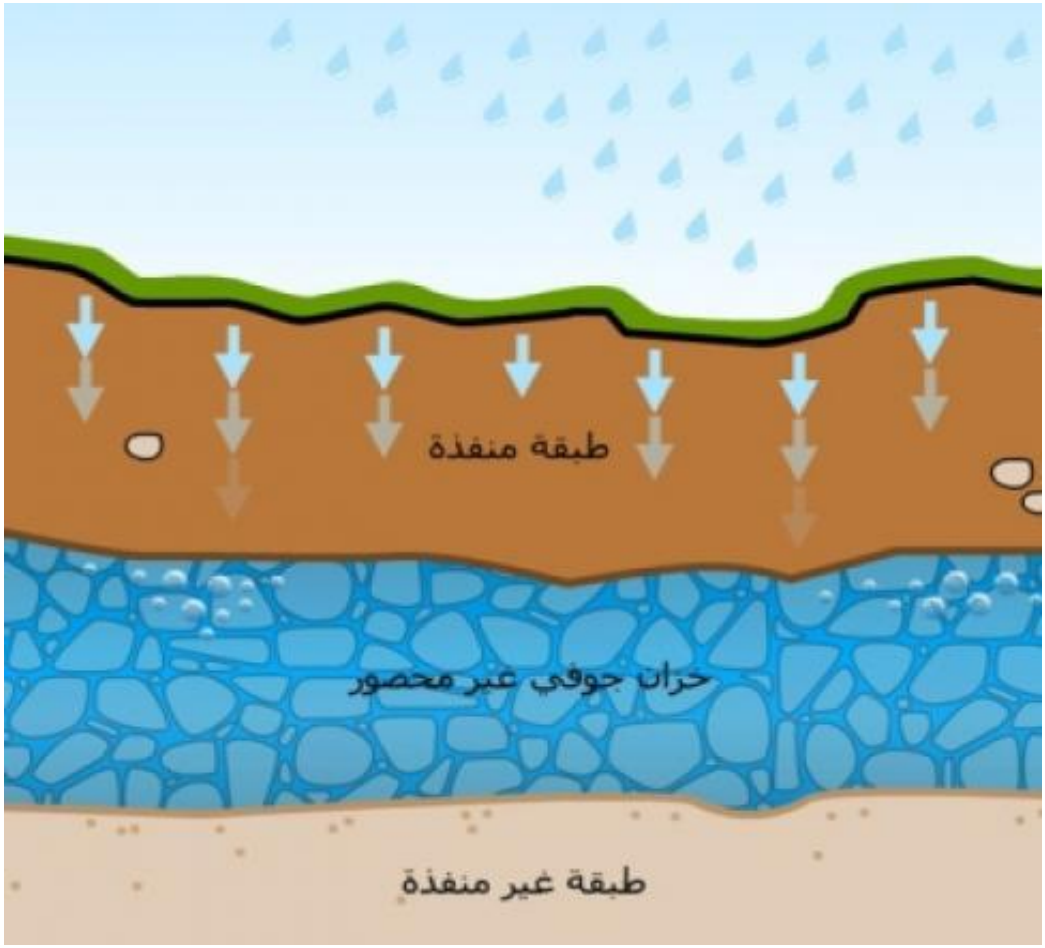
الفصل الثاني

دراسة خصائص المياه الجوفية والمياه الجوفية الساخنة

I. دراسة خصائص المياه الجوفية:

1. المياه الجوفية:

المياه الجوفية هي تلك المياه التي تتسرب من سطح الأرض عبر الطبقات النفاذة إلى أعماق التربة، حيث تتجمّع فوق طبقات غير منفذة، مشكلة خزانات جوفية تحت سطح الأرض. وتُعدّ الأمطار، مياه الأنهار، الخزانات السطحية، مياه الري الزائدة عن السعة الحقلية، والثلوج الذائبة من أهم مصادر هذه المياه. تمر المياه عبر مسام الصخور الدقيقة جدًا التي يقل قطرها عن 0.25 ملم، وتبقى في حركة دائمة داخل التكوينات الجيولوجية، مما يؤدي إلى تكوّن ما يُعرف بـ "المياه الجوفية" (نوال، 2008). وتوضح الوثيقة (6) آلية تكوّن خزان جوفي غير محصور بين الطبقات النفاذة وغير النفاذة: أبوشريعة العبادي، 2015(



الوثيقة (6): آلية تكوّن خزان جوفي غير محصور

2. خصائص المياه الجوفية

تختلف خصائص المياه الجوفية باختلاف نوع الجوف المائي الذي تتواجد فيه، ويمكن التمييز بين حالتين أساسيتين:

- **حالة الجوف المغلق نسبيًا:**

في هذا النوع من التكوينات، تكون الطبقات التحتية ذات طبيعة صلصالية قليلة النفاذية، مما يؤدي إلى ثبات نسبي في الخصائص الكيميائية والفيزيائية للمياه الجوفية. وتتميز هذه المياه بقلة العكارة وثبات درجة الحرارة وتركيز العناصر الذائبة.

- **حالة الجوف المفتوح:**

تحدث هذه الحالة عندما تكون الطبقات السفلية متنوعة التضاريس ومكوّنة من مواد رسوبية ذات مسامية عالية. في هذه البيئات، تسمح المسامات العديدة بحركة سريعة للماء، مما يؤدي إلى زيادة عمليات الحت والترسيب، وبالتالي تتسم المياه الجوفية هنا بتركيبات كيميائية متنوعة وغير منتظمة، غالبًا ما تكون بعيدة عن المعدلات المعتادة للمياه الصالحة للاستخدام (François, 1994).

3. طبقات المياه الجوفية:

تنقسم طبقات المياه الجوفية إلى ثلاثة أنواع رئيسية، تختلف من حيث التركيب الجيولوجي هذا ما توضحه الوثيقة (7),(Aranguren-Díaz et al., 2024).

1.3.طبقات المياه الجوفية غير المحصورة (الضحلة):

تُعرف الطبقات غير المحصورة بأنها تلك التي تحتوي على منسوب مائي علوي غير مغطى بطبقة غير منفذة، مما يجعلها أكثر ارتباطًا وتأثرًا بالعوامل البيئية الخارجية. يعتمد تجدد مياه هذه الطبقات بشكل مباشر على مياه الأمطار والمياه السطحية، لذلك يُلاحظ نشاط واضح في تدفقها تبعًا للهطول المحلي. ونظرًا لكونها تقع في أقرب عمق إلى سطح الأرض وتتميّز بنفاذية عالية، فهي الأكثر عرضة للتلوث بأنواعه الفيزيائي والكيميائي والبيولوجي وحتى الميكروبيولوجي. (Senthil Kumar & Yaashikaa, 2018)

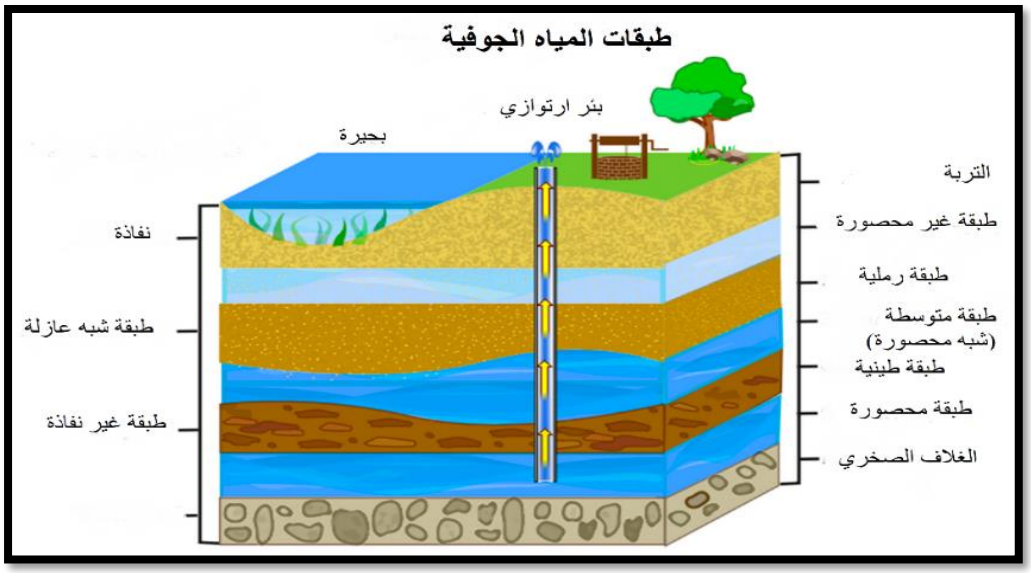
2.3.طبقات المياه الجوفية المحصورة:

الطبقة المحصورة هي تكوين جيولوجي يحتوي على مياه جوفية محاطة من الأعلى والأسفل بطبقات غير منفذة مثل الصخور الصماء أو التربة الطينية المضغوطة. ونتيجة لهذا الغطاء المانع، تكون المياه داخل هذه الطبقات تحت ضغط مرتفع. لذا، عند حفر بئر يصل إلى هذه الطبقة، قد تتدفق المياه تلقائيًا إلى السطح دون استخدام مضخة، وهو ما يُعرف بالبئر الارتوازي. وبسبب العمق الكبير ومسامية الصخور المحدودة، فإن إعادة شحن هذه الطبقات أبطأ مقارنة بغيرها، لكنها قد تتجدد جزئيًا من مناطق بعيدة حيث تسمح بعض

التكوينات الجيولوجية بتسرب المياه من المطر أو السطح , (Margat & van der Gun, 2013) .(Maliva, 2016)

3.3.طبقات المياه الجوفية شبه المحصورة (المتوسطة أو المتسربة):

تُعتبر هذه الطبقات وسيطة بين الطبقات المحصورة وغير المحصورة، حيث تكون مغطاة بطبقة غير منفذة من جهة واحدة فقط إما من الأعلى أو الأسفل. هذا الوضع يسمح بمرور جزئي للمياه، مما يجعلها أقل ضغطًا من الطبقات المحصورة، وأكثر حماية من التلوث مقارنة بالطبقات الحرة. تتلقى مياه هذه الطبقات تغذيتها أساسًا من مياه الأمطار والمصادر السطحية، ولكن بمعدل أقل من الطبقات غير المحصورة (Vélez, Pimienta, & Vargas, 2011). وتجمع هذه الطبقات بين خصائص النوعين الآخرين، ما يجعلها مهمة في نظم استغلال المياه الجوفية (Maskey, 2022).



الوثيقة (7): طبقات المياه الجوفية

II. دراسة خصائص المياه الجوفية الساخنة:

1. المياه الجوفية الساخنة:

تُعرف الينابيع الحارة منذ القدم، وقد استُخدمت منذ العصور القديمة في العلاج والاستحمام. وتتميّز هذه المياه، إلى جانب حرارتها، بخصائص خاصة مثل احتوائها على الغازات، والرائحة المميزة، ودرجة عالية من التمعدن .(minéralisation) تؤدي زيادة الحرارة والضغط في باطن الأرض إلى إذابة الأملاح والغازات في الماء، مما يثري تركيبته الكيميائية ويمنحه خصائص علاجية. لذلك تُسمى هذه المياه "حرارية معدنية"، وتُستخدم في العلاج بالمياه (thermalisme) سواء عن طريق الاستحمام أو الشرب.

رغم شيوع استخدام مصطلح "مياه حرارية"، لا يوجد تعريف دقيق له، فغالبًا ما يُربط بالمياه التي تخرج دافئة أو ساخنة طبيعيًا من باطن الأرض. ويُعرّف القاموس الفرنسي للهيدرولوجيا الجيولوجية (1977) هذه المياه بأنها:

"مياه جوفية ساخنة طبيعيًا عند خروجها من منبع أو بئر، وتُستخدم في أغراض خاصة مثل العلاج أو التدفئة".

غير أن مفهوم "الحرارة" بحد ذاته قد يكون نسبيًا، إذ يمكن أن تبدو المياه حارة أو باردة حسب الموسم أو مقارنة بمصادر مياه أخرى في نفس المنطقة. كما أن خاصية التمعدن يصعب تحديدها بدقة، لأن بعض مصادر المياه قد تكون غنية بالأملاح نتيجة لتسرب مياه البحر أو بسبب إذابة الصخور المتبخرة، مما يؤدي إلى تركيز عالٍ من الكبريتات أو الكلور (Gilli, Mangan & Mudry, 2008) .

2. أصل المياه الساخنة:

المياه الساخنة، التي استُخدمت منذ آلاف السنين، تُثير العديد من التساؤلات حول كيفية تشكّلها وظهورها على سطح الأرض. فهي لا تُعرف فقط بخصائصها الفيزيائية والكيميائية واستخداماتها العلاجية، بل أيضًا بطريقة تكوّنها التي تستغرق أحيانًا مئات أو حتى آلاف السنين.

تتشكل هذه المياه عندما تتسرب مياه الأمطار أو المياه السطحية إلى باطن الأرض عبر الشقوق والفجوات الموجودة في الطبقات الجيولوجية (Zhao et al., 2025). وبينما تنحدر هذه المياه إلى الأعماق، تصل إلى مناطق ذات حرارة مرتفعة، حيث تتأثر بالطاقة الحرارية الأرضية (الجيولوجية)، فترتفع درجة حرارتها تدريجيًا وتبدأ في حمل الأملاح والمعادن من الصخور المحيطة. لاحقًا، تعود إلى السطح على شكل ينابيع حرارية، بعد أن تكون قد اغتنت بدرجات حرارة عالية ومحتوى معدني غني.

في بعض المناطق، تلعب الأنشطة البركانية دورًا مهمًا في رفع حرارة المياه، حيث توجد طبقات من الصهارة (الماغما) قريبة من سطح الأرض، تعمل على تسخين المياه المتسربة عبر الشقوق (Zhou et al., 2023). أما في المناطق غير البركانية، فغالبًا ما تتواجد المياه الحرارية على امتداد الصدوع الجيولوجية، حيث تكون التصدعات والتشققات أكثر وفرة، ما يسمح للمياه بالوصول إلى أعماق كافية لتسخينها قبل عودتها إلى السطح. (Nyakairu et al., 2023)

كما تشير بعض النظريات إلى أن احتكاك المياه بالصخور أثناء حركتها تحت الأرض يُنتج حرارة إضافية (Wang et al., 2023)، مما يُسهم في رفع درجة حرارتها وزيادة قدرتها على إذابة وامتصاص المعادن.

خلال رحلتها الطويلة، تُحدث هذه المياه نوعًا من التعرية الكيميائية في الصخور التي تمر بها، مما يُغنيها بعناصر مثل الكالسيوم، الصوديوم، المغنيسيوم، الحديد وغيرها، وتُصبح ذات خصائص علاجية معروفة عند وصولها إلى سطح الأرض.

3. العناصر المعدنية الأساسية:

تُعد المعادن الذائبة في المياه الحرارية من العوامل الأساسية التي تُساهم في آثارها الصحية على جسم الإنسان. فالمعادن هي عناصر ضرورية للعديد من الوظائف الحيوية، ويجب أن تكون بنسب متوازنة في الجسم، إذ إن وجودها بمستويات مناسبة قد يؤدي إلى فوائد صحية ملموسة، بينما قد يسبب نقصها أو زيادتها اضطرابات صحية.

تحتوي المياه الحرارية على مجموعة متنوعة من المعادن، تختلف كمياتها ونوعيتها حسب مصدر المياه. لذلك، تتميز كل عين حرارية بتركيبة معدنية فريدة. ومن أبرز المعادن الموجودة في هذه المياه:

- **البوتاسيوم**: يُعد من الإلكتروليتات المهمة التي تساعد في تنظيم ضغط الدم والتحكم في تقلص العضلات.
- **المغنيسيوم**: ضروري للوظائف الحيوية، وله دور في تنظيم مستوى السكر في الدم وتحسين جودة النوم.
- **الصوديوم**: يساعد في الحفاظ على توازن السوائل والشوارد داخل الجسم، ويُساهم في منع فقدان الماء وضبط تركيز الأيونات.
- **الحديد**: عنصر أساسي في الدم، يلعب دورًا في زيادة نسبة الهيموغلوبين ومعالجة فقر الدم.
- **الكلوريد**: يُساهم في الحفاظ على توازن الحموضة والقلوية في الجسم، كما يعزز امتصاص العناصر الغذائية والماء داخل الخلايا.
- **الكالسيوم**: مهم لنمو العظام والأسنان، ويساهم أيضًا في تنظيم وزن الجسم.
- **السيلينيوم**: عنصر ضروري للعديد من الأنظمة الحيوية، يدعم وظائف الغدة الدرقية ويُعزز جهاز المناعة
- **المنغنيز**: يساعد في تحسين عمليات الأيض، ويُعد من العناصر المهمة في تعزيز النشاط الحيوي للخلايا.

4. الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمياه الجوفية الساخنة:

1.4.درجة الحرارة:

تُظهر المياه الجوفية العميقة في المناطق الصحراوية للجنوب الجزائري تباينًا ملحوظًا في درجات الحرارة، نتيجةً للتدرج الجيوحراري الطبيعي، حيث ترتفع درجة الحرارة بمعدل تقريبي يُقدّر بـ 1°C كل 30 مترًا من العمق. وقد أظهرت القياسات المنجزة في عدد من الآبار أن درجات الحرارة المسجلة تتراوح بين أقل من 30°C في مناطق التغذية السطحية إلى ما يفوق 60°C في بعض الجهات الشرقية، مع تسجيل درجات قصوى بلغت 84°C

(Mohammed & Eddine, 2019). وتُصنّف هذه المياه حسب درجة حرارتها إلى مياه ميسوثرمالية (mésothermales) (22–37°C)، أورثوثرمالية (orthothermales) (37–45°C)، وهايبرثرمالية (hyperthermales) (أكثر من 45 °C). وتؤكد هذه المعطيات نتائج دراسة Ouali (2006)، التي أبرزت وجود مياه جوفية حرارية مرتفعة الحرارة في جنوب الجزائر، ناتجة عن تفاعل المياه مع الطبقات العميقة في باطن الأرض.

2.4.الأس الهيدروجيني(pH) :

تتراوح قيم الأس الهيدروجيني للمياه الجوفية الساخنة بين 7 و9 مثل ما ورد في دراسة Khiati واخرون (2021)، ما يشير إلى طابعها المتعادل إلى القاعدي. وتُظهر القياسات الميدانية تدرجًا في ارتفاع قيمة pH نحو الجهة الشرقية، خاصةً في الجزء الشمالي الشرقي من الحوض، حيث تتجاوز القيم 8، ما يعكس ازدياد القاعدية في تلك المناطق. يُعزى هذا السلوك إلى التفاعل الكيميائي المطوّل بين المياه الجوفية والتكوينات الجيولوجية العميقة الغنية بالعناصر المعدنية القاعدية. ويُعد هذا الطابع القاعدي من الخصائص الفيزيائية المميزة للمياه الحرارية في البيئات الصحراوية (Ouali, 2006).

3.4.التوصيل الكهربائي:

تُعد التوصيلية الكهربائية من أهم المؤشرات الفيزيائية التي تعكس التركيب الأيوني للمياه الجيوحرارية، حيث ترتبط بشكل مباشر بتركيز الأيونات الذائبة مثل الصوديوم(Na^+) ، الكالسيوم(Ca^{2+}) ، المغنيسيوم(Mg^{2+}) ، الكلوريد (Cl^-) والكبريتات .(SO_4^{2-}) وتشير القيم المرتفعة للتوصيلية إلى درجة عالية من التمعدن، مما يدل على تفاعل مطوّل بين المياه والصخور في الخزانات الجوفية العميقة.

.(Khiati et al., 2021)

تُقاس التوصيلية عادة بوحدةµS/cm ، وتُستخدم كأداة مهمة في استكشاف وتقييم الأنظمة الحرارية الجوفية، كونها ترتبط أيضًا بدرجة حرارة المياه، حيث تزيد الحرارة من قدرة الماء على إذابة الأملاح. كما قد تتأثر التوصيلية بعوامل أخرى مثل الضغط ووجود الجزيئات العالقة أو التبادلات الأيونية.

4.4.الملوحة:

تشير الدراسات الجيوكيميائية الحديثة إلى أن المياه الجوفية الساخنة تتميز عادةً بدرجات عالية من الملوحة، نتيجة لتفاعلات طويلة الأمد مع التكوينات الجيولوجية الحاملة للأملاح. ويُعزى هذا التمعدن العالي إلى ذوبان المعادن التبخّرية والكربوناتية، والتبادلات الأيونية أثناء حركة المياه في الأعماق الجيولوجية (Khiati et al., 2021). كما أن دوران المياه في طبقات مالحة غنية بالصوديوم والكلوريد والكبريتات يُعزز من تراكم الأملاح في هذه الأنظمة المائية. وتُعد هذه الخاصية الكيميائية من العوامل الأساسية التي تحدد مدى ملاءمة هذه المياه للاستخدامات الزراعية أو العلاجية، خصوصًا إذا لم تُخضع لعمليات معالجة مناسبة.

وقد أظهرت دراسة أجريت على الينابيع الحرارية في منطقة سعيدة (جنوب غرب الجزائر) أن المياه المستخرجة تتميز بملوحة مرتفعة ناتجة عن مرورها عبر تكوينات تبخرية وكربوناتية، حيث سجلت تراكيز عالية من الكلوريد والصوديوم والكبريتات، مما يعكس تأثير التركيب الجيولوجي العميق في تحديد الخصائص الكيميائية لهذه المياه.

5. ملائمة المياه الحرارية الأرضية للري:

في ظل التحديات المتزايدة التي تواجهها الدول التي تعاني من شح في الموارد المائية، مثل تونس (BEN Mohamed ,2003) والجزائر (Ouali et al., 2006)، اتجهت هذه البلدان إلى استغلال المياه الجوفية الحرارية كمورد بديل ومهم في القطاع الزراعي. وقد استُخدمت هذه المياه، بعد تبريدها، في أنظمة الري، كما هو موثق في العديد من التجارب الزراعية الحديثة

(Ait Ouali et al., 2019). ويُشار إلى أن المياه الحرارية الطبيعية، خاصة في الجنوب التونسي والجزائري، استُعملت منذ قرون طويلة في سقي الواحات، مما يدل على عمق العلاقة بين هذا المورد والأنشطة الزراعية التقليدية.

ومع تطور التقنيات الزراعية، توسع استخدام هذه المياه خلال العقدين الأخيرين ليشمل ري البيوت البلاستيكية. إذ تُستخدم المياه الحرارية أولاً في تسخين البيوت المحمية، ثم تُجمع بعد فقدانها لجزء من حرارتها في أحواض كبيرة مبنية غالبًا من الخرسانة، حيث تُبرد وتُخزن استعدادًا لاستخدامها لاحقًا في

الري. وتتوفر بعض النماذج البديلة لهذه الأحواض، مثل الأحواض البلاستيكية الصغيرة التي يُفضّلها بعض المزارعين نظرًا لقلة تكلفتها وسهولة

إنشائها. تتراوح أبعاد هذه الأحواض عادة بين 40 و80 مترًا، وتُستخدم في ري الحقول المفتوحة المجاورة للبيوت البلاستيكية.

ومن الملاحظ أن الاحتياجات المائية للنباتات خلال فترات النمو تكون منخفضة نسبيًا، حيث قد لا تتعدى 0.6 لتر في الثانية للهكتار، وهي كمية تقل بكثير عن تلك المطلوبة في مرحلة التسخين. ويعتمد المزارعون في العادة على نظام ري بسيط، يتمثل في تقنية التقطير(Mougou et al., 1987) .

ورغم ما توفره هذه المياه من فوائد حرارية ومائية، إلا أن استخدامها في الري يتطلب رقابة دقيقة على تركيبتها الكيميائية، خاصة من حيث الملوحة. إذ أن ارتفاع نسبة الأملاح الذائبة قد يؤدي إلى تأثيرات سلبية على نمو النباتات، ما يجعل من الضروري إجراء تحاليل دورية لمياه الري قبل استخدامها لتفادي المشاكل الزراعية. (Ben Mohamed, 2003) .

6. التاثيرات الفيزيائية والكيمائية للمياه الجوفية الساخنة على النبات:

1.6.التأثيرات الفيزيائية:

أظهرت الدراسات أن ارتفاع درجة حرارة مياه الري، سواء بفعل التغيرات المناخية أو النشاط البشري، يؤدي إلى تأثيرات متعددة على النبات والتربة. فعلى المستوى الفيزيولوجي، لوحظ أن استخدام المياه الدافئة، خصوصًا في الري الليلي بدرجات حرارة تتراوح بين 20 و30°C، يُسرّع من مرحلة فتح اللوزات عن طريق تقصير مدة النمو الخضري وتكوين البراعم، كما يُحفّز النمو التناسلي ويُحسّن من جودة الألياف النباتية من حيث القوة والمرونة، رغم تسجيل انخفاض في الطول والتجانس مقارنة بدرجة حرارة 15 .C°وقد بيّنت هذه النتائج أن التوقيت ودرجة حرارة مياه الري يتركان تأثيرًا واضحًا على النمو والإزهار والصفات الهيكلية للنبات. (Wen et al., 2023)

أما على المستوى الفيزيائي، فإن استخدام المياه الجوفية الساخنة يؤدي إلى انخفاض قدرة الماء على الاحتفاظ بالأكسجين الذائب، مما يقلل من كفاءة التهوية في التربة ويُضعف تنفس الجذور. كما تسهم درجات الحرارة المرتفعة في رفع درجة حرارة الطبقة السطحية للتربة، لا سيما في البيئات القاحلة، مما يزيد من الإجهاد الحراري على النبات ويؤثر سلبًا على كفاءة النمو والتمثيل الضوئي.

(Hachicha et al., 2012).

2.6.التأثيرات الكيميائية:

يُؤدي استخدام المياه الجوفية الساخنة في الري إلى تغييرات كيميائية معقدة تؤثر سلبًا على كل من التربة والنبات. فعلى مستوى التربة، يؤدي ارتفاع حرارة المياه إلى تسريع العمليات الكيميائية في باطن الأرض، مما يُعزز من إذابة المعادن والعناصر الثقيلة مثل الحديد، المنغنيز، الزرنيخ، والفوسفور. وعندما تتواجد هذه العناصر بتراكيز مرتفعة، فإنها تصبح سامة للنبات وتُضعف الوظائف الفسيولوجية الحيوية مثل الإنبات، وامتصاص المغذيات، ونقلها داخل أنسجة النبات. كما أن زيادة النشاط الميكروبي بفعل حرارة الماء المرتفعة يؤدي إلى زيادة تنفس التربة(Wen et al., 2023) ، وهو ما يعكس ارتفاعاً في التفاعلات الأيضية التي تُنتج ثاني أكسيد الكربون، وبالتالي تسريع استهلاك النيتروجين المعدني الموجود في التربة. هذا التغير في تركيز المغذيات يؤثر على توازن التربة ويُقلل من فعاليتها الزراعية.

بالإضافة إلى ذلك، يؤدي نقص الأكسجين الذائب في المياه الساخنة، نتيجة التحول نحو التنفس اللاهوائي في التربة، إلى اضطراب التوازن الأيوني، مما يحدّ من قدرة النبات على امتصاص العناصر الأساسية مثل البوتاسيوم، الكالسيوم، والمغنيسيوم. وقد لاحظ Hachicha, Khaldi, و Mougou (2012)في دراستهم أن الاستعمال المستمر للمياه الجوفية الحارة في منطقة الجنوب التونسي، خاصة في توزر، أدى إلى تملّح التربة تدريجيًا، وهو ما أثّر سلبًا على خصوبة التربة وصحة النباتات، خاصة في البيوت البلاستيكية التي تستمر فيها نفس الدورة الزراعية لعدة سنوات.

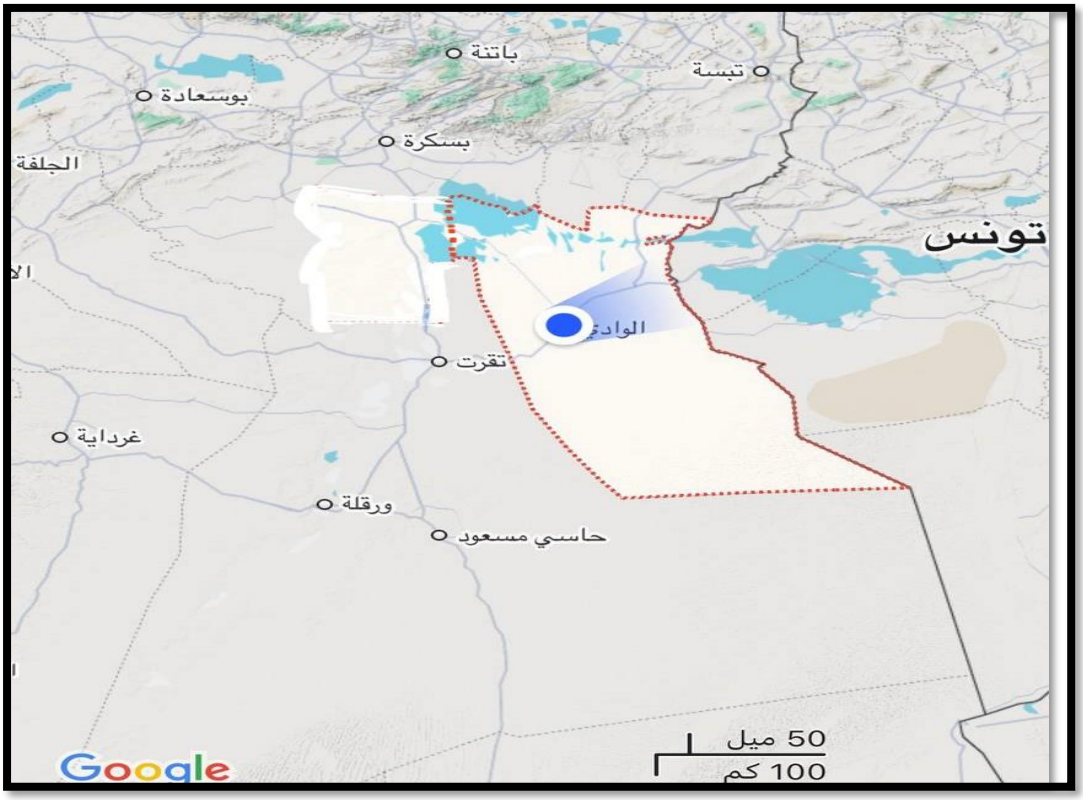
الجزء التطبيقي

الفصل الأول

المواد المستعملة والطرق المتبعة

1.الموقع الجغرافي لمنطقة وادي سوف:

تقع ولاية وادي سوف في الجزء الشمالي من الصحراء الشرقية الجزائرية، ضمن نطاق العرق الشرقي الكبير، وتُعد حلقة وصل مهمة بين المناطق الجنوبية والشمالية الشرقية للبلاد. يحدها شمالاً كل من شط ملغيغ وشط مرورة، ومن الجنوب العرق الشرقي الكبير، ومن الشرق بلدية الطالب العربي المحاذية للحدود التونسية، ومن الغرب إقليم وادي ريغ. وقد شهدت الولاية تغييرات إدارية حديثة تمثلت في فصل منطقة المغير عنها، والتي أصبحت ولاية مستقلة بموجب المرسوم الرئاسي الصادر سنة 2021، مما أعاد رسم حدودها الإدارية وأكسبها طابعاً أكثر تخصصاً في المجال الزراعي والمائي الصحراوي (وكالة الأنباء الجزائرية، 2021). مثل ما توضح الوثيقة (8)



الوثيقة (8): توضح صورة الموقع الجغرافي لمنطقة الوادي GOOGLE EARTH.2025

2.العينات النباتية المدروسة:

تم اختيار ثلاث نباتات طبية شائعة وهي: النعناع (***Mentha aquatica***) ، النعناع الجبلي (***Mentha longifolia***)، ونبات البوقريبة (***Zygophyllum Cornutum***)، من أجل دراسة تأثير الري بالمياه الجوفية الساخنة في خصائصها الفيزيولوجية والفيتوكيميائية. تُعد هذه النباتات من الأنواع واسعة الانتشار في الطب الشعبي، وتتميز بتركيبة غنية من المركبات الثانوية الفعالة كالفينولات والتانينات والزيوت الطيارة.

تمت زراعة النباتات في ظروف زراعية مراقبة، باستخدام تربة رملية ، مع إضافة سماد عضوي لتحسين الخصوبة. تم تقسيم النباتات إلى مجموعات تجريبية رُويت بالمياه الجوفية الساخنة بدرجة حرارة حوالي 50 درجة مئوية، وأخرى بالمياه الجوفية الساخنة المبردة بحوالي 30 درجة مئوية. بعد فترة الري ، جُمعت الأجزاء الهوائية من النباتات خلال مرحلة النمو النشط لإجراء التحاليل الفيزيولوجية والفيتوكيميائية .

3.تصميم التجربة وإظهار المعاملات:

تم إجراء التجربة بغرض دراسة تأثير مياه الري الجوفية الساخنة والمبردة على ثلاث أنواع من النباتات العطرية والطبية، وهي: النعناع المائي(*Mentha aquatica*) ، النعناع الجبلي (*Mentha longifolia*)، ونبات البوقريبة(*Zygophyllum Cornutum*) .

اعتمد التصميم التجريبي على تطبيق معاملتين مختلفة، وهي:

- الري بالمياه الجوفية الساخنة .
- الري بالمياه الجوفية الساخنة والمبردة .

تم تطبيق هذه المعاملات على الأنواع الثلاثة من النباتات دون تكرارات، في ظروف زراعية مفتوحة داخل المزرعة، حيث تم ري النباتات بنفس الكمية وتحت نفس الظروف البيئية من حرارة وإضاءة وتربة.

شملت المتغيرات المدروسة قياس المحتوى المائي للأوراق، والسعة الخلوية، بالإضافة إلى التقدير الفيتوكيميائي للمركبات النشطة.

جدول (4): المعاملات

المعاملات	نوع النبات	نوع الماء المستخدم
MA/S	نعناع مائي	ماء جوفي ساخن
ML/S	نعناع جبلي	ماء جوفي ساخن
MA/C	نعناع مائي	ماء جوفي ساخن مبرد
ML/C	نعناع جبلي	ماء جوفي ساخن مبرد
ZC/S	بوقريبة	ماء جوفي ساخن
ZC/C	بوقريبة	ماء جوفي ساخن مبرد

4.الدراسة الفيزيولوجية للمادة النباتية:

تمت هذه المرحلة على نباتين فقط النعناع المائي(*Mentha aquatica*) والنعاع الجبلي (*Mentha longifolia*).

1.4.تقدير الكلوروفيل:

تم تقدير محتوى الكلوروفيل في الأوراق باستخدام جهاز (Konica Minolta,2015) SPAD-502Plus، الذي يقيس الامتصاص النسبي للضوء عند طولين موجة (650 و940 نانومتر) لتوفير قيمة مؤشر SPAD، والتي تُعد مؤشرًا غير مدمر لمحتوى الكلوروفيل في النبات.

الوثيقة (9): جهاز SPAD-502Plus

2.4.تقدير المحتوى المائي:

تستخدم الخطة التجريبية لقياس المحتوى المائي في النبات لتقدير كمية الماء الموجودة داخل الأنسجة النباتية.

تبدأ العملية بأخذ كمية من العينة نباتية، ثم تُغسل جيدًا بالماء المقطر لإزالة الشوائب، ثم تُجفف سطحياً باستخدام ورق ماص. بعد ذلك، تُوزن العينة مباشرة لتحديد كتلتها الطازجة(MF) ، ثم توضع في فرن حراري عند درجة حرارة 85 درجة مئوية لمدة 24 ساعة. بعد انتهاء مدة التجفيف، تُوزن العينة مجددًا للحصول على الكتلة الجافة (Garlatti 2023) .(MS).

يتم حساب المحتوى المائي وفق المعادلة:

$$WC\% = (MF - MS/MF) \times 100$$

- MF: كتلة العينة الطازجة
- MS: كتلة العينة الجافة
- WC%: المحتوى المائي

3.4.تقدير السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي:

يُستخدم المحتوى النسبي للماء لتقدير نسبة الماء الموجودة في النسيج النباتي مقارنة بأقصى كمية يمكن أن يحتفظ بها هذا النسيج عند الإشباع.

وفقًا لما ورد في السياق العلمي التقني المعتمد من(Garlatti 2023)، تم أخذ عينة نباتية ووزنها لتحديد الكتلة الطازجة (MF) بعد ذلك، نُقعت العينة في ماء مقطر لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة وفي الظلام للوصول إلى حالة الإشباع الكامل. ثم جُففت العينة بلطف باستخدام ورق ماص لإزالة الماء الزائد، وتم وزنها مرة أخرى للحصول على الكتلة المشبعة .(MT) بعد ذلك، جُففت العينة في فرن لمدة 24 ساعة عند درجة حرارة 85°م، ثم وُزنت لتحديد الكتلة الجافة.(MS) تم حساب المحتوى النسبي للماء باستخدام المعادلة:

$$\boldsymbol{RWC\% = (MF - MS)/(MT - MS) \times 100}$$

- MF: كتلة العينة الطازجة
- MT: كتلة العينة بعد الغمر
- MS: كتلة العينة الجافة
- RWC%: المحتوى الرطوبي للسعة الخلوية

5.الدراسة الفيتوكيمائية للمادة النباتية:

تمت هذه المرحلة على ثلاثة أنواع من النباتات النعناع المائي(*Mentha aquatica*) والنعاع الجبلي(*Mentha longifolia*) . ونبات البوقريبة (*Zygophyllum Cornutum*).

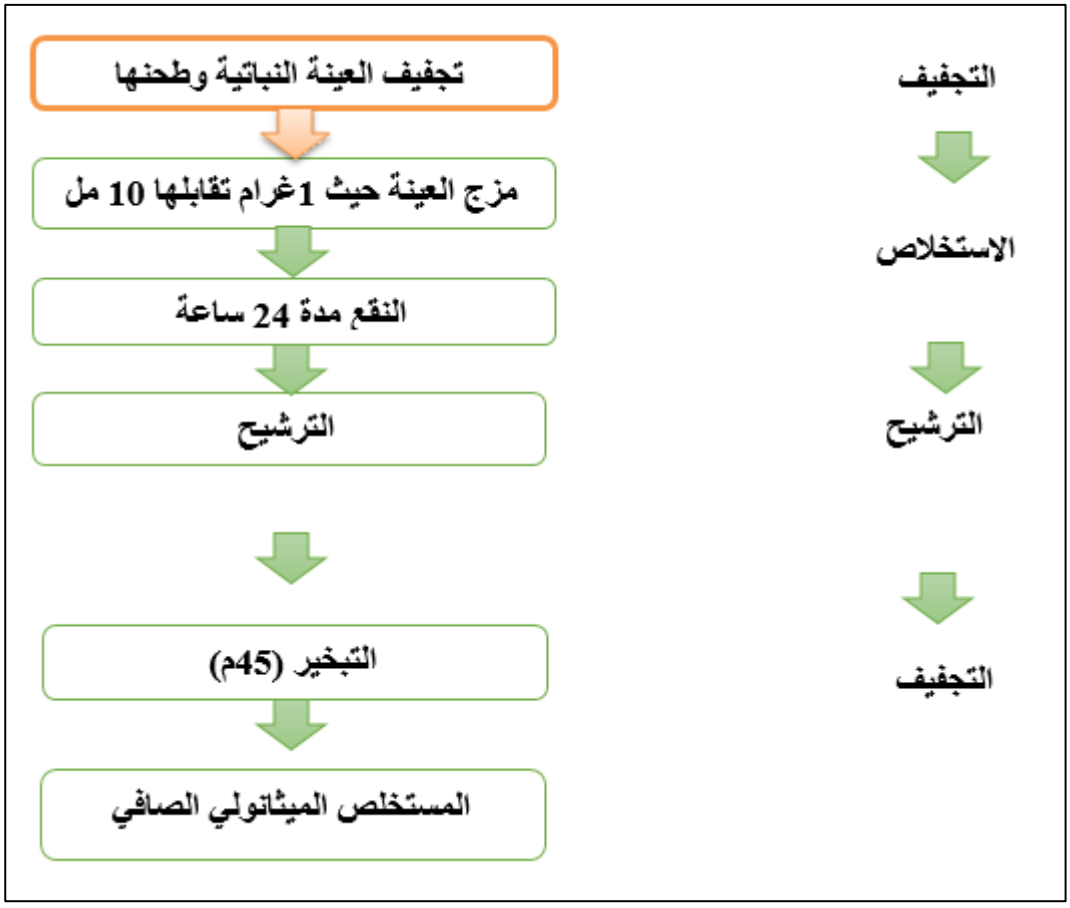
1.5.تحضير المستخلص الميثانولي:

التجفيف: تم أخذ كمية مناسبة من أوراق النعناع الطازجة وتجفيفها باستخدام حاضنة بدرجة حرارة تتراوح بين 40 إلى 45°م، حتى جفت تمامًا. بعد التجفيف، طُحنت العينة للحصول على مسحوق ناعم يصلح لعملية الاستخلاص.

الاستخلاص: وفقًا لطريقة (Matkowski et Piotrowska, 2006)، تم وزن الكمية المطلوبة من المسحوق الجاف، ثم أُضيف إليها الميثانول بنسبة 10 مل لكل 1 غرام من العينة النباتية. رُجّ الخليط جيدًا لضمان التوزيع المتجانس، ثم تُرك لينقع لمدة 24 ساعة في درجة حرارة الغرفة.

الترشيح: بعد انتهاء النقع، رُشّح المزيج باستخدام ورق ترشيح أو شاش نظيف لفصل المستخلص السائل عن بقايا النبات، ثم جُمع الراشح في دورق زجاجي نظيف.

التجفيف: وُضع المستخلص الناتج في حاضنة بدرجة حرارة 45°م حتى جفّ جزئيًا وتم الحصول على مستخلص ميثانولي مركز بقوام لزج، جاهز للاستخدام في التحاليل.



الوثيقة (10): مخطط يوضح أهم المراحل الضرورية لإستخلاص مواد الأيض الثانوي

(Matkowski et Piotrowski., 2006)

2.5.حساب المردود:

تم حساب نسبة المستخلص الصافي وفق المعادلة التالية:

$$R\% = (PEB/ PMV) \times 100$$

R%: نسبة المستخلص (Rendement).

PEB: وزن المستخلص الصافي.

PMV: وزن المادة النباتية.

3.5.تحضير المستخلص:

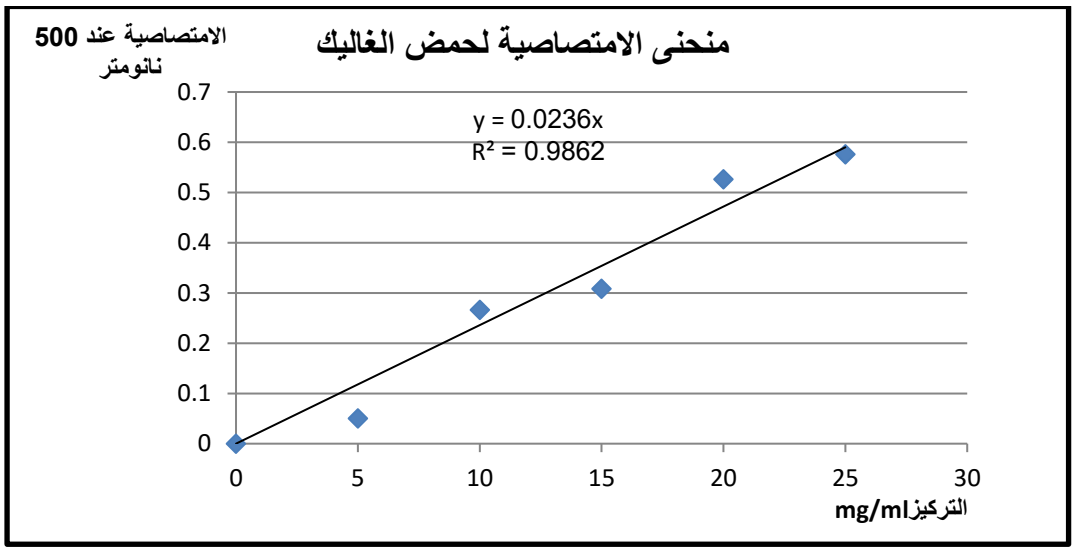
بعد الحصول على المستخلص الخام الناتج عن عملية الاستخلاص والترشيح، تم أخذ كمية محددة من المستخلص الصافي وُضعت في أنبوب اختبار نظيف، ثم خُففت بوساطة مذيب الميثانول وفق نسبة 1ملغ من المستخلص لكل 1 مل من الميثانول (1 mg/mL). هذا التخفيف يسمح بالحصول على تركيز ملائم لإجراء القياسات الطيفية بدقة، وضمان توافق النتائج مع القيم المرجعية في المنحنيات المعيارية. تم خلط

المستخلص مع الميثانول جيدًا باستخدام محرض مغناطيسي أو بالرجّ اليدوي، ثم حُفظ في درجة حرارة منخفضة لحين إجراء التحاليل النوعية والكمية.

4.5.التقدير الكمي لعديدات الفينول:

تم قياس المحتوى الكلي للفينولات في العينات باستخدام طريقة اللونية، وفقًا لسياق التجريبي الموصوف من طرف (Zhou et al;2020) . تم خلط 2 مل من كاشف Folin–Ciocalteu مع 2 مل من المستخلص المخفف. بعد مرور 3 دقائق، أضيف 750 ميكروليتر من محلول كربونات الصوديوم اللامائي بتركيز 7.5% (w/v)، ثم تم تعديل حجم المزيج إلى 10 مل باستخدام الماء المقطر. بعد مرور ساعتين من التفاعل، تم تسجيل الامتصاصية عند الطول الموجي 765 نانومتر.

حيث تم إنشاء منحنى المعايرة باستخدام حمض الغاليك بصفته المادة القياسية، ضمن تراكيز تراوحت بين 0 و100 ميكروغرام/مل.

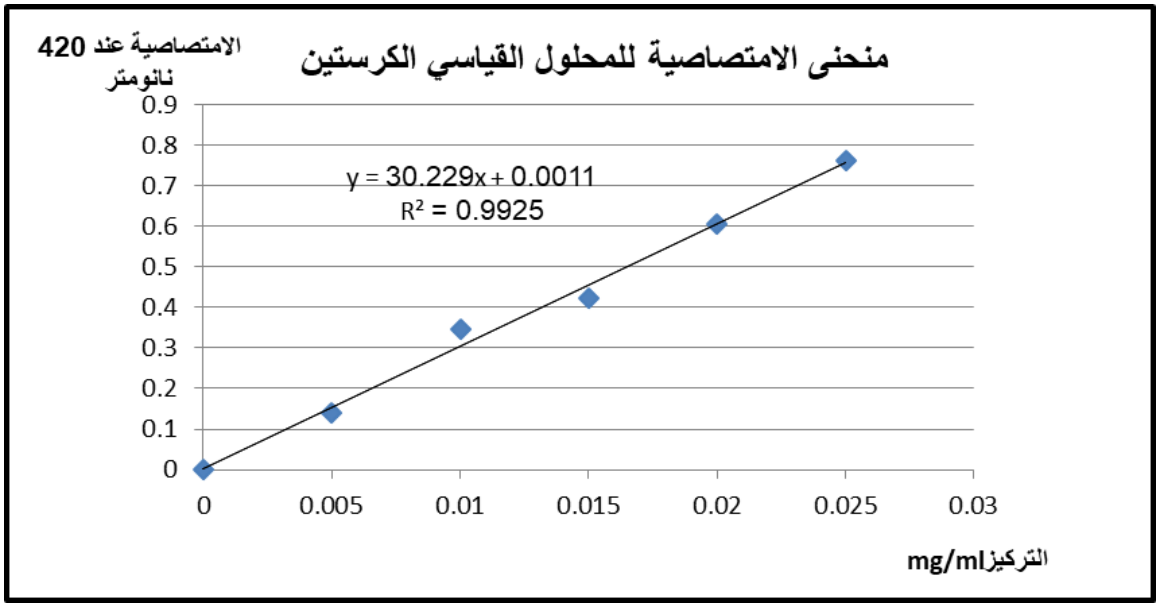


الوثيقة (11): المنحنى القياسي لحمض الغاليك

5.5.التقدير الكمي للفلافونويدات:

تم تحديد المحتوى الكلي للفلافونويدات باستخدام كاشف كلوريد الألمنيوم ($AlCl_3$)، وفقًا للطريقة المعتمدة من طرف (Mbaebie et al ,2012). تم خلط 0.5 مل من المستخلص المائي المذاب في الماء المقطر مع 0.5 مل من محلول $AlCl_3$ بتركيز 2%. وُضعت الأنابيب الحاوية على المزيج في درجة حرارة الغرفة داخل المختبر لمدة ساعة، مع الحفاظ عليها بعيدًا عن الضوء. بعد انتهاء فترة التفاعل، تم قياس الامتصاصية عند طول موجي 420 نانومتر.

لأغراض المعايرة، استُخدم الكيرسيتين كمادة مرجعية بتركيزات معروفة تراوحت بين 0.005 و0.025 ملغ/مل، وتم حساب النتائج وتعبيرها بوحدة ميليغرام من المكافئ الكيرسيتيني لكل غرام من المستخلص الجاف.



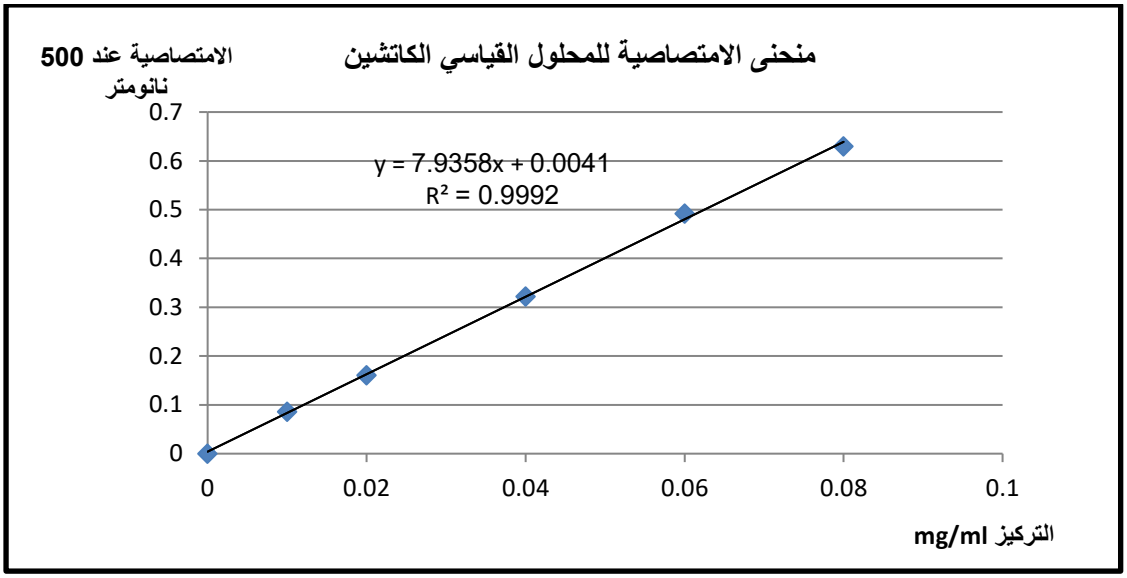
الوثيقة (12): المنحنى القياسي للمحلول القياسي الكرستين

6.5.التقدير الكمي للتانينات:

تم تنفيذ تقدير التانينات المكثفة بالاعتماد على طريقة **الفانيلين HCl**–في وسط حمضي، وهي تقنية تعتمد على تكوين مركّب ملون يمكن قياسه باستخدام مطياف الأشعة فوق البنفسجية عند طول موجي 500 نانومتر. في وجود الحمض، تتفاعل الوحدة الطرفية لبوليمر التانين مع الفانيلين، بينما لا تشارك باقي الوحدات في التفاعل. يُستخدم الكاتشين كمركّب قياسي لتحديد تركيز التانينات، حيث يتم القياس عند الطول الموجي 500 = λ نانومتر باستخدام مطيافية UV–Vis (Broadhurst & Jones, 1978; Makkar, , 2000) .

تم خلط 3 مل من محلول الفانيلين الإيثانولي بتركيز 4% مع 1.5 مل من حمض الهيدروكلوريك المركز، ثم أُضيف 0.4 مل من المستخلص النباتي. تُرك الخليط في الظلام لمدة 15 دقيقة في درجة حرارة الغرفة لضمان استقرار التفاعل. بعد انتهاء فترة الحضانة، تم قياس الامتصاصية عند طول موجي 500 نانومتر باستخدام جهاز مطيافUV–Vis ، وتم استخدام عينة مرجعية (Blank) تحتوي على نفس المكونات مع استبدال المستخلص بالميثانول.(Makkar, 2000)

تم تحديد تركيز التانينات المكثفة من خلال تطبيق معادلة الانحدار الخطي المستخلصة من منحنى المعايرة الذي أُعد باستخدام محاليل قياسية من الكاتشين بتركيزات تتراوح بين 0.01 و0.08 ملغ/مل. وقد عُبّر عن النتائج بوحدة ملغ مكافئ كاتيكين لكل غرام من الوزن الجاف (mg CE/g dry)



الوثيقة (13): المنحنى القياسي للمحلول القياسي الكاتشين

6.تقدير الفاعلية المضادة للأكسدة:

لأجل تقييم الفعالية المضادة للأكسدة للمستخلص المدروس، تم الاعتماد على اختبار الجذر الحر DPPH، إلى جانب اختبار FRAP .

1.6.اختبار الجذر الحر DPPH:

يعتمد هذا الاختبار على قدرة المستخلص النباتي أو مركباته الفعالة على تثبيط الجذر الحر DPPH، وذلك اعتمادًا على قابليتها للتفاعل مع المركبات المؤكسدة أو المستخلصات الغنية بالفينولات، مما يمنح إلكترونًا أو أكثر لجذر DPPH. يُعرف هذا الجذر بأنه مركب مستقر كيميائيًا، لونه بنفسجي مسود، وتبلغ كتلته المولية 394.33 جم/مول (Molyneux, 2004). يتحول لونه إلى الأصفر الفاتح عند إرجاعه بواسطة مضادات الأكسدة (أي المستخلص النباتي). تم قياس هذا التحول اللوني باستخدام جهاز الطيفية الضوئية عند طول موجي قدره 517 نانومتر (Rebai et al., 2015)، حيث يُعبّر انخفاض الامتصاصية عن كفاءة المستخلص في تثبيط الجذر الحر(Bentabet et al., 2014).

وفقًا لـ Brand et al (1995)، تم تحضير سلسلة من التراكيز المختلفة من المستخلص النباتي في الميثانول.حيث قمنا بخلط 1 مل من كل تركيز مع 1 مل من محلول DPPH بتركيز 0.1 مليمول/لتر، ثم

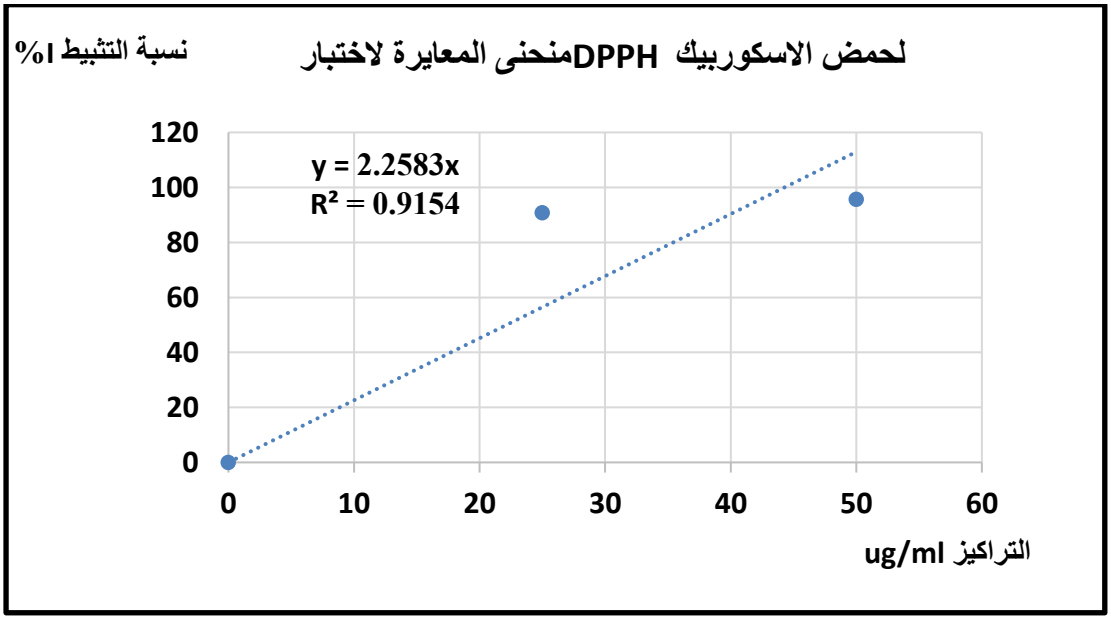
خُضّنت العينات في الظلام عند درجة حرارة الغرفة (حوالي 25 C°) لمدة 30 دقيقة لإتمام التفاعل. بعد انقضاء الزمن المحدد، قيس الامتصاص الضوئي عند طول موجي 517 nm مقابل ميثانول فراغ، وحُسبت نسبة التثبيط بحسب المعادلة.

أُستخدم حمض الأسكوربيك كمركب مرجعي للمقارنة، بتركيزات تراوحت بين 25و175ميكروغرام/مل، مع اعتماد نفس طريقة تحضير المستخلص النباتي المذكورة سابقًا.

تم تحديد القدرة المضادة للأكسدة للمستخلص من خلال حساب معامل IC_{50}، والذي يُمثل تركيز المستخلص اللازم لتثبيط 50% من الجذر الحر DPPH. يُحسب ذلك عبر تحليل منحنيات التثبيط المختلفة. أما النسبة المئوية للتثبيط فتم تقديرها حسب Chaouche وزملائه (2013) باستخدام العلاقة التالية:

$$I\% = [(AC- AS) /AS)]\times 100$$

- I%: النسبة المئوية لتثبيط الجذر الحر
- Ac: الامتصاصية المقاسة لـ DPPH في غياب المستخلص النباتي
- As: الامتصاصية المقاسة لـ DPPH في وجود المستخلص النباتي



الوثيقة (14): المنحنى القياسي لمحلول حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار الجذر الحر DPPH

2.6.اختبار القدرة الارجاعية للحديد FRAP:

يُستخدم اختبار القدرة الارجاعية لشوراد الحديد الثلاثي لتقييم القدرة الاختزالية للمركبات، ويُعد مؤشراً فعالاً لآلية عمل مضادات الأكسدة. تعتمد هذه الطريقة على قدرة مضادات الأكسدة في تحويل أيونات الحديد الثلاثي (Fe^{3+}) إلى أيونات الحديد الثنائي (Fe^{2+})، حيث يتكون معقد الحديد الثنائي ذو اللون الأزرق الداكن، ويمكن قياسه طيفياً عند طول موجي 700 نانومتر.

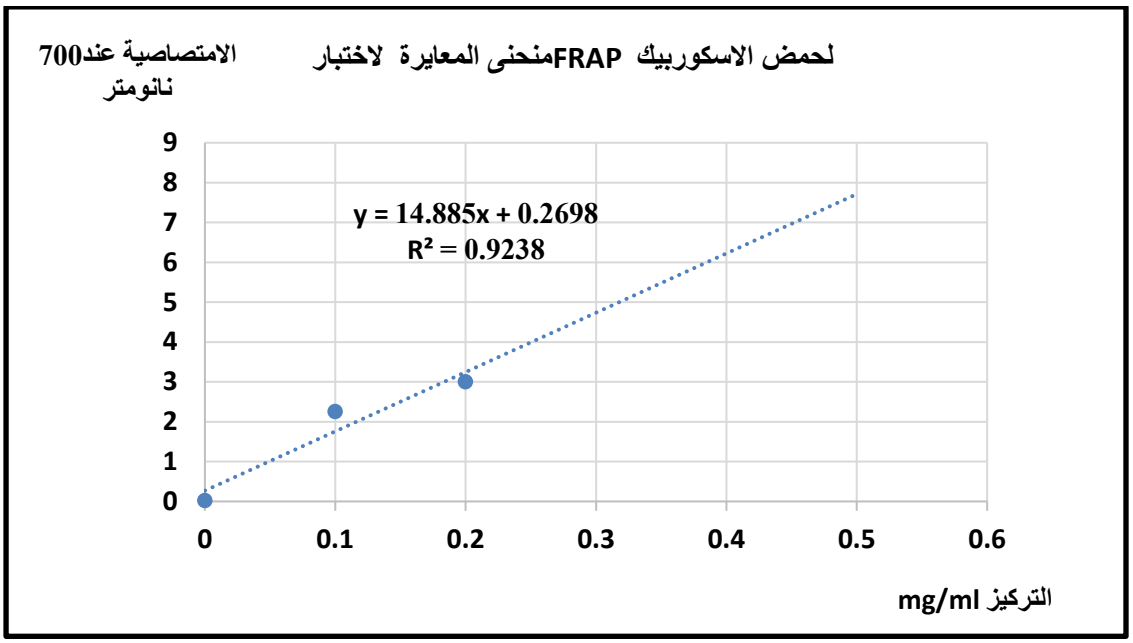
تم تحديد القدرة الاختزالية للمستخلص باستخدام الطريقة المذكورة من قبل Lalitha et Jayanthi (2011)، وذلك من خلال مزج 250 ميكرولتر من المستخلص بتركيزات مختلفة مع 625 ميكرولتر من محلول منظم فوسفات (0.2 مول/لتر، pH=6.6)، و625 ميكرولتر من محلول فيروسيانيد البوتاسيوم (1%).

يُحضن الخليط لمدة 20 دقيقة في حمام مائي عند 50 درجة مئوية، ثم يُضاف 625 ميكرولتر من حمض ثلاثي كلورو الأسيتيك (TCA) بتركيز 10%. بعد ذلك، يُعرض المزيج للطرد المركزي بسرعة 3000 دورة/دقيقة لمدة 10 دقائق. يُؤخذ 625 ميكرولتر من الطبقة العلوية، ويُضاف إليها 125 ميكرولتر من محلول كلوريد الحديديك ($FeCl_3$) بتركيز 0.1%، ويُكمل الحجم إلى الحجم النهائي بالماء المقطر.

تُقاس الامتصاصية عند طول موجي 700 نانومتر. وتمت مقارنة النتائج باستخدام حمض الأسكوربيك كمادة قياسية، حيث يُعد ازدياد الامتصاصية دليلاً على ارتفاع القدرة الاختزالية للعينة.

المعادلة التفاعلية:

$$K_3[Fe(CN)_6] + FeCl_3 \xrightarrow{\text{Antioxidant}} K_4[Fe(CN)_6] + FeCl_2$$



الوثيقة (15): المنحنى القياسي لمحلول حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار الFRAP

7.الدراسة الإحصائية :

أُجري التقدير الإحصائي لمحتوى الكلوروفيل من خلال أخذ ثلاث تكرارات لكل عينة نباتية لضمان دقة النتائج. تم تحليل البيانات باستخدام اختبار التحليل الأحادي للتباين(ANOVA) ، تَبِعَهُ اختبار أقل فرق معنوي (LSD) للمقارنة بين المتوسطات، وذلك عند مستوى دلالة 5 .($P \leq 0.05$) %وقد تم تنفيذ جميع العمليات الإحصائية باستخدام برنامجMicrosoft Excel . الملحق (1) يوضح ذلك

الفصل الثاني
النتائج والمناقشة

1.التقديرات الفيزيولوجية:

1.1.تقدير الكلوروفيل:

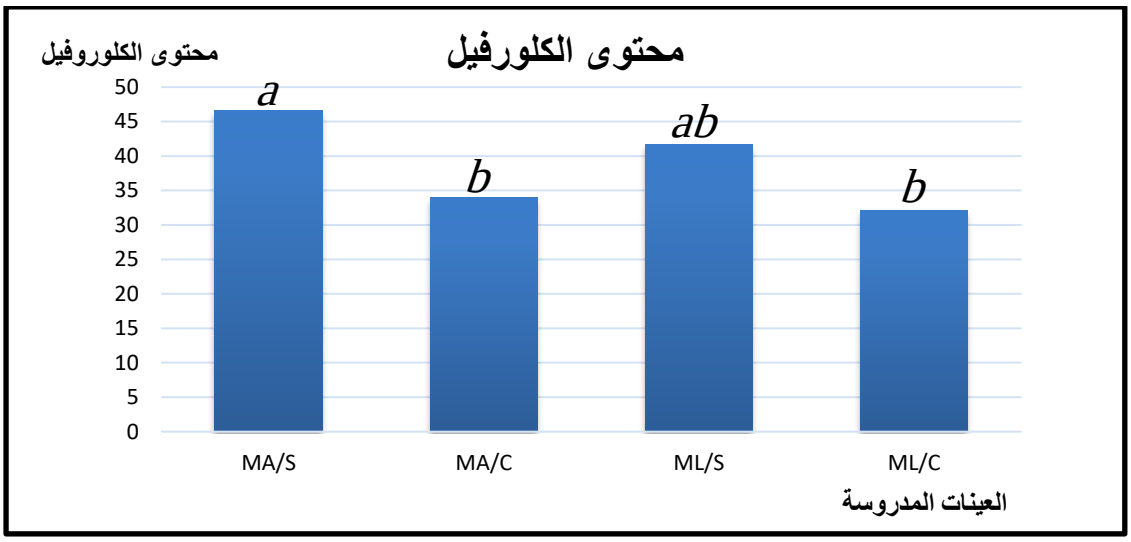
تمثّل الوثيقة (16) أعمدة بيانية توضح متوسط محتوى الكلوروفيل في كل من نبات النعناع المائي (*Mentha aquatica*)والنعناع الجبلي (*Mentha longifolia*) المُرويين بالمياه الجوفية الساخنة ذات درجات حرارة مختلفة، حيث تم دعم هذه النتائج بتحليل التباين الأحادي (ANOVA)، متبوعًا باختبار أقل فرق معنوي LSD لتحديد الفروقات الدالة إحصائيًا عند مستوى دلالة 0.05، كما هو موضح في الملحق (1).

أظهرت النتائج وجود اختلاف واضح في متوسط محتوى الكلوروفيل بين العينات المدروسة، كما بيّنت أن أعلى محتوى من الكلوروفيل سُجّل في نباتات النعناع المُسقاة بالماء الساخن.

وقد أظهرت النتائج تفوق نبات النعناع المائي (MA/S) في محتوى الكلوروفيل يليه النعناع الجبلي (ML/S)، حيث بلغت القيم على التوالي (46.6) و(41.73). أما العينات المُروية بالماء الساخن المبرد، فقد سجّلت قيمًا أقل، إلا أن النعناع المائي (MA/C) حافظ على تفوقه مسجّلًا (33.93)، بينما سجّل النعناع الجبلي (ML/C) قيمة(32.03) .

وأظهرت نتائج تحليل التباين الأحادي (ANOVA) وجود فروقات معنوية بين المتوسطات، حيث بلغت قيمة الاحتمالية (P-value) نحو 0.01756، مما يشير إلى دلالة إحصائية للفروقات المُلاحظة عند مستوى معنوية 0.05 .

كما بيّنت نتائج اختبار أقل فرق معنوي(LSD) ، والذي بلغت قيمته 8.92، وجود فروقات معنوية واضحة بين المعاملات، وقد تم توضيح هذه الفروقات باستخدام حروف إحصائية موضوعة أعلى الأعمدة في الوثيقة (16)؛ حيث تشير الحروف المختلفة (a، b) الموضوعة على الأعمدة إلى وجود فروق معنوية بين بعض المعاملات، بينما تدل الحروف المشتركة (مثل ab) على عدم وجود فروق معنوية واضحة بينها وبين بعض المعاملات الأخرى.



الوثيقة (16): أعمدة بيانية تمثل نسب متوسط محتوى الكلوروفيل لكل من نبات النعناع المائي Mentha aquatica والنعناع الجبلي Mentha longifolia

MA= (Mentha aquatica) نعناع مائي .ML= (Mentha longifolia) نعناع جبلي . ZC= نبات البوقريبة (Zygophyllum Cornutum)

S = ماء ساخن . C = ماء ساخن مبرد

يمكن تفسير هذه النتائج بأن الري بالماء الساخن المُبرّد يوفّر ظروفًا حرارية مناسبة تُعزز من كفاءة عمليات البناء الضوئي، وتحافظ على سلامة الخلايا النباتية، مما يدعم عملية تخليق الكلوروفيل (Sàez et al., 2019).

في المقابل، فإن الري بالماء الساخن يُسبب نوعًا من الإجهاد الحراري للنبات، ما يؤدي إلى انخفاض تركيز الكلوروفيل، ويُحتمل أن يكون ذلك نتيجة تفكك أغشية الكلوروبلاست أو تثبيط الإنزيمات المسؤولة عن تخليقه.

وأكدت نتائج دراسة Hasanuzzaman واخرون (2013) هذه النتائج، حيث أشارت إلى أن الإجهاد الحراري يقلل من استقرار الكلوروفيل في النباتات نتيجة تلف أغشية الثايلاكويد وتثبيط الإنزيمات المعنية بتخليقه.

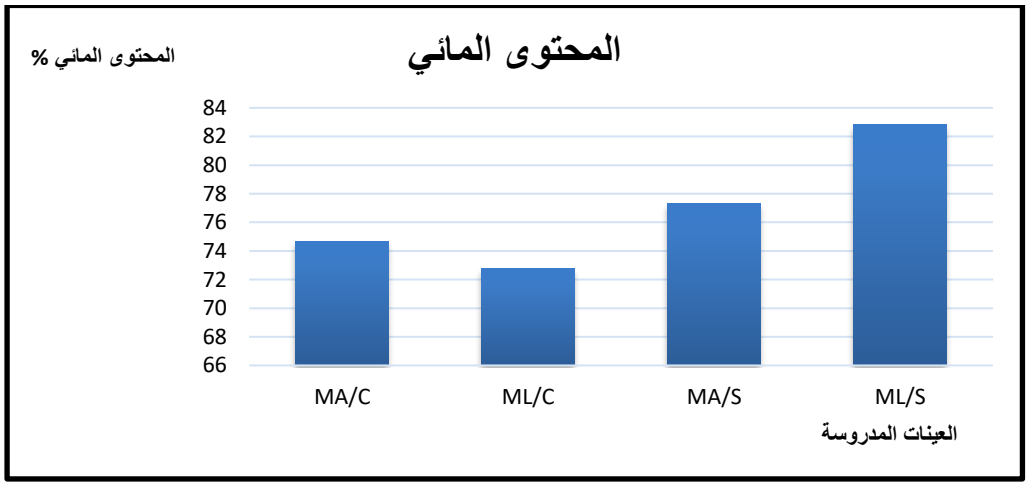
كما أن هذا الانخفاض في محتوى الكلوروفيل قد يعود أيضًا إلى ضعف امتصاص العناصر الغذائية الأساسية مثل النيتروجين، المغنيسيوم، والحديد تحت تأثير الحرارة المرتفعة، وهي عناصر ضرورية لتكوين الكلوروفيل.

وأشار Mishra وآخرون (2023) إلى أن الإجهاد الحراري يُضعف من نشاط الإنزيمات المسؤولة عن تخليق الكلوروفيل، ويؤثر سلبًا على البروتينات الناقلة للعناصر الغذائية عبر الجذور، مما يُقلل من

التزويد الداخلي للنبات بهذه العناصر، وبالتالي يعيق عمليات التمثيل الضوئي والتخليق الكلوروفيلي. ويتفق ذلك تمامًا مع ما لوحظ في التجربة، حيث انخفضت قيم الكلوروفيل في النباتات المعاملة بالماء الساخن.

2.1.تقدير المحتوى المائي:

تمثّل الوثيقة (17) أعمدة بيانية توضح نسب المحتوى المائي في كل من نبات النعناع المائي والنعناع الجبلي، تبعًا لاختلاف درجة حرارة مياه الري. أظهرت النتائج أن النباتات المُسقاة بالماء الساخن سجّلت نسبًا أعلى من المحتوى المائي مقارنةً بالنباتات المُروية بالماء الساخن المُبرّد. وقد كانت أعلى قيمة مسجلة لنسبة المحتوى المائي في النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن (ML/S) حيث بلغت (82.84)، تليها النعناع المائي بقيمة (77.31MA/S)، أما النباتات المُسقاة بالماء الساخن المُبرّد، فقد سجّلت نسبًا أقل؛ إذ بلغت (74.65 MA/C) في النعناع المائي و(ML/C72.76) في النعناع الجبلي.



الوثيقة (17): أعمدة بيانية تمثل نسب محتوى المائي لكل من نبات النعناع المائي Mentha aquatica *والنعناع الجبلي Mentha longifolia*

MA= (Mentha aquatica) نعناع مائي .ML= (Mentha longifolia) نعناع جبلي . ZC= نبات البوقريبة (Zygophyllum Cornutum)

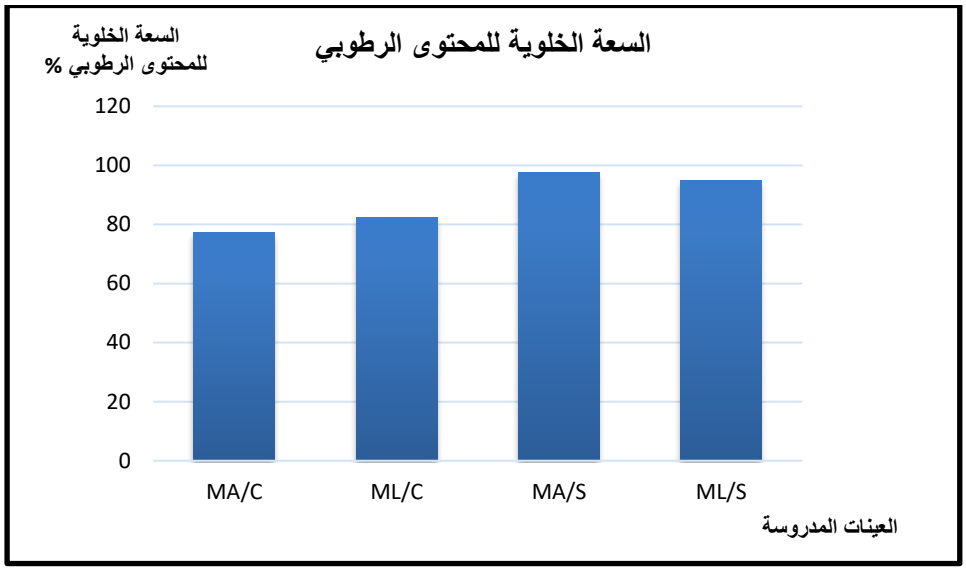
S = ماء ساخن . C = ماء ساخن مبرد

3.1.تقدير السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي:

تمثّل الوثيقة (18) أعمدة بيانية تُظهر نسب السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي في كل من نبات النعناع المائي والنعناع الجبلي، نتيجة لاختلاف درجة حرارة مياه الري.

أظهرت النتائج تسجيل أعلى القيم في النباتات المُسقاة بالماء الساخن، مقارنة بالنباتات المُروية بالماء الساخن المُبرّد.

وقد سجّل النعناع المائي المُروى بالماء الساخن (MA/S) أعلى قيمة للسعة الخلوية، بلغت (97.47)، يليه النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن بقيمة (94.88ML/S) أما النباتات المُسقاة بالماء الساخن المُبرّد، فقد سجّلت أقل القيم؛ إذ بلغت (MA/C82.3) في النعناع الجبلي و(ML/C77.32) في النعناع المائي.



الوثيقة (18): أعمدة بيانية تمثل نسب السعة الخلوية للمحتوى الرطوبي لكل من نبات النعناع المائي Mentha aquatica *والنعناع الجبلي Mentha longifolia*

MA= (Mentha aquatica) نعناع مائي .ML= (Mentha longifolia) نعناع جبلي . ZC= نبات البوقريبة (Zygophyllum Cornutum)

S = ماء ساخن . C = ماء ساخن مبرد

أظهرت نتائج الدراسة أن ري نباتي النعناع المائي (*Mentha aquatica*) والنعناع الجبلي (*Mentha longifolia*) بالماء الساخن أدى إلى ارتفاع ملحوظ في كل من المحتوى المائي والسعة الخلوية، مقارنة بالنباتات المُروية بالماء الساخن المُبرّد. ويمكن تفسير هذه النتائج فسيولوجيًا بعدة آليات مترابطة.

يرتبط هذا الارتفاع بتنشيط الحرارة لإنزيمات مثل *pectin methylesterases* (PMEs)، التي تسهم في تفكيك مكونات الجدار الخلوي، مما يزيد من مرونته ويُسهّل تمدد الخلايا وامتصاص الماء (Wu et al., 2018). كما أن درجات الحرارة المرتفعة تُفعل إشارات خلوية عبر قنوات الكالسيوم، مما يُحفّز استجابات داخلية تُعزز من امتصاص الماء والعناصر المعدنية.(Liu et al., 2018)

بالإضافة إلى ذلك، تُحفّز الحرارة إنتاج بروتينات الصدمة الحرارية - *Heat Shock Proteins* (*HSPs*)، التي تُنظّم التعبير الجيني المرتبط بتركيب الجدار الخلوي، مثل الجين *ZmCesA2* المسؤول عن

إنتاج السليولوز، مما يُعزز من قدرة النبات على تحمّل الإجهاد الحراري ويحسّن من توازن الماء داخل الخلايا(Lu et al., 2025) .

كما بينت دراسة أجريت على نبات السبانخ أن رفع درجة حرارة مياه الري خلال فصل الشتاء ساهم في تحسين النمو والإنتاجية، ويُعزى ذلك إلى تحفيز امتصاص الماء والعناصر الغذائية، وتسريع العمليات الأيضية داخل النبات نتيجة ارتفاع حرارة المحلول المغذي، مما أدى إلى تعزيز النمو الخضري (Nxave et al., 2009).

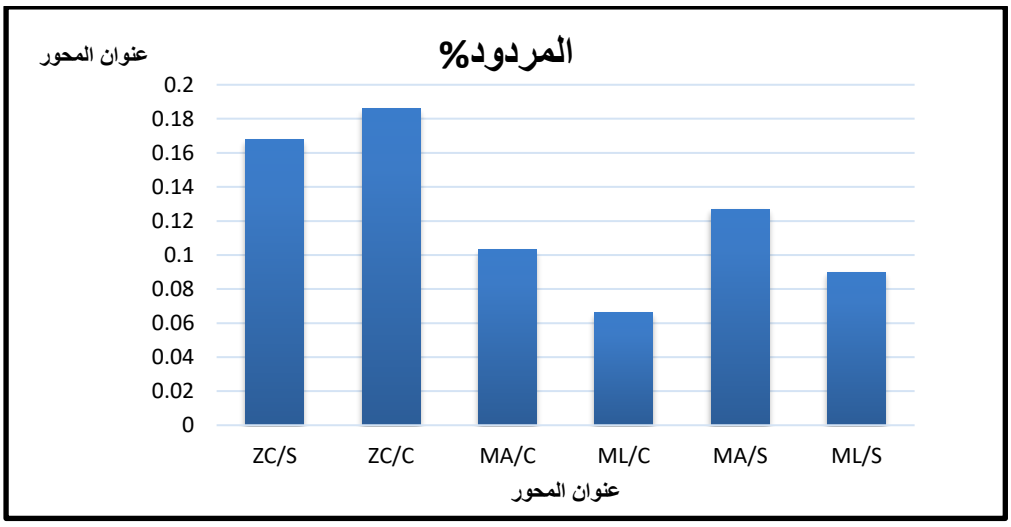
ورغم هذه النتائج الإيجابية، إلا أن دراسة أجراها Hachicha وزملاؤه (2012) في البيئات القاحلة بتونس أظهرت نتائج معاكسة؛ حيث أدّى استخدام المياه الجوفية الساخنة في الري إلى آثار سلبية على النباتات، تمثلت في انخفاض محتوى الأكسجين الذائب في الماء، مما أثّر سلبًا على تهوية التربة وتنفس الجذور.
كما ساهمت درجات الحرارة المرتفعة في تسخين الطبقة السطحية للتربة، مما أدى إلى إجهاد حراري للنباتات وانخفاض في كفاءة النمو والتمثيل الضوئي.

تختلف نتائج تلك الدراسة عن ما توصلنا إليه، ويُحتمل أن يُعزى هذا التباين إلى اختلاف الظروف المناخية؛ حيث أُجريت تجربتنا خلال فصل الشتاء، ما خفف من الأثر الحراري السلبي، وسمح باستغلال الحرارة لتحفيز امتصاص الماء وتحسين التوازن المائي داخل النباتات.

2.التقديرات الفيتوكيميائية:

1.2.المردود:

تُوضح الوثيقة (19) نسب المردود (%) للعينات النباتية المدروسة. وقد سجلت العينة ZC/C أعلى نسبة مردود، بلغت نحو 0.186%، تلتها العينة ZC/S بنسبة تقارب 0.168%. وجاءت عينة MA/S في المرتبة الثالثة بنسبة بلغت حوالي 0.127%، تليها MA/C بنسبة 0.103%. أما العينتان ML/S و ML/Cفقد سجلتا أقل نسب للمردود، حيث بلغت على التوالي 0.09% 0.066%.



الوثيقة (19) : مخطط يوضح نسبة مردود المستخلصات الميثانولية المدروسة

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA (Zygophyllum Cornutum)

ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

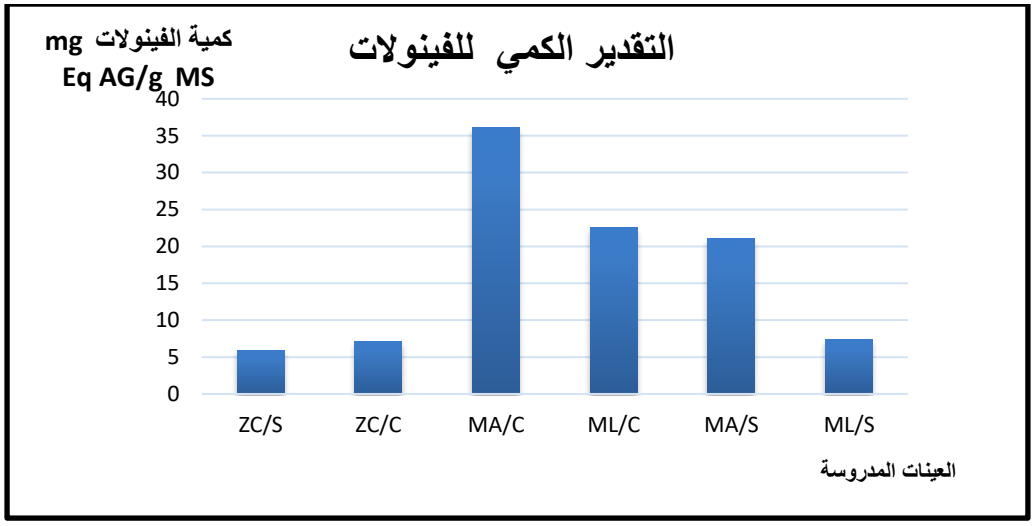
بناءً على تحليل النتائج السابقة، يمكن تفسير تأثير اختلاف درجة حرارة مياه الري على المردود البيولوجي والمحتوى الكيميائي الحيوي للمركبات الثانوية في النباتات المدروسة.

فقد سجّلت عينات البوقريبة ZC/S) و ZC/C)أعلى نسب في المردود، ويُحتمل أن يُعزى ذلك إلى التأثير التحفيزي للحرارة على النشاط الأيضي داخل الخلايا النباتية، بالإضافة إلى دورها في زيادة نفاذية الأغشية الخلوية، مما يُسهم في تعزيز امتصاص الماء والعناصر المعدنية الأساسية لنمو النبات، وبالتالي رفع الكتلة الحيوية الكلية. وقد دعمت هذه الفرضية دراسات سابقة، من بينها ما أشار إليه Siddiqui et al. (2015)، حيث بيّن أن الحرارة المعتدلة تُحسّن من كفاءة الامتصاص وتعزز النمو النباتي من خلال زيادة الكتلة الحيوية.

2.2.التقدير الكمي لعديدات الفينول:

تمثّل الوثيقة (20) التقدير الكمي للمحتوى الكلي لعديدات الفينول في المستخلصات النباتية المدروسة، مُعبّراً عنه بوحدةmg EQ AG / g MS . وقد أظهرت النتائج تفاوتًا ملحوظًا في تركيز عديدات الفينول بين العينات المختلفة. سجّلت عينة النعناع المائي المُروى بالماء الساخن المبرد (MA/C) أعلى قيمة، بلغت mg/g36.06 ، تلتها عينة النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن المبرد (ML/C) بقيمة mg/g22.61، ثم عينة النعناع المائي المُروى بالماء الساخن (MA/S) بقيمة mg/g21.04 . في المقابل، سجلت عينة النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن(ML/S) ، والبوقريبة المُروية بالماء الساخن المبرد(ZC/C) ، والبوقريبة

المُروية بالماء الساخن (ZC/S) قيماً أقل، بلغت على التوالي: 7.38 و7.11 و5.94mg/g ، مما يعكس تفاوتًا واضحًا في المحتوى الفينولي بين العينات المدروسة.



الوثيقة (20): التقدير الكمي للمحتوى الكلي لعديدات الفينول في المستخلص الخام للعينات النباتية المدروسة

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA (Zygophyllum Cornutum)

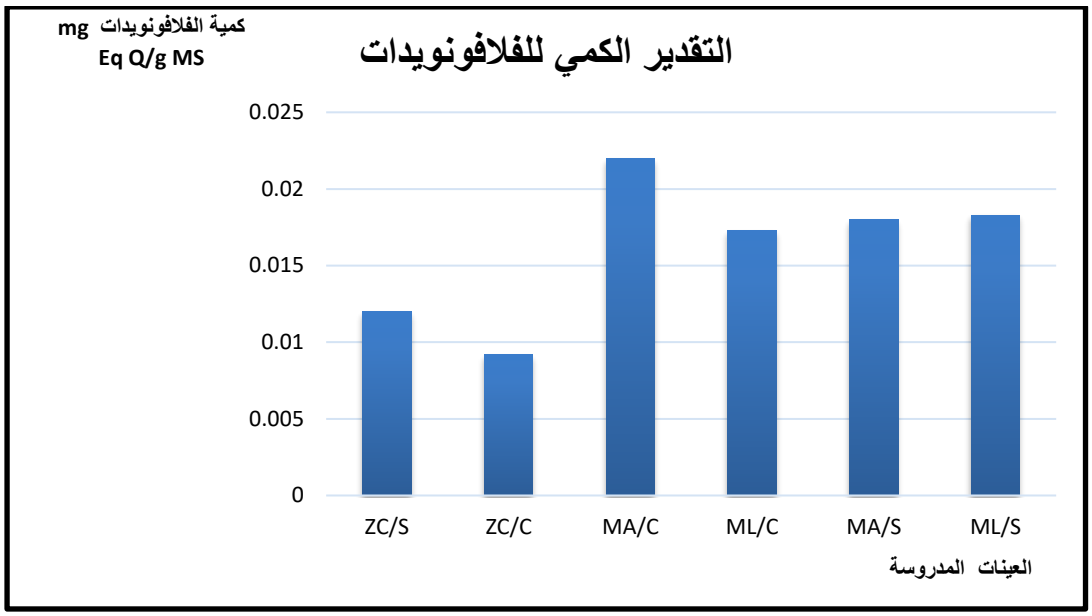
ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

3.2.التقدير الكمي للفلافونويدات:

تمثّل الوثيقة (21) التقدير الكمي لمحتوى الفلافونويدات في المستخلصات النباتية المدروسة، مُعبّراً عنه بوحدةmg EQ Q/g MS .وقد أظهرت النتائج تفاوتًا واضحًا في تركيز الفلافونويدات بين العينات.

سجّلت عينة النعناع المائي المُروى بالماء الساخن المبرد (MA/C) أعلى قيمة، بلغت 0.022 mg/g، تلتها عيّنتا النعناع الجبلي (ML/S) والنعناع المائي (MA/S) المُرويتان بالماء الساخن، بقيم بلغت 0.0183 mg/g و0.018 mg/g على الترتيب. كما سجلت عينة النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن المبرد (ML/C) تركيزًا قدره 0.0173mg/g .

أما عينة نبات البوقريبة المُروى بالماء الساخن (ZC/S) فقد سجلت تركيزًا بلغ 0.012mg/g ، في حين كانت أدنى قيمة للفلافونويدات في عينة البوقريبة المُروى بالماء الساخن المبرد(ZC/C) ، حيث بلغت 0.0092mg/g ، مما يُبرز التباين في تراكم الفلافونويدات بين العينات المدروسة.



الوثيقة(21): التقدير الكمي لمحتوى الفلافونويدات الكلية في المستخلصات النباتية المدروسة.

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA (Zygophyllum Cornutum)

ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

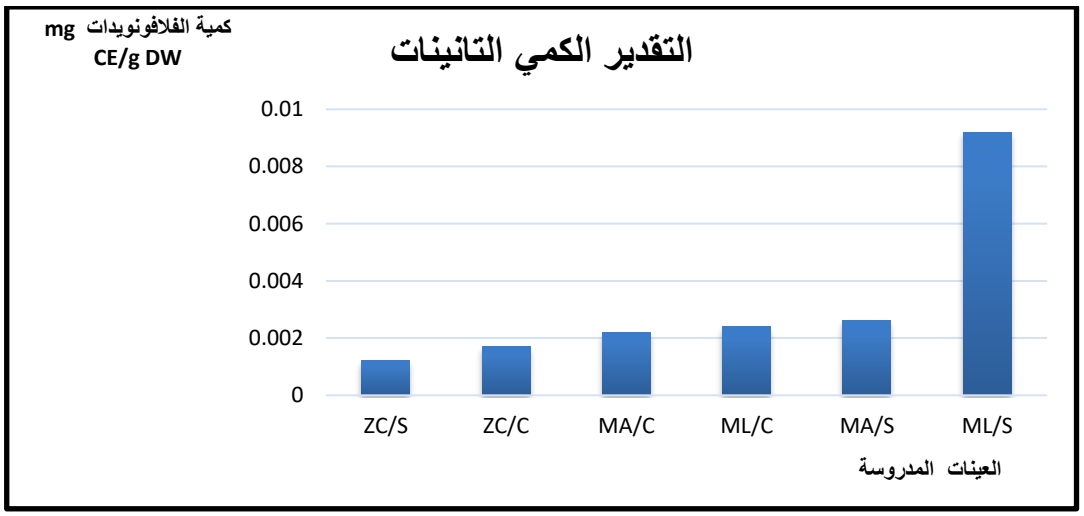
4.2.التقدير الكمي للتانينات:

تمثّل الوثيقة (22) التقدير الكمي لمحتوى التانينات في المستخلصات النباتية المدروسة، معبّرًا عنه بوحدة mg CE/g DW (ميليغرام مكافئ كاتيشين لكل غرام من المادة الجافة).

وقد أظهرت النتائج تفاوتًا ملحوظًا في تركيز التانينات بين العينات. حيث سجّلت عينة النعناع الجبلي المُروى بالماء الساخن (ML/S) أعلى تركيز بلغ mg/g0.0092 .أما باقي العينات، فقد تراوحت القيم بين 0.0026 و mg/g0.0012 ، حيث قُدّرت كالتالي:

عينة ZC/C بـ mg/g0.0017 ، MA/Cبـ mg/g0.0022 ، ML/Cبـ mg/g0.0024 ، و MA/Sبـ mg/g0.0026 .

في حين سُجلت أدنى قيمة في عينةZC/S ، وبلغت mg/g0.0012 ، مما يوضح الاختلاف في تراكم التانينات بين الأنواع وظروف الري المختلفة.



الوثيقة(22): التقدير الكمي لمحتوى التانينات في المستخلصات النباتية المدروسة.

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA
(Zygophyllum Cornutum)

ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

تنتج النباتات عددًا كبيرًا من المركبات نتيجة للتفاعلات الكيميائية اللاحقة، وتُعرف هذه المركبات بمواد الأيض الثانوي، والتي تشمل المركبات الفينولية، الفلافونويدات، التانينات وغيرها (Zegheb, 2013; Mohammdi, 2011) .وتتأثر هذه المركبات بعوامل متعددة، منها الحرارة، الرطوبة، نوعية التربة(Tahan et al., 2019) ، ونوعية ماء الري(Haddou et al., 2023) ، إذ تتعرض النباتات في ظل هذه الظروف لضغوط بيئية تفوق حدود الاستقرار الفسيولوجي، مما يستدعي تفعيل آليات تكيفية لمواجهتها.

تلعب المركبات الثانوية، كالفينولات، القلويدات، والتربينويدات، دورًا محوريًا في استجابة النباتات للإجهاد من خلال قدرتها على مكافحة أنواع الأوكسجين التفاعلية (ROS) (Albergaria et al., 2020; Mahajan et al., 2020).

وبالعودة إلى نتائج التقدير الكمي لعديدات الفينول، الفلافونويدات، والتانينات في المستخلصات النباتية المدروسة، يتضح وجود تباين ملحوظ بين العينات من حيث تراكم هذه المركبات الثانوية. فقد سجّلت عينة النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد (MA/C) أعلى قيمة لكل من عديدات الفينول (36.06 mg EQ AG/g MS)والفلافونويدات(0.022 mg EQ Q/g MS) ، مما يعكس فعالية الحرارة المعتدلة في تحفيز استخلاص هذه المركبات. ويُعزى ذلك إلى زيادة نفاذية الجدران الخلوية وتحلل الروابط بين المركبات الفينولية والمكونات البنيوية للخلية، مما يسهل تحريرها (Tiwari et al., 2011; Liazid et al., 2007).

تليها في الترتيب عينة النعناع الجبليML/C ، ثم النعناع المائيMA/S ، بقيم تراوحت بين 21 و22.61mg/g . وتشير هذه النتائج إلى أن الحرارة المعتدلة تُعزز الاستخلاص دون أن تسبب تحللًا حراريًا للمركبات .(Antony & Farid, 2022) أما الفلافونويدات، فلوحظ أنها أكثر حساسية للحرارة مقارنة بعديدات الفينول، إذ تبدأ بالتحلل عند درجات حرارة أقل، ما يفسر انخفاض تراكيزها النسبي مقارنة بالفينولات الكلية(Dai & Mumper, 2010) .

فيما يخص التانينات، فقد سجلت عينة ML/S أعلى تركيز(0.0092 mg CE/g DW) ، رغم انخفاض محتواها الكلي من الفينولات(7.38 mg/g) ، مما يدل على أن الإجهاد الحراري الناتج عن الماء الساخن غير المبرد حفّز إنتاج التانينات كمركبات دفاعية ثانوية، كما أوضحت دراسة .Yang et al (2018)حول استجابة النباتات للإجهاد البيئي.

في المقابل، سجّلت عينات البوقريبة ZC/C) و (ZC/Sأدنى التراكيز لجميع المركبات المدروسة، مما يدل على حساسية هذا النوع النباتي للحرارة المرتفعة، وضعف كفاءته في تركيب المركبات الفينولية تحت ظروف غير ملائمة.(Tawaha et al., 2007)

تُبرز هذه النتائج أن فعالية الحرارة في تحفيز إنتاج المركبات الثانوية تختلف باختلاف النوع النباتي، وبنية الخلية، ونشاط الإنزيمات المعنية. كما أن نوع المركب الفينولي نفسه يؤثر في استقراره الحراري وقدرته على التراكم داخل الأنسجة. وتشير العديد من الدراسات إلى أن الحرارة المعتدلة تُعد محفزًا فسيولوجيًا فعالًا لاستخلاص المركبات الفينولية، في حين تؤدي الحرارة المفرطة إلى تحللها أو تثبيط تركيبها (Tiwari et al., 2011; Antony & Farid, 2022; Dai & Mumper, 2010) .

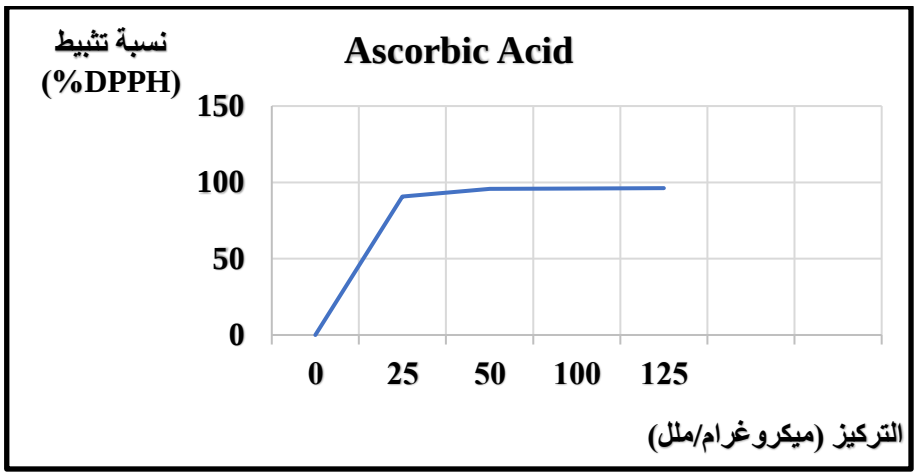
3.تقدير الفاعلية المضادة للأكسدة:

1.3.اختبار الجذر الحر DPPH:

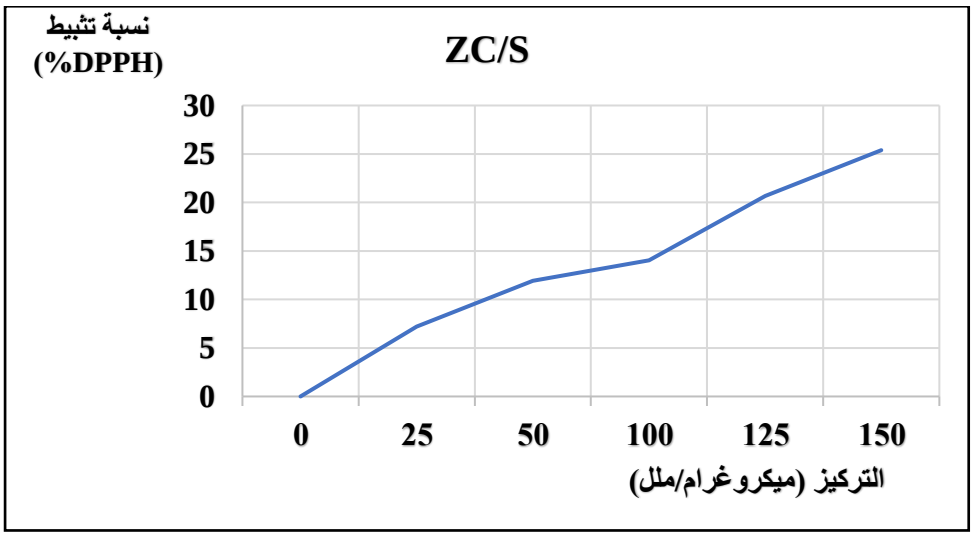
بناءً على الوثائق (23) إلى (30)، التي تشمل منحنيات اختبار DPPH لتقدير الفعالية المضادة للأكسدة ونسب تثبيط الجذر الحر، يظهر تباين واضح في فعالية المستخلصات النباتية المدروسة.يُظهر منحنى حمض الأسكوربيك (الوثيقة 23) فعالية مضادة للأكسدة عالية، حيث ترتفع نسبة تثبيط DPPH بسرعة مع زيادة التركيز، لتصل إلى نحو 90% عند تركيز 25 ميكروغرام/مل، ثم تستقر. ما يجعله معيارًا مرجعيًا مثالياً لمقارنة أداء باقي المستخلصات.في المقابل، يُظهر مستخلص نبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن (ZC/S) في الوثيقة (24) منحنى شبه مسطح، يعكس استجابة ضعيفة للغاية للتراكيز المتزايدة، وهو ما يشير إلى فعالية مضادة للأكسدة ضعيفة. بينما يُظهر مستخلص نفس النبات المروي بالماء الساخن المبرد (ZC/C) الوثيقة (25) تحسنًا طفيفًا في الأداء، لكن الفعالية ما تزال محدودة مقارنة بباقي الأنواع.

أما مستخلص النعناع، فيُظهر تباينًا ملحوظًا حسب النوع وظروف الري. إذ يُسجّل مستخلص النعناع المائي المسقي بالماء الساخن (MA/S) الوثيقة (28) منحنى فعّال يتميز بارتفاع واضح في نسبة التثبيط مع زيادة التركيز، مما يدل على فعالية قوية. يليه منحنى النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن (ML/S) الوثيقة (29) بمنحنى مشابه لكن بانحدار أقل، مما يعكس فعالية جيدة لكنها أضعف نسبيًا من MA/S.

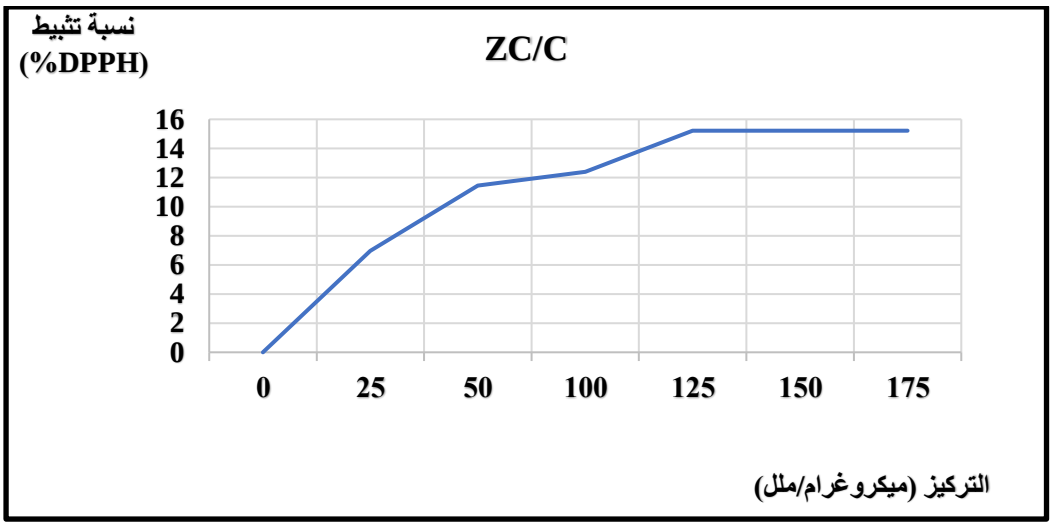
أما منحنى النعناع المائي المروي بالماء الساخن المبرد (MA/C) الوثيقة (26) فيُظهر فعالية متوسطة، حيث يتميز بانحدار معتدل. في حين يبدو منحنى النعناع الجبلي المروي بالماء الساخن المبرد (ML/C)الوثيقة (27) أقل حدة، ما يشير إلى فعالية أضعف نسبياً مقارنة بنظيره المسقي بالماء الساخن.



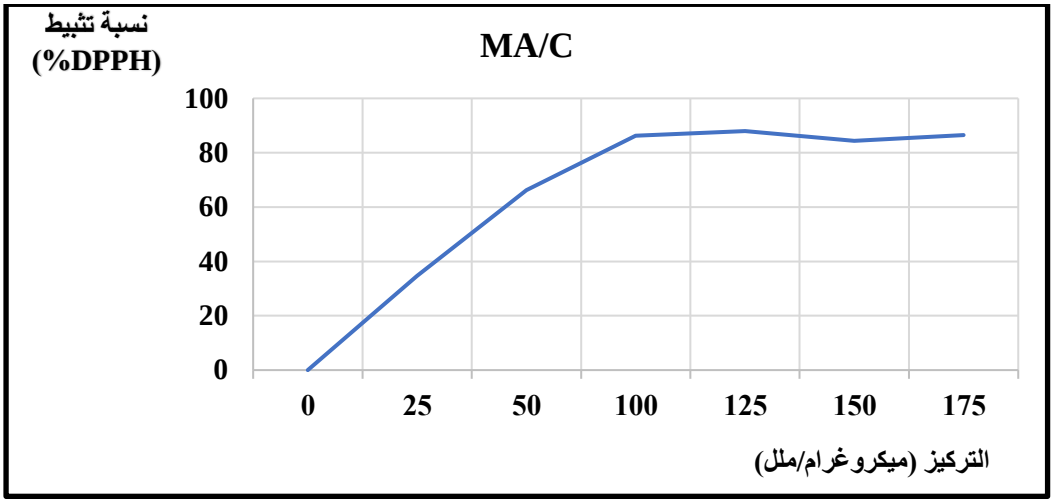
الوثيقة (23): المنحنى القياسي لحمص الاسكوربيك المعتمد في اختبار الجز الحر DPPH



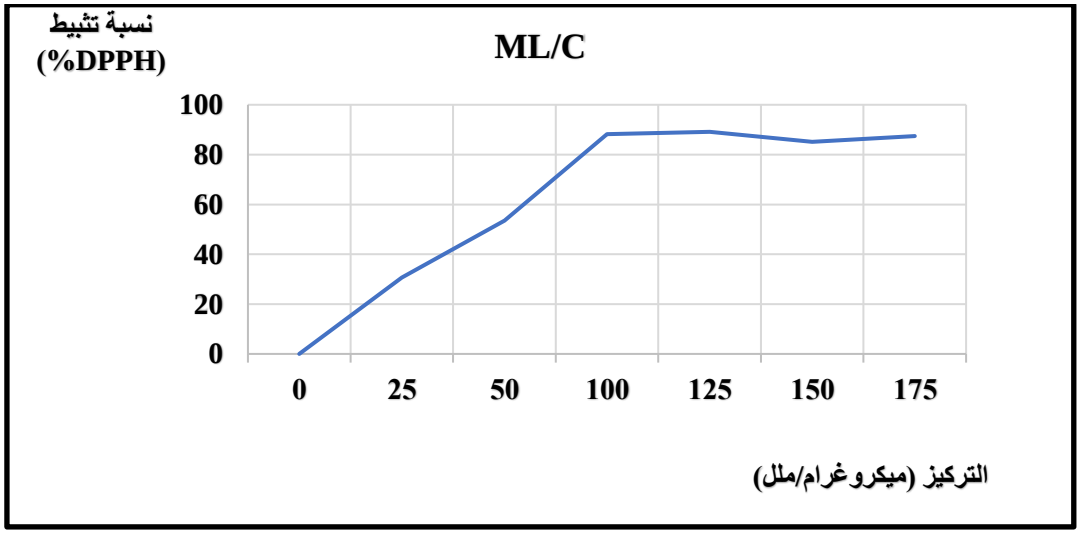
الوثيقة: (24) منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن.



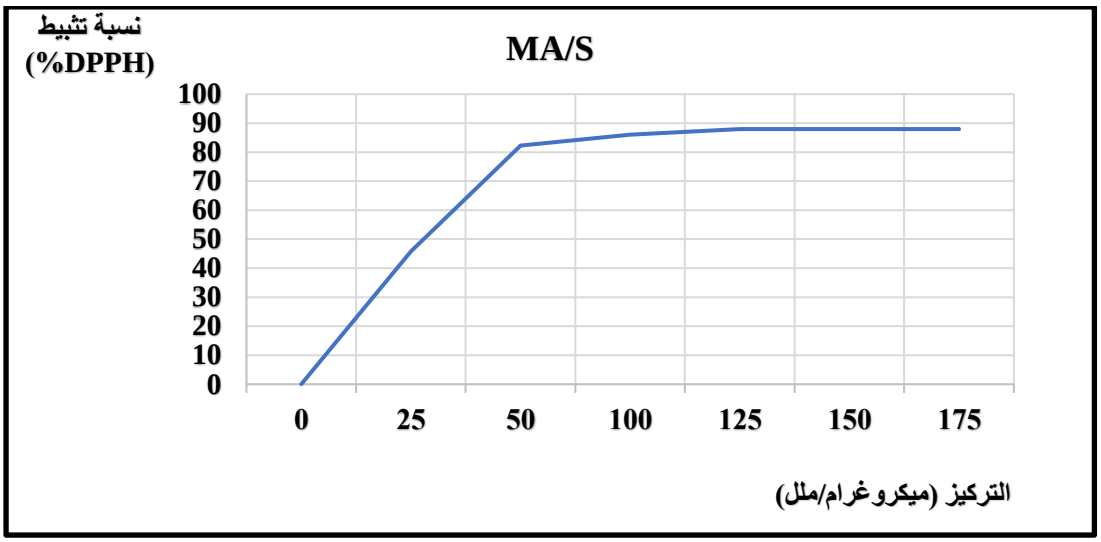
الوثيقة: (25) منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن المبرد.



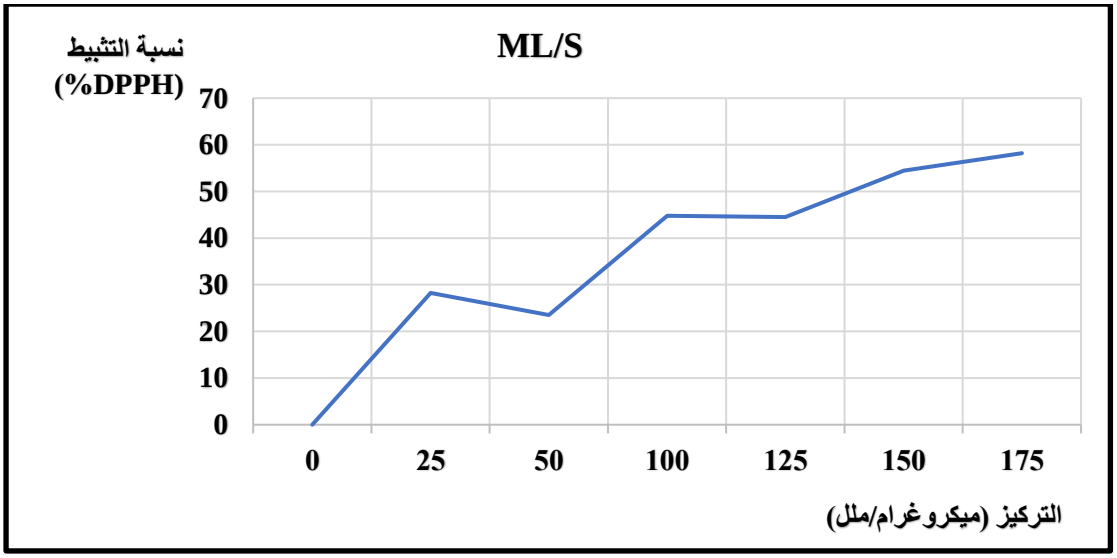
الوثيقة: (26)منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع المائي المسقي بالماء العادي



الوثيقة(27) : منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء العادي.



الوثيقة: (28) منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد



الوثيقة(29) : منحنى النشاطية المضادة للأكسدة DPPH للمستخلص الميثانولي لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد.

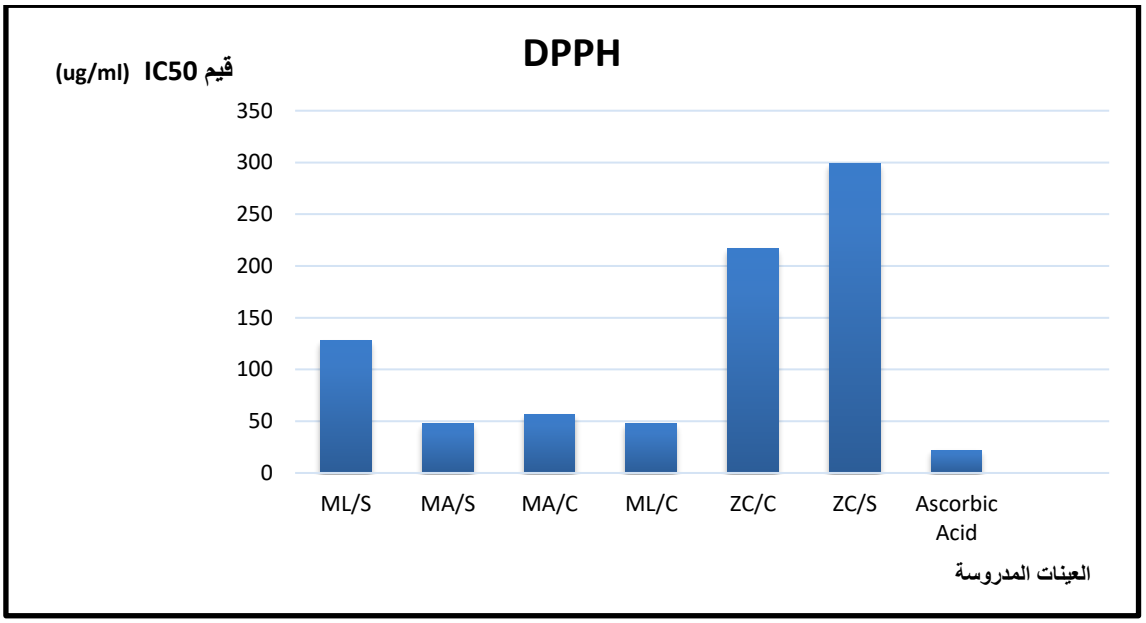
استنادًا إلى الوثيقة (30)، التي تعرض قيم IC50 للمستخلصات النباتية المدروسة وحمض الأسكوربيك كمادة مرجعية، يمكن تقييم النشاط المضاد للأكسدة بوضوح، حيث تُعد القيمة الأقل مؤشرًا على فعالية أعلى.

سجّل حمض الأسكوربيك أقوى فعالية مضادة للأكسدة بقيمة IC50 بلغت 22.14 µg/mL، ما يجعله المعيار المرجعي. يليه مستخلص النعناع المائي المسقي بالماء الساخن (MA/S) بقيمة 47.33 µg/mL، ثم النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد (ML/C) بقيمة 47.54 µg/mL، وكلاهما أظهر فعالية عالية ومتقاربة. في المرتبة التالية جاء النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد (MA/C) بقيمة 56.82

µg/mL، ما يعكس فعالية معتدلة. أما النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن (ML/S) فقد تراجعت فعاليته بوضوح إلى 127.58 µg/mL.

بالمقابل، أظهرت مستخلصات نبات البوقريبة أدنى فعالية، حيث بلغت قيمة IC50 في العينة المسقية بالماء الساخن المبرد (ZC/C)حوالي 216.54 µg/mL، في حين سجّلت العينة المسقية بالماء الساخن (ZC/S)أعلى قيمة على الإطلاق وهي 298.86 µg/mL، ما يدل على ضعف النشاط المضاد للأكسدة.

وبشكل عام، أظهرت أنواع النعناع، وخاصة النعناع المائي، فعالية مضادة للأكسدة أعلى بكثير من البوقريبة. كما يبدو أن الري بالماء الساخن أثر سلبًا على فعالية المستخلصات في معظم الحالات، خاصة لدى البوقريبة.



الوثيقة: (30) قيم IC50 المثبطة لـ 50% من الجذر الحر DPPH للمستخلصات النباتية المدروسة، وحمض الأسكوربيك.

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA (Zygophyllum Cornutum)

ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

أظهرت نتائج اختبار DPPH لتقييم الفعالية المضادة للأكسدة تفاوتًا واضحًا بين المستخلصات النباتية المدروسة، وذلك من خلال تحليل منحنيات التثبيط وقيم IC_{50}. وقد استُخدم حمض الأسكوربيك كمركب مرجعي، مسجلًا أعلى فعالية (IC_{50} = 22.14 µg/mL). وبما أن انخفاض قيمة IC_{50} يعكس فعالية أكبر في تثبيط الجذور الحرة (علية وسعدون، 2017)، فقد اعتُمد حمض الأسكوربيك معيارًا للمقارنة.

من بين المستخلصات النباتية، أظهر مستخلص النعناع المائي المسقي بالماء الساخن (MA/S) فعالية قوية(IC_{50} = 47.33 µg/mL) ، يليه النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد (ML/C) بقيمة قريبة (IC_{50} = 47.54 µg/mL). ويُعزى هذا الأداء المرتفع إلى محتواهما العالي من عديدات الفينول والفلافونويدات، كما أُثبت في التحاليل الكمية، مما يشير إلى وجود علاقة وثيقة بين تراكم المركبات الثانوية وفعالية المستخلصات كمضادات أكسدة.

تتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Benabdallah وزملاؤه (2016)، حيث أظهر المستخلص الميثانولي للنعناع المائي فعالية قوية في اختبارDPPH ، مقارنةً بالمركب المرجعي .BHT كما بين Benhammouوآخرون (2008) أن التأثير المضاد للأكسدة في مستخلصات نبات الضرو يعود إلى غناها بالمركبات الفينولية، وخاصة الفلافونويدات، التي تملك القدرة على منح الإلكترونات أو ذرات الهيدروجين لمعادلة الجذور الحرة.(Rice-Evans et al., 1997)

في المقابل، أظهرت عينات نبات البوقريبة فعالية ضعيفة، إذ بلغ IC_{50} لمستخلص ZC/C نحو µg/mL216.54 ، في حين بلغت قيمةZC/S 298.86 µg/mL ، وهي الأعلى بين جميع العينات. ويُعزى هذا الأداء المنخفض إلى انخفاض محتوى هذه المستخلصات من الفينولات والفلافونويدات، مما يؤكد العلاقة الطردية بين تراكيز هذه المركبات والنشاط المضاد للأكسدة، كما أشار إليه كل من Dai & Mumper (2010)و Kumar & Pandey (2013).

أما بالنسبة للتانينات، فرغم أن عينة النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن (ML/S) سجلت أعلى تركيز(0.0092 mg/g) ، إلا أن فعاليتها في اختبار DPPH كانت محدودة(IC_{50} = 127.58 µg/mL) ، مقارنةً بعينات تحتوي على تراكيز أقل من التانينات. يشير ذلك إلى أن التانينات، رغم امتلاكها خصائص مضادة للأكسدة، قد تكون مساهمتها في تفاعل DPPH أقل فاعلية من المركبات الفينولية الأخرى، نتيجة لحجمها الجزيئي الكبير وضعف ذوبانها.(Apak et al., 2016)

في الختام، تؤكد النتائج أن فعالية المستخلصات في تثبيط الجذور الحرة تعتمد بشكل رئيسي على محتواها من الفينولات والفلافونويدات، مع تفوق واضح للنعناع، وخاصة النوع المائي، مقارنةً بالبوقريبة. كما أظهرت الدراسة أن نوعية مياه الري (ساخنة أو مبردة) تُحدث تأثيرات مختلفة حسب نوع النبات، حيث عزز الماء الساخن فعالية بعض المستخلصات بينما قللها في أخرى، مما يستدعي إجراء دراسات فيزيولوجية أعمق لفهم آليات التفاعل النباتي مع هذه الظروف.

2.3.اختبار القدرة الارجاعية للحديد FRAP:

من خلال النتائج الموضحة في الوثائق (31، 32، 33، 34، 35، 36، 37، 38)، يتبيّن أن مستخلصات النباتات المدروسة أظهرت قدرة متفاوتة على إرجاع شوارد الحديد الثلاثي (Fe^{3+}) إلى الحديد

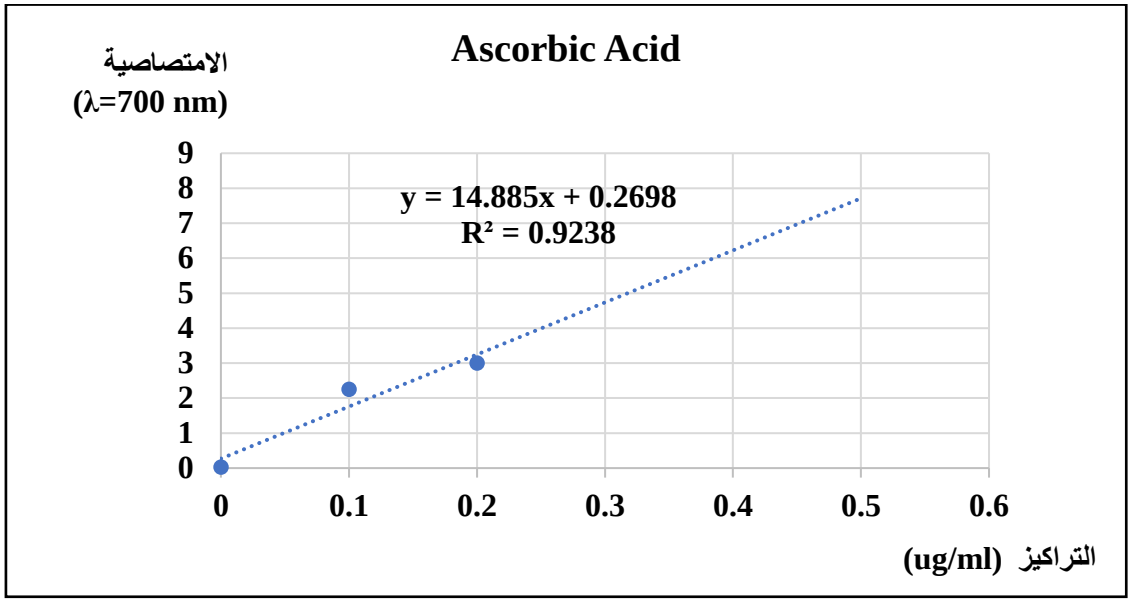
الثنائي(Fe^{2+}) ، وهو ما يُستدل عليه من خلال ارتفاع الامتصاصية عند طول موجي 700 نانومتر مع زيادة التركيز.

تشير هذه الزيادة في الامتصاصية إلى وجود نشاط اختزالي، ما يدل على امتلاك جميع العينات المختبرة خواصًا مضادة للأكسدة مرتبطة بقدرتها على التفاعل مع شوارد الحديد.

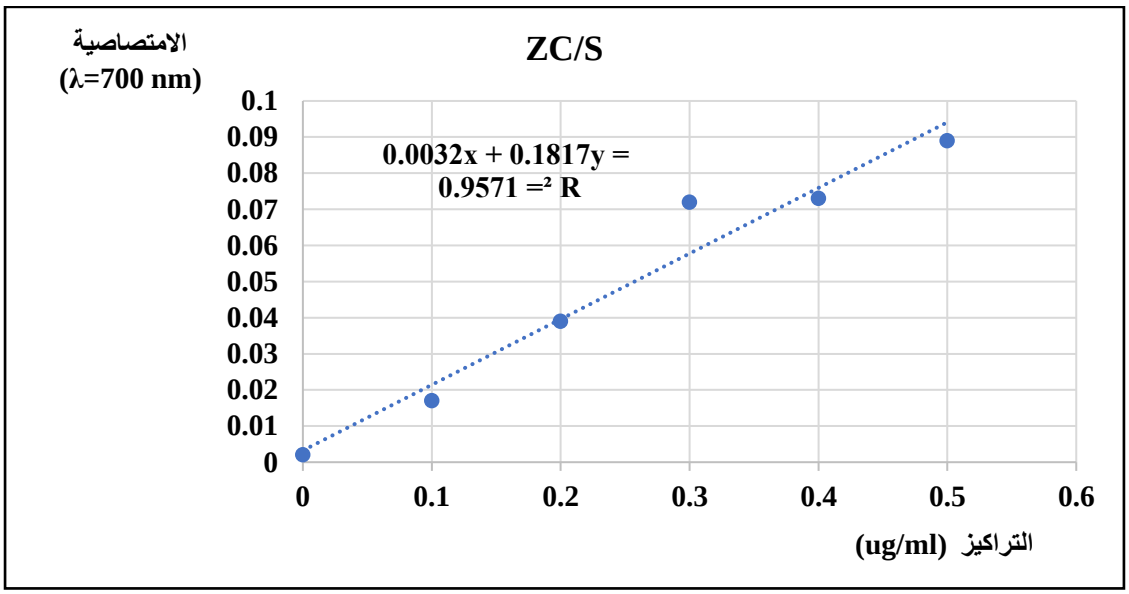
وقد سجل مستخلص النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد (MA/C) أعلى امتصاصية، حيث ارتفعت القيم من 0.258إلى 0.842 نانومتر، تليه نفس النبات المسقي بالماء الساخن (MA/S) بقيم تراوحت بين 0.202 و0.800 نانومتر .بعده جاء مستخلص النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد (ML/C)بامتصاصية بين 0.250و0.612 نانومتر، ثم مستخلص النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن (ML/S)بقيم تتراوح بين 0.196و0.372 نانومتر.

أما أقل القيم فقد سُجلت لدى مستخلصات نبات البوقريبة، حيث بلغ مدى الامتصاصية لـ ZC/Cبين 0.008و0.272 نانومتر، يليه ZC/Sالذي تراوح بين 0.017و0.089 نانومتر، ما يشير إلى ضعف قدرتها على إرجاع الحديد الثلاثي مقارنة بباقي العينات.

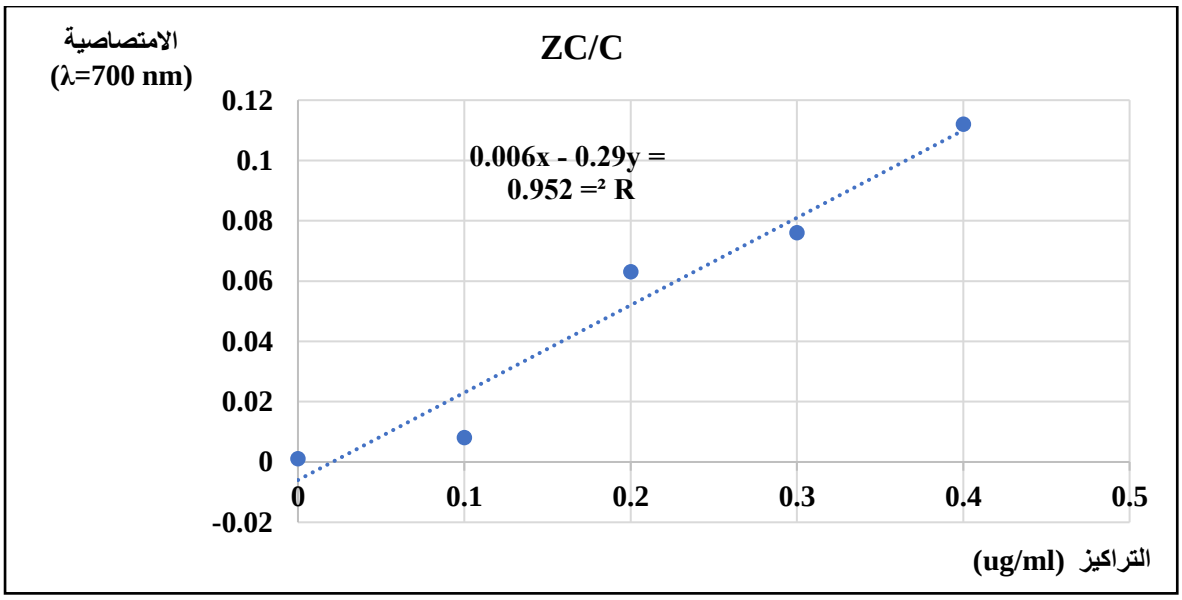
بالتالي، يمكن القول إن جميع النباتات أظهرت فعالية اختزالية، لكن بدرجات متفاوتة، مع تفوق واضح للنعناع، خاصة النوع المائي، مما يعكس غناه بالمركبات الفينولية القادرة على التبرع بالإلكترونات لإحداث هذا التفاعل.



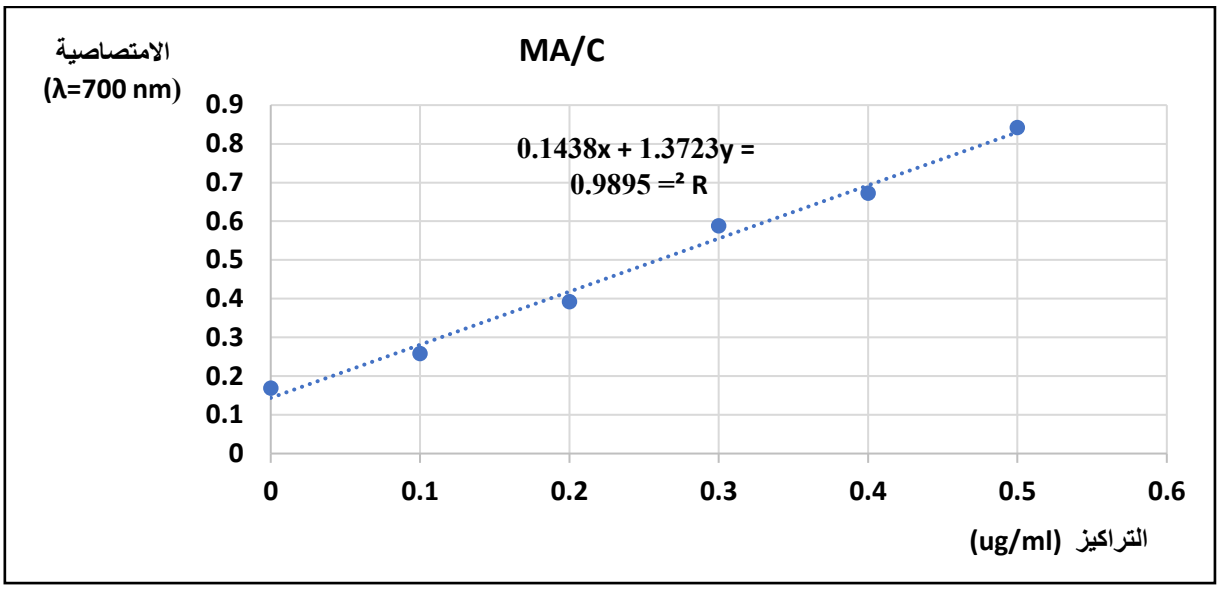
الوثيقة: (31) المنحنى القياسي لتغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز حمض الأسكوربيك المعتمد في اختبار القدرة الارجاعية للحديدFRAP .



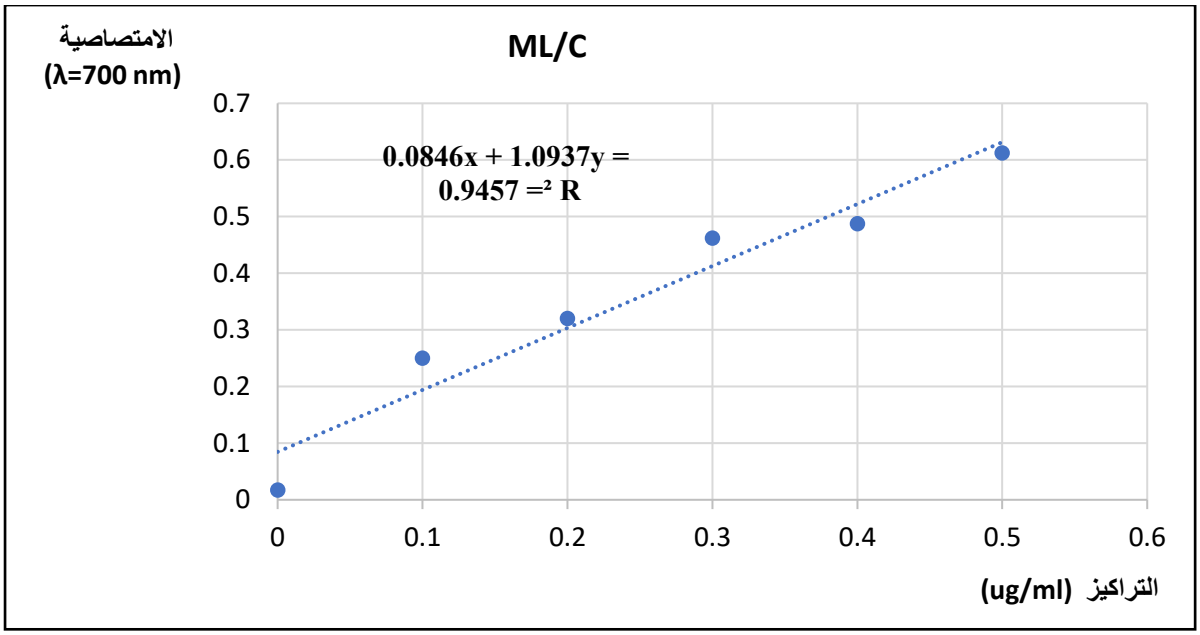
الوثيقة: (32) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن.



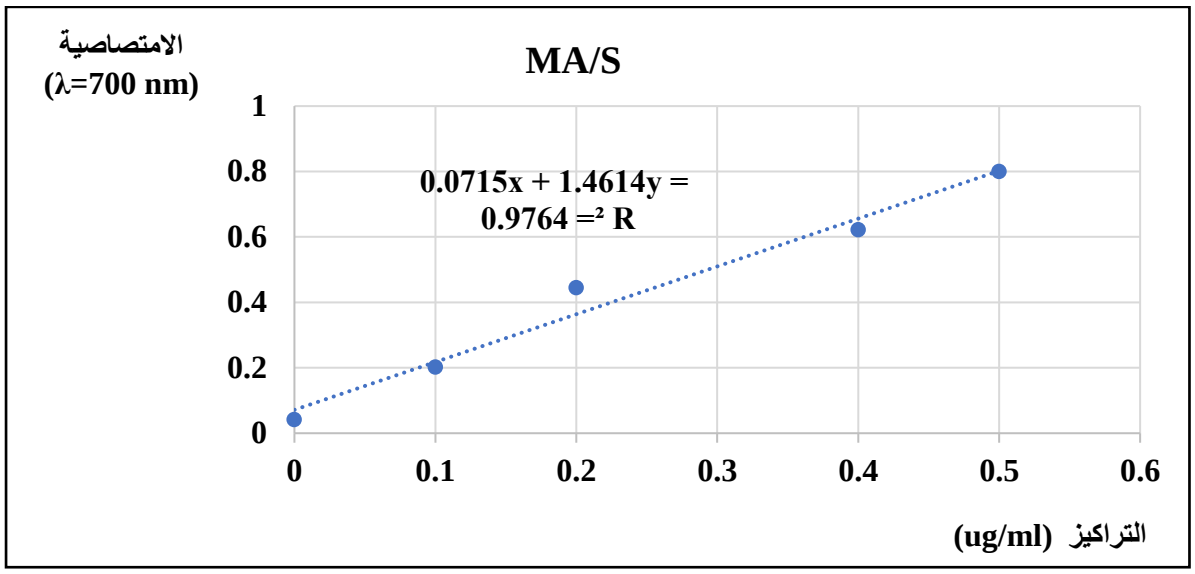
الوثيقة: (33) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات البوقريبة المسقي بالماء الساخن المبرد .



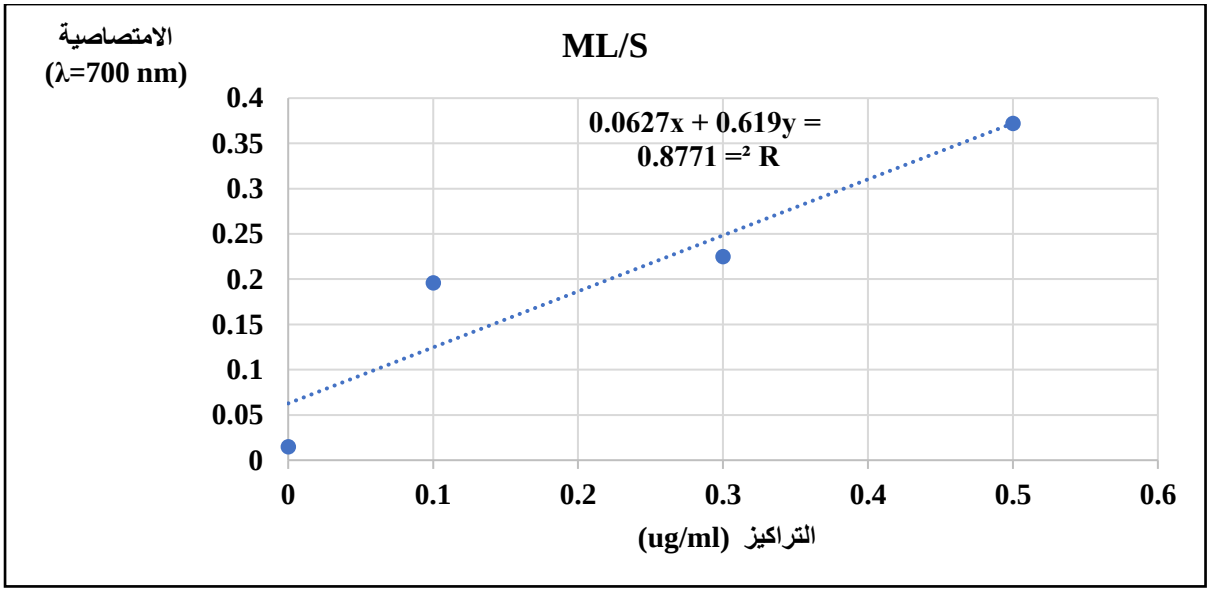
الوثيقة: (34) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع المائي المسقي بالماء العادي.



الوثيقة: (35) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء



الوثيقة: (36) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد.

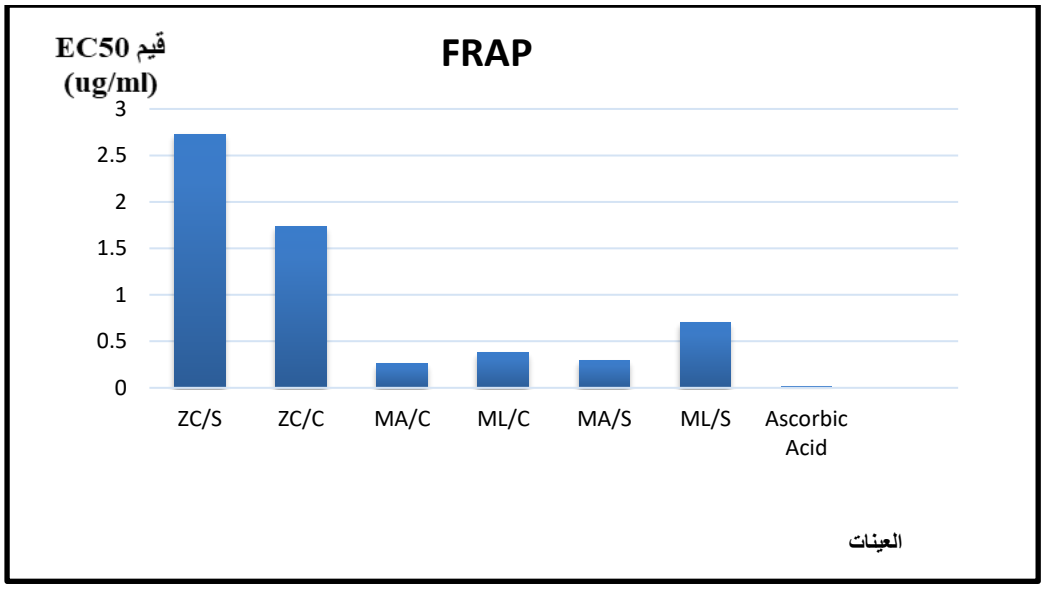


الوثيقة: (37) منحنى تغيرات الامتصاصية بدلالة تركيز المستخلص لنبات النعناع الجبلي المسقي بالماء الساخن المبرد.

بحساب التركيز الفعّال (EC_{50}: Effective Concentration) اللازم لإعطاء امتصاصية بقيمة 0.5، والذي تُعد قيمه الأقل مؤشرًا على قدرة إرجاعية أكبر للمستخلص، ووفقًا لما هو موضح في الوثيقة (38)، فقد أظهر حمض الأسكوربيك (Ascorbic Acid) أعلى فعالية مضادة للأكسدة بقيمة EC_{50} بلغت µg/mL0.015 ، مما يجعله مرجعًا أساسياً للمقارنة.

من بين المستخلصات النباتية المدروسة، سجّلت عينة النعناع المائي المسقي بالماء الساخن المبرد (MA/C)أعلى فعالية، بقيمة EC_{50} بلغت µg/mL0.26 ، تلتها عينة MA/S بقيمة µg/mL0.293 ، ثم عينة ML/C بقيمة µg/mL0.38 ، تليها عينة ML/S بقيمة µg/mL.0.706

في المقابل، أظهرت عينتا نبات البوقريبةZC/C و ZC/Sأقل فعالية مضادة للأكسدة، بقيم بلغت 1.74 و2.73 µg/mL على التوالي، مما يعكس ضعف قدرتهما على إرجاع شوارد الحديد الثلاثي مقارنة بباقي العينات.



الوثيقة: (38) قيم EC50 المرجعة لـ 50% من الحديد للمستخلصات النباتية المدروسة وحمض الأسكوربيك.

نبات البوقريبة =ZC . نعناع جبلي (Mentha longifolia) =ML. نعناع مائي (Mentha aquatica) =MA (Zygophyllum Cornutum)

ماء ساخن مبرد = C . ماء ساخن = S

من خلال النتائج الموضحة سابقًا، نلاحظ تفوق المركب المرجعي حمض الأسكوربيك على جميع المستخلصات الميثانولية للنباتات المدروسة. وباعتبار أن انخفاض قيمة EC_{50} يدل على قدرة إرجاعية أكبر (أي نشاط مضاد للأكسدة أقوى)، يمكن القول إن حمض الأسكوربيك يُعد الأكثر فعالية، حيث سجل قيمة EC_{50} بلغت 0.015 ميكروغرام/مل، مما يجعله معيارًا أساسياً للمقارنة.

أما بالنسبة للمستخلصات الميثانولية، فيُلاحظ وجود علاقة تناسبية واضحة بين القدرة الإرجاعية ومحتواها من المركبات الفينولية، حيث أظهرت الدراسات وجود ارتباط طردي قوي بين قيم EC_{50} ومحتوى الفينولات والفلافونويدات .(Sharma et al., 2017) وتشير نتائج هذه الدراسة إلى أن المستخلصات ذات المحتوى الأعلى من هذه المركبات، وخاصةً MA/C وMA/S، أظهرت قدرة إرجاعية أكبر، مما يؤكد الدور المحوري للفينولات والفلافونويدات في النشاط المضاد للأكسدة وفق اختبار FRAP .

وتتوافق هذه النتائج مع ما توصل إليه Li وزملاؤه (2008) في دراستهم التي شملت تقييم النشاط المضاد للأكسدة لـ 45 نوعًا نباتيًا باستخدام اختبار FRAP ، حيث بيّنت النتائج وجود علاقة طردية واضحة بين القدرة الإرجاعية للمستخلصات ومحتواها من المركبات الفينولية والفلافونويدات.

أما مركبات التانينات، فرغم مساهمتها الجزئية في النشاط المضاد للأكسدة، إلا أن تأثيرها في اختبار FRAP بدا محدودًا، كما يتضح في عينة ML/S التي سجلت أعلى محتوى من التانينات دون أن تُظهر قدرة إرجاعية مرتفعة. ويتفق هذا مع ما أوضحه Apak وزملاؤه (2016)، حيث أشاروا إلى أن البنية الجزيئية الكبيرة للتانينات وضعف ذوبانها في الوسط المائي يحدّان من فعاليتها في تفاعلات الإرجاع، مقارنةً بالمركبات الفينولية صغيرة الحجم التي تمتاز بفعالية أعلى في اختزال شوارد الحديد.

بالتالي، تؤكد هذه النتائج أن اختبار FRAP يُعد مؤشرًا كيميائيًا موثوقًا لتقييم النشاط المضاد للأكسدة في المستخلصات النباتية، ويتكامل مع تحاليل DPPH ومحتوى المركبات الثانوية لتقديم صورة دقيقة وشاملة عن الفعالية الحيوية للنباتات المدروسة.

الخاتمة

الخاتمة

تشير نتائج هذه الدراسة إلى أن تأثير مياه الري الجوفية الساخنة على النباتات الطبية يختلف باختلاف طريقة المعالجة الحرارية ونوع المؤشرات المدروسة. فقد أظهرت معاملة الري بالماء الساخن المبرد فعالية واضحة في تعزيز المؤشرات الحيوية البنيوية مثل تركيز الكلوروفيل، والمركبات الفينولية والفلافونويدية، بالإضافة إلى تحسين القدرة المضادة للأكسدة، مما يدل على دور التبريد في تقليل الإجهاد الحراري وتعزيز التوازن الأيضي للنبات. في المقابل، كشفت معاملة الري بالماء الساخن عن تفوقها في مؤشرات أخرى مثل المحتوى المائي والسعة الخلوية والتانينات، والتي يُحتمل أن تعكس استجابات فسيولوجية ودفاعية مؤقتة تهدف إلى التكيف مع الضغط الحراري من خلال تعديل الضغط الاسموزي وتفعيل مسارات التخليق الدفاعي. تعكس هذه النتائج الطابع المعقد والديناميكي لتفاعل النبات مع بيئة الري، وتؤكد أن استجابة المؤشرات الفيزيولوجية لا تتطابق بالضرورة مع المؤشرات الفيتوكيميائية. وعليه، فإن استخدام المياه الجوفية الساخنة بعد التبريد يمثل خيارًا واعدًا في الزراعة الصحراوية، بشرط مراعاة الخصائص النوعية للنبات ونوع الخصائص التي نرغب في تحسينها، سواء كانت فيزيولوجية أو كيميائية. وتوصي هذه الدراسة بإجراء أبحاث إضافية مستقبلاً، خاصة على مستوى الخلايا والأنزيمات، لفهم أفضل لكيفية تكيّف النباتات مع هذا النوع من الري، ومعرفة الأسباب الدقيقة وراء هذه الاختلافات لفهم أعمق لأليات التأقلم، إلى جانب تقييم الأثر التراكمي لهذا النمط من الري على جودة وإنتاجية النباتات الطبية تحت ظروف المناخ الجاف.

قائمة المصادر والمراجع

المراجع:

المراجع العربية:

- أبوشريعة العبادي، م .(2015). *فسلكه ينابيع الأرض* .مسترجع من : http://mansourabbadi.blogspot.com/2015/06/blog-post.html
- الدليل الحقلي المصور للنباتات البرية في سلطنة عمان. (2015). إعداد المديرية العامة للثروة الحيوانية، دائرة الموارد الرعوية بالتعاون مع المركز العربي لدراسات المناطق الجافة والأراضي القاحلة. تنفيذ دائرة الإعلام التنموي.
- الشحات، ناز. (1986). النباتات والأعشاب الطبية. دار البحار، الطبعة الأولى، بيروت، لبنان.
- الحسيني، م، وتهاني، م. (1990). النباتات الطبية: زراعتها، مكوناتها، استخداماتها العلاجية. مكتبة ابن سينا للنشر والتوزيع.
- الحياري، إ. (2021، 9 مايو). أهمية الزراعة. موقع موضوع https://mawdoo3.com .
- الموصلي م أد؛ (2016) - كتاب النباتات الطبية في المدونات الأثارية والمراجع الإسلامية والمصادر المعاصرة - دار الكتب العلمية.
- حسام ك. و. عبد الله ص. ع. (2017) اهمية النباتات الطبية واستعمالاتها في الحضارات 388 ،387 378، القديمة. مجلة آداب 123(1) ص
- جبور، ع. أ. ش. (2007). دراسة تأثير العوامل البيئية وإجهاد الجفاف وإعادة الري في نمو بعض أشجار الزينة وإنتاجها في مكة المكرمة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الأساسية، 23(1)، 37–57.
- جندل ج م (2011) - كتاب الطب الشعبي. دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.
- ناهد مراد.د (2006). دراسة تصنيفية لجنس Zygophyllum (العائلة الرطريطية) بالمملكة العربية السعودية.
- سعدون، ن.، وعلية، ف. (2017). مساهمة في تتبع المحتوى الفينولي ودراسة النشاطية المضادة للأكسدة لنبات Genista saharae Coss. et Dur بمنطقة وادي سوف خلال مراحل النمو المختلفة. مذكرة ماستر غير منشورة. جامعة الشهيد حمة لخضر – الوادي.
- فهمي، أ. ج. د.، عوض، س. ع. غ.، محمدي، ب. س.، سلامة، ل. أ. (2003). النباتات الطبية والعطرية (الطبعة الثانية).
- فوزي ط ق ح ؛ (1987) كتاب النباتات الطبية زراعتها ومكوناتها - الدار العربية للكتاب لطباعة والنشر والتوزيع. ليبيا تونس
- قادري، م. (2008). تأثير الري على المحتوى الكيميائي لنبات الكزبرة. مجلة الزراعة والبيئة، 6(2)، 115–123.
- غميض غ عبد الله ح؛ (2019) دراسة فيتو كيميائية وبيولوجية لبعض المستخلصات العضوية لنبات المورينجا أوليفيرا Moringa oleifera بحث لنيل الاجازة الجامعية الباكالوريوس بقسم الكيمياء كلية العلوم - جامعة سبها.
- مجاهد، أ. م. (2001). علم البيئة النباتية (الطبعة الثالثة). النشر العلمي والمطابع، المملكة العربية السعودية.
- مجيد، ر. ح.، وحكمت، ع. (1989). علم البيئة النباتية. دار الكتاب للطباعة والنشر، جامعة بغداد، العراق.

- مصباحي، م. ع. (2025). دراسة البصمة الكيميائية للغطاء النباتي لمنطقة وادي سوف على العسل النحل. أطروحة دكتوراه غير منشورة. جامعة قاصدي مرباح – ورقلة، كلية الرياضيات وعلوم المادة، قسم الكيمياء.
- نوال، م. إ. م. س. (2008). خصائص مياه الشرب بمنطقة أم درمان ودور المجتمع في المحافظة عليها. رسالة ماجستير غير منشورة. جامعة الخرطوم.
- وكالة الأنباء الجزائرية. (2021، 26 مارس). صدور المرسوم الرئاسي المحدد لأسماء ومقار الولايات الجديدة في الجريدة الرسمية-https://www.aps.dz/ar/algerie/104179-2021-03-26-18 . 43-03
- يوسف، ح. (2005) ، "الموسوعة النباتية لمنطقة سوف"، طبعة، ماي ، ص 12 - 82 – 224 .

المراجع الأجنبية:

- Abbaszadeh, B., Valadabadi, A. S., Farahani, A. H., Darvishi, H. H. (2009). Studying of essential oil variations in leaves of Mentha species. African Journal of Plant Science, Vol. 3, no. 10, pp. 217-221
- Abdelmajeed, A.N., Danial, E.N. Ayad, H.S. (2013). the effect of environmental stress on qualitative and quantitative essential oil of aromatic and medicinal plants. Archives Des Sciences, vol, 66, no. 4.pp. 100-120.
- Ahmad, S., Afzal, M., Saifullah, & Khan, G. (2021). Agricultural impacts, importance and botanical role of different crops. Science Bulletin, 7(9), 236–240. https://doi.org/10.36348/sb.2021.v07i09.001
- Ahrar, A. E., (2016): Variación estacional del aceite esencial obtenido de diferentes quimiotipos de Mentha longifolia L (Doctoral dissertation). p 2.
- Ait Ouali, A., Issaadi, A., Maizi, D., Ayadi, A., & Bouhdjar, A. (2019). Geothermal potential in the Ouarsenis–Biban–Kabylie (North Central Algeria): Hot spring catalogue. Arabian Journal of Geosciences, 12, 741.
- Akula, R. et Ravishankar, A. G. Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling & Behavior, 2011, vol. 6, No 11, p. 1720-1731.

- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling & Behavior, 6(11), 1720–1731.
- Antony, F., Farid, M. (2022). Effect of thermal treatment on bioactive compounds in plant-based foods: A review. Trends in Food Science & Technology, 123, 45–58. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.03.012
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., & Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement: FRAP and related assays. In: Measurement of Antioxidant Activity & Capacity. https://doi.org/10.1002/9781119135388.ch8
- Apak, R., Özyürek, M., Güçlü, K., Çapanoğlu, E. (2016). Antioxidant activity/capacity measurement. 1. Classification, physicochemical principles, mechanisms, and electron transfer (ET)-based assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 64(5), 997–1027. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b04739
- Arbona, V., Manzi, M., de Ollas, C., & Gómez-Cadenas, A. (2013). Metabolomics as a tool to investigate abiotic stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences, 14(3), 4885–4911.
- Asadollah-Pour, F., Jokar, A., Nasiri, E., Azadbakht, M., Bari, Z., & Ahmadi, A. (2021).A comprehensive review on the ethnobotany, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of Mentha aquatica L (water mint) as a wild shallow vegetable. Current Pharmaceutical Design, 27(22), 2615–2627. https://doi.org/10.2174/1381612827666210219154751
- Aumont, G. (1993). La culture de la menthe: exigences pédologiques et pratiques culturales. Revue Française d'Agronomie, 43(2), 112–118.
- Ben Hassine, H., Bouksila, F., Amor, M., & Chafik, Z. (1996). Les cultures sous serres irriguées par les eaux geothermales dans le Sud Tunisien (Tozeur, Kébili et Gabès). Document méthodologique des données de base

(eau et sol) [Technical report]. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23427.14887

- Ben Mohamed, M. (2003). Multiple Integrated Use of Geothermal Resources in the Kebili Region, Southern Tunisia. Paper presented at the International Geothermal Conference, Reykjavík, Iceland.
- Benabdallah, A., Rahmoune, S., Boumendje, M Aissi, O., Messaoud, C. (2016). Total phenolic content and antioxidant activity of six wild Mentha species (Lamiaceae) from northeast of Algeria. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine, Vol. 6, No. 2,pp. 760-766.
- Benhamida S., Medjber R., Maameri A., 1999-Agence nationale des ressources hydrauliques: direction régionale sud / Ouargla rapport de synthèse sur la remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région de Oued Souf- par Octobre P: 06.
- Benhammou N, Atik Bekkara F, Kadifkova Panovska T (2008). Antioxidant And Antimicrobial Activities Of The Pistacia Lentiscus And Pistacia Atlantica Extracts. Afric J Pharm Pharmacol. 2(2): 22-28.
- BENHAMMOU N., 2012-Activité antioxydante des extraits des composes phénolique de dix plantes médicinales de l'ouest et du sud-ouest Algérien: Thése doctorat-université Aboubaki Belkaid. Tlemcen. 174 p.
- Bentabet, N., Boucherit-Otmani, Z., & Boucherit, K. (2014). Composition chimique et activité antioxydante d'extraits organiques des racines de Fredolia aretioides de la région de Béchar en Algérie. Journal de Pharmacognosie, 12, 364–371.
- Broadhurst, R. B., & Jones, W. T. (1978). Analysis of condensed tannins using acidified vanillin. Journal of the Science of Food and Agriculture, 29(9), 788–794. https://doi.org/10.1002/jsfa.2740290908

- Bloomfield, J. P., Lewis, M. A., Newell, A. J., Loveless, S. E., & Stuart, M. E. (2020). Characterising variations in the salinity of deep groundwater systems: A case study from Great Britain (GB). Journal of Hydrology: Regional Studies, 28, 100684. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100684
- Bose, P. (2024, January 16). Why is plant biology crucial for sustainable agriculture? AZoLifeSciences. Retrieved from https://www.azolifesciences.com/
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25–30. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)800085
- Castany, G., & Margat, J. (1977). Dictionnaire français d'hydrogéologie. Orléans, France: Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), Service Géologique National.
- Chaker, A., Boukhebti, H., Sahraoui, R., Ramdhani, M. (2014). Essential oils and morphological study of mentha aquatica. Pharmacognosy communications, vol. 4, no. 2, pp. 34-38.
- Chaouche, T. M., Haddouchi, F., Ksouri, R., Medini, F., El-Haci, I. A., Boucherit, Z., Sekkal, F. Z., & Atik-Bekara, F. (2013). Antioxidant activity profiling by spectrophotometric methods of phenolic extract of Prasium majus L. Free Radicals and Antioxidants, 3(1), 43–46.
- Chen, H. (2019). Genetic diversity survey of Mentha aquatica L. and Mentha suaveolens Ehrh., mint crop ancestors. Genetic Resources and Crop Evolution. https://doi.org/10.1007/S10722-019-00750-4(0123456789
- Corolla, J. Kupfer, M. (2019). Mentha Aquatica L. Doris, Https://Doris.Ffessm.Fr/Ref/Specie/1469
- Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. Molecules, 15(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313

- Dai, J., Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. Molecules, 15(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313
- Des Marais, D. J., & Walter, M. R. (2019). Terrestrial hot spring systems: Introduction. Astrobiology, 19(12), 1419–1432. https://doi.org/10.1089/ast.2018.1976
- Djida Khiati, Haouchine, F. Z., Belaroui, A., Nemer, Z., & Haouchine, A. (2021). Geochemical and geothermal characteristics of thermal springs of Saida region. Arabian Journal of Geosciences, 14, 1322.
- Fernando, W. G. D. (2012). Plants: An international scientific open access journal to publish all facets of plants, their functions and interactions with the environment and other living organisms. Plants (Basel), 1(1), 1–5. https://doi.org/10.3390/plants1010001
- François et Valiron, 1994, mémento du gestionnaire de l'assainissement, édition technique et documentation, p196
- Franswoth, N.R., Akerelo, O., Bingel, A.S., Soujarto, D.D., Guo.Z., (1986): Place des plantes médicinales dans la thérapeutique .O.M.S.64(2), 159-175.
- Garlatti, V. (2023). Fiche technique – Protocole: mesure de la teneur en eau et de la teneur relative en eau (TRE ou RWC). Formation Écobio Madagascar. (Document
- Gilli, É., Mangan, C., & Mudry, J. (2008). Hydrogéologie: Objets, méthodes, applications (2nd ed.). Paris: Dunod.
- Gilly, J. P. (1989). La menthe dans les climats montagnards méditerranéens. Cahiers de l'Agriculture Méditerranéenne, 15(1), 55–62.
- Goudjil. (2014). Figure Montage d'extraction par 5: Hydrodistillation. https://www.researchgate.net/figure/Montage-dextraction-par-Hydrodistillation_fig3_343615181

- Griebler, C. (2024, June 4). Klimawandel: Steigende Temperaturen beeinträchtigen Grundwasserqualität. Universität Wien – Medienportal. https://medienportal.univie.ac.at/media/aktuelle-pressemitteilungen/detailansicht/artikel/klimawandel-steigende-temperaturen-beeintraechtigen-grundwasserqualitaet
- Guy, P. (1971). Cité dans: Hnatyszyn, H., & Guais, D. (1989). Effets du photopériodisme et du thermopériodisme sur les plantes médicinales. Institut National Agronomique.
- Hachicha, M., Khaldi, R., & Mougou, A. (2012). Irrigation avec l'eau géothermale salée dans le Sud tunisien. Étude et gestion des sols, 19, 91-.103
- Haddou, M., Taibi, M., Elbouzidi, A., Loukili, E. H., Yahyaoui, M. I., Ou-Yahia, D., Mehane, L., Addi, M., Asehraou, A., Chaabane, K., Bellauchi, R., & El Guerrouj, B. (2023). Investigating the impact of irrigation water quality on secondary metabolites and chemical profile of Mentha piperita essential oil: Analytical profiling, characterization, and potential pharmacological applications. International Journal of Plant Biology, 14(3), 638–657. https://doi.org/10.3390/ijpb14030049.
- Harley et Brighton, 1977- Phytochemical and toxicological stadies of Zygophyllum album. Journal of pharmacology and toxicology. 2(3): 220-237.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M. M., Roychowdhury, R., & Fujita, M. (2013). Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. International Journal of Molecular Sciences, 14(5), 9643-9684. https://doi.org/10.3390/ijms14059643
- Hazzoumi, Z., et al. (2017). Influence of water stress on essential oil composition of Mentha piperita. Plant Biosystems, 151(6), 1045–1053.

- Hazzoumi, Z., Moustakime, Y., & Joutei, K. A. (2015). Effect of drought stress on the physiological and biochemical properties of Mentha pulegium. Journal of Materials and Environmental Science, 6(2), 494–505.
- Hnatyszyn, H., & Guais, D. (1989). Effets du photopériodisme et du thermopériodisme sur les plantes médicinales. Institut National Agronomique.
- Jayanthi, P., & Lalitha, P. (2011). Reducing power of the solvent extracts of Citrus sinensis peel and Murraya koenigii leaves. International Journal of Pharmacological and Biological Sciences, 2(4), 356–358.
- Karandish, F., Liu, S., & de Graaf, I. (2025). Global groundwater sustainability: A critical review of strategies and future pathways. Journal of Hydrology, 657, 133060. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2025.133060
- Kelly J.V; Sean R.J; Amirhossein A.; Iris L; Amber N.P; Susan C.T; Rodney B.C;Shannon C.K.S; Lovanna P and Markus L.B, (2016) Draft Genome Sequence of Mentha longifolia L and Development of Resources for Mint Cultivar Improvement. Cel Press partner journal. Molecular Plant10, P324.
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2011). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. Frontiers in Plant Science, 6, 462.
- Kipling R., (1910). "Our Fathers of Old" in Rewards and Fairies. Doubleday, Page and Company, New York.
- Kumar, S., Pandey, A. K. (2013). Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. The Scientific World Journal, 2013, Article ID 162750. https://doi.org/10.1155/2013/162750
- Li, J. Zhu, Z., Gerend, J. (2008). Effects of Nitrogen and Sulfur on Total Phenolics and Antioxidant Activity in Two Genotypes of Leaf Mustard. Journal of Plant Nutrition, Vol. 31: 1642-1655.
- Liazid, A., Palma, M., Brigui, J., Barroso, C. G. (2007). Comparison of phenolic compounds of grape skin extracts from different vine-growing

areas by HPLC–DAD–MS. Food Chemistry, 104(3), 1143–1150. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.038

- Liu, J.; Niu, Y.; Zhang, J.; Zhou, Y.; Ma, Z.; Xuan, H. Ca^{2+} channels and Ca^{2+} signals involved in abiotic stress responses in plant cells: Recent advances. Plant Cell Tissue Organ Cult. 2018, 132, 413–424. [Google Scholar] [CrossRef]
- Lu, C., Li, W., Feng, X., Chen, J., Hu, S., Tan, Y., & Wu, L. (2025). The dynamic remodeling of plant cell wall in response to heat stress. Genes, 16(6), 628. https://doi.org/10.3390/genes16060628
- Mader, M. (2001). Étude des exigences écophysiologiques de la menthe poivrée et des plantes vivaces aromatiques. Institut d'Agriculture.
- Makkar, H. P. S. (2000). Quantification of Tannins in Tree Foliage: A Laboratory Manual. Kluwer Academic Publishers.
- Malingré, M. T. et Maarse, H. (1974). Composition of the essential oil of manach, C. (2004). Polyphenols: food sources and bioavailability The American Journal of Clinical Nutrition, vol. 79, pp. 727-747.
- Maliva, R.G. Aquifer Characterization and Properties. In Aquifer Characterization Techniques; Springer Hydrogeology; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2016; pp. 1–24. [Google Scholar]
- Margat, J.; van der Gun, J. Groundwater around the World: A Geographic Synopsis; Routledge: London, UK, 2013. [Google Scholar]
- Maskey, S. Models of Groundwater (Saturated Zone) Flow. In Catchment Hydrological Modelling; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2022; pp. 101–126. [Google Scholar]
- Matkowski, A., Piotrowska, P. (2006). Antioxidant and free radical scavenging activities of some medicinal plants from the Lamiaceae, Fitoterapia, vol. 77, pp: 346-353.

- Mbaebie, B. O., Afolayan, A. J., & Okoh, A. I. (2012). Polyphenolic content and antioxidant activity of crude extracts from three Southern African medicinal plants. African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines, 9(3), 361–367. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v9i3.8
- Mikaili, P., Mojaverrostami, S., Moloudizargari, M., & Aghajanshakeri, S. (2013). Pharmacological and therapeutic effects of *Mentha longifolia* L. and its main constituent, menthol. Ancient Science of Life, 33(2), 131–138. https://doi.org/10.4103/0257-7941.139059
- Mishra, S., Spaccarotella, K., Gido, J., Samanta, I., & Chowdhary, G. (2023). Effects of Heat Stress on Plant-Nutrient Relations: An Update on Nutrient Uptake, Transport, and Assimilation. International Journal of Molecular Sciences, 24(21), 15670. https://doi.org/10.3390/ijms242115670
- Moghaddam, M. et Farhadi, N. (2015). Influence of environmental and genetic factors on resin yield, essential oil content and chemical composition of Ferula assa-foetida L. populations. Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, vol. 2, pp.69-76.
- Mohammdi, Z. (2011). Etude du pouvoir Antimicrobien et Antioxydant Essentielles et flavonoïdes de quelque plantes de la région de Tlemcen Mémoire de Magister. Université de Tlemcen. Algérie. p:18-50.
- Mohammed, H. K., & Eddine, N. I. (2019). The geothermal potentialities of Southern Algeria. AIP Conference Proceedings, 2123(1), 030005.
- Molyneux, P. (2004). The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 26(2). https://creativecommons.org/licenses/by-nc/

- Mougou, A., Verlodt, H., and Essid, H. (1987). Geothermal heating of greenhouses in the south of Tunisia. .Proposals for a simple control .Plasticulture, 75, pp. 41-50
- Mozaffarian, V.,1996. A dictionary if Iranian plant names. Farhang Moaser Publishers, Tehran.
- Ncube, B., Finnie, J. F., & Van Staden, J. (2012). Quality from the field: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. South African Journal of Botany, 82, 11–20.
- Ncube, B., Finnie, J. F., Van Staden, J. (2012). Quality from the flied: The impact of environmental factors as quality determinants in medicinal plants. South african journal of botany, vol. 82, pp. 12-20.
- Nkosi, S. (2023, February). Mentha aquatica L. PlantZAfrica.com. South African National Biodiversity Institute (SANBI). Retrieved from https://pza.sanbi.org/mentha-aquatica
- Nkosi, S. (2023, February). *Mentha aquatica*. South African National Biodiversity Institute, National Herbarium, Pretoria. Retrieved July 7, 2025, from https://pza.sanbi.org/mentha-aquatica
- Nuwamanya, E., et al. (2014). Impact of drought on compositional traits of cassava roots and leaves. Scientific Reports, 4, 6160.
- Nxave, S., Laubscher, C. P., & Ndakidemi, P. A. (2009). Effect of regulated irrigation water temperature on hydroponics production of Spinach (Spinacia oleracea L). African Journal of Agricultural Research, 4(12), 1442–1446. http://www.academicjournals.org/AJAR
- Nyakairu, G. W. A., Kasule, J., Ouma, O., & Bahati, G. (2023). Origin and hydrogeochemical formation processes of geothermal fluids from the Kibiro area, Western Uganda. Applied Geochemistry, 152, 105648. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2023.105648

- Ouali, S. (2006). Étude géothermique du sud de l'Algérie (Mémoire de Magister, Université de Boumerdes, Algérie). Option: Géophysique et Traitement du Signal.
- Panjeshahin, Z. , Sharifi-Sirchi, G. and Samsampour, D. (2018). Genetic and Morphological Diversity of Wild Mint "Mentha longifolia (L.) Hudson subsp. noeana (Briq.) Briq." in South and Southeastern Iran. *Journal of Medicinal plants and By-products*, *7*(1), 105-115. doi: 10.22092/jmpb.2018.116741
- Pergola, M., De Falco, E., Belligiano, A., & Ievoli, C. (2024). The most relevant socio-economic aspects of medicinal and aromatic plants through a literature review. Agriculture, 14(3), 405. https://doi.org/10.3390/agriculture14030405
- Quezel Pet Santa S (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et desrégions désertique méridinales.2 tome, CNRS, Paris, 1168 pages.
- Radia A., (2008). Recherché et Détermination structural des metabolites secondaires de l'espéce: ZYGOPHYLLUM ORNUTUM (ZYGOPHYLLACEAE). Mémoire Présenté pour obtenir le diplôme de magister En Chimie Organique Option: Phytochimie, Université Mentouri de constantine, 14-15 p.
- Rebai, M., Kerkeni, W., Krarti, M., Ayed, H., Bouzouita, A., Cherif, M., & Ben Slama, M. (2015). Dysfonction érectile après traitement chirurgical de la fracture de la verge. Progrès en Urologie, 25(10), 773–778. https://doi.org/10.1016/j.purol.2015.08.117
- Rice-Evans CA, Miller NJ, Paganga G. (1997) Antioxidant properties of phenolic compounds. Trends Plant Sci. 2: 152-159.
- Sáez, P. L., Rivera, B. K., Ramírez, C. F., Vallejos, V., Cavieres, L. A., Corcuera, L. J., & Bravo, L. A. (2019). Effects of temperature and water availability on light energy utilization in photosynthetic processes of

Deschampsia antarctica. Physiologia plantarum, 165(3), 511–523. https://doi.org/10.1111/ppl.12739

- Senthil Kumar, P.; Yaashikaa, P.R. Introduction—Water. In Water in Textiles and Fashion: Consumption, Footprint, and Life Cycle Assessment; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2018. [Google Scholar]
- Sharma, A., Patel, V. K., & Chaturvedi, A. N. (2017). Estimation of phytochemical content and antioxidant activity of some selected traditional Indian medicinal plants. Indian Journal of Pharmaceutical Sciences, 79(5), 701–707. https://www.ijpsonline.com/articles/estimation-of-phytochemical-content-and-antioxidant-activity-of-some-selected-traditional-indian-medicinal-plants.html
- Sun, M., Li, L., Wang, Z., Tang, Y., He, Z., Wang, Q., & Qiu, W. (2024). Irrigation water-heating system (IWHS) design and application to lettuce greenhouse cultivation. Plants, 13(3), 365. https://doi.org/10.3390/plants13030365
- Tawaha, K., Alali, F. Q., Gharaibeh, M., Mohammad, M., El-Elimat, T. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of selected Jordanian plant species. Food Chemistry, 104(4), 1372–1378. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.064
- TIGRINE KN., MEKLATI BY., CHEMAT F., (2006)- Analysis by gas chromatography-mass spectrometry of the essential oil of Zygophyllum album L. an aromatic and medicinal plant growing in Algeria. The International Journal of Aromatherapy. 16: 187-191.
- Tiwari, B. K., Brunton, N. P., Brennan, C. (2011). Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from plant materials. Food Reviews International, 27(3), 249–273. https://doi.org/10.1080/87559129.2011.560186

- Van der Walt, L. (2004, January). *Mentha longifolia* L. PlantZAfrica.com. South African National Biodiversity Institute (SANBI). Retrieved from https://pza.sanbi.org/mentha-longifolia
- Vélez, M.V.; Pimienta, C.O.; Vargas, M.C. Las Aguas Subterraneas Un Enfoque Practico; Ingeominas, Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia, 2011. [Google Scholar]
- Vining, K. J., Pandelova, I., Hummer, K., Bassil, N., Contreras, R., Neill, K., Chen, H., Parrish, A. N., & Lange, B. M. (2019). Genetic diversity survey of Mentha aquatica L. and Mentha suaveolens Ehrh., mint crop ancestors. Genetic Resources and Crop Evolution, 66, 825–845. https://doi.org/10.1007/s10722-019-00756-z
- Voirin, B. et Lebreton, P. (1972). influence de la temperature sur le metabolisme des flavonoides chez asplenium trichomanes. Phytochemistry, vol. 11, pp. 3435-343.
- Vining, K. J., Pandelova, I., Lange, I., Parrish, A. N., Lefors, A., Kronmiller, B., Liachko, I., Kronenberg, Z., Srividya, N., & Lange, B. M. (2022). Chromosome-level genome assembly of Mentha longifolia L. reveals gene organization underlying disease resistance and essential oil traits. *G3 (Bethesda, Md.)*, *12*(8), jkac112. https://doi.org/10.1093/g3journal/jkac112
- Wang, B., Qin, X., Ren, E., Feng, N., Yang, S., Li, W., Li, G., & Jiang, Z. (2023). Geochemical Characteristics and Formation Mechanisms of the Geothermal Waters from the Reshui Area, Dulan of Qinghai, China. Water, 15(17), 3084. https://doi.org/10.3390/w15173084
- Wen, Y., Wu, X., Liu, J., Zhang, J., Song, L., Zhu, Y., Li, W., & Wang, Z. (2023). Effects of drip irrigation timing and water temperature on soil conditions, cotton phenological period, and fiber quality under plastic film mulching. Agricultural Water Management, 287, 108435. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108435
- Wijesekera, R.O.B. (1991). The medicinal Plant industry. CRC Press. P.280.

- Wu, H.C.; Bulgakov, V.P.; Jinn, T.L. Pectin methylesterases: Cell wall remodeling proteins are required for plant response to heat stress. Front. Plant Sci. 2018, 9, 1612. [Google Scholar] [CrossRef]
- Zegheb, N. (2013) L'effet Antibactérien De L'extrait Flavonoïdique De La Plante (Zygophyllum Album L). Mémoire De Magister. Université Mohamed Khider Biskra. P 73.
- Zhao, M., Chen, K., Chang, J., He, G., Chen, F., Chen, L., Liu, Z., & Huang, Y. (2025). Formation mechanism and evaluation of geothermal resources in Yanqi Qikexing town, Xinjiang. Scientific Reports, 15, Article number: 7006.
- Zhou, J., Yang, Q., Zhu, X., Lin, T., Hao, D., & Xu, J. (2020). Antioxidant activities of Clerodendrum cyrtophyllum Turcz leaf extracts and their major components. PLOS ONE, 15(6), e0234435. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234435
- Zhou, X., Zhuo, L., Wu, Y., Tao, G., Ma, J., Jiang, Z., Sui, L., Wang, Y., Wang, C., & Cui, J. (2023, September). Origin of some hot springs as conceptual geothermal models. Journal of Hydrology. Elsevier.

الملاحق

الملحق: (1) الجداول الإحصائية لمتوسطات الكلوروفيل

الجدول التالي يوضح قيم تكرارات الكلوروفيل (ثلاث تكرارات لكل معاملة):

العينات	R1	R2	R3
MA/S	48.9	51.9	39
MA/C	30.4	38	33.4
ML/S	41.9	44.6	38.7
ML/C	31	28.1	37

حساب أقل فرق معنوي (LSD) لمتوسطات الكلوروفيل

تم حساب أقل فرق معنوي (LSD) باستخدام تحليل التباين الأحادي (ANOVA) عند مستوى دلالة 0.05، كما يلي:

SUMMARY				
Groups	*Count*	*Sum*	*Average*	*Variance*
Row 1	3	139.8	46.6	45.57
Row 2	3	101.8	33.93333	14.65333
Row 3	3	125.2	41.73333	8.723333
Row 4	3	96.1	32.03333	20.60333

ANOVA						
Source of Variation	*SS*	*df*	*MS*	*F*	*P-value*	*F crit*
Between Groups	416.1425	3	138.7142	6.196054	0.017567	4.066181
Within Groups	179.1	8	22.3875			
Total	595.2425	11				

LSD(0.05) = 8.92

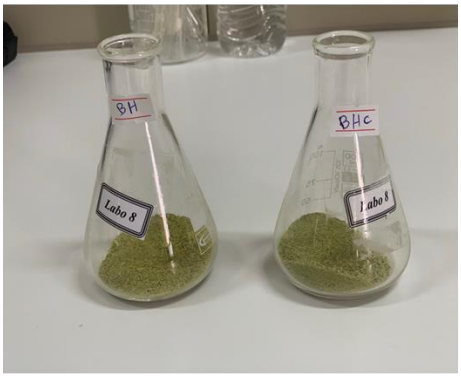
مقارنة المتوسطات باستخدام: LSD

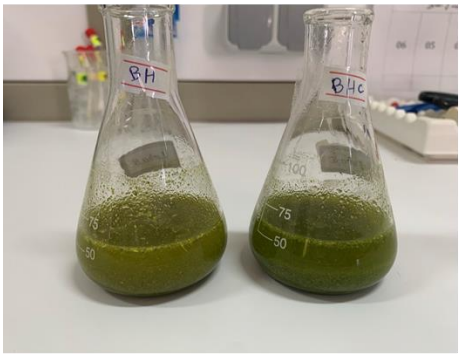
المعاملة	المتوسط ±الانحراف المعياري
نعناع مائي +ماء ساخن	46.60[a]
نعناع جبلي +ماء ساخن	41.73[ab]
نعناع مائي +ماء ساخن مبرد	33.93[b]
نعناع جبلي +ماء ساخن مبرد	32.03[b]

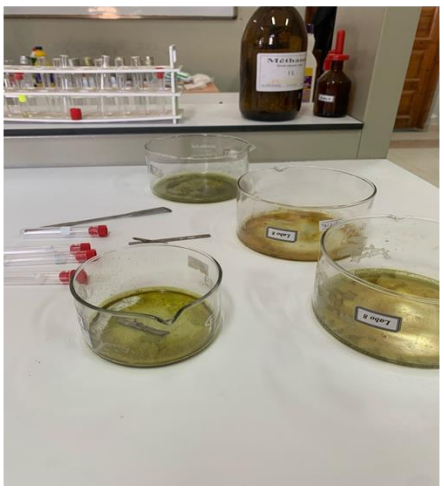
تمثل الحروف الفروق المعنوية بين المعاملات حسب LSD (المعاملات التي تشترك في نفس الحرف لا تختلف معنويًا عند $P \leq 0.05$).

الملحق: (2) العينيات النباتية المدروسة

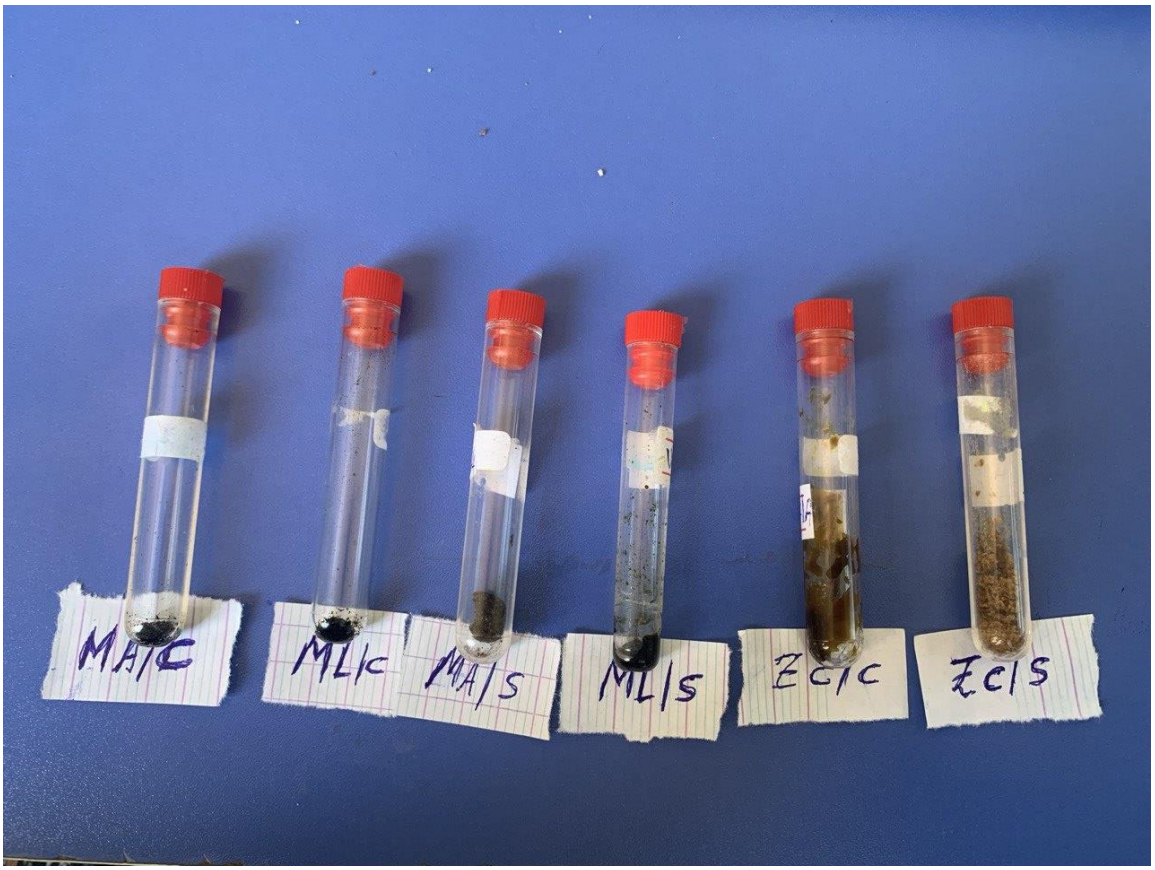
الملحق: (3) مراحل تحضير المستخلص





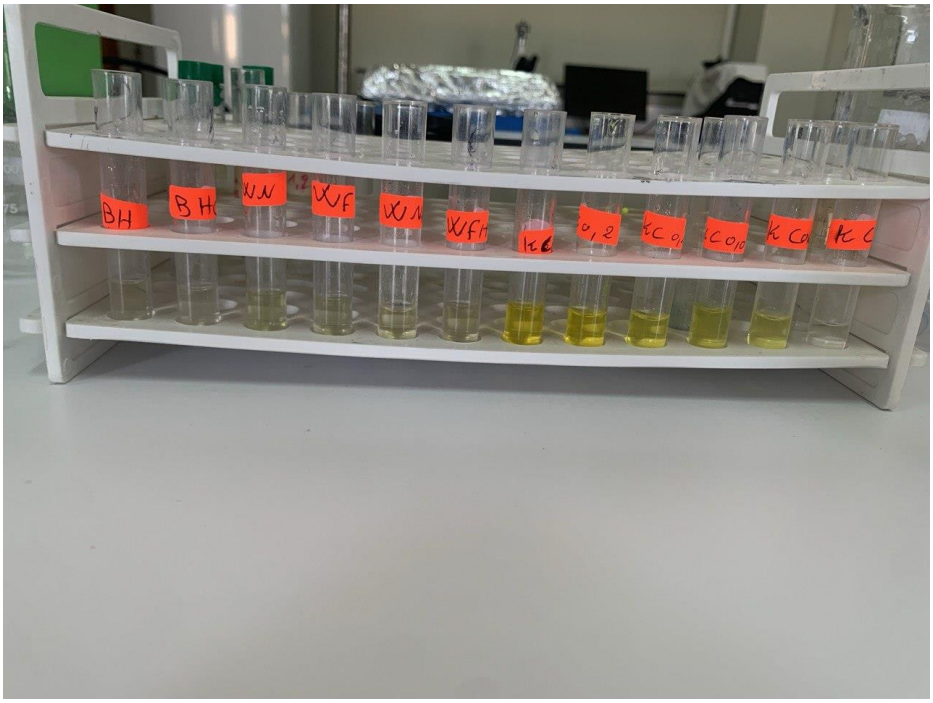


الملحق: (4) المستخلصات النباتية الناتجة

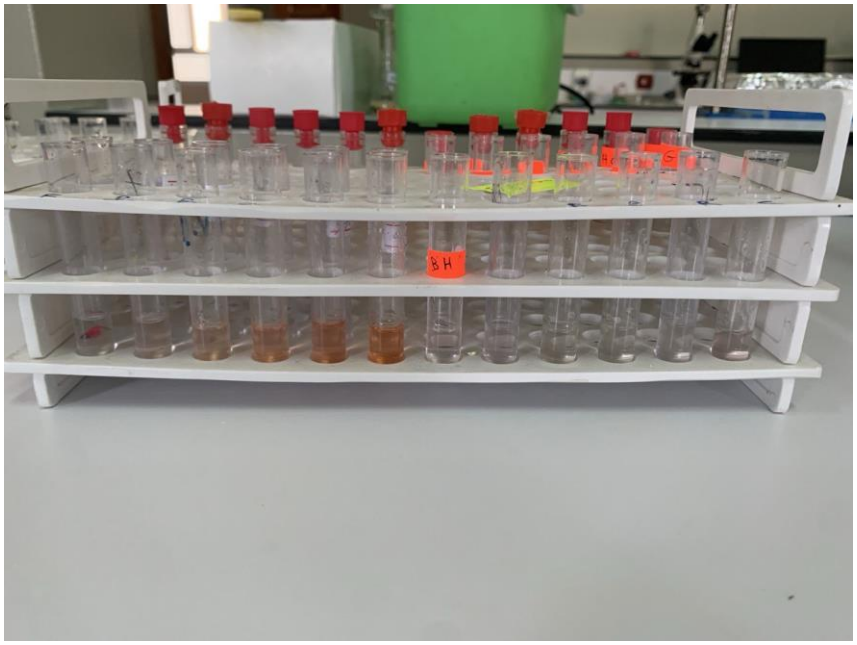


الملحق: (5)

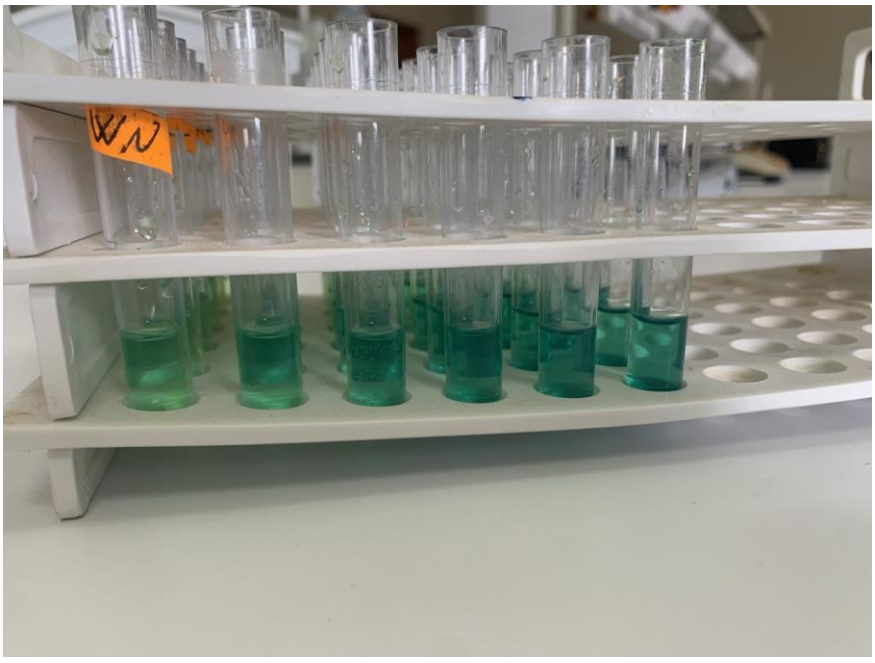
الوثيقة(1): صورة توضح نتائج سلسلة المحاليل القياسية للفينولات



الوثيقة(2): صورة توضح نتائج سلسلة المحاليل القياسية للفلافونويدات



الوثيقة (3):صورة توضح نتائج سلسلة المحاليل القياسية لتانينات



الوثيقة (4): صورة توضح نتائج اختبار القدرة الارجاعية للحديد FRAP للعينات النباتية المدروسة