تقدير بعض الخصائص الفيزيائية وتركيزات العناصر الأساسية والثقيلة في نبات إكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis L.*) في منطقة الطويبية، ليبيا

عبد العاطي امحمد المختار خليل[1*]، خالد الصغير حريبه[2]

[1] قسم الكيمياء، كلية العلوم، رقدالين، جامعة صبراتة، صبراتة، ليبيا

[2] قسم الكيمياء كلية التربية، جامعة طرابلس، طرابلس، ليبيا

الملخص

هدفت هذه الدراسة إلى تقدير بعض الخصائص الفيزيائية وتحديد تراكيز إثنى عشر عنصراً من العناصر الأساسية والثقيلة في عشر عينات مختلفة ($K_1 - K_{10}$) من نبات إكليل الجبل الذي تم جمعه من منطقة الطويبية شرق مدينة الزاوية – **ليبيا**. جُمعت العينات ميدانياً من بيئة منطقة الطويبية سنة 2026م، وجففت عند 105°م لتقدير المحتوى المائي ونسبة الرطوبة، ثم حرقت عند 550°م لتعيين نسبة الرماد الكلي. ثم اجريت عملية الهضم الرطب للرماد المستخلص لقياس وتحديد تراكيز العناصر الاساسية والثقيلة باستخدام مطياف اللهب وجهاز الامتصاص الذري بواسطة بلازما الحث المزدوج في معامل مركز بحوث النفط بمدينة طرابلس – ليبيا. أظهرت النتائج التحليلية تفوقاً ملحوظاً لعنصر البوتاسيوم (K) الذي سجل التركيز الأعلى بمتوسط حسابي بلغ 84.36، يليه الحديد (Fe) بمتوسط 67.55 ppm مع قفزة تراكمية طبيعية في العينة K_7 بلغت 115.40ppm . كما بينت النتائج توازناً متقارباً بين الكالسيوم (Ca) والصوديوم (Na) بمتوسطات بلغت 40.60 ppm و 40.16 ppm على التوالي، واستقراراً للباريوم (Ba) عند 24.18 ppm ، في حين سجل الليثيوم (Li) ثباتاً مطلقاً بتركيز 0.60 ppm . وبالنسبة للعناصر الأخرى، تراوحت المتوسطات بين 17.31 ppm للخارصين(Zn) ، و 11.67 ppm للمنجنيز(Mn) ، و 6.09 ppm للنحاس(Cu) ، و 3.34 ppm للسترونشيوم.(Sr) ، سجل عنصر الرصاص (Pb) انخفاضاً حاداً وشبه منعدم بمتوسط 0.08 ppm، وهو أقل بكثير من الحد الأقصى المسموح به عالمياً للأعشاب الطبية (10ppm) حسب الحدود المسموح بها من منظمة الصحة العالمية. لخصت الدراسة إلى أن العينات المدروسة من نبات إكليل الجبل النامي في منطقة الطويبية تمتلك بنية فيزيائية غنية بالعناصر الأساسية، ونقاءها من التلوث بالعناصر الثقيلة.

الكلمات المفتاحية: إكليل الجبل، العناصر الأساسية، المعادن الثقيلة، الخصائص الفيزيائية، منطقة الطويبية، ليبيا.

Assessment of Certain Physical Properties and Concentrations of Essential and Heavy Elements in Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) within the Libyan Environment – Al-Tuwaybiyah Region, Libya

Abdulati E. Khalil [1*], Khaled A. Hreeba[2]

[1] Department of Chemistry, Faculty of Science, Riqdalin, Sabratha University, Sabratha - Libya

[2] Department of Chemistry, Faculty of Education, University of Tripoli, Tripoli - Libya

Abstract

This study aimed to estimate certain physical characteristics and determine the concentrations of twelve essential and heavy elements in ten different samples (K1 - K10)

of the rosemary plant collected from the AT-Tuwaybiyah area, east of Zawiya city, Libya. The samples were collected from the field environment of AT-Tuwaybiyah in 2026 and dried at 105°C to determine the water content and moisture percentage, followed by combustion at 550°C to determine the total ash percentage. Wet digestion was then performed on the extracted ash to measure and determine the concentrations of essential and heavy elements using a flame photometer and an Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) at the Petroleum Research Center laboratories in Tripoli, Libya. The analytical results showed a notable predominance of Potassium (K), which recorded the highest concentration with an arithmetic mean of (84.36) ppm, followed by Iron (Fe) with a mean of (67.55) ppm, exhibiting a natural cumulative spike in sample (K7) that reached (115.40) ppm. The results also revealed a close balance between Calcium (Ca) and Sodium (Na), with means reaching (40.60) ppm and (40.16) ppm, respectively, and stability for Barium (Ba) at (24.18) ppm. Meanwhile, Lithium (Li) showed absolute stability with a concentration of (0.60) ppm. For the other elements, the means ranged between (17.31) ppm for Zinc (Zn), (11.67) ppm for Manganese (Mn), (6.09) ppm for Copper (Cu), and (3.34) ppm for Strontium (Sr). Lead (Pb) recorded a sharp and near-zero decline with a mean of (0.08) ppm, which is significantly lower than the maximum globally permissible limit for medicinal herbs (10) ppm according to the World Health Organization (WHO) guidelines. The study concluded that the examined rosemary samples grown in the AT-Tuwaybiyah area possess a physical structure rich in essential elements and are pure from heavy metal contamination.

Keywords: Rosemary, Essential elements, Heavy metals, Physical characteristics, AT-Tuwaybiyah area, Libya.

1. المقدمة

تشكل النباتات الطبية والعطرية ركيزة اساسية في الصناعات الدوائية والغذائية في مختلف دول العالم لاسيما دول شمال افريقيا ومنها ليبيا، نظرا لإحتوائها على مركبات حيوية نشطة ذات فعالية علاجية كبيرة (Al-Khafifi *et al.*, 2025). ويعد نبات الإكليل (*Rosmarinus officinalis*)، المعروف بإسم الروزماري، أحد أبرز هذه النباتات التي تحظى باستهلاك يومي كمضاد للأكسدة والميكروبات، فضلا عن استخدامه كتابل رئيسي في المطبخ الليبي (El-Mokasabi, 2014). ومع ذلك تواجه جودة هذه الإعشاب الطبية وسلامتها تحديات بيئية وفسيولوجية متزايدة، مما يتطلب إخضاعها لبروتوكولات الرقابة وضمان الجودة قبل استهلاكها.

تعتمد الرقابة النوعية للأعشاب الطبية بشكل اساسي على التحاليل الكيميائية المختلفة والتي منها تقدير محتوى الرطوبة والرماد الكلي. حيث يعد قياس المحتوى المائي مؤشرا مهما لتحديد مدى كفاءة عمليات التجفيف والحفظ، إذ إن ارتفاع نسبة الرطوبة عن الحدود المثلى يسهم في تنشيط الانزيمات النباتية ويحفز النمو البكتيري والفطري، مما يؤدي الى تحلل المواد الفعالة وضعف جودة المنتج (WHO, 2007). ومن جهة اخرى ، تمثل نسبة الرماد الكلي بعد حرق المادة العضوية مقياسا للمحتوى المعدني الاجمالي ، فضلا عن كونه اداة للكشف عن مدى تلوث العينات النباتية بالشوائب الترابية اثناء الجمع(Bahroun *et al.*, 2025).

علاوة على ذلك، تمتلك النباتات الطبية قدرة طبيعية على امتصاص وتجميع العناصر الكيميائية من البيئة المحيطة عبر مجموعها الجذري ونقلها الى اجزائها الخضرية (Abushhewa *et al.*, 2025). وتنقسم هذه العناصر الى عناصر اساسية مثل الصوديوم والبوتاسيوم والكالسيوم وهي ضرورية للعمليات الفسيولوجية بشرط بقائها ضمن الحدود الامنة، ومعادن ثقيلة شديدة السمية مثل الرصاص والكروم والتي تفتقر الى أي دور بيولوجي معروف (Boahen, 2024). ويؤدي تراكم هذه المعادن السامة في الانسجة النباتية نتيجة الانشطة البشرية والصناعية وعوادم السيارات على الطرق الى مخاطر صحية تراكمية خطيرة على صحة المستهلك مثل الفشل الكلوي والاضطرابات العصبية (Sert *et al.*, 2020").

تتميز المناطق الواقعة في الغرب الليبي، مثل منطقة الطويبية الواقعة شرق مدينة الزاوية، بأنشطة زراعية وعمرانية مختلفة، وتوجد بها العديد من الطرق الرئيسية، مما قد يؤثر على الخواص الفيزيائية للنباتات النامية فيها. ونظرا للافتقار الى دراسات مرجعية محلية تجمع بين تقييم الخصائص ورصد المحتوى المعدني لنبات الاكليل في هذه المنطقة، جاءت هذه الدراسة بهدف تقدير نسب الرطوبة والرماد وتحديد تركيز العناصر الاساسية والثقيلة في عشر عينات من نبات الاكليل بمنطقة الطويبية، واجراء مقارنة بينها وبين الحدود القياسية المسموح بها من منظمة الصحة العالمية (WHO)، لتوفير قاعدة بيانات علمية موثوقة تضمن جودة وسلامة المصادر النباتية المحلية.

1. المواد وطرق العمل (Materials and Methods)

تم جمع عينات نبات إكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) وترميزها مخبرياً من (K1) إلى (K10). ثم غُسلت العينات جيداً بالماء المقطر لإزالة الأتربة والعوالق السطحية، ثم جُففت هوائياً في الظل عند درجة حرارة الغرفة. بعد الجفاف التام، طُحنت الأجزاء الهوائية للنبات للحصول على مسحوق ناعم ومتجانس كما هو موضح بالشكل رقم (1)، وحُفظت في أكياس بولي إيثيلين معقمة ومحكمة الإغلاق.



الشكل رقم (1) يوضح تجهيز العينات

2.1 تقدير المحتوى المائي (Moisture Content)

تم تقدير المحتوى المائي والرماد باتباع الطرق القياسية المعتمدة من منظمة الأغذية والزراعة (Burton, 1988):

1. وُزنت البوتقات الخزفية (Crucibles) فارغة وجافة تماماً بعد تجفيفها في الفرن وتبريدها في المجفف وسُجل وزنها (W0).

2. أُضيف حوالي (g1.0) من مسحوق النبات إلى كل بوتقة، وسُجل الوزن الكلي قبل التجفيف (W1).

3. وُضعت البوتقات في فرن التجفيف الكهربائي عند درجة حرارة 105م لمدة 24 ساعة حتى ثبات الوزن، ثم نُقلت للمجفف وسُجل الوزن بعد التجفيف (W2).

4. حُسبت النسبة المئوية للمحتوى المائي وفق المعادلة:

$$\text{Moisture (\%)} = \frac{W1 - W2}{W1 - W0} \text{ X } 100$$

2.2 محتوى الرماد الكلي (Total Ash Content)

1. نُقلت البوتقات المحتوية على العينات المجففة عند 105 م إلى فرن الحرق الرقمي (Muffle Furnace).

2. رُفعت درجة الحرارة تدريجياً حتى وصلت إلى550 م واستمر الحرق لمدة تتراوح بين 5 إلى 6 ساعات لأكسدة المادة العضوية بالكامل وتحولها إلى رماد أبيض.

3. تُرِك الفرن ليبرد، ثم نُقلت البوتقات إلى المجفف ووُزنت البوتقات مع الرماد المتبقي (W3).

4. حُسبت النسبة المئوية للرماد الكلي على أساس الوزن الجاف وفق المعادلة:

$$\text{Ash (\%)} = \frac{W3 - W0}{W2 - W0} \text{ X } 100$$

2.3 عملية الهضم الرطب للعينات (Wet Acid Digestion)

أُجريت عملية الهضم الرطب كالتالي (Arsenic *et al.*, 1996):

1. وُزن 1 جم بدقة من مسحوق نبات إكليل الجبل لكل عينة من العينات العشر (K1–K10) باستخدام ميزان تحليلي حساس، ونُقلت إلى دوارق هضم مخروطية نظيفة من زجاج البوروسيل.

2. أُضيف إلى كل دورق خليط حمضي عالي النقاء مكون من حمض النيتريك المركز وحمض الهيدركلوريك بنسبة حجمية (3:1).

3. وُضعت الدوارق على جهاز السخان الكهربائي المنظم للحرارة (Hot Plate) داخل خزانة سحب الغازات (Fume Hood) عند درجة حرارة تراوحت بين (80–120 م)، واستمر التسخين حتى توقفت الأبخرة البنية تماماً وتحول المحلول إلى سائل شفاف رائق وعديم اللون.

4. تُركت الدوارق لتبرد، ثم رُشِّح المحلول باستخدام أوراق ترشيح (Whatman No. 42). أُكمل الحجم النهائي للراشح بالماء المقطر خالٍ من الأيونات (Deionized Water) حتى العلامة في دورق قياسي حجمي سعة (50مل).

بعد إتمام عملية الهضم وتخفيف المحاليل، تم تقدير تراكيز العناصر الأساسية باستخدام جهاز مطيافية اللهب. والعناصر الثقيلة بجهاز مطيافية الانبعاث الذري ببلازما الحث المزدوج (ICP–OES) في مركز بحوث النفط / السياحية – ليبيا.

2. النتائج والمناقشة

1.2. نتائج محتوى الرطوبة (Moisture Content)

أظهرت نتائج تقدير محتوى الرطوبة في عينات نبات إكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) كما هو موضح بالجدول رقم (1) تبايناً طفيفاً بين العينات المدروسة، حيث تراوحت النسب ما بين 12.05% كحد أدنى في العينة (K4) و 15.77% كحد أقصى في العينة (K3) ، بمتوسط عام بلغ 13.66%.

وتُعد هذه النسبة متوافقة مع الحدود الموصى بها من منظمة الصحة العالمية والتي تشترط ألا يتجاوز المحتوى المائي للنباتات الطبية المجففة حدود (12– 14%) (WHO, 2007).

3.2 نتائج الرماد الكلي(Total Ash)

فيما يتعلق بنسبة الرماد الكلي، وكما هو موضح بالجدول رقم (1) فقد سجلت العينات قيماً متقاربة جداً، تراوحت ما بين 4.82% في العينة (K2) و 5.98% في العينة (K9) ، وبمتوسط إحصائي عام قدره 5.49%. مما يؤكد بأن العينات المدروسة مطابقة للمعايير القياسية الدولية لمنظمة الصحة العالمية (WHO, 2007).

جدول رقم (1) يوضح نتائج محتوى الرطوبة والرماد الكلي

المتغير	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	المتوسط	WHO
محتوى الرطوبة (%)	15.2	12.8	15.8	12.1	13.1	13.8	13.1	13.2	14.3	13.3	13.7	14–12
الرماد الكلي (%)	5.9	4.82	5.36	5.44	5.49	5.49	5.44	5.47	5.98	5.51	5.49	12

3.3 العناصر الأساسية (Essential Elements)

كما هو موضح بالجدول رقم (2) أظهرت نتائج التحليل الطيفي تواجداً طبيعياً ومتوازناً للعناصر المعدنية الأساسية الكبرى والشحيحة في جميع عينات نبات إكليل الجبل المجمعة من منطقة الطويبية. حيث سجل عنصر البوتاسيوم (K) أعلى التراكيز في الأنسجة النباتية بمتوسط عام بلغ 84.36 ppm، تلاه الصوديوم (Na) بمتوسط 40.16 ppm، ثم الكالسيوم (Ca) بمتوسط 40.60 ppm، في حين تراوحت مستويات الزنك (Zn) حول متوسط قدره 17.31 ppm.

وتعكس هذه الوفرة المعدنية القيمة الغذائية والعلاجية العالية للنبات النامي في هذه المنطقة؛ حيث يحتاج جسم الإنسان لإتمام عملياته الفسيولوجية والحيوية المختلفة إلى هذه العناصر الأساسية بشكل مستمر، إن غنى النبات بالبوتاسيوم والكالسيوم يدعم خصائصه الطبية كمكمل طبيعي، شريطة بقاء هذه التراكيز ضمن الحدود الفسيولوجية الآمنة التي لا تسبب سمية خلوية للمستهلك (Soetan *et al.*, 2010).

3.4 المعادن الثقيلة (Heavy Metals)

من ناحية أخرى وكما هو موضح بالجدول رقم (2)، كشفت النتائج عن تباين إحصائي ملحوظ في تراكيز المعادن الثقيلة وعناصر التلوث بين العينات العشرة بالرغم من جمعها من نطاق جغرافي واحد (منطقة الطويبية). ويرجع هذا التباين إلى القدرة الطبيعية المتفاوتة للنباتات الطبية على تجميع العناصر الكيميائية من التربة المحيطة ومياه الري عبر مجموعها الجذري ونقلها إلى أجزائها الخضرية المستهلكة (Chibuike & Obiora, 2014).

الجدول رقم (2) يوضح تراكيز العناصر في العينات

Sam	Na	K	Li	Ca	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Sr	Zn
K1	48.2	87.6	0.6	43.1	24.7	0.00	5.21	63.34	9.16	0.00	2.29	13.12
K2	34.4	87.9	0.6	38.0	25.4	0.05	4.20	45.30	8.40	0.08	3.10	14.50
K3	40.1	76.9	0.6	40.0	22.3	0.02	6.80	72.10	12.50	0.04	2.85	18.20
K4	40.2	80.3	0.6	41.4	23.3	0.11	8.50	95.80	16.20	0.15	4.60	22.10
K5	38.0	89.1	0.6	40.5	25.2	0.04	5.10	38.40	7.90	0.06	2.40	12.80
K6	41.5	85.2	0.6	39.5	23.9	0.00	3.90	51.20	9.10	0.01	3.25	15.30
K7	39.0	81.4	0.6	42.1	24.5	0.14	9.20	115.40	19.80	0.18	5.10	26.40
K8	4.03	88.0	0.6	40.8	25.1	0.07	7.10	83.60	14.30	0.09	3.80	19.70
K9	38.7	79.5	0.6	38.9	22.8	0.01	4.60	42.90	8.10	0.03	2.65	13.90
K10	41.2	87.7	0.6	41.7	24.6	0.08	6.30	67.50	11.20	0.11	3.40	17.10
$\bar{x}$	40.16	84.36	0.6	40.60	24.18	0.05	6.09	67.55	11.67	08.	3.34	17.31
±SD	3.48	4.41	0.00	1.55	1.07	0.05	1.81	24.95	4.01	0.06	0.92	4.39

وقد لوحظ أن بعض العينات (مثل K7 و K4) سجلت ارتفاعاً واضحاً في تراكيز الحديد (حيث بلغت ذروتها 115.40 ppm في العينة (K7)، والمنغنيز (19.30 ppm)، والنحاس (9.20 ppm). هذا التفاوت بين عينات المنطقة الواحدة قد يعود إلى اختلافات موضعية دقيقة في خصائص التربة، أو نوعية مياه الري المستخدمة في المزارع المختلفة داخل المنطقة، أو القرب النسبي لبعض العينات من الطرق المجاورة المتأثرة بالغبار المروري وعوادم المركبات (Sert *et al.*, 2020).

3.5 مطابقة النتائج مع الحدود الدولية والمخاطر الصحية (Health Risk Assessment)

عند مقارنة تراكيز المعادن الثقيلة السامة مع الحدود القصوى التي أقرتها منظمة الصحة العالمية (WHO) لسلامة النباتات الطبية والأدوية العشبية، نجد الآتي:

الرصاص (Pb): بلغ المتوسط العام في عينات منطقة الطويبية 0.08 ppm، وسجلت أعلى عينة (K7) قيمة 0.18 ppm، وهي نسب آمنة تماماً وتقع بعيداً جداً عن الخطورة، حيث تسمح منظمة الصحة العالمية بحد أقصى يصل إلى 10.0 ppm في الأعشاب الطبية المجففة.

الكروم (Cr): سجل متوسطاً منخفضاً للغاية قدره 0.05 ppm (بحد أقصى 0.14 ppm)، وهو ما يقع تماماً ضمن الحدود الآمنة والمسموحة بيئياً وصحياً.

إن بقاء تراكيز المعادن الثقيلة السامة كالرصاص والكروم دون الحدود الحرجة دولياً في نبات إكليل الجبل بمنطقة الطويبية، يقلل من احتمالية حدوث مخاطر صحية تراكمية (سرطانية أو غير سرطانية) على المستهلك المحلي الذي يدمج هذا النبات كتابل رئيسي في المطبخ أو في الوصفات العلاجية التقليدية(Otbba & Qassim, 2025). ويضمن هذا النقاء المعدني سلامة الاستهلاك البشري وحماية المستهلكين من الاضطرابات العضوية المزمنة المرتبطة بالتسمم المعدني التراكمي مثل الفشل الكلوي الحاد أو الاعتلالات والاضطرابات العصبية (Boahen, 2024).

3. الاستنتاجات (Conclusions)

تأسيسًا على النتائج التحليلية والإحصائية التي توصلت إليها هذه الدراسة حول نبات إكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis L.*) النامي في بيئة منطقة الطويبية بليبيا، يمكن استخلاص الاستنتاجات الرئيسية التالية:

• الملاءمة الفيزيائية والجودة التخزينية: أظهرت العينات المدروسة توافقًا كبيرًا مع المعايير الدولية؛ حيث جاء متوسط محتوى الرطوبة (13.66%) متسقًا مع الحدود الموصى بها من منظمة الصحة العالمية (12–14%)، مما يعكس كفاءة عمليات التجفيف والحفظ ويقلل من فرص التحلل الإنزيمي أو الميكروبي. كما أكد انخفاض نسبة الرماد الكلي (بمتوسط 5.49%) نقاء العينات النباتية من الشوائب الترابية والمخرجات غير العضوية أثناء الجمع.

• الغنى والمحتوى المعدني الأساسي: يتميز نبات إكليل الجبل في منطقة الدراسة ببنية معدنية غنية ومتوازنة من العناصر الأساسية الاساسية والثقيلة. وقد سجل عنصر البوتاسيوم (K) الصدارة التحليلية بأعلى تركيز (84.36 ppm)،

يليه الحديد (Fe) بمتوسط (67.55 ppm)، مع تقارب متوازن بين الصوديوم والكالسيوم، مما يمنح النبات قيمة فسيولوجية وغذائية عالية تدعم استخدامه الآمن كمكمل طبيعي وتابل غذائي.

• السلامة البيئية والنقاء من التلوث: بالرغم من وجود تباينات موضعية طفيفة في قدرة العينات على امتصاص بعض العناصر (كالحديد والمنجنيز والنحاس) نتيجة لاختلاف خصائص التربة أو القرب من الطرق الرئيسية، إلا أن الدراسة أثبتت خلو النبات من التلوث بالمعادن الثقيلة الخطيرة.

بشكل عام، تخلص الدراسة إلى أن نبات إكليل الجبل في منطقة الطويبية يمثل مصدرًا طبيعيًا آمنًا ونقيًا، وتوفر هذه النتائج قاعدة بيانات علمية موثوقة لتقييم جودة المنتجات النباتية الطبية في البيئة الليبية.

4. References

Abushhewa, S. M. A., Dyab, S. A., & Dareeah, T. A. B. (2025). Estimation and comparison of heavy metal concentrations of rosemary plants in the cities of Qasr Bin Ghasheer and Gharyan in Libya. *Journal of Total Science*, *9*(35), 110-123.

Al -Khafifi, A., et al. (2025). Medicinal plant use and market dynamics in Benghazi, Libya: A quantitative ethnobotanical and economic assessment. Al-Imad Journal of Applied Health Sciences, 4(2), 232.

Arsenic, A. M., Beryllium, A. M., Chromium, B. N., Cobalt, C. P., Iron, C. S., Lead, C. S., ... & Thallium, I. Z. (1996). Method 3050B acid digestion of sediments, sludges, and soils 1.0 scope and application. Washington, DC, USA.

Bahroun, N. H., Abdassalam, A. F., Abobaker, D. M., Saleh, M. S., Alshareef, M. A., & Salem, S. N. (2025). Evaluation of Heavy Metals Contents in Spices Available on Zawia Citys Markets. *University of Zawia Journal of Natural Sciences*, *2*(2), 77-87.

Boahen, E. (2024). Heavy metal contamination in urban roadside vegetables: origins, exposure pathways, and health implications. Discover Environment, 2(1), Article 145.

Burton, E. (1988). *Manuals of food quality control. 9: Introduction to food sampling* (No. 14/9).

Chibuike, G. U., & Obiora, S. C. (2014). Heavy metal polluted soils: Effect on plants and bioremediation methods. Applied and Environmental Soil Science, 2014, 1–12.

El-Mokasabi, F. M. (2014). The state of exotic medicinal plants in Libya. Sebha University Journal of Pure and Applied Sciences, 13(1), 84–93.

Otbba, A., & Qassim, A. (2025). Evaluation of heavy metals in spices south of Libya. International Frontier Science Research Journal, 12(1), 30–40.

Sert, E., Turkmen, M., & Celik, A. (2020). Heavy metal accumulation in rosemary leaves and stems exposed to traffic-related pollution near Adana-Iskenderun Highway (Hatay, Turkey). Environmental Monitoring and Assessment, 192(8), Article 512.

Soetan, K. O., Olaiya, C. O., & Oyewole, O. E. (2010). The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants: A review. African Journal of Food Science, 4(5), 200–222.

Sulaiman, M. B., Adamu, A. M., Ali, S. B., Ezenobi, U. V., Gimba, A. M., Akinlotan, O. O., & Abubakar, A. (2024). Heavy metal contamination in medicinal plants: assessing carcinogenic and non-carcinogenic health risks. *Discover Environment*, *2*(1), 11.

WHO (World Health Organization). (2007). WHO guidelines for assessing quality of herbal medicines with reference to contaminants and residues.