تلوث التربة والنبات بالعناصر الثقيلة في منطقة مهد الذهب وتأثرها بالبعد عن المنجم

SoilandPlantContaminationwithHeavyMetalsatMahadADDahab as Affected by the Distance from the Mine Area

قسم علوم التربة – مركز البحوث الزراعية ١٤٣٠

د. عبدالله بن سليمان الفراج

د. محمد بن إبراهيم الوابل

د. ثبيت بن سفر الشهراني

أ. د. سالم العزب عبدالله مغربي

د. محمد بن سليمان السويلم

للتواصل

Email: sfarraj@ksu.edu.sa

Phone: 00966 - 1 - 467 - 6695

Fax: 00966 - 1 - 467 - 8440

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتعريف بالمنحة

بسم الله الرحمن الرحيم

بداية نحمد الله الذي يسر هذه الدراسة ونسأله أن ينفع بها، وأن تكون نتائج هذه الدراسة في خدمة وطننا الحبيب، وأن يرزقنا الإخلاص والقبول فيما مضى من أمرنا أو نستقبل. ويسر أعضاء الفريق البحثي للمشروع أن يتقدموا بخالص الشكر والتقدير إلى مركز البحوث الزراعية بكلية علوم الأغذية والزراعة بجامعة الملك سعود لتمويل هذه الدراسة (٢٣ تسر) إيماناً منهم بأهمية البحث العلمي في خدمة المجتمع.

والشكر موصول لكل من ساهم في إنجاح هذه الدراسة وإخراجها على هذه الصورة. ونخص بالشكر كلاً من الأستاذ خالد المسفر والأستاذ عبد الهادي الفرهود والأستاذ حسين الشهري والأستاذ ظافر الأسمري والأستاذ سعيد صليح والأستاذ سليمان السلطان والأستاذ عبدالعزيز أحمد الغامدي والأستاذ فيصل الضعيان لمشاركتهم في التحاليل المعملية والشكر موصول لجميع منسوبي قسم علوم التربة لتسخير إمكانات القسم الفنية في سبيل إنجاز متطلبات الدراسة.

ولا يفوت الفريق البحثي الإشادة بدور سعادة الأستاذ صالح اللحيدان محافظ مهد الذهب لما كان لاســـتقباله من أثر طيب على جميع أفراد الفريـــق البحثي في لقاءاته المتعـــددة. وأخيراً يشكر الفريق البحثي ما قدمته شركة معادن من توفير الإقامة للفريق البحثي أثناء وجوده لجمع العينـــات. وإن كان الفريـــق يطمح لأخذ عينات من المدافن والمناطق القريبة منها لارتباط ذلك الوثيق بموضوع البحث.

أخيـراً: يقدر الفريق البحثـــي كثيراً الوقفة والتجاوب الإيجابي الـــذي أبدته إمارة منطقة المدينـــة المنورة، لنتائج الدراســـة الأولى، والتي تُوجَـــت بتكوين عـــدد من اللجـــان بتوجيه من صاحب الســـمو الملكي الأميـــر عبدالعزيز بن ماجد آل ســـعود أمير منطقـــة المدينة المنورة، والمتابعة الجادة لعمل تلـــك اللجان، مما أوجد حافـــزاً للفريق البحثي للاســـتمرار في البحث والعطاء، سائلين المولى عز وجل أن ينفع بها.

واللّه الموفق لما فيه الخير لوطننا الحبيب

الفريق البحثي

د. عبد الله بن سليمان الفراج
د. محمد بن إبراهيم الوابل
د. ثبيـت بن سفـر الشهراني
أ.د. سالم العزب عبدالله المغربي
د. محمد بن سليمان السويلم

الفهـرس

الملخص ١٠

Summary ١٢

المقدمة ١٤

التعريف بالمشكلة ١٤

مبررات الدراسة ١٦

أهداف الدراسة ١٩

الخلفية العلمية والدراسات السابقة Literature Review ١٩

التلوث بالعناصر الثقيلة ١٩

الآثار السلبية للعناصر الثقيلة ١٩

تلوث ترب مهد الذهب ٢٠

امتصاص النباتات للعناصر الثقيلة ٢٥

تلوث النباتات النامية في مهد الذهب بالعناصر الثقيلة ٢٦

معامل التراكم للعناصر الثقيلة Accumulation coefficient ٢٧

تيسر العناصر الثقيلة في التربة ٢٨

منهجية البحث Research Methodology ٢٩

منطقة الدراسة ٢٩

العمل الحقلي ٣٠

تجهيز العينات للتحاليل ٣١

التحاليل الروتينية للتربة ٣١

تقدير التركيز الكلي للعناصر الثقيلة ٣٣

تقدير الصورة الميسرة للعناصر الثقيلة ٣٣

تحديد مدى تلوث التربة بالعناصر الثقيلة ٣٣

تحليل العينات النباتية ٣٤

ضبط الجودة ٣٤

النتائج والمناقشات Results & Discussions ٣٥

الخصائص الكيميائية والفيزيائية لترب مهد الذهب ٣٥

التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في التربة ٣٦

تلوث ترب مهد الذهب بناء على معامل الوفرة ٣٨

تلوث ترب مهد الذهب بناءً على بعض المقاييس الدولية ٤٠

تركيز العناصر الثقيلة في نبات الحرمل ٤١

الاستخلاص بواسطة DTPA ٤٣

الخاتمة والتوصيات ٤٨

المراجع REFRENCES ٥٠

قائمة الجداول

جدول (١): متوسط الخواص الفيزيائية والكيميائية لتربة موقع الدراسة (مهد الذهب) .	٣٥
جدول(٢): التركيز الكلي لعينات ترب مهد الذهب مقارنة مع المتوسط والمدى العام للترب (ملجم كجم$^{-1}$).	٣٦
جدول (٣) معامل الوفرة للعناصر الثقيلة للتربة في مواقع جمع العينات.	٣٩
جدول (٤) المقياس الاسكتلندي A، الهولندي (B, C, D)، والصيني E، لتلوث التربة بالعناصر الثقيلة.	٤٠
جدول (٥): تركيز العناصر الثقيلة ومعامل التراكم في جذور وسيقان وأوراق نبات الحرمل.	٤٢
جدول (٦): معامل الانتقال للعناصر الثقيلة في جذور وسيقان وأوراق نبات الحرمل.	٤٥

قائمة الصور والأشكال

شكل (١): مرئية فضائية لمنجم مهد الذهب، تظهر منطقة عمليات التعدين وجزءاً من المرادم.	١٧
شكل (٢): تركيز العناصر الثقيلة في ترب مهد الذهب.	٢٢
شكل (٣أ): أثر الرياح في نقل الأتربة الملوثة من مرادم منجم مهد الذهب (١٤٢٥هـ).	٢٣
شكل (٣ب): أثر الأمطار في تهدم أجزاء من سور المرادم في منجم مهد الذهب (١٤٢٥هـ).	٢٣
شكل (٤): صورة نبات الغلقا.	٢٦
شكل (٥): مرئية فضائية لمدينة مهد الذهب، ومنطقة المنجم.	٢٩

قائمة الصور والأشكال

شكل (٦): صورة لنبات الحرمل.	٢٩
شكل (٧): مرئية فضائية تبين مدينة مهد الذهب والمنجم ومواقع أخذ العينات.	٣١
شكل (٨): التركيز الكلي (ملجم كجم$^{-1}$) للعناصر الثقيلة في التربة حيث مواقع جمع العينات.	٣٨
شكل (٩): صورة لنبات القرضي.	٤١
شكل (١٠): نسبة المستخلص من العناصر الثقيلة في التربة وعلاقته بالمتراكم في جذور وأوراق وسيقان نبات الحرمل.	٤٧

الملخص

أكدت العديد من الدراسات تلوث للتربة بالعناصر الثقيلة في منطقة مهد الذهب، لذا كانت الحاجة ماسة لمزيد من الدراسات للوقوف على مستويات التلوث في تلك المنطقة ومعرفة دور مرادم دفن نفايات عمليات التعدين في ذلك. وقد هدفت الدراسة إلى معرفة أثر البعد عن منجم مهد الذهب على تلوث التربة والنبات (نبات الحرمل) بالعناصر الثقيلة (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb& Zn). ولتحقيق هذا الهدف، جُمِعَ ثمان عينات تربة مركبة على أبعاد (٠، ١، ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، و ٧) كلم من مرادم دفن نفايات التعدين المحيطة بمنجم مهد الذهب. كما جُمِعَت عينات من جذور وسيقان وأوراق نبات الحرمل النامي طبيعيا بمنطقة مهد الذهب عند كل موقع من مواقع جمع عينات التربة. قُدِرَ التركيز الكلي للعناصر الثقيلة سواءً في عينات التربة أو النبات. وقد أظهرت النتائج تلوث التربة بعناصر الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك، وكان التركيز الأعلى في المواقع قرب المرادم ثم انخفض مع البعد عنها. حيث أظهرت قيم معامل الوفرة (EF) تلوثاً بدرجة مرتفعة جداً (٢٠<EF≥٤٠) بعنصري الكادميوم والزنك في الموقع الأول (المجاور للمرادم)، حيث سجلا على التوالي ٣٣ و ٢٢، بينما كان معامل الوفرة لهما في الموقع الثاني (على بعد كيلومتر من الموقع الأول) ٨ و ١٠ على التوالي مما يعني تلوث التربة بدرجة معنوية (٥<EF≥٢٠).

واعتمادا على بعض المقاييس الدولية لتركيز العناصر الثقيلة في التربة يتضح أن أعلى العناصر الملوثة في مواقع الدارسة كان عنصر النحاس، حيث بلغ تركيزه في جميع مواقع الدراسة ما يقارب أو يفوق ١٠٠ ملجم كجم$^{-1}$، وهو ما يؤكد أن التربة ملوثة بدرجة تؤثر على الإنسان، أما في الموقعين الأول والثاني فكانت التربة ملوثة بالنحاس بدرجة كبيرة جداً (٩٤٤ و ٦١٢ ملجم كجم$^{-1}$ على التوالي) مما يجعلها تحتاج إلى إعادة تأهيل بناءً على المقياس الهولندي. أما التلوث بعنصر الكادميوم فقد بلغ في الموقع الأول (٧,٩ ملجم كجم$^{-1}$) (بجوار المرادم) مستوى يؤثر على صحة الإنسان، بينما كان تركيزه في الموقع الثاني (٢ ملجم كجم$^{-1}$) مما يعني أن التربة ملوثة بالكادميوم. كما تعتبر التربة في الموقعين الأول والثاني ملوثة بعنصري الرصاص والزنك بدرجة تؤثر على الإنسان بناءً على المقياس الهولندي (٣٣٧ و ٢٠٦ للرصاص و ٢١١٢ و ١٠٢٧ ملجم كجم$^{-1}$ للزنك، على التوالي). وعند استخدام المقياس الصيني ظهر أن المواقع وحتى مسافة ٥ كلم تعتبر ملوثة بعنصر أو أكثر. وأظهر المقياس الاسكتلندي تلوث الموقع الأول (بجوار المرادم) بجميع

العناصر، بينما تُصنف التربة في الموقع الثاني أنها ملوثة بعنصري النحاس والزنك.

أظهرت نتائج الدراسة انخفاض معامل التراكم للعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn) بشكل عام (< ١). إذا يضاف، إلا أن ارتفاع تركيز العناصر الثقيلة في التربة انعكس إيجاباً على امتصاصها بواسطة الحرمل. لذا سجلت المواقع الأشد تلوثاً قرب المرادم (الموقع الأول والثاني) تركيزاً للعناصر الثقيلة أعلى في نبات الحرمل سواءً في الجذور أو السيقان أو الأوراق. هذه النتائج تشير إلى احتمال عدم مناسبة استخدام الحرمل في استخلاص العناصر الثقيلة من التربة الملوثة بها، إلا أنه يمكن اقتراح إمكانية استخدامها كنباتات مثبتة للتربة ومن ثم منع حدوث تعرية وإثارة للتربة مما يقلل من انتشار التلوث بها إلى المناطق المحيطة غير الملوثة. كما يقترح الباحثون إمكانية استخدام نبات الحرمل كمؤشر لتلوث التربة بالعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn).

أوضحت الدراسة، أن معامل التراكم في الجذور أعلى منه في السيقان أو الأوراق لنبات الحرمل سواءً لعنصر الكادميوم أو الرصاص أو النحاس، بينما كان معامل التراكم للزنك متقارباً في الجذور والأوراق وأقل من السيقان. كما أوضحت النتائج أن معامل الانتقال للنحاس من الجذور إلى السيقان (٠,٧٦) كان أكبر منه للكادميوم (٠,٦٣). أما معامل الانتقال لتلك العناصر من السوق إلى الأوراق، فقد جاءت كما في الترتيب التالي: Cd> Zn> Cu> Pb.

أظهرت نتائج الدارسة الضرورة القصوى والماسة، لتحرك عاجل من قبل الشركة المالكة لمنجم مهد الذهب (معادن) بإشراف من الجهات المعنية (إمارة منطقة المدينة المنورة) والجهات المختصة (الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة) لإيقاف مصدر تلوث منطقة مهد الذهب بالعناصر الثقيلة. كما أن الحاجة ماسة للتعاون مع الجهات المعنية الأخرى مثل وزارة الصحة للكشف العاجل على مستويات العناصر الثقيلة في دماء سكان مدينة مهد الذهب وخاصة طلاب المدارس والعاملين في المنجم. يضاف إلى ذلك، أهمية تفعيل دور المراكز البحثية وتسهيل قيامها بإجراء دراسات على أوجه التلوث الأخرى وخاصة عوالق الغبار من حيث الكمية التي يتعرض لها السكان، وتركيز العناصر الثقيلة فيها، ودراسة تلوث الهواء بالغازات المتطايرة خاصة الناتجة من عنصر الزئبق وبعض العناصر المشعة، كما أن الحاجة ماسة جداً لدراسة النظائر المشعة في المنطقة. كما تظهر أهمية الشفافية التي يجب أن تنتهجها الشركات فيما يخص الجوانب البيئية، وأن تتحمل مسؤوليتها تجاه المجتمع والبيئة.

Summary

Soil and Plant Contamination with Heavy Metals at Mahad AD Dahab as affected by the distance from the mine Area

Many studies confirmed the contamination of Mahad AD Dahab soil with heavy metals. Therefore, this study aimed to determine the effects of the distance from the mining area on the contamination of soil and Rhazya stricta by heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb & Zn). To achieve this goal, eight composite soil samples were collected at 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 7 km far from the landfill. Moreover, samples of roots, stems and leaves of Rhazya stricta have been collected from each site where soil samples collected. Soil and plant samples were analyzed for the total concentration of heavy metals.

The results indicated soil contamination with respect to Cd, Cu, Pb and Zn. The concentration of those metals was very high near the landfill area (first and second locations) compared with others. Moreoter, enrichment factor (EF) indicated a be very highly pollution ($40 \geq EF > 20$) at the first location, with Cd (33) and Zn (22) whereas, EF was 8 and 10 for Cd and Zn respectively at 1km far from first location, which means a significant contamination ($20 \geq EF > 5$).

Based on some of the international standards for heavy metals in soil, Cu was the highest metal in our study. It was very high at first two locations (944 and 612 mg kg^{-1}, respectively), which means it is necessary to remediate soil according to Dutch standard. Moreover, total concentration of Cu was more than or equal 100 mg kg^{-1} at other locations. The concentration of Cd was 7.9 mg kg^{-1} at first location, which affects human health. While, it was 2 mg kg^{-1} at second location, which means that the soil is contaminated with Cd. Also, soil in the first and second location could be described as contaminated by Pb (337, 206 mg kg^{-1}) and Zn (2112, 1027 mg kg^{-1}). And by using Chinese standard, locations till 5 km are contaminated with respect to one or more of heavy metals. According to Scotch standard, soil at first location

(0 km) was contaminated by Cd, Cu, Pb and Zn; while it was contaminated with Cu and Zn at second location.

In general, the results showed the reduction of the accumulation coefficient (<1) of heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn). Nevertheless, the high concentration of heavy metals in soil, reflected positively on the absorption by *Rhazya stricta*. Therefore, *Rhazya stricta*, in first and second locations, had high concentrations of heavy metals in their roots, stems, and leaves. These results indicated that Rhazya stricta might not be appropriate to extract heavy metals in contaminated soil, but it could be used to stabilize soil and thus prevent soil erosion, which result in reducing pollution in the surrounding areas. Also, *Rhazya stricts* could be used as an indicator to soil contamination with heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn).

The study clarified that accumulation factor for Cd, Pb, Cu and Zn was high in roots compared with stems or leaves of *Rhazya stricta*. Translocation factor of Cu from roots to stems was (0.76), while it was (0.63) for cadmium. However, based on translocation factor from stems to leaves, heavy metals can be ordered as follows: Cd> Zn> Cu> Pb.

The results of our study emphasized an urgent action by the mining owner (Maăden Company) under the supervision of Imarat Al-Mmadinah and Presidency of Meteorology and Environment (PME) to stop the source of contamination. Moreover, it is necessary to measure levels of heavy metals in the blood of residents *particularly* the children and the workers in the Mahad AD Dahab min. In addition, it is important to inhance of research centers to study other kinds of contamination, especially the dust and its content of heavy metals, air pollution gases, radioactive isotopes, the volatile metals (such as Hg and Ur). Finally, companies have to be more transparent with respect to environmental aspects, and take responsibility towards the society and the environment.

المقدمة

التعريف بالمشكلة:

نتيجة للتطور الصناعي الذي تشـــهده معظم بلاد العالم، ومنها المملكة العربية الســـعودية، فقد عانت الكثير من البلاد مشـــاكل بيئية متعددة. حيث نشأت مشكلات التلوث لعناصر البيئة المختلفة مثل التربة والمـــاء والهواء والنبات، في الوقـــت الذي تعددت فيه أنـــواع التلوث ومصـــادره. ويعتبر تلوث التربـــة بالعناصر الثقيلة الســـامة أخطر تلك الأنواع. وبالرغم من أن بعض العناصر الثقيلة (يمكـــن أن يُطلق عليهـــا الفلزات الثقيلة) تعتبـــر ضرورية للحياة بكميات قليلة، وتسمى العناصر النادرة (أو الصغرى) مثل الحديد والنحاس والزنك والسلينيوم إلاَ أنها قد تصبح سامة(*) عند وجود تراكيـــز عالية منها في التربة.

تصنـــف التـــرب عنـــد احتوائهـــا على تراكيـــز مرتفعة مـــن العناصر الثقيلـــة بأنهـــا تـــربٌ ملوثـــة، حيـــث تصبـــح ســـامة للنبات والحيوان والإنســـان. ويختلف التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في الترب الملوثة كثيراً بتنوع مصادر التلوث (Alloway, 1990). لذا

(*) ورد في ملحق (٣-٢) من اللائحة التنفيذية للنظام البيئي، ضمن إدارة النفايات الخطرة، تسمية الفلزات الثقيلة كعناصر سامة (ص٤)، ثم نصت اللائحة عليها وذكرت منها:

Cu, Cd, Cr, Co, Zn, Mn, Pb, Ni, Hg, V, As

(الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، ١٤٢٣هـ).

فمن المهم التعرف على مستويات العناصر الثقيلة في الترب، وميكانيكية التحكم في ذوبانيتها والمعادن التي تحكم حركتها وصورها وتيسرها في التربة، وكذلك سلوكها داخل النباتات التي يمكنها أن تنمو في الترب الملوثة.

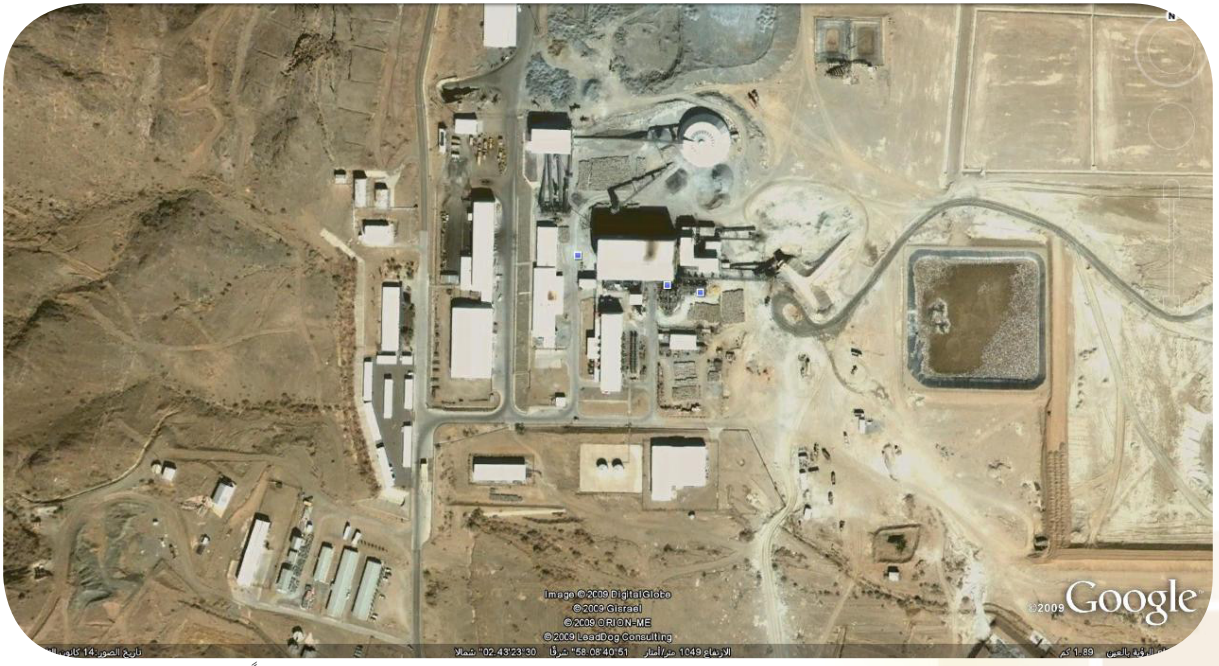
تساهم عمليات التعدين في زيادة التلوث بالعناصر والذي يمثل بشكل عام خطراً كبيراً على النبات والإنسان والحيوان والبيئة، وهذا يجعل منها أحد أهم المشكلات البيئية الأكثر خطورة في العالم (Zheljazkov and Nielsen, 1996). وقد نص النظام العام للبيئة بالمملكة العربية السعودية على اعتبار مشاريع استخراج المعادن ضمن الفئة الثالثة والتي تُعرَف بأنها ذات تأثيرات بيئية خطيرة، ورد ذلك في ملحق (٢-١) دليل تصنيف المشاريع الصناعية والتنموية (الرئاسة العامة للأرصاد حماية البيئة، ١٤٢٣هـ). يؤدي التلوث بالعناصر الثقيلة (السامة) إلى تغيير بعض صفات التربة الفيزيائية والكيميائية مما يؤدي إلى الإخلال بالتوازن الحيوي ويعتبر الزرنيخ والكادميوم والنحاس والرصاص والزنك والزئبق (As, Cd, Cu, Pb, Zn and Hg) من أكثر العناصر المسببة للتلوث (Alloway, 1990).

بالرغم من أن الترب الملوثة بالعناصر الثقيلة لها تأثير سلبي على النبات، إلا أن العديد من الأنواع النباتية لها القدرة على تحمل التركيزات المرتفعة من تلك العناصر، ونمو هذه النباتات في بيئات ملوثة يدل على مقاومتها. ويعتبر التجنب (Excluder) من إحدى الآليات التي يستخدمها النبات لتفادي امتصاص العناصر أما الآلية الثانية فهي امتصاص العناصر وتجميعها ضمن أنسجة النبات المختلفة كالجذور والسيقان والأوراق والثمار وبذلك يمكن استغلال هذه النباتات في عملية الاستصلاح وإعادة تأهيل الترب الملوثة بتلك العناصر.

تعتمد عملية استصلاح الترب الملوثة بواسطة النباتات على إزالة العناصر من التربة أو تقليل تأثيرها السلبي، وهو ما يعرف بالاستصلاح الحيوي (Phytoremediation). يعتبر الاستصلاح تحدياً كبيراً للنبات لقلة تيسر العناصر في محلول التربة. لقد استخدمت العديد من الأنواع النباتية في عملية الاستصلاح حيث استخدم *Prosopis. juliflora* في استصلاح ترب ملوثة بالألمونيوم (Thangavel et al. 2000). كما أن له قدرة عالية على امتصاص النيكل والكروم والرصاص (Niverthitha et al., 2002; Senthilkumar et al. 2005). كما استخدمت العديد من أنواع Ragweed لإزالة الرصاص أما النوع *Thlapsi rotundifolum* فقد استخدم لإزالة الزنك والكادميوم (Comis, 1996). إن استخدام النبات لاستصلاح الترب الملوثة بالعناصر الثقيلة يسهل عملية التخلص من هذه العناصر حيث تحرق النباتات ثم التخلص الآمن للرماد (Comis, 1996).

مبررات الدراسة

بالرغم من افتتاح منجم مهد الذهب (شكل ١) منذ عام ١٩٨٣م، وبدء الإنتاج في عام ١٩٨٨م، وما قدمه من دورٍ رائدٍ في دفع اقتصاد الدولة إلى الأمام، وإيجاد ركائز اقتصادية أخرى غير النفط، تُوِجَ ذلك بتحويل الشركة المالكة للمنجم (معادن) لتصبح شركة مساهمة عام ٢٠٠٨م، إلا أنه لم توجد دراسات لقياس التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة على حد علم الباحثين حتى عام ١٤٢٥هـ (٢٠٠٥م)، بالرغم من التواصل سواءً مع المسئولين في شركة معادن المالكة للمنجم أو المحافظة والسؤال عن وجود مثل تلك الدراسات. ولما تمثله العناصر الثقيلة من خطورة كبيرة على البيئة بشكل عام، وبشكل خاص عند وجود كثافة سكانية بالقرب من مصدر التلوث البيئي بالعناصر الثقيلة، كان لا بد من دراسة ذلك لضمان التوازن ما بين استغلال تلك الثروات المعدنية والمحافظة على البيئة فإن الضرورة تحتم إعطاء تلك المسألة حقها من الدراسة والمناقشة والعرض، ومن ثم إعطاء التوصيات التي تضمن الاستفادة الكبرى من خيرات بلادنا من الخامات المعدنية جنباً إلى جنب مع المحافظة على البيئة نقية كما ينص عليه النظام العام للبيئة واللائحة التنفيذية الصادر عام (١٤٢٣هـ) بقرار ملكي برقم م/٣٤ وتاريخ ١٤٢٢/٠٧/٢٨هـ، ومن باب أولى المحافظة على صحة السكان حتى لا تتأثر بالأمراض التي يسببها تراكم العناصر الثقيلة في أجسادهم دون أن يعلموا. فالعناصر الثقيلة تسمى بالوباء الصامت (Nriagu, 1988).



كل (١): مرئية فضائية لمنجم مهد الذهب، تظهر منطقة عمليات التعدين وجزءاً من المرادم.

لقد وردت العديد من المواد سواءً في النظام العام للبيئة أو اللائحة التنفيذية، والتي تضمن بمجملها إقامة المشاريع التنموية في البلد دون إلحاق الضرر بالأحياء وخاصة الإنسان. ومن الأمثلة على ذلك ما ورد في المادة الثانية عشرة من النظام العام للبيئة: "١- يلتزم من يقوم بأعمال الحفر أو الهدم أو البناء أو نقل ما ينتج عن هذا الأعمال من مخلفات أو أتربة باتخاذ الاحتياطات اللازمة للتخزين والنقل الآمن لها ومعالجتها والتخلص منها بالطرق المناسبة". وفي المادة الثالثة عشرة "يلتزم كل من يباشر الأنشطة الإنتاجية أو الخدمية أو غيرها باتخاذ التدابير اللازمة لتحقيق ما يأتي:

١- عدم تلوث المياه السطحية أو الجوفية أو الساحلية بالمخلفات الصلبة أو السائلة بصورة مباشرة أو غير مباشرة.

٢- المحافظة على التربة واليابسة والحد من تدهورها أو تلوثها.

٣- الحد من الضجيج وخاصة عند تشغيل الآلات والمعدات واستعمال آلات التنبيه ومكبرات الصوت، وعدم تجاوز حدود المقاييس البيئية المسموح بها المبينة في اللوائح التنفيذية".

كما صرح النظام البيئي واللائحة التنفيذية في المادة الحادية عشرة (١١-٢-٢)، بما لو حدث تلوث، حيث ورد ما يلي: "يلتزم كل شخص قام بعمل تسبب في حدوث تلوث بيئي وأضرار وتأثيرات سلبية على البيئة بأن يقوم باتخاذ جميع الإجراءات اللازمة لإيقاف التلوث فوراً والعمل على إزالة التأثيرات السلبية ومعالجة آثارها وإعادة تأهيل البيئة المتضررة بالطريقة التي تحددها الجهة المختصة بعد التنسيق مع الجهة المعنية وفقاً لما تحدده اللائحة التنفيذية لهذا النظام وخلال الفترة الزمنية المحددة والتعويض عن جميع الأضرار التي نتجت والتي سوف تنجم مستقبلاً من هذا العمل، وإذا لم يتمكن من إنجاز هذه الأمور فإنه يتحمل جميع التكاليف الناجمة من عملية إيقاف التلوث ومراقبة ومتابعة وإزالة الضرر الذي نجم من التلوث".

تعتبر منطقة مهد الذهب من المناطق الهامة في التعدين واستخراج الذهب في المملكة العربية السعودية، حيث تحتوي على أقدم وأكبر منجم في المملكة. وقد أدت عمليات التعدين إلى تلوث التربة المحيطة بالمنجم بالعناصر الثقيلة مثل As, Cd, Cu, Pb, Zn and Hg وبتراكيز عالية جدا (Al-Farraj and Al-Wable, 2007a). إن التوسع في عملية التعدين في مناطق أخرى من المملكة كمنطقة الصخيبيرات بالقصيم ولامار في محافظة القويعية بالرياض والحجار في جنوب المملكة، وما سيتبع ذلك من مناطق أخرى في السنوات القليلة القادمة يبين مدى الحاجة الماسة لدراسة أثر التلوث في المناطق المتوقع أو ثبت تلوثها على التربة والنباتات النامية في تلك المناطق وقدرة هذه النباتات على تثبيت العناصر ومدى كفاءة استخدامها في عملية الاستصلاح الحيوي وتقديم الحلول العملية المناسبة لمواجهة مشاكل التلوث في تلك المناطق. إضافة لدراسة خصائص التربة الكيميائية والمعدنية والفيزيائية وتأثيره على سلوك الملوثات في التربة. تم اختيار منطقة مهد الذهب باعتبارها الأقدم في عملية التعدين ولارتفاع نسبة التلوث فيها بالعناصر الثقيلة، كما أُختير نبات الحرمل *Rhazya stricta* Decne لانتشاره في المنطقة بشكل واسع، كما أنه أحد النباتات الطبية التي يستخدمها الإنسان، يضاف إلى ذلك أن الماشية تتغذى عليه في أوقات الجفاف وقلة المرعى لها.

أهداف الدراسة

الهـــدف الأول: تقييـــم العلاقـــة بين تركيز العناصر في التربة وتركيزها في النبات.

الهـدف الثـاني: التعرف على تأثير البعد عن المنجم على مدى التلـــوث بالعناصر الثقيلة ودوره في ذلك.

الهـدف الثـالث: دراســـة توزيع تلك العناصر داخل نبات الحرمل Decne *Rhazya stricta*.

الخلفية العلمية والدراسات السابقة Literature Review

التلوث بالعناصر الثقيلة:

تبلغ العناصـــر الثقيلة ٣٨ عنصراً، وبســـبب عمليات الترسيب والإدمصاص في التربة تحدث الســـمية بثلاث عناصـــر هي الزنـــك والنحاس والنيكل. بينما تحدث الســـمية بعنصر الرصاص والكوبلـــت والزرنيـــخ والكادميـــوم تحت ظروف خاصـــة جداً. يعتبر عنصرا الرصاص والكادميوم من العناصر القابلـــة للامتصاص من قبل النبات ومن ثم دخولهما السلسلة الغذائية. لذا فإن الكثير من الأبحاث حول سمية العناصر اهتمت بعناصر الزنك والنحاس والنيـــكل والكادميوم والرصاص والزئبق (Singh, 2005).

الآثار السلبية للعناصر الثقيلة

أشـــار العديد من الباحثين إلـــى أهمية التعرف على مدى تلوث ترب المناطق غير الزراعية بالعناصر الثقيلـــة، (Kelly et al., 1996; Chen et al., 1997; Manta et al., 2002). يعـــد الرصاص عنصرا ساماً جداً، فهو يسبب مشكلات صحية مثل صعوبـــات التعلم وتدمير الجهاز العصبي والســـمع وتشـــنجات وربما الوفاة. ويؤدي التركيز العالي من الرصاص على المدى القصير إلى التقيؤ والإســـهال والتشـــنج والإغماء أو الموت. أما الرضع والأطفال والنساء الحوامل فإن تعرضهم للرصاص حتى بتركيز منخفض يسبب اضطرابات في العقل والنمو والسمع، وذلك للقدرة العالية لدى الأطفال على الامتصاص بســـبب النشاط الكبير في الجهاز الهضمي. كما أن التعرض المستمر للرصاص وبتركيز منخفض يؤدي إلى فقد الشـــهية وآلام في البطن وإمساك وإعياء وصداع.كما يؤثر تراكم العناصر الثقيلة في جســـم الإنسان على الجهاز العصبي، ولمزيد من المعلومات يمكن الرجوع لرابط الموقع التالي: http://www.epa.gov/lead/index.html.

اهتمـــت الـــدول المتقدمة بمخاطـــر عنصر الرصـــاص على الأطفال، فاســـتطاعت الولايات

المتحـــدة تقليل عدد الأطفال الذين يرتفع مســـتوى الرصاص في دمائهم من ٤-٥ مليون عام ١٩٧٨م إلى أقل من نصف مليون في بداية التســـعينات، ومازال العدد في تناقص. وقد أنشأت في سبيل ذلك مركز معلومات خاصة بالرصاص (The National Lead Information CenterNLIC). ومـــن الحقائـــق الهامة التي يحرص المركز على إيصالها للجميع، أن التعرض للرصاص يســـبب الأذى للأطفال والرضع حتـــى قبل ولادتهم. كما أن الأطفـــال الذين يبدون أصحاء قد تكون مســـتويات الرصاص في دمائهم عالية، ويظهـــر الأثر عليهم فيمـــا بعد. ويمكن أن يتعرض الطفل للرصاص عن طريق التنفس وابتلاع الغبـــار المحمل بالرصـــاص، أو أكل التراب الملوث. كما يعتبر الكادميوم عنصراً ذو ســـمية عالية حتى عند التركيز المنخفض للإنســـان والنبات والحيوان والكائنات الحية الدقيقة (Flick et al., 1971).

يسـبب الرصاص صعوبات في التعلم وتدميراً للجهاز العصبي والسمع وتشنجات، كما يؤدي لاضطرابات في العقل والنمو وربما الوفاة، وتزداد الخطورة مع الأطفال والأجنة في بطون الأمهات.

تلوث ترب مهد الذهب

قـــام Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a بدراســـة لتقويم مدى تلوث تـــرب المناطق المحيطة بمنجـــم مهد الذهب بالعناصـــر الثقيلة (As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Ti, V, Zn, Hg) مع تطبيق بعض المقاييس العالمية والإحصائية لتحديد مدى تلوثها. وفي تلك الدراسة جُمِـــعَ وحلل ١٣٩ عينة تربة تمثل ٥٥ موقعاً توزعت لتشـــمل المنطقة المحيطة بالمنجم ولمسافة تزيد على ١٠ كلم عن مـــرادم نواتج طحن الصخور. وأظهرت نتائج الدراسة تلوث منطقة الدراسة بدرجة معنوية بنســـبة ٩٩٪ بعنصر أو أكثر اعتمـــاداً على معامل الوفـــرة (EF Enrichment Factor) ، بينما كانت نســـبة العينات الملوثة بدرجة كبيـــرة أو كبيرة جداً ٤٦ و ٣٣٪ علـــى التوالـــي. وقد تركـــز التلوث في المواقع القريبة من مـــرادم عمليات التعدين. وظهر تأثيـــر الجبال كحاجز طبيعي فـــي التقليل من أثر التلـــوث في الجـــزء الغربي من المنجـــم. كما ظهر واضحـــاً انخفاض درجة مســـتوى التلوث مع زيادة العمـــق. حيث كان معامل الوفرة EF > ٤٠ في ٤١٪ من العينات السطحية (٠-١٥سم)، أما في العينات تحت الســـطحية (١٥-٣٠ســـم) و (>٣٠سم) فكان معامل الوفـــرة ٢٧ و ٢٣٪ علـــى التوالي. وتفاوت

التلوث بالعناصر الثقيلة، وكانت نسب تلوث العينات بالعناصر كما في الترتيب التالي: Cd> Hg> Pb> Zn> Cu>As> Mo> Be.

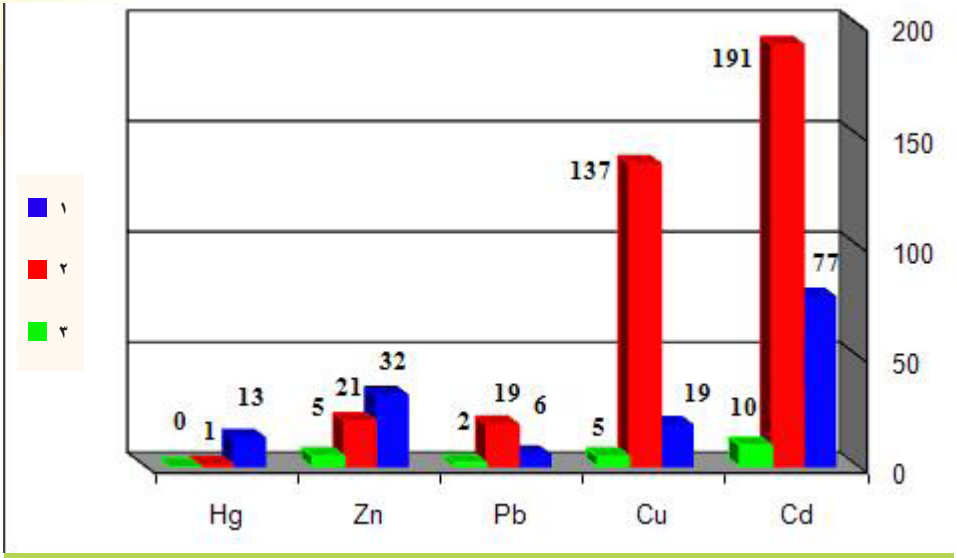
في دراسة أخرى (Al-Otabi and Al-Farraj, 2009)، ظهر ارتفاع التركيز الكلي في التربة لكل من: Zn, Pb, Cu, Cd, As حتى تركيز ٣٠، ٧، ٤٧٩، ٣٥٥، ١٤٨٢ ملجم كجم$^{-1}$ على التوالي. وقد أضافا أنه باستثناء الزرنيخ، تعتبر تلك التركيزات أعلى بعدة أضعاف مقارنة بالتركيز الأعلى الذي يمكن أن يوجد في تربة غير ملوثة. كما أشارت النتائج إلى ارتفاع معامل الوفرة (EF)، حيث تباين التلوث لتربة مهد الذهب بالعناصر ما بين المرتفع جداً بدرجة عالية بعنصري الكادميوم (٦٣) والرصاص (٤٣)، وتلوث مرتفع جداً بعنصر الزنك (٣٥)، وتلوث متوسط بعنصري النحاس (١٣) والزرنيخ (١١). وخلصت الدراسة إلى أن التربة ملوثة بتلك العناصر الثقيلة بدرجة مؤثرة وفق بعض المقاييس الدولية مثل المقياس الصيني والهولندي والاسكتلندي.

تطابق مع النتائج السابقة دارسة قام بها كل من (Ketata and Husain 2008) من جامعة Memorial of Newfoundland بكندا لتقويم تلوث التربة والنبات في منطقة منجم مهد الذهب وحولها. حيث قاما بجمع عينات تربة من ٧٥ موقعاً مثلت دائرة بقطر ١٠كلم، وجاءت العينات على أربعة أعماق (٠-١٥، ١٥-٣٠، ٣٠-٤٥، ٤٥-٦٠سم) في كل موقع. وقد وجدا أن متوسط التركيز للعناصر الثقيلة في تربة مهد الذهب (ومن باب أولى التراكيز المرتفعة) أعلى بكثير من المتوسط العالمي للترب غير الملوثة، بل وأعلى من الحدود الطبيعية للترب غير الملوثة للعناصر الثقيلة (Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn). وقد بلغت نسبة العينات الملوثة بعنصر أو أكثر اعتماداً على معامل الوفرة (EF) ٦٦٪، وقد وصفاها بأنها نسبة مرتفعة. وكان التلوث الأكبر بعناصر الكادميوم والرصاص والزنك والنحاس والزئبق وقد جاءت نسبة التلوث بها على التوالي كما يلي: ٥٢، ٤٣، ٣٨، ٢٨ و ٢٣٪، وقد جاءت تلك النتائج لتتطابق مع الدارسة التي سبقتها وقام بها (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a).

كما أظهرت دراسة (Ketata and Husain 2008)، أن أعلى نسبة تلوث كانت في العينات المأخوذة من داخل منطقة المنجم أو قرب حدوده، يضاف إلى ذلك أن التلوث وُجِدَ في جميع الأعماق. وبمقارنة التركيز الكلي لعناصر الكادميوم والنحاس والزئبق والرصاص والزنك مع المقاييس الدولية

لكل من اســـكتلندا وهولنـــدا والصين لقياس تلوث الترب، ظهر تلوث ترب مهد الذهب بكل من الزنك والنحاس والكادميوم والزئبق والرصاص.

عند مقارنة الدراســـات أعـــلاه، أظهرت جميعها تراكيز مرتفعـــة جداً لعناصـــر الكادميوم والنحاس والميلبدنيـــوم والرصاص والزنـــك والزئبق. وقد فاق التركيز الكلي في ترب مهد الذهب لتلك العناصر الثقيلة أعلى تركيز يمكن أن يوجد في تربة غير ملوثة بما قد يصل إلى عشرات المرات. وكان تركيز الكادميوم أكبر بـ ١٩١، ٧٧، ١٠ أضعاف مقارنة بأعلى تركيز يمكن أن يوجد في تربة غير ملوثة (شكل ٢). كما وصل تركيز النحاس ١٣٧ضعفاً لـــدى (Ketata and Husain, 2008). و ١٩، ٥ أضعـــاف في الدراســـات الأخرى. كما وُجِدَ أعلى تركيز للرصاص في دراسة (Ketata and Husain, 2008) حيث تجاوز التركيز ١٩ ضعفاً لأعلـــى تركيز لتربة غير ملوثة، وتـــراوح التركيز في الدراسات الأخرى ما بين ضعفين إلى ستة أضعاف. وبالنســـبة للزنك، بلغت الزيادة في التركيز ٣٢ ضعفاً لدى (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a)، و ٢١ ضعفاً لـــدى (Ketata and Husain, 2008)، وفي الدارســـة الأخرى خمســـة أضعـــاف لأعلى تركيز يمكن أن يوجد للزنك في تربة غيـــر ملوثة. وبالنسبة للزئبق، بلغ التركيز ثلاثة عشر ضعفاً لأعلى تركيز في تربة غير ملوثة في دراســـة (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a)، ومســـاوياً للتركيز



شكل (٢): تركيز العناصر الثقيلة في ترب مهد الذهب، بحيث أن:
(1) Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a؛ (2) Ketata and Husain, 2008؛ (3) Al-Otabi and Al-Farraj, 2009.

الأعلى لدى (Ketata and Husain, 2008)، ولم يُقدر في الدارسة الأخرى.

شكل (٣): أثر الرياح في نقل الأتربة الملوثة من مرادم منجم مهد الذهب (١٤٢٥هـ).

شكل (٣ب): أثر الأمطار في تهدم أجزاء من سور المرادم في منجم مهد الذهب (١٤٢٥هـ).

يتضح من المقارنة بين تلك الدراسات أن التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في ترب مهد الذهب لدى (Ketata and Husain, 2008) أعلى مما وُجِدَ في الدراسات الأخرى بصورة واضحة جداً (شكل ٢). فكان أعلى تركيز للكادميوم أكثر بضعفين ونصف مقارنة بأعلى تركيز وُجِدَ في الدراستين الأخريين، كما أن تركيز النحاس أكثر بستة أضعاف على الأقل مقارنة بالدراسات الأخرى. أما الرصاص فكان أعلى تركيز أكبر بثلاثة أضعاف مقارنة ببقية الدراسات. وبالرغم من أن أعلى تركيز للزنك وُجِدَ في دراسة الفراج والوابل (٢٠٠٧)، إلا أن متوسط التركيز للعينات بلغ ٧٣١ ملجم كجم$^{-1}$ (Ketata and Husain, 2008)، مقارنة بـ ٥٤٩ ملجم كجم$^{-1}$ لدى الدراسة الأولى. تخلف الزئبق عن هذا التوجه، حيث وُجِدَ أعلى تركيز في دراسة (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a). وقد يعود ذلك إلى وقت جمع العينات، حيث جُمِعَت عينات تلك الدراسة في فصل الشتاء، بينما جُمِعَت في فصل الصيف لدى (Ketata and Husain, 2008)، فالزئبق يتأثر بالحرارة ويحدث له تطاير، مما يؤثر على التركيز الكلي للزئبق في التربة.

تعود الزيادة في تركيز العناصر الثقيلة في دراسة (Ketata and Husain, 2008) مقارنة

بالدراســـات الأخرى إلى أن العينات شملت مواقع داخل منطقة المنجم، ممـــا يعني قربها من المرادم، بينما لم يكن مسموحاً للباحثين الآخرين بذلك. ومن المعلوم أن التلوث النقطي يزداد بالاقتراب من مصدر التلوث، مما يؤكد فرضية أن مصدر تلوث ترب مهد الذهب بالعناصر الثقيلـــة هو عمليات التعدين في المحافظـــة، وبوجود المردم مكشـــوفاً تتعرض نواتج طحن الصخور للإثارة بواســـطة الرياح (شكل ٣أ)، وكذلك ما تحدثه أحياناً الأمطار أثناء تساقطها من هـــدم للحواجز الترابية (شـــكل ٣ب) وبالتالي نقل كميـــات من التربة الملوثة من داخـــل مرادم نفايات التعدين بواســـطة الجريان الســـطحي إلى المنطقة الخارجية، ويؤدي ذلك إلى امتداد التلوث بالعناصر الثقيلة إلى خارج المنجم.

تتوافق النتيجة الســـابقة من كون عمليات التعدين في المنجم هي سبب التلوث بالعناصر الثقيلة (السامة) مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة، عند تطبيق أدلة أخرى مثل: ١) الفرق بين التركيز في الطبقات السطحية وتحت الســـطحية؛ ٢) ومعامل مدى الوفرة (EF)؛ ٣) ومعامـــل الاختـــلاف (Coefficient Variation) والتـــي أثبتت أن ســـبب التلوث هو عمليـــات التعدين في المنجـــم (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a; Al-Farraj et al, 2009). وقـــد صرح تقرير جامعة مموريال بكندا بذلك حيث ورد ما نصه: "يواجه السكان في هذه المدينة تأثيرات مباشـــرة للتلـــوث بالعناصر الثقيلة، بالإضافة لمخاطر أخرى ناتجة عن النشاطات التعدينية، بســـبب أن منطقة التعدين مكشـــوفة على المدينة. وتشمل النشـــاطات التعدينية الحفر والطحن والتفجيـــر والعمليات. لذا من الضروري بناء جدار أو جبل صناعي يفصل المدينة عن المنجم. ينبغي أن يكون الجبل من مواد طبيعيـــة مضغوطة لضمان ديمومته". وقد ســـبق الباحثان الفراج والوابل في بحثهما (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a)، مـــا توصلت إليه جامعة مموريال ســـواءً من حيث النتيجة أو التوصيات، كمـــا وأكدته الدراســـات اللاحقة.

The people living in this town face the immediate impacts of heavy metal pollution and other risks resulting from the mining activities since the mining area is open to the town. The mining activities include drilling, blasting, crushing, and processing. Then it is necessary to build a wall or an artificial mountain separating the town from the mine. The mountain should be composed of natural material to ensure its sustainability.

Ketata and Husain, (2008) p 100

امتصاص النباتات للعناصر الثقيلة

تتمتع أنواع مختلفة من النباتات بقدرتها العالية لامتصاص العناصر الثقيلة من محلول التربة. فعلى سبيل المثال الأنواع التي تنتمي للجنس *Thlaspi sp Brassicaceae* تستطيع أن تراكم Zn, 3% 0.5% Pb, 0.1% Cd في مجموعها الخضري (Baker et al, 1991; Brown et al. 1994). تعتمد قدرة النبات على مراكمة العناصر على حجم النبات وسرعة نموه فقد وجد Ebbs and Kochian (1997) أن النوع النباتي *Thlaspi caerulescens* له قدرة كبيرة جدا في امتصاص الزنك (Zn hyper-accumulator) لكن حجم النبات الصغير ونموه البطيء في الحقل يجعلانه غير مناسب لعملية الاستصلاح الحيوي.

تتميز الأنواع النباتية الملائمة لعملية الاستصلاح بقدرتها على امتصاص العناصر ومراكمتها في الأنسجة بتراكيز عالية كما أن إنتاجيتها من الكتلة الحيوية مرتفعة (Ebbs and Kochian, 1997). ولهذا فإن الأشجار هي الأكثر ملائمة لأداء هذه الوظيفة مقارنة بالأنواع النباتية الأخرى. لقد وجد Yanqun et al. (2004) أن الأشجار قد شكلت ٥٠٪ من الأنواع التي صنفها ك Hyper-accumulator والتي شملت بعض الشجيرات والنباتات العشبية وكانت هذه الأشجار . *Salix cathayana, Lithocarpus. dealbatus and Llex. plyneura*. هي الأفضل في امتصاص Pb, Cd, Cu, Zn من تربة ملوثة نتيجة لعملية التعدين.

تمتلك بعض أنواع الأشجار القدرة على التكيف للنمو في التربة الملوثة حيث وجد Borgegård and Rydin (1989) أن تركيز كل من الزنك، الرصاص، والكادميوم في أوراق أشجار *(Betula sp birch)* والنامية في تربة منجم للنحاس يفوق تركيز هذه العناصر في أشجار من النوع نفسه تنمو في تربة غير ملوثة بهذه العناصر. كما وجد Fernandes and Henriques (1989) أن تركيز كل من Zn, Cu, Pb في أوراق وثمار أشجار النوع *Quercus rotundifolia LAM*. والنامية في تربة منجم لاستخراج الكبريت والحديد يفوق تركيزه في أشجار للنوع ذاته تنمو في تربة غير ملوثة حيث كان تركيز الزنك أعلى بـ٥٠ مرة بينما كان تركيز Cu و Pb أعلى بـ ٢٠ ضعفاً.

الكتلة الحيوية الضخمة للأشجار تساعد على مراكمة العناصر في الأجزاء المختلفة ولهذا تتباين الأنواع في قدرتها على توزيع العناصر ما بين أجزائها المختلفة لتخزينها. أوضح

Hasselgren (1999) أن توزيع العناصر في أشجار من *(Salix sp)* قد تباين ففي حين تم تخزين Zn, Cd, Ni في الأوراق كانت العناصر الأخرى مثل Cu, Pb, Cr مخزنة في السيقان. كما تختلف الأشجار في توزيع العناصر ما بين المجموع الخضري والجذري. في دراسة أجراها Senthilkumar et al. (2005) وجد أن نبات البرسوبس *(Prosopis juliflora)* يميل لمراكمة عنصر الـ Cd في الجذور بتراكيز أعلى من المجموع الخضري كما أوضحت الدراسة أن تركيز عنصري Cu و Cd في النبات يفوق كثيرا تركيزهما في محلول التربة. كذلك تتميز الأشجار بسرعتها في إزالة العناصر من التربة حيث وجد (Greger, 1999) في تجربة بالأصص أن *Salix* قد امتص ما نسبته ٣٠ ٪ من Cd (المتاح حيائياً) في خلال ٩٠ يوماً.

تلوث النباتات النامية في مهد الذهب بالعناصر الثقيلة

أجرى (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007b) دراسة لتلوث النباتات النامية في المنطقة المحيطة بمنجم مهد الذهب، وقد وجدا تلوثاً لعدد من تلك النباتات بالعناصر الثقيلة. وكان أكثر النباتات مراكمة للعناصر الثقيلة من النباتات التسع المدورسة هو نبات الغلقا *Pergularia tomoentosa* شكل (٤)، حيث كان تركيز كل من الزرنيخ والكادميوم والنحاس والرصاص والزنك في الأفرع على التوالي كما يلي: ١١،٢، ٧٦،٧، ٣٣٣، ٨٩، ٧٢٠،٦ ملجم كجم$^{-1}$. ومع ذلك سجل معامل التراكم لنبات العشار قيماً أقل من ١ لجميع العناصر، عدا الكادميوم، حيث كان معامل التراكم له ١١,١، يليه الزرنيخ (٠,٨٧)، ثم الزنك (٠,٥٥) والنحاس (٠,٤١) وأخيراً الرصاص (٠,١٤).

شكل (٤): صورة لنبات الغلقا.

في الدارسة ذاتها، جاء نبات الحرمل *Rhazya stricta* في الترتيب الخامس بناءً على معامل التراكم من بين النباتات التي شملها البحث (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007b)، إلا أنه امتص كميات قليلة من العناصر الثقيلة. وكان تركيز العناصر كما يلي (ملجم كجم$^{-1}$):

As: 10.7; Cd: 0.6; Cu: 12; Pb: 27; Zn: 64.3.

ويمكن تفسير الارتفاع النسبي لمعامل التراكم في نبات الحرمل مقارنة بالنباتات الأخرى، بالرغم من انخفاض تركيز العناصر الثقيلة به، بسبب انخفاض تركيز العناصر الثقيلة في التربة والذي أُستُخدِمَ عند حساب معامل التراكم.

كما درس (Al-Farraj et al, 2009) تراكم وانتقال العناصر الثقيلة في نبات القرضي *Ochradenus baccatus* النامي في التربة الملوثة قرب منجم مهد الذهب. وقد وجدوا أن تركيز العناصر الثقيلة كان مرتفعاً في جذور وأفرع نبات القرضي، حيث كان التركيز في الجذور ٣,٩، ١١٤، ٤٣، ٤٣٠ ملجم كجم$^{-1}$، لكل من الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك على التوالي، وكان التركيز في الأفرع على الترتيب ذاته كما يلي: ١,٧، ٨,٣٠، ٢,١٠ و ١٦٩,٥ ملجم كجم$^{-1}$. وقد تراوح معامل التراكم في الأفرع ما بين ٠,٠٣-٠,٢٥ و ٠,١٢-٠,٥٨ في الجذور. وجاء ترتيب معامل التراكم كما يلي: Cd> Zn> Cu> Pb. وقد حافظ معامل التراكم على الترتيب ذاته في الأفرع لنبات القرضي في دراسة (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007b)، ولكنه كان منخفضاً حيث تراوح ما بين ٠,٠٢-٠,٠٩. وكان تركيز العناصر ٣,١، ٧,٢٣، ٧,١١ و ٦,٧٣ ملجم كجم$^{-1}$، لكل من الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك على التوالي.

معامل التراكم للعناصر الثقيلة

Accumulation coefficient

يعبر عن انتقال العناصر الثقيلة من التربة إلى النبات بعدد من المصطلحات. فقد استخدم (Zhuang et al., 2007) معامل التركيز الحيوي (Bioconcentration factor, BCF) للتعبير عن نسبة تركيز العنصر الثقيل في الجزء القابل للحصاد إلى التركيز في التربة، وقد وافقهم في ذلك العديد من الباحثين مثل (Héctor et al., 2006). وفي دراسة لـ (Ortiz and Alcañiz, 2006) استُخدِمَ معامل التركيز (Concentration factor, CF) للدلالة على قدرة النبات على الامتصاص (Root/Soil) وكذلك إمكانية انتقال العنصر داخل النبات ومثله نسبة تركيز العنصر في الأوراق على التركيز في الجذور.

كما استخدم (Marchiol et al., 2004) معامل الانتقال (Translocation factor, TF) للتعبير عن انتقال العناصر الثقيلة في نباتي *Raphanus sativus and Brassica napus*. وقد وجدوا أن عنصري الزنك والكادميوم الأكثر انتقالاً، بينما كان عنصري الرصاص والكروم الأقل، وجاء عنصري النحاس والنيكل بصورة متوسطة. وقد ذكرت وكالة حماية البيئة الأمريكية (EPA, 2000) عدداً من المصطلحات مثل:

معامل التراكم Accumulation coefficient: للتعبير عن النسبة بين تركيز الملوث في الكتلة الحيوية للنبات إلى تركيزه في التربة. وهو المصطلح المستخدم في هذه الدراسة.

معامل التراكم الحيوي Bioaccumulation coefficient: ويمثل نسبة تركيز العنصر الثقيل في النبات إلى التركيز الابتدائي للعنصر الثقيل في المحلول، عند استخدام ميكانيكية الترشيح بواسطة المنطقة الملاصقة للجذور Rhizofiltration.

معامل الاستخلاص الحيوي Phytoextraction coefficient: ويقصد به التركيز في التربة بعد الزراعة إلى التركيز الابتدائي في التربة.

يستخدم معامل الانتقال Translocation للعناصر الثقيلة في نظام تربة- نبات لتحديد قدرة النبات على امتصاص العناصر الثقيلة. ويعتبر معامل الانتقال من أهم المؤشرات التي تدل على مدى خطورة دخول العناصر الثقيلة إلى السلسلة الغذائية. وقد وجد (Khan et al., 2007) أن أعلى معامل انتقال سواءً في الجذور أو الأفرع بالنسبة لنبات خس نامي في تربة ملوثة كان لعنصري الكادميوم والنيكل، وقد جاء ترتيب مجموع معاملي الانتقال للجذور والأفرع كما يلي: Ni> Cd> Cu> Pb> Cr. وفي دراسة لتركيز العناصر الثقيلة في عدد من المحاصيل المزروعة في ترب ملوثة في الصين، وجد (Liu et al., 2005) معامل التراكم الحيوي (Bio-accumulation factor, BAF) بالترتيب التالي: Cd> Zn> Cu> Pb> As.

تيسر العناصر الثقيلة في التربة

يعطي التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في التربة معلومات غير كافية حول حركتها ومدى تيسرها. حيث يحكم صور تلك العناصر خصائص التربة الكيميائية والفيزيائية، لذا فإن دراسة العلاقة بين التركيز الميسر في التربة من جهة ومستويات العناصر الثقيلة في النبات من جهة أخرى يعطى دلالة أكبر على مدى تيسرها، كما يساعد في الحكم على مدى خطورة تلك العناصر من حيث السمية وحركتها في التربة.

منطقة الدراسة

تقع محافظة مهد الذهب في المنطقة الواقعة بين خط الطول ٣٠-٤٠° شرقاً، وخط العرض ٣٠-٢٣° شمالاً، وتبلغ مساحة منطقة وادي الذهب ٢٤٤٨٢ كلم٢، يسكنها ما يربو على ٦٤ ألف نسمة و ترتفع عن سطح البحر ١٠٦٠م. يعتبر منجم مهد الذهب والذي تملكه شركة معادن من أكبر المناجم لإنتاج الذهب في المملكة، يبلغ الاحتياطي من الذهب ما يقارب ١,١ مليون طن، وتبلغ نسبة الذهب ٢٧ جم طن-١ سابقاً، أما الفضة فتبلغ ٧٣ جم طن-١. يوجد الذهب في منجم مهد الذهب على شكل سلسلة من عروق الكوارتز، التي تحتوي أيضا على الفضة والزنك والنحاس كعناصر مصاحبة. ويُستخرج الخام منه بطريقة "المنجم تحت سطح الأرض" ويعالج بالطحن والتعويم والسيانيد لاستخلاص المعادن منه. وينتج المنجم ما يقارب ١٠٠ ألف أوقية من الذهب و٣٠٠ ألف أوقية فضة سنوياً ويكفي الاحتياطي الخام لاستمرارية الإنتاج بمعدلاته الحالية لعدة سنوات قادمة (http://www.maaden.com.sa/maaden).

يوجد عدد من المواقع المخصصة للتخلص من النفايات (شكل ٥)، تُظهِرُ المرئية الفضائية خمس

شكل (٥): مرئية فضائية لمدينة مهد الذهب، ومنطقة المنجم.

مواقع، بعضها مقفل والآخر ما زال فعالاً حتى الآن. وبناءً على ما ورد في اللائحة التنفيذية من تعاريف، تُسمى تلك المواقع مرادم. ويتضح من شكل (٥) القرب الشديد لتلك المرادم من المناطق المأهولة، حيث تُبعُد نقطة (B) أبعد نقطة في المدينة تقريباً عن المرادم مسافة ٢٦٠٠ متر، بينما نقطة (A) أقرب نقطة من المدينة مسافة ٤٠٠ متر فقط، كما تقع نقطة (D) ضمن مخطط المدينة، أما النقطة (C) فلا تبعُد سوى بضعة أمتار، وهي منطقة مفتوحة تُستخدم من قبل الشباب والأطفال من سكان المدينة كمنطقة نشاط رياضي لممارسة لعبة كرة القدم وغيرها من الألعاب، بالرغم من وقوعها ضمن المواقع عالية التلوث بالعناصر الثقيلة كما بينته الدراسات السابقة.

لقد ورد في اللائحة التنفيذية، ملحق (٣-٢)، وصفاً لمتطلبات تجهيز مواقع التخلص من النفايات الخطرة، ويقتضي المتطلب الأول: "اختيار موقع مناسب بعيد عن المناطق المأهولة" ومنها "تعبيد الشوارع المؤدية للموقع منعاً لإثارة الغبار والأتربة نتيجة لحركة المرور وتغطية المردم بالتربة للتخلص من الحشرات والروائح الكريهة". مما سبق يمكن أدارك أهمية اختيار منطقة مهد الذهب، مع الضرورة الملحة لاستمرار ودعم دراسات أخرى لتغطية أوجه التلوث الأخرى.

العمل الحقلي

قام الفريق البحثي بزيارة منطقة الدراسة، وبناءً على الدراسات السابقة حدد المنطقة الأكثر تلوثاً بالعناصر الثقيلة، ومن ثم اختار نبات الحرمل *Rhazya stricta Decne* (شكل ٦) لأنه الأكثر انتشاراً حول منطقة المنجم. وبعد تحديد نقطة البداية لتكون موازية وقريبة من مرادم منجم مهد الذهب التي تُستخدم لجمع نفايات عمليات التعدين، حُدِدَت سبع مواقع أخرى لجمع العينات الأخرى، حيث كانت المسافة ما بين كل موقع وآخر ١٠٠٠م تقريباً (شكل ٧). جُمِعَت عينات تمثل المجموع الجذري وأخرى تمثل السيقان وأخرى تمثل الأوراق من كل موقع. كما جُمِعَت عينات للتربة (على عمق ٠-٣٠ سم) تحت كل نبات مباشرة. وحُدِدَت مواقع جمع العينات بواسطة نظام تحديد المواقع العالمي Global Position System (GPS).

شكل (٦): صورة لنبات الحرمل.

تجهيز العينات للتحاليل

نُقِلَت عينات التربة إلى معمل تجهيز العينات بقسم علوم التربة –جامعة الملك سعود– بالرياض، ومن ثم نُشِرَت لتجف هوائياً، تم طُحِنت ونُخِلَت بواسطة منخل سعة ثقوبه ٢مم. وأُجرِيَت التحاليل على ناعم التربة (<٢مم). كما نُقِلَت عينات النبات إلى معمل قسم الإنتاج النباتي لتصنيفها، ومن ثم تجهيزها لبدء التحاليل.

التحاليل الروتينية للتربة

أُجرِيَ التحليل الميكانيكي لعينات التربة باستخدام طريقة الهيدروميتر بعد إجراء المعاملات الابتدائية حيث أُزِيلت الأملاح الذائبة وكربونات الكالسيوم باستخدام HCl ٠,١ عياري والغسيل بالماء، ثم التخلص من المادة العضوية باستخدام فوق أكسيد الهيدروجين H_2O_2 ٣٠٪ ثم الغسيل بالماء المقطر. ثم فُرِقَت العينة باستخدام الكالجون (هكساميتا فوسفات الصوديوم). ومن ثم حُسِبَت النسبة المئوية للسلت والطين والرمل طبقاً لطريقة (Gee and Bauder, 1994) لتحديد قوام التربة.

قُدِرَت الكربونات الكلية باستخدام جهاز الكالسيمتر وقياس حجم CO_2 المكافئ الناتج من تفاعل الكربونات مع حمض HCl المخفف وحُسِبَت النتائج على صورة كربونات

شكل (٧): مرئية فضائية تبين مدينة مهد الذهب والمنجم ومواقع أخذ العينات.

كالسيوم CaCO نسبة مئوية طبقاً لـ (Loeppert and Suarez, 1996). وقُدِرَ كل من حموضة التربة pH والتوصيل الكهربائي (EC_e) في مستخلص التربة ١:٥ باستخدام جهاز pH meter وجهاز EC meter معبراً عنها بالـ dSm^{-1} على التوالي (Rhoades, 1996; Thomas, 1996).

قُدِرَ تركيز الكاتيونات والأنيونات الذائبة (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^{+}, K^{+}, HCO^{-}_3, Cl^{-}, $SO_4^{=}$) في مستخلص التربة ١:٥ بالملليمول لتر$^{-1}$. حيث قُدِرَ تركيز الصوديوم Na^{+} والبوتاسيوم (K^{+}) باستخدام جهاز قياس اللون في اللهب (Flame Photometer)، وقُدِرَ تركيز الكالسيوم (Ca^{2+}) والمغنسيوم (Mg^{2+}) بواسطة المعايرة بمحلول قياسي من الفرسين (EDTA) في وجود الأدلة المناسبة. وقُدِرَ تركيز الكربونات والبيكربونات الذائبة (HCO^{-}_3, $CO_3^{=}$) بواسطة المعايرة بحامض الكبريتيك H_2SO_4 عياري (0.01) في وجود الأدلة المناسبة. بينما قُدِرَ تركيز الكلوريد Cl^{-} باستخدام محلول نترات الفضة ($AgNO_3$) 0.01 عياري في وجود دليل كرومات البوتاسيوم طبقاً لـ (Gupta, 2007). حيث قُدِرَت الكبريتات بواسطة عمل معلق من كبريتات الباريوم بإضافة محلول كلوريد الباريوم للعينة ثم قياس العكارة باستخدام جهاز (Turbidimeter) على طول موجة ٤٧٠ ملليميكرون (Gupta, 2007).

قُدِرَ محتوى التربة من الكربون العضوي طبقاً لطريقة (Nelson and Sommers 1996)، حيث هُضِمت عينة التربة بحمض الكبريتيك المركز في وجود كمية معلومة من بيكرومات البوتاسيوم ودليل أورثوفينانثرولين ثم تعاير الزيادة من بيكرومات البوتاسيوم بكبريتات الحديدوز والأمونيوم ٠,٠١ عياري ثم يحسب محتوى التربة من الكربون العضوي والمادة العضوية جم كجم$^{-1}$.

قُدِرَت السعة التبادلية الكاتيونية للتربة CEC باستخدام خلات الصوديوم (Sumner and Miller, 1996) حيث شُبِعَت التربة بخلات الصوديوم (١ ع) مع الرج والطرد المركزي والتخلص من الجزء الرائق. بعد ذلك غُسِلَت الزيادة من الأملاح الذائبة وخاصة الصوديوم الذائب بكحول الإيثانول (٩٥٪) مع الرج والطرد المركزي والتخلص من الجزء الرائق. بعد ذلك شُبِعَت التربة بخلات الأمونيوم (١ع) مع الرج والطرد المركزي وتجميع محلول التربة ومن ثم قياس تركيز الصوديوم بجهاز قياس اللون في اللهب (Flame Photometer) ومن ثم حساب السعة التبادلية الكاتيونية للتربة والتعبير عنها بالـ C mol kg^{-1}.

تقدير التركيز الكلي للعناصر الثقيلة

قُـدِرَ التركيز الكلي للعناصـر الثقيلة بعد هضمها بأحمـاض $HF\text{-}H_2SO_4\text{-}HClO_4$ تبعـا لطريقـة (Hossner, 1996). ثـم قُدِرَ تركيـز العناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn, ...) بواسـطة جهـاز البلازما ICP-AES (Perkin elemer, 4300 DV).

تقدير الصورة الميسرة للعناصر الثقيلة

بالرغـم من تعدد طرق تحديد صـور العناصر الثقيلة في التربة، فإن أغلبها تقسم تلك الصور إلى ذائبة "Soluble" ومتبادلـة "Exchangeable" ومرتبطة بالكربونـات "Bound to carbonates" ومرتبطة بأكاسـيد الحديد والمنجنيز "Bound to iron/manganese oxides" ومرتبطـة بالمـادة العضويـة "Bound to organic matter" وأخيراً الصورة التي لا يمكن استخلاصها بواسطة أحماض مركزة وتسمى بالمتبقي "Residual". وتعتبر الصورة الذائبة والمتبادلة ميسرة للنبات، لذا جرى استخلاص للعناصر الثقيلة الميسرة بواسطة DTPA Lindsay (and Norvell, 1978). ومن ثم قُدِرَ تركيز العناصر الثقيلة بواسطة جهاز البلازما ICP- AES Perkin (elemer, Model 4300 DV).

تحديد مدى تلوث التربة بالعناصر الثقيلة

لتحديد درجة تلوث التربـة بالعناصر الثقيلة، أسـتُخدِمَ معامل الوفرة Enrichment Factor (EF) لوصف مدى التلـوث كما لدى Lee, et al. (1997 and Tokalioglu, et al. 2003). يحسب EF بالاعتماد على نسـبة الحديد كما في المعادلة التالية:

$$EF = ((C_x/C_{Fe})_{sediment})/((C_x/C_{Fe})_{Earth's\ crust})$$

حيـث (C_x/C_{Fe}) $(sediment_t)$ يمثل نسـبة تركيز العنصـر C_x إلى تركيز الحديد C_{Fe} فـي العينة المراد معرفة مدى تلوثها. كما يمثل $(C_x/CFe)_{(Earth's\ crust)}$ نسـبة تركيز مرجعية للعنصر إلى الحديد في القشـرة الأرضية.

اقترح (Sutherland, 2000) خمس مستويات لتصنيف معامل الوفـرة للدلالة على تلوث التربة، وهـي: $EF<2$ يمثل نقص إلى الحـد الأدنى من وجود العنصر، $5\geq EF>2$ يمثل تركيزاً متوسـطاً، $20\geq EF>5$ يمثـل تركيزاً معنويـاً، $40\geq EF>20$ ويمثل تركيزاً مرتفعاً جـداً، $EF>40$ يمثل تركيزاً مرتفعاً جداً بدرجة عالية.

حرصـت العديد مـن الدول على اسـتصدار مقاييس يمكن الحكم مـن خلالها على مدى تلوث التربـة بالعناصر الثقيلـة. وتفاوتت تلك المقاييس

بناءً على بيئة البلد الذي يصدر تلك المعايير، فالدول التي تكون أراضيها حامضية، تتشدد أكثر من تلك التي تقع تحت ظروف المناخ الجاف وشبه الجاف، حيث تكون تربها قاعدية. يعود ذلك الاختلاف إلى أن العناصر الثقيلة تكون أقل ذوبانية ومن ثم حركة في الترب القاعدية. وقد استخدمت الدراسة الحالية ثلاث مقاييس لهولندا والصين واسكتلندا. ويمكن الاعتماد على التصنيف الاسكتلندي حيث راعى درجة الحموضة، وقد أُثبِتَ في الدراسة من المقياس الاسكتلندي ما يتناسب مع ظروف المملكة حيث الـ pH أكبر من ٧.

تحليل العينات النباتية

غُسِلَت العينات النباتية بالماء المقطر لضمان إزالة أي عناصر ثقيلة على السطح الخارجي للعينات النباتية، ومن ثم جُفِفَت في الفرن عند ٦٠°م، بعد ذلك

طُحِنَت العينات النباتية وخُلِطَت جيداً لضمان تجانس العينة التي سوف تهضم هضماً كلياً لتقدير العناصر الثقيلة. هُضِمَت العينات النباتية المطحونة بواسطة حمضي HNO_3 & $HClO_4$ كما لدى (Westerman, 1990)، ومن ثم قُدِرَ تركيز العناصر الثقيلة كما في عينات التربة بواسطة ICP-AES Perkin elemer, 4300 .DV

أستخدم في الدراسة مصطلح معدل التراكم Accumulation coefficient لوصف مدى تراكم العناصر الثقيلة في كل من المجموع الجذري والأفرع كل على حدة في نبات الحرمل. كما أستخدم معامل الانتقال Translocation factor لوصف مدى انتقال العناصر الثقيلة من المجموع الجذري إلى الأفرع في النبات ذاته. يعبر معامل التراكم عن نسبة تركيز العنصر الثقيل في الأفرع أو السيقان أو الجذور إلى تركيزه في التربة.

ضبط الجودة

اتُخِذَت بعض الإجراءات لضبط جودة التحاليل المعملية، حيث غُمِرَت جميع الزجاجيات والبلاستيك لمدة ٢٤ ساعة في محلول حامضي ١٠٪ (HNO_3) ثم غُسِلَت بالماء المقطر قبل الاستخدام. تم عمل التحاليل للعينات سواءً تربة أو نبات بواقع مكررين ولجميع التحاليل.

الخصائص الكيميائية والفيزيائية لترب مهد الذهب

يوضح جدول (١) متوسط الخواص الفيزيائية والكيميائية لترب مهد الذهب المحيطة بالمنجم، حيث مواقع جمع عينات التربة ونبات الحرمل. يتبين أن التربة قاعدية، وذات قوام طميي رملي، ومحتواها منخفض جداً من المادة العضوية، كما أن نسبة الرمل مرتفعة (٧٣٪)، مما انعكس في مجمله على انخفاض السعة التبادلية الكاتيونية (٨,٣ سنتيمول كجم$^{-1}$). السعة التبادلية الكاتيونية تُعد منخفضة، والذي يعتبر انعكاساً لارتفاع نسبة الرمل في التربة (٧٣٪).

جدول (١): متوسط الخواص الفيزيائية والكيميائية لتربة موقع الدراسة (مهد الذهب).

pH	Cations mmol L^{-1}				Anions mmol L^{-1}				SAR	Particles size (%)			Textural Class	$CaCO_3$ %	OM %	CEC Cmol kg^{-1}
	Na	K	Ca	Mg	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4		Clay	Silt	Sand				
8.1	3.5	0.3	3.8	0.6	nd	1.6	6.5	3.0	7.2	12	15	73	SL	5.3	0.14	8.3

التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في التربة

يظهر جدول (٢) ارتفاع تركيز الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك من بين العناصر الثقيلة المدروسة، حيث تجاوز تركيزها في جميع المواقع التركيز المتوسط العالمي للعناصر الثقيلة في الترب عالمياً كما لدى (Lindsay, 1979). مع استثناء النيكل في الموقع الثالث (على بعد ٢ كلم من مرادم نفايات عمليات التعدين في منجم مهد الذهب). وعند مقارنة تركيز العناصر الثقيلة بأعلى تركيز لها يمكن أن يوجد في تربة غير ملوثة، يتضح أن تركيز الكادميوم فاق الحد الأعلى للكادميوم (٠,٧ ملجم كجم$^{-1}$) في ترب العالم بعشرة أضعاف وثلاثة أضعاف في الموقعين الأول والثاني على التوالي، حيث كان التركيز ٧,٩ و ٢ ملجم كجم$^{-1}$. كما فاق تركيز النحاس في المواقع المدروسة من ترب مهد الذهب التركيز الأعلى لترب العالم (١٠٠ ملجم كجم$^{-1}$) بعشرة أضعاف وستة أضعاف في الموقعين الأول والثاني على التوالي، حيث سُجِلَ على التوالي تركيز ٩٤٤ و ٦١٢ ملجم كجم$^{-1}$، بينما بقي تركيز النحاس في المواقع الأخرى يزيد عن الحد الأعلى أو يماثله تقريباً. أما تركيز الرصاص الكلي في الموقع الأول (٣٣٧ملجم كجم$^{-1}$) فقد قارب الضعف لأعلى تركيز للرصاص في ترب العالم (٢٠٠ ملجم كجم$^{-1}$)؛ بينما قل في الموقع الثاني، ليتجاوز الحد الأعلى بقليل (٢٠٦ ملجم كجم$^{-1}$)، وانخفض في المواقع الأخرى، ولكن بمعدل أعلى من المتوسط العالمي (١٠ ملجم كجم$^{-1}$) بعدة أضعاف. كما تجاوز تركيز الزنك الكلي في الموقعين الأول (٢١١٢ ملجم كجم$^{-1}$) والثاني (١٠٢٧ ملجم كجم$^{-1}$) الحد الأعلى (٣٠٠ ملجم كجم$^{-1}$) بسبعة أضعاف وثلاثة أضعاف، مع استمرار زيادة التركيز الكلي في المواقع الأخرى أكبر من المتوسط العالمي (٥٠ ملجم كجم$^{-1}$).

يوضح جدول (٢) أن جميع المواقع تعتبر ذات تركيز يفوق بعدة أضعاف أعلى تركيز يمكن أن يوجد في تربة غير ملوثة بعنصر أو أكثر، أو يساويه. ويعتبر عنصر النحاس أكثر العناصر الثقيلة ارتفاعاً مقارنة بالتركيز الأعلى العالمي للترب، دون العناصر الأخرى. يلاحظ مما سبق، ارتفاع تركيز العناصر الثقيلة (الكادميوم، النحاس، الرصاص، الزنك) في مواقع الدراسة قرب مرادم منجم مهد الذهب، ويمكن ملاحظة ذلك بسهولة من شكل (٨)، حيث انخفاض التركيز مع البعد عن منطقة المرادم للعناصر السابقة، خلاف العناصر الأخرى (الحديد، الكوبالت، النيكل، الكروم، المنجنيز).

جدول(٢): التركيز الكلي لعينات ترب مهد الذهب مقارنة مع المتوسط والمدى العام للترب١ (ملجم كجم$^{-1}$).

Element	Total Concentration								Common range in soils		
	mg kg^{-1}								mg kg^{-1}		
	1	2	3	4	5	6	7	8	Max.	Min.	Average
Cd	7.9	2.0	0.4	0.6	nd*	0.3	nd	nd	0.7	0.01	0.06
Co	43	49	28	34	34	38	33	40	40	1	8
Cr	123	97	68	86	94	109	86	105	1,000	1	100
Cu	944	612	97	180	114	183	92	137	100	2	30
Fe**	61	65	40	50	49	54	47	56	55	7	38
Mn	1558	2462	988	1301	1190	1310	1122	1447	3,000	20	600
Mo	2.1	1.5	nd	nd	nd	nd	nd	nd	5.00	0.2	2
Ni	59	53	34	41	46	52	40	52	500	5	40
Pb	337	206	46	107	52	95	35	45	200	2	10
Zn	2112	1027	134	263	165	239	124	191	300	10	50

[1] Lindsay, 1979.

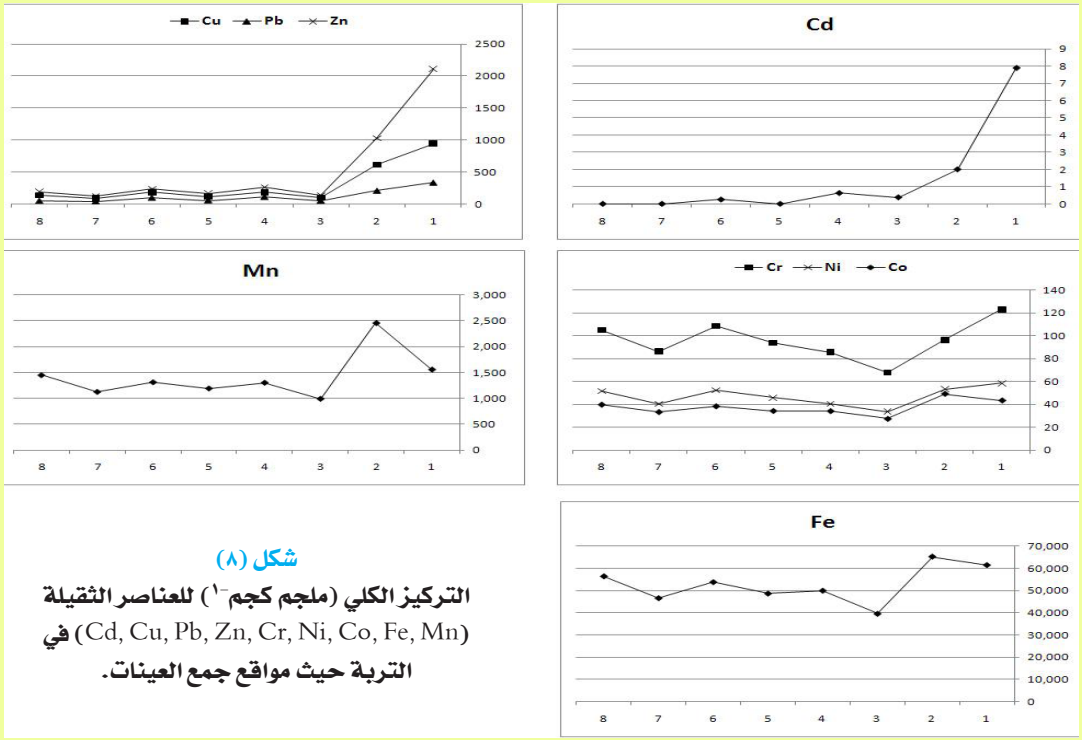
(*) nd: not detectable.

(**) number multiply by1000.

فاق التركيز الكلي للعناصر الثقيلة في ترب مهد الذهب المعدل العالمي بـ ٣١ مرة إلى أكثر من ١٣١ مرة.

تلوث ترب مهد الذهب بناء على معامل الوفرة

يوضـــح جدول (٣) معامل الوفرة (Enrichment Factor EF) للعناصر الثقيلة في التربة، ويظهر ارتفاع معامل الوفرة لعناصر الكادميوم في الموقعين الأول والثاني على التوالي (٣٣، ٨)، والنحاس (٧،١١)، والرصاص (١٧، ١٠)، والزنك (٢٢، ١٠). كما ظهر ارتفاع قيم معامل الوفرة في المواقع الأخرى للعناصر نفسها وخاصة الرصـــاص مقارنة ببقية العناصر، مما يتفق مع ارتفـــاع التركيز الكلي لتلك العناصر في تلك المواقع. وتُظهِر قيم معامل الوفرة تلوثاً بدرجة مرتفعة جداً (40≥EF>20) بعنصري الكادميوم والزنك في الموقع الأول، حيث ســـجلا على التوالي ٣٣ و ٢٢، بينما كان معامل الوفرة لهما في الموقع الثاني ٨ و ١٠ على التوالي مما يعني تلوث التربة بدرجة معنوية (20≥EF>5).



شكل (٨)

التركيز الكلي (ملجم كجم$^{-1}$) للعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Co, Fe, Mn) في التربة حيث مواقع جمع العينات.

يتضح من جدول (٣) أن تلوث التربة في الموقعين الأول والثاني كان معنوياً بعنصري النحاس والرصاص، حيث تراوح معامل الوفرة ما بين ١١ و٧ على التوالي للنحاس، وما بين ١٧ و ١٠ للرصاص. كما سجل موقعان آخران على بعد ٣ كلم و ٥ كلم قيماً تدل على تلوث التربة بعنصر الرصاص بدرجة معنوية أيضاً وإن كانت أقل من الموقعين السابقين، حيث كان معامل الوفرة ٧ و ٦ على التوالي.

باعتبار التصنيف السابق لـ Sutherland (٢٠٠٠)، حيث معامل الوفرة ($٢ < EF \geq ٥$) يدل على تلوث التربة بدرجة متوسطة، فإن جميع المواقع حتى الموقع الأبعد (على بعد ٧ كلم) تُصنف بأنها ترب ملوثة بعنصر أو أكثر، وإن كان التلوث بدرجات متفاوتة سواءً للموقع أو العنصر. وقد تخلف عن ذلك، الموقع قبل الأخير على بعد ٦ كلم، حيث جاء معامل الوفرة ≥ ٢. ويعتبر التلوث بعنصر الرصاص الأكثر انتشاراً. وقد اتفقت جميع العناصر بارتفاع قيم معامل الوفرة قرب مرادم النفايات لمنجم مهد الذهب، وانخفضت مع زيادة البعد عنها.

تعتبر تربة مهد الذهب ملوثة بالعناصر الثقيلة السامة سواءً باعتبار معامل الوفرة أو التركيز العالمي أو الزيادة مع القرب من المرادم.

جدول (٣)
معامل الوفرة للعناصر الثقيلة للتربة في مواقع جمع العينات.

Element	EF							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Cd	33	8	2	3	0	1	0	0
Co	1	1	1	1	1	1	1	1
Cr	1	0	0	0	0	1	0	0
Cu	11	7	2	3	2	2	1	2
Fe	1	1	1	1	1	1	1	1
Mn	1	2	1	1	1	1	1	1
Mo	1	1	0	0	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0	0
Pb	17	10	4	7	3	6	2	3
Zn	22	10	2	3	2	3	2	2

ارتفاع تركيز العناصر الثقيلة (الكادميوم والنحاس والرصاص والزنك) في المواقع القريبة من المرادم وانخفاضه مع الابتعاد عنها، يدل على تلوث تلك المواقع بالعناصر الثقيلة السابقة. كما يدل على أن مصدر تلوث التربة هو مرادم منجم مهد الذهب، حيث أن بقاؤها مكشوفة جعلها عرضة للتطاير عند هبوب الرياح، ومن ثم انتشار

الغبار في المواقـــع خارج منطقة المرادم. يدعم هذه النتيجة، ارتفاع قيم معامل الوفرة لتلك العناصر في الموقعين القريبين من المـــرادم. هذه النتائج اتفقت مع نتائج توصلت لها دراســـات سابقة (Al-Farraj and Al-Wabel, 2007a; Ketata and Husain, 2008; Al-Otabi and Al-Farraj, 2009) كمـــا مر سابقاً.

تلوث ترب مهد الذهب بناءً على بعض المقاييس الدولية

جدول (٤)

المقياس الاسكتلندي A، الهولندي (B, C, D)، الصيني E، لتلوث التربة بالعناصر الثقيلة

Element	A	B	C	D	E
	mg kg^{-1}				
Cd	3	1	5	20	0.6
Cu	200	50	100	500	100
Pb	300	50	150	600	300
Zn	450	200	500	3000	250

A: **ترب لا يسمح بزراعتها**، B: **ترب ملوثة**، C: **ترب ملوثة بدرجة تؤثر سلباً على الإنسان**، D: **ترب تحتاج إلى إعادة تأهيل**، E: **ترب ملوثة**.

يبين جـــدول (٤) بعض المقاييس الدولية لتركيز العناصـــر الثقيلة في التربـــة. وبالمقارنة مع تركيز العناصـــر الثقيلـــة في ترب مهـــد الذهب كما في جدول (٢) يتضح أن أعلى العناصر تلوثاً في مواقع الدارســـة كان عنصر النحاس، حيث سجلت جميع المواقـــع تركيزاً يقارب أو يفـــوق ١٠٠ملجم كجم$^{-1}$، والذي يدل علـــى أن التربة ملوثة بدرجة تؤثر على الإنســـان، أما في الموقعين الأول والثاني فإن التربة ملوثة بدرجة كبيرة جـــداً تجعلها تحتاج إلى إعادة تأهيـــل بناءً علـــى المقياس الهولنـــدي. أما التلوث بعنصر الكادميوم فقد بلغ في الموقع الأول مســـتوى يؤثر على صحة الإنسان، بينما كان تركيزه في الموقع الثاني يعني أن التربة ملوثـــة به. وباعتبار المقياس الهولندي، تعتبر التربة فـــي الموقعين الأول والثاني ملوثة أيضاً بعنصري الرصاص والزنك بدرجة تؤثر على الإنسان.

عند تطبيق المقياس الصينـــي لا يوجد اختلاف كبيـــر في المواقـــع الملوثة، حيث يعتبـــر الموقع الأول والثاني ملوثـــان بجميع العناصر، باســـتثناء الموقع الثاني بالنســـبة لعنصر الرصاص. كما يعتبر الموقع الثالث ملوثاً بعنصر النحاس، بينما ظهر تلوث الموقع الرابـــع بعنصري الزنك والكادميـــوم، واقتصر تلوث الموقع الخامس علـــى عنصر الزنك. لذا فإن المواقع

وحتى بعد ٥ كلم تعتبر ملوثة بعنصر أو أكثر بناءً على المقياس الصيني. أظهر المقياس الاسكتلندي تلوث الموقع الأول بجميع العناصر، بينما تُصنف التربة في الموقع الثاني أنها ملوثة بعنصر النحاس والزنك.

يرد على النتائج السابقة، ما ورد في ملحق (١) لمقاييس حماية البيئة من النظام العام للبيئة (وثيقة رقم ١٤٠٩-٠١)، حيث جاء فيها: "٢- يجب أن يتم تشغيل جميع المرافق القائمة والاحتفاظ بها بطريقة تمنع تسرب أي مواد سامة بكميات تلحق الضرر بالصحة العامة سواءً كانت تلك المواد مصنفة ضمن هذه المقاييس أو لم تكن" (الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة، ١٤٢٣هـ).

تركيز العناصر الثقيلة في نبات الحرمل

تراوح معامل التراكم للعناصر الثقيلة في نبات الحرمل ما بين < ٠,٠١ و ٠,٢٨، حيث كان أعلى معامل تراكم لعنصر الكادميوم يليه النحاس ثم الزنك وأخيراً الرصاص (جدول ٥). ويلاحظ أن معامل التراكم في الجذور أعلى من معامل التراكم في السيقان أو الأوراق لنبات الحرمل سواءً لعنصر الكادميوم أو الرصاص أو النحاس أو الزنك.

عند مقارنة معامل التراكم مع البعد عن مرادم نفايات التعدين في المنجم، يُلاحظ زيادة معامل التراكم لجميع العناصر وفي جميع أجزاء النبات. حيث كان معامل التراكم في الموقع الأول للكادميوم ٠,٠٤ في الأوراق والسيقان و ٠,١٤ في الجذور، بينما زاد معامل التراكم ليصبح في الموقع السادس ٠,٧٢ و ٠,٦٢ و ٠,٨٣ على التوالي، ولم تكن هناك قيمة لمعامل التراكم في الموقعين الأخيرين، لصغر تركيز الكادميوم في التربة بحيث أصبح التركيز أقل من الحدود التي يستطيع جهاز الـ ICP قراءتها.

عند مقارنة معامل التراكم للعناصر الثقيلة في نبات الحرمل مع نبات القرضي (شكل ٩) كما في دراسة (Al-Farraj, et al. 2009)، يتبين أن معامل

شكل (٩): صورة لنبات القرضي.

جدول (٥): تركيز العناصر الثقيلة ومعامل التراكم في جذور وسيقان وأوراق نبات الحرمل.

Element		Concentration mg kg^{-1}			Accumulation Coefficient		
		Leaves	Stems	Roots	Leaves/Soil	Stemt/Soil	Root/Soil
Cd	1	0.31	0.31	1.13	0.04	0.04	0.14
	2	0.50	0.06	0.22	0.25	0.03	0.11
	3	0.09	0,12	0.22	0.23	0.32	0.60
	4	0.08	0.09	0.35	0.12	0.15	0.56
	5	0.05	0.10	0.20	--	--	--
	6	0.18	0.15	0.21	0.72	0.62	0.83
	7	0.14	0.26	0.34	--	--	--
	8	0.03	0.14	0.09	--	--	--
Average					0.17	0.15	0.28
Cu	1	18.37	9.84	63.23	0.02	0.01	0.07
	2	25.83	24.17	23.45	0.04	0.04	0.04
	3	9.56	11.89	16.05	0.10	0.12	0.17
	4	4.52	5.56	21.29	0.03	0.03	0.12
	5	6.21	7.40	14.04	0.05	0.07	0.12
	6	10.60	20.19	13.11	0,06	0.11	0.07
	7	6.15	14.68	16.50	0.07	0.16	0.18
	8	5.83	9.83	10.14	0.04	0.07	0.07
Average					0.05	0.08	0.11

Element		(Concentration mg kg^{-1})			Accumulation Coefficient		
		Leaves	Stems	Roots	Leaves/Soil	Stem/Soil	Root/Soil
Pb	1	0.31	0.58	4.11	0.01>	0.01>	0.01
	2	0.21	0.04	0.64	0.01>	0.01>	0.01>
	3	nd	0.06	0.22	--	0.01>	0.01>
	4	0.04	nd	0.13	0.01>	--	0.01>
	5	nd	nd	0.15	--	--	0.01>
	6	0.02	0.05	0.15	0.01>	0.01>	0.01>
	7	0.02	nd	0.34	0.01>	--	0.01
	8	nd	0.47	0.12	--	0.01	0.01>
Average					0.01>	0.01>	0.01
Zn	1	11.04	8.48	40.21	0.01>	0.01>	0.02
	2	8.61	5.28	6.47	0.01>	0.01>	0.01>
	3	7.72	6.86	5.19	0.06	0.05	0.04
	4	8.88	4.27	3.24	0.03	0.02	0.01
	5	7.97	4.10	4.88	0.05	0.03	0.03
	6	6.48	4.51	6.73	0.03	0.02	0.03
	7	3.96	4.35	9.67	0.03	0.04	0.08
	8	9.97	6.57	4.83	0.05	0.03	0.03
Average					0.03	0.02	0.03

التراكم أقــل منه في نبات القرضي لجميع العناصر. فقد بلــغ معامل التراكم للكادميــوم في جذور نبات القرضــي (٠,٥٨) بينما كان النصف تقريباً في نبات الحرمــل (٠,٢٨). بينما كان معامل التراكم منخفضا للنحــاس في جذور نبات الحرمل (٠,١١) مقارنة مع نبــات القرضي (٠,٢٤)، وكذلك بالنســبة لعنصري الرصاص والزنك. أما من حيث ترتيب معامل التراكم للعناصر الثقيلة في الجذور فقد جاء كما يلي: Cd> Zn> Cu≥ Pb، سواءً في جذور نبات الحرمل كما في الدراســة الحالية أو نبات القرضي كما في الدراسة

السابقة (Al-Farraj, et al. 2009).

توافق الترتيب السابق مع ما وجده باحثون آخرون، ففي دراسة لتركيز العناصر الثقيلة في عدد من المحاصيل المزروعة في ترب ملوثة في الصين، وجد (Liu et al., 2005) أن معامل التراكم الحيوي (Bio-accumulation factor, BAF) كالتالي: Cd> Zn> Cu> Pb> As. وفي دراسة أخرى وجد عدد من الباحثين أن معامل التراكم للزنك في نبات *Zygophyllum fabago* بلغ ٠,٠٠٤-٠,٣٨٠، بينما كان بالنسبة للرصاص في نبات *Helichrysum decumbens* ٠,٠٠٣-٠,٠٦٣، والنحاس في نبات *Tamarix sp* كان بين ٠,٠١٤-٠,١١٩ (Héctor et al., 2006)، مما يعني التوجه نفسه للعناصر الثلاثة مع نباتي القرضي والحرمل في مهد الذهب سواءً في الدراسة الحالية أو السابقة.

انخفاض معامل التراكم بشكل عام (< ١) يعني عدم إمكانية استخدام نبات الحرمل في استخلاص العناصر الثقيلة من التربة الملوثة بها، ولكن يمكن اقتراح إمكانية استخدامها كنباتات مثبتة للتربة ومن ثم منع حدوث تعرية وإثارة للتربة مما يقلل من انتشار التلوب بها في المناطق المحيطة غير الملوثة. يضاف إلى ذلك، أنه بالرغم من انخفاض معامل التراكم وقلة امتصاص العناصر الثقيلة بواسطة نبات الحرمل، إلا أن ارتفاع تركيز العناصر الثقيلة في التربة انعكس إيجاباً على امتصاصها بواسطة الحرمل. لذا سجلت المواقع الأشد تلوثاً قرب المرادم (الموقع الأول والثاني) تركيزاً للعناصر الثقيلة أعلى في نبات الحرمل سواءً في الجذور أو السيقان أو الأوراق. ما سبق، يدعو الباحثين لاقتراح إمكانية استخدام نبات الحرمل كمؤشر لتلوث التربة بالعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn). كما يوجد احتمال أن تعمق جذور نبات الحرمل في المنطقة (حيث ظروف الجفاف) أبعد الشعيرات الجذرية النشطة عن المنطقة السطحية الملوثة بالعناصر الثقيلة.

يوضح جدول (٦) معامل الانتقال للعناصر الثقيلة في نبات الحرمل. ويظهر أن أكثر العناصر الثقيلة حركة من الجذور إلى السوق أو الأوراق داخل نبات الحرمل هو الزنك يليه الكادميوم ثم النحاس وأخيراً الرصاص، مع مراعاة أن معامل الانتقال للنحاس من الجذور إلى السوق (٠,٧٦) كان أكبر منه للكادميوم (٠,٦٣). أما معامل الانتقال لتلك العناصر من السوق إلى الأوراق، فقد جاءت كما في الترتيب التالي: Cd> Zn> Cu> Pb. هذا الترتيب الأخير اتفق مع الترتيب لمعامل الانتقال من الجذور للأفرع للعناصر نفسها في نبات القرضي، والذي وجدته دراسة سابقة في المنطقة ذاتها (مهد الذهب) (Al-Farraj, et al, 2009).

جدول (٦): معامل الانتقال للعناصر الثقيلة في جذور وسيقان وأوراق نبات الحرمل.

Element		Translocation Factor		
		Stems/ Roots	Leaves/ Stems	Leaves/ Roots
Cd	1	0.27	1.00	0.27
	2	0.28	8.29	2.32
	3	0.54	0.71	0.38
	4	0.27	0.82	0.22
	5	0.52	0.50	0.26
	6	0.75	1.17	0.88
	7	0.77	0.53	0,41
	8	1.60	0.25	0.40
Average		0.63	1.66	0.64
Cu	1	0.16	1.87	0.29
	2	1.03	1.07	1.10
	3	0.74	0.80	0.60
	4	0.26	0.81	0.21
	5	10.53	0.84	0.44
	6	1.54	0.52	0.81
	7	0.89	0.42	0.37
	8	0.97	0.59	0.58
Average		0.76	0.87	0.55

Element		Translocation Factor		
		Stems/ Roots	Leaves/ Stems	Leaves/ Roots
Pb	1	0.14	0.54	0.08
	2	0.07	4.80	0.32
	3	0.27	Nd	Nd
	4	Nd	--	0.33
	5	Nd	--	Nd
	6	0.33	0.33	0.11
	7	Nd	--	0.05
	8	3.93	Nd	Nd
Average		0.59	0.71	0.11
Zn	1	0.21	1.30	0.27
	2	0.82	1.63	1.33
	3	1.32	1.13	1.49
	4	1.32	2.08	2.74
	5	0.84	1.94	1.63
	6	0.67	1.44	0.96
	7	0.45	0.91	0.41
	8	1.36	1.52	2.06
Average		0.87	1.49	1.36

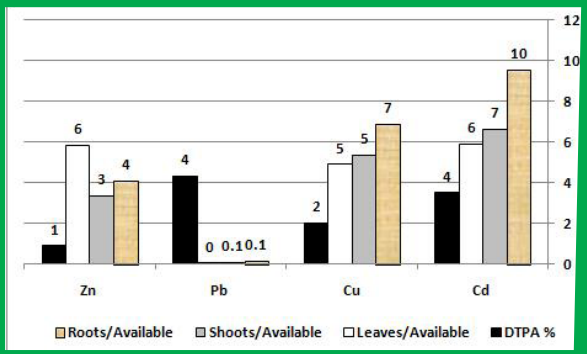
اتفقت النتائج السابقة مع ما وجده آخرون، حيث كان عنصري الزنك والكادميوم الأكثر انتقالاً خلال نباتي *R. sativus* and B. *napus*، بينما كان عنصري الرصاص والكروم الأقل، وجاء عنصري النحاس والنيكل بصورة متوسطة (Marchiol et al., 2004).

يتضح من نتائج الدراسة ميل الكادميوم والنحاس والرصاص (Cd, Cu, Pb) للتراكم في الجذور، خلاف الزنك الذي أظهر ميلاً للتراكم في الأوراق مقارنة بالجذور أو السيقان، وإن كان التراكم في السيقان أقل منه في الجذور. وقد أبدى الرصاص ميلاً للتراكم

في الجذور ثم السيقان ثم الأوراق، مما يعني ضعف حركته داخل نبات الحرمل، كما كان سلوك عنصر النحاس مماثلا للرصاص ولكن بصورة أقل، مما يدلل على أنه أكثر حركة داخل نبات الحرمل مقارنة بالرصاص. وقد اتفقت هذه النتيجة مع ما وجده الباحثان (Gupta and Sinha, 2006) من أن تراكم العناصر الثقيلة سواءً الضرورية أو السامة (Fe, Zn, Cr, Mn, Cu, Pb, Ni, Cd) أكبر في الجذور مقارنة مع الأفرع في نبات *Sesamum indicum*. كما وجد (Vandecasteele et al., 2005) علاقة قوية بين تركيز كل من الكادميوم والزنك في أوراق نوعين من نبات *Salix sp* وتركيزهما في التربة، بينما وجدوا أن أغلب تركز النحاس والكروم والرصاص والحديد والمنجنيز والنيكل كان في الجذور.

الاستخلاص بواسطة DTPA

يوضح شكل (١٠) أن كفاءة مركب DTPA في استخلاص العناصر الثقيلة كما يلي: Pb> Cd> Cu> Zn. حيث كان متوسط نسبة العناصر الثقيلة المستخلصة على التوالي: ٤,٣، ٣,٥، ٢,٠، ٠,٩٪. وبالرغم من اقتراح استخدام الـ DTPA للتعرف على الصور الميسرة للعناصر الصغرى والثقيلة في الترب الجيرية، إلا أن ذلك لم يظهر في هذه الدراسة. حيث كان متوسط استخلاص الرصاص هو الأعلى مقارنة بالعناصر الأخرى (Cd, Cu, Zn)، إلا أن الممتص منه مقارنة بالمستخلص بواسطة الـ DTPA هو الأقل، حيث أن نسبة المتراكم سواءً في الجذور أو السيقان أو الأوراق هو الأقل مقارنة بالعناصر الأخرى (شكل ١٠).



شكل (١٠): نسبة المستخلص من العناصر الثقيلة في التربة وعلاقته بالمتراكم في جذور وأوراق وسيقان نبات الحرمل.

تؤيد النتيجة السابقة مقترح عدد من الدراسات السابقة من أن كفاءة الـ DTPA في استخلاص العناصر لا تعني كفاءته في تقدير الصور الميسرة منها للنبات. حيث وجد (Gupta and Sinha, 2006) علاقة أفضل بين الزنك المستخلص بواسطة الـ DTPA, EDTA, NH_4NO_3 والممتص بواسطة نبات *Sesamum indicum*، بينما لم تكن هناك علاقة مع عناصر النيكل والنحاس والرصاص. كما وجد (Ortiz and Alcañiz, 2006) ارتباطاً بين تركيز الزنك والكروم الكلي والمستخلص بواسطة DTPA من جهة والتركيز في أوراق نبات *Dactylis glomerata*. ومن جهة أخرى لم يجدا ملائمة DTPA لعناصر النيكل والنحاس والكادميوم. وفي دراسة أخرى، وجد (Gupta and Sinha, 2006) أن الـ DTPA أقل كفاءة من الـ EDTA للدلالة على ما يمتصه النبات من العناصر الثقيلة بالرغم من انخفاض pH الأخير. كما وجدت النتيجة ذاتها دراسة سابقة لنبات القرضي النامي في ترب مهد الذهب حيث التلوث بالعناصر الثقيلة بجوار المنجم. لذا فإن الدراسة الحالية تؤيد ما اقترحته دراسات سابقة، بأنه رغم أن مركب الـ DTPA مقترح لاستخدامه مع الترب الجيرية، إلا أن نتائج الاستخلاص لا تمثل الميسر من العناصر الثقيلة (McLaughlin et al., 2000).

الخاتمة والتوصيات

أثبتت الدراسة تلوث ترب مدينة مهد الذهب المحيطة قرب منجم مهد الذهب وحتى بعد ٧ كلم باتجاه الوادي (جنوب غرب) بالعناصر الثقيلة، وبشكل أخص (Cd, Cu, Pb, Zn). وقد سجلت المواقع قرب المنجم تركيزاً كبيراً، انخفض مع البعد عنها. حيث أظهرت قيم معامل الوفرة تلوثاً بدرجة مرتفعة جداً (40≥EF>20) بعنصري الكادميوم والزنك في الموقع الأول (المجاور للمرادم)، حيث سجلا على التوالي ٣٣ و ٢٢، بينما كان معامل الوفرة لهما في الموقع الثاني (على بعد كيلومتر من الموقع الأول) ٨ و ١٠ على التوالي مما يعني تلوث التربة بدرجة معنوية (20≥EF>5). وكان معامل الوفرة لعنصري النحاس والرصاص ١١ و ١٧ على التوالي، بينما سجل في الموقع الثاني ٧ و ١٠، وجميعها سواءً في الموقع الأول أو الثاني تعتبر ملوثة بدرجة معنوية، وإن اختلفت شدة التلوث. كما أظهر اعتماد بعض المقاييس الدولية (الهولندي والصيني والاسكتلندي) تلوث التربة بالعناصر الثقيلة ذاتها، مع ملاحظة ارتفاع التلوث قرب مرادم نفايات منجم مهد الذهب. وبالرغم من انخفاض معامل التراكم في نبات الحرمل للعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn) بشكل عام (< 1)، إلا أن المواقع الأشد تلوثاً قرب المرادم (الموقع الأول والثاني) سجلت تركيزاً للعناصر الثقيلة أعلى في نبات الحرمل سواءً في الجذور أو السيقان أو الأوراق.

أكدت نتائج الدراسة، ما أثبتته الدراسات السابقة، أن سبب تلوث ترب مهد الذهب بالعناصر الثقيلة هو عمليات التعدين في المنجم، حيث أن مرادم نفايات التعدين قريبة جداً من المناطق المأهولة بالسكان، مع تركها مكشوفة لعدد من سنوات التشغيل دون أي إجراءات تضمن عدم انتشار تلك النفايات للمناطق المجاورة لمنطقة المنجم، مما جعلها معرضة للإثارة بواسطة الرياح بل والجريان السطحي للأمطار بما تحدثه من تهدم لأجزاء من المرادم.

لذا يوصي الباحثون بما يلي:

١. تعتبر ترب مدينة مهد الذهب متأثرة بالتلوث بالعناصر الثقيلة، وبدرجة عالية تؤثر في البيئة والصحة العامة، مما يستدعي تدخلاً عاجلاً لقياس ذلك التأثير في حياة الناس، بالإيعاز للجهات المعنية والمختصة للإسراع لقياس مستويات العناصر الثقيلة في دماء سكان المدينة وخاصة الأطفال والعاملين في المنجم لمعرفة ما: ١) إذا كانت تقع في الحدود الطبيعية أو ٢) الحدود المسموح بها أو ٣) وصلت إلى مرحلة التأثير في الصحة[1].

٢. التحرك العاجل من قبل الشركة المالكة لمنجم مهد الذهب (معادن) وبإشراف الجهات المعنية (إمارة منطقة المدنية المنورة) والجهات المختصة (الرئاسة

(١) عند اكتشاف زيادة نسبة العناصر الثقيلة في الدم عن المعدل الطبيعي لدى البعض، يمكن معالجته بتوفير بيئة نظيفة لهم لإيقاف تلك الزيادة عن الوصول إلى مرحلة الخطورة، كما أوصت بذلك بعض الدراسات.

العامة للأرصاد وحمايـــة البيئة) لإيقاف مصدر تلوث منطقة مهد الذهب بالعناصر الثقيلة. يشمل ذلك:

١) تغطية مرادم النفايات المكشـــوفة حالياً كما هو موصى به ضمـــن المعايير والمقاييـــس المعمول بها في المملكة، ٢) منع إنشـــاء مرادم جديدة في منطقة المنجم الحالية لقربها الشـــديد من السكان، ٣) اختيار مواقع بعيـــدة عن المناطق المأهولة بالســـكان وتقع في مناطق تتميـــز بحواجز طبيعية تحد من انتشـــار النفايات، ٤) الالتزام بالتغطية اليوميـــة للنفايات التي تتم إضافتها للمرادم.

٣. انتشـــار التلوث بالعناصر الثقيلـــة إلى المناطق المجاورة، ووصوله إلى تراكيـــز مرتفعة، يقود الباحثين للقلق حول التركيـــز الفعلي للعناصر الثقيلة في الغبار (<٦٠ ميكرون) الذي تسببه مرادم منجم مهد الذهب، ويتعرض السكان لتأثيره مباشرة من خلال التنفس، أو تساقطه حيث مناطق وأدوات لعب الأطفال. لذا فإن من الضروري إجراء دراسة دون تأجيل للغبار الذي يتعرض له سكان المدينة خلال مواســـم السنة المختلفة، تقيس تركيز الغبار وكميته وتركيز العناصر الثقيلة فيه.

٤. إجراء تحليل للنفايات في المـــرادم مـــن حيـــث: ١) تركيز العناصر الثقيلة؛ ٢) النظائر المشـــعة؛ ٣) الغازات المتطايرة مثل الزئبق القابل للتطاير، أو الناتجة عن بعض النظائر المشـــعة مثـــل تحلل U^{238} لينتج Rn، الذي يسبب استنشاقه أو المواد المتحللة منه مثل Po^{214}, Po^{218} إلى تدمير النســـيج المخاطـــي للقصبة الهوائية، وسرطان الرئة.

٥. الحاجة ماســـة لدراسة تقييم الوضع البيئي في منطقة مهد الذهب واستكمال الجوانب البيئية الأخرى مثل: ١) الدقائق العالقـــة؛ ٢) وتلوث الهواء؛ ٣) والمياه وخاصة تجمع مياه الأمطار وخزانات مياه الشرب؛ ٤) والمتضررين منها (إنسان، حيوان، نبات).

٦. يمكن استخدام نبات الحرمل كمثبت للتربة ومن ثم منع حدوث تعرية وإثارة للتربة مما يقلل من انتشـــار التلـــوب بها في المناطق المحيطة غير الملوثة. كما يقترح الباحثون إمكانية استخدام نبات الحرمل كمؤشر لتلوث التربة بالعناصر الثقيلة (Cd, Cu, Pb, Zn).

٧. نشـــر الثقافة البيئية بين عموم المواطنين وبوجه خاص في المناطق التي يقع قربها مناشـــط تعدينية أو صناعية، ويعتبر ســـكان مدينة مهـــد الذهب من أولى المناطق بذلك، للتماس بين المنطقة المأهولة بالســـكان ومنطقة مرادم النفايات، وكذلك قرب افتتاح وتشـــغيل منجـــم جبل صائـــد للنحاس في المنطقـــة. ويجب أن تشـــمل التوعية المخاطر المحتملة لوجود تلك المناشط، والاحتياطات التي سوف يقوم بها مشغلوا تلك المناشط، أو الاحتياطـــات التي ينبغي علـــى المواطنين اتخاذها، بشـــفافية تامة تضمن توطيد علاقة عضوية مشتركة بين المواطنين ومشـــغلي تلك المشاريع التعدينية، تنتهي باقتصاد مزدهر بإذن لله للمنطقة والمملكة بشكل عام، وفي الوقت ذاته بيئة ليست خطرة أو مضرة على صحة وحياة المواطنين.

REFERENCES المراجع

Al-Farraj, A.S. and M.I. Al-Wabel. (2007a). Evaluation of soil pollution around Mahad AD'Dahab Mine. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 6 (2):89-106.

Al-Farraj, A.S. and M.I. Al-Wable. (2007b). Heavy metals accumulation of some plant species grown on mining area at Mahad AD'Dahab, Saudi Arabia. Journal of Applied Sciences. 7(8): 1170 - 1175.

Al-Farraj, A.S.; T.G. Al-Otabi; and M.I. Al-Wabel. (2009). Accumulation Coefficient and Translocation Factor of Heavy Metals Through *Ochradenus baccatus* Plant Grown on Mining Area at Mahad AD'Dahab, Saudi Arabia. Ecosystems and Sustainable Development VII. 459- 468.

Alloway, B.J. (1990). Heavy Metals in Soils. John Wiley and Sons, Inc. New York.

Al-Otabi, T.G. and A.S. Al-Farraj. (2009). Heavy Metals Accumulation by *Ochradenus baccatus* Plant Grown on Mining Area at Mahad AD'Dahab, Saudi Arabi. Jouranl of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 7:459- 468.

Baker, A.J.; R.D. Reeves; and S.P. McGrath. (1991). In situ decontamination of heavy metal polluted soils using crops of metal-accumulating plants—a feasibility study. In: Hinchee RE, Olfenbuttel RF, editors. In situ bioreclamation. Boston: Butterworth-Heinemann. p. 600–605.

Borgegård, S. and H. Rydin. (1989). Biomass, root penetration and heavy metal uptake in birch in a soil cover over copper tailings. J. Appl. Ecol. 26:585595-.

Brown, S. L., R. L. Chaney, J. S. Angle, A. J. Baker. (1994). Phytoremediation potential of Thlaspi carelessness and bladder campion for zinc- and cadmium contaminated

soil. J Environ Qual. 23:1151–7.

Chen, T.B. W.J.C. Wong; H.Y. Zhou; and M.H. Wong. (1997). Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong kong. Environmental Pollution. 96:61- 68.

Comis, D. (1996). Green remediation. Journal of Soil and Water Conservation. 51:184-187.

Ebbs, S.D. and L.V. Kochian. (1997). Toxicity of zinc and copper to Brassica species: implications for phytoremediation. J Environ Qual. 26:776–81.

EPA. (2000). Introduction to Phytoremediation. 600/R-9910/. February.U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati. Ohio.

Fernandes, J.C. and F.S. Henriques. (1989). Metal contamination in leaves and fruits of holm-oak (Quercus rotundifolia LAM.) trees growing in a pyrites mining area at Aljustrel, Portugal. Water Air Soil Pollut. 48:409–415.

Flick, D.F.; H.F. Kraybill; and J.M. Dlmitroff. (1971). Toxic effects of cadmium: a review. Environmental Research. 4:71 -85.

Gee, G.W. and J.W. Bauder. (1994). Particle-size Analysis. 377 - 382. *In*. Methods of Soil Analysis. Part 1, 3*ed* edition. Physical and Mineralogical Methods. Edited by Klute, A. SSSA and ASA, Madison, WI.

Greger, M. (1999). *Salix* as phytoextractor. *In*: Wenzel WW, et al, editors. Proceedings of the 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements. Vienna: Boku.

Gupta, A.K. and S. Sinha. (2006). Chemical fractionation and heavy metal accumulation in the plant of *Sesamum indicum* (L.) var. T55 grown on soil amended with tannery sludge: Selection of single extractants. Chemosphere. 64:161- 173.

Gupta, P.K. (2007). Soil, Plant, Water and Fertilizer Analysis. Agrobios. India. Pp.344.

Hasselgren K. (1999). Utilization of sewage sludge in short-rotation energy forestry:a pilot study. Waste Manage Res.17:251– 262.

Héctor, M.C.; F. Ángel.; A. Raquel. (2006). Heavy metal accumulation and tolerance in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). Science of the Total Environment. 366:1 -11.

Hossner, L.R. (1996). Dissolution for Total Elemental Analysis. *In*. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methodes. Edited by Sparks et al., SSSA and ASA, Madison, WI. Pp: 46- 64.

Kelly, J.; I. Thornton; and P.R Simpson. (1996). Urban geochemistry: A study of the influence of anthropogenic activity on the heavy metal content of soils in traditionally industrial and non-industrial areas of Britain. Applied Geochemistry. 11:363- 370.

Ketata, C. and T. Husain. (2008). Evaluation of soil pollution inside and around Mahd ADHDHAB mine. Meomorial University of Newfoundland. Canada. Submitted to Saudi Arabian Mining Company. Pp. 331.

Khan, S.; L. Aijun; S. Zhang; Q. Hu; Y. Zhu. (2007). Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. J Hazard Mater. 152(2):506-515.

Lee, P.K.; J.C. Thuray; P. Baillif; and J.P. Ildefonse. (1997). Heavy metal contamination

of settling particles in a retention pond along the A-71 motorway in Sologne. France. Science of the Total Environment. 201(1):1-15.

Lindsay, W. (1979). Chemical equilibrai in soils. 1st edition. A Wiley-Interscience Publication. John Wiley and Sons, New York.

Lindsay, W. L., and Norvell, W.A. (1978). Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sc. Soc. Am. J., 42: 421-428.

Liu, H.; A. Probst; B. Liab. (2005). Metal contamination of soils and crops affected by the Chenzhou lead/zinc mine spill (Hunan, China). Science of the Total Environment. 399:153-166.

Loeppert, R.H. and D. Suarez. (1996). Carbonate and Gypsum. *In*. Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods. Edited by Sparks et al., SSSA and ASA, Madison, WI. Pp. 437-474.

Manta, D.S.; M. Angelone; A. Bellanca; R Neri; and M. Sprovieri. (2002). Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy. Science of the Total Environment. 300:229-243.

Marchiol, L.; S. Assolari; P. Sacco; G. Zerbi. (2004). Phytoextraction of heavy metals by canola (Brassicanapus) and radish (Raphanus sativus) grown on multicontaminated soil. Enivronmental Pollution. 132: 21-27.

McLaughlin, M.J., B.A. Zarcinas, D.P. Stevens, N. Cook. (2000). Soil testing for heavy metals. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 31:1661–1700.

Nelson, D.W. and L.E. Sommers. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. *In*. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods. Edited by Sparks et.

al., SSSA and ASA, Madison, WI. Pp. 961-1010.

Niverthitha, P.; P. Thangavel, W.SPM. Prince; and V. Subburam. (2002). Identification of heavy metal accumulating plants and their use in reclamation of soil contaminated with heavy metals. Eco. Env. Cons. 8:249-251.

Nriagu, J.O. (1988). A silent epidemic of environmentental metal poisoning? Environ. Pollut. 50:139-161.

Ortiz, O. and J.M. Alcañiz. (2006). Bioaccumulation of heavy metals in *Dactylis glomerata* L. growing in a calcareous soil amended with sewage sludge. Bioresource Technology. 97:545-525.

Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-435. *In*: Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Edited by Sparks et al., Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Senthilkumar, P.; W.SPM. Prince; S. Sivakumar; and C.V. Subbhuraam. (2005). *Prosopis Juliflora* a green solution to decontaminate heavy metal (Cu and Cd) contaminated soils. Chemosphere. 60(10):1493-1496.

Singh, V.P. (2005). Toxic metals and environmental issues. Sarup & Sons. New Delhi. Pp. 362.

Sumner, M.E. and Miller, W.P. (1996). Cation exchange capacity and exchange coefficients. p. 1201-1230. *In*: Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Edited by Sparks et al., Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Sutherland. R.A. (2000). Bed sediment associated trace metals in an urban stream. Oahu. Hawaii. Environ Gelo. 39: 611-627.

Thangavel. P.; V. Subburam; P. Shanmughavel; and T. Muthukumar. (2000). *Prosopis*

juliflora a metallophyte for the biorecovery of aluminium from urban industrial enclaves. XII IUFRO World Congress, Kula Lumpur, Malaysia.

Thomas, G.W. (1996). Soil pH and soil acidity. p. 475-490. *In*: Methods of Soil Analysis, Part 3. Chemical Methods. Edited by Sparks et al., Soil Science Society of America, Madison, WI, USA.

Tokalioglu, S.; S. Katral; G. Birol. (2003). Comparison of three sequential extraction procedures for partitioning of heavy metals in car park dust. J. Enviro. Monitor. 5:468-476.

Vandecasteele, B.; E. Meers; P. Veravaeke; B.D. Vos; P. Quataert; and F.M. Tack. (2005). Growth and trace metal accumulation of two Salix clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels. Chemosphere. 58: 995-1002.

Westerman. R.L. (1990). Sampling. Handling. and Analyzing Plant Tissue Samples. *In*. Soil Testing and Plant Analysis. 3rd ed. Soil Science Society of America. Inc. Madison. Wisconsin. USA.

Yanqun, Zu.; Li Yuan; Ch. Schvartz; L. Langlade; and L. Fan. (2004). Accumulation of Pb, Cd, Cu and Zn in plants and hyperaccumulator choice in Lanping lead–zinc mine area, China. Environment International. 30: 567–576.

Zheljazkov, V.; and N.E. Nielsen. (1996). Effect of heavy metals on peppermint and cornmint. Plant Soil 178:59–66.

Zhuang, P.; Q.W. Yang; H.B. Wang; W.S. Shu. (2007). Phytoextraction of Heavy Metals by Eight Plant Species in the Field. Water Air Soil Pollut. 184:235–242

الرئاسة العامة للأرصاد وحماية البيئة. (١٤٢٣هـ). النظام العام للبيئة واللائحة التنفيذية. المملكة العربية السعودية.

للتواصل

Email: sfarraj@ksu.edu.sa

Phone: 00966 - 1 - 467 - 6695

Fax: 00966 - 1 - 467 - 8440

إخراج وتنفيذ

صلاح الدين الحجري

mr_salah100@hotmail.*com*

0503101038