جمهورية العراق

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة الموصل / كلية العلوم

قسم علوم الارض

التقييم الجيوكيميائي البيئي للمنطقة الصناعية في القيارة، شمالي العراق

إبراهيم رشيد بدي حسن

اطروحة دكتوراه فلسفة

علوم الأرض/ الجيوكيمياء

بإشراف

الأستاذ المساعد الدكتور

عاهد يونس الملاح

الأستاذ الدكتور

فوزي مردان عمر البياتي

1446هـ

2024م

المستخلص

تمت دراسة 74 نموذجاً من منطقة القاطع الصناعي في ناحية القيارة جنوبي الموصل/شمالي العراق. شملت 26 نموذجاً من التربة، و27 نموذجاً من اصناف مختلفة من النباتات والاشجار، مع 14 نموذجاً من المياه شملت: 4 نماذج من نهر دجلة و9 نماذج من المياه الجوفية ونموذجاً واحداً من العين الكبريتية، فضلاً عن 5 نماذج من القير الطبيعي ونموذجين من النفط.

أُجريت التحاليل الكيميائية والفيزيائية والمعدنية لهذه النماذج باستخدام جهاز ICP-MS وGC-MS وXRD لغرض اجراء التقييم الجيوكيميائي البيئي للترب والنبات والمياه السطحية والجوفية. تبين أن معدل الاكاسيد الرئيسة (Al_2O_3 وCaO وMgO وNa$_2$O وK$_2$O وFe$_2$O$_3$ وP$_2$O$_5$ وSO$_3$ وTiO$_2$ وSiO$_2$ وL.O.I.) قد بلغت (3.76% و17.55% و7.83% و0.37% و3.51% و0.14% و0.13% و5.28% و0.09% و37.80% و19.80%) على التوالي. اما معدل تراكيز العناصر الاثرية (As وCd وCo وCr وCu وHg وMn وMo وNi وPb وSb وSe وV وZn) فبلغت (6.40 و0.21 و18.69 و101.47 و28.91 و0.03 و542.6 و0.98 و159.1 و9.94 و0.21 و0.20 و58.0 و60.7 ppm) على التوالي. وتم مقارنة تراكيز العناصر الثانوية بالقيم العالمية للقشرة الأرضية والترب العالمية واظهر البعض منها ارتفاعاً نتيجة المصادر الطبيعية (تكوين الفتحة وانجانة) والارتباطات المعدنية المختلفة فضلاً عن المصادر البشرية، فيما انخفض الجزء الاخر.

تدرج محتوى المادة العضوية من منخفض في بعض المناطق الى عالٍ جداً في مناطق أخرى بسبب قربها من مواقع العمليات النفطية، اما التوصيلية الكهربائية للتربة فتميزت بملوحتها القليلة الى المتوسطة. وبينت قيم الدالة الحامضية ان التربة هي قاعدية قلوية بسبب المعادن الكاربوناتية والجبسية فضلاً عن تأثير معدن الالبايت، مما أسهم في تقليل حركة العناصر الثقيلة في التربة.

بلغ مجموع نسب المحتوى المعدني لكل من المعادن الكاربوناتية والمتبخرات 49.75% والمعادن الفتاتية 39.26% والمعادن الطينية 10.94%. وقد اظهرت هذه المعادن توزيعاً جغرافياً منتظماً يتبع تركيبية وطبوغرافية المنطقة وأنظمة التصريف السطحية والمكاشف الصخرية. إذ يزداد المحتوى المعدني الكاربوناتي والمتبخرات وسط طية القيارة ويقل باتجاه جناحي الطية والسهل الفيضي في حين تزداد المعادن الفتاتية والطينية.

إن نسب محتوى الترب من المواد الهيدروكاربونية النفطية (aliphatic وCyclic وAromatic) كانت 96.66% و1.99% و1.43% على التوالي، اذ كانت الهيدروكاربونات الاليفاتية اعلى في الجزء الشمالي الغربي وقرب وادي العين البيضاء نتيجة الانسكابات النفطية فيما كانت نسب الاروماتية والحلقية

اعلى قرب العيون القيرية ومواقع العمليات النفطية. بينما بلغت نسب محتوى المواد الهيدروكاربونية من المكونات الاليفاتية والاروماتية والحلقية في المياه 68.44% و11.57% و19.99% على التوالي. وكانت المكونات الاليفاتية والصمغيات والدهون في المياه اقل من التربة والاروماتية والحلقية والمجاميع القطبية والذائبة أكبر. إن عمليات معالجة النفط من الغاز في محطات عزل الغاز قللت من المحتوى الاليفاتي والاروماتي في النفط ويتم اطلاقه الى الجو ثم الى التربة ولذلك زاد من محتواها من المركبات الحلقية. إن نسبة الفناديوم والنيكل كانت عالية ومتقاربة في النماذج النفطية ونموذج القير (T.AB2) الناتج عن الانسكابات النفطية، في حين كانت متقاربة في النماذج القيرية (T.SW5, T.TP, T.SW3) مما يدل على أن مصدرها واحد.

إن المركبات الاليفاتية المستخلصة من المواد الهيدروكاربونية كانت عالية في الجزء الشمالي الغربي من منطقة الدراسة في حين كانت المركبات الاروماتية والحلقية تزداد قرب العين الكبريتية ومكبات المناطق الصناعية كمحطة عزل الغاز عن النفط ومحطة توليد الكهرباء الغازية. وقد بلغ معدل الحوامض الكاربوكسيلية الناتجة عن تحطم المواد الهيدروكاربونية في التربة نسبة عالية تصل الى 96.25% بسبب درجة الحرارة العالية نسبياً وقلوية التربة والمحتوى الطيني والفعاليات الحياتية واستخدام السماد العضوي وأنها تزداد باتجاه الجنوب الشرقي.

اظهرت نتائج تحليل النباتات والأشجار أن معدل المكونات الغذائية الاساسية (Ca وK وMg وNa وP وS) كانت (3.22% و2.14% و0.553% و0.195% و0.235% و0.78%) على التوالي. وأن تراكيز العناصر الثقيلة في النباتات والاشجار (As وCd وCo وCr وCu وHg وMn وMo وNi وPb وSb وSe وV وZn) كانت (1.28 و0.094 و3.65 و2.75 و45.21 و11.74و0.064 و198.16 و1.57 و63.83 و2.57 و0.06 و0.106 و10.36 و48.56 ppm) على التوالي.

كان محتوى للعناصر الغذائية الرئيسة الاتية (Ca وMg وS وK) في النباتات والاشجار اعلى من الحد الطبيعي، فيما انخفض Na. اما العناصر الثقيلة (As وCo وCr وHg وMn وMo وNi وPb وSb وSe وV) كانت على العموم اعلى من الحدود الطبيعية، فيما انخفضت العناصر الثقيلة (Zn وCu وCd) عن الحدود الطبيعية.

اظهرت نتائج تحليل مياه نهر دجلة في أن معدل الخصائص الفيزيائية والفيزوكيميائية من الكمية الكلية للاملاح الذائبة والتوصيلية الكهربائية ودرجة الحرارة والعكورة فضلا عن الدالة الحامضية القيم (281.75 mg/l و443.25 µS/cm و23.9 C^{o} و4.0 NTU و8.28) على التوالي. أما المكونات

الكيميائية الرئيسة من العناصر والاكاسيد (Ca وMg وNa وK وHCO_3 وSO_4 وCl وNO_3) بلغت معدلاتها (58.3 و16.6 و16.1 و2.2 و137.5 و69.7 و16.4 و0.6 mg/l) على التوالي، ومعدل تركيز العناصر الثقيلة (As وCd وCo وCr وCu وMn وMo وNi وPb وSb وSe وV وZn وF) بلغ (1.54 و0.01 و0.003 و0.53 و0.48 و0.36 و3.12 و2.78 و0.12 و0.7 و0.36 و2.52 و4.05 و0.14 ppb) على التوالي.

أظهرت نتائج تحليل المياه الجوفية والعين الكبريتية أن معدل الدالة الحامضية وكمية الاملاح الذائبة الكلية والتوصيلية الكهربائية والعكورة ودرجة الحرارة كان (8.2 و6491 mg/l و7515 µS/cm و1.1 NTU و23.4 C^o) على التوالي. اما المكونات الكيميائية من العناصر الرئيسة والاكاسيد (Ca وMg وNa وK وHCO_3 وSO_4 وCl وNO_3) فكان معدلها (588.9 و269.1 و1056.3 و7.1 و189.1 و2843.0 و1281.3 و14.4 mg/l) على التوالي. ومعدل تركيز العناصر الثقيلة والاثرية (As وCd وCo وCr وCu وHg وMn وMo وNi وPb وSb وSe وV وZn وBr وF) كان (0.71 و0.002 و0.008 و7.27 و0.62 و0.008 و86.8 و10.47 و3.88 و0.13 و0.27 و3.35 و3.47 و3.68 و1.26 و0.97 ppb) على التوالي.

قسمت المياه حسب تصنيف بايبر(Piper) الى اربعة أصناف: مياه نهر دجلة تكون ضمن الصنف (B)، ونموذجا المياه الجوفية (GR5, GR7) ضمن الصنف(C)، والنمادج (GR1, GR2, GR3, GR4, GR6) تمثل الصنف (E)، والنموذجان (GR9,SW5) الصنف (G). بين تصنيف ستيف لمياه منطقة الدراسة وجود خمسة اصناف هي نماذج مياه نهر دجلة التي تميزت بكونها قلوية معتدلة تسود فيها الكربونات والكبريتات، ونماذج المياه الجوفية (GR5, GR6, GR7, GR8) هي قلوية معتدلة تسود فيها الكبريتات، والنموذج GR9 قلوياً مع زيادة نسبة الصوديوم والكبريتات، ونموذج مياه العين الكبريتية SW5 قلوياً مع زيادة نسبة الصوديوم والكلور والكبريتات.

صنفت المياه الى ثلاث مجاميع حسب العوامل الموثرة فيها: هي مياه نهر دجلة تأثرت الصخور الكاربوناتية المنكشفة على السطح فضلا عن نوعية التربة السائدة والتي تلقي بنواتج التجوية لها في مياه النهر ولاسيما أن ميل الطبقات الذي يكون باتجاه النهر، أما المجموعة الثانية فهي المياه الجوفية والعين الكبريتية شمال طية القيارة نوعية مياهها سببه سمك عمود المتبخرات وقربه من السطح، والمجموعة الثالثة مياه الأبار في جنوب طية القيارة تميزت بقلة تاثرها بصخور المتبخرات.

بَيَّنَ التحليل العاملي وخرائط التوزيع المكاني أن تركيبية المنطقة تؤثر في تلوث المياه الجوفية بالمركبات النفطية والعناصر الثقيلة، وأن العوامل من درجة الانحدار العام فضلا عن اتجاه الرياح السائدة في منطقة الدراسة الى جانب المكون المعدني وانسكاب المواد الهايدروكاربونية من الانابيب الناقلة والمتهالكة كانت توثر على توزيع العناصر الثقيلة والملوثات الأخرى.

يظهر معامل التراكم الأرضي (I_{geo}) أن التربة شديدة التلوث بعنصر السيلينيوم، فيما تكون متوسطة التلوث بالزرنيخ ومتوسطة الى قليلة التلوث بالعناصر (Cd,Cr,Ni) وعديمة التلوث العناصر (Co, Cu, Hg, Mn, Mo,Pb, Sb, V, Zn). أما عامل الاغناء Enrichment factor فقد بين إغناءً عالياً بالعناصر (Se,As,Ni)، متوسطاً بالعناصر (Sb,Cd,Cr,Zn,Pb,Co,Mo,Mn,Cu) وقليلاً بالعنصرين (V,Hg)، فيما بينت العناصر الترتيب التالي بالاغناء في نمادج التربة (Se>As>Ni>Sb>Cd>Cr>Zn>Pb>Co>Mo>Mn>Cu>V>Hg).

أظهر معامل التلوث Contamination factor تلوثاً منخفظاً بالعناصر (Zn,Pb,Co,Mo,Mn,Cu,V,Hg) ومتوسطاً بالعناصر (Ni,Sb,Cd,Cr)، معتبراً بالعناصر (As,Se). وبين معامل تحميل التلوث (PLI) إن نماذج التربة (QF5-S, QF7-S, QF8-S, GS3-S, AB2-S, AB3-S, AB4-S, AB5-S, AB6-S, QR1-S, QR2-S) غير ملوثة، والنماذج (QF1-S, QF2-S, QF3-S, QF4-S, QF6-S, QF9-S, GS1-S, GS2-S, GS4-S, GS5-S, GS6-S, AB1-S, GS-S, TP-S, DS-S،) ملوثة.

بَيَّنَ مؤشر الخطر (HI) نتيجة التلوث بالعناصر الثقيلة في التربة بين عدم وجود خطر غير مسرطن على البالغين والاطفال. بينما كان الخطرالمسرطن عالي الاحتمالية بالتعرض من خلال الابتلاع للعناصر (As,Co,Cr,Ni) ومنخفضاً بالعناصر (Cd,Pb)، ومن خلال الاستنشاق كانت العناصر (As,Co,Cr,Ni) ذات خطر مسرطن عالي الاحتمالية، ومحتملاً لعنصر (Cd)، ومنخفض الاحتمال للرصاص (Pb) كما ان الخطر المسرطن من خلال التعرض الجلدي للعناصر (As,Cr,Ni) كان محتملاً، ومنخفظاً بعنصر الكادميوم (Cd).

أظهر معامل التراكم الحيوي (BAC) أن العناصر الثقيلة (As,Cd,Co,Cr,Cu,Mn,Ni,Pb, Sb,Se, V,Zn) لايحصل لها تراكم في النبات الأشجار المنتخبة، بينما يحصل اغناء للزئبق في جميع انواع النبات والاشجار، اما الموليبيديوم فيحصل له اغناء في جميع النبات باستثناء اليوكالبتوس. اما معامل تراكم العناصر الثقيلة (MAI) في النبات بيَّنَ أن نبات الشعير يحصل له اغناء بجميع العناصر الثقيلة، فيما يحصل اغناء لعنصر المنغنيز(Mn) في اشجارااليوكالبتوس فقط.

إن مياه نهر دجلة صالحة للاستخدام البشري حسب معامل نوعية المياه (WQI)، ومياه البئر GR9 فقيرة (Poor)، والآبار (GR6,GR7) فقيرة جداً (very poor)، أما مياه الآبار الاخرى والعين الكبريتية غير ملائمة.

تُعدُّ مياه نهر دجلة جيدة لأغراض الري حسب قيم (TDS,EC) في حين كانت المياه الجوفية غير ملائمة للري، وبحسب نسبة الصوديوم Na% مياه نهر دجلة ومياه البئر GR7 ممتازة للري، ومياه الآبار (GR1,GR2,GR5,GR6,GR8) جيدة، والآبار (GR3,GR4) مسموح بها، ومياه البئر GR9 والعين الكبريتية SW5 تستخدم بحذر شديد للري. تبين من خلال حساب قيمة نسبة امتزاز الصوديوم (SAR) أن جميع أنواع المياه ممتازة للري باستثناء (GR3,GR4) كانت جيدة. بين حساب نسبة كاربونات الصوديوم المتبقية (RSC) أن جميع مياه المنطقة ممتازة للري، أما حساب معامل النفاذية (PI) فقد بيَّنَ أن جميع مياه منطقة الدراسة جيدة للري باستثناء مياه البئرين (GR5,GR7) كانا غير ملائمين.

يظهر معامل تلوث المياه أن النموذجين من مياه البئرين (SW5,GR4) كانا ملوثين بدرجة كبيرة جداً بالبروم (Br)، والبئرين (GR1, GR3) اظهرا تلوثاً عالياً، ومياه الآبار (GR2, GR3,GR7, GR4, GR6) اظهرت تلوثاً متوسطاً بالبروم والبورون والفلور (F,Br,B). ومياه النماذج (SW1, SW2, SW3, SW4, GR5,GR6, GR8, GR9) غير ملوثة حسب معامل تحميل التلوث، بينما النماذج (GR3,GR4 GR7,SW5 GR1,GR2,) ملوثة. وأظهر عامل تلوث المياه بالعناصر الثقيلة (HPI) مياه منطقة الدراسة غير ملوثة بالعناصر الثقيلة بسبب قلويتها التي أدت الى مغادرة العناصر الى الطور الصلب.

ان مياه منطقة الدراسة لاتظهر خطراً صحياً غير مسرطن بالعناصر الثقيلة على البالغين والاطفال. وان الخطر المسرطن بالتعرض من خلال الفم على البالغين يكون محتملاً للعناصر (As,Cr, Ni, BrO_3) وغير محتمل للعنصرين (Pb,Cd). اما التعرض من خلال الجلد فيكون عالي الاحتمالية للعناصر (As,Cr,Ni,Pb). فيما يكون الخطر الصحي المسرطن الكلي عالي الاحتمالية للعناصر (As,Cd,Cr,Ni,Pb) ومتوسطاً للمركب (BrO_3). وان الخطر المسرطن بالتعرض من خلال الفم على الاطفال يكون عالي الاحتمالية بالعناصر (As,Cr, BrO_3) ومحتملاً بالنيكل وغير محتمل بالرصاص. اما بالتعرض عن طريق الجلد فيكون عالي الاحتمالية للعناصر (Cd,Cr,Ni,Pb) ومتوسط الاحتمالية بالزرنيخ. فيما يكون الخطر الصحي المسرطن الكلي على الاطفال عالي الاحتمالية بالعناصر (As,Cd,Cr,Ni,Pb,BrO_3).

Abstract

In the present study, 74 samples were collected from the industrial sector area in the Qayarah district, south of Mosul, northern Iraq. It included 26 soil samples, 27 samples of different types of plants and trees, 14 water samples (including 4 samples from the Tigris River, 9 samples from groundwater, and one sample from a sulfur spring), as well as 5 samples of Tar and 2 samples of oil.

Chemical, physical and mineralogical analyses of these samples were carried out using ICP-MS, GC-MS and XRD to assess the environmental geochemistry of soil, vegetation, surface and groundwater. It was found that the average weight percent of major oxides Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, K_2O, MgO, Na_2O, P_2O_5, SO_3, TiO_2, SiO_2, and LOI reached 3.76%, 17.55%, and 7.83%, 0.37%, 3.51%, 0.14%, 0.13%, 5.28%, 0.09%, 37.80% and 19.80% respectively. In contrast, the average concentration of trace elements As, Cd, Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn, are 6.40, 0.21, 18.69, 101.47, 28.91, 0.03, 542.6, 0.98, 159.1, 9. 94, 0.21, 0.20, 58.0 and 60.7 ppm respectively. The concentrations of trace elements were compared with the average values of the Earth's crust and soils. Some elements showed an increase in concentration due to natural sources (the Fatha and Injana formations) and mineral associations as well as human activity, while others decreased.

The organic matter content ranged from low to very high due to proximity to oil operation sites. The electrical conductivity of the soil was characterized by low to moderate salinity. The pH values showed that the soil is alkaline due to carbonate and gypsum minerals as well as the effect of albite, which contributed to reduce the movement of heavy elements in the soil.

The total mineral content consists of; 49.75% carbonate and evaporites minerals, 39.26% clastic minerals, and 10.94% clay minerals. These minerals exhibit a consistent geographical distribution that follows the region's structure and topography, surface drainage systems, and rock exposures. The carbonate and evaporite minerals content increases in the middle of the Qayarah Fold and decreases towards the fold limb and the floodplain, whereas the clastic and clay minerals increase.

The percentages of petroleum hydrocarbons (aliphatic, cyclic and aromatic) in soil are 96.66%, 1.99% and 1.43% respectively, the aliphatic hydrocarbons were higher in the northwestern part and near Wadi Ain Al-Baida due to oil spills, while aromatic and cyclic hydrocarbons ratios were higher near tar springs and oil operations sites. The hydrocarbon content of aliphatic, cyclic and aromatic

components in water was 68.44%, 19.99% and 11.57%, respectively. Aliphatic, waxy and fats in water were lower than in soil, while aromatic, cyclic, polar and soluble groups were higher. The degassing processes reduced the aliphatic and aromatic content of the oil, which was released into the atmosphere and then into the soil, thus increasing its content of cyclic compounds. The percentage of V and Ni was high and close in the oil samples and the tar sample (T.AB2) resulting from oil spills, while their percentages were close in the tar samples (T.SW5, T.TP, T.SW3), indicating that their source is the same.

Aliphatic compounds extracted from soil hydrocarbons were high in the northwestern part of the study area, while aromatic and cyclic compounds increased near the sulfur spring and industrial areas such as the degassing, and gas power stations. The rate of carboxylic acids resulting from the breakdown of hydrocarbons in the soil reached a high percentage of 96.25% due to the relatively high temperature, soil alkalinity, clay content, biological activities, and the use of organic fertilizer, and it increased towards the southeast.

The analysis of plants and trees showed that the average percentages of the nutritional components Ca, K, Mg, Na, P, and S are 3.22%, 2.14%, 0.553%, 0.195%, 0.235%, and 0.78% respectively. The concentrations (ppm) of heavy elements in plants and trees As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, and Zn are 1.28, 0.094, 3.65, 2.75, 45.21, 11.74, 0.064, 198.16, 1.57, 63.83, 2.57, 0.06, 0.106, 10.36, and 48.56 respectively. The chemical content of the main nutrients (Ca, Mg, S, K) in plants and trees in the study area exceeded the natural limit, while Na was below it. The heavy elements (As, Co, Cr, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, and V) are generally higher than the normal limits, except the heavy elements (Zn, Cu, and Cd), which are lower than the normal limits.

The analysis of the water of the Tigris River showed that the average physicochemical properties of the total dissolved solids, electrical conductivity, temperature, and turbidity, and the pH are 281.75mg/l, 443.25 μS/cm, 23.9 C^o, 4.0 NTU and 8.28 respectively. The main chemical components of elements and oxides (Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl, and NO_3) their rates reached 58.3, 16.6, 16.1, 2.2, 137.5, 69.7, 16.4, and 0.6 mg/l respectively. The average concentration of heavy elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn, and F) are 1.54, 0.01, 0.003, 0.53, 0.48, 0.36, 3.12, 2.78, 0.12, 0.7, 0.36, 2.52, 4.05, and 0.14 ppb respectively.

The analysis of groundwater and sulfur springs in the study area revealed that the average value of the pH, total dissolved solids, electrical conductivity, turbidity and temperature are 8.2, 6491 mg/l, 7515 μS/cm, 1.1 NTU, and 23.4 C^o

respectively. The chemical components of the main elements and oxides (Ca, Mg, Na, K, HCO_3, SO_4, Cl, and NO_3) are 5889.9, 2691.1, 1056.3, 7.1, 189.1, 2843, 1281.3, 14.4 mg/l respectively. The average concentration of heavy and trace elements (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, Zn, Br, and F) are 0.71, 0.002, 0.008, 7.27, 0.62, 0.008, 86.8, 10.47, 3.88, 0.13, 0.27, 3.35, 3.47, 3.68, 1.26 and 0.97 ppb respectively.

The water in the study area was classified into four classes using the Piper classification. The water samples of the Tigris River fell into class B. The groundwater samples GR5 and GR7 were in class C. The samples GR1, GR2, GR3, GR4 and GR6 were in class E. The samples GR9 and SW5 were in class G. Stiff's classification of the water identified five types. The water samples from the Tigris River were moderately alkaline, with dominance of carbonates and sulphates. The groundwater samples GR5, GR6, GR7 and GR8 were moderately alkaline with predominate of sulphates. Whereas, sample GR9 was alkaline due to an increase in the proportion of sodium and sulfate. The sulfur spring water sample SW5 was alkaline due to the increased proportion of sodium, chlorine and sulfate.

The classification of the waters of the Tigris River into three groups was due to its influence on the quality of the carbonate rocks exposed on the surface, as well as the prevailing soil core in the study area, which sheds its weathering products into the river water, especially since the slope of the layers is towards the river. The classification of groundwater and the sulfur spring north of the Qayarah anticline into different groups is due to the vertical thickness of the evaporites, as well as their proximity to the surface where the evaporite rocks are exposed. The second group of well water, south of the Qayarah anticline was characterized by its lack of influence from evaporite rocks.

The factor analysis and spatial distribution maps showed that the region's composition influences groundwater contamination by petroleum compounds and heavy metals. Various factors such as the general slope of the land, prevailing wind direction, mineral components and leaching of hydrocarbon materials from deteriorating pipes, influence the distribution of heavy metals and other pollutants in the study area.

The geoaccumalation coefficient (I_{geo}) indicates that the soil samples are highly contaminated with selenium, moderately contaminated with arsenic, and have low- to moderate contamination with elements such as Cd, Cr and Ni. On the other hand, elements Co, Cu, Hg, Mn, Mo, Pb, Sb, V and Zn appear non-contaminated. The enrichment factor ranged from high enrichment with the elements Se, As and

Ni, to a moderate enrichment with the elements Sb, Cd, Cr, Zn, Pb, Co, Mo, Mn and Cu. The enrichment factor was slight for V and Hg. The order of enrichment in soil samples is as follows Se> As> Ni> Sb> Cd> Cr> Zn> Pb> Co> Mo> Mn> Cu> V> Hg.

The contamination factor ranges from low contamination with elements (Zn, Pb, Co, Mo, Mn, Cu, V, Hg), moderate contamination with elements (Ni, Sb, Cd, Cr), to a significant degree of contamination with elements (As, Se). The pollution load factor (PLI) showed that the soil samples (QF5-S, QF7-S, QF8-S, GS3-S, AB2-S, AB3-S, AB4-S, AB5-S, AB6-S, QR1-S, QR2-S) are uncontaminated, while the samples (QF1-S, QF2-S, QF3-S, QF4-S, QF6-S, QF9-S, GS1-S, GS2-S, GS4-S, GS5 -S, GS6-S, AB1-S, GS-S, TP-S, DS-S,) are contaminated.

The soil contamination with heavy metals in the soil does not pose a non-carcinogenic hazard according to the hazard index (HI). However, there is a high potential cancer risk for adults and children through ingestion of the elements such as As, Co, Cr and Ni. In addition, low potential cancer risk for Cd and Pb. Inhalation poses a high potential cancer risk for As, Co, Cr and Ni with a low for Cd, and Pb. The carcinogenic risk through dermal exposure to the elements As, Cr and Ni carry potentials, while exposure to Cd has low potential risk.

The bioaccumulation coefficient (BAC) indicates that heavy metals As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, V and Zn do not accumulate in the plant species. However, Hg was enriched in all types of plants studied, but molybdenum was enriched in all plants except Eucalyptus. In terms of the accumulation factor of heavy elements index (MAI) in plants, it has been shown that barley plants are enriched with all heavy elements, while manganese (Mn) is only enriched in Eucalyptus trees.

The water from the Tigris River is suitable for human consumption based on the water quality index (WQI). However, well GR9 has poor-quality water, and wells GR6 and GR7 are of very poor-quality water, the water from the other wells and the sulfur spring was unsuitable for use.

The water of the Tigris River was considered good for irrigation based on its TDS and EC values, while the groundwater was unsuitable. According to the Na%, all water samples from the Tigris River and GR7 are excellent for irrigation, wells GR1, GR2, GR5, GR6 and GR8 were good, wells GR3 and GR4 are allowed, wells GR9 and SW5 can be used with extreme caution. According to the sodium adsorption ratio (SAR), all water was excellent for irrigation, except GR3 and GR4 were good. The residual sodium carbonate (RSC) revealed that all water in the area is excellent for irrigation. While the permeability index (PI) showed

University of Mosul

College of Science

Environmental Geochemistry Assessment of Industrial Area in Qayarah, Northern Iraq

A Thesis submitted by

Ibraheem Rasheed Baddi Hassan

To The Council of College of Science / University of Mosul

In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Doctor of philosophy in Geology

Supervised By

Asst. Professor

Dr.Aahed Younis Al-Mallah

Professor

Dr. Fawzi M. Al-Beyati

1446 A.H. 2024 A.D.