



جامعة الموصل  
كلية العلوم

التقييم الجيوكيميائي للعناصر الثقيلة لرواسب الوديان  
في مدينة الموصل/ العراق

علي هاشم حمو الدباغ

رسالة ماجستير  
علوم الأرض / الجيوكيمياء

بإشراف  
أ.م.د. قتيبة توفيق اليوزبكي



وَفَالِ الْاَرْضِ قَطْعٌ مُتَبَاوِرَاتٍ وَجَنَّاتٍ مِنْ  
اَعْنَابٍ وَزُرْعٍ وَنَخِيلٍ صُنْوَانٍ وَغَيْرِ صُنْوَانٍ  
يَسْقَى بِمَاءٍ وَّاحِدٍ وَنَفْضُلٌ بَعْضُهَا عَلٰى  
بَعْضٍ فَاِذَا اُكْلُ اِنْ فَاِذَا كَانَ لِرِآيَاتٍ لِّقَوْمٍ  
يَعْقِلُوْنَ ﴿٤﴾

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ  
الْعِزَّةِ الْعَظِيْمَةِ

سورة الرعد، الآية 4

## ﴿ شُكْرٌ وَتَقْدِيرٌ ﴾

الحمدُ لله القائلُ في محكمِ كتابِهِ ﴿وَإِذْ تَأْذِنُ رَّبُّكُمْ لَكُمْ لَأَزِيدَنَّكُمْ﴾، الحمدُ لله الذي بنعمته تتمَّ الصالحاتُ، وبفضله تنزلُ الخيراتُ والبركاتُ، وبتوفيقِهِ تتحققُ المقاصدُ والغاياتُ، والصلاةُ والسلامُ على رسلِ الله الطيبين الطاهرين، لا نفرق بين أحدٍ من رسلِهِ. وبعدُ، لا يسعني وأنا أكملُ عملي المتواضع هذا، إلا أن أشكرَ كلَّ من كان عوناً لي فيه، وأبدأ، بشكرِ روحِ والدي الطيبة، ملهمتي في كلِّ وقتٍ وحين، وأمِّي الغالية أطلَّ اللهُ عمرها وأمدَّها بموفورِ الصحةِ وتمامِ العافية، وزوجتي وقلداتِ كبدي الأعزَّة الذين تحملوا معي العناء، وأخي وأخواتي وعوائلهم الطيبة.

شكرُ خاصٍ لروحِ معلمي الطيبة في الصفِّ الأولِ الابتدائيِّ سليمان عبد الكريم رحمةُ الله تعالى. كما وأتقدمُ بجزيلِ الشكرِ والعرفانِ لمشرفي العزيز الدكتور الفاضل قتيبة توفيق اليوزبكي المحترم الذي وقف بجانبني ولم يبخل بوقته وجهده ونصحه ومعلوماته القيِّمة.

وفي هذا المقام لا يفوتني أن أتقدم بالشكر والامتنان للسيدات والسادة الكرام...

- جامعة الموصل/ متمثلة برئيسها الدكتور قصي كمال الدين الأحمدي المحترم.
- كلية العلوم/ جامعة الموصل متمثلةً بالسيدة عميد الكلية الدكتورة هيام عادل الطائي المحترمة.
- قسم علوم الأرض/ جامعة الموصل متمثلاً بالسيد رئيس القسم الدكتور زيد عبد الوهاب ملك المحترم، وسلفه الدكتور محمد أحمد محمد الحاج المحترم.
- الدكتورة سينا عبد الله علي المحترمة، مسؤولة شعبة الدراسات العليا/ كلية العلوم.
- الدكتور أحمد نذير الفتح المحترم، مسؤول الدراسات العليا/ قسم علوم الأرض.
- الدكتور نشأت مبارك صليوا المحترم، عميد كلية الفنون الجميلة/ جامعة الموصل.
- الدكتور عاصم عادل صباح المحترم معاون العميد العلمي/ كلية التربية الأساسية/ جامعة الموصل.
- الدكتور حسن كطوف جاسم المحترم، قسم علوم الأرض/ جامعة بغداد.
- السيد محمد توفيق الصميدعي المحترم، مسؤول الورشة الجيولوجية/ قسم علوم الأرض/ جامعة الموصل.
- زملاء الدراسة...

سامي وسمي ياسين - عمر صدقي رشيد - محمد حامد إبراهيم المحترمون.

## المستخلص

أُجريت دراسة جيوكيميائية وبيئية استهدفت رواسب الوديان الرئيسية، وعددها تسعة في جانبي مدينة الموصل وهي في الجانب الأيمن (عكاب، اليرموك، العين، المأمون)، وفي الجانب الأيسر (الرشيدية، الخرازي، نهر الخوصر، الدانفيلي، الشور)، وذلك لغرض تقييم جودتها كونها مؤشراً أساسياً لتلوث المياه وخاصة أنها تصب في نهر دجلة، إذ تعد هذه الرواسب مستجمعاً دائماً أو مؤقتاً للعديد من العناصر الثقيلة الملوثة. دُرست الأودية حقلياً وتُبعت مساراتها وحُددت طبيعتها وخصائصها، بالاستعانة بنظام تحديد الموقع (GPS). تحيط بجانبَي المدينة الشرقي والغربي مجموعة من الطيات، بينما تشكل الأجزاء الجنوبية والشمالية منها تضاريس متموجة يتخللها مجموعة من الأودية الضحلة باتجاه نهر دجلة. تحتوي هذه الوديان على رواسب مصدرها الرئيس الصخور الأم من تكوين الفتحة وترسبات العصر الرباعي والتراب المشتقة منها في الجانب الأيمن، وتكوين الفتحة وإنجانة وترسبات العصر الرباعي فضلاً عن التراب المشتقة منها في الجانب الأيسر، تمر هذه الأودية في مناطق سكنية وصناعية وزراعية، غالباً ما تستخدم هذه الأودية كمكبات للنفايات الصلبة إضافة إلى كونها أصبحت بديلاً عن نظام الصرف الصحي في المدينة إذ تُطرح وتُصرف مياه مختلف الأنشطة البشرية (المدنية، والصناعية، والزراعية) إلى هذه الوديان.

جُمعت (81) عينة من هذه الأودية، وانتخبَ منها (61) عينة لغرض الدراسة والتحليل الكيميائي بواسطة تقنية الأشعة السينية الوميضية (XRF) لتحديد الأكاسيد الرئيسية والثانوية، إضافة إلى عدد من العناصر الأثرية، في المختبر الألماني - العراقي في جامعة بغداد. قُدِّرت كمية المادة العضوية، وكمية ثاني أكسيد الكربون، والفقْدان بالحرق في مختبر الجيوكيمياء في قسم علوم الأرض في جامعة الموصل. كانت تراكيز الأكاسيد الرئيسية والثانوية بالنسبة المئوية الوزنية (wt%) كالتالي: في أودية الجانب الأيمن  $SiO_2$  (-25.22، 37.92، المعدل 32.12)،  $CaO$  (20.32-33.59، المعدل 26.5)،  $Al_2O_3$  (5.50-8.63، المعدل 6.85)،  $Fe_2O_3$  (3.86-6.10، المعدل 4.7)،  $MgO$  (2.15-4.30، المعدل 2.89)،  $CO_2$  (7.42-16.79، المعدل 12.46)،  $TiO_2$  (0.52-0.79، المعدل 0.66)،  $Na_2O$  (0.37-1.08، المعدل 0.74)،  $K_2O$  (0.88-1.17، المعدل 1.03)،  $P_2O_5$  (0.12-0.63، المعدل 0.28)،  $SO_3$  (0.19-1.39، المعدل 0.76)،  $Cl$  (0.01-0.05، المعدل 0.03)، أما المادة العضوية (O.M.) فكانت (4.37-17.72، المعدل 7.61). وبلغت تراكيز العناصر الأثرية بوحدة (جزء من المليون) كالتالي: الفناديوم (49-133، المعدل 86)، الكروم (168-399، المعدل 231)، المنغنيز (346-683، المعدل 231)، الكوبلت (3-17، المعدل 9)، النيكل (91-157، المعدل 117)، النحاس (27-151، المعدل 74)، الخارصين (83-842، المعدل 319)، الزرنيخ (4-10، المعدل 7)، الروبيديوم (17-25، المعدل 21)، الزركونيوم (103-166، المعدل 132)، الرصاص (12-536، المعدل 111). في حين كانت تراكيز الأكاسيد الرئيسية والثانوية في أودية الجانب الأيسر

كالآتي:  $SiO_2$  (39.52-26.62، المعدل 34.67)،  $CaO$  (34.13-17.73، المعدل 24.01)،  $Al_2O_3$  (9.61-4.29، المعدل 7.50)،  $Fe_2O_3$  (6.13-2.35، المعدل 4.70)،  $MgO$  (4.53-1.72، المعدل 3.34)،  $CO_2$  (19.25-8.23، المعدل 11.23)،  $TiO_2$  (0.85-0.37، المعدل 0.69)،  $Na_2O$  (1.46-0.42، المعدل 0.76)،  $K_2O$  (1.54-0.87، المعدل 1.23)،  $P_2O_5$  (0.55-0.11، المعدل 0.24)،  $SO_3$  (4.73-0.16، المعدل 0.96)،  $Cl$  (0.18-0.01، المعدل 0.04)، أما المادة العضوية (O.M.) فكانت (15.75-1.5، المعدل 6.82). وبلغت تراكيز العناصر الأثرية: الفناديوم (54-117، المعدل 86)، الكروم (479-159، المعدل 268)، المنغنيز (870-393، المعدل 605)، الكوبلت (3-20، المعدل 10)، النيكل (174-54، المعدل 126)، النحاس (246-13، المعدل 56)، الخارصين (40-790، المعدل 207)، الزرنيخ (3-11، المعدل 6)، الروبيديوم (16-33، المعدل 24)، الزركونيوم (89-185، المعدل 142)، الرصاص (8-457، المعدل 68).

أفرز التحليل العاملي (Factor analysis) لرواسب الجانب الأيمن ثلاث مركبات رئيسة تمثل (79.84) من مجموع التباينات variance، وكانت (44.75، 28.05، 7.04) للعوامل الأول، والثاني، والثالث، على التوالي، والتي تعكس التحكم في توزيع العناصر في المادة العضوية والمعادن الثانوية، وفي مجموعة المعادن الطينية ومجموعة أكاسيد الحديد. بالإضافة إلى مجموعة الكربونات. بينما أفرز التحليل العاملي في رواسب الجانب الأيسر أربع مركبات رئيسة تمثل (80.86) من مجموع التباينات، وكانت كالآتي: (المركبة الأولى: 33.83، المركبة الثانية: 29.75، المركبة الثالثة: 11.82، المركبة الرابعة: 5.46)، وتمثل توزيع العناصر ضمن مجموعة المعادن الطينية، والمادة العضوية، والمعادن الثانوية للهالايت والجبسوم، إضافة إلى معدن الفلدسبار.

يشير دليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) إلى أن أعلى تراكيز للعناصر الثقيلة كانت في المناطق والمواقع الصناعية في أودية عكاب واليرموك والعين في الجانب الأيمن، وبالنسبة لأودية الجانب الأيسر كانت أعلى التراكيز في وادي الدانفيلي وخاصة في الجزء المار في الحي الصناعي، وبالتالي يبدو أن هذه المواقع ذات مستويات عالية من التلوث مقارنة بالمواقع الأخرى التي كانت ملوثة بنسب أقل وأحياناً غير ملوثة. أظهرت قيم عامل الإغناء الترتيب الآتي بالنسبة لرواسب الجانب الأيمن؛ الرصاص < الخارصين < الكروم < النحاس < النيكل < الزرنيخ، أما في الجانب الأيسر فكانت متباينة لكن بشكل عام كانت بالترتيب؛ الرصاص < الكروم < الخارصين < النيكل < النحاس < الزرنيخ.

## ثبت المحتويات

الصفحة	الموضوع	التسلسل
I	المستخلص	-
III	ثبت المحتويات	-
VI	قائمة الجداول	-
VII	قائمة الأشكال	-
VIII	قائمة الصور	-
IX	قائمة المختصرات	-

## الفصل الأول: المقدمة

1	تمهيد	1-1
2	موقع منطقة الدراسة	2-1
3	جيولوجية منطقة الدراسة	3-1
5	جيومورفولوجية منطقة الدراسة	4-1
6	الدراسات السابقة	5-1
10	وصف الأودية في منطقة الدراسة	6-1
11	أودية الجانب الأيمن	1-6-1
13	وادي عكاب	1-1-6-1
14	وادي اليرموك	2-1-6-1
15	وادي العين	3-1-6-1
16	وادي المأمون	4-1-6-1
17	أودية الجانب الأيسر	2-6-1
17	وادي الرشيدية	1-2-6-1
17	وادي الخرازي	2-2-6-1
18	وادي نهر الخوصر	3-2-6-1
19	وادي الدانفيلي	4-2-6-1
20	وادي الشور	5-2-6-1
21	هدف الدراسة	7-1

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

22	العمل الحقل	1-2
31	العمل المختبري	2-2
32	التحليل الجيوكيميائي للأكاسيد الرئيسية والعناصر الاثرية	1-2-2
33	تقدير كمية المادة العضوية	2-2-2
34	تقدير الفقدان الكلي بالحرق	3-2-2
34	تقدير كمية ثاني أكسيد الكربون بعد التحميض	4-2-2
35	الصحة والدقة التحليلية	3-2
35	الصحة التحليلية	1-3-2
35	الدقة التحليلية	2-3-2
36	معالجة البيانات	4-2
36	برنامج مايكروسوفت اكسل 2019	1-4-2
36	برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)	2-4-2
37	برنامج الخرائط (ArcMap)	3-4-2
37	مؤشرات خطر التلوث	5-2
37	مؤشر التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ )	1-5-2
38	عامل الإغناء (EF)	2-5-2
39	دلائل جودة الرواسب	6-2

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

40	تمهيد	1-3
40	معاملات الارتباط	2-3
45	جيوكيميائية الأكاسيد الرئيسية والثانوية	3-3
45	ثاني أكسيد السليكون ( $SiO_2$ )	1-3-3
48	أكسيد التيتانيوم ( $TiO_2$ )	2-3-3
50	أكسيد الألمنيوم ( $Al_2O_3$ )	3-3-3
51	أكاسيد الحديد ( $Fe_2O_3$ )	4-3-3
57	أكسيد المغنيسيوم (MgO)	5-3-3
58	أكسيد الكالسيوم (CaO)	6-3-3
59	أكسيد الصوديوم ( $Na_2O$ )	7-3-3
60	أكسيد البوتاسيوم ( $K_2O$ )	8-3-3

61	خامس أكسيد الفسفور ( $P_2O_5$ )	9-3-3
63	المادة العضوية	10-3-3
64	جيوكيميائية العناصر الثقيلة	4-3
64	الفناديوم (V)	1-4-3
68	الكروم (Cr)	2-4-3
69	النيكل (Ni)	3-4-3
71	المنغنيز (Mn)	4-4-3
72	الكوبلت (Co)	5-4-3
73	النحاس (Cu)	6-4-3
74	الزئبق (Zn)	7-4-3
75	الزرنيخ (As)	8-4-3
76	الرصاص (Pb)	9-4-3

#### الفصل الرابع: الجيوكيمياء البيئية

78	تمهيد	1-4
79	التحليل العاملي (تحليل المركبات الرئيسية)	2-4
80	المركبات الرئيسية في الجانب الأيمن	1-2-4
80	المركبة الرئيسية الأولى	1-1-2-4
81	المركبة الرئيسية الثانية	2-1-2-4
82	المركبة الرئيسية الثالثة	3-1-2-4
83	المركبات الرئيسية في الجانب الأيسر	2-2-4
83	المركبة الرئيسية الأولى	1-2-2-4
84	المركبة الرئيسية الثانية	2-2-2-4
85	المركبة الرئيسية الثالثة	3-2-2-4
85	المركبة الرئيسية الرابعة	4-2-2-4
86	التوزيع المكاني للعناصر الثقيلة	3-4
86	أودية الجانب الأيمن	1-3-4
88	أودية الجانب الأيسر	2-3-4
90	بعض مؤشرات التلوث	4-4
90	دليل التراكم الأرضي	1-4-4
90	الجانب الأيمن	1-1-4-4



91	الجانب الأيسر	2-1-4-4
93	عامل الإغناء	2-4-4
93	الجانب الأيمن	1-2-4-4
95	الجانب الأيسر	2-2-4-4
97	أدلة جودة الرواسب	5-4
97	الجانب الأيمن	1-5-4
98	الجانب الأيسر	2-5-4

### الفصل الخامس: الاستنتاجات والتوصيات

99	الاستنتاجات	1-5
100	التوصيات	2-5
101	المصادر العربية	
102	المصادر الأجنبية	
الملخص باللغة الإنكليزية (Abstract)		

### قائمة الجداول

الصفحة	العنوان	الجدول
24	مواصفات الأودية في منطقة الدراسة	1-2
36	نتائج التحليل للنماذج المكررة (DB1, Y3, SHA)، لتحقيق الدقة التحليلية	2-2
38	تصنيف مؤشر التراكم الأرضي (I <sub>geo</sub> )، (Förstner & Müller, 1981)	3-2
38	فئات عامل الإغناء (EF)، (Barbieri, 2016)	4-2
39	حدود بعض دلائل جودة الرواسب للمعادن الثقيلة (ppm)	5-2
41	مصفوفة معامل الارتباط بين المكونات الرئيسية والثانوية والأثرية لرواسب الأودية في الجانب الأيمن	1-3
43	مصفوفة معامل الارتباط بين المكونات الرئيسية والثانوية والأثرية لرواسب الأودية في الجانب الأيسر	2-3

46	تراكيز الأكاسيد الرئيسية والثانوية، والمادة العضوية وثاني أكسيد الكربون، وماء التبلور لرواسب الأودية في منطقة الدراسة، وقيمها المرجعية في الرواسب والقشرة القارية العليا	3-3
65	تراكيز العناصر الثقيلة بوحدة (ppm) في رواسب الأودية، والقيم المرجعية لرواسب الأنهار، وقيم أدلة جودة الرواسب	4-3
81	التحليل العاملي لنماذج رواسب أودية الجانب الأيمن	1-4
84	التحليل العاملي لنماذج رواسب أودية الجانب الأيسر	2-4
91	دليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن	3-4
92	دليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيسر	4-4
94	عامل الإغناء (EF) لبعض العناصر الثقيلة في رواسب الجانب الأيمن	5-4
96	عامل الإغناء (EF) لبعض العناصر الثقيلة في رواسب الجانب الأيسر	6-4

### قائمة الأشكال

الصفحة	العنوان	الشكل
2	خارطة العراق موضحاً عليها موقع منطقة الدراسة	1-1
10	خارطة الأودية الرئيسية في جانبي مدينة الموصل	2-1
22	خارطة الأودية الرئيسية في الجانب الأيمن من مدينة الموصل	1-2
23	خارطة الأودية الرئيسية في الجانب الأيسر من مدينة الموصل	2-2
52	العلاقة بين أكسيد الألمنيوم والأكاسيد الرئيسية والمادة العضوية في رواسب أودية الجانب الأيمن	1-3
53	العلاقة بين أكسيد الألمنيوم وبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن	2-3
54	العلاقة بين أكسيد الألمنيوم والأكاسيد الرئيسية والمادة العضوية في رواسب أودية الجانب الأيمن	3-3

55	العلاقة بين أكسيد الألمنيوم وبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن	4-3
83	التحليل العاملي لنماذج أودية الرواسب في الجانب الأيمن (إسقاط المركبات الرئيسة الأولى والثانية)	1-4
85	التحليل العاملي لنماذج أودية الرواسب في الجانب الأيسر (إسقاط المركبات الرئيسة الأولى والثانية)	2-4
88	خرائط التوزيع المكاني لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن، (التركيز بوحدة ppm)	3-4
89	خرائط التوزيع المكاني لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيسر، (التركيز بوحدة ppm)	4-4

### قائمة الصور

الصفحة	العنوان	الصورة
11	التبطين بالحجر والأسمنت في وادي العين قرب دورة السواس في الجانب الأيمن من مدينة الموصل	1-1
11	طبقات الجبسوم التابعة لتكوين الفتحة في وادي العين	2-1
12	تجمع النفايات والقناني والقطع البلاستيكية عند إحدى قناطر وادي المأمون	3-1
13	الغطاء النباتي الكثيف الذي يغطي الأودية	4-1
14	قطيع من الجاموس يسبح في وادي عكاب في منطقة حاوي الكنيسة	5-1
15	جدار منهار على أطراف وادي عكاب بسبب ظاهرة التخسف (Karst) في المنطقة الصناعية	6-1
16	مستجمع نفايات تابع لبلدية الموصل قرب وادي العين في حي المنصور	7-1
18	رمي النفايات قرب وادي الرشيدية في الموصل	8-1
20	حرق المطروحات الصناعية المتنوعة بالقرب من وادي الدانفيلي في المنطقة الصناعية	9-1
21	رمي الحيوانات النافقة بالقرب من وادي الشور في منطقة كوكجلي	10-1
23	حفظ النماذج في أكياس بلاستيكية وترميزها	1-2

23	نموذج من رواسب الأودية بعمق 20 سم	2-2
32	جهاز الطحن (HERZOG)	3-2
33	جهاز الأشعة السينية الومضية XRF، موديل Spectro Xepos في المختبر الألماني - العراقي / جامعة بغداد	4-2
34	عملية إخراج النماذج من الفرن الكهربائي Muffle Furnace	5-2
35	الميزان عالي الحساسية (0.1 mg)، SARTORIUS GMBH، GOTTINGEN	6-2

### قائمة المختصرات

الرمز	التفصيل باللغة الإنكليزية	التفصيل باللغة العربية
EF	Enrichment Factor	عامل الإغناء
ERI	Ecological Risk Index	مؤشر المخاطر البيئية
ERL	Effect Range Low	نطاق التأثير المنخفض
ERM	Effect Range Median	نطاق التأثير المتوسط
ESRI	Environmental System Research Institute	معهد أبحاث النظم البيئية
GPS	Global Positioning System	نظام التموضع العالمي
$I_{geo}$	Geoaccumulation Index	دليل التراكم الأرضي
pH	Potential of Hydrogen or Power of Hydrogen	الأس الهيدروجيني
PLI	Pollution Load Index	دليل حمل التلوث
ppm	Part Per Million	جزء من المليون
RI	Potential Ecological Risk Index	مؤشر المخاطر البيئية المحتملة
TRV	Toxicity Reference Value	القيمة المرجعية للسمية
UCC	Upper Continental Crust	القشرة القارية العليا
US-EPA	United States Environmental Protection Agency	وكالة حماية البيئة الأمريكية
WGS	World Geodetic System	النظام الجيوديسي العالمي
WLFZ	Water Level Fluctuation Zone	نطاق تقلب مستوى المياه

# الفصل الأول

## المقدمة

لقد أصبحت مشكلة التلوث ظاهرة واضحة في المجتمعات الحضرية آخذة بالتزايد بشكل ملحوظ، إذ تزداد تراكيز العناصر في الرواسب والمياه والهواء. يعرف التلوث البيئي على أنه تواجد المادة الكيميائية بمستويات سامة في التربة والماء والهواء نتيجة لمؤثرات عرضية أو متعمدة من خلال المطروحات الناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة (Ahmadpour *et al.*, 2012; Ali *et al.*, 2019). تتعرض الرواسب السطحية للأنهار والأودية إلى مختلف أنواع التلوث بما فيه التلوث بالعناصر الثقيلة وذلك لسهولة انتقالها من مصادرها المختلفة (Wuana & Okieimen, 2011). تظهر العناصر الثقيلة في الأنظمة المائية بشكل طبيعي نتيجة عمليات التعرية المتعاقبة للصخور الحاملة لها، ومن خلال المصادر البشرية بما في ذلك المدنية والصناعية والزراعية (Çevik *et al.*, 2009)، وتربية الحيوانات المواشي والأغنام والدواجن، والجريان السطحي الأرضي، ومياه وحماة الصرف الصحي (Wuana & Okieimen, 2011). تعد جودة الرواسب مؤشر بيئي مهم لتلوث المياه (Chabukdhara & Nema, 2012) إذ إن الرواسب هي بالوعة دائمة أو مؤقتة لمختلف الملوثات، بما في ذلك العناصر التي يتم تصريفها في البيئة (Elkady *et al.*, 2015).

لا يمكن للعناصر الثقيلة أن تتحلل كيميائياً أو حياتياً على خلاف المادة العضوية التي من الممكن أن تتأكسد من خلال النشاط البكتيري، وبذلك تتراكم في التربة لفترة طويلة (Lukman *et al.*, 2013). يمثل التلوث بالعناصر الثقيلة خطراً على حياة الإنسان والنظام البيئي بشكل عام، من خلال تناول هذه العناصر عبر السلسلة الغذائية (Fu *et al.*, 2014; Z. Huang *et al.*, 2020)، واستغلال المياه الجوفية الملوثة لأغراض الشرب. تؤثر تراكيز العناصر الثقيلة فوق مستوياتها الطبيعية على التوازن المايكروبيولوجي للتربة ونقل من خصوبتها (Barbieri, 2016) وبالتالي يؤدي إلى انخفاض استخدام الأراضي للإنتاج الزراعي مما يشكل خطراً على انعدام الأمن الغذائي، ومشاكل حيازة الأراضي (Akçay *et al.*, 2003; Jia *et al.*, 2020).

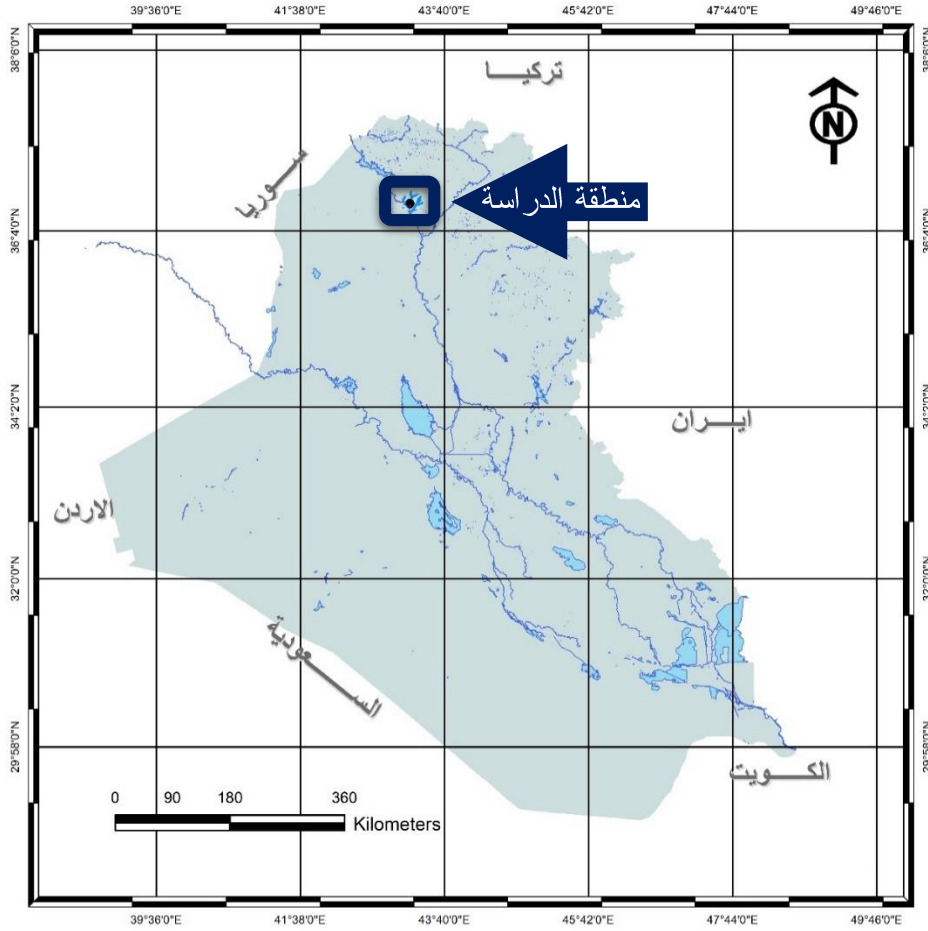
يعدّ التقدير المباشر لتراكيز العناصر الثقيلة في الرواسب طريقة غير ملائمة لتقييم التلوث، إذ إن العناصر الثقيلة (الناشئة عن كل من مصادر القشرة الأرضية والأنشطة البشرية) تتراكم في الرواسب بنفس الطريقة، لذا تستخدم طرق التفسير الجيوكيميائي والطرق الإحصائية المختلفة كالتحليل العاملي وتحليل المركبات الأساسية في معالجة وتفسير البيانات المستحصلة من التحليل الجيوكيميائي بتقنياته المختلفة (Idris, 2008; Y. Liu *et al.*, 2016).

## الفصل الأول..المقدمة

تختلف وتتعدد المصادر التي تكونها الرواسب النهرية، وبالتالي فهي عبارة عن تجمعات غير متجانسة لأطوار متعددة كالمادة العضوية والمعادن الطينية والأكاسيد والكبريتيدات والكربونات التي تعد حاملة للعناصر الملوثة عن طريق الامتزاز بشكل رئيس (C. Zhang et al., 2014).

### 1-2 موقع منطقة الدراسة:

تقع مدينة الموصل في شمال العراق بين خطي طول 43.211 E - 43.167 E ودائرتي عرض 36.308 N - 36.457 N الشكل (1-1)، تعدّ المدينة ثاني أكبر المدن العراقية من حيث عدد السكان إذ بلغ عدد سكانها لغاية آذار 2021 (1.667.731) نسمة وفقاً لموقع world meter (World Meter, 2021). يمر نهر دجلة عبر المدينة ويقسمها إلى جانبين. تعدّ المدينة مركزاً تجارياً وصناعياً مهماً، فيها منطقتان صناعيتان تقعان في جانبي المدينة، كما تعد المدينة من أوائل المدن المنتجة زراعياً، فضلاً عن وجود ثروة حيوانية كبيرة إذ تقدر النسبة المئوية للمواشي والأغنام في المحافظة بـ 12% من الحصة الوطنية (الأطلس الإحصائي الزراعي، 2008). يمتاز مناخ المدينة بكونه شبه جاف، ويبلغ معدل الساقط المطري السنوي 356 ملم (Awchi & Jasim, 2017).



الشكل (1-1): خارطة العراق موضحاً عليها موقع منطقة الدراسة في مدينة الموصل

تقع مدينة الموصل على جزء من الصفيحة العربية (Arabian Plate) وعلى الحافة الجنوبية لحزام الطي والتصدع (Fold-Thrust Belt) ضمن نطاق الطيات الواطئة (Low Folded Zone) (Bulmer, 2019; Jassim & Goff, 2013). يحيط المدينة، من كلا جانبيها، عدد من الطيات، حيث تقع طيات الفاضلية وبعشيقية وعين الصفرة في الجزء الشرقي من المدينة وباتجاه شمال غرب - جنوب شرق بموازة سلسلة جبال زاكروس، بينما تقع طيات عطشان وشيخ إبراهيم وعداية ونويكط باتجاه شمال غرب - جنوب شرق وطيات بطمة وعلان وعين زالة باتجاه شرق غرب في الجزء الغربي منها (Yacoub *et al.*, 2012)، بينما تمتاز الأجزاء الشمالية والجنوبية بتضاريس متموجة واطئة يجري خلالها عدد من الوديان الطويلة والضحلة والمتوازية تقريباً باتجاه نهر دجلة، وبذلك تعد المنطقة المدروسة منخفضاً طبوغرافياً. تقع أوطاً نقطة في المنخفض على السهل الفيضي للنهر ويبلغ ارتفاعها 215 م فوق مستوى سطح البحر، بينما تقع أعلى نقطة على الحافتين الشرقية والغربية وعلى ارتفاع 300 م تقريباً فوق مستوى سطح البحر، وهكذا يتشكل المنخفض الواسع الذي يتوسطه نهر دجلة وتصب فيه وديان المدينة التي تقع على جانبي النهر (Al-Shaikh & Ahmed, 2005).

- تتكشف في منطقة الدراسة التكوينات الجيولوجية الآتية من الأقدم إلى الأحدث:

#### 1- تكوين الفتحة (المايوسين الأوسط):

أطلقت تسمية تكوين الفتحة بعد أن اقترحها (Buday & Jassim, 1984) حيث كان يطلق عليه سابقاً تكوين الفارس الأسفل. يعدّ تكوين الفتحة من التكوينات المهمة لاحتوائه على طبقات ملحية قليلة النفاذية تعمل كصخور غطاء لكثير من التراكيب الجيولوجية الحاوية على النفط والغاز في شمال ووسط العراق، كما تعدّ صخور الحجر الجيري والجبس مواد أولية أساسية في صناعة مواد البناء، فضلاً عن احتوائه على الكبريت في حقل المشراق جنوبي المدينة. يتألف التكوين من دورات متناوبة من المارل الأخضر والجبس العقدي والملح الصخري وطبقات من الحجر الجيري وبأسماك متباينة (الجبوري، 1988)، حيث حددت الشركة الصينية التي أنشأت الجسر الخامس في مدينة الموصل سمكه في المدينة حوالي 175 م، وهو مقارب لما ذكره (Al-Rawi, 1971) حيث ذكر أن سمك التكوين في الموصل يتراوح بين (170-190) م، ويقل تدريجياً باتجاه الشمال الشرقي، وذكر المبارك ويوحنا (Al-Mubarak & Youkhanna, 1976) أنّ سمك التكوين جنوبي الموصل يبلغ حوالي 174 م، بينما يصل إلى حوالي 268 م في منطقة الفتحة، وذكر أديب، (1988) أن آخر دراسة في حينه حددت سمك التكوين قرب مدينة



## الفصل الأول..المقدمة

الموصل بين (80-90) م، وقد عزا المبارك ويوحنا، (1976) هذه التباينات في السمك إلى ترسيب تعاقبات أخرى جديدة.

### 2- تكوين إنجانة (المايوسين الأعلى):

تكوين الفارس الأعلى هو التسمية القديمة لتكوين إنجانة والتي اقترحها (Buday & Jassim, 1984). ذكر التكوين لأول مرة من قبل باسك ومايو، (1918) (Bellen et al., 1959). يتباين سمك التكوين إذ يصل أعلى سمك له 2000 م في مركز حوض الترسيب عند نطاق اقدام الجبال، بينما يقل السمك في مدينة الموصل ويبلغ حوالي 38.5 م (الجبوري، 1988) يتألف التكوين من تناوب دورات رسوبية تأخذ بالتتعم تدريجياً اتجاه الأعلى لصخور الحجر الطيني الحمراء والبنية والرمادية وصخور المارل والصخور الغرينية والحجر الرملي الموسط - الخشن (اليوزبكي وآخرون، 2018).

### 3- ترسبات العصر الرباعي (Quaternary deposits):

تتوزع هذه الترسبات على أجزاء واسعة من مدينة الموصل وتتباين هذه الترسبات من منطقة إلى أخرى، ويكون المشهد كالاتي؛ مجموعة من المصاطب النهرية التي تمثل بقايا ترسبات السهول الفيضية السابقة للنهر موزعة على جانبيه، وتعد ذات أهمية كبيرة كونها تعكس تغير الظروف البيئية وتحول مجرى النهر على عدة مراحل وصولاً إلى مجراه الحالي، وهي ترسبات عقيمة المتحجرات، تحوي تراكيب رسوبية كالعذسات الرملية بين الطبقات interbedded sand lenses يمكن أن تعكس الترسيب في القنوات الثانوية ذات الجريان منخفض الطاقة (Lewin & Gibbard, 2010). تتألف هذه المصاطب (الشرفات) من ترسبات مختلفة الأحجام والأشكال تتباين بين الجلمود boulder والحصى pebble وتمثل نواتج تعرية الصخور النارية والمتحولة والرسوبية، أما المادة الأسمنتية فموزعة بين أكاسيد الحديد والكالسايت والكوارتز. توجد في الجانب الشرقي أربع مراحل للشرفات النهرية بدءاً من شمال شرق حي العربي مروراً بحي الحدباء ثم جامعة الموصل وصولاً إلى المنطقة الأثرية داخل سور نينوى (الجبوري، 1988)، بينما تكون الشرفات النهرية في الجانب الغربي بمرحلتين، تقعان غرب منطقة الحاوي، وتتميز سطوحها بعدم الاستمرارية ودرجة تقطيع عالية dissected بسبب التعرية التي تؤدي إلى اختلاف المعالم (أديب، 1988). من ترسبات العصر الرباعي في منطقة الدراسة تظهر أيضاً ترسبات الجزر الحصوية والرملية gravel and sand bars deposits، حيث يلقى النهر حمولته الخشنة في بعض المواقع عندما تقل سرعة جريانه، تنتشر هذه الجزر بالقرب شرق وشمال منطقة حاوي الكنيسة وغرب غابات المدينة قبيل الجسر القديم في المدينة، حيث تعد ذات مواصفات جيدة من الناحية الهندسية وتستغل لأغراض البناء. ترسبات السهل الفيضي هي

## الفصل الأول..المقدمة

واحدة من أشكال ترسبات العصر الرباعي، وتنتشر على ضفتي النهر وتشغل مساحات واسعة، وكونها ذات خاصية طموية وجودة تصريف عالية فإنها تعد أراضي زراعية جيدة. تغطي هذه الترسبات تكوين الفتحة، ويبلغ أقصى سمك لها في الجانب الشرقي 21م، بينما يبلغ 29 م في الجانب الغربي من المدينة. تتألف من أحجام مختلفة من الرواسب بين حصى ورمل وغرين وطين، يقل الحجم بالابتعاد عن مجرى النهر (الجبوري، 1988؛ أديب، 1988). الشكل الآخر لترسبات العصر الرباعي هي ترسبات التربة soil deposits، وتوجد هذه الترسبات غالباً بأشكال مختلفة منها التربة المزيجية loamy soil حيث تتألف من الرمل والطين، وتعد جيدة لأغراض الزراعة، والتربة الرملية sandy soil والتربة الطينية clayey soil. يتباين سمكها من منطقة إلى أخرى ويتراوح بين (0.5-7) م في كلا جانبي المدينة. تتألف هذه التربة من الطفل الغريني، والطفل المارلي أخضر اللون، وقطع جيرية وجبسية ويظهر أثره واضحاً بين طبقات التربة، ومصدرها تكوين الفتحة في الجانب الغربي، إضافة إلى تكوين إنجانة في الجانب الشرقي من المدينة، وتختلف صفاتها الفيزيائية والكيميائية حسب مكوناتها ومصدرها الصخري (Barros et al., 2018).

### 1-4 جيومورفولوجية منطقة الدراسة:

تظهر في منطقة الدراسة مجموعة من الأشكال الأرضية التي تنتج عن سلسلة من التفاعلات بين العمليات النهريّة وعمليات التعرية والترسيب، التي تستند إلى الوضع الجيولوجي الذي تعرض وما زال لعمليات التشوه داخلي المنشأ من خلال عمليات الطي والتصدع بتأثير حركة الصفيحتين العربية والأوراسية (Arabian and Eurasian plates) (Al-Daghastani, 2007)، تمثل الموصل عموماً جزءاً من هضبة مستوية تحيطها تضاريس مرتفعة متمثلة بالتلال ذات الأصل التكتوني في جانبي المدينة ضمن نطاق الطيات الواطئة، فيما تظهر أشكال ذات أصل نهري أهمها نهر دجلة وروافده، إضافة إلى الأودية الموسمية الجافة، وتعد الأودية موضوع الدراسة أحد هذه الأشكال، تتباين أنماط التصريف متأثرة بالعامل الطبوغرافي فضلاً عن عامل البناء والتوسع العمراني، ويعد النمط الشجري وشبه الشجري هو النمط السائد فضلاً عن النمط المتوازي وشبه المتوازي، كذلك تتباين مساحات أحواض التصريف، وعموماً تكون أكبر في الجانب الأيسر منها في الجانب الأيمن، فمثلاً حوض وادي نهر الخوصر يصل إلى (436.5 km<sup>2</sup>)، وحوض وادي الشور (75.4 km<sup>2</sup>)، بينما حوض وادي الخرازي بحدود (11.6 km<sup>2</sup>) أما في الجانب الأيمن فتقدر مساحات الأحواض بين (8-35 km<sup>2</sup>). ومن الأشكال الجيومورفولوجية الأخرى في منطقة الدراسة هي السهل الفيضي (flood plain) الممتد بمحاذاة النهر وتغطيه المياه أثناء موسم الفيضان، والمصاطب النهريّة (fluvial terraces) وهي عبارة عن أسطح

## الفصل الأول..المقدمة

طبوغرافية منبسطة نسبياً، أفقية أو مائلة قليلاً، وتعد من المراحل المهمة في تجديد شباب الأنهر، وتمثل بقايا السهول الفيضية القديمة للنهر، وتتواجد هذه المصاطب (الشرفات) على ضفتي النهر الشرقية والغربية. ثمة أشكال أخرى تظهر نتيجة لعمليات التعرية وهي البالوعات (sinkholes) والكارست (karst) والتجاويف (cavities)، إذ تتعرض طبقات الجبسوم والحجر الجيري ضمن تكوين الفتحة للتعرية بفعل مياه الأمطار الحامضية فضلاً عن مياه الصرف الصحي والصناعي، وقد لوحظت بشكل كبير ضمن الأودية في الجانب الأيمن من المدينة، إضافة إلى ذلك هناك أشكال نتجت عن عمليات الترسيب الريحية مثل تل النبي يونس وتل قوينجق، إضافة إلى التل الواقع شرق سور نينوى الذي أنشأه الآشوريون ضمن التلال التي عملت كأسوار دفاعية للمدينة (الجبوري، 1988).

### 1-5 الدراسات السابقة:

أصبح موضوع التلوث محوراً للكثير من الدراسات والأبحاث نظراً لما آل إليه الواقع البيئي من زيادة عالية وملحوظة في نسب التلوث بالعناصر الثقيلة مقرونةً بزيادة الملوثات نوعاً وكماً، لما لهذا الأمر من تأثير على البيئة وعلى حياة الإنسان وصحته فضلاً عن الحيوان والنبات. تعد الدراسة الجيوكيميائية للتلوث بالمعادن الثقيلة من أهم وأقرب التخصصات القادرة على فهم وتحليل سلوك العناصر في الرواسب والترب والمياه. تعد الدراسة الحالية حسب علم الباحث هي الدراسة الجيوكيميائية الأولى من نوعها في مدينة الموصل، وفي هذه الفقرة إستعراض لبعض من الدراسات في أنحاء العالم المختلفة.

أجرى الصباح، (2009) دراسة لتقييم مدى التلوث بالمعادن الثقيلة في بعض رواسب نهر دجلة في جنوب العراق، حيث قاس خمسة عناصر ثقيلة (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn) في خمسة مواقع تمتد على مسافة 100 كم على نهر دجلة في محافظة ميسان خلال شهر يونيو 2006. واستخدمت مجموعة من معايير التلوث منها دليل التراكم الأرضي (I<sub>geo</sub>) geoaccumulation index إضافة إلى معيار التلوث لوكالة حماية البيئة الأمريكية US-EPA، وقد أظهرت النتائج أن الرواسب في منطقة الدراسة شديدة التلوث بعنصر الكاديوم ومتوسطة التلوث بعنصر النيكل والرصاص وغير ملوثة بعنصر النحاس والخاصين. أظهرت الدراسة أيضاً علاقة ارتباط قوية بين عامل التراكم الأرضي (I<sub>geo</sub>) مع قيم دالة الحامضية pH وكاربونات الكالسيوم CaCO<sub>3</sub> والمعادن الطينية والمادة العضوية organic matter للرواسب مقارنة بمعيار الوكالة الأمريكية ولجميع العناصر.

ودرس كاظم وزراك، (2013) تلوث التربة بالعناصر الثقيلة في مدينة تكريت وضواحيها، إذ أختيرت ثمانية مواقع شمال ووسط وجنوب المدينة، وأجري التحليل المعدني

## الفصل الأول..المقدمة

والجيوكيميائي على نماذج التربة، وكانت عبارة عن ترب رملية وطينية حاوية على مواد عضوية مختلفة. وأظهر التحليل المعدني وجود معادن ثقيلة وهي البايوتايت biotite والمسكوفائيت muscovite والإبيدوت epidote والمعادن المعتمة وبنسب عالية جداً بسبب ظروف الأكسدة العالية، فضلاً عن المعادن الطينية وغير الطينية كالمونوموريلونايت montmorillonite والإلايت illite والباليكورسكايت palygorskite والكالسيات calcite والجبسوم gypsum والكوارتز quartz. من خلال التحليل الجيوكيميائي الذي حدد وجود عناصر (Cd, Cu, Fe, Pb, Ni, Co, Zn)، تبين أن تراكيز معظم هذه العناصر أعلى من التراكيز الطبيعية في التربة، ما يعني تلوث هذه الترب بهذه العناصر ولأسباب ومصادر مختلفة.

ودرس الجميلي ورشيد، (2018) التوزيع الجيوكيميائي لبعض العناصر الثقيلة في رواسب التربة في مدينة جمجمال في محافظة السليمانية شمال شرق العراق، وتقييم التلوث البيئي باستخدام بعض معايير التلوث والمخاطر الصحية المحتملة كدليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) ومؤشر عامل الإغناء (EF) enrichment factor. جمعت إحدى وعشرون عينة من رواسب التربة في المناطق السكنية والتجارية والصناعية في المدينة خلال شهر يوليو 2017. استخدم جهاز مطياف الكتلية البلازمية المقرونة بالحث Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) لتحليل النماذج، وأظهرت النتائج أن تراكيز عناصر الزرنيخ والكروم والكاديوم والكوبالت والمنغنيز والنيكل كانت أعلى في المناطق السكنية، بينما كانت تراكيز عناصر الموليبدنوم والرصاص أعلى في المناطق التجارية، في حين سجلت عناصر النحاس والحديد والزنك أعلى تراكيزها في المناطق الصناعية. أظهرت نتائج مؤشر التلوث ( $I_{geo}$ ) أن الزرنيخ يعدّ متوسط التلوث (Moderately contaminated)، أما قيم عامل الإغناء (EF) فقد أظهرت إغناءً ملحوظاً للزرنيخ (Significant enrichment) بينما أظهرت إغناءً متوسطاً للكاديوم والنيكل (Moderate enrichment). أظهرت قيم مؤشر المخاطر البيئية المحتملة Potential Ecological Risk Index (ERI) أن بعض العناصر خطرة (risk) وأخرى شديدة الخطورة جداً (very high risk).

و درست السراج وآخرون، (2019) تقدير تراكيز بعض العناصر الثقيلة في رواسب ومياه نهر دجلة في بعض مناطق مدينة الموصل، إذ فُدرت تراكيز أربعة عناصر ثقيلة هي (Ca, Cu, Zn, Pb) في المياه والرواسب القاعية للنهر. أجري التحليل بواسطة جهاز التحليل الطيفي الذري atomic absorption spectroscopy (AAS). أظهرت نتائج التحليل زيادة معنوية في تراكيز العناصر الثقيلة في المياه والرواسب في وسط المدينة وفي منطقة ألبوسيف مقارنة بمجموعة السيطرة في منطقة

## الفصل الأول..المقدمة

مشيرفة غرب المدينة، وكان ترتيب تراكيز العناصر في الرواسب تتبع التسلسل التنازلي الآتي: (Cu>Pb>Zn>Cd)، بينما كانت تتبع التسلسل الآتي في نماذج المياه: (Zn>Cu>Pb>Cd)، ورغم هذه الزيادة إلا أنها تبقى ضمن المحددات البيئية العراقية، وأن التراكيز في الرواسب أعلى مما هي عليه في المياه.

أجرى (Louhi *et al.*, 2012) دراسة لرواسب نهر سييوس في مدينة عنابة شمال شرق الجزائر. تشتهر هذه المنطقة بصناعاتها المختلفة مثل (الصلب والأسمدة ومعالجة المعادن وغيرها). استخدم جهاز مطياف الامتصاص الذري (AAS) في تحديد بعض العناصر الثقيلة في الرواسب (Cu, Pb, Cr, Ni, Sn, Mn, Zn, Fe). أظهرت النتائج تجاوز متوسط تراكيز بعض من هذه العناصر للمعايير المقبولة لتلوث الرواسب بالعناصر الثقيلة، وقد كانت التراكيز القصوى للعناصر في الرواسب المدروسة مقاسة بوحدة (ملغم/كغم) كالآتي: Fe=2460.20, Zn=1140.65, Mn=3.60, Sn=1.20, Ni=16.80, Cr=9.50, Pb=476.31, and Cu=145.15.

وقيمّ (Maloku *et al.*, 2015) التلوث بالعناصر الثقيلة في التربة والرواسب والمياه لنهر ايرينك في الجزء الغربي من مدينة كوسوفو الألبانية. جمعت العينات من ثلاث عشرة محطة على طول النهر. أستخدم جهاز مطياف الامتصاص الذري لقياس تراكيز العناصر الثقيلة في عينات المياه، في حين استخدم مطياف الكتلية البلازمية المقرونة بالحث (ICP-MS) بالنسبة لعينات الرواسب والترب. أظهرت النتائج أن تراكيز العناصر الثقيلة (Cd, Pb, Cu, Zn) كانت تحت القيم الحدية المقترحة من قبل الدليل الأوربي للترب المرجعية (soil background)، بينما كانت القيم المتحصلة لعنصر الكروم في جميع المحطات أعلى من القيم المرجعية. غالباً ما كانت قيم تراكيز العناصر الثقيلة (Cu, Pb, Ni) في الرواسب أعلى من القيم المحددة بتأثير منخفض على الأنظمة البيولوجية للنظام البيئي للنهر (Effect Range Low (ERL)، ولكنها أقل من القيم التي تؤثر سلباً على الكائنات الحية عند حد التأثير المتوسط (Effect Medium Range (ERM). قيم عنصر الكروم كانت أعلى من الحد (ERM) مع أن مصدره طبيعي بشكل أساسي أكثر من كونه ناتج عن الأنشطة البشرية، لذا قد يكون تأثيره على الأحياء ضعيفاً. أظهرت النتائج أيضاً أن عناصر الرصاص والزنك والنحاس تتواجد بنسبة عالية في الرواسب الناعمة أقل من (2ملغم)، بينما تتواجد عناصر الكروم والنيكل والكوبلت بكميات قليلة في هذه الحجوم من الرواسب.

كما قيّمت (Calmuc *et al.*, 2021) مدى التلوث بالعناصر الثقيلة في رواسب نهر الدانوب الأسفل وعلى طول مساره بين (60-180) كم حتى المنطقة التي يتدفق عندها النهر

## الفصل الأول..المقدمة

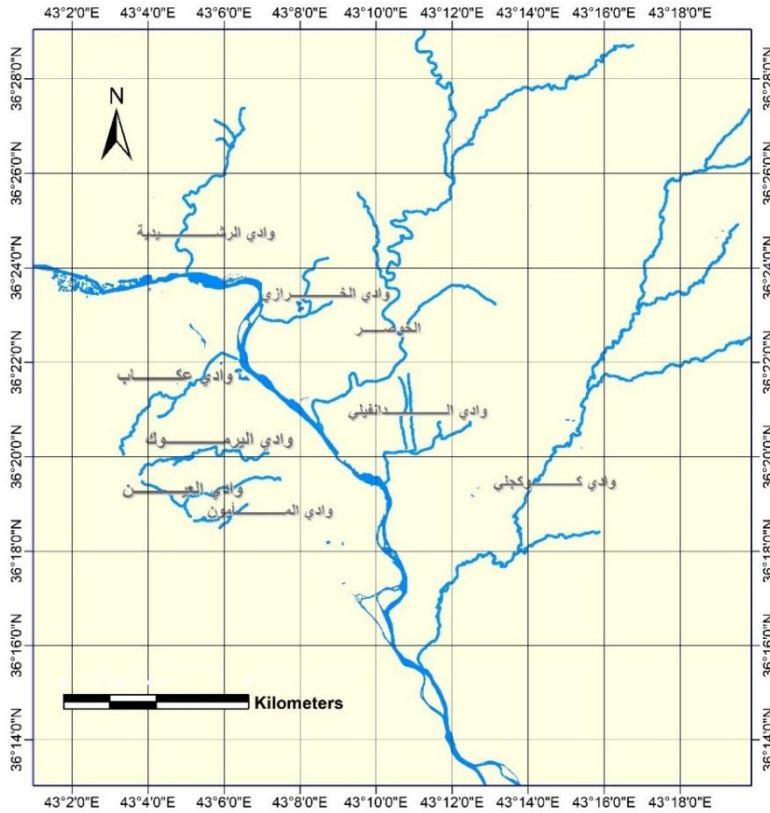
إلى محمية المحيط الحيوي في دلتا الدانوب الواقعة ضمن حماية منظمة اليونسكو، وتعدّ هذه المنطقة واحدة من أكبر الأحواض المائية الأوروبية. حُلّت خمسة عناصر ثقيلة (Cd, Ni, Pb, Zn, Cu) خلال موسمين مختلفين؛ خريف 2018 وربيع 2019، باستخدام مطياف الكتلية البلازمية المقرونة بالحث (ICP-MS). حُدّت المخاطر المحتملة للعناصر الثقيلة في الرواسب عن طريق حساب مؤشر المخاطر البيئية المحتملة Potential Ecological Risk Index (RI)، كما قُيّم تأثير الأنشطة البشرية على مدى التلوث بالعناصر الثقيلة في الرواسب، من خلال استخدام ثلاثة من مؤشرات التلوث، وهي دليل التراكم الأرضي geoaccumulation index ( $I_{geo}$ )، وعامل التلوث contamination factor (CF)، ودليل حمل التلوث pollution load index (PLI). أظهرت نتائج البحث وجود تلوث متوسط بعنصري الكاديوم والنيكل، وانخفاض المخاطر البيئية المحتملة على البيئة المائية.

درست X. Zhang & Zhang, (2021) توزيع العناصر الثقيلة في الرواسب السطحية في نهر شاوان في بحيرة يلانغ. أُجريت ثلاثة أنواع من التحاليل؛ 1- تحليل المكونات حسب حجوم الحبيبات لعينات الرواسب لسبع مواقع مختارة في نطاق تقلب مستوى المياه water level fluctuation zone (WLFZ)، 2- تحليل محتوى الرواسب في ستة من العناصر الثقيلة وهي (Cd, Pb, Cr, Mn, Zn, Cu)، 3- تطبيق معامل الارتباط بين الحجم الحبيبي للمكونات ومحتوى العناصر الثقيلة في الرواسب. استخدم مؤشر هاكنسون للمخاطر البيئية المحتملة Hakanson potential ecological risk index لتحديد مخاطر التلوث بالعناصر الثقيلة في الرواسب المدروسة. أظهرت النتائج (1) متوسط الحجم الحبيبي للرواسب بشكل عام كان أكبر من 0.063 ملم، مع حبيبات جلمود gravel أكبر من 1 ملم وحبيبات الرمل sand تتراوح بين (1-0.22) ملم وتمثل أعلى النسب؛ (2) متوسط تراكيز العناصر الثقيلة في الرواسب أعلى بكثير من الخلفية الجيوكيميائية لرواسب مقاطعة Guizhou. (3) توزيع عنصر الكروم مستقلاً نسبياً عن العناصر الأخرى، الذي كان على النقيض من علاقات الارتباط الموجبة الملحوظة بين العناصر الأخرى. (4) وفقاً لمؤشر هاكنسون فقد كان ترتيب العناصر كالاتي  $Zn > Cr > Cu > Pb > Cd$ ، حيث كان متوسط مؤشر المخاطر المحتملة  $E_i$  للكاديوم (566.13) وهذا يشير إلى مستوى عالٍ جداً من المخاطر البيئية المحتملة، ومستوى معتدل للمخاطر البيئية لعناصر الزنك والكروم والنحاس، بينما مثل الرصاص مستوى متوسطاً للمخاطر البيئية.

## الفصل الأول..المقدمة

### 6-1 وصف الأودية في منطقة الدراسة:

تلعب الأودية في مدينة الموصل دوراً مهماً وأساسياً في تصريف مياه الأمطار ومياه الصرف الصحي باتجاه نهر دجلة الشكل (2-1). تكون هذه الأودية عبارة عن قنوات طبيعية بطن أغلب أجزائها بالحجر والأسمنت ضمن حملة إعمار المدينة في تسعينات القرن الماضي، الصور (1-1) - (2-1). تعاني هذه الأودية من الإهمال، وتراكم النفايات الصلبة وخاصة في العقدين الأخيرين، فضلاً عن كونها أصبحت مجاري طبيعية لتصريف مياه الصرف الصحي ومختلف أنواع المطروحات الصناعية والفضلات المدنية فضلاً عن الزراعية وغيرها، وترتبط بعضها بالمجاري الصندوقية الرئيسية في المدينة. يعد تراكم النفايات بكثافة عند القناطر ومداخل المجاري الصندوقية من أهم الأسباب التي تؤدي إلى ارتفاع منسوب المياه في الأودية مسببة حالة الفيضان الذي تتعرض له هذه الأودية في موسم الأمطار، الصور (1-3: أ، ب، ج). مما يجدر ذكره هنا هو الرائحة الكريهة التي أصبحت تظهر بالقرب من هذه الأودية. تتميز هذه الأودية بوجود غطاء نباتي متنوع بين القصب والحشائش والأدغال. وتلعب النباتات دوراً في امتصاص وتراكم العناصر الثقيلة وبعد موتها وتحللها تعود هذه العناصر إلى التربة لتتكرر هذه الدورة بالتعاقب (Altaf et al., 2021).



الشكل (2-1) خارطة الأودية الرئيسية في جانبي مدينة الموصل

## الفصل الأول..المقدمة

### 1-6-1 أودية- الجانب الأيمن:

تتباين الأودية في الجانب الأيمن في أطوالها ومساحة أحواضها وتتحد من الحدود الغربية للمدينة حيث تكون أغلب المناطق مرتفعة باتجاه نهر دجلة وبصورة شبة متوازية. تظهر في الجانب الأيمن أربعة أودية رئيسة وهي بالترتيب من الشمال وادي عكاب، ووادي اليرموك، ووادي العين، ووادي المأمون الشكل (1-2)، إضافة إلى وادي حجر في جنوب المدينة، والذي تلاشى واندثر بسبب التوسع العمراني الذي شهدته المدينة.



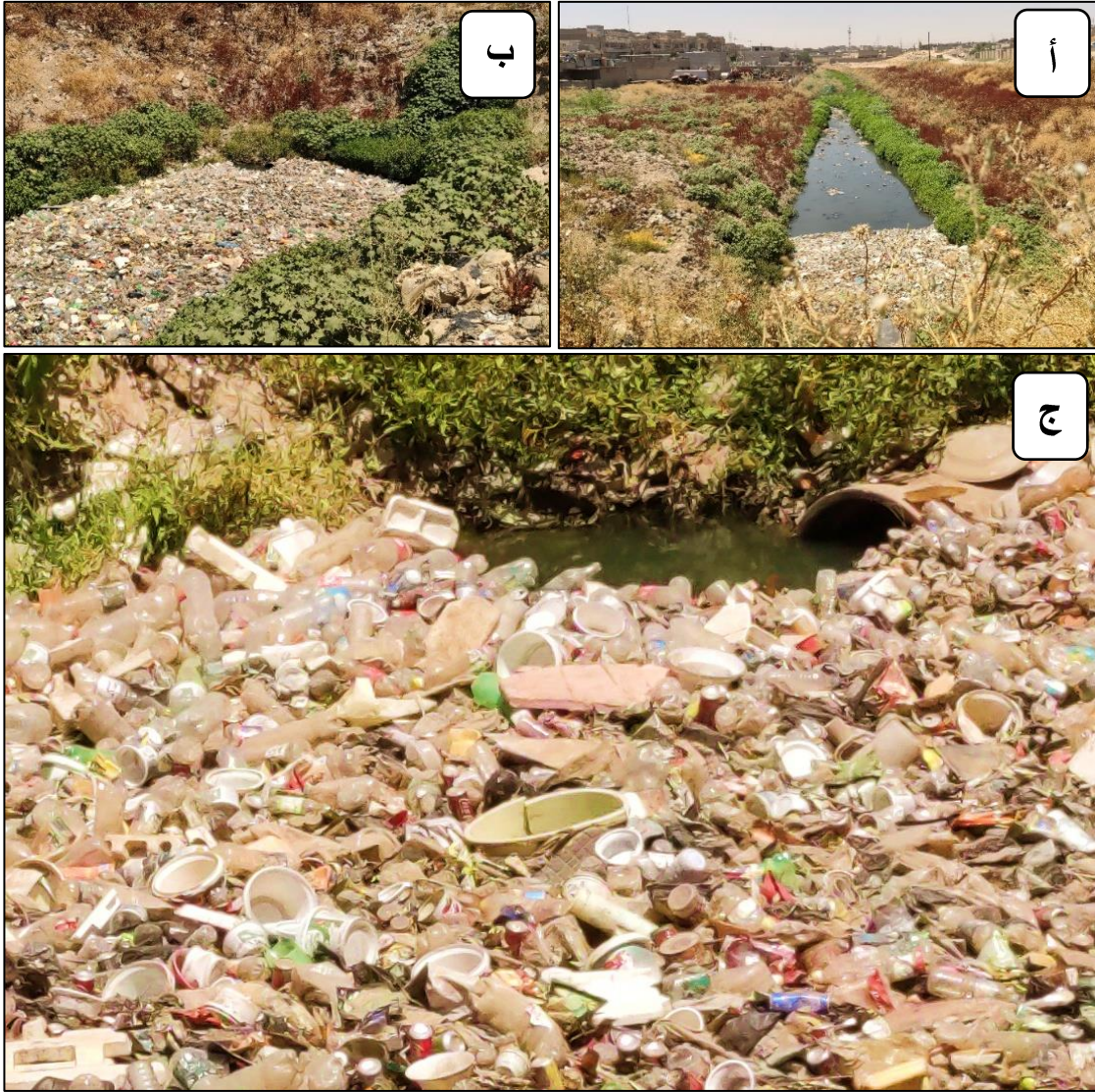
الصورة (1-1): التبتين بالحجر والأسمنت في وادي العين قرب دورة السواس في الجانب الأيمن من مدينة الموصل



الصورة (2-1): طبقات الجبسوم التابعة لتكوين الفتحة في وادي العين بالقرب من الهيئة العامة للمياه الجوفية في نينوى



## الفصل الأول..المقدمة



الصور (1-3: أ، ب، ج): تجمع النفايات والقناني والقطع البلاستيكية عند إحدى قناطر وادي المأمون في الجانب الأيمن لمدينة الموصل

تتقارب أطوال هذه الوديان عدا وادي المأمون الذي يعدّ الأقصر، وهي كآلاتي وادي عكاب 9.69 كم، ووادي اليرموك 8.21 كم، ووادي العين 8.18 كم، ووادي المأمون 3.07 كم، تنقطع أودية اليرموك والعين والمأمون بسبب البناء وإنشاء الطرق في المدينة، تتصل هذه الأودية بنظام تصريف صندوقي لتصب في النهاية في نهر دجلة بينما يعدّ وادي عكاب الوحيد الذي يصب بشكل مباشر في النهر. بسبب زيادة عدد السكان والتوسع العمراني في المدينة وضعف شبكة التصريف، فقد أصبحت هذه الأودية بديلاً وشبكة تصريف طبيعية لمسارات المياه. تعد هذه الأودية البالوعة الرئيسة لمياه الاستخدام المنزلي والمطروحات الصناعية والأنشطة الزراعية ومخلفاتها، وأحياناً تكون مكباً للنفايات والفضلات قبل أن تصب في نهر دجلة بشكل مباشر أو غير مباشر. تنمو النباتات على ضفاف هذه الأودية وفي مجراها بشكل متباين من ضعيف إلى شديد الكثافة، ويعدّ القصب أهم تلك النباتات، الصورة (1-4).

## الفصل الأول..المقدمة

### 1-1-6-1 وادي عكاب

يقع وادي عكاب في شمال غرب مدينة الموصل. يبلغ طول الوادي حوالي 9.69 كم ويعدّ الأطول بين أودية الجانب الأيمن، ويبدأ من حي النهروان أحد أكثر الأحياء الشعبية المكتظة بالسكان مروراً بالمقبرة المسماة باسمه (مقبرة وادي عكاب) ليمر بعدها بالمنطقة الصناعية، والمسماة باسمه أيضاً (صناعة وادي عكاب)، حيث تصب فيه إحدى الأودية الصغيرة، تقع المنطقة الصناعية على مساحة كبيرة يتم فيها مزاولة أعمال صيانة وسمكرة السيارات الكبيرة والصغيرة وصناعة الأبواب والشبابيك من الحديد والألمنيوم إضافة إلى بعض الصناعات الغذائية كصناعة الراشي والحلويات، وصناعة مواد ومساحيق التنظيف، ثم يدخل الوادي عدداً من الأحياء السكنية وهي حي الإصلاح الزراعي وحي العريبي، يمر بعدها في الحد الفاصل بين حي الاقتصاديين وحي الربيع ويدخل إلى منطقة حاوي الكنيسة عبر قنطرة حي 17 تموز قبل أن يصب أخيراً في نهر دجلة. تعد المناطق التي يمر بها الوادي مناطق شعبية ذات كثافة سكانية عالية وبعضها عشوائية، كما يمر بأراضٍ زراعية في منطقة حاوي الكنيسة القريبة من نهر دجلة حيث ترسبات السهل الفيضي والشرفات النهرية، والتي تكثر فيها حقول تربية الجاموس والعجول والدواجن، الصورة (1-5).



الصور (1-4: أ، ب، ج): الغطاء النباتي الكثيف الذي يغطي الأودية

(نماذج مختارة من وادي الدانفيلي والشور)



الصورة (1-5): قطيع من الجاموس يسبح في وادي عكاب في منطقة حاوي الكنيسة في الجانب الأيمن من مدينة الموصل

يتميز وادي عكاب بوجود العديد من التخسفات (Karst) والتكهفات كونه يمر فوق تكوين الفتحة المؤلف من طبقات الحجر الجيري وصخور الجبس التي تتعرض للذوبان بفعل تأثير المياه. لوحظت هذه الظاهرة بكثرة في منطقة صناعة وادي عكاب، الصورة (1-6) تظهر انهيار جدار بسبب ظاهرة الكارست (Karst) في وادي عكاب.

### 1-6-1-2 وادي اليرموك

يقع وادي اليرموك في الجزء الغربي من مدينة الموصل. يبلغ طول الوادي حوالي 8.21 كم وهو ثاني أطول أودية الجانب الغربي للمدينة. يبدأ الوادي من حي النهروان ويلحظ وجود عدد من التخسفات (Karst) في تلك المنطقة، وذكر شهود عيان من سكنة المنطقة بالقرب من متوسطة النهروان للبنين عن إحدى تلك التخسفات وهي بقطر حوالي 12-15 م، أنها أخذت بالزيادة بشكل كبير وسريع مما قد يشكل خطراً حقيقياً وداهماً للمباني المجاورة. يمر الوادي بعد ذلك بجوار سوق المعاش وهو سوق كبير للخضروات والفواكه ثم يدخل الوادي في حي اليرموك، ويذكر أن فيضان الوادي هناك يتسبب بكثير من المشاكل نظراً لضيق القناة لحد التلاشي أحياناً بسبب البناء، يستمر الوادي وقبيل وصوله إلى حي المغرب يلتقي بوادٍ صغير قادم من منطقة شقق اليرموك، وعند حي المغرب يكون الوادي مبطناً بالأسمنت إلى منطقة الصناعة القديمة (سوق اليايسات) قرب شارع بغداد، وفي تلك المنطقة تكون قناة الوادي ضيقة نوعاً ما،



الصورة (1-6): جدار منهار على أطراف وادي عكاب بسبب ظاهرة التخسف (Karst) في المنطقة الصناعية بالجانب الأيمن من مدينة الموصل

تُمارس في هذه السوق تجارة الصوف والحبوب (الحنطة والشعير وغيرها) فضلاً عن بعض الصناعات الغذائية ولوحظ رمي مخلفات ومطروحات هذه الصناعات على حافة الوادي، ومنها وبشكل ملحوظ الملونات الغذائية.

يستمر الوادي بالجريان في منطقة الصناعة القديمة داخل الحي السكني بمثابة مجرى مياه صرف صحي ومكب نفايات، ينتقل الوادي بعد ذلك عبر مجرى صندوقي عبر الشارع باتجاه منطقة موصل الجديدة قرب محلات بيع وغيار الإطارات والبطاريات وصيانتها، يوجد في المنطقة نشاط صناعي يتمثل بسمكرة السيارات، يمر بعدها الوادي بالقرب من دائرة المنتجات النفطية ونهاية شارع مستودعات المنتجات النفطية، وأخيراً يتجه بالقرب من محطة قطار الموصل، حيث تتواجد بقايا القطارات المعطلة والقديمة وبقايا السكة الحديد، وهناك يتصل مجرى الوادي بالمجرى الصندوقي في منطقة الطوافة.

### 1-6-1-3 وادي العين

يبلغ طول وادي العين حوالي 8.18 كم، ويبدأ من منطقة رجم حديد قرب الشارع العام لطريق موصل - محلية، وقد حفرت قناة اصطناعية بدل المجرى الأصلي للوادي بسبب البناء الحاصل في المنطقة بطول 1 كم تقريباً وعمق 1.5 م وعرض يتراوح بين 1-2 م، ليعبر بعدها إلى منطقة تل الرمان في الجزء الشمالي الغربي منها ويلتقي بالرافد الجنوبي له، ينتقل الوادي بعد ذلك إلى حي العامل. تعد هذه الأحياء مناطق شعبية مكتظة بالسكان وينتشر البناء العشوائي فيها أحياناً وتكثر مكبات النفايات على

## الفصل الأول..المقدمة

مجرى الوادي لقلة الخدمات البلدية فيها، ويعدّ الوادي بمثابة المجمع والمجرى الرئيس لتصريف مياه الأمطار ومياه الصرف الصحي في هذه المناطق، ولوحظ تواجد ساحة لخرده السيارات ومخلفات حرب تحرير المدينة عام 2017 في منطقة حي العامل، ينتقل الوادي عبر الشارع العام لطريق الموصل - بغداد إلى حي المنصور وتتكشف في هذه المنطقة وقرب الهيئة العامة للمياه الجوفية صخور تكوين الفتحة وتظهر طبقات الجبسوم بشكل واضح، الصورة (1-2). ويقع بالقرب من هذا الموقع مكب ومجمع نفايات رئيس لأحد القطاعات البلدية كما يظهر بالصورة (1-7)، ويستمر الوادي بالمرور بمحاذاة الجانب الشمالي لحي المنصور بالقرب من سايلو الحبوب ومستودعات المنتجات النفطية من جهتها الجنوبية، وينتهي مجرى الوادي عند المجرى الصندوقي قرب دورة السواس في منطقة وادي حجر.

### 1-6-1-4 وادي المأمون

يقع وادي المأمون في الجزء الجنوبي الغربي من مدينة الموصل، يبلغ طوله حوالي 3.08 كم، وهو الأقصر بين أودية المدينة. يبدأ وادي المأمون من منطقة تل الرمان، في أطراف الحي السكني حيث تنتشر المساكن العشوائية ذات الكثافة السكانية العالية، ويستمر الوادي في مساره في الحد الفاصل بين الجزء الشمالي لحي المأمون وحي تل الرمان، ويمر بالقرب من مقبرة حي المأمون قبل أن يصل الشارع العام لطريق الموصل - بغداد، لينتقل إلى حي المنصور عبر قنطرة تصله بالمجرى الصندوقي ليلتقي بالمجرى الصندوقي لوادي العين قرب دورة السواس في منطقة وادي حجر. تصب في الوادي مطروحات الصرف الصحي لحيي تل الرمان والمأمون، إضافة إلى النفايات والمطروحات الأخرى كبقايا هياكل السيارات المدمرة نتيجة الحرب فضلاً عن أنقاض البناء وغيرها.



الصورة (1-7): مستجمع نفايات تابع لبلدية الموصل قرب وادي العين  
في حي المنصور بمدينة الموصل

## الفصل الأول..المقدمة

### 1-6-2 أودية الجانب الأيسر:

تشابه أودية الجانب الأيسر نظيراتها في الجانب الأيمن كونها مجاري تصريف لمياه الأمطار ومياه الصرف الصحي والصناعي في المدينة، إلا أنها أكثر طولاً وعرضاً وتفرعاً. يبدأ بعضها من خارج حدود المدينة. تصب جميعها في نهر دجلة بشكل مباشر خلاف ما عليه الحال في أودية الجانب الأيمن التي تنتهي إلى مجارٍ صندوقية تصب بدورها في نهر دجلة، (فيما عدا وادي عكاب). يوجد في الجانب الأيسر خمسة أودية رئيسة، وهي بدءاً من شمال المدينة؛ وادي الرشيدية، ووادي الخرازي، يليه نهر الخوصر، ووادي الدانفيلي، وأخيراً في جنوب المدينة هناك وادي الشور، الشكل (1-2).

#### 1-2-6-1 وادي الرشيدية

يقع وادي الرشيدية شمال شرق مدينة الموصل. يبلغ طوله من بدايته في قضاء تكليف حوالي 14.6 كم، وطوله ضمن منطقة الدراسة من منطقة القوسيات إلى نهر دجلة حوالي 9.14 كم.

يمر الوادي في منطقة القوسيات بأراضٍ زراعية، تنتشر فيها بعض حقول تربية المواشي، تكون المطروحات في هذه المنطقة زراعية وفضلات تربية المواشي. يدخل الوادي بعد ذلك في منطقة سكنية قرب طريق الموصل - دهوك الجانبي (طريق الذهاب)، وهناك يلتقي برافدين بطول يتراوح من 1-1.5 كم، ينتقل الوادي بعدها إلى حي الملايين عبر قنطرة تجتاز الشارع العام لطريق الموصل - دهوك، حيث ينتشر البناء العشوائي في هذه المنطقة، وتصب في الوادي مياه الصرف الصحي. ينتقل الوادي بعدها إلى منطقة الرشيدية عبر أراضٍ زراعية، ويدخل بعدها إلى المنطقة السكنية في الرشيدية حول الحي، حيث لوحظ وجود مكبات نفايات على طول الوادي وفي هذه المنطقة على وجه الخصوص، إضافة إلى وجود غطاء نباتي يملأ مجرى الوادي ويتمثل تحديداً بنبات القصب. تتباين المطروحات في هذه المنطقة بين مياه صرف صحي ومطروحات زراعية وفضلات منزلية متنوعة الصورة (1-8). يستمر الوادي بالجريان وقبيل وصوله المصب تصب فيه مطروحات صناعية حيث تنتشر بعض الورش الصناعية هناك كورش سمكرة وصيانة السيارات والبطاريات وورش غسل السيارات وتبديل زيوتها، إضافة إلى المطروحات الزراعية ومياه الصرف الصحي.

#### 1-2-6-2 وادي الخرازي

يبدأ وادي الخرازي من حي الكندي الواقع شمال المدينة، وبعد الأقصر بين أودية الجانب الأيسر وثاني أقصر أودية المدينة إذ يبلغ طوله حوالي 5.3 كم. تمثل البداية منطقة سكنية عشوائية وتصب في الوادي مطروحات بتروكيمياوية لمولدة كهرباء، يتعرض الرلقد للردم جزئياً في عدة مناطق من الحي، وتصب فيه مياه الصرف الصحي، والمطروحات الصلبة من فضلات ونفايات منزلية مختلفة.



الصورة (1-8): رمي النفايات قرب وادي الرشيدية في الموصل

ويستمر الوادي بمحاذاة معسكر الجيش في المنطقة ويعبر الشارع العام ليدخل مبنى جامعة الموصل عند أقصى جزئها الشمالي الشرقي، وكبقية الأودية تغطي النباتات مجرى الوادي وبكثافة عالية لنبات القصب تحديداً. يلتقي الوادي بالرافد الثاني له بالقرب من مبنى مطبعة ابن الأثير في جامعة الموصل، يبدأ هذا الرافد من منطقة مزارع الحدباء لكنه أصبح أثراً بعد التوسع في البناء في حي الحدباء، يعود للظهور داخل مبنى الجامعة بالقرب من بوابة كلية الطب. بعد التقاء الرافدين يستمر الوادي في طريقه إلى حي الأندلس من خلال قنطرة عبر الشارع العام، يكون الوادي مبطن بالحجر والأسمنت حتى يصل غابات المدينة ليصب أخيراً في نهر دجلة عبر القرية السياحية في منطقة الغابات.

### 1-6-2-3 نهر الخوصر

يعدّ نهر الخوصر أهم وأطول أودية المدينة. ترجع أقدم إشارة تاريخية له إلى النصوص المسمارية من العصر الآشوري الوسيط (1521-911 ق.م). يبلغ طول حوض النهر حوالي 52.12 كم. تتعدد منابع النهر وتوزع على عدة مناطق بين جبال بعشيفة ومقلوب شرقاً، ومرتفعات الشخان في الشمال الشرقي، وناحية ألقوش من الجهة الشمالية الغربية، وأخيراً مناطق تلكيف وتل أسقف غرباً (عبد الرحمن، 2012). يبلغ طول النهر في منطقة الدراسة حوالي 19.4 كم، بدءاً من منطقة العباسية، حيث تتكشف في المنطقة صخور تكوين إنجانة، المنطقة عبارة عن أراضٍ زراعية مع وجود بعض

## الفصل الأول..المقدمة

المنازل، يدخل بعد ذلك إلى منطقة حي الفلاح وهي أيضاً أراضٍ زراعية مع وجود بناء حديث لمنطقة سكنية عشوائية. يدخل الوادي بعدها حي البريد ويسير في الحد الفاصل بينه وبين حي السكر، ويلتقي هناك بأحد روافده، الذي تظهر بدايته الحالية في منطقة بعويزة، ويسير في أراضٍ زراعية وسكنية، يصل بعد ذلك إلى منطقة السادة، يستمر الوادي في مساره بين الحد الفاصل بين حي السكر وحي البريد، تصب فيه مطروحات صرف صحي ومطروحات زراعية وبعض مخلفات من مستشفى الخنساء. ينتقل الوادي عبر مجسر السكر إلى الحد الفاصل بين حي المصارف وحي المثنى الثانية، يعدّ نهر الخوصر الوحيد عدا وادي الشور الذي أقيمت عليه عدة مجسرات داخل المدينة بسبب عرض الوادي. وعند وصوله الحد الفاصل بين حي الزهور وحي المثنى يلتقي برافده الثاني في المدينة، ويبدأ هذا الرافد قرب قرية قولان تبة، يدخل بعدها في حي الزهراء في منطقة سكنية عشوائية، وزراعية وينتشر نبات القصب فيها بكثافة، يعبر الوادي بعدها إلى حي التحرير، ويستمر ليفصل بين حي التحرير وحي القاهرة، ثم يدخل حي الجامعة حتى يصل حي الزهور ويصب في مجرى صندوقي والذي بدوره يصب في المجرى الرئيس لنهر الخوصر. يعبر النهر بعدها مجسر الزهور، ويستمر في مساره باتجاه حي السويس عبر جسر المثنى. يسير النهر بمحاذاة المدينة الأثرية وتصب فيه مطروحات صرف صحي ومخلفات تربية المواشي والدواجن إضافة إلى مطروحات زراعية ونفايات ومخلفات مخازن مواد البناء الواقعة على ضفة النهر. ينتقل الوادي إلى الحي الزراعي عبر جسر السويس، ويستمر في مجراه عبر جسر سنحاريب حتى يصل بالقرب من مدينة ألعاب الموصل ويلتقي هناك بالرافد الأخير للنهر الذي يبدأ من حي المهندسين، ويصب أخيراً في نهر دجلة بعد عبوره للجسر الحجري بالقرب من منطقة الفيصلية وسط المدينة، وتمثل مياه الصرف الصحي في الأحياء السكنية المحاذية لنهر الخوصر في هذا الجزء أبرز المطروحات.

### 1-2-6-4 وادي الدانفيلي

يبدأ وادي الدانفيلي من المنطقة الصناعية، إلا أن بداياته الحقيقية تمتد إلى منطقة شقق الخضراء، وقد تلاشى مساره بسبب البناء الحاصل في تلك المنطقة، يبلغ طول الوادي من المنطقة الصناعية إلى نهر دجلة حوالي 5.9 كم، يعدّ الوادي من أكثر وديان المدينة تلوثاً. تقع بداياته في شرق المدينة في المنطقة الصناعية وتحديداً في صناعة الأبواب والشبابيك الحديدية، وصناعة الكرافانات، فضلاً عن ساحات بيع حديد التسليح، وساحات السكراب والمخلفات الحديدية المتنوعة، ويستمر في مجراه داخل المنطقة، التي تظهر فيها نشاطات صناعية أخرى كسمكرة وصباغة وصيانة السيارات الصغيرة والكبيرة والمعامل المتنوعة، وتبديل زيوت السيارات وصناعة بطاريات السيارات، وتبديلها، ويصب فيه عدد من الفروع الصغيرة بأطوال لا تزيد عن 1 كم، تنتشر المطروحات الصناعية بالقرب



## الفصل الأول..المقدمة

من الوادي، ولوحظ إحراق هذه المطروحات في بعض المناطق، الصورة (1-9). ينتقل بعد ذلك عبر تقاطع حي الميثاق والمنطقة الصناعية، إلى منطقة زراعية مقابل حي الوحدة حيث يلتقي بفرعين متوازيين يبلغ طول كل واحد حوالي 3 كم، يبدأ في المنطقة الأثرية من مجسر المثنى وبموازاة حي النور، تنتشر بالقرب من هذين الفرعين حظائر تربية المواشي، ولوحظ وجود مطروحات بقايا الأعلاف ومخلفات وروث الحيوانات وجلودها. يعبر الوادي بعدها عبر حي الأطباء إلى منطقة المزارع، حتى يصب أخيراً في نهر دجلة.



الصورة (1-9): حرق المطروحات الصناعية المتنوعة بالقرب من وادي الدانفيلي في المنطقة الصناعية

### 1-2-6-5 وادي الشور

تقع بدايات الوادي شمال شرق المدينة في جبل بعشيفة وقرية طوبزاوة، ويبلغ طول حوض الوادي حوالي 47.6 كم (حميد و يحيى، 2012). يبلغ طوله ضمن منطقة الدراسة من منطقة كوكجلي إلى المصب حوالي 21.69 كم، حيث يمر الوادي بأراضٍ زراعية شرق كوكجلي، ولوحظ وجود نشاط بيولوجي قد يعزى إلى مخلفات الحيوانات حيث تنتشط مهنة تربية الماشية هناك، إضافة إلى ملاحظة وجود عدد من الحيوانات النافقة على مسافة من مجرى الوادي، الصورة (1-10)، يمر الوادي بالقرب من مجزرة الحيوانات في المنطقة بعد عبوره للشوارع العام طريق الموصل - أربيل، تصب في الوادي مطروحات الصرف الصحي والمطروحات الصناعية إضافة إلى مطروحات ومخلفات

## الفصل الأول..المقدمة

المجزرة. ينتقل الوادي بعدها إلى أراضٍ زراعية بالقرب من قرى خويتلة وشهرزاد، حيث يلتقي بأحد الروافد على بعد حوالي 2-3 كم من الأخيرة، ونظراً لصفاء المياه، يعتقد أن هذا الرافد ينبع من أحد العيون. يستمر الوادي في مساره ويصل حي الشيماء حيث تصب فيه مطروحات مدنية، ينتقل بعدها إلى حي السلام عبر جسر يقطع الشارع العام لطريق الموصل - كركوك، يصب الوادي أخيراً في نهر دجلة بالقرب من قرية يارمجة الشرقية.



الصورة (1-10): رمي الحيوانات النافقة بالقرب من وادي الشور في منطقة كوكجلي

### 7-1 هدف البحث:

تهدف الدراسة إلى تقييم التلوث بالعناصر الثقيلة في رواسب الوديان في مدينة الموصل من خلال الدراسة الجيوكيميائية لمعرفة تأثير المطروحات مختلفة المصادر على الرواسب في هذه الوديان.



# الفصل الثاني

## الموارد وطرائق البحث

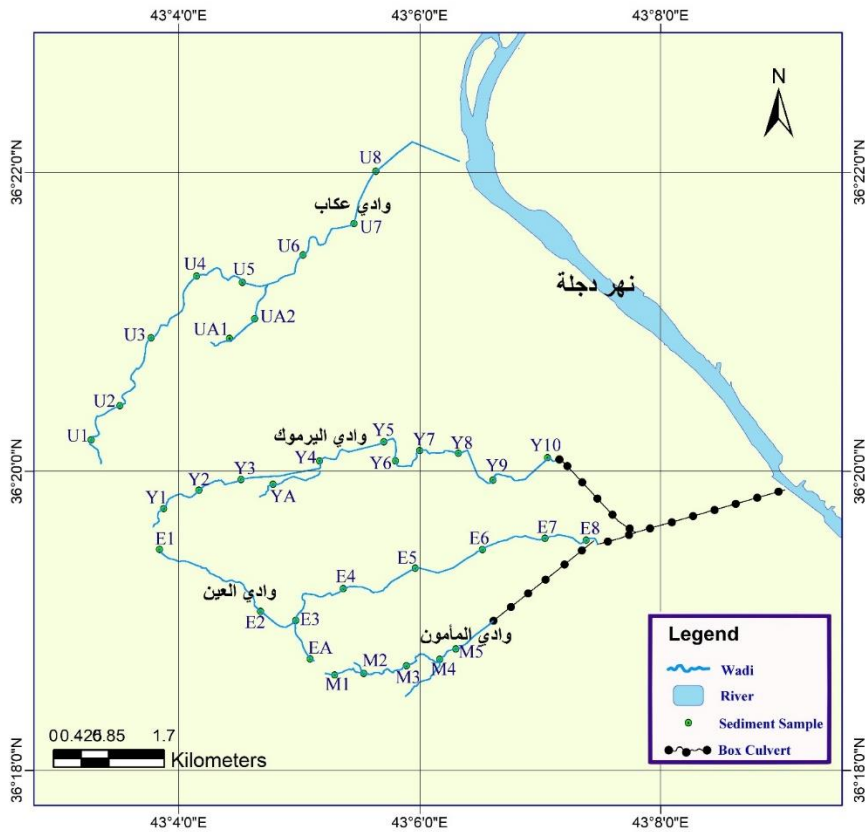
## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

### 1-2 العمل الحقلى:

تنقسم منطقة الدراسة إلى منطقتين، هما جانبي مدينة الموصل الأيمن والأيسر، كما ذكر آنفاً، وعلى هذا الأساس تم تهيئة الخرائط الخاصة بمنطقة الدراسة، الشكلين (1-2)، (2-2). بدأ العمل الحقلى في نهاية شهر تموز في الجانب الأيمن وانتهى العمل في بداية شهر أيلول في الجانب الأيسر من المدينة، إذ تتبعت مسارات الأودية ضمن منطقة الدراسة من بداياتها حتى نهايتها سواء في نهر دجلة أو اتصالها مع المجاري الصندوقية وتوصيفها وملاحظة خصائصها والمتغيرات التي تحدث خلال مساراتها، وطبيعة المناطق التي تمر بها، ونوع المطروحات والنفايات التي تصب فيها كما في الصورة (1-2).

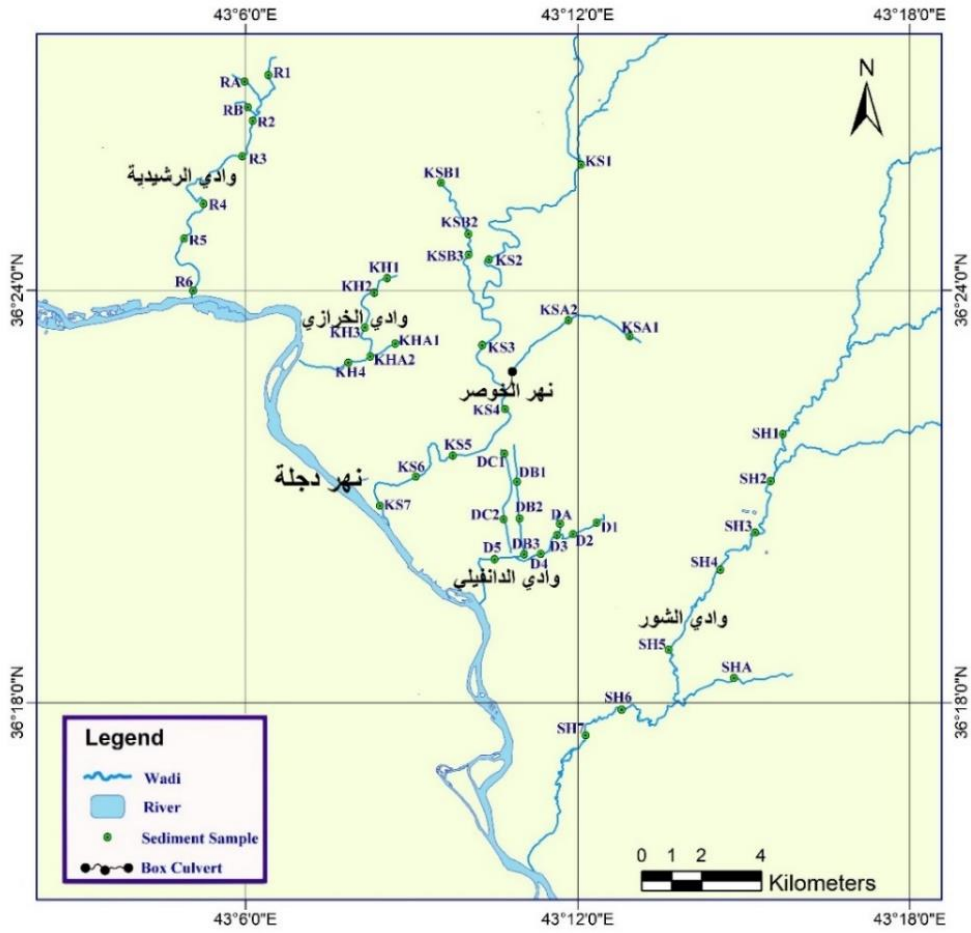
### النمذجة:

جُمع 81 نموذجاً من تسعة أودية موزعين على جانبي المدينة باستخدام معول خاص وبعمق يتراوح بين (0-25) سم، الصورة (2-2). وحُدِّد مواقعها بواسطة تطبيق خاص وبنظام World Geodetic System (WGS84)، في المدة بين (تموز 2020 - أيلول 2020)، حفظت هذه العينات بأكياس بلاستيكية، ورُمزت بكتابة الحرف الأول أو الحرفين الأول والثاني من كل وادٍ باللغة الإنكليزية وحسب موقعها في الوادي، الجدول (1-2)، الصورة (1-2).



الشكل (1-2): خريطة الأودية الرئيسية في الجانب الأيمن من مدينة الموصل

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث



الشكل (2-2): الأودية الرئيسية في الجانب الأيسر من مدينة الموصل



الصورة (2-2): نموذج من رواسب الأودية في منطقة الدراسة بعمق حوالي 20 سم



الصورة (2-1): أثناء العمل الحقلية، حفظ النماذج في أكياس بلاستيكية وترميزها

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

الجدول (1-2): مواصفات الأودية في منطقة الدراسة

الملاحظات	الإحداثيات	الموقع	رقم النموذج ورمزه
وادي عكاب			
مطروحات مدنية مياه صرف صحي منطقة سكنية – يظهر بعد انقطاع بسبب البناء	36.336 N 43.054 E	حي النهروان تقاطع الوادي مع أحد الشوارع الرئيسية	U1 .1
مطروحات مدنية – مياه صرف صحي منطقة سكنية عشوائية	36.340 N 43.058 E	حي النهروان قرب احد القناطر	U2 .2
مطروحات صناعية نشاط صناعي – صيانة وسمكرة سيارات ومختلف الأنشطة المتعلقة بهذا الامر	36.348 N 43.062 E	داخل مقبرة وادي عكاب بمحاذاة المنطقة الصناعية في الجهة الغربية	U3 .3
بداية الرافد الشرقي B تجمعات سكراب كثيفة مطروحات صناعية تحتوي نسبة عالية من المواد النفطية وجود نبات القصب	36.348 N 43.073 E	المنطقة الصناعية	UA1 .4
المنطقة الصناعية نشاط صناعي صناعة الأبواب والشبابيك الحديدية صناعة الهياكل الحديدية للسيارات بمختلف أحجامها الوادي جاف بسبب وجود عدة خسفات sing holes صغيرة تمتد من المنطقة المحصورة بين نموذج 4 ونموذج 5 وتحديداً بين تقاطع شارع المقبرة (طريق تلعفر القديم) مع الوادي وصولاً إلى موقع النموذج 5، وهذا يؤدي إلى عدم وصول المياه إلا في أوقات الأمطار مكتشف تكوين الفتحة	36.355 N 43.069 E	المنطقة الصناعية	U4 .5
المنطقة الصناعية غربي الوادي وحي الإصلاح الزراعي يقع شرقه والتقاء الرافد بجدول صغير مطروحات مدنية لمنطقة سكنية عشوائية ومطروحات صناعية	36.350 N 43.077 E	المنطقة الصناعية	UA2 .1

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

الوادي جاف وجود نباتات	36.354 N 43.075 E	المنطقة الصناعية	U5 .2
قناة مبطنة منطقة سكنية – مياه صرف صحي مدني يتصل بالوادي رافد (وادي صغير) يبعد اقل من 150 م من مكان أخذ النموذج.	36.357 N 43.083 E	حي العريبي بعد التقاء الرافد B مع الرافد الرئيسي (A) يقطع الوادي شارع تلعفر الرئيسي	U6 .3
قناة مبطنة منطقة سكنية عشوائية – مياه صرف صحي مدني	36.360 N 43.090 E	حي الرفاعي	U7 .4
قناة مبطنة مطروحات مدنية -مياه صرف صحي وجود قطيع جاموس في مياه الوادي وملاحظة كميات كبيرة من إدرار هذا القطيع.	36.366 N 43.093 E	حاوي الكنيسة قرب حظيرة لتربية الجاموس	U8 .5
<b>وادي اليرموك</b>			
مطروحات مدنية مياه صرف صحي يوجد خسفة (sing hole) في مجرى الوادي، قطر الفتحة حوالي 2 م والقطر الكلي للهبوط يصل إلى 40 م، حيث يمر فوق تكوين الفتحة ما أدى إلى ذوبان في طبقتي اللايمستون والجبسوم التي تعلو الأولى الثانية، وحسب قول الأهالي هناك خسف في بعض المنازل القريبة	36.329 N 43.064 E	حي النهروان قرب متوسطة النهروان للبنين يبعد حوالي 1.5 كم عن بداية الوادي	Y1 .1
مطروحات مدنية صرف صحي مكب نفايات للأهالي وسوق المعاش يحتوي النموذج على فضلات وقطع وأكياس بلاستيكية بشكل ملحوظ وجود تخسفات صغيرة (sing hole) في تكوين الفتحة الذي يمر الوادي فوق طبقاته.	36.331 N 43.069 E	حي النهروان – خلف سوق الخضار والفواكه (سوق المعاش)	Y2 .2
مطروحات مدنية صرف صحي وجود أنبوب للمياه يغذي المنطقة داخل مجرى الوادي وجود منزل بناء تجاوز مبني بالقرب من الوادي يؤثر على مجرى الوادي خاصة في موسم الأمطار والفيضان بداية مجرى صندوقي حالة غرق لطفل داخل المجرى الصندوقي حسب شهود عيان من السكان	36.332 N 43.075 E	حي اليرموك	Y3 .3

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

مطروحات مدنية مياه صرف صحي الرافد يبدأ من شقق اليرموك وينتهي بالالتقاء مع الرافد الرئيس قرب الشارع العام طريق سوق المعاش	36.331 N 43.079 E	شقق اليرموك - قرب طريق سوق المعاش	YA .4
مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.334 N 43.086 E	اليرموك - قرب تقاطع الرسالة - اليرموك	Y4 .5
مطروحات مدنية وصناعية مياه صرف صحي الوادي غير مبطن ويقطع صخور marly limestone ويكون المجري عميقاً إلى حد ما	36.336 N 43.095 E	الصناعة القديمة (اليابسات)	Y5 .6
مطروحات مدنية وصناعية وجود معامل للحلويات والأجباس والأعلاف واليابسات نفايات ومطروحات وبقايا هذه المعامل لوحظ وجود الملونات الغذائية وبقايا الحلويات قرب موقع النموذج	36.334 N 43.096 E	الصناعة القديمة (اليابسات)	Y6 .7
مطروحات مدنية وصناعية وجود معامل للحلويات والاجباس والاعلاف واليابسات	36.335 N 43.099 E	الموصل الجديدة الصناعة القديمة (اليابسات)	Y7 .8
مطروحات مدنية وصناعية القناة غير مبطنة	36.335 N 43.105 E	الموصل الجديدة الصناعة القديمة (اليابسات)	Y8 .9
مطروحات مدنية وصناعية مياه صرف صحي لمنطقة سكنية مكب نفايات ووجود كمية كبيرة من القناني والعلب البلاستيكية	36.332 N 43.110 E	الموصل الجديدة قرب دائرة المنتوجات النفطية	Y9 .10
مطروحات مدنية وصناعية مياه صرف صحي قرب محطة قطار الموصل وجود كميات كبيرة من بقايا القطارات والسكة الحديد وأنقاض متنوعة	36.334 N 43.117 E	منطقة الطوافة قرب محطة القطار	Y10.11
<b>وادي العين</b>			
مطروحات مدنية مياه صرف صحي لمنطقة سكنية عشوائية	36.32 N 43.06 E	منطقة رجم حديد منطقة سكنية عشوائية بداية الرافد الرئيس للوادي قرب شارع السحاجي	E1 .1
مطروحات مدنية، مياه صرف صحي احتمالية حفر قناة اصطناعية بطول 1 كم عرض 1-2 م وعمق 1.5 م	36.317 N 43.077 E	منطقة رجم حديد منطقة سكنية عشوائية	E2 .2
مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.316 N 43.082 E	تل الرمان منطقة سكنية - التقاء الرافد الجنوبي مع الرافد الرئيس للوادي	E3 .3



## الفصل الثاني.. المواد وطرائق البحث

مطروحات مدنية، مياه صرف صحي	36.312 N 43.084 E	تل الرمان منطقة سكنية عشوائية بداية الوادي / الرافد الجنوبي	EA .4
مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.320 N 43.089 E	حي العامل منطقة سكنية عشوائية تقاطع الوادي مع أحد الشوارع حيث يلاحظ انسداد القنطرة وعبور المياه فوق الشارع	E4 .5
مطروحات مدنية مياه صرف صحي، الوادي مبطن	36.322 N 43.099 E	حي العامل منطقة سكنية – قرب جامع الخلد	E5 .6
مطروحات مدنية صرف صحي بالإضافة إلى مطروحات صناعية قرب مكب للنفايات تابع لبلدية الموصل ويظهر مكشف لتكوين الفتحة على جانب قناة الوادي	36.324 N 43.108 E	حي المنصور قرب الهيئة العامة للمياه الجوفية في نينوى	E6 .7
مطروحات مدنية صرف صحي فضلاً عن وجود مطروحات صناعية	36.325 N 43.117 E	حي المنصور الجهة المقابلة لسايلو الحبوب	E7 .8
مطروحات مدنية وصناعية مخلفات سكراب وزبوت سيارات أخذ النموذج من جانب الوادي لصعوبة الوصول إلى الوادي لعمق القناة وشدة الانحدار	36.325 N 43.123 E	نهاية الوادي مدخل طريق السايلو ودائرة المنتوجات النفطية في قرب دورة السواس – قرب المجرى الصندوقي	E8 .9
<b>وادي المأمون</b>			
مطروحات مدنية صرف صحي لمنطقة سكنية عشوائية	36.311 N 43.081 E	تل الرمان	M1 .1
مطروحات مدنية صرف صحي لمنطقة سكنية عشوائية	36.311 N 43.091 E	تل الرمان موازٍ لخزان مياه رئيس في المنطقة	M2 .2
مطروحات مدنية صرف صحي لمنطقة سكنية عشوائية	36.311 N 43.098 E	تل الرمان	M3 .3
مطروحات مدنية صرف صحي لمنطقة سكنية عشوائية	36.312 N 43.102 E	المأمون قرب المقبرة	M4 .4
مطروحات مدنية صرف صحي لحي المأمون	36.313 N 43.104 E	المأمون قرب الشارع العام لطريق الموصل – بغداد	M5 .5

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

وادي الرشيدية			
36.452 N 43.106 E	القوسيات طريق الموصل - تلكيف	R1 .1	بداية الوادي الرئيس مطروحات زراعية وفضلات تربية مواش
36.450 N 43.099 E	القوسيات طريق الموصل - دهوك (ذهاب)	RA .2	رافد فرعي الشرقي جاف وقت أخذ النموذج مطروحات مدنية منطقة سكنية عشوائية منطقة ذات نشاط زراعي
36.444 N 43.100 E	القوسيات	RB .3	رافد فرعي الغربي يقع بين طريق الموصل- دهوك (ذهاب) والموصل - دهوك (إياب) مطروحات مدنية وصناعية كمية المياه فيه قليلة وكمية القصب فيه كثيرة
36.441 N 43.102 E	القوسيات قرب الأسواق	R2 .4	مدخل طريق الموصل - دهوك (ذهاب) بعد منطقة التقاء الروافد مع الرافد الرئيس القادم من تلكيف مطروحات مدنية - مياه صرف صحي مطروحات زراعية
36.432 N 43.098 E	حي الملايين	R3 .5	مطروحات مدنية مياه صرف صحي
36.420 N 43.087 E	منطقة الرشيدية	R4 .6	منطقة زراعية مطروحات زراعية
36.412 N 43.081 E	منطقة الرشيدية داخل الحي	R5 .7	عند انحاء الوادي حول الحي مطروحات مدنية - مياه صرف صحي ومكب نفايات وجود نبات القصب
36.399 N 43.084 E	منطقة الرشيدية	R6 .8	قرب مصب الوادي في نهر دجلة قناة مبطنه مطروحات مدنية مياه صرف صحي مطروحات صناعية وزراعية
وادي الخرازي			
36.402 N 43.142 E	حي الكندي وسط حي الكندي	KH1 .1	بداية الوادي - منطقة سكنية مطروحات مدنية - مياه صرف صحي فضلاً عن مكب نفايات
36.399 N 43.138 E	نهاية حي الكندي الجهة المقابلة لمعسكر الفرقة (16)، منشأة الكندي سابقاً	KH2 .2	مطروحات مدنية مياه صرف صحي منطقة سكنية
36.390 N 43.135 E	جامعة الموصل قرب الشقق السكنية	KH3 .3	وجود نبات القصب

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

مطروحات مدنية صرف صحي لحي الحدباء مطروحات أنقاض بناء على كتف الوادي	36.399 N 43.138 E	جامعة الموصل مقابل كلية الصيدلة	KHA1 .4
مطروحات مدنية صرف صحي لحي الحدباء	36.383 N 43.137 E	جامعة الموصل مقابل مجمع المراكز البحثية	KHA2 .5
مطروحات مدنية مياه صرف صحي منطقة سكنية وجود محل لتبديل زيوت السيارات وغسل السيارات على بعد حوالي 20 م تصب مطروحاته في الوادي	36.382 N 43.130 E	حي الأندلس قرب شارع المجموعة الثقافية	KH4 .6
<b>وادي نهر الخوصر</b>			
بداية الوادي بداية الطريق المؤدي لقرية العباسية والمدخل من طريق شلالات الموصل النموذج رملي، المنطقة زراعية مع وجود لبعض المنازل مكشفي صخري لتكوين إنجانة	36.430 N 43.200 E	مدخل قرية العباسية	KS1 .1
منطقة زراعية منطقة سكنية عشوائية يوجد حقل دواجن قديم مطروحات مدنية - مياه صرف صحي	36.407 N 43.173 E	الفلاح الثانية الكوبكلية (شرقي الخوصر)	KS2 .2
منطقة سكنية مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.386 N 43.171E	حي السكر قرب مستشفى الخنساء	KS3 .3
الرافد يبدأ من قرية قولان تبة باتجاه حي التحرير مروراً بحي الزهراء نحو حي الجامعة إلى أن يلتقي بنهر الخوصر في منطقة الجيلة في حي الزهور منطقة سكنية عشوائية- نهاية حي الزهراء على بعد حوالي 1 كم من طريق الموصل - بعشيقه منطقة زراعية - وجود نبات القصب	36.388 N 43.215 E	حي الزهراء	KSA1 .4
منطقة سكنية مطروحات مدنية مياه صرف صحي - وجود القصب مدخل حي القاهرة من جهة حي التحرير	36.392 N 43.197 E	حي التحرير	KSA2 .5
المنطقة الفاصلة بين بعويزة والسادة منطقة سكنية - مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.426 N 43.158 E	قرية بعويزة	KSB1 .6
منطقة سكنية - زراعية مياه صرف صحي نشاط زراعي وجود نبات القصب	36.413 N 43.167 E	قرية السادة	KSB2 .7
منطقة سكنية عشوائية مياه صرف صحي	36.408 N 43.167 E	الكوبكلية (غربي الخوصر) قبل منطقة السادة	KSB3 .8

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

مطروحات مدنية مياه صرف صحي القناة عريضة	36.371 N 43.178 E	حي المثني قرب ملعب المثني	KS4 .9
مطروحات مدنية منطقة تربية مواشي (جاموس) منطقة سكنية عشوائية، مياه صرف صحي بقايا وفضلات حيوانات	36.359 N 43.162 E	حي الجزائر قرب مخازن السيراميك والكاشي	KS5 .10
مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.354 N 43.151 E	حي الزراعي قرب جسر السويس	KS6 .11
مطروحات مدنية مياه صرف صحي	36.347 N 43.140 E	قرب حديقة الشعب عند مصب الخوصر في نهر دجلة	KS7 .12
<b>وادي الدانفيلي</b>			
مطروحات صناعية نشاط صناعي - صناعة أبواب وشبابيك حديدية، حديد تسليح بقايا حديد سكراب صناعة كرافانات	36.343 N 43.205 E	المنطقة الصناعية الساحل الأيسر	D1 .1
مطروحات صناعية نشاط صناعي - سمكرة وصيانة سيارات معامل - سكراب سيارات	36.340 N 43.198 E	المنطقة الصناعية الساحل الأيسر	D2 .2
قرب قنطرة - تقاطع الوادي مع شارع 60 مطروحات صناعية قرب محل غسيل سيارات وتبديل زيت السيارات	36.343 N 43.194 E	المنطقة الصناعية قرب شارع 60	DA .3
مطروحات صناعية نشاط صناعي متنوع صيانة وسمكرة سيارات بقايا سكراب متنوع بحسب شهادة أحد أصحاب الكراجات إن الوادي يفيض ويدخل إلى كراجه في موسم الأمطار	36.340 N 43.193 E	المنطقة الصناعية الساحل الأيسر	D3 .4
مطروحات مدنية مياه صرف صحي منطقة سكنية	36.336 N 43.188 E	قرب تقاطع نينوى الشمالية-الميثاق- المنطقة الصناعية. قرب القنطرة	D4 .5
بداية الراقد مطروحات ركاب وأنقاض بناء	36.353 N 43.181 E	المنطقة الأثرية مقابل حي التأميم رافد شرقي - 1	DB1 .6
حظائر تربية المواشي مطروحات أعلاف وجلود وروث الحيوانات	36.344 N 43.182 E	قرب شارع الأسد رافد شرقي - 2	DB2 .7
أراض زراعية مطروحات ركاب وأنقاض بناء	36.335 N 43.183 E	مقابل منطقة نينوى الشمالية قرب الشارع رافد شرقي - 3	DB3 .8

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

36.360 N 43.177 E	36.360 N 43.177 E	حي نينوى الشرقية قرب مجسر المثني رافد غربي - 1	DC1 .9
36.344 N 43.177 E	36.344 N 43.177 E	قرب شارع الأسد رافد غربي - 2	DC2.10
36.334 N 43.174 E	36.334 N 43.174 E	منطقة زراعية قرب تقاطع حي الوحدة - نينوى الشمالية - حي الأطباء	D5.11
<b>وادي الشور</b>			
36.365 N 43.261 E	36.365 N 43.261 E	كوكلي أراضٍ زراعية	SH1 .1
36.353 N 43.258 E	36.353 N 43.258 E	كوكلي تقاطع الوادي مع شارع أربيل من الجهة الجنوبية	SH2 .2
36.341 N 43.253 E	36.341 N 43.253 E	كوكلي قرب المجزرة	SH3 .3
36.332 N 43.242 E	36.332 N 43.242 E	منتصف المسافة بين كوكلي وقرية شهرزاد أراضٍ زراعية	SH4 .4
36.312 N 43.227 E	36.312 N 43.227 E	قرية شهرزاد قرب احدي القناطر	SH5 .5
36.305 N 43.247 E	36.305 N 43.247 E	قرب قرية شهرزاد 2-3 كم	SHA .6
36.298 N 43.213 E	36.298 N 43.213 E	حي السلام قرب تقاطع الوادي مع طريق الموصل - كركوك	SH6 .7
36.292 N 43.202 E	36.292 N 43.202 E	قرية الشمسيات	SH7 .8

### 2-2 العمل المختبري

جُفِّت العينات بالفرن عند درجة حرارة 105°م في مختبر الجيوكيمياء في قسم علوم الأرض، أزيلت النباتات والجذور وقطع الزجاج والبلاستيك والشوائب الأخرى، جونسيت العينات بشكل جيد لغرض تهيئتها للتحاليل. أُنتخبَ 61 نموذجاً؛ 25 نموذجاً لأودية الجانب الأيمن، و36 نموذجاً لأودية الجانب الأيسر. طُحِنَت العينات بواسطة جهاز الطحن

## الفصل الثاني.. المواد وطرائق البحث

HERZOG pulverizing mill في الورشة الفنية التابعة لقسم علوم الأرض وحفظت في  
علب بلاستيكية لغرض التحليل الجيوكيميائي، الصورة (2-3).

### 1-2-2 التحليل الجيوكيميائي للأكاسيد الرئيسية والعناصر الأثرية

أُرسلت العينات المجففة والمطحونة، وعددها 61 عينة، لغرض التحليل الجيوكيميائي  
للأكاسيد الرئيسية والعناصر الأثرية في المختبر الألماني - العراقي في جامعة بغداد،  
بواسطة جهاز الأشعة الوميضية (XRF) X-Ray Fluorescence Instrument موديل  
الجهاز Spectro Xepos الصورة (2-4)، يستقبل الجهاز عينات بهيئة أقراص (pellets)  
مصنوعة من مسحوق العينة ومادة رابطة (boric acid) وباستعمال مكبس خاص وبضغط  
مقداره 5 طن.



الصورة (2-3): جهاز الطحن (HERZOG) في الورشة الفنية التابعة  
لقسم علوم الأرض، جامعة الموصل

## الفصل الثاني.. المواد وطرائق البحث



الصورة (2-4): جهاز الأشعة السينية الوميضية XRF، موديل Spectro Xepos في المختبر الألماني - العراقي التابع لقسم علوم الأرض، جامعة بغداد

### 2-2-2 تقدير كمية المادة العضوية

قُدِّرَت كمية المادة العضوية في النماذج المطحونة، في مختبر الجيوكيمياء في قسم علوم الأرض

حسب الخطوات التالية (Dean, 1974; Heiri *et al.*, 2001)

1- جُفِّفَ النموذج المطحون في فرن عند (105) °م في جفنة خزفية (ceramic crucible) موزونة مسبقاً، لمدة ساعتين. يوزن النموذج والجفنة بعد التبريد في وعاء تجفيف مانع للرطوبة (desiccator) عند درجة حرارة الغرفة، يمثل هذا الوزن الجاف للنموذج، ويعدّ الأساس لجميع حسابات فقدان الوزن.

2- وُضِعَ النموذج والجفنة بعد ذلك في فرن (muffle furnace) ألماني المنشأ موديل (KARL KOLB)، وسُخِّنَ إلى 550 °م لمدة ساعة واحدة. بعد التبريد عند درجة حرارة الغرفة، وُزِنَ النموذج مرة أخرى. يمثل الفرق بين هذا الوزن والوزن الجاف كمية الكربون العضوي المحترق.

## الفصل الثامن: المواد وطرائق البحث

### 3-2-2 تقدير الفقدان الكلي بالحرق

أُحتسبَ المفقود بالحرق، حسب (Dean, 1974; Smith *et al.*, 1996)، ويتضمن؛ ماء التبلمور  $H_2O^+$ ، والمادة العضوية *organic matter*، وثاني أكسيد الكربون  $CO_2$ . وحسب الخطوات الآتية:

- 1- يوزن حوالي (2-1) غم من مسحوق النموذج ويمثل  $W_1$ .
- 2- يوضع النموذج في جفنة خزفية معلومة الوزن وتمثل  $W_2$ .
- 3- يحرق النموذج في فرن كهربائي عند درجة حرارة تتراوح بين (1100-1000) درجة مئوية لمدة 4 ساعات.
- 4- يوزن النموذج والجفنة بعد التبريد في وعاء تجفيف مانع للرطوبة (desiccator) عند درجة حرارة الغرفة، ويمثل  $W_3$ .

ولحساب الفقدان الكلي بالحرق LOI، تطبق المعادلة:

$$LOI (wt\%) = \frac{(W_1 + W_2) - W_3}{W_1} * 100$$

### 4-2-2 تقدير كمية ثاني أكسيد الكربون بعد التحميص

قيست النسبة المئوية لثاني أكسيد الكربون في كل نموذج بواسطة فقدان الوزن بعد التحميص (Carver, 1971)، حيث جُفِّفَ جزء من النموذج المسحوق بدرجة 105 درجة مئوية ووضِعَ في وعاء مجفف مانع للرطوبة. ووضِعَ ما يقرب من 2-1 غم من النموذج المسحوق في ورق مسبق الوزن ووزنها بدقة (0.001) الصورة (2-5). أُضيفَ HCl المخفف (N 0.1) إلى النموذج المسحوق. بعد توقف التفاعل الأولي، أُضيفَ المزيد من الحامض وروقبَ لغاية توقف التفاعل تماماً، وعدم ملاحظة أي حالة تفاعل، ثم التأكد من كون الخليط يشير إلى حالة حامضية، سُكِبَ الحامض الزائد من العينة. ثم بعد ذلك غُسِلَت العينة بالماء المقطر لإزالة  $CaCl_2$ . تُجفِّفَ العينة بعد ذلك في فرن عند درجة 105 درجة مئوية، ووضِعها في وعاء مجفف حتى تبرد وتوزن، قُسمت العينات إلى مجموعات وأُستخدِمَ نموذج قياسي من كاربونات الكالسيوم النقية ( $CaCO_3$  pure) لغرض الدقة والتصحيح، بعد ذلك أُجريت الحسابات حسب المعادلة:

$$CO_2 (wt\%) = \frac{100 * weight\ loss * 0.12}{initial\ dry\ weight\ of\ sample}$$



## الفصل الثامن: المواد وطرائق البحث



الصورة (2-5): الميزان عالي الحساسية (0.1 mg)، SARTORIUS GMBH GOTTINGEN، المستخدم في وزن النماذج في مختبر الجيوكيمياء، قسم علوم الأرض، جامعة الموصل.

### 3-2 الصحة والدقة التحليلية:

#### 1-3-2 الصحة التحليلية: Analytical accuracy

يعدّ جهاز الأشعة السينية الوميضية المستخدم في التحليل الجيوكيميائي من الأجهزة الحديثة ويعتمد تقنية تصحيح ذاتية، من خلال تحليل معادن قياسية معينة، في الدراسة الحالية أُستخدم معدن الكوراندوم كمادة قياسية (Feret et al., 2000)، يطلب الجهاز أثناء تشغيله إدخال المادة القياسية ويقوم بإجراء تحليل للمعدن، وفي حال تطابق النتيجة مع بيانات المعدن القياسي ينتقل الجهاز إلى المرحلة اللاحقة، حيث يسمح بإدخال العينات المراد تحليلها، وبعبكسه تُرفض عملية التحليل وينتقل إلى خطوات الصيانة، لحين تحديد الخلل ومعالجته، لذا يعدّ الجهاز ذو صحة عالية.

#### 2-3-2 الدقة التحليلية: Analytical precision

تمثل الدقة التحليلية مقدار التقارب بين نتائج التحليل لنماذج مكررة من خلال استخدام نفس طريقة التحليل، ويشير مدى التقارب في القراءات إلى مدى دقة التحليل، ما يعني دقة وتشابه الأسلوب في تحضير العينات وتحليلها، وقد كُرّر تحليل ثلاث نماذج عند فحص الأكاسيد الرئيسية والثانوية والعناصر الأثرية، وأظهرت النتائج مدى تقارب عالٍ، وكان لتحليل النموذج (DB1) أهمية بالغة ودلالة واضحة على دقة التحليل كونه يشذ عن باقي النماذج في مقدار تركيز الأكاسيد الرئيسية فضلاً عن باقي العناصر. يوضح الجدول (2-2) نتائج تحليل ثلاثة نماذج بواسطة جهاز الأشعة السينية الوميضية Spectro Xepos.

## الفصل الثاني.. المواد وطرائق البحث

الجدول (2-2): نتائج التحليل للنماذج المكررة (DB1, Y3, SHA)، لتحقيق الدقة التحليلية

Sample ID / Oxide & element	(DB1) -1	(DB1) -2	(Y3) -1	(Y3) -2	(SHA) -1	(SHA) -2
SiO <sub>2</sub> %	26.62	27.19	32.00	33.17	38.96	39.13
TiO <sub>2</sub> %	0.37	0.39	0.62	0.68	0.82	0.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	4.29	4.41	6.59	6.76	8.13	7.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	2.70	2.69	4.03	4.01	4.96	4.86
MgO %	1.72	1.78	2.87	2.63	3.87	3.77
CaO %	34.13	34.20	28.00	27.31	23.37	23.23
Na <sub>2</sub> O %	0.73	0.76	0.79	0.73	0.66	0.67
K <sub>2</sub> O %	0.87	0.87	0.98	1.02	1.41	1.37
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0.13	0.13	0.28	0.26	0.17	0.17
SO <sub>3</sub> %	0.80	0.72	0.93	0.91	0.34	0.34
Cr ppm	190.3	214.1	228.9	210.7	317.2	328.7
Ni ppm	69.4	67.8	101.6	100.5	145.7	137.8
Cu ppm	24.2	21.6	50.1	53.7	31.0	28.6
Zn ppm	68.1	70.8	247.0	222.6	79.7	79.9
Pb ppm	19.9	17.2	44.4	42.3	12.1	11.7

### 2-4 معالجة البيانات:

تم استخدام عدد من البرامج الحاسوبية في معالجة البيانات المتحصلة من الحقل.

#### 2-4-1 برنامج مايكروسوفت اكسل 2019 Microsoft Office Excel

استخدم هذا البرنامج وهو أحد برامج مجموعة أوفيس المكتبية Microsoft Office، في معظم عمليات تنظيم البيانات ومعالجتها، فضلاً عن إنشاء الجداول، ومن هذه العمليات إيجاد معاملات الارتباط correlation coefficient (R)، فضلاً عن رسم المخططات البيانية.

#### 2-4-2 برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)

استخدم برنامج SPSS V.26، في إجراء اختبار التحليل العائلي factor analysis، وتحديد المركبات الأساسية المؤثرة في تحديد سلوك العناصر في الرواسب.

## 3-4-2 برنامج الخرائط ArcMap V10.8

برنامج الخرائط من مجموعة برامج نظم المعلومات الجغرافية ArcGIS من شركة ESRI وفق النظام الجيوديسي العالمي لعام 1984 World Geodetic System (WGS84)، حيث أُستُخدم هذا البرنامج في إعداد خرائط المواقع، إضافة إلى خرائط الانتشار المكاني للعناصر الثقيلة في رواسب الأودية.

## 2-5 مؤشرات خطر التلوث Risk assessment indices

هناك العديد من مؤشرات تقييم خطر التلوث كمؤشر التراكم الأرضي Geoaccumulation Index ومؤشر عامل الإغناء Enrichment Factor ومؤشر عامل التلوث Contamination Factor وغيرها، في هذه الدراسة أُستُخدم إثنان منها لتقييم المخاطر والتعرف على حالة التلوث بالعناصر الثقيلة (V. Kumar *et al.*, 2021):

## 2-5-1 مؤشر التراكم الأرضي (I<sub>geo</sub>) Geoaccumulation Index

أُستُخدم مؤشر التراكم الأرضي (I<sub>geo</sub>) لتحديد تلوث المعادن الثقيلة في الرواسب. وهي طريقة كمية لقياس تلوث المعادن في رواسب المياه والنفايات الصلبة باستخدام المعادلة (1) (Förstner & Müller 1981; Müller, 1979). أُعْتُمدت قيمة تركيز متوسط صخور الطّفَل average shale حسب (Turekian & Wedepohl, 1961)، كقيمة مرجعية.

$$I_{geo} = \text{Log}_2 (C_n / 1.5 * C_{bn}) \dots\dots\dots (1)$$

حيث:

$$C_n = \text{تركيز العناصر الثقيلة في عينات الرواسب (ppm)}.$$

$$C_{bn} = \text{تركيز القيم المرجعية للمعادن الثقيلة (ppm)}.$$

$$1.5 = \text{عامل التصحيح المستخدم للتغيرات الصخرية للعناصر الثقيلة}.$$

صُنّفَ مؤشر I<sub>geo</sub> إلى سبع فئات كما هو موضح في الجدول (2-3) (Förstner & Müller, 1981).

## الفصل الثاني.. المواد وطرائق البحث

الجدول (2-3): تصنيف مؤشر التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ )، (Förstner & Müller, 1981)

$I_{geo}$ value	$I_{geo}$ class	Sediment quality designation
> 5	6	extremely contaminated
4-5	5	strongly to extremely contaminated
3-4	4	strongly contaminated
2-3	3	moderately to strongly contaminated
1-2	2	moderately contaminated
0-1	1	uncontaminated to moderately contaminated
< 0	0	Uncontaminated

### 2-5-2 عامل الإغناء (EF) Enrichment Factor

يستخدم عامل الإغناء (EF) لتقييم درجة تلوث العناصر الثقيلة الناتجة عن العمليات الطبيعية و/أو الأنشطة البشرية في الرواسب (S. Kumar *et al.*, 2017; X. Wang *et al.*, 2020). يتم حساب عامل الإغناء بالمعادلة (2):

$$EF = (C_n/AI)_{\text{sample}} / (C_n/AI)_{\text{background}} \dots \dots (2)$$

حيث:

$(C_n/AI)_{\text{sample}}$  = نسبة (تركيز العنصر الثقيل / تركيز الألمنيوم) في نماذج الرواسب.

$(C_n/AI)_{\text{background}}$  = (تركيز العنصر الثقيل / تركيز الألمنيوم) في النموذج المرجعي والذي

يمثل صخور الطفل average shale بحسب (Turekian & Wedepohl, 1961)

صنّف مؤشر عامل الإغناء EF إلى خمس فئات من  $EF < 2$  (افتقار إلى الحد الأدنى من الإغناء)،

إلى  $EF > 40$  (إغناء عالي للغاية)، كما في الجدول (2-4) (Barbieri, 2016).

الجدول (2-4): فئات عامل الإغناء (EF)، (Barbieri, 2016)

EF value	Soil contamination description
EF < 2	Deficiency to minimal enrichment
EF 2-5	Moderate enrichment
EF 5-20	Significant enrichment
EF 20-40	Very high enrichment
EF > 40	Extremely high enrichment

يعتمد عامل الإغناء على قيمة مرجعية لعناصر مقاومة مثل الألمنيوم والحديد والليثيوم والسكانديوم والكربون، وغيرها، التي تعدّ جزءاً من مكونات الرواسب كالمعادن الطينية وأكاسيد الحديد والمنغنيز والمواد العضوية وغيرها، ولكون المعادن الطينية هي إحدى

## الفصل الثاني: المواد وطرائق البحث

المكونات الرئيسية لرواسب الأودية قيد الدراسة فقد تم استخدام الألمنيوم كقيمة مرجعية في تقدير قيم عامل الإغناء (Ho *et al.*, 2012).

### 2-6 دلائل جودة الرواسب: Sediment Quality Guidelines (SQGs)

إن دلائل جودة الرواسب (SQGs) هي مجموعة من المعايير والعوامل والطرق المتبعة لمراعاة الظروف المختلفة التي يحدث عندها تلوث الرواسب (Kwok *et al.*, 2013). يعد نطاق التأثيرات المنخفض (Effect Range Low (ERL)، ونطاق التأثيرات المتوسط (Effect Range Median (ERM)، من الدلائل شائعة الاستخدام لتحديد جودة الرواسب. تمثل القيم منخفضة المدى (ERL) الحد للتأثير السلبي غير المحتمل على الكائنات الحية التي تعيش في الرواسب. تمثل قيمة النطاق المتوسط (ERM) التركيز الذي من المتوقع عنده التسبب في تأثيرات ضارة على الأحياء في الرواسب (Hahladakis *et al.*, 2013)، يوضح الجدول رقم (2-5) حدود دلائل جودة الرواسب (ERL, ERM).

أضافة إلى الدلائل سابقة الذكر، فقد أُستُخدمت القيم المرجعية للسمية Toxicity reference value (TRV)، وفق وكالة حماية البيئة الأمريكية U.S. Environmental Protection Agency لتحديد جودة الرواسب (USEPA, 1999) الجدول (2-5).

الجدول (2-5): حدود بعض دلائل جودة الرواسب للمعادن الثقيلة (ppm).

SQG	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	As
ERL	80	30	70	120	35	33
ERM	145	50	390	270	110	85
TRV	26	16	16	110	31	6

ERL: Effect Range Low, ERM: Effect Range Median. (Long & Morgan, 1991)  
TRV: Toxicity reference value (USEPA, 1999)

# الفصل الثالث

جيوكيميااء الرواسب

### 3-1 تمهيد:

توجد العناصر الكيميائية في الرواسب النهرية كونها جزء من المعادن المكونة لها، سواء تلك الناتجة من التعرية أو المتكونة أثناء عملية الترسيب، وبشكل أكاسيد، وأيونات متمزة على الجسيمات الغروية أو الأطيان، أو مقترنة مع المادة العضوية (Hussein & Al-Owaidi, 2021).

يستعرض هذا الفصل مناقشة نتائج التحليل الجيوكيميائي لنماذج رواسب الأودية المتمثلة بتوزيع الأكاسيد الرئيسية والعناصر الأثرية في تلك الرواسب. فضلاً عن نتائج التحليل الإحصائي باستخدام معامل الارتباط (correlation coefficient)، الذي يوضح علاقة الأكاسيد الرئيسية فيما بينها، وكذلك علاقتها مع العناصر الأثرية.

### 3-2 معاملات الارتباط: Correlation coefficient

تعد معاملات الارتباط من المؤشرات الإحصائية المهمة التي تبين العلاقة بين المتغيرات، وفي الجيوكيمياء تلعب معاملات الارتباط دوراً مهماً في توضيح العلاقات بين الأكاسيد والعناصر، وتسهل فهمها وتفسيرها، إذ يعكس معامل الارتباط وجود العناصر في نفس الطور المعدني أو تشابه وإختلاف السلوك الجيوكيميائي خلال عملية التجوية، أو وجود العناصر بالطور المعدني بصيغة إحلل أو امتزاز (Dokuz & Tanyolu, 2006; Pérez *et al.*, 2021). استخدم في الدراسة الحالية برنامج الإكسل MS excel 2019، وتم اعتماد قيمتي احتمال  $p$  value (0.05, 0.01) كمؤشر للقيم المؤثرة significant correlation value (Knipper, 2021)، تظهر الجداول (1-3) و (2-3) مصفوفات معاملات الارتباط بين الأكاسيد الرئيسية والثانوية والمادة العضوية وثاني أكسيد الكربون والعناصر الثانوية لنماذج رواسب الأودية في منطقة الدراسة.

الجدول (3-1): مصفوفة معامل الارتباط بين المكونات الرئيسية والثانوية والأثرية لرواسب الأودية في الجانب الأيمن، عدد النماذج n=25

	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>SO<sub>3</sub></i>	<i>Cl</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>OM</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	<b>1.00**</b>												
<i>TiO<sub>2</sub></i>	<b>0.56**</b>	<b>1.00**</b>											
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.37	<b>0.91**</b>	<b>1.00**</b>										
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	0.32	<b>0.53**</b>	0.38	<b>1.00**</b>									
<i>MgO</i>	0.33	<b>0.78**</b>	<b>0.90**</b>	0.28	<b>1.00**</b>								
<i>CaO</i>	<b>-0.86**</b>	<b>-0.42*</b>	-0.23	-0.10	-0.22	<b>1.00**</b>							
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	0.33	<b>-0.41*</b>	<b>-0.66**</b>	-0.21	<b>-0.62**</b>	<b>-0.51**</b>	<b>1.00**</b>						
<i>K<sub>2</sub>O</i>	<b>0.48*</b>	<b>0.75**</b>	<b>0.66**</b>	0.32	<b>0.65**</b>	<b>-0.47*</b>	-0.16	<b>1.00**</b>					
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<b>0.41*</b>	-0.24	<b>-0.48*</b>	-0.17	<b>-0.49*</b>	<b>-0.56**</b>	<b>0.86**</b>	-0.13	<b>1.00**</b>				
<i>SO<sub>3</sub></i>	0.30	-0.32	<b>-0.45*</b>	-0.37	-0.38	<b>-0.50*</b>	<b>0.80**</b>	0.06	<b>0.66**</b>	<b>1.00**</b>			
<i>Cl</i>	<b>0.41*</b>	-0.15	-0.40	0.01	<b>-0.42*</b>	<b>-0.57**</b>	<b>0.81**</b>	0.00	<b>0.79**</b>	<b>0.47*</b>	<b>1.00**</b>		
<i>CO<sub>2</sub></i>	<b>-0.70**</b>	<b>-0.55**</b>	<b>-0.48*</b>	-0.30	<b>-0.40*</b>	<b>0.71**</b>	-0.10	<b>-0.51**</b>	-0.23	-0.28	-0.11	<b>1.00**</b>	
<i>OM</i>	<b>0.41*</b>	-0.12	-0.32	-0.16	-0.35	<b>-0.61**</b>	<b>0.69**</b>	-0.03	<b>0.80**</b>	<b>0.61**</b>	<b>0.64**</b>	<b>-0.51**</b>	<b>1.00**</b>
<i>V</i>	-0.03	<b>0.60**</b>	<b>0.65**</b>	0.31	<b>0.53**</b>	0.05	<b>-0.53**</b>	<b>0.43*</b>	<b>-0.40*</b>	<b>-0.56**</b>	-0.20	-0.17	-0.19
<i>Cr</i>	<b>0.44*</b>	-0.05	-0.29	-0.07	-0.16	<b>-0.56**</b>	<b>0.65**</b>	0.14	<b>0.45*</b>	<b>0.63**</b>	0.30	-0.23	0.38
<i>Mn</i>	0.31	<b>0.67**</b>	<b>0.64**</b>	<b>0.79**</b>	<b>0.58**</b>	-0.07	<b>-0.47*</b>	<b>0.46*</b>	-0.39	<b>-0.53**</b>	-0.10	-0.21	-0.40
<i>Co</i>	<b>0.57**</b>	0.08	-0.14	0.32	-0.13	<b>-0.57**</b>	<b>0.55**</b>	0.24	<b>0.40*</b>	0.35	<b>0.62**</b>	-0.24	0.31
<i>Ni</i>	0.07	<b>0.72**</b>	<b>0.84**</b>	<b>0.40*</b>	<b>0.81**</b>	0.00	<b>-0.72**</b>	<b>0.52**</b>	<b>-0.57**</b>	<b>-0.53**</b>	<b>-0.46*</b>	-0.38	-0.30
<i>Cu</i>	<b>0.40*</b>	-0.21	<b>-0.52**</b>	0.10	<b>-0.53**</b>	<b>-0.58**</b>	<b>0.84**</b>	-0.07	<b>0.73**</b>	<b>0.60**</b>	<b>0.69**</b>	-0.25	<b>0.66**</b>
<i>Zn</i>	0.39	-0.30	<b>-0.54**</b>	-0.13	<b>-0.54**</b>	<b>-0.61**</b>	<b>0.90**</b>	-0.20	<b>0.92**</b>	<b>0.69**</b>	<b>0.78**</b>	-0.30	<b>0.84**</b>
<i>As</i>	0.23	0.17	0.05	0.34	0.08	-0.24	0.31	0.21	0.27	0.22	0.39	-0.30	0.29
<i>Rb</i>	0.13	<b>0.76**</b>	<b>0.88**</b>	0.29	<b>0.86**</b>	-0.07	<b>-0.70**</b>	<b>0.66**</b>	<b>-0.59**</b>	<b>-0.49*</b>	<b>-0.43*</b>	-0.33	-0.34
<i>Zr</i>	<b>0.46*</b>	<b>0.79**</b>	<b>0.65**</b>	0.24	<b>0.65**</b>	<b>-0.41*</b>	-0.21	<b>0.64**</b>	-0.07	-0.22	0.02	-0.34	0.02
<i>Pb</i>	0.33	-0.15	-0.30	0.08	-0.29	<b>-0.40*</b>	<b>0.57**</b>	-0.12	<b>0.62**</b>	0.36	<b>0.46*</b>	-0.21	<b>0.42*</b>



	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>	<i>Rb</i>	<i>Zr</i>	<i>Pb</i>
<i>V</i>	<b>1.00**</b>										
<i>Cr</i>	<b>-0.40*</b>	<b>1.00**</b>									
<i>Mn</i>	<b>0.41*</b>	-0.25	<b>1.00**</b>								
<i>Co</i>	-0.19	<b>0.45*</b>	0.15	<b>1.00**</b>							
<i>Ni</i>	<b>0.77**</b>	<b>-0.42*</b>	<b>0.57**</b>	-0.16	<b>1.00**</b>						
<i>Cu</i>	<b>-0.43*</b>	<b>0.71**</b>	-0.27	<b>0.64**</b>	<b>-0.53**</b>	<b>1.00**</b>					
<i>Zn</i>	<b>-0.40*</b>	<b>0.55**</b>	<b>-0.42*</b>	<b>0.44*</b>	<b>-0.55**</b>	<b>0.87**</b>	<b>1.00**</b>				
<i>As</i>	0.29	0.10	0.22	0.12	0.17	0.19	0.32	<b>1.00**</b>			
<i>Rb</i>	<b>0.75**</b>	-0.31	<b>0.60**</b>	-0.13	<b>0.92**</b>	<b>-0.57**</b>	<b>-0.61**</b>	0.05	<b>1.00**</b>		
<i>Zr</i>	<b>0.47*</b>	0.10	<b>0.50*</b>	0.04	<b>0.49*</b>	-0.15	-0.14	0.15	<b>0.64**</b>	<b>1.00**</b>	
<i>Pb</i>	-0.28	<b>0.42*</b>	-0.04	0.20	-0.37	<b>0.59**</b>	<b>0.64**</b>	0.39	<b>-0.43*</b>	-0.04	<b>1.00**</b>

<b>** Significant at P value =0.01</b>
<b>* Significant at P value =0.05</b>

الجدول (2-3): مصفوفة معامل الارتباط بين المكونات الرئيسية والثانوية والأثرية لرواسب الأودية في الجانب الأيسر، عدد النماذج n=36

	<i>SiO<sub>2</sub></i>	<i>TiO<sub>2</sub></i>	<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<i>MgO</i>	<i>CaO</i>	<i>Na<sub>2</sub>O</i>	<i>K<sub>2</sub>O</i>	<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	<i>SO<sub>3</sub></i>	<i>Cl</i>	<i>CO<sub>2</sub></i>	<i>OM</i>
<i>SiO<sub>2</sub></i>	<b>1.00**</b>												
<i>TiO<sub>2</sub></i>	<b>0.77**</b>	<b>1.00**</b>											
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<b>0.78**</b>	<b>0.93**</b>	<b>1.00**</b>										
<i>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	<b>0.47**</b>	<b>0.76**</b>	<b>0.69**</b>	<b>1.00**</b>									
<i>MgO</i>	<b>0.70**</b>	<b>0.86**</b>	<b>0.89**</b>	<b>0.57**</b>	<b>1.00**</b>								
<i>CaO</i>	<b>-0.50**</b>	<b>-0.49**</b>	<b>-0.49**</b>	<b>-0.54**</b>	<b>-0.39*</b>	<b>1.00**</b>							
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	-0.24	-0.28	<b>-0.36*</b>	-0.15	-0.09	-0.14	<b>1.00**</b>						
<i>K<sub>2</sub>O</i>	<b>0.73**</b>	<b>0.50**</b>	<b>0.59**</b>	0.03	<b>0.59**</b>	-0.30	-0.12	<b>1.00**</b>					
<i>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i>	-0.06	0.01	0.01	<b>0.47**</b>	-0.07	<b>-0.45**</b>	0.30	-0.28	<b>1.00**</b>				
<i>SO<sub>3</sub></i>	-0.32	-0.08	-0.18	0.15	0.05	-0.15	<b>0.78**</b>	-0.32	0.30	<b>1.00**</b>			
<i>Cl</i>	-0.07	0.04	-0.01	0.12	0.27	-0.19	<b>0.69**</b>	-0.05	0.32	<b>0.49**</b>	<b>1.00**</b>		
<i>CO<sub>2</sub></i>	<b>-0.48**</b>	<b>-0.56**</b>	<b>-0.49**</b>	<b>-0.71**</b>	<b>-0.43**</b>	<b>0.59**</b>	-0.02	-0.05	<b>-0.58**</b>	-0.09	-0.28	<b>1.00**</b>	
<i>OM</i>	-0.25	0.00	-0.03	<b>0.40*</b>	-0.05	<b>-0.41*</b>	0.33	<b>-0.45**</b>	<b>0.75**</b>	<b>0.49**</b>	<b>0.37*</b>	<b>-0.47**</b>	<b>1.00**</b>
<i>V</i>	0.17	<b>0.53**</b>	<b>0.46**</b>	<b>0.53**</b>	0.30	-0.21	<b>-0.36*</b>	-0.02	0.06	0.02	-0.25	-0.28	0.14
<i>Cr</i>	<b>0.41*</b>	0.16	0.03	-0.11	0.05	-0.08	0.02	<b>0.43**</b>	-0.29	-0.28	-0.04	0.12	<b>-0.41*</b>
<i>Mn</i>	<b>0.59**</b>	<b>0.57**</b>	<b>0.53**</b>	0.18	<b>0.60**</b>	0.11	-0.16	<b>0.62**</b>	-0.27	-0.22	0.03	-0.10	<b>-0.47**</b>
<i>Co</i>	<b>0.54**</b>	<b>0.50**</b>	<b>0.54**</b>	<b>0.64**</b>	<b>0.42*</b>	<b>-0.49**</b>	-0.27	0.19	0.26	-0.19	0.10	<b>-0.54**</b>	0.10
<i>Ni</i>	<b>0.55**</b>	<b>0.89**</b>	<b>0.89**</b>	<b>0.81**</b>	<b>0.82**</b>	<b>-0.37*</b>	<b>-0.37*</b>	0.30	0.06	-0.02	0.06	<b>-0.49**</b>	0.08
<i>Cu</i>	-0.05	0.01	-0.16	<b>0.47**</b>	-0.24	<b>-0.44**</b>	0.28	<b>-0.47**</b>	<b>0.57**</b>	<b>0.34</b>	0.14	<b>-0.46**</b>	<b>0.61**</b>
<i>Zn</i>	-0.14	0.03	-0.07	<b>0.48**</b>	-0.17	<b>-0.46**</b>	0.30	<b>-0.46**</b>	<b>0.76**</b>	<b>0.38*</b>	0.20	<b>-0.43**</b>	<b>0.76**</b>
<i>As</i>	0.24	<b>0.44**</b>	<b>0.36*</b>	<b>0.74**</b>	0.23	<b>-0.36*</b>	0.05	-0.16	<b>0.53**</b>	0.19	0.11	<b>-0.57**</b>	<b>0.37*</b>
<i>Rb</i>	<b>0.56**</b>	<b>0.38*</b>	<b>0.49**</b>	-0.09	<b>0.42*</b>	-0.26	-0.10	<b>0.92**</b>	<b>-0.36*</b>	-0.31	-0.13	0.12	<b>-0.47**</b>
<i>Zr</i>	<b>0.82**</b>	<b>0.86**</b>	<b>0.75**</b>	<b>0.44**</b>	<b>0.75**</b>	-0.31	-0.24	<b>0.68**</b>	-0.17	-0.19	-0.03	<b>-0.40*</b>	-0.26
<i>Pb</i>	-0.07	-0.03	-0.19	<b>0.40*</b>	-0.28	<b>-0.40*</b>	0.26	<b>-0.44**</b>	<b>0.56**</b>	0.29	0.07	<b>-0.40*</b>	<b>0.57**</b>

	<i>V</i>	<i>Cr</i>	<i>Mn</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>	<i>As</i>	<i>Rb</i>	<i>Zr</i>	<i>Pb</i>
<i>V</i>	<b>1.00**</b>										
<i>Cr</i>	-0.26	<b>1.00**</b>									
<i>Mn</i>	0.04	<b>0.34*</b>	<b>1.00**</b>								
<i>Co</i>	0.19	0.05	0.17	<b>1.00**</b>							
<i>Ni</i>	<b>0.57**</b>	-0.07	<b>0.46**</b>	<b>0.60**</b>	<b>1.00**</b>						
<i>Cu</i>	0.20	0.03	<b>-0.47**</b>	0.20	-0.02	<b>1.00**</b>					
<i>Zn</i>	0.19	-0.14	<b>-0.48**</b>	0.15	0.03	<b>0.84**</b>	<b>1.00**</b>				
<i>As</i>	<b>0.37*</b>	-0.05	0.09	<b>0.42*</b>	<b>0.46**</b>	<b>0.59**</b>	<b>0.68**</b>	<b>1.00**</b>			
<i>Rb</i>	0.01	<b>0.40*</b>	<b>0.50**</b>	0.05	0.19	<b>-0.48**</b>	<b>-0.43**</b>	-0.19	<b>1.00**</b>		
<i>Zr</i>	<b>0.35*</b>	<b>0.37*</b>	<b>0.73**</b>	<b>0.34</b>	<b>0.64**</b>	-0.17	-0.19	0.18	<b>0.54**</b>	<b>1.00**</b>	
<i>Pb</i>	0.11	0.09	<b>-0.48**</b>	0.13	-0.09	<b>0.93**</b>	<b>0.83**</b>	<b>0.51**</b>	<b>-0.45**</b>	-0.16	<b>1.00**</b>

<b>** Significant at P value =0.01</b>
<b>* Significant at P value =0.05</b>

### 3-3 جيوكيميائية الأكاسيد الرئيسية والثانوية **Geochemistry of major & minor oxides**

يظهر الجدول (3-3) تراكيز الأكاسيد الرئيسية والثانوية والكلور وثاني أكسيد الكربون والمادة العضوية في رواسب أودية مدينة الموصل، وقيم تراكيز الأكاسيد في القشرة القارية العليا Upper Continental Crust (UCC) وفقاً لـ Wedepohl, (1995) و Rudnick & Gao, (2013)، إضافة إلى تراكيز الأكاسيد في رواسب الأنهار وفقاً لـ Ohta *et al.*, (2017).

#### 3-3-1 ثاني أكسيد السليكون (السليكا) (Silica; SiO<sub>2</sub>)

تعد السليكا أكثر الأكاسيد وفرة في القشرة الأرضية، إذ يبلغ معدل تركيزها في القشرة القارية العليا (64.93 %wt) وفقاً لـ Wedepohl, (1995) بينما أشار Rudnick & Gao, (2013) إلى أن المعدل يبلغ (66.62 %wt) وبلغ معدل تركيزها في رواسب الأنهار (61.3 %wt) وفقاً لـ Salminen *et al.*, (2005).

بلغت قيم تراكيز السليكا في رواسب أودية الجانب الأيمن في وادي عكاب (30.12-35.42 %wt، المعدل 32.40 %wt)، وفي وادي اليرموك (31.58-35.70 %wt، المعدل 34.145)، وفي وادي العميين (25.22-37.92 %wt المعدل 31.02 %wt)، وفي وادي المأمون (26.54-35.35 %wt، المعدل 30.96 %wt) كما في الجدول (3-3)، ويلاحظ من خلال هذا الجدول الفرق في قيم معدلات التراكيز مع القيم المرجعية. يعزى السبب في انخفاض تركيز السليكا إلى المكونات الصخرية للمنطقة إذ تتألف بشكل عام من الصخور الطينية والصخور الجيرية وصخور المتبخرات، فضلاً عن الرمل بنسبة قليلة. يشير التشابه العام في معدلات تراكيز السليكا إلى طبيعة صخور الأصل source rocks، وتعرضها لنفس ظروف التعرية والنقل على طول الوديان المدروسة (Hussein & Al-Owaidi, 2021). يظهر معامل الارتباط وجود علاقة ارتباط طردية بين السليكا وأكاسيد الألمنيوم والتيتانيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم، التي تعني وجود هذه الأكاسيد ضمن الأطوار المعدنية التي تعود للمعادن الطينية والمعادن المرافقة لها خلال عملية النقل مثل حبيبات الكوارتز الناعمة، ولذلك لم تظهر علاقة السليكا مع هذه الأكاسيد بشكل علاقة ارتباط قوية لوجود السليكا موزعة بين المعادن الطينية والكوارتز، الجدول (3-1).

## الفصل الثالث.. جيوكيمياء الرواسب

الجدول (3-3): تراكيز الأكاسيد الرئيسية والثانوية، والمادة العضوية وثاني أكسيد الكربون، وماء التبلور لرواسب الأودية في منطقة الدراسة، وقيمها المرجعية في رواسب الأنهار وفق (Ohta *et al.*, 2017)، والقشرة القارية العليا وفق (Rudnick & Gao, 2013). (القيم مقاسة بالنسبة المئوية الوزنية)

City Side	Wadi	Oxide Sample	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	CO <sub>2</sub>	O.M.	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total
			RIGHT SIDE	UGAB	U1	33.57	0.74	8.11	5.07	3.31	27.53	0.54	1.03	0.13	0.25	0.03	11.42
U2	31.33	0.65			6.94	4.29	2.9	27.14	0.62	0.98	0.19	0.43	0.03	13.44	6.27	2.83	98.05
U3	32.73	0.78			7.42	4.89	3.05	25.27	0.7	1.16	0.28	0.43	0.04	12.63	8.5	1.85	99.74
U5	30.64	0.61			5.64	6.1	2.15	31.18	0.76	0.95	0.17	0.41	0.03	14.38	5.42	1.24	99.68
U6	33.01	0.63			6.49	4.52	2.71	22.7	0.86	1.08	0.38	0.95	0.05	11.38	10.49	3.08	98.33
U8	30.12	0.67			6.82	4.71	2.92	26.88	0.79	1.07	0.32	1.13	0.03	14.32	6.83	2.12	98.73
UA2	35.42	0.63			5.91	4.63	2.26	23.32	1.08	0.95	0.63	1.19	0.05	12.58	9.22	1.41	99.28
AL-YARMOK	Y1	35.26		0.76	8.26	5.19	4.3	25	0.46	1.11	0.14	0.23	0.02	9.94	5.72	1.79	98.18
	Y3	32		0.62	6.59	4.03	2.87	28	0.79	0.98	0.28	0.93	0.03	12.91	7.22	1.65	98.91
	Y4	35.7		0.69	7.24	4.57	3.22	24.22	0.8	1.13	0.2	1.19	0.04	13.26	5.74	1.05	99.05
	Y5	31.58		0.56	5.57	4.71	2.49	29.11	0.85	0.96	0.33	0.56	0.04	16.22	6.26	1.04	100.27
	Y7	33.81		0.64	6.56	4.51	2.84	20.9	0.91	0.98	0.41	0.82	0.05	13.34	10.34	2.15	98.26
	Y9	35.22		0.68	6.66	4.83	2.83	22.56	1.03	1.05	0.48	1.13	0.04	10.12	9.57	2.57	98.76
	Y10	31.6		0.66	6.28	4.97	2.76	21.17	1.26	1	0.54	2.42	0.06	8.67	17.72	1.25	100.36
AL-EIN	E1	31.05		0.73	7.65	4.7	3.08	29.41	0.49	1.05	0.12	0.61	0.01	13.03	5.19	1.35	98.47
	E3	25.22		0.54	5.8	3.86	2.49	33.59	0.59	0.88	0.14	0.69	0.02	16.79	6.21	1.44	98.25
	E5	37.92		0.67	6.38	4.38	2.62	20.32	1.03	1.05	0.37	1.39	0.03	8.89	10.53	2.92	98.49
	E7	27.05		0.52	5.5	3.89	2.32	32.11	0.69	0.96	0.25	0.71	0.02	15.68	6.49	2.45	98.64
	E8	31		0.64	6.95	4.76	3.01	25.16	0.77	1.14	0.26	1.32	0.03	7.42	9.27	6.41	98.13
	EA	33.88		0.73	8.31	5.07	3.32	25.96	0.37	0.99	0.16	0.25	0.01	8.75	6.82	3.54	98.16
AL-MA'MON	M1	35.35		0.79	8.63	5.29	3.5	24.82	0.49	1.17	0.13	0.19	0.03	10.07	5.86	2.15	98.47
	M2	31.66		0.7	7.31	4.91	2.99	28.5	0.62	1.07	0.37	0.47	0.03	13.35	6.9	1.75	100.64
	M3	29.9		0.66	6.93	4.68	2.82	27.35	0.69	1	0.23	0.56	0.03	12.31	8.72	3.1	98.98
	M4	31.34		0.65	6.9	4.42	2.8	29.07	0.64	1.01	0.22	0.38	0.03	14.33	6.02	1.65	99.47
	M5	26.54		0.61	6.36	4.59	2.61	31.23	0.67	0.92	0.16	0.25	0.03	16.16	4.37	3.86	98.35
MIN		25.22		0.52	5.5	3.86	2.15	20.32	0.37	0.88	0.12	0.19	0.01	7.42	4.37	1.04	98.05
MAX		37.92		0.79	8.63	6.1	4.3	33.59	1.26	1.17	0.63	2.42	0.06	16.79	17.72	6.41	100.64
MEAN		32.116		0.6624	6.8484	4.7028	2.8868	26.5	0.74	1.0268	0.2756	0.7556	0.0324	12.4556	7.606	2.2664	98.8744

City Side	Wadi	Oxide	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O`	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	CO <sub>2</sub>	O.M.	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Total	
		Sample																
LEFT SIDE	AL-RASHED-IA	R1	35.06	0.79	8.30	5.12	3.41	25.72	0.42	1.29	0.21	0.21	0.01	11.45	6.34	0.38	98.71	
		R2	33.55	0.71	7.67	4.86	3.24	22.47	0.51	1.20	0.21	0.58	0.01	11.46	3.77	8.97	99.21	
		R3	33.24	0.69	7.59	4.67	3.25	29.92	0.44	1.16	0.12	0.16	0.01	13.06	4.71	0.79	99.81	
		R4	33.66	0.79	7.99	5.00	3.45	26.45	0.53	1.26	0.16	0.43	0.03	11.68	6.19	0.41	98.02	
		R6	35.56	0.78	8.18	5.23	3.97	22.69	0.79	1.29	0.18	0.79	0.14	11.93	6.35	0.67	98.55	
	AL-KHARR-AZI	KH1	32.50	0.53	6.26	3.48	2.53	25.40	0.64	0.87	0.21	0.43	0.02	12.63	8.31	4.43	98.24	
		KH3	33.25	0.65	7.67	4.63	3.36	27.23	0.51	1.05	0.24	0.30	0.02	12.49	6.76	0.35	98.52	
		KH4	35.10	0.73	7.84	4.75	3.76	23.80	0.44	1.15	0.14	0.17	0.01	10.77	5.02	4.93	98.61	
		KHA2	34.57	0.67	7.59	4.75	3.06	23.32	0.49	1.20	0.23	0.28	0.01	9.17	8.04	5.04	98.42	
	KHOSAR RIVER	KS1	32.89	0.49	5.82	2.35	2.13	24.49	1.06	1.42	0.11	0.22	0.02	15.83	1.50	11.43	99.76	
		KS2	33.17	0.49	6.39	2.85	2.67	25.80	0.82	1.40	0.13	0.32	0.02	15.05	3.28	7.33	99.72	
		KS3	36.80	0.75	8.18	4.58	3.86	22.09	0.69	1.48	0.16	0.88	0.02	14.61	5.37	0.91	100.38	
		KS4	36.62	0.69	7.54	4.21	3.49	23.83	0.79	1.42	0.24	1.01	0.02	13.70	4.95	0.32	98.83	
		KS5	34.60	0.61	6.59	3.07	2.89	24.56	0.96	1.36	0.16	0.54	0.03	15.69	3.06	5.19	99.32	
		KS7	39.52	0.85	9.61	5.91	4.29	17.73	0.54	1.54	0.20	0.28	0.01	11.86	6.08	1.08	99.49	
		KSA2	30.64	0.68	7.11	4.70	3.57	26.17	1.34	1.03	0.14	4.73	0.05	12.85	7.34	0.20	100.55	
		KSB3	36.80	0.79	8.87	5.43	4.01	23.15	0.53	1.41	0.19	0.47	0.02	10.87	6.34	0.87	99.75	
	AL-DANFILIL	D1	34.03	0.72	7.62	5.11	3.12	24.30	0.60	1.05	0.26	0.61	0.03	11.17	7.02	2.97	98.61	
		D2	31.94	0.72	7.68	5.56	3.24	19.63	0.97	1.08	0.44	2.32	0.05	8.86	15.75	0.77	99.01	
		D3	33.35	0.68	6.95	5.55	2.94	19.74	0.94	1.05	0.36	1.99	0.04	8.72	13.65	2.77	98.73	
		D4	34.85	0.66	6.26	5.35	2.54	21.71	0.95	0.95	0.21	1.62	0.04	10.20	8.48	4.77	98.59	
		D5	35.18	0.73	7.50	5.58	3.17	20.75	0.92	1.13	0.47	1.16	0.05	8.78	11.34	1.32	98.08	
		DA	33.64	0.67	7.30	4.83	3.15	24.32	0.79	1.08	0.29	1.16	0.03	10.17	8.85	1.80	98.08	
		DB1	26.62	0.37	4.29	2.70	1.72	34.13	0.73	0.87	0.13	0.80	0.02	19.25	5.29	1.57	98.48	
		DB2	36.52	0.66	7.27	6.13	2.93	23.79	1.00	1.13	0.55	1.09	0.06	8.46	8.25	0.67	98.52	
		DB3	34.35	0.76	7.85	5.81	3.54	24.42	0.64	1.28	0.30	0.63	0.02	10.25	5.82	3.42	99.09	
		DC1	36.56	0.79	8.56	5.36	3.51	20.51	0.61	1.34	0.31	0.89	0.03	8.23	9.00	2.34	98.04	
	DC2	34.37	0.62	6.90	4.07	3.15	24.89	0.62	1.26	0.24	0.49	0.02	10.20	4.24	7.27	98.33		
	AL-SHOR	SH1	30.20	0.55	6.56	4.16	3.12	22.06	1.13	1.11	0.52	1.94	0.12	9.12	15.40	2.57	98.56	
		SH2	34.39	0.62	6.61	4.37	3.23	24.39	1.17	1.23	0.29	2.69	0.07	9.70	7.69	2.04	98.49	
		SH3	35.71	0.77	8.09	4.83	4.53	23.53	1.46	1.35	0.21	2.25	0.18	8.50	6.86	0.37	98.64	
		SH4	36.52	0.82	7.87	4.56	3.76	23.93	0.67	1.35	0.18	0.61	0.03	9.88	5.67	2.90	98.75	
		SH5	36.94	0.73	8.42	4.94	3.87	25.37	0.76	1.32	0.19	0.95	0.03	9.77	5.09	0.99	99.37	
		SHA	38.96	0.82	8.13	4.96	3.87	23.37	0.66	1.41	0.17	0.34	0.03	9.28	3.76	2.74	98.50	
		SH6	38.50	0.81	8.23	4.59	3.80	25.68	0.71	1.42	0.18	0.36	0.02	8.98	3.64	1.09	98.01	
	SH7	37.99	0.81	8.64	5.00	3.95	23.00	0.68	1.46	0.24	0.78	0.03	9.50	6.38	0.71	99.18		
	MIN		26.62	0.37	4.29	2.35	1.72	17.73	0.42	0.87	0.11	0.16	0.01	8.23	1.50	0.20	98.01	
	MAX		39.52	0.85	9.61	6.13	4.53	34.13	1.46	1.54	0.55	4.73	0.18	19.25	15.75	11.43	100.55	
	MEAN		34.67	0.69	7.50	4.70	3.34	24.01	0.76	1.23	0.24	0.96	0.04	11.23	6.82	2.68	98.86	
	SD (Ohta <i>et al.</i> , 2017)			-	0.81	11.10	6.51	2.99	2.83	2.19	1.51	0.14	-	-	-	-	-	-
	UCC (Rudnick & Gao, 2013)			66.62	0.64	15.40	5.04	2.48	3.59	3.27	2.80	0.15	-	-	-	-	-	-

بلغت قيم تراكيز السليكا في رواسب أودية الجانب الأيسر كالاتي؛ في وادي الرشيدية (33.24-35.56%wt، المعدل 34.21%wt)، وفي وادي الخـرازي (32.50-35.10%wt، المعدل 33.86%wt)، وفي وادي نهر الخوصر (30.64-39.52%wt، المعدل 34.71%wt)، وفي وادي السـدانفيلي (26.62-36.56%wt، المعدل 33.76%wt)، واخيراً في وادي الشـور (30.20-38.96%wt، المعدل 36.15%wt)، وهي أيضاً أقل من قيم معدلاتها في القيم المرجعية. وكما في رواسب الجانب الأيمن فإن التشابه العام في قيم تراكيز السليكا يعزى إلى صخور المصدر، الا انها أعلى نوعاً منها في ذلك الجانب، ولذات السبب وهو صخور المصدر التي تتألف من الحجر الطيني وصخور المارل والصخور الغرينية والحجر الرملي لتكوين إنجانة وصخور الحجر الجيري والمتبخرات وصخور المارل لتكوين الفتحة فضلاً عن ترسبات العصر الرباعي، إذ يعزى سبب زيادة تراكيز السليكا إلى زيادة صخور الحجر الرملي نسبة إلى باقي المكونات. تبلغ أعلى قيم السليكا في وادي نهر الخوصر والشور، ويعود السبب إلى كونهما الأطول بين باقي الأودية ويمران بتكويني إنجانة والمقدادية التي تزداد فيهما الصخور الحاوية على الحجر الرملي بنسبة أعلى. ومما يؤيد ارتباط السليكا مع بقية الأكاسيد التي تمثل المعادن الطينية انخفاض قيم هذا الأكاسيد مع انخفاض تراكيز السليكا كما هو الحال في العينية (DB1) التي انخفضت فيها تراكيز الأكاسيد الرئيسة مع انخفاض نسبة السليكا، بينما كان تركيز أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون أعلى من نظيريهما في باقي العينات، ما قد يعني ان النموذج قد لا يمثل حقيقة رواسب المنطقة، وان ذلك قد يعزى إلى وجود صخور الحجر الجيري التي ترمى مع أنقاض البناء في الموقع. ترتبط السليكا بعلاقة طردية قوية مع أكاسيد الألمنيوم والتيتانيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم، إضافة إلى عناصر المنغنيز والكوبلت والنيكل والروبيديوم والزركونيوم الجدول (2-3)، وتعكس هذه العلاقة اطوار المعادن الطينية المختلفة التي ترتبط بها هذه العناصر اما بصيغة إحلال مع الكتايون في المعدن الطيني او بهيئة امتزاز على سطوح هذه المعادن باختلاف التركيب الكيميائي والبنية الذرية (Bergaya et al., 2006) (chemical composition and atomic structure)، وسنأتي على ذكرها بتفصيل أكثر عند الحديث عن العناصر الثقيلة لاحقاً.

### 3-3-2 أوكسيد التيتانيوم (Titanium Oxide; TiO<sub>2</sub>)

يسمى أوكسيد التيتانيوم TiO<sub>2</sub> بالتيتانيا titania. يبلغ معدل تركيز التيتانيا في القشرة القارية العليا (UCC) (0.52%wt) وفقاً لـ (Wedepohl, 1995)، و يبلغ

(%wt 0.64) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013) ، وفي رواسب الأندلس يبلغ (%wt 0.81) وفقاً لـ Ohta *et al.*, (2017).

يبلغ معدل تراكيزه في الدراسة الحالية في رواسب أودية الجانب الأيمن (%wt 0.66)، وكانت قيمها لكل وادي كالتالي: وادي عكاب (%wt 0.61-0.78)، المعمدل (%wt 0.67)، وادي اليرموك (%wt 0.56-0.76)، المعمدل (%wt 0.65)، وادي العين (%wt 0.52-0.73)، المعمدل (%wt 0.64)، وفي وادي المأمون (%wt 0.61-0.79)، المعمدل (%wt 0.68). يبين الجدول (2-3) أن أعلى تراكيز التيتانيا تقع في أولى عينات الأودية أو روافدها وتنخفض باتجاه المصب إذ كانت في وادي عكاب (U1=0.74 wt%) وفي وادي اليرموك (Y1=0.76 wt%) وفي وادي العين (E1=0.73 wt%) و (EA=0.73 wt%) وفي وادي المأمون (0.79 wt%)، ما يشير إلى أنها موروثية من الصخور الأم. يشكل التيتانيوم مجموعة من المعادن بضمنها الروتايل rutile والاناتيس anatase والبروكايت brookite ورمزها الكيميائي (TiO<sub>2</sub>)، والالمانايت ilmenite (FeTiO<sub>3</sub>)، يعد التيتانيوم من العناصر المقاومة للتجوية لذا فهو ينتقل بأطواره المعدنية كالروتايل والالمانيت والتي تعد غير ذائبة نسبياً، ومع ذلك يمكن أن يتواجد ضمن المعادن الطينية سواء عن طريق الاحلال أو الامتزاج، (Almayyahi & Aljaberi, 2018; Salminen *et al.*, 2005) لا سيما وأن تراكيزه اقل من (1 wt%) التي تشير إلى وجوده بصيغة إحلال في المعادن الطينية أكثر من وجوده بأطوار أكاسيد التيتانيوم (Fitzpatrick & Chittleborough, 2018).

بلغ معدل تركيز أكسيد التيتانيوم في رواسب أودية الجانب الأيسر (%wt 0.69)، كانت نسبة تراكيز TiO<sub>2</sub> في رواسب أودية الجانب الأيسر كالتالي: (%wt 0.69-0.79)، المعمدل (%wt 0.75) في وادي الرشيدية، (%wt 0.53-0.73)، المعمدل (%wt 0.65) في وادي الخراساني، (%wt 0.49-0.85)، المعمدل (%wt 0.67) في وادي نهر الخوصر، و (%wt 0.37-0.79)، المعمدل (%wt 0.67) في وادي السدافي، (%wt 0.55-0.82)، المعمدل (%wt 0.74) في وادي الشور. يلاحظ أن تراكيز TiO<sub>2</sub> أعلى من نظيرتها في الجانب الأيمن إذ تزداد بشكل عام كلما ابتعدنا عن بدايات الأودية، إذ يرتبط أكسيد التيتانيوم بالمعادن الطينية التي تزداد بزيادة الصخور الطينية



والمارل من تكويني إنجانة والفتحة من خلال إحلال  $Ti^{+4}$  محل  $Al^{+3}$  بسبب تشابه نصف القطر الايوني (Almayyahi & Aljaberi, 2018).

تقع أعلى تراكيز هذا الأوكسيد ضمن وادي الشور، وقد لوحظت طبقات للسخور الطينية العائدة لتكوين إنجانة المنكشفة بالقرب من حوض الوادي والذي يمر في أراضي معظمها زراعية في منطقة الدراسة، حيث تغسل الترب الحاوية على المعادن الطينية نحو الوادي اثناء المواسم المطرية.

يرتبط أوكسيد التيتانيوم في رواسب كلا الجانبين بأكاسيد السليكون والألمنيوم والمغنيسيوم والبوتاسيوم، إضافة إلى عدد من العناصر الأثرية وهذا يدل على وجود اطوار مختلفة للمعادن الطينية كما يمكن لـ  $TiO_2$  ان ينتقل بأطواره المعدنية كالروتايل والالمنيات نظراً لمقاومته العالية للتجوية. ترتبط العناصر الأثرية بهذه الأكاسيد من خلال الاحلال والامتزاز (Dreher & Follmer, 2004).

### 3-3-3 أوكسيد الألمنيوم (الأومينا) ( $Al_2O_3$ ) (Aluminum oxide)

أوكسيد الألمنيوم هو ثاني الأكاسيد وفرة في القشرة الأرضية، حيث كان تركيزه في القشرة للقارية العليا UCC (14.63%wt) وفقاً لـ Wedepohl, (1995)، و (15.4%wt) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013)، وتبلغ في رواسب الأنهار (11.1%wt) وفقاً لـ Ohta et al., (2017).

بلغ معدل تركيزه في رواسب أودية الجانب الأيمن (6.73%wt)، وكانت في وادي عكاب (5.64%wt-8.11%wt، المعدل 6.76%wt) وفي وادي اليرموك (5.57%wt-8.26%wt، المعدل 6.68%wt) وفي وادي العين بلغات (5.50%wt-8.31%wt، المعدل 6.76%wt)، واخيراً في وادي المأمون بلغات (6.36%wt-8.63%wt، المعدل 7.23%wt). يعزى سبب الفرق في قيمة التركيز عنه في القيم المرجعية إلى تأثير سخور المصدر وعمليات التعرية المستمرة في مجرى الأودية. تقع تراكيز الأوكسيد في مستويات متقاربة إذ يلحظ من الجدول (2-3) ان قيم تراكيز  $Al_2O_3$  في العينات الأولى لكل وادي متقاربة جداً إذ بلغت في وادي عكاب (8.11%wt) و (8.26%wt) في وادي اليرموك و (7.65%wt) في وادي العين، واخيراً في وادي المأمون (8.63%wt)، ويرجع السبب في ذلك إلى كونها تمثل ذات الصخور الأم التي تعرضت إلى عمليات التعرية والتجوية خلال المواسم المطرية، بينما يلحظ وجود بعض التباين والنقصان في قيمة تركيز  $Al_2O_3$  في الأودية باتجاه المصب، ويعود سبب ذلك إلى ظروف التجوية والنقل خلال مجرى الوادي (Rahman et al., 2020).

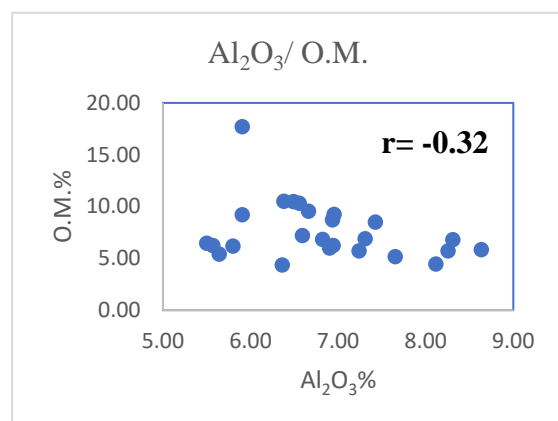
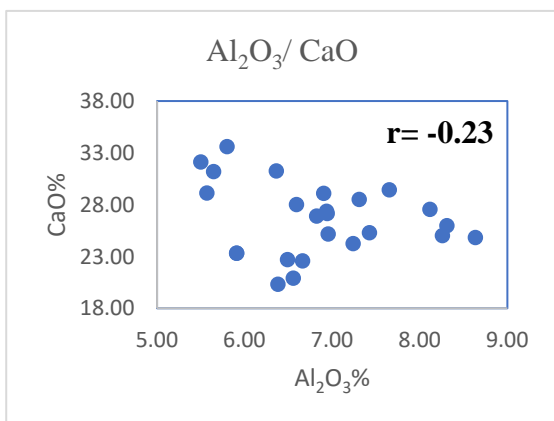
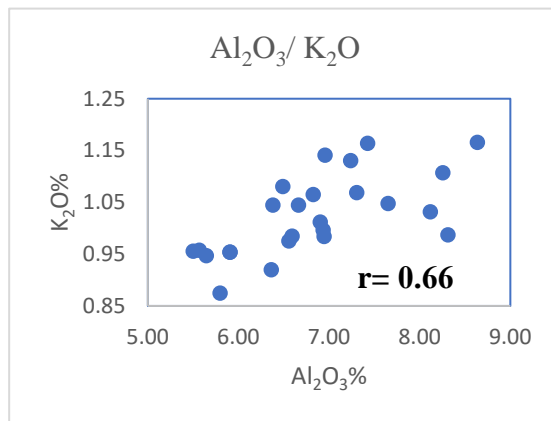
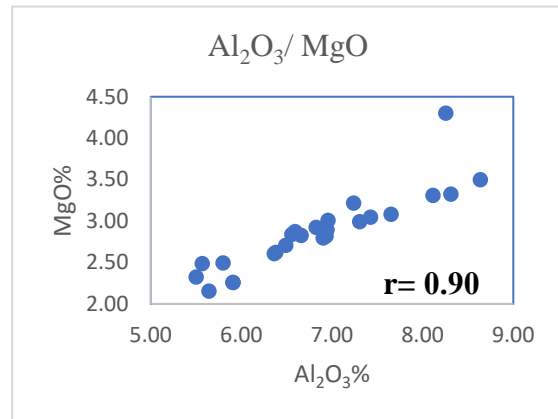
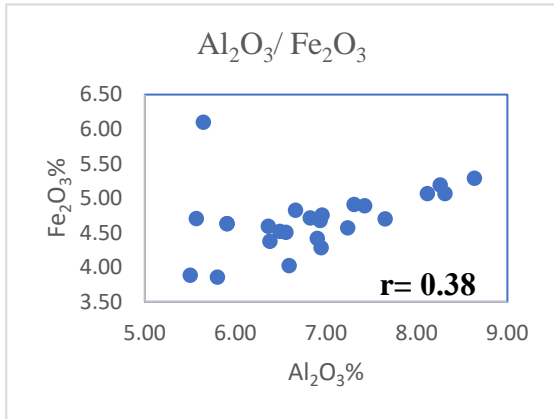
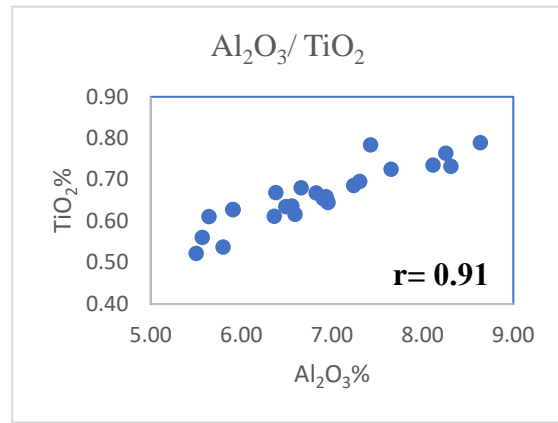
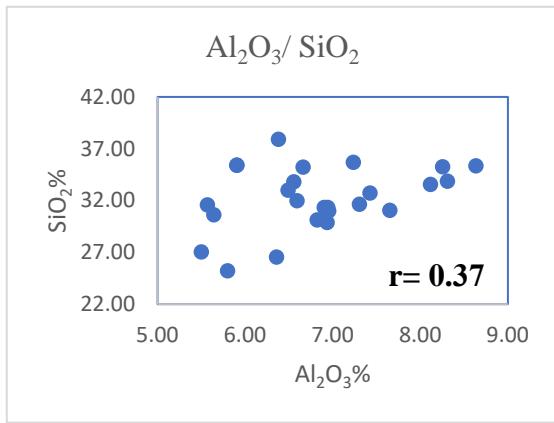
يبلغ معدل تراكيز أوكسيد الألمنيوم بالنسبة المئوية الوزنية في رواسب أودية الجانب الأيسر (7.50)، وهو أعلى قليلاً عن نظيره في الجانب الأيمن، وقد يعزى ذلك إلى زيادة

المعادن الطينية على حساب كربونات الكالسيوم، إذ يبلغ تركيزه في وادي الرشيدية (7.59 - 8.30، المعدل 7.94) وفي وادي الخرافي (6.26 - 7.84، المعدل 7.34) وفي وادي نهر الخوصر (5.82 - 9.61، المعدل 7.34) وفي وادي الدانفيلي (4.29 - 8.56، المعدل 7.11) وفي وادي الشور (6.56 - 8.64، 7.82). تتقارب معدلات تراكيز هذا الأوكسيد في رواسب الأودية عموماً، ويعزى ذلك إلى تأثير تعرية وتجوية الترب المشتقة من صخور تكاوين الفتحة وإنجانة والمقدادية في المنطقة والتي تجهز الوادي عبر عدة جداول اثناء المواسم المطرية بالمكونات الطينية. يظهر اقل تركيز في النموذج (DB1) في وادي الدانفيلي، أما أعلى قيمة فسجلت في النموذج (KS7) في وادي الخوصر.

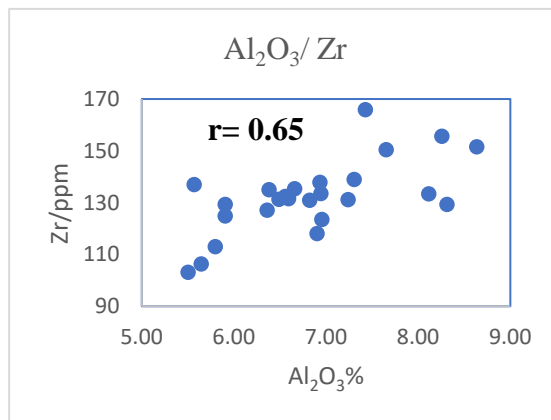
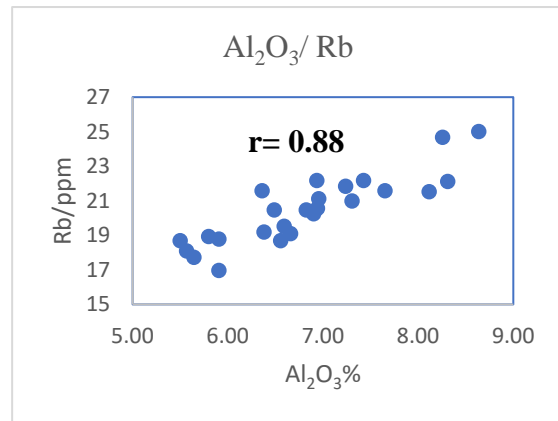
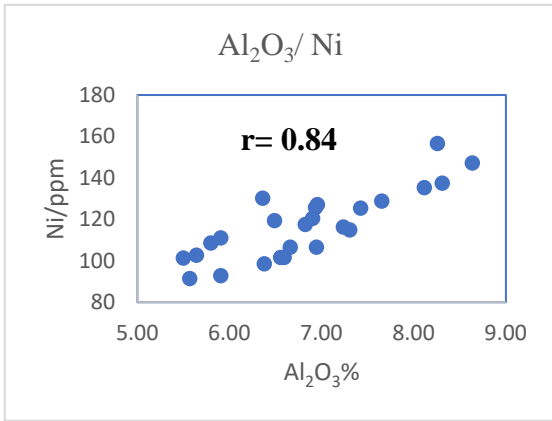
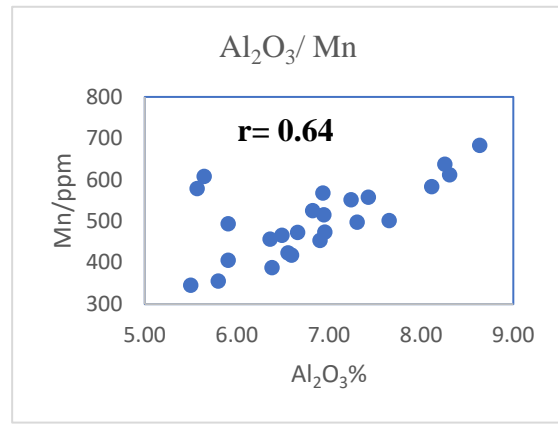
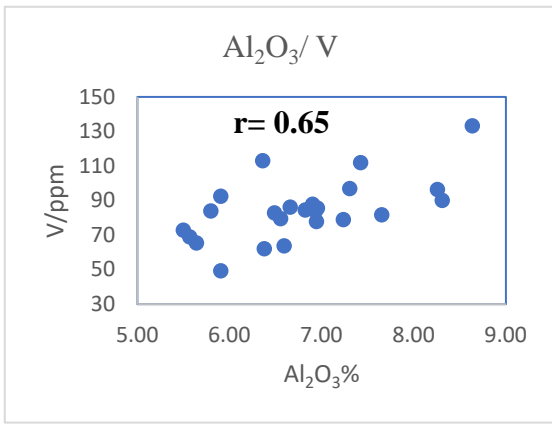
يظهر الجدولان (1-3) و (2-3) والأشكال (1-3) و (2-3) و (3-3) و (4-3) وجود علاقة ارتباط طردية بين أوكسيد الألمنيوم من جهة وأكاسيد التيتانيوم والمغنيسيوم والبولتاسيوم والسليكا، إضافة إلى عناصر الفناديوم والمنغيز والكوبلت والنيكل والروبيديوم والزركونيوم، التي يمكن ان تعكس اطوار متنوعة للمعادن الطينية سيأتي ذكرها لاحقاً في هذا الفصل عند الحديث عن العناصر الثقيلة، فضلاً عن علاقات ارتباط عكسية مع المادة العضوية واوكسيد الكالسيوم.

### 3-3-4 أكاسيد الحديد (Iron Oxides; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

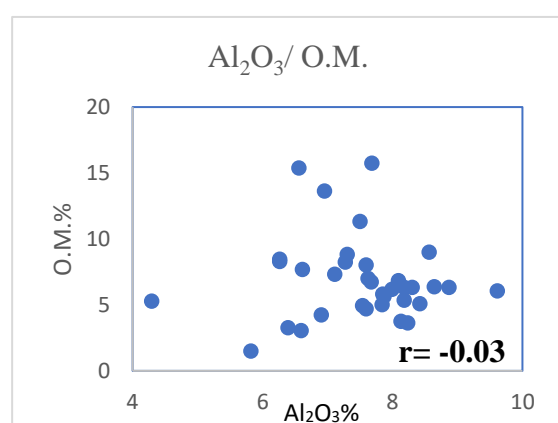
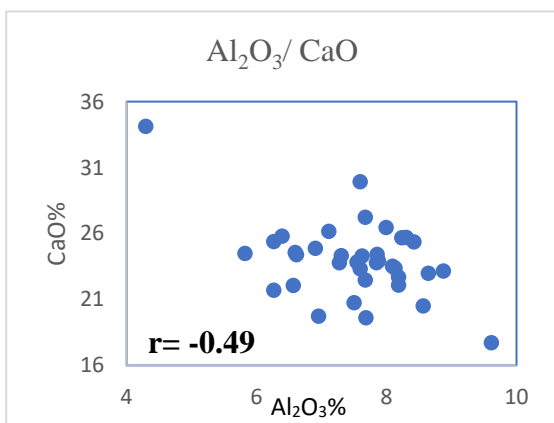
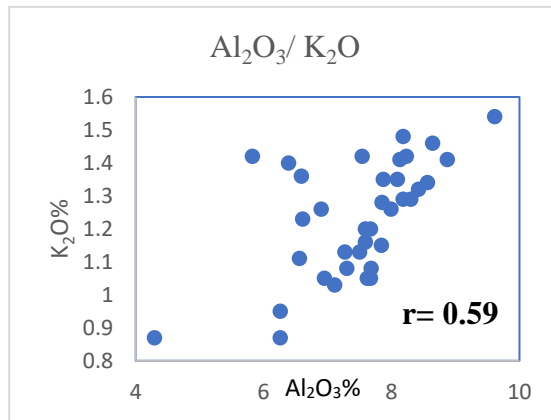
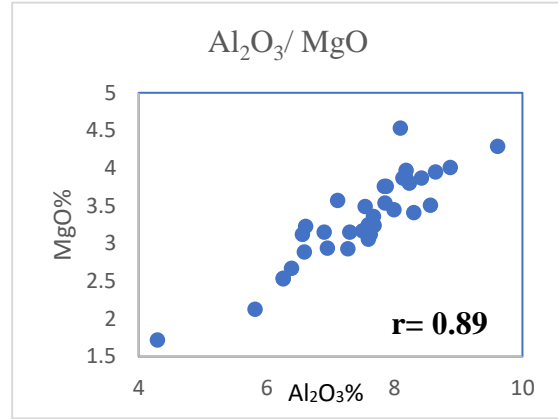
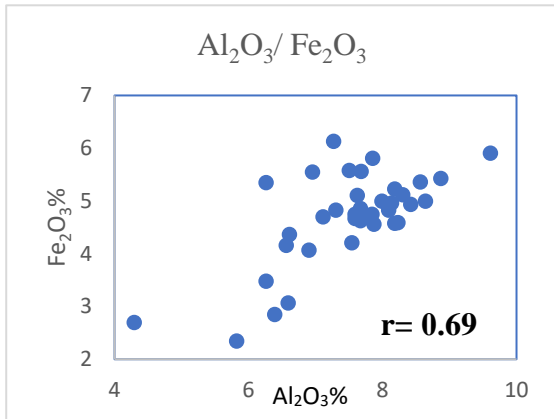
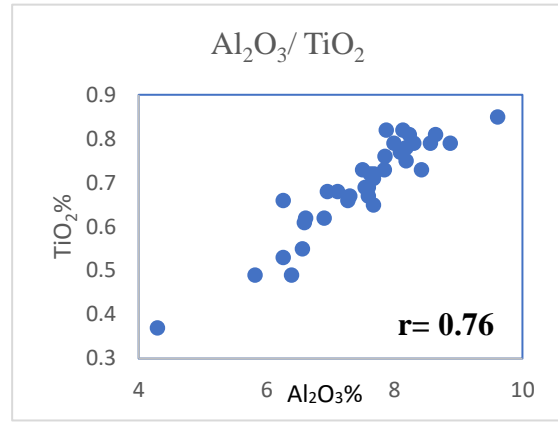
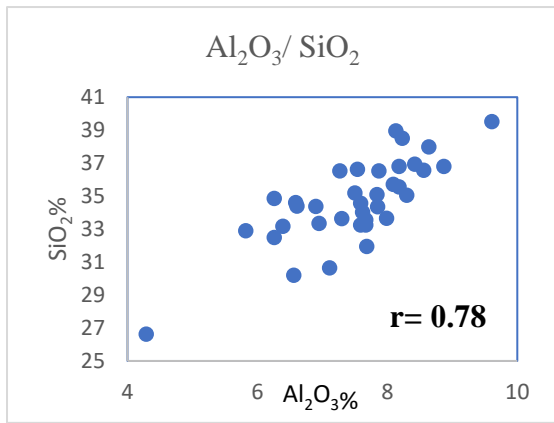
يعد الحديد من اكثر العناصر الانتقالية وفرة في القشرة القارية، اعتماداً على ظروف المناخ، يوجد الحديد في الرواسب والترب غالباً بشكل أكاسيد الجوثايت (FeOOH) او الهيماتايت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)، وأطوار ضعيفة او عديمة التبلور مثل الفيروهيديرايت ferrihydrite (أوكسي هيدروكسيد الحديد المائي) والليمونايت، حيث ينتشر في الطبقات السطحية المؤكسدة (Heyden & Roychoudhury, 2015). تعد أكاسيد الحديد من الأكاسيد الرئيسة في تركيب القشرة الأرضية، ويبلغ تركيزها في القشرة القارية العليا بالنسبة المئوية الوزنية (4.11) وفقاً لـ (Wedepohl, 1995) و (5.04) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013)، ويبلغ في رواسب الأنهار (6.51) وفقاً لـ (Ohta et al., 2017).



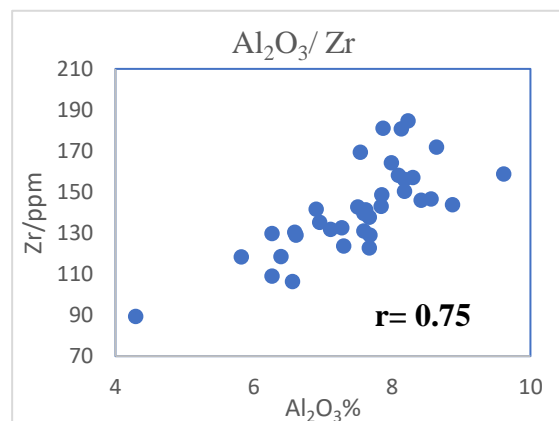
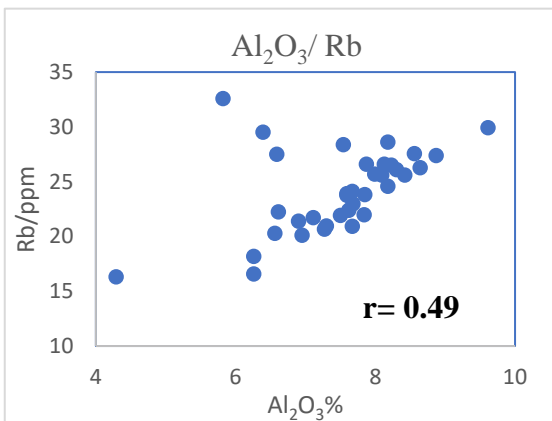
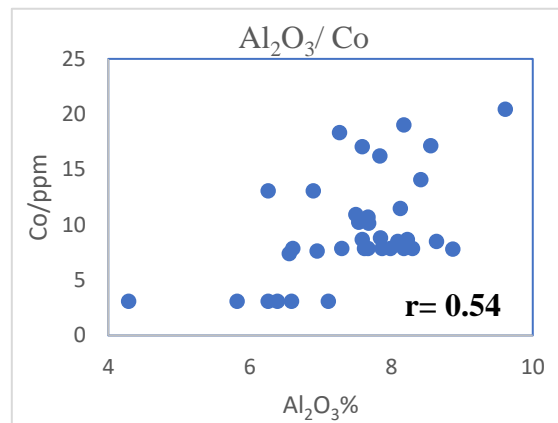
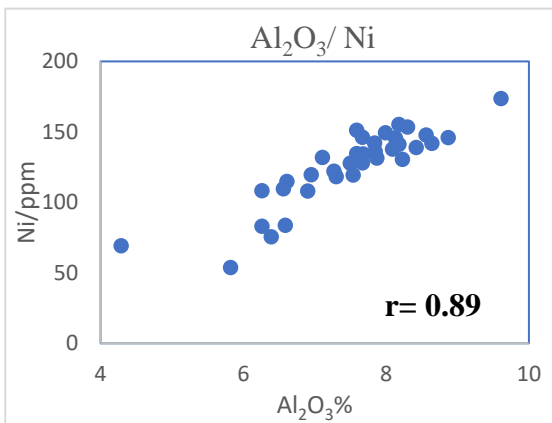
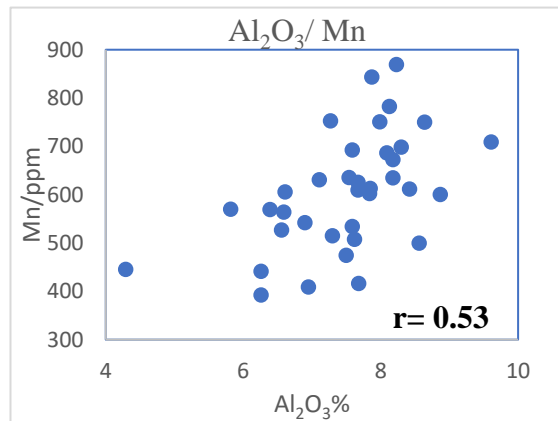
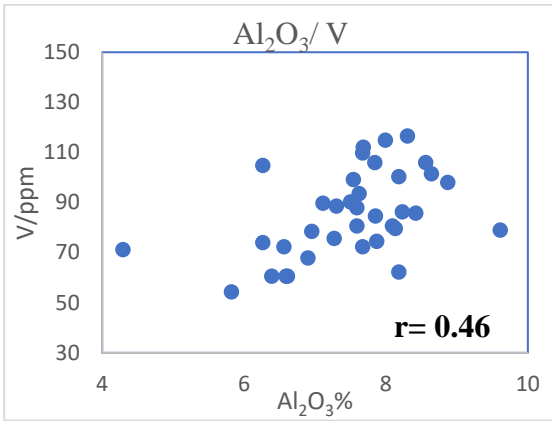
الشكل (1-3): العلاقة بين أكسيد الألمنيوم والأكاسيد الرئيسية والمادة العضوية في رواسب أودية الجانب الأيمن



الشكل (2-3): علاقة بين أوكسيد الألمنيوم وبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن من مدينة الموصل



الشكل (3-3): علاقة أكسيد الألمنيوم مع الأكاسيد والمادة العضوية في رواسب أودية الجانب الأيسر



الشكل (3-4): العلاقة بين أكسيد الألمنيوم وبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيسر من مدينة الموصل

بلغ معدل تركيزها في رواسب أودية الجانب الأيمن (4.67 wt%)، وكانت قيم التراكيز في الأودية كالاتي: في وادي عكاب (4.29-6.10 wt%)، المعدل 4.89 wt%) وبلغت في وادي اليرموك (4.03-5.19 wt%)، المعدل 4.64 wt%) وفي وادي العين كانت (3.86-5.07 wt%)، المعدل 4.44 wt%)، واخيراً في وادي المأمون كانت (4.42-5.29 wt%)، المعدل 4.78 wt%). يظهر الجدول (1-3) وجود علاقة ارتباط معنوية عند القيمة 0.01 بين أكاسيد الحديد والمنغنيز ( $r=0.79$ )، ان التشابه في السلوك الجيوكيميائي للحديد والمنغنيز في بيئات التعرية والنقل والترسيب في الظروف المؤكسدة (Bjorlykke, 2010) او الاحلال الايوني (ion exchange) او الامتزاز (adsorption) هو ما يفسر هذه العلاقة بينهما (Otero et al., 2009).

في الجانب الأيسر كان معدل تراكيز أكاسيد الحديد بالنسبة المئوية الوزنية (4.70)، وكان تركيزه في كل وادي كما يأتي: في وادي الرشيدية (4.67 - 5.23، المعدل 4.97) وفي وادي الخرازي (3.48 - 4.75، المعدل 4.41) وفي وادي نهر الخوصر (2.35 - 5.91، المعدل 4.14) وفي وادي الدانفيلي (2.70 - 6.13، المعدل 5.10) وفي وادي الشور (4.16 - 5.00، المعدل 4.68).

بلغ اقل تركيز له في العينات (KS1=2.35 wt%) و (KS2=2.85 wt%) و (DB1=2.70 wt%)، العينتان (KS1, KS2) هما أولى عينات وادي الخوصر وتقع الأولى قرب قرية العباسية والثانية في أطراف مدينة الموصل (حي الفلاح)، والعيونة (DB1) هي اول عينة في أحد روافد وادي الدانفيلي وتقع في المنطقة الأثرية قرب مجسر المثنى، وهذا قد يدل على أن الأنشطة البشرية هي المصدر الأساس في تراكم الحديد وزيادة تركيزه في أودية المدينة. أعلى تركيز ظهر في العينة (DB2) وكانت قيمته (6.13 wt%) الواقعة في وادي الدانفيلي بالقرب من سوق الماشية وحقول تربيتها فضلاً عن ذبحها وبالتالي طرح الفضلات والدماء في مياه الوادي، ما قد يعزو سبب هذه الزيادة في التركيز وهذا يتوافق مع ما ذكره (Ebong et al., 2020) في دراسة حديثة أجريت في هذا الصدد.

يرتبط أكسيد الحديد بأكاسيد السليكون والتيتانيوم والألمنيوم والمغنيسيوم والفسفور، إضافة إلى عناصر الفناديوم والكوبلت والنيكل والنحاس والخاصين والزرنيخ والزرنيوم والرصاص، ويعزى ذلك إلى مرافقة أكاسيد الحديد للمعادن الطينية خلال مراحل التعرية والتجوية، إذ تنتقل أكاسيد الحديد بشكل غروي مع المعادن الطينية، وحيثاً تمتز على سطوحها (Brady & Weil, 2008)، او تكون بشكل اغلفة حول حبيبة المعدن الطيني ولذلك تعكس علاقة ارتباط أكاسيد الحديد مع العناصر الأثرية المرتبطة مع المعادن الطينية مثل الفناديوم والنيكل

اما بشكل إحلال مثل الخارصين والمنغنيز (Groeningen, *et al.*, 2020) او بشكل امتزاز adsorption مثل عناصر الفسفور P والنحاس Cu والزرنيخ As والرصاص Pb (Polowczyk *et al.*, 2018; Weng *et al.*, 2012).

### 3-3-5 أوكسيد المغنيسيوم (Magnesium Oxide; MgO)

يعد أوكسيد المغنيسيوم أحد الأكاسيد المهمة على الرغم من تركيزه المنخفض، إذ يعد المغنيسيوم احد المكونات الرئيسة للعديد من المجموعات المعدنية، بما في ذلك السيليكات والكربونات والكبريتات والفوسفات والبورات، وهو أيضاً مكون هام للمعادن الطينية كالكلورايت والباليكورسكايت والسيبيولايت، رغم انخفاضه في الالاييت، لذا فهو يوجد بنسب أعلى في الصخور الطينية كالفلّ والمارل منه في الصخور الفتاتية الأخرى، ومن الجدير بالذكر وجوده في الكربونات على شكل معدن الدولومايت وهو أكثر ذوباناً من كربونات الكالسسيوم ويشكل حوالي 30% من مجموعة الكربونات (Compton *et al.*, 1994; Salminen *et al.*, 2005). يبلغ معدل تركيزه في القشرة القارية العليا (2.48%wt) وفق Rudnick & Gao, (2013) وفي رواسب الأنهار (2.99%wt) وفق Ohta *et al.*, (2017).

بلغ معدل تراكيزه في رواسب أودية الجانب الأيمن (2.85 wt%)، وكانت قيم تراكيزه في الأودية بالنسبة المئوية الوزنية على النحو الآتي: وادي عكاب (2.15 - 3.31، المعدل 2.76)، وادي اليرموك (2.26 - 4.30، المعدل 2.97)، وادي العين (2.32 - 3.32، المعدل 2.81)، وفي وادي المأمون (2.61 - 3.50، المعدل 2.94). تقع أعلى تراكيز MgO في بدايات الأودية وتنخفض كلما اتجهنا صوب المصب حيث يذوب المغنيسيوم نتيجة تعرضه للغسل leaching (Al-Barrak, 2006).

يبين الجدول (3-1) وجود علاقة ارتباط طردية معنوية عند المستوى 0.01 بين أوكسيد المغنيسيوم وأكاسيد الألمنيوم والتيتانيوم والبوتاسيوم، فضلاً عن العلاقة الطردية مع عناصر المنغنيز والنيكل والروبيديوم والزركونيوم، هذه العلاقات تمثل أطواراً مختلفة من المعادن الطينية، كما يبين الجدول أيضاً وجود علاقة طردية عند المستوى 0.05 مع كل من أوكسيد الكالسيوم وثاني أوكسيد الكربون التي تعكس وجود كميات قليلة من معدن الدولومايت كما ذكرنا آنفاً.

بلغ معدل تراكيز أوكسيد المغنيسيوم في رواسب وديان الجانب الأيسر، (3.34%wt)، وكانت تراكيزه في رواسب الأودية بالنسبة المئوية الوزنية كالاتي: (3.24 - 3.97، المعدل 3.46) في وادي الرشيدية، (2.53-3.76، المعدل 3.18) في



وادي الخرازي، (2.13 - 4.29، المعدل 3.36) في وادي نهر الخوصر، و(1.72 - 3.54، المعدل 3.00) في وادي الدانفيلي، (3.12 - 4.53، المعدل 3.77) في وادي الشور، وهو أعلى منه في رواسب الجانب الأيمن ومن القيم المرجعية كذلك. سجلت أعلى التراكيز في وادي الشور إذ إن أغلب المناطق التي يمر فيها هي أراضٍ زراعية والتراب فيها مشتقة من تكويني إنجانة والمقدادية الغنيين بالمعادن الطينية، وقد لوحظت بعض المكاشف للصخور الطينية أثناء العمل الحقلّي قرب حوض الوادي. يلاحظ أيضاً ارتفاع تراكيزه في وادي نهر الخوصر، قد يعزى ذلك إلى زيادة المعادن الطينية الحاملة للمغنيسيوم مثل معدن الكلورايت الغني بالمغنيسيوم (clinochlore)  $(\text{Mg,Fe}^{2+})_5\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ، ومعدن الباليكورسكايت (palygorskite)  $(\text{Mg,Al})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH}) \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (Pozo & Calvo, 2018).

### 6-3-3 أوكسيد الكالسيوم (Calcium oxide; CaO)

يبلغ معدل تركيز أوكسيد الكالسيوم في القشرة القارية العليا (UCC) (4.12 %wt) وفقاً لـ Wedepohl, (1995) و (3.59 %wt) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013)، وفي رواسب الأنهار (2.83 %wt) وفقاً لـ Ohta et al., (2017).

يبلغ معدل تركيزه في رواسب أودية الجانب الأيمن (26.18 %wt). يعود سبب هذا الفرق الكبير بشكل عام إلى تأثير صخور المصدر المتمثلة بالصخور الجيرية limestone العائدة لتكوين الفتحة Fat'ha Formation. كانت نسبة تراكيز CaO في رواسب أودية الجانب الأيمن بالنسبة المئوية الوزنية على النحو الآتي: (22.70 - 31.18، المعدل 26.29) في وادي عكاب، (20.90 - 29.11، المعدل 24.73) في وادي اليرموك، (20.32 - 33.59، المعدل 27.76) في وادي العين، و (24.82 - 31.23، المعدل 28.19) في وادي المأمون. إن التباين في تراكيز الأوكسيد قد يدل على الاختلاف في وجود الطبقات الجيرية مع مكونات تكوين الفتحة الأخرى من الجبس والمارل. تدل التراكيز العالية لاوكسيد الكالسيوم وثاني أوكسيد الكربون  $\text{CO}_2$  وعلاقة الارتباط الطردية، الجدول (1-3)، فضلاً عن العلاقة الطردية الضعيفة بين الأوكسيد من جهة وأوكسيد المغنيسيوم MgO من جهة أخرى على وجود اطوار معادن كاربونات الكالسيوم  $\text{CaCO}_3$  بنسبة عالية مع نسبة اقل بكثير ربما من معدن الدولومايت dolomite. تشير العلاقة بين الأوكسيد والسليكا إلى علاقة عكسية قوية ( $r=-0.86$ )، وكذلك مع الكبريتات  $\text{SO}_3$  ( $r=-0.50$ ) الذي يرتبط بالجبس والانهايدرابت المشتق من تكوين الفتحة، ومع أوكسيد الصوديوم  $\text{Na}_2\text{O}$  ( $r=-0.51$ ) والكلور ( $r=-0.57$ ) اللذين يمثلان الاملاح الثانوية الناتجة أيضاً من متبخرات تكوين الفتحة، حيث تنكشف طبقات تكوين الفتحة من الحجر الجيري تارة والمتبخرات (جبسوم وانهايدرابت

واملاح) تارة أخرى، فكلما كانت التجمعة المعدنية غنية بالسليكا من المعادن الطينية والفلدسبار او غنية بمعادن المتبخرات انخفضت المعادن الحاوية على أكسيد الكالسيوم من اطوار كربونات الكالسيوم المختلفة والعكس صحيح.

تتقارب تراكيز أكسيد الكالسيوم في رواسب أودية الجانب الأيسر إلى حد كبير مع تراكيزها في رواسب أودية الجانب الأيمن من المدينة الا انها اقل منها نوعاً ما، إذ يبلغ معدل تركيز CaO فيها (24.01%wt) بشكل عام، أما تركيزها في الأودية فكانت في وادي الرشيدية (22.47%wt-29.92%wt، المعدل 25.45%wt)، و(23.32 wt-%27.23 wt، المعدل 24.94 wt%) في وادي الخراز، و(17.73 wt-%26.17 wt، المعدل 23.48 wt%) في وادي نهر الخوصر، و(19.63 wt-%34.13 wt، المعدل 23.47 wt%) في وادي الدانفيلي، وأخيراً في وادي الشور كانت (22.06 wt-%25.68 wt، المعدل 23.92 wt%). يظهر الجدول (2-3) علاقة ارتباط طردية بين أكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون ( $r=0.59$ )، ويمكن ان تعزى إلى أطوار كربونات الكالسيوم  $CaCO_3$ ، كما ان العلاقة العكسية بين الأوكسيد وأوكسيد المغنيسيوم ( $r=-0.40$ ) من جهة وبين أوكسيد المغنيسيوم وثاني أوكسيد الكربون ( $r=-0.43$ ) من جهة أخرى قد تعني عدم وجود معدن الدولومايت او وجوده بنسبة ضئيلة. تظهر أقل التراكيز عموماً في الأودية التي تزداد فيها نسبة السليكا وهي الخوصر والشور والدانفيلي. تبلغ اقل نسبة للأوكسيد (17.73%wt) في النموذج (KS7) الواقع قرب المصب في وادي نهر الخوصر حيث ترسبات السهل الفيضي للنهر، بينما بلغت أعلى نسبة (34.13%wt) في النموذج (DB1) كونه يحتوي أقل نسبة سليكا بين كافة النماذج، وكما موضح آنفاً.

### 3-3-7 أوكسيد الصوديوم (Sodium Oxide; Na<sub>2</sub>O)

يبلغ تركيز أوكسيد الصوديوم في القشرة القارية العليا (UCC) (3.27%wt) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013)، وفي رواسب الأنهار (2.19%wt) وفقاً لـ Ohta *et al.*, (2017)، ورغم تركيزه المنخفض إلا أن الصوديوم يعد من العناصر الرئيسية الداخلة في تكوين المعادن المكونة للصخور في القشرة الأرضية (White, 2019).

بلغ تركيز Na<sub>2</sub>O في رواسب الجانب الأيمن بالنسبة المئوية الوزنية كالاتي: وادي عكاب (0.45 - 1.08، المعدل 0.76)، وفي وادي اليرموك (0.46 - 1.08، المعدل 0.85)، وبلغت في وادي العين (0.37 - 1.03، المعدل 0.66)، وأخيراً في وادي المأمون (0.49 - 0.69، المعدل 0.62)، وهي اقل من القيم المرجعية سواء في القشرة القارية العليا أو في رواسب الأنهار. يعزى وجود Na<sub>2</sub>O إلى الصخور الأم المتمثلة بالمتبخرات العائدة

لتكوين الفتحة فضلاً عن المطروحات المختلفة. تكون تراكيز  $\text{Na}_2\text{O}$  منخفضة في بدايات الأودية وتزداد باتجاه المصب، ويعزى سبب ذلك إلى تراكم تراكيزه إضافة إلى انخفاض ذوبانه لوجود المادة العضوية في الرواسب (Dmitriev *et al.*, 2019)، فضلاً عن النشاطات المنزلية المختلفة في كثير من الاستعمالات وخاصة المنظفات ومساحيق الغسيل والصناعات الغذائية.

كانت تراكيز  $\text{Na}_2\text{O}$  في رواسب أودية الجانب الأيسر بالنسبة المئوية الوزنية على النحو الآتي: (0.42 - 0.79، المعدل 0.54) في وادي الرشيدية، (0.44 - 0.64، المعدل 0.52) في وادي الخرازي، (0.53 - 1.34، المعدل 0.84) في وادي نهر الخوصر، و (0.60 - 1.00، المعدل 0.80) في وادي الدانفيلي، (0.66 - 1.46، المعدل 0.90) في وادي الشور، وهي تراكيز منخفضة وأقل من القيم المرجعية. يعزى سبب وجود  $\text{Na}_2\text{O}$  إلى صخور المتبخرات، فضلاً عن المطروحات المدنية كما هو الحال في الجانب الأيمن. تكون تراكيز أكسيد الصوديوم منخفضة في بداية الوادي وتزداد كلما اتجهنا صوب المصب كما في أودية الرشيدية والدانفيلي، أما في أودية الخرازي والخوصر والشور فإنها تبدأ عالية وتتخفف باتجاه المصب، ربما يعزى ذلك إلى ذوبانه نتيجة عملية الغسل في الأودية.

يظهر من خلال الجدولين (2-3) و (3-3) ان  $\text{Na}_2\text{O}$  يرتبط بالكلور ( $r=0.81$ ) و ( $r=0.69$ ) في رواسب الجانب الأيمن والأيسر على التوالي، ما يعني وجوده بشكل معدن الهالايث  $\text{NaCl}$ ، كما يرتبط بالمادة العضوية بعلاقة طردية متوسطة ( $r=0.64$ ) في رواسب الجانب الأيمن وضعيفة ( $r=0.33$ ) في رواسب الجانب الأيسر وهذا ما يفسر انخفاض ذوبانه وتراكمه في الجانب الأيمن أكثر من الجانب الأيسر، كما ان ارتباطه بالفسفور الممتاز على المادة العضوية يؤيد ذلك إذ إن قيم معامل الارتباط كانت ( $r=0.86$ ) و ( $r=0.30$ ) في الجانب الأيمن والأيسر على التوالي. يرتبط  $\text{Na}_2\text{O}$  مع  $\text{SO}_3$  بعلاقة طردية قوية من خلال علاقتهما المشتركة بصخور المتبخرات في تكوين الفتحة.

### 3-3-8 أكسيد البوتاسيوم (Potassium Oxide; $\text{K}_2\text{O}$ )

يوجد أكسيد الكالسيوم في معادن الفلدسبار البوتاسي  $\text{K-feldspar}$ ، والمايكا (المسكوفايث والبايوتايت)، ولقابليته العالية على الذوبان وخلال عمليات التعرية تحلل هذه المعادن بفعل عملية الغسل leaching مخلقة مجموعة من المعادن الطينية التي يمتاز البوتاسيوم على سطوحها مثل معدن الالايث  $\text{K}_y\text{Al}_4(\text{Si}_{8-y},\text{Al}_y)\text{O}_{20}(\text{OH})_4$  illite (اليوزبكي، 1989).

يبلغ معدل تركيز أوكسيد البوتاسيوم في القشرة القارية العليا (UCC) (2.8 wt%) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013) ، وفي رواسب الأنهار يبلغ معدل تراكيزه (1.51 wt%) وفقاً لـ Ohta et al., (2017).

بلغ معدل تراكيزه في رواسب الأودية في الجانب الأيمن (1.02 wt%)، وكانت بالتفصيل الآتي للأودية: وادي عكاب (0.95 wt%–1.16 wt%)، المعدل (1.03 wt%)، وفي وادي اليرموك (0.95 wt%–1.13 wt%)، المعدل (1.02 wt%)، وبلغت في وادي العين (0.88 wt%–1.14 wt%)، المعدل (1.01 wt%)، واخيراً في وادي المأمون كانت (0.92 wt%–1.17 wt%)، المعدل (1.03 wt%)، ويلاحظ تقارب تراكيز  $K_2O$  في رواسب هذه الأودية، قد يعزى سبب ذلك الى وجود النباتات ودورها في تثبيت عنصر البوتاسيوم، إذ يعد من مغذيات النباتات المهمة، وعند موت النبات وتحلله يبقى البوتاسيوم كونه ذو قابلية ضعيفة على الانتقال في الرواسب والترب وذلك لارتباطه بأيونات أخرى مكوناً مركبات معقدة لا تنتقل خلال المحاليل (اليوزيكي، 1989؛ Sardans & Peñuelas, 2021).

بلغت تراكيز  $K_2O$  في رواسب الجانب الأيسر كالاتي: (1.16 wt%–1.29 wt%)، المعدل (1.24 wt%) في وادي الرشيدية، (0.87 wt%–1.20 wt%)، المعدل (1.07 wt%) في وادي الخرازي، (1.03 wt%–1.54 wt%)، المعدل (1.38 wt%) في وادي نهر الخوصر، و (0.87 wt%–1.34 wt%)، المعدل (1.11 wt%) في وادي الدانفيلي، (1.11 wt%–1.46 wt%)، المعدل (1.33 wt%) في وادي الشور. تقترب تراكيز  $K_2O$  في هذا الجانب مع القيمة المرجعية لها في الرواسب، وهي أعلى عموماً منها في الجانب الأيمن، وتكون قيمها هي الأقل في بدايات الأودية وتزداد باتجاه المصب، ربما يعزى ذلك إلى زيادة المعادن الطينية ومعادن الفلدسبار البوتاسي إضافة إلى تراكمها في النباتات وتحللها في رواسب الوادي، وبالتالي زيادة تراكيزها.

يرتبط أوكسيد البوتاسيوم مع أكاسيد السليكون والألمنيوم والتيتانيوم والمغنيسيوم، ويعكس هذا الارتباط وجودها في المعادن الطينية والفلدسبار البوتاسي K-feldspar الناتجة عن التعرية والنقل لصخور المصدر من تكاوين الفتحة وإنجانة والمقدادية.

### 3-3-9 خامس أوكسيد الفسفور (Phosphorus Oxide; $P_2O_5$ )

يبلغ معدل تركيز خامس أوكسيد الفسفور في القشرة القارية العليا (0.15 wt%) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013) ، وفي رواسب الأنهار يبلغ (0.14 wt%) وفقاً لـ Ohta et al., (2017).

كانت تراكيزه في أودية الجانب الأيمن على النحو الآتي: وادي عكاب (0.13-0.63 %wt، المعدل 0.30 %wt)، وفي وادي اليرموك (0.14-0.63 %wt، المعدل 0.35 %wt)، وبلغيت في وادي العين (0.12-0.37 %wt، المعدل 0.22 %wt)، واخيراً في وادي المأمون (0.13-0.37 %wt، المعدل 0.22 %wt). تعد هذه التراكيز عالية نوعاً ما نسبة إلى القيم المرجعية في القشرة القارية العليا وفي رواسب الأنهار. تتعدد مصادر الفسفور في الرواسب والبيئة عموماً والتي تسببها مجموعة من الأنشطة البشرية الزراعية والصناعية.

إضافة إلى تلك المصادر للفسفور مصادر طبيعية، ومنها: 1- انتقاله عبر الجريان السطحي من الأراضي الزراعية والمراعي وحقول تربية المواشي والمناطق والطرق الحضرية، 2- الترشيح من مستجمعات ومناطق كبح النفايات ومقالب النفايات المدارة أو المنشأة بشكل غير صحيح، 3- أنظمة خزانات الصرف الصحي، 4- الانبعاثات الناتجة عن استخدام الأسمدة القائمة على الفوسفور والمبيدات الحيوية في البساتين والحدائق والمزارع ومناطق الغابات، 5- حرق الأراضي والمخلفات الزراعية، 6- تحلل النباتات بعد موتها، فضلاً عن أوراق الشجر المتساقطة (Smil, 2000). كل تلك المصادر أو معظمها موجودة ضمن منطقة الدراسة، ويمكن ان يعزى إليها ارتفاع تراكيز الفسفور عن القيم المرجعية.

بلغت تراكيز خامس أكسيد الفسفور في رواسب الأودية في الجانب الأيسر كما يأتي: في وادي الرشيدية (0.12-0.21 %wt، المعدل 0.18 %wt)، وفي وادي الخرازي (0.14-0.24 %wt، المعدل 0.21 %wt)، وفي وادي نهر للخصر بلغت (0.11-0.24 %wt، المعدل 0.17 %wt)، وفي وادي الدانفيلي (0.13-0.55 %wt، المعدل 0.32 %wt)، واخيراً في وادي الشور (0.17-0.52 %wt، المعدل 0.25 %wt)، ويلاحظ ان التراكيز في رواسب هذا الجانب أعلى منها في الجانب الأيمن، وخاصة في وادي الدانفيلي والشور، ففي وادي الدانفيلي تقع العينات (D1, DA, D4) في المنطقة الصناعية، التي يحتمل ان يكون مصدر الفسفور فيها هو صناعة المنظفات ومساحيق الغسيل ويكون بشكل مركب ثلاثي متعدد فوسفات الصوديوم polyphosphate، فضلاً عن مياه الصرف الصحي، وكونه قليل الذوبان في الماء ما يؤدي إلى تراكمه في الرواسب، اما العينات (D5, DB2, DB3, DC1, DC2, SH1-SH3, SH7) فتقع في مناطق زراعية وحقول تربية المواشي، ما يعزو سبب ارتفاع تركيز الفسفور إلى استخدام الأسمدة والمبيدات الزراعية في تلك الأراضي إضافة إلى الأعلاف والأغذية الحيوانية (Dias et al., 2019; Koolivand et al., 2019). يتشابه الحال مع العينات (R1, R2) و (KS4, KS7) في وادي الرشيدية ونهر الخصر على التوالي، كونها تقع في أراضٍ زراعية.

يرتبط الفسفور بالمادة العضوية في رواسب الأودية في الجانب الأيمن والأيسر كما يظهر في الجدولين (1-3) و (2-3)، إذ كانت قيم معامل الارتباط كالاتي: ( $r=0.80$ ) و ( $r=0.78$ ) على التوالي، لقد وجد في العديد من الدراسات أن المواد العضوية يمكن أن تزيد من توافر الفسفور في التربة وتزيد من تثبيت الفسفور وأن المواد الدبالية تزيد من التوافر البيولوجي للفسفور المطبق في الأسمدة (Debicka et al., 2016; Yang et al., 2019). ويرتبط أيضاً بمجموعة من العناصر الأثرية كونها ممتزة على المادة العضوية، فضلاً عن وجود هذه العناصر بتراكيز ضئيلة نسبياً ضمن هذه الأسمدة (Da Silva et al., 2017; Luo et al., 2009)

### 10-3-3 المادة العضوية (O.M.)

تعد المادة العضوية احد الأشكال الرئيسية التي ترتبط بها العناصر الثقيلة في الرواسب، إضافة إلى المعادن الطينية وأكاسيد الحديد والمنغنيز، وغيرها (Sipos et al., 2014; Zhang et al., 2014). تتعدد مصادر المادة العضوية في الرواسب فقد تكون طبيعية من التربة او بشرية من مياه الصرف الصحي او الأسمدة النباتية او مكبات النفايات (Reyes & Crisosto, 2016). تكون المادة العضوية مع العناصر الثقيلة مركبات معقدة عن طريق الامتزاز وآليات أخرى (Lin & Chen, 1998).

كانت تراكيز المادة العضوية بالنسبة المئوية الوزنية في رواسب الجانب الأيمن من المدينة كالاتي: في وادي عكاب (4.47-10.49، المعدل 7.32)، في وادي اليرموك (5.72-17.72، المعدل 8.94)، في وادي العين (5.19-10.53، المعدل 7.42)، وفي وادي المأمون (4.37-8.72، المعدل 6.38). تتزايد تراكيز المادة العضوية في المواقع الصناعية والمناطق ذات الكثافة السكانية العالية والمناطق ذات النشاط الزراعي ومناطق تربية المواشي، ويظهر ذلك واضحاً في العينات (U3=8.5 wt%, U6=10.5 wt%, UA2=9.2 wt% الواقعة في مواقع صناعية في وادي عكاب، والعينات (Y3=7.2 wt%, Y7=10.3 wt%, Y9=9.6 wt%, Y10=17.7 wt%) الواقعة في وادي اليرموك ضمن مناطق سكنية مكتظة وقرب مواقع صناعية، وفي وادي العين العينة (E5=10.5 wt%) تقع في منطقة ذات كثافة سكانية عالية وقناة الوادي عريضة وحركة المياه فيه بطيئة ما يؤدي إلى تراكم المادة العضوية في الرواسب، والعينة (E8=9.3 wt%) تقع بالقرب من سايلو الحبوب ومستودعات المنتوجات النفطية، اما العينة (M2=6.9 wt%) في وادي المأمون فتقع بالقرب من منطقة عشوائية ذات كثافة سكانية عالية جداً.

بلغت تراكيز المادة العضوية بالنسبة المئوية الوزنية في أودية الجانب الأيسر على النحو الآتي: في وادي الرشيدية (3.77- 6.35، المعدل 5.47)، في وادي الخرازي (5.02-8.31، المعدل 7.03)، في وادي نهر الخوصر (1.50-7.34، المعدل 4.74)، وفي وادي الدانفيلي (4.24-15.75، المعدل 8.88)، واخيراً في وادي الشور (3.64-15.40، المعدل 6.81). تتباين تراكيز المادة العضوية فترتفع تارة وتنخفض تارة أخرى حسب المغذيات ونوع المطروحات، ففي وادي نهر الخوصر كانت التراكيز عند بداية الوادي منخفضة ذلك كونها تقع في مناطق بعيدة عن مصادر التلوث، بينما يلاحظ ارتفاع تراكيز المادة العضوية بشكل كبير في وادي الدانفيلي في الجزء الواقع في الحي الصناعي، وفي وادي الشور كان تركيز العينة (SH1=15.4 wt%) عالياً جداً حيث تقع هذه العينة في قرية كوكجلي داخل الأراضي الزراعية وقرب موقع رمي الحيوانات النافقة فضلاً عن تربية المواشي في المنطقة الواقعة غرب الوادي حيث تتجه مياه القرية نحو الوادي.

تظهر الجداول (1-3) و (2-3) ارتباط المادة العضوية مع أكاسيد الصوديوم والفسفور والكبريت، فضلاً عن الكلور والنحاس والخراسين والزرنيخ والرصاص، والتي يعزى وجودها إلى الأنشطة الصناعية والزراعية والمنزلية ومخلفاتها المتنوعة، وهذه الأنشطة البشرية المختلفة هي ذاتها تعد مصدر المادة العضوية في الرواسب (Michael-Kordatou *et al.*, 2015).

### 4-3 جيوكيميائية بعض العناصر الثقيلة: Geochemistry of some heavy elements

يظهر الجدول (4-3) تراكيز العناصر الثقيلة بوحدة (ppm) في رواسب أودية الجانب الأيمن والأيسر في مدينة الموصل على التوالي، وستناقش فيما يلي تراكيزها وتواجدها وسلوكها الجيوكيميائي في هذه الرواسب.

#### 1-4-3 الفناديوم (V) Vanadium

يعد الفناديوم من العناصر الانتقالية. يوجد بثلاث حالات تأكسد رئيسية ( $V^{3+}$ ,  $V^{4+}$ ,  $V^{5+}$ )، وهو من العناصر الفلزية الليثوفيلية (lithophile metallic element). يبلغ نصف القطر الأيوني للفناديوم ثلاثي التكافؤ ( $V^{3+}$ ) ( $R=64$  pm) وهو مطابق تقريباً لنصف القطر الأيوني للحديد ثلاثي التكافؤ ( $Fe^{3+}$ )، لذا فهو كثيراً ما يحل محل الحديد في مواقع ثماني الأوجه في المعادن الطينية بسهولة في مختلف الظروف الجيوكيميائية وغالباً ما يدخل الفناديوم في المعادن الطينية أثناء العمليات التحويرية (Meunier, 1994)، وكذلك يحدث الإحلال في المغنيتايت والسليكات الفيرومغنيسية (O'loughlin *et al.*, 2021).

## الفصل الثالث.. جيوكيمياء الرواسب

الجدول (3-4): تراكيز العناصر الثقيلة بوحدة (ppm) في رواسب الأودية في منطقة الدراسة،  
والقيم المرجعية لرواسب الأنهار وفق (Ohta *et al.*, 2017)، وقيم أدلة جودة الرواسب (ERL, ERM, TRV)

City Side	Wadi	Element Sample	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Zr	Pb
			RIGHT SIDE	UGAB	U1	114	185	584	9	135	38	102	8
U2	78	218			516	3	107	54	246	6	21	134	35
U3	112	230			558	8	125	94	293	6	22	166	79
U5	66	239			608	15	103	130	283	7	18	106	98
U6	83	262			466	17	119	139	499	6	21	131	273
U8	85	290			526	8	118	76	315	8	21	131	90
UA2	49	227			494	15	93	130	735	6	17	125	259
AL-YARMOK	Y1	96		239	638	10	157	36	117	7	25	156	21
	Y3	64		229	418	8	102	50	247	6	20	132	44
	Y4	79		238	552	14	116	57	197	7	22	131	38
	Y5	69		239	579	9	91	68	344	7	18	137	319
	Y7	80		258	424	12	102	116	603	6	19	132	107
	Y9	86		324	473	8	107	127	631	10	19	135	536
	Y10	92		230	406	10	111	125	842	10	19	129	191
AL-EIN	E1	82		211	502	3	129	27	83	6	22	150	12
	E3	84		184	356	3	109	28	140	6	19	113	17
	E5	62		399	388	16	99	151	559	4	19	135	108
	E7	73		230	346	3	101	69	287	5	19	103	58
	E8	86		206	474	8	127	71	380	8	21	124	67
	EA	90		170	612	3	137	42	178	5	22	129	232
AL-MA'MON	M1	133		193	683	12	147	34	94	8	25	152	14
	M2	84		216	568	10	126	62	253	6	22	138	55
	M3	113		194	457	8	130	61	274	7	22	127	54
	M4	97		205	498	9	115	43	184	5	21	139	34
	M5	88		168	454	9	120	29	97	6	20	118	16
MIN		49		168	346	3	91	27	83	4	17	103	12
MAX		133		399	683	17	157	151	842	10	25	166	536
MEAN		86		231	503	9	117	74	319	7	21	132	111



City Side	Wadi	Element Sample	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Zr	Pb
			AL-RASHED-IA	R1	117	257	699	8	154	31	93	7	26
R2	110	223		610	11	146	35	111	7	24	138	14	
R3	88	316		693	9	151	31	81	7	24	131	10	
R4	115	281		751	8	150	31	120	8	26	164	12	
R6	62	348		673	19	155	43	226	6	25	150	23	
AL-KHARR-AZI	KH1	74	175	393	3	83	37	173	3	17	109	21	
	KH3	72	184	626	8	128	38	179	7	21	123	21	
	KH4	106	269	603	16	142	31	81	6	22	143	14	
	KHA2	81	221	534	17	135	30	116	6	24	140	15	
KHOSAR RIVER	KS1	54	304	570	3	54	13	40	4	33	118	8	
	KS2	61	311	569	3	76	16	54	4	30	119	9	
	KS3	100	314	635	8	141	28	109	6	29	156	11	
	KS4	99	301	635	10	119	37	181	4	28	170	47	
	KS5	61	479	564	3	84	22	83	4	28	130	17	
	KS7	79	303	709	20	174	46	122	8	30	159	21	
	KSA2	90	181	631	3	132	30	173	7	22	132	22	
	KSB3	98	187	601	8	146	34	119	7	27	144	14	
AL-DANFILLI	D1	94	270	508	8	132	82	346	8	22	141	112	
	D2	112	183	417	10	135	135	790	10	23	129	168	
	D3	78	311	409	8	120	174	593	6	20	135	457	
	D4	105	333	441	13	108	246	415	9	18	130	339	
	D5	90	252	475	11	128	164	755	11	22	143	305	
	DA	89	259	515	8	118	90	442	9	21	124	184	
	DB1	71	190	445	3	69	24	68	3	16	89	20	
	DB2	76	291	753	18	122	114	494	11	21	133	206	
	DB3	85	280	613	9	136	56	197	6	24	149	53	
	DC1	106	195	500	17	148	45	165	5	28	147	50	
	DC2	68	276	542	13	108	44	120	6	21	142	88	
	AL-SHOR	SH1	72	159	527	7	110	62	264	5	20	107	35
SH2		61	271	606	8	115	70	171	6	22	129	33	
SH3		81	255	687	9	138	33	104	6	26	158	16	
SH4		75	325	843	8	132	29	78	6	27	181	13	
SH5		86	230	612	14	139	33	97	7	26	146	18	
SH6		80	317	783	12	146	31	80	7	27	181	12	
SH7		86	328	870	9	131	28	77	7	27	185	22	
SH8		101	264	750	9	142	38	142	6	26	172	24	
MIN	54	159	393	3	54	13	40	3	16	89	8		
MAX	117	479	870	20	174	246	790	11	33	185	457		
MEAN	86	268	605	10	126	56	207	6	24	142	68		
Ohta <i>et al.</i> 2017	134	60	1046	15	23	33	145	14	52	-	38		
Rudnick & Gao, 2013	97	92	775	17	47	28	67	5	84	193	17		
ERL	-	81	-	-	21	34	150	8	-	-	47		
ERM	-	370	-	-	52	270	410	70	-	-	218		
TRV	-	26	-	-	16	16	110	6	-	-	31		

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

يعكس محتوى الفناديوم في الصخور الرسوبية في المقام الأول وفرة المعادن الطينية، وأكاسيد الحديد والمنغنيز المائية، والمادة العضوية (Salminen *et al.*, 2005; Zhu *et al.*, 2018). يعدّ نظام الأكسدة والاختزال مهماً في مدى وفرة الفناديوم، إذ يكون الفناديوم متحركاً (mobile) في الظروف المؤكسدة، لكنه يخضع للترسيب فوق عتبة الأكسدة والاختزال مباشرة ضمن نطاق الأس الهيدروجيني (5.0-8.0)، لا يوجد الفناديوم بشكل حر في الطبيعة (O'loughlin *et al.*, 2021)، مما جعل السلوك الجيوكيميائي الحيوي للفناديوم معقداً (Gustafsson, 2019).

يبلغ تركيز الفناديوم في الرواسب (134 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، وفي القشرة القارية العليا (97 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013)، ويعد من العناصر الأثرية الوفيرة لكنه في ذات الوقت من أكثر العناصر تشتتاً (dispersed) (Huang *et al.*, 2015).

بلغت تراكيز الفناديوم بوحدة (ppm) في رواسب أودية الجانب الأيمن على النحو الآتي: في وادي عكاب (49-114، المعدل 84)، وفي وادي اليرموك (63-96، المعدل 81)، أما في وادي العين فكانت (62-90، المعدل 79)، وأخيراً في وادي المأمون كانت كالاتي (84-133، المعدل 103). تعد تراكيز الفناديوم في رواسب الجانب الأيمن اقل من القيمة المرجعية، تتقارب معدلات تراكيز V عموماً في جميع الأودية، وتنخفض قيمها بالابتعاد عن بدايات الأودية باتجاه المصب، وهذا قد يعكس مصدره الطبيعي الناتج من تعرية الصخور الأم، إذ يرتبط V بالمعادن الطينية فضلاً عن احتمال امتزازه على معدن الاناتيس (TiO<sub>2</sub>) و ( $\delta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) وخاصة عند درجة حموضة بين (5-6) (Gustafsson, 2019)، وما يؤكد ذلك هو علاقة الارتباط الطردية مع أكسيد الألمنيوم (r=0.67) وأكسيد التيتانيوم (r=0.62) وأكسيد المغنيسيوم (r=0.54)، فضلاً عن المنغنيز الذي يرتبط بأوكسيد الحديد وعناصر النيكل والروبيديوم والزركونيوم التي تمتاز على اسطح المعادن الطينية. يزداد تركيز V في العينة (U3) الواقعة في قلب المنطقة الصناعية حيث تنشط مختلف الأعمال من صيانة وسمكرة السيارات وطلاتها، إذ يدخل الفناديوم في صناعة بعض أجزاء السيارات، فضلاً عن تبديل زيوت السيارات وغسلها، (Ikhajiagbe *et al.*, 2014).

كانت تراكيز V بوحدة (ppm) في رواسب الأودية في الجانب الأيسر كالاتي: وادي الرشيدية (62-117، المعدل 98)، وفي وادي الخرازي (72-106، المعدل 83)، وادي نهر الخوصر (54-100، المعدل 80)، وادي الدانفيلي (68-112، المعدل 88)، وفي وادي الشور (61-101، المعدل 80)، وكنظيرتها في الجانب الأيمن فإن هذه التراكيز اقل من القيمة المرجعية في الرواسب، إضافة إلى كونها تتأتى من تعرية الصخور الأم، ويتأكد ذلك من خلال علاقات الارتباط الطردية بين الفناديوم وأكاسيد الألمنيوم (r=0.46) والتيتانيوم

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

(0.53) والحديد (0.53). ترتفع قيمة V بشكل ملحوظ في العينة KH4 القريبة من محل لغسل السيارات وتبديل الزيوت، إن سبب هذا الارتفاع يعزى إلى فضلات الزيوت المطروحة في الوادي (Ikhajiagbe *et al.*, 2014). تراكيز الفناديوم في النماذج الأولى في وادي نهر الخوصر (KS1, KS2) هي الأقل نتيجة لانخفاض تراكيز أكاسيد التيتانيوم والألمنيوم والحديد التي تمثل التجمع المعدني الخاص بالمعادن الطينية التي يرافقها وجود الفناديوم، بينما يعود ليزداد تركيزه في العينة (KS3) حيث تزداد تراكيز أكاسيد الألمنيوم والتيتانيوم والحديد فضلاً عن أكسيد المغنيسيوم، إضافة إلى ارتفاع تركيزه في العينة (KSB3). يزداد تركيز العينة (D2) في وادي الدانفيلي حيث تقع في المنطقة الصناعية، ويصب فيها الرافد (DA) الذي يقع قرب محلات تبديل زيت السيارات.

### 2-4-3 الكروم (Cr) Chromium

يعد الكروم من العناصر الانتقالية، وله حالتا تأكسد رئيستان هما ( $Cr^{6+}$ ,  $Cr^{3+}$ )، تختلف حالتا التأكسد اختلافاً كبيراً في سلوكهما الجيوكيميائي والكميحيوي، إذ يكون ( $Cr^{6+}$ ) متحرك وشديد السمية للإنسان ويعد مهيجاً للجلد ومسبباً عن طريق الاستنشاق (Rosales *et al.*, 2015; Stefánsson *et al.*, 2017). بينما ( $Cr^{3+}$ ) غير متحرك في الرواسب والترربة إذ إنه ذو صلة قوية بالأيونات السالبة الشحنة والغرويات في الرواسب والترب ويعطي مركبات قليلة الذوبان مثل  $Cr(OH)_3$ ، فضلاً عن كونه ذا سمية منخفضة (Rosales *et al.*, 2017)، ويعد عنصراً أساسياً في عملية التمثيل الغذائي للإنسان (Lilli *et al.*, 2015).

يشكل الكروم العديد من المعادن منها الكرومايت ( $FeCr_2O_4$ ) والكروكويت النادر ( $PbCrO_4$ )، كما يدخل كعنصر ثانوي في البعض الآخر كالامفيبول والمايكا والبايروكسين. يبلغ نصف قطره الأيوني ( $R=62$  pm)، ومثل العناصر الانتقالية الأخرى ذات نصف القطر المتوسط، فإنه يحل بسهولة محل الحديد والمغنيسيوم. يتواجد الكروم في الصخور الرسوبية في الأطوار الفتاتية الأولى كما في الكرومايت والمغنيتايت والالمنيت. يتشابه السلوك الجيوكيميائي للكروم ثلاثي التكافؤ ( $Cr^{3+}$ ) مع ( $Fe^{3+}$ ) و ( $Al^{3+}$ )، ما يؤدي إلى انتشاره بشكل واسع في الأكاسيد والأطيان عن طريق الإحلال أو الامتزاز (C. Liu *et al.*, 2017; Salminen *et al.*, 2005).

تتحكم ظروف الأكسدة والاختزال والرقم الهيدروجيني (pH) والمادة العضوية في سلوك الكروم، إذ يعد الكروم من العناصر قليلة الحركة (low mobility element) وخاصة في ظروف الأكسدة والاختزال المتوسطة وقيم الدالة الحامضية المعتدلة. كما يعتمد امتزازه من قبل الأطيان على قيمة (pH)، فزيادة الدالة الحامضية ينخفض امتزاز ( $Cr^{6+}$ )، وعلى العكس منه يزداد امتزاز ( $Cr^{3+}$ ) بزيادة (pH). إن الدور السائد للمادة العضوية هو تنشيط اختزال الكروم السداسي إلى كروم ثلاثي

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

التكافؤ (Kabata-Pendias, 2011)، للكروم مصادر عديدة فهو يدخل في العديد من الصناعات، إذ يستخدم في صناعة سبائك الحديد فيضفي عليها الشدة والمقاومة للتفاعلات الكيميائية فضلاً عن تخفيض وزنها، لذا تستخدم في صناعة السيارات والطائرات وعربات السكك، كما يدخل مع الفضة في صناعة التحف والاكسسوارات والأدوات المنزلية، إضافة إلى استخدامه في صناعة الاصباغ ومواد التصوير والتلميع وبعض المنظفات ذات الكفاءة العالية وغيرها (النعيمي، 2021).

يبلغ معدل تركيز الكروم في الرواسب (60 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، وفي القشرة القارية العليا (92 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013).

كانت تراكيزه بوحدة (ppm) في رواسب الأودية في الجانب الأيمن كما يأتي: في وادي عكاب (185-290، المعدل 236)، وفي وادي اليرموك (229-324، المعدل 251)، أما في وادي العين فكانت (170-399، المعدل 234)، وفي وادي المأمون كانت (168-216، المعدل 195). ان تراكيز الكروم أعلى بكثير من القيم المرجعية في رواسب الأنهار وفي القشرة القارية العليا، فضلاً عن تزايدها كلما اتجهنا نحو المصب، ما يعني تأثير العامل البشري في زيادة هذه التراكيز.

كانت تراكيز الكروم في رواسب أودية الجانب الأيسر كما يأتي: في وادي الرشيدية (223-348، المعدل 285)، في وادي الخرازي (175-269، المعدل 213)، وفي وادي نهر الخوصر (181-479، المعدل 298)، أما في وادي الدانفيلي فكانت (182-333، المعدل 258)، وفي وادي الشور (159-328، المعدل 269). تراكيز الكروم في هذه الرواسب أعلى من القيمة المرجعية. تتباين تراكيزه في الأودية لكنها تزداد بشكل عام باتجاه المصب ما يعني تغذيتها من المصادر البشرية المتنوعة (الصناعية والزراعية والمطروحات المدنية).

### 3-4-3 النيكل (Ni) Nickel

يعد النيكل أحد العناصر الانتقالية، وله حالتا تأكسد ( $Ni^{2+}$ ,  $Ni^{3+}$ )، وهو عنصر فلزي سيديروفيلي (siderophile metallic element)، كما يظهر الفة ليثوفيلية وجالكوفيلية. يشكل النيكل العديد من المعادن مثل البينتلاندايت  $(Fe,Ni)_9S_8$ ، والنيكلاين NiAs. يبلغ نصف قطر  $(Ni^{2+})$  (62 pm) يقع بين نصف قطر أيوني  $(Fe^{2+})$  و  $(Mg^{2+})$ ، لذا فهو يحل محلها في العديد من المعادن الطينية، وأكاسيد الحديد فضلاً عن معادن السليكات الفيرومغنيسية (Bide *et al.*, 2008; Salminen *et al.*, 2005).

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

يُحتفظ بنسبة كبيرة من النيكل الموجود في الرواسب في السليكات والأكاسيد المقاومة للتجوية. تنحصر حركية النيكل (restricted mobility) بشكل أساسي عند احلاله في المعادن الطينية، فضلاً عن أكاسيد الحديد والمنغنيز المائية (Merrot *et al.*, 2019).

يبلغ معدل تركيز النيكل في رواسب الأنهار (22.5 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، وفي القشرة القارية العليا يبلغ (47 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013).

كانت تراكيزه بوحدة (ppm) في رواسب الأودية في الجانب الأيمن على النحو الآتي: في وادي عكاب (92.8-135.3، المعدل 114.2)، في وادي اليرموك (91.4-156.6، المعدل 112.1)، في وادي العين (98.5-137.4، المعدل 116.9)، أخيراً في وادي المأمون بلغت (114.8-147.1، المعدل 127.6). ان تراكيز النيكل أعلى من قيمتها المرجعية في الرواسب والقشرة القارية العليا. تتناقص هذه التراكيز كلما اتجهنا صوب نهاية الوادي حيث تقل نسب المعادن الطينية كلما اتجهنا نحو ترسبات العصر الرباعي، كما تتباين هذه التراكيز من موقع لآخر باختلاف الصخور الأم العائدة لتكوين الفتحة وصخورها المتنوعة. يرتبط النيكل بعلاقة طردية قوية مع أكاسيد التيتانيوم ( $r=0.75$ ) والألمنيوم ( $r=0.87$ ) والمغنيسيوم ( $r=0.83$ ) وعلاقة متوسطة مع أكسيد البوتاسيوم (0.57)، فضلاً عن عناصر الفناديوم والمنغنير والروبيديوم، تعكس هذه العلاقات اطوار مختلفة للمعادن الطينية مثل المونتموريلونايت والباليكورسكايت.

بلغت تراكيز النيكل بوحدة (ppm) في رواسب أودية الجانب الأيسر: وادي الرشيدية (146.1-155.3، المعدل 151.1)، وفي وادي الخرازي (83.1-142.2، المعدل 122.0)، وفي وادي نهر الخوصر (53.9-173.7، المعدل 115.7)، وفي وادي السدانفيلي (69.4-147.7، المعدل 120.3)، وفي وادي الشور (109.6-145.7، المعدل 131.4). ان هذه التراكيز هي أعلى من القيمة المرجعية، ويرجع السبب في وفرتها إلى مصدرها من صخور المصدر لتكاوين المنطقة، على العكس من رواسب الجانب الأيمن تكون التراكيز في بدايات الأودية منخفضة حيث تكون نسب الكوارتز أعلى لقربها من تكاوين إنجانة والمقدادية وتزداد التراكيز بزيادة المعادن الطينية التي يمكن ان تزداد بزيادة التعرية والغسل لصخور المصدر ونقل الحجوم الناعمة التي تمثل الاطيان. يظهر هذا التغير الطفيف أيضاً من خلال علاقة النيكل مع الأكاسيد والعناصر الأثرية حيث هناك علاقة ارتباط طردية قوية بينه وبين أكاسيد التيتانيوم ( $r=0.89$ ) والألمنيوم ( $r=0.89$ ) والحديد ( $r=0.81$ ) والمغنيسيوم ( $r=0.82$ )، وعلاقة متوسطة مع السليكا، فضلاً عن علاقة طردية ضعيفة مع أكسيد البوتاسيوم ( $r=0.31$ )، إضافة إلى علاقته مع عناصر (V, Mn, Co, Ga, As, Sr)، تعكس هذه العلاقات وجود المعادن الطينية بأطوار مختلفة منها المونتموريلونايت إضافة إلى معدن الجونايت (Marcussen *et al.*, 2009).

### 4-4-3 المنغنيز (Mn) Manganese

المنغنيز هو أحد العناصر الانتقالية، ويمتلك عدد من حالات التأكسد ( $Mn^{2+}$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Mn^{6+}$ ,  $Mn^{7+}$ ). يعد المنغنيز من العناصر الليثوفيلية، ويشكل العديد من المعادن منها البايروولوسايت  $MnO_2$ ، والمانجانايت  $MnO(OH)$ ، كما يدخل بشكل واسع كعنصر ثانوي في معادن الكارنت، والاوليفين، والبايروكسين، والامفيبول، والكالسايت. يعد ايون المنغنيز ثنائي التكافؤ الأكثر استقراراً بين حالات التأكسد الأخرى اثناء العمليات الصهيرية. يبلغ نصف القطر الايوني لـ ( $Mn^{2+}$ ) ويتوافق مع ( $Fe^{2+}$ ) و ( $Mg^{2+}$ ) لحدوث الاحلال بينهما في المعادن (Salminen *et al.*, 2005).

إن محتوى المنغنيز في الصخور الرسوبية يعتمد على جيوكيميائية صخور المصدر، إضافة إلى ظروف الأكسدة والاختزال في بيئة الترسيب (Goldberg & Humayun, 2016). لا يعد المنغنيز عنصراً متحركاً بشكل كبير، على الرغم من امتلاكه قابلية ذوبان عالية وخاصة في ظروف الأكسدة وذلك لأن ( $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ) يشكلان أكاسيد مائية غير ذائبة. يتشابه السلوك الجيوكيميائي للمنغنيز مع ذلك الخاص بالحديد إذ يشتركان في تفاعلات الأكسدة والاختزال (Hylander *et al.*, 2000).

يعدّ المنغنيز عنصراً أثرياً وفيراً نسبياً إذ يبلغ معدل تركيزه في رواسب الأنهار (1046 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، ويبلغ (775 ppm) في القشرة القارية العليا وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013).

كانت تراكيز المنغنيز بوحدة (ppm) في رواسب أودية الجانب الأيمن كما يأتي: في وادي عكاب (465.9-608.0، المعدل 535.9)، وفي وادي اليرموك (406.3-637.9، المعدل 498.7)، بينما كانت في وادي العين (345.8-611.9، المعدل 446.3)، أما في المأمون فقد بلغت (456.5-683.3، المعدل 531.9). من خلال الجدول (1-3) يظهر ان تراكيز Mn اقل من تركيز القيمة المرجعية. تكون التراكيز عالية في بداية الأودية وتتناقص تدريجياً بالابتعاد عن البدايات بسبب عمليات التعرية والغسل التي تتعرض لها الرواسب.

بلغت تراكيز Mn في رواسب أودية الجانب الأيسر: في وادي الرشيدية (609.9-751.2، المعدل 685.0)، في وادي الخرازي (392.7-625.9، المعدل 538.9)، وادي نهر الخوصر (563.8-709.3، المعدل 614.3)، في وادي السدانفيلي (409.1-754.9، المعدل 510.8)، وفي وادي الشور كانت (526.8-869.7، المعدل 709.7). هذه التراكيز اقل من القيمة المرجعية، لكنها على العموم أعلى منها في أودية

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

الجانب الأيمن. تزداد تراكيز هذه الأودية بالابتعاد عن بداياتها حيث يزداد معها وجود المعادن الطينية.

يلاحظ من خلال الجدولين (1-3) و (2-3) وجود علاقة ارتباط طردية (متوسطة-قوية) بين المنغنيز وأكاسيد السليكون والتيتانيوم والألمنيوم والحديد والمغنيسيوم والبوتاسيوم، إضافة إلى عناصر الفناديوم والنيكل والروبيديوم والزركونيوم. تعكس علاقات الارتباط بين المنغنيز من جهة والأكاسيد والعناصر الأثرية من جهة أخرى وجود اطوار المعادن الطينية إذ يرتبط Mn مع هذه المعادن من خلال الامتزاز والاحلال، كما تعكس علاقة المنغنيز بأوكسيد الحديد وجود أكاسيد المنغنيز والحديد المائية مثل الجوثايت goethite والبيرنسايت birnessite والتي يمكن ان تعمل أيضاً على تغليف معدن المونتموريلونايت (manganese oxide-coated montmorillonite) (Ugwu & Igbokwe, 2019).

### 3-4-5 الكوبلت (Co) Cobalt

يعد الكوبلت أحد العناصر الانتقالية، ويمتلك حالتين تأكسد رئيسيتين ( $Co^{2+}$ ,  $Co^{3+}$ ). يظهر الكوبلت صفات العناصر السيدروفيلية والجالكوفيلية، ويشترك في عدد من اطوار الكبريتيدات مثل معدن الكوبالتايت (Co,Fe)AsS، كما يمكن ان يدخل كعنصر ثانوي في معادن أخرى كالاوليفين والبايروكسين والامفيبول والمايكا والكارنت والبايرايت. كذلك تحتوي بعض المعادن مثل الكوارتز والفلدسبار وكاربونات الكالسيوم النقية على نسبة قليلة جداً تصل لأقل من (2 ppm)، لذلك قد يحتوي الحجر الرملي النقي والحجر الجيري على كميات قليلة جداً من الكوبلت. يتغير تركيز الكوبلت في الصخور الرسوبية بحسب محتوى الحديد والمنغنيز، ويتركز في الفتات ناعم الحبيبات. كما يمكن ان يتواجد في صخور الحجر الطيني والطفل (Salminen et al., 2005).

يبلغ معدل التركيز في رواسب الأنهار (15.4 ppm) وفقاً لـ Ohta et al., (2017)، وفي القشرة القارية العليا (17.3) وفقاً لـ Rudnick & Gao, (2013). كانت تراكيز الكوبلت بوحدة ppm في رواسب الأودية في الجانب الأيمن كما يلي: في وادي عكاب (3.1-17.2، المعدل 10.6)، في وادي اليرموك (7.9-14.0، المعدل 10.0)، في وادي العين (3.1-16.4، المعدل 6.1)، وفي وادي المأمون (7.9-12.3، المعدل 9.5). تعد تراكيز الكوبلت في الجانب الأيمن اقل من القيمة المرجعية، وتتباين هذه القيم بشكل غير متناسق فترتفع تارة وتنخفض تارة أخرى وقد يعزى وجودها إلى مختلف المطروحات الملقاة في الأودية، فللكوبلت مصادر غير طبيعية متعددة إذ يدخل في صناعة الأسمدة والسبائك الحديدية ذات المقاومة العالية كالادوات القاطعة (النعمي، 2021). من خلال الجدول

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

(3-1) يظهر وجود علاقة ارتباط طردية بين الكوبلت واوكسيد السليكون والحديد والصوديوم.

كانت تراكيز الكوبلت في الجانب الأيسر: في وادي الرشيدية (7.9-19.0، المعدل 10.8)، في وادي الخرازي (3.1-17.1، المعدل 11.1)، وفي وادي نهر الخوصر (3.1-20.5، المعدل 7.3)، اما في وادي الدانفيلي فكانت (3.1-18.3، المعدل 10.7)، اخيراً في وادي الشور (7.4-14.1، المعدل 9.3). التراكيز في الجانب الأيسر أعلى منها في رواسب الجانب الأيمن، وتصل أحياناً للقيمة المرجعية. يظهر الجدول (3-2) علاقة ارتباط طردية بين الكوبلت وأكاسيد السليكون والتيتانيوم والألمنيوم والحديد والمغنيسيوم، إضافة إلى عناصر النيكل والزرنيخ، وهذا يعكس وجود المعادن الطينية إضافة إلى الكوارتز والجوثايت.

### 3-4-6 النحاس (Cu) Copper

ينتمي النحاس إلى العناصر الانتقالية، وله حالتا تأكسد ( $Cu^{1+}$ ,  $Cu^{2+}$ ). يعد النحاس من العناصر الجالوفيلية ويشكل عدداً من المعادن منها الجالكوبيرايت  $CuFeS_2$  والكوفيليت  $CuS$ ، الا انه أوسع انتشاراً كعنصر ثانوي في معادن المايكا والبيروكسين والامفيبول، علاوة على ذلك يمكن ان يكون النحاس بشكل فلز حر في الطبيعة (native copper) (Hjeltstr, 2015; Salminen *et al.*, 2005). يوجد النحاس في الرواسب، ويمكن ان يكون موروثاً عن المعادن المافية (Peck & Theyer, 1998)، وأكاسيد الحديد والمنغنيز الثانوية (Van Everbroeck *et al.*, 2020)، والمعادن الطينية (Ugwu & Igbokwe, 2019)، والمواد العضوية (Baran *et al.*, 2019).

يبلغ معدل تركيز النحاس في رواسب الأنهار (33 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، وفي القشرة القارية العليا (14 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013). بينما كانت تراكيزها بوحدة في منطقة الدراسة في رواسب أودية الجانب الأيمن: في وادي عكاب (37.7-138.8، المعدل 94.5)، في وادي اليرموك (36.0-127.4، المعدل 82.7)، في وادي العين (27.3-150.9، المعدل 64.6)، وفي وادي المأمون كانت (29.3-61.9، المعدل 45.8). ان تراكيز Cu في الرواسب المدروسة أعلى من تلك المسجلة في القيمة المرجعية سواء لرواسب الأنهار أو القشرة القارية العليا. تزداد التراكيز بالابتعاد عن بدايات الأودية باتجاه المصب. يظهر الجدول (3-1) وجود علاقات ارتباط طردية بين النحاس والسليكا وأكاسيد الصوديوم والفسفور والكبريت وعناصر الكلور فضلاً عن العناصر الأثرية الكروم والكوبلت والخاصين والرصاص، إضافة إلى المادة العضوية. فالنحاس يرتبط بالكبريت مكوناً الجالكوبايريت وهذه ترتبط



## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

جميعاً بالأملاح والمعادن الثانوية كالهاليت المشتقة من المتبخرات العائدة لتكوين الفتحة والتي تمتاز جميعاً على المادة العضوية.

تبلغ تراكيز النحاس بوحدة ppm في رواسب أودية الجانب الأيسر كآلاتي: في وادي الرشيدية (30.5-42.8، المعدل 34.2)، وادي الخرازي (30.4-38.4، المعدل 34.2)، وادي نهر الخوصر (12.7-46.3، المعدل 28.3)، وادي الدانفيلي (24.2-245.6، المعدل 106.6)، وادي الشور (28.2-69.9، المعدل 40.6). تراكيز النحاس عموماً أعلى من القيمة المرجعية، في أودية الرشيدية والخرازي ونهر الخوصر والشور تكون التراكيز متقاربة بينما تزداد بشكل ملحوظ في وادي الدانفيلي وخاصة في الجزء الواقع في الحي الصناعي. من خلال الجدول (3-2) يلاحظ ارتباط النحاس مع أكاسيد الحديد والفسفور والكبريت إضافة إلى المادة العضوية وعناصر الخارصين والزرنيخ والرصاص ما يعني وجود أكاسيد الحديد المائية التي تعمل على خفض حركية بعض العناصر الثقيلة مثل النحاس والزرنيخ وبالتالي تمتاز على اسطح هذه الأكاسيد، إضافة إلى ذلك يمتاز النحاس على المادة العضوية (Otero-Fariña *et al.*, 2015).

### 3-4-7 الخارصين (Zn) Zink

يعد الخارصين أحد عناصر السلسلة الانتقالية، ويمتلك حالة تأكسد واحدة ( $Zn^{2+}$ ) وهو من العناصر الفلزية الجالكوفيلية، ويدخل في تكوين عدد من المعادن منها معدن السفاليرايت sphalerite ( $ZnS$ )، إلا أنه أوسع انتشاراً كعنصر أثري في مجاميع معادن البايروكسين والامفيبول والمايكا والكارنت. يوجد الخارصين في الصخور الرسوبية من خلال وفرة السليكات الفيرومغنيسية، والأكاسيد الموروثة مثل الماغنتايت والمعادن الطينية فضلاً عن وجوده بنسب قليلة ومتباينة في الحجر الرملي والطفل (Berger *et al.*, 2017).

يبلغ معدل تركيز الخارصين في رواسب الأنهار وفق (Ohta *et al.*, 2017) (145 ppm) بينما يكون معدل تركيزه في القشرة القارية العليا (67 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013)

بلغت تراكيز Zn في رواسب أودية الجانب الأيمن: في وادي عكاب (101.8-734.6، المعدل 353.2)، في وادي اليرموك (117.0-842.0، المعدل 425.8)، في وادي العين (82.5-558.9، المعدل 271.2)، وفي وادي المأمون (94.4-274.1، المعدل 180.4). إن تراكيز الخارصين أعلى منها في القيمة المرجعية. تكون هذه التراكيز منخفضة في بدايات الأودية وتزداد باتجاه المصب. يظهر من الجدول (3-1) وجود علاقة ارتباط طردية بين Zn والسليكا وأكاسيد الصوديوم والفسفور والكبريت والكلور، إضافة إلى المادة العضوية وعناصر الكروم والنحاس والقصدير والرصاص. أقوى علاقة كانت بين الخارصين والفسفور ( $r=0.95$ ) وكلا العنصرين يستخدمان في الأسمدة ما قد يعزو توأجهما معاً، فضلاً عن كونهما يمتزان على المادة العضوية وهذا ما ظهر من خلال وجود العلاقة

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

بين الثلاثة، كما يمكن أن يكون مصدر Zn هو المطروحات البشرية في مياه الصرف الصحي إذ يبقى ممتزاً على المادة العضوية.

كانت تراكيز Zn في رواسب أودية الجانب الأيسر كآلاتي: في وادي الرشيدية (80.6-42.8، المعدل 126.1)، في وادي الخرازي (80.6-178.6، المعدل 136.8)، في وادي نهر الخوصر (40.0-180.7، المعدل 110.1)، في وادي الدانفيلي (68.1-789.6، المعدل 398.6)، وفي وادي الشور (76.8-263.8، المعدل 126.5). تتباين هذه التراكيز فتتخفص لتكون أقل من القيمة المرجعية وترتفع مرة أخرى لتكون أعلى منها. يظهر الجدول (2-3) وجود علاقة ارتباط طردية بين الخارصين وواوكسيد الحديد ( $r=0.48$ ) إذ يمتاز Zn على الجوثايت (Gerth & Brümmer, 1983)، إضافة إلى وجود علاقة طردية بين Zn وواوكسيد الفسفور إذ تتخفص تراكيزهما من خلال امتصاص النبات للخارصين والفسفور أو زيادتهما عن طريق الأسمدة النباتية إذ يدخل كلاهما في صناعة الأسمدة (Pongrac *et al.*, 2019; Webb & Loneragan, 1988)، للنبات دور كبير في خفض تراكيز العناصر الثقيلة من خلال امتصاصه لها ومن هذه النباتات القصب (*Phragmites australis*)، إذ استخدم لإزالة العناصر الثقيلة من المياه والترب، تتركز عناصر (الحديد، المنغنيز، الخارصين، النحاس، الكروم، النيكل، الكوبلت، الكاديوم) في جذور القصب بينما يتركز الكاديوم والرصاص في الأجزاء الخضرية كالأوراق (Cicero-Fernández *et al.*, 2016; Rzymiski *et al.*, 2014). يلاحظ أيضاً وجود ارتباط معنوي مع الكبريتات وأوكسيد الصوديوم والكلور من خلال امتزاز الجميع على المادة العضوية.

### 3-4-8 الزرنيخ (As) Arsenic

يعد الزرنيخ من العناصر الجالكوفيلية، وله ثلاث حالات تأكسد رئيسية ( $As^{3-}$ ,  $As^{3+}$ ,  $As^{5+}$ ). يشترك في تكوين العديد من المعادن ولا سيما ارسينوبيرايت ( $FeAsS$ ) arsenopyrite فضلاً عن الريلكار ( $AsS$ ) realgar والاوربيمنت ( $As_2S_3$ ). الزرنيخ واسع الانتشار كعنصر أثري في مجموعة معادن الكبريتيدات sulphides مثل الكالينا والبايرايت. كذلك يمكن أن يحل  $As^{3+}$  محل  $Fe^{3+}$  و  $As^{5+}$  محل  $P^{5+}$  نظراً لتشابه  $PO_4^{3-}$  مع  $AsO_4^{3-}$  في المعادن الفوسفاتية (Salminen *et al.*, 2005؛ اليوزبكي و الدباغ، 2018).

يبلغ معدل تركيز الزرنيخ في رواسب الأنهار (14 ppm) وفقاً لـ (Ohta *et al.*, 2017)، وفي القشرة القارية العليا (4.8 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013).

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

كانت تراكيز الزرنيخ في رواسب أودية الجانب الايمن كالآتي: في وادي عكاب (5.6-8.3، المعدل 6.8)، في وادي اليرموك (5.9-10.4، المعدل 7.6)، في وادي العين (4.1-7.9، المعدل 5.5)، وفي وادي المأمون (4.6-7.8، المعدل 6.2). ان هذه التراكيز هي اقل من القيمة المرجعية في رواسب الأنهار وضمن حدودها في القشرة القارية العليا او أعلى منها احياناً. تتباين هذه التراكيز ضمن الأودية ما يعزوه وجودها إلى كلا العاملين الصخري والبشري، تزداد عموماً في الأودية المارة بمناطق صناعية. أظهر ارتباطاً بأوكسيد الحديد من خلال امتزازه على اسطح معدن الجوثايت (Salminen et al., 2005; Wang & Mulligan, 2006).

وكانت تراكيز الزرنيخ في رواسب أودية الجانب الأيسر كما يأتي: في وادي الرشيدية (6.3-7.9، المعدل 6.9)، في وادي الخرازي (3.4-6.7، المعدل 5.4)، في وادي نهر الخوصر (3.8-7.5، المعدل 5.3)، وفي وادي الدانفيلي (2.7-11.2، 7.7)، في وادي الشور (4.8-6.7، المعدل 6.1). التراكيز متباينة وهي اقل من القيمة المرجعية لرواسب الأنهار. كانت أعلى قيم للتراكيز في وادي الدانفيلي ذو التأثير بالعامل الصناعي، أعلى التراكيز كانت في النموذجين (D2, D5) اللذين يمران في قلب الحي الصناعي في الجانب الأيسر، إضافة إلى (DB2) الذي يمر قرب حقول تربية المواشي فضلاً عن قصابتها وطرح الفضلات والدماء في مياه الوادي ما يعني وفرة الحديد وبالتالي الزرنيخ المصاحب له (Ebong et al., 2020). يظهر الجدول (3-2) علاقة ارتباط طردية مع أكاسيد التيتانيوم والفسفور والحديد فضلاً عن المادة العضوية، ويعزى سبب هذا إلى الامتزاز سواء على أكاسيد الحديد المائية (الجوثايت) او على المادة العضوية (Salminen et al., 2005).

### 3-4-9 الرصاص (Pb)

يمثل الرصاص أحد العناصر الفلزية الانتقالية الأكثر وفرة. وله حالتا تأكسد ( $Pb^{2+}$ ,  $Pb^{4+}$ ). يعد الرصاص عنصر جالكوفيلياً ويشكل عدد من المعادن المهمة كالكالينا PbS والانغليسايت  $Pb_3SO_4$ ، إلا انه أوسع انتشاراً كعنصر اثري في العديد من المعادن مثل الفلدسبار البوتاسي والبلاجيوكليز والمايكا والمغنيتايت (Salminen et al., 2005).

يبلغ معدل تركيز الرصاص في رواسب الأنهار (37.9 ppm) وفقاً لـ (Ohta et al., 2017)، وفي القشرة القارية العليا (17 ppm) وفقاً لـ (Rudnick & Gao, 2013).

كانت تراكيزه في رواسب أودية الجانب الأيمن كالآتي: في وادي عكاب (15.0-273.3، المعدل 121.3)، في وادي اليرموك (21.3-536.0، المعدل 179.4)، في وادي العين (11.9-232.4، المعدل 82.4)، وفي وادي المأمون (13.6-57.8، المعدل

## الفصل الثالث: جيوكيمياء الرواسب

34.5). تراكيز Pb تبدأ بمستويات مقارنة للقيم المرجعية أو أدنى منها أحياناً لكنها تزداد بشكل كبير ما يعزى إلى التأثير البشري وخاصة أن نسب التلوث تزداد في وادي عكاب واليرموك من خلال مرورهما في مناطق صناعية، وأقل نسبة تلوث تظهر في وادي المأمون الذي يمر في منطقة سكنية. يرتبط الرصاص مع السليكا وأكاسيد الصوديوم والفسفور والكبريت وعنصر الكلور إضافة إلى الماد العضوية وبعض العناصر الأثرية كما في الجدول (3-1). حيث يمتاز الرصاص القادم مع المطروحات الصناعية والمدنية على المادة العضوية (Landrot & Khaokaew, 2018; White, 2019).

في حين بلغت تراكيز الرصاص في أودية الجانب الأيسر كآلاتي: وادي الرشيدية (10.3-23.3، المعدل 14.7)، في وادي الخرازي (14.4-21.4، المعدل 17.8)، في وادي نهر الخوصر (7.7-46.7، المعدل 18.5)، في وادي الدانفيلي (19.9-457.0، المعدل 180.2)، في وادي الشور أخيراً (12.1-34.7، المعدل 21.6). تقع تراكيز Pb ضمن مستويات مقارنة في أودية الرشيدية والخرازي ونهر الخوصر والشور وقريبة من القيمة المرجعية وأدنى منها أحياناً، بينما كانت في وادي الدانفيلي عالية جداً لا سيما في منطقة الحي الصناعي. يظهر الجدول (3-2) ارتباط الرصاص مع أكاسيد الحديد والفسفور إضافة إلى المادة العضوية وعناصر النحاس.

# الفصل الرابع

الجيوكيمياء البيئية

تزداد مشكلة تلوث النظم البيئية للأرض بالعناصر الثقيلة مع تزايد عدد سكان كوكبنا ومتطلباتهم من الموارد الطبيعية مثل المياه والغذاء والطاقة فضلاً عن الصناعات القائمة على هذه العناصر (Muedi, 2018). إن الآثار الصحية للتلوث التي تحدث عن طريق تناول هذه العناصر من خلال الغذاء والماء الملوث فضلاً عن التنفس، تظهر غالباً على المدى الطويل وبعده طرق منها على سبيل المثال إضعاف القدرة العقلية، وفقدان التحكم الحركي، والخلل الوظيفي الحرج في الأعضاء، والسرطان، والأمراض المزمنة والمعاناة المصاحبة، والعجز، وأخيراً الموت (Siegel, 2002). تكمن خطورة العناصر الثقيلة في سميتها وخصائصها في التراكم الحيوي وعدم إمكانية التخلص منها غير قابلة للتحلل الحيوي وذات قدرة منخفضة على التنقية الذاتية (Quinn & Dussailant, 2018). تلعب الجيوكيمياء دوراً في إجراء تقييم ومحاولة إدارة العناصر الثقيلة بغية التخلص أو التخفيف من آثارها الصحية السلبية على الإنسان وباقي الأحياء (Siegel, 2002)، نظراً لأن أنماط تقسيم وتوزيع العناصر الثقيلة لها أهمية حاسمة بالنسبة للسمية المحتملة لهذه العناصر، لذا أصبح فهم هذا التوزيع في البيئة الرسوبية أمراً ضرورياً لتحديد المخاطر والآثار المتوقعة على توازن السلسلة الغذائية، والتي لها أهمية أكبر من مسألة تقدير تراكيز العناصر نفسها (Lim et al., 2021).

لهذه الأودية مجموعة من المخاطر والآثار السلبية يمكن سردها في النقاط الآتية:

- 1- انخفاض معدلات تصريف الوديان بسبب العبث في أكتاف الوديان وانهيار بعض الأجزاء فضلاً عن المطرورات المختلفة.
- 2- احتواء هذه الوديان على مختلف النفايات بكميات كبيرة في بعض المواضع يؤثر من الناحية البيئية على جمالية المدينة.
- 3- أصبحت هذه الوديان المكب الرئيس للنفايات بمختلف أنواعها وتراكمها بشكل مستمر، الأمر الذي سيؤدي إلى تفاقم مشكلة التخلص منها.
- 4- تعد هذه الأودية مناطق تلوث (نقاط تلوث) لنهر دجلة وبالأخص في المواسم غير المطيرة بسبب تصريف مياه هذه الأودية للنهر بشكل مباشر دون معالجة.
- 5- قرب مصبات بعض الوديان من مأخذ محطات الإسالة سواء في شمال المدينة، مثل تأثير وادي الرشيدية على محطة الجانب الأيسر، وفي جنوب المدينة مثل المجرى الصندوقي في منطقة وادي حجر الذي يصب قرب مأخذ الدندان.
- 6- أصبحت هذه الأودية نتيجة نمو النباتات فيها وبالأخص نبات القصب مرتعاً للجرذان ومن ثم الأفاعي التي تشكل خطراً على الدور المجاورة للوديان.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

- 7- إطلاق الروائح الكريهة نتيجة التفاعلات العضوية الناجمة من تفسخ وتحلل المواد العضوية والأحياء الميتة التي ترمى بشكل مستمر إلى هذه الأودية.
  - 8- تستخدم مياه الوديان لأغراض السقي في بعض المناطق وما يترتب على ذلك امتصاص النبات (بنسب متفاوتة) لبعض العناصر الملوثة ومنها العناصر الثقيلة، التي ستتراكم في النبات وتدخل السلسلة الغذائية.
  - 9- أعمال الكري التي تجري على هذه الأودية أحياناً ترفع من مشكلة التلوث أكثر مما هي عليه بسبب وضع مواد الكري على أكتاف هذه الأودية مما أدى إلى ظهور مواقع تلوث إضافية جديدة.
  - 10- ردم بعض الأماكن في هذه الأودية وخاصة روافدها مما يؤدي إلى حجز مياه الأمطار وخاصة في فترة الهطول الشديد مسببة تهديداً للدور والأبنية المجاورة.
  - 11- وجود بعض التخسفات التي بدأت بالظهور والازدياد نتيجة عوامل الإذابة بفعل مياه الأمطار ومياه الصرف الصحي ذات التأثير الحامضي. وأصبحت هذه التخسفات بمثابة بالوعات ضخمة تصب فيها مياه الصرف الصحي ومياه الأمطار دون استمرار جريانها باتجاه النهر. كما بدأت تهدد الدور التي حولها بالانهيار المفاجئ نتيجة زيادة حجم التكهفات غير المنظور مما يهدد بحصول كوارث بشرية وبيئية.
  - 12- تجاوز بعض السكان على هذه الأودية بأعمال البناء سواء الدور او المعابر مما يجعلها عرضة للانهيار.
  - 13- تتعرض معظم الأحياء السكنية لمجمل هذه التأثيرات السلبية بسبب اختراق هذه الأودية للمدينة من حدودها الخارجية باتجاه النهر.
  - 14- مما ظهر أنفاً يبدو عدم وجود خطة في المحافظة والبلدية لمعالجة هذه المشكلة البيئية خطيرة الأمر الذي سيرفع من مخاطر هذه الأودية على المدينة.
- 4-2 التحليل العاملي (تحليل المركبات الرئيسية)

### Factor Analysis (Principal Component Analysis)

من اجل فهم العلاقة بين مكونات الرواسب الرئيسية والعناصر الثقيلة المرتبطة بها، أُجري التحليل العاملي باستخدام طريقة الاستخراج المسماة تحليل المركبات الأساسية Principal Components Analysis، وطُبِّقَت طريقة التدوير الأكثر شيوعاً فاريماكس varimax rotation لكايزر (Kaiser, 1974)، وعند إجراء الاختبار على بيانات الأكاسيد الرئيسية والثانوية، والمادة العضوية، وثاني أكسيد الكربون، وبعض العناصر الثقيلة، التي تم اختيارها على افتراض وجود أنماط أو عوامل خاصة من العلاقات في البيانات المدروسة يتم على أساسها تصنيف المتغيرات، وحذفت العناصر التي ليس لها توزيع معنوي على

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

المركبات بهدف حصر العناصر التي لها تأثير على هذه المركبات (Gorsuch, 2014). وقد كانت نتائج التحليل العاملي كما يأتي:

### 4-2-1- المركبات الرئيسية في الجانب الأيمن:

كانت قيمة Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)، والتي تتبنى قيم الجذر الكامن (eigenvalues) أكبر من واحد هي (0.615). أنتج الاختبار وجود ثلاث مركبات أساسية تمثل 79.84 من مجموع التباينات variance، وكانت (7.04، 28.05، 44.75) للمركبات الأولى، والثانية، والثالثة، على التوالي، كما في الجدول (1-4)، والشكل (1-4).

### 4-2-1-1 المركبة الرئيسية الأولى: تأثير المادة العضوية (عامل التأثير البشري)

تظهر هذه المركبة ارتباط المادة العضوية بالسليكا والصدوديوم والفسفور وأكاسيد الكبريت والكلور والنحاس والزنك والقصدير والرصاص والباريوم. أن وجود الفوسفور والنحاس والزنك والرصاص والقصدير يمكن أن يعزى إلى الأنشطة الصناعية والمدنية والزراعية ومخلفاتها. تعد مياه الصرف الصحي ومياه المخلفات الصناعية من مصادر المادة العضوية في الرواسب (Michael-Kordatou et al., 2015).

يوضح الجدول (1-3) وجود علاقات ارتباط قوية بين المادة العضوية وكل من أكسيد الصدوديوم ( $r= 0.693$ )، والكلور ( $r= 0.640$ )، والكبريتات ( $r= 0.614$ )، وذلك قد يشير إلى المعادن الثانوية للكبريتات والهاليت الناتجة من تعرية الصخور الأم لتكوين الفتحة المكونة من الجبسوم والهاليت والتي تمتز على المادة العضوية. كما يظهر الجدول وجود علاقة ارتباط معنوية بين المادة العضوية والفسفور ( $r= 0.804$ )، قد يعزى مصدرها إلى تسميد الأراضي الزراعية، حيث يكون بشكل أورثوفوسفات orthophosphate، أو نتيجة للعمليات الحيوية للنبات كمركبات الفوسفات العضوية، أو من مخلفات صناعة المنظفات، ومياه الفضلات الحاوية على مواد التنظيف والغسيل المنزلي بشكل مركبات متعددة الفوسفات polyphosphate compounds (Kome et al., 2019; Nash et al., 2014).

كما يعرض الجدول (1-3) أنف الذكر قيم معامل الارتباط بين المادة العضوية من جهة والنحاس والزنك والرصاص من جهة أخرى، ( $r= 0.661$ ) و ( $r= 0.842$ ) و ( $r= 0.417$ )، على التوالي، والتي تشير على الأرجح إلى أن مصدر هذه العناصر هو المصدر الصناعي المتمثل بورش السباكة والصبغة وبيع وتصليح البطاريات، فضلاً عن مخلفات وبقايا الصناعات الغذائية، وصناعة المنظفات، حيث تمتز هذه العناصر على المادة العضوية، ولذلك يلاحظ أن تراكيزها عالية في رواسب الوديان القريبة من المواقع الصناعية.

مما سبق، يمكن القول إن هذه المركبة تمثل التأثير الأساسي للمادة العضوية ومحتواها من العناصر الثقيلة والقادمة من الاستخدامات البشرية، سواءً مطروحات الصرف الصحي



## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

أو الأنشطة الزراعية المتمثلة بالأسمدة العضوية ومطروحات الأنشطة الصناعية المختلفة،  
الجدول (1-4)، والشكل (1-4).

الجدول (1-4): التحليل العاملي لنماذج رواسب أودية الجانب الأيمن

	Components		
	PC1	PC2	PC3
SiO <sub>2</sub>	0.616	0.595	0.221
TiO <sub>2</sub>	-0.065	0.901	0.318
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.341	0.890	0.173
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.017	0.287	0.867
MgO	-0.364	0.856	0.086
CaO	-0.769	-0.538	0.030
Na <sub>2</sub> O	0.870	-0.355	-0.131
K <sub>2</sub> O	0.065	0.821	0.094
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.920	-0.178	-0.110
SO <sub>3</sub>	0.709	-0.117	-0.467
Cl	0.810	-0.146	0.126
CO <sub>2</sub>	-0.461	-0.702	0.033
O.M.	0.830	0.044	-0.302
Mn	-0.232	0.501	0.787
Ni	-0.428	0.785	0.132
Cu	0.884	-0.200	0.117
Zn	0.961	-0.188	-0.113
Rb	-0.454	0.851	0.069
Zr	0.017	0.768	0.152
Sn	0.811	-0.086	-0.103
Pb	0.672	-0.167	0.279
Ba	0.767	0.085	-0.157

4-2-1-2- المركبة الرئيسية الثانية تأثير محتوى المعادن الطينية (عامل التجوية والنقل لصخور  
المصدر)

تظهر هذه المركبة ارتباط التيتانيا TiO<sub>2</sub>، والالومينا Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>، والمغنيسيا MgO،  
وأوكسيد البوتاسيوم K<sub>2</sub>O، إضافة إلى النيكل Ni والروبيديوم Rb والزركونيوم Zr. تمثل  
هذه الأكاسيد أطواراً مختلفة للمعادن الطينية (Kome et al., 2019)، وقد تكون معادن  
الكلورايت، والباليكورسكايت، والمونتمورلونايت والإلايت.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

تمثل هذا المركبة، عامل التجوية على صخور المصدر الحاوية على صخور طينية تتمثل بالمارل بشكل أساسي والموجود ضمن تكوين الفتحة، الجدول (1-4)، والشكل (1-4)، ويظهر ذلك واضحاً من خلال انخفاض نسبة الأطيان على طول مسار الوادي باتجاه المصب التي تعكس تأثير المياه السطحية وخاصة في فترات المزن المطرية على نقل المكونات الطينية فضلاً عن تأثير الجداول الجانبية التي تصب في الوادي خلال فترة الأمطار مما يعزز النقل بصورة أكبر.

### 4-2-1-3- المركبة الرئيسية الثالثة: تأثير وجود اطوار اكاسيد الحديد (التحلل الكيميائي

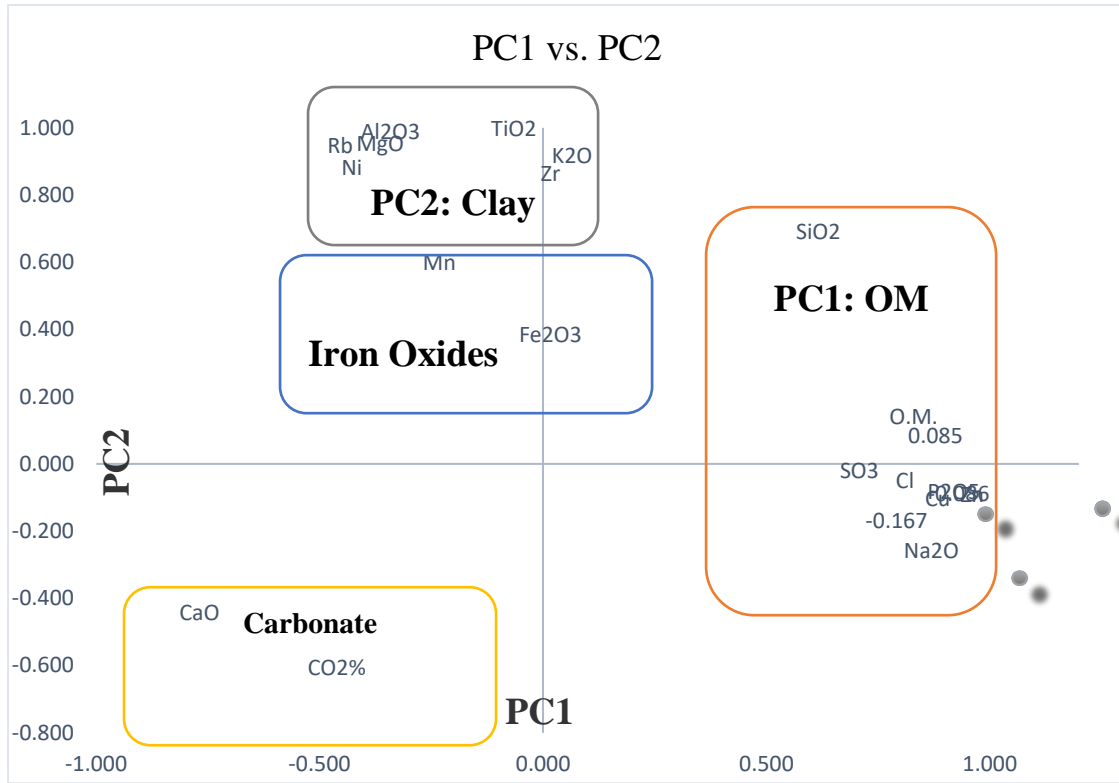
#### للفايات المعدنية)

يظهر الجدول (1-4) وجود علاقة ارتباط بين أكاسيد الحديد وعنصر المنغنيز، وكانت العلاقة بينهما كما تظهر في الجدول (1-3) قوية ( $r=0.787$ ). يمتاز المنغنيز على الحديد في العديد من المعادن والأكاسيد لا سيما معدن الجوثايت وبعض المعادن الطينية (Ugwu & Igbokwe, 2019). يعزى وجود المنغنيز فضلاً عن وجوده الطبيعي إلى دخوله في بعض الصناعات مثل صناعة الاصباغ، والبطاريات الجافة والزجاج (النعي، 2021).

ويشير هذا العامل على الأغلب إلى تأثير فعاليات التحلل الكيميائي للفايات المعدنية (الحديدية) التي توجد في عدة مواقع على طول مسار الأودية وخاصة في المناطق ذات النشاط الصناعي.

إضافة إلى المركبات الرئيسية الثلاث التي نتجت عن التحليل العاملي أظهر الشكل (1-4) وجود مركبة أخرى لم يفرزها التحليل العاملي وهي مركبة معادن الكربونات التي يعزى مصدرها إلى صخور الحجر الجيري الموجودة في تكوين الفتحة والتي أظهرت قيمة عالية جداً لأكسيد الكالسيوم CaO تزيد عن القيم المرجعية لها سواء في الرواسب أو في القشرة القارية العليا. ورغم ان هذه المركبة ترتبط بأكسيد الكالسيوم وثاني أكسيد الكربون إلا أنها تعكس أيضاً تأثير فعالية التعرية على صخور الكربونيت المصدرية الموجودة في تكوين الفتحة في الجانب الغربي من المدينة، هذا فضلاً عن اغتناء التربة بمحتواها من فتات الحجر الجيري متباين الحجم، إذ تتعرض خلال فترات الساقط المطري إلى تأثير التعرية بفعل المياه السطحية من جهة وتأثير الإذابة بفعل الأمطار الحاوية على ثاني أكسيد الكربون المذاب الذي يزيد من تأثير التعرية والتفتت لصخور الحجر الجيري والمكونات الكربونية الفتاتية الموجودة في التربة.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية



الشكل (1-4): التحليل العائلي لنماذج أودية الرواسب في الجانب الأيمن (إسقاط المركبات الرئيسية الأولى والثانية)

### 4-2-2-2- المراكبات الرئيسية في الجانب الأيسر

بلغت قيمة (KMO) 0.659، وأظهرت نتائج التحليل العائلي وجود أربع مركبات رئيسية تمثل (80.86) من مجموع التباينات، وكانت كالتالي: (المركبة الأولى: 33.83، المركبة الثانية: 29.75، المركبة الثالثة: 11.82، المركبة الرابعة: 5.46)، كما يظهر في الجدول (2-4)، والشكل (2-4).

### 4-2-2-1- المركبة الرئيسية الأولى: (عامل التجوية والنقل لصخور المصدر)

تظهر في هذه المركبة العلاقة بين أكاسيد التيتانيوم والألمنيوم والحديد والمغنيسيوم وعنصر النيكل، هذه العلاقة يمكن أن تعكس أطواراً مختلفة للمعادن الطينية. وهي تعكس عامل التجوية والنقل لصخور المصدر من تكاوين منطقة الدراسة المتمثلة بالمقدادية وإنجاعة والفتحة، إذ أن وديان الجانب الأيسر عادة ما تكون طويلة وذات حوض واسع ومساحة ماسكة للامطار كبيرة مما ينعكس على تأثير عامل التجوية بفعل مياه الأمطار (والمياه السطحية الناجمة عنها) وطبوغرافية المنطقة وغطاء التربة السائد في المنطقة ولذلك تتحكم أطوار المعادن الطينية بالتوزيع الجيوكيميائي.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

### 4-2-2-2-2-2-2-4- المركبة الرئيسية الثانية: تأثير المادة العضوية (عامل التأثير البشري)

يلاحظ من خلال هذه المركبة والجدول (2-3) والشكل (2-4) وجود علاقة ارتباط بين المادة العضوية وعناصر النحاس والزنك والرصاص والفسفور. يعزى وجود المادة العضوية إلى المياه التي تحمل المخلفات الصناعية في المنطقة الصناعية إضافة إلى المطروحات المدنية في مياه الصرف الصحي والأنشطة الزراعية المختلفة، في حين يرجع مصدر العناصر الثقيلة إلى مختلف أنواع الأنشطة الصناعية والزراعية والمدنية في أنحاء الجانب الأيسر. تتشابه هذه المصادر مع تلك الموجودة في الجانب الأيمن من المدينة نظراً لتشابه الأنشطة في جانبي المدينة.

### الجدول (2-4): التحليل العاملي لنماذج رواسب أودية الجانب الأيسر

	Components			
	PC1	PC2	PC3	PC4
SiO <sub>2</sub>	0.654	-0.079	-0.169	0.662
TiO <sub>2</sub>	0.931	0.001	-0.011	0.221
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.916	-0.089	-0.092	0.273
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.825	0.511	0.036	-0.036
MgO	0.860	-0.260	0.240	0.242
CaO	-0.360	-0.516	-0.154	-0.627
Na <sub>2</sub> O	-0.326	0.147	0.858	0.137
K <sub>2</sub> O	0.357	-0.489	-0.074	0.721
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.090	0.760	0.268	0.039
SO <sub>3</sub>	-0.056	0.236	0.768	-0.232
Cl	0.093	0.053	0.889	0.032
CO <sub>2</sub>	-0.579	-0.531	-0.196	-0.239
O.M.	0.054	0.727	0.404	-0.172
Mn	0.574	-0.555	0.009	0.161
Co	0.614	0.289	-0.142	0.238
Ni	0.966	0.009	-0.033	-0.067
Cu	-0.029	0.914	0.127	0.006
Zn	0.026	0.921	0.174	-0.081
As	0.529	0.628	0.026	-0.140
Br	0.168	0.278	0.823	0.007
Pb	-0.101	0.898	0.059	0.045

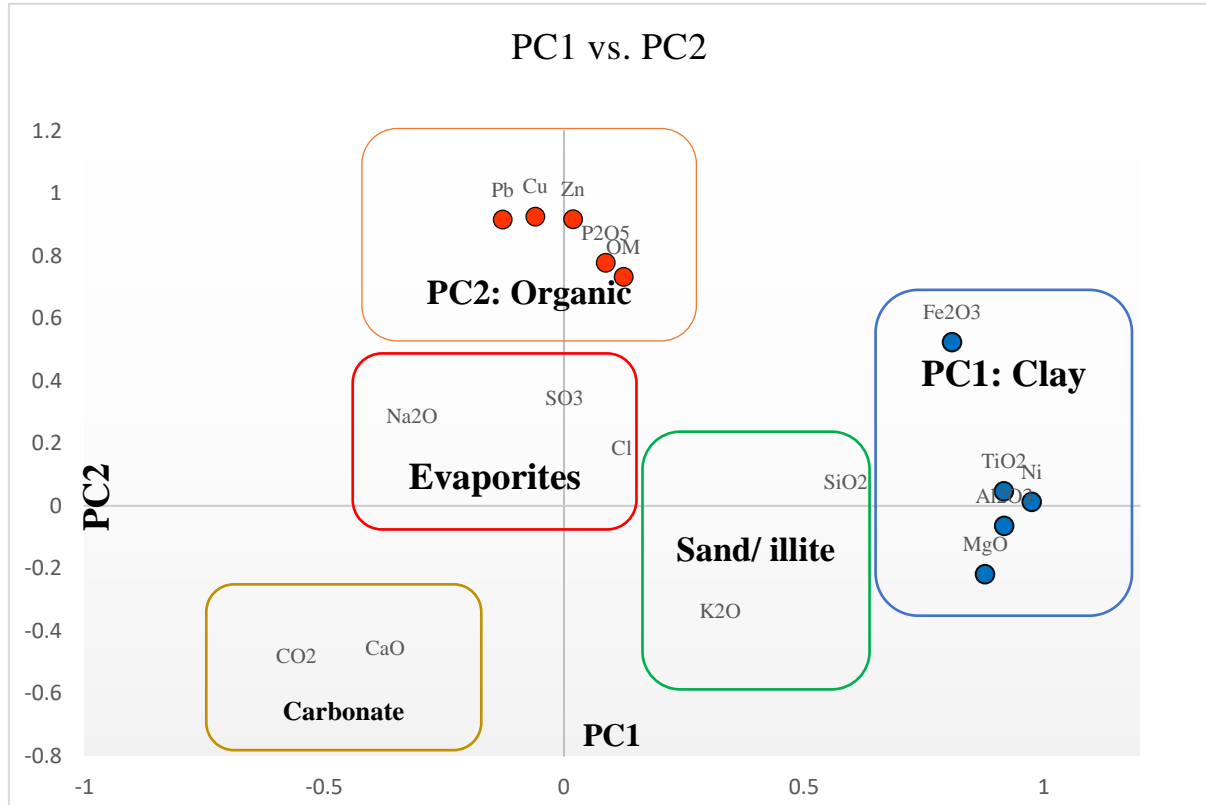
## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

### 4-2-2-3- المركبة الرئيسية الثالثة: (عامل التجوية لصخور المصدر (المتبخرات))

يظهر من خلال هذه المركبة وجود ارتباط بين أكسيد الصوديوم والكلور والكبريتات إضافة إلى البروم، ومن جدول معامل الارتباط (2-3) يلاحظ وجود علاقة ارتباط بين أكسيد الصوديوم والكلور ( $r=0.69$ ). أن ما يجمع هذه الأطوار هو كونها معادن ثانوية secondary minerals ناتجة عن عمليات التجوية لصخور المتبخرات العائدة لتكوين الفتحة.

### 4-2-2-4- المركبة الرئيسية الرابعة: (عامل التجوية لصخور المصدر)

تظهر هذه المركبة الارتباط بين السليكا  $SiO_2$  وأكسيد البوتاسيوم  $K_2O$ . هذه العلاقة يمكن أن تمثل معدن الفلدسبار البوتاسي ( $KAlSi_3O_8$ )، أو معدن الإلايت ( $Al_9Fe,K_3MgO_{41}Si_{14}^{+8}$ )، التي يمكن ان يعزى وجودهما إلى نواتج تجوية الصخور الأم المتمثلة بالحجر الرملي والحصى والصخور الطينية لتكويني الفتحة وإنجانة.



الشكل (2-4): التحليل العائلي لنماذج أودية الرواسب في الجانب الأيسر

(أسقاط المركبات الرئيسية الأولى والثانية)

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

بشكل عام يوضح التحليل العاملي ان تأثير المطروحات نتيجة النشاط البشري (المنزلي والصناعي والزراعي) هو الأكثر تأثيراً على تلوث رواسب أودية الجانب الأيمن بسبب كثافة الأحياء السكنية المكتظة نتيجة المساحات الصغيرة والتي ينجم عنها مطروحات بشرية كثيرة ومتنوعة، بينما يحتل تأثير عامل التجوية والتعرية لصخور وترب المناطق المحيطة بالجانب الغربي لمدينة الموصل التي تتميز أيضاً بكونها محدودة المساحات كمناطق منكشفة بسبب قصر أطوال الأودية التي تخترقها باتجاه المدينة نحو نهر دجلة.

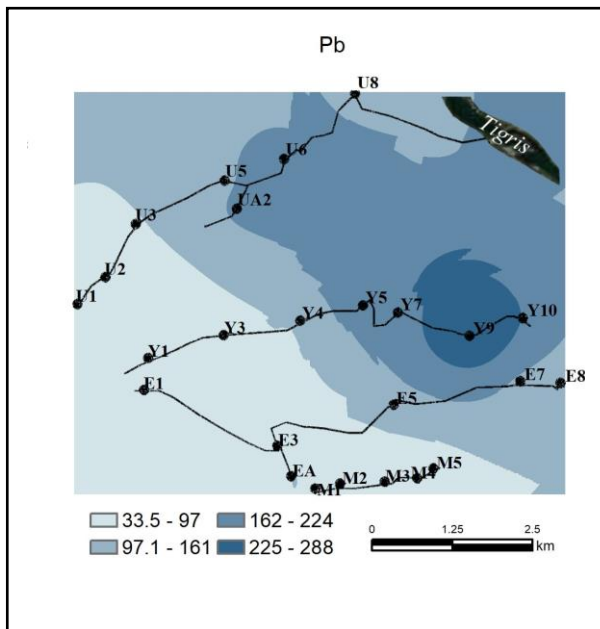
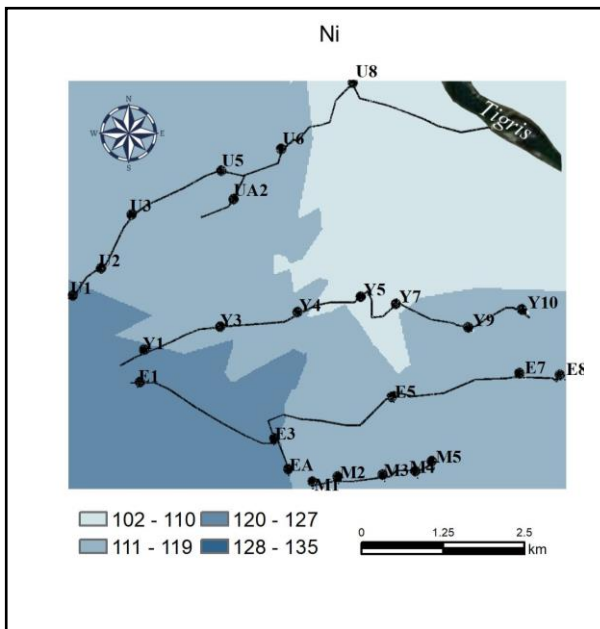
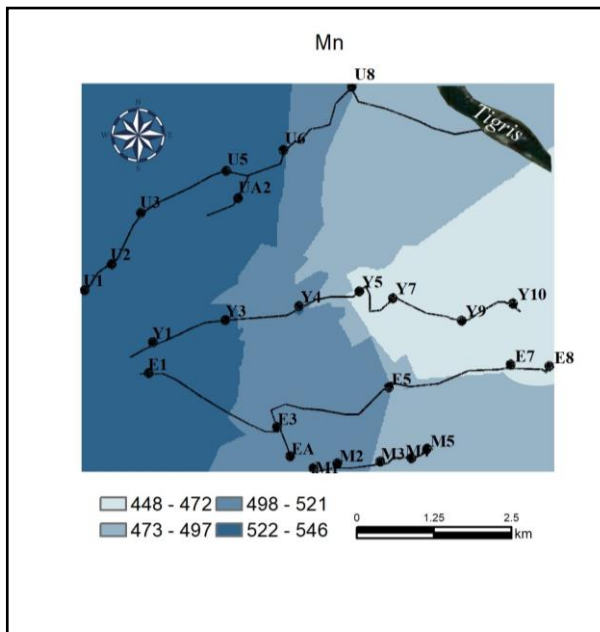
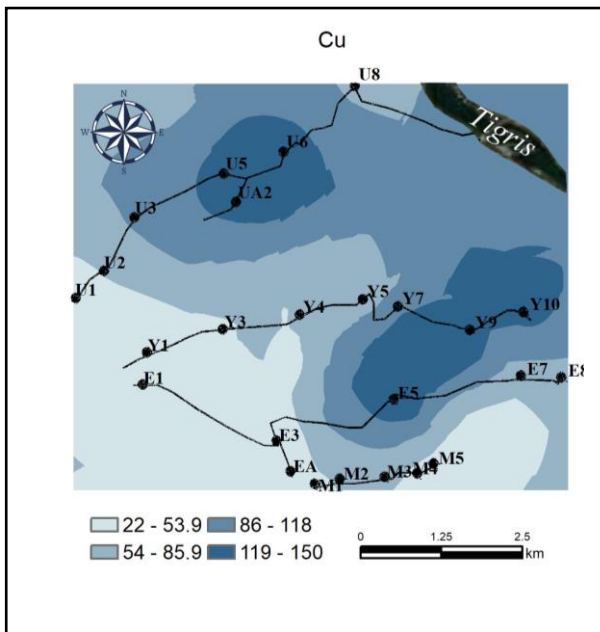
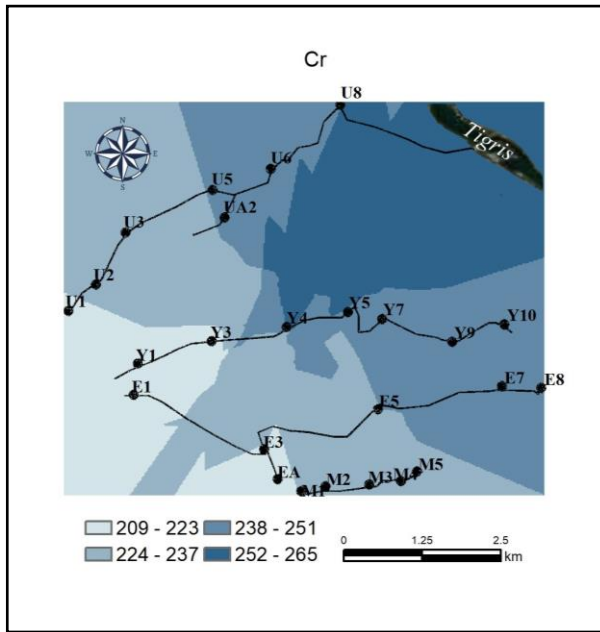
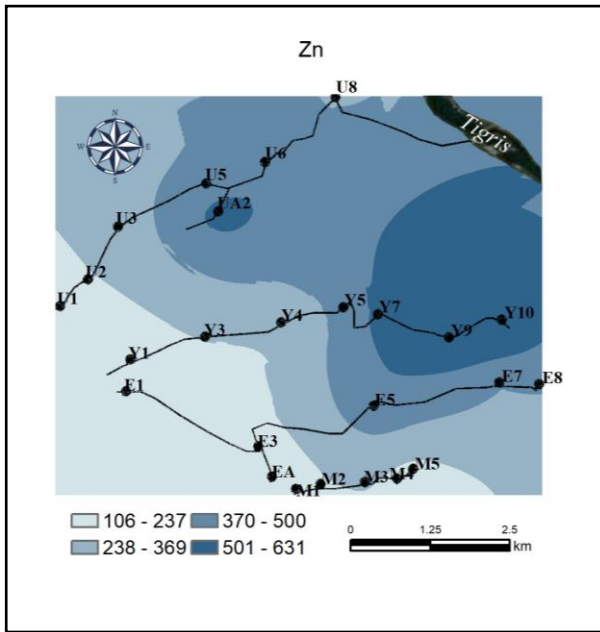
أما في الجانب الأيسر فبسبب سعة المساحات الماسكة للأمطار (watershed) بالنسبة لأودية هذا الجانب نجد أن تأثير عامل التعرية والتجوية للصخور المنكشفة والترربة المشتقة منها هو أكثر العوامل المتحكمة في توزيع العناصر في الرواسب. ويظهر ذلك واضحاً أيضاً ارتباط العوامل الأول والثالث والرابع بنوعية الصخور المؤثرة، فيعزى العامل الأول إلى تأثير تجوية التربة المشتقة من صخور إنجانة والمقدادية بشكل رئيس بينما يعكس العامل الثالث تأثير صخور الفتحة والعامل الرابع تأثير الصخور الرملية لتكويني الفتحة وإنجانة. في حين احتل العامل الثاني تأثير المطروحات بسبب سعة المساحات السكنية مقارنة بالجانب الأيمن فضلاً عن المطروحات الصناعية والزراعية كما ذكر آنفاً.

### 3-4 التوزيع المكاني للعناصر الثقيلة

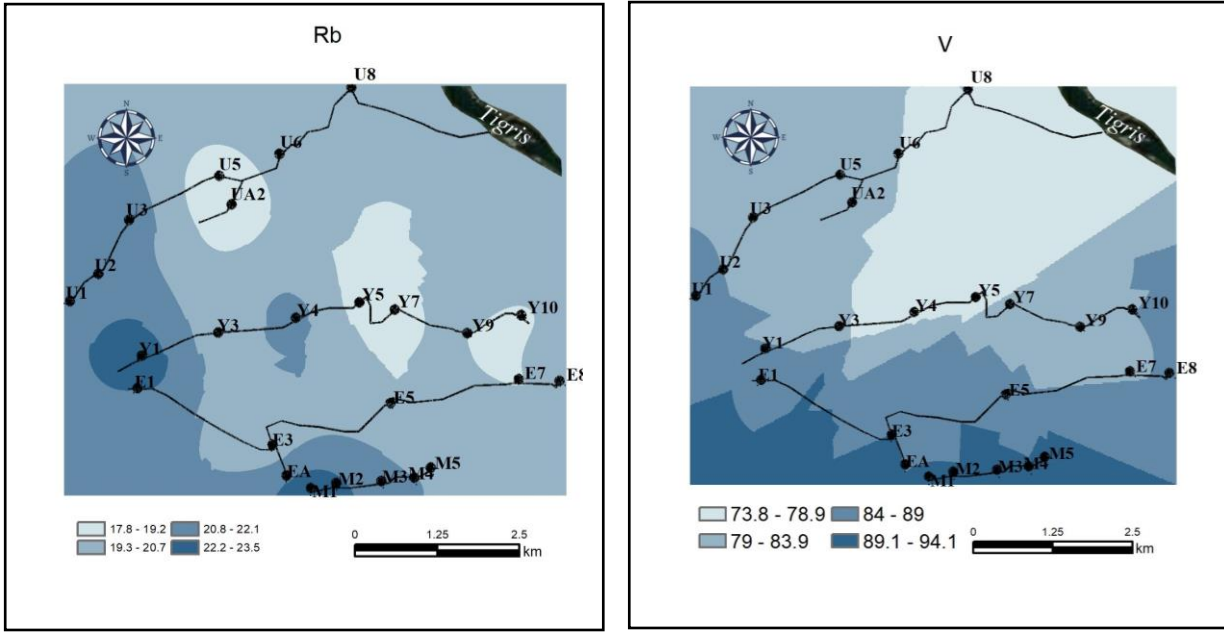
#### 1-3-4 أودية الجانب الأيمن

يظهر الشكل (3-4) بأن تراكيز العناصر الثقيلة (الكروم، النحاس، الخارصين، الرصاص) والمرتبطة بالمادة العضوية كما ذكر سابقاً، تكون منخفضة في بدايات الأودية وتأخذ بالازدياد باتجاه المصب. تظهر أعلى التراكيز في المناطق الصناعية وخاصة في وادي عكاب ووادي اليرموك، ترتبط أعلى قيم للنikkel مع المعادن الطينية في بدايات الأودية، وتأخذ بالانخفاض تدريجياً نتيجة لعملية غسل الرواسب خلال التعرية، إضافة إلى تغير نوعية الرواسب بالاتجاه نحو ترسبات العصر الرباعي وترسبات السهل الفيضي لنهر دجلة كما يظهر في وادي عكاب. تراكيز المنغنيز تكون عالية عند بدايات الأودية وتنخفض باتجاه المصب، وتزداد في بعض المواقع الصناعية لارتباط المنغنيز بالحديد وزيادة الأخير في تلك المناطق. الروبيديوم والفناديوم كذلك تكون تراكيزهما عالية في بدايات الأودية وتنخفض تدريجياً باتجاه المصب ويعزى ذلك إلى امتزاجهما على المعادن الطينية بعد تغذية الرواسب بها عن طريق المطروحات.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية



## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية



الشكل (3-4): خرائط التوزيع المكاني لبعض العناصر الثقيلة

في رواسب أودية الجانب الأيمن، (التركيز بوحدة ppm)

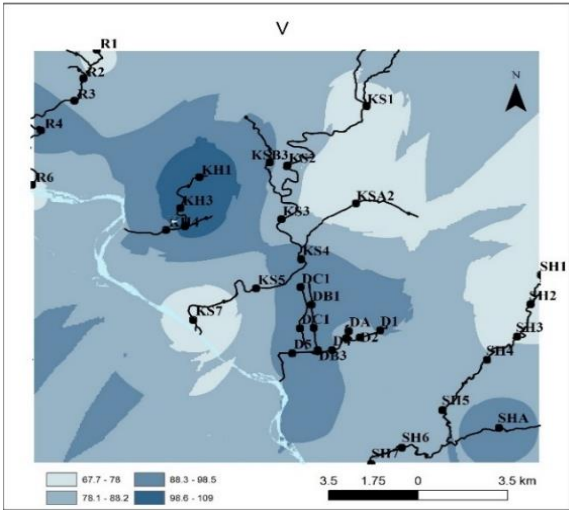
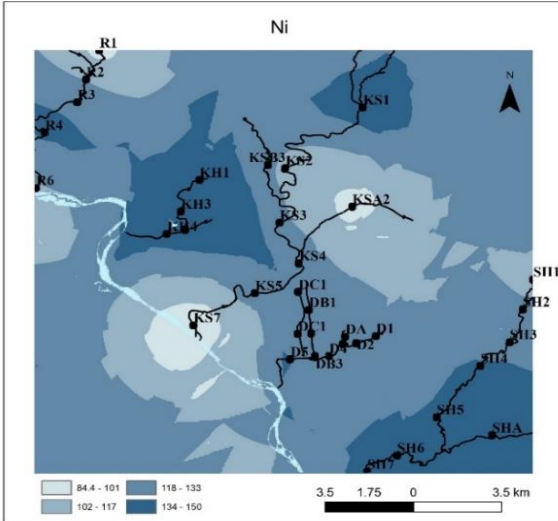
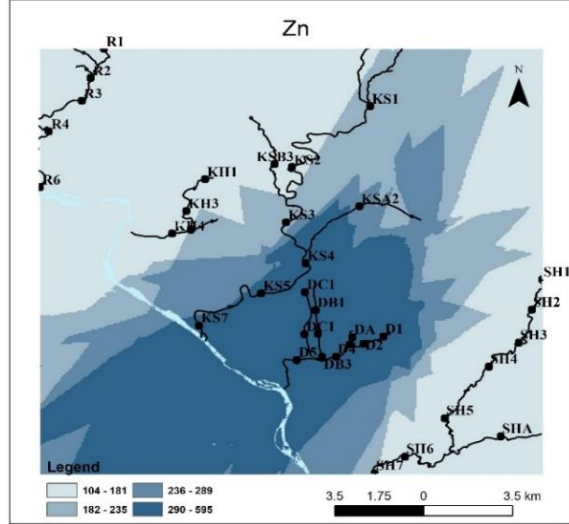
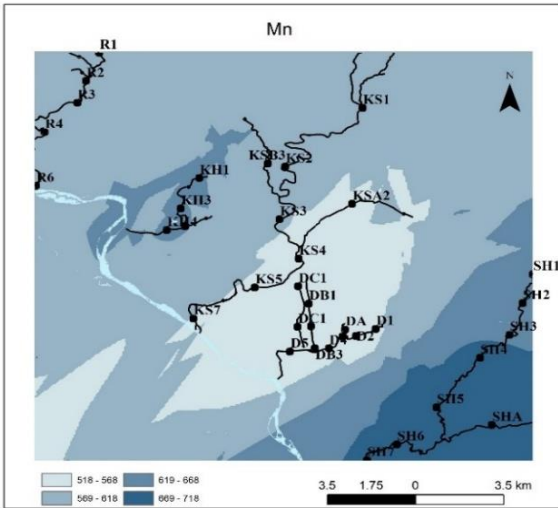
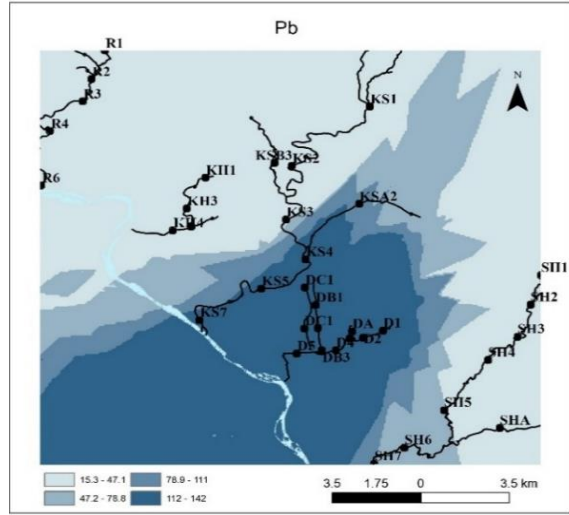
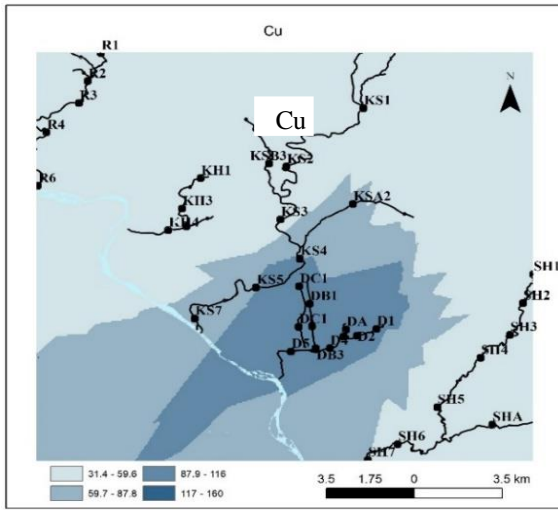
### 2-3-4 أودية الجانب الأيسر

يبين الشكل (4-4) التوزيع المكاني لبعض العناصر الثقيلة في رواسب الجانب الأيسر. يظهر من خلال الشكل أن خرائط التوزيع المكاني تختلف عن تلك الموجودة في الجانب الأيمن حيث كانت أكثر تشابهاً ووضوحاً، وربما يرجع السبب إلى كون مساحات الأحواض لأودية الجانب الأيسر أكبر منها في الجانب الأيمن، فضلاً عن تقارب الأودية وبداياتها في الجانب الأيمن وكذلك مسارها يكون بشكل متوازٍ أو شبه متوازٍ تقريباً باتجاه النهر على خلاف أودية الأيسر الأكثر تباعداً ما يجعل زمن ومسافة الغسل leaching أطول في أودية الجانب الأيسر وبدوره يؤدي إلى أن التوزيع الحجمي أكثر تبايناً، إضافة إلى أن الصخور الأم أكثر تنوعاً في الجانب الأيسر، وأخيراً التباين المكاني لمصادر التلوث البشري نظراً لكبير المساحة الحضرية في الجانب الأيسر مقارنة بالجانب الأيمن من المدينة.

تزداد بشكل عام تراكيز النحاس والخرصين والرصاص تدريجياً في كل الأودية وتعود للانخفاض قرب المصب وترتبط هذه العناصر بالمادة العضوية، ومصادر التلوث المختلفة، يظهر الارتفاع الكبير في تراكيز هذه العناصر في وادي الدانفيلي في منطقة الحي الصناعي. يتشابه إلى حد ما التوزيع المكاني لعنصري الفناديوم والنيكل حيث يرتبطان مع المعادن الطينية وتوزيعها في رواسب الأودية، ويظهر من الشكل (4-4) ارتفاع تراكيز هذه العناصر في وادي نهر الخوصر ووادي الشور، وهما الواديان الأطول وقد تعرضا لعمليات التعرية أكثر من باقي الأودية ما يعني أن حبيبات الرواسب تكون أصغر حجماً.



## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية



الشكل (4-4): خرائط التوزيع المكاني لبعض العناصر الثقيلة في رواسب  
أودية الجانب الأيسر من مدينة الموصل (التركيز بوحدة ppm)

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

### 4-4 بعض مؤشرات التلوث

#### 1-4-4-1 دليل التراكم الأرضي: $I_{geo}$ Geoaccumulation Index

##### 1-1-4-4 الجانب الأيمن

يوضح الجدول (3-4) قيم دليل التراكم الأرضي لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن. ويلاحظ أن قيم هذا الدليل للعينات الأولى في كل وادٍ تنقسم إلى فئتين (غير ملوثة) و (غير ملوثة - متوسطة التلوث)، وتمثل هذه العينات مواقع بداية الأودية التي لم تتعرض لتأثيرات التلوث بشكل كبير لأنها بعيدة نسبياً عن مواقع الأنشطة الصناعية والزراعية. بعض العناصر أظهرت (مؤشر تلوث عالٍ) وخاصة في المناطق الصناعية في وادي عكاب ووادي اليرموك، كما يظهر في الشكل (3-4).

يوضح الجدول (3-4) قيم  $I_{geo}$  للكروم (0.31-1.56)، والنيكل (-0.16-0.62) والتي تقع ضمن فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث) لجميع الوديان.

تتراوح قيم  $I_{geo}$  للنحاس بين (-1.30-1.16) في أودية عكاب واليرموك والعين، وتقع في فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث)، بينما تتراوح قيمها في وادي المأمون بين (-1.20-0.12) والتي تعني أنها (غير ملوثة).

كانت قيم  $I_{geo}$  بالنسبة للخارصين تتراوح بين (-0.79-2.72) في أودية عكاب واليرموك والعين، ويقع في فئة (غير ملوث - ملوثة بشدة). أما في وادي المأمون فكانت بين (-0.60-0.94) بمعنى (غير ملوث - متوسط التلوث). بشكل عام، تزداد هذه القيم على طول الوديان نتيجة مرورها بالمواقع الملوثة وخاصة الصناعية منها.

تتراوح قيم  $I_{geo}$  للرصاص بين (-1.34-4.16) (غير ملوث - ملوثة بشدة عالية). بلغت أعلى قيم  $I_{geo}$  في وادي المأمون (0.87) أي (متوسط التلوث). وأعلى قيم  $I_{geo}$  للرصاص في وادي اليرموك ووادي عكاب كانت (4.16) و (3.19) على التوالي، بينما أعلى قيمة لها في وادي العين هي (2.95)، في حين كانت أعلى قيمة في وادي المأمون (0.87). تعطي هذه القيم مؤشراً على المواقع المؤثرة للتلوث بالرصاص، وخاصة تلك المتعلقة بالمواقع الصناعية، بينما تمثل القيم المنخفضة تأثير مختلف المطروحات السكنية، كما يظهر في الشكل (3-4).

أما الزرنيخ فإن جميع قيم  $I_{geo}$  كانت أقل من صفر وفي جميع الأودية وهذا يعني أن الرواسب غير ملوثة بالزرنيخ.

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

الجدول (4-3): دليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن

WADI	Element Sample	Element					
		Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	As
UGAB	U1	0.46	0.41	-0.84	-0.49	-1.01	-1.32
	U2	0.69	0.06	-0.32	0.79	0.21	-1.80
	U3	0.77	0.30	0.48	1.04	1.40	-1.60
	U5	0.83	0.01	0.94	0.99	1.70	-1.47
	U6	0.95	0.23	1.04	1.81	3.19	-1.63
	U8	1.10	0.20	0.18	1.14	1.59	-1.24
	UA2	0.75	-0.14	0.95	2.37	3.11	-1.62
	MIN	0.46	-0.14	-0.84	-0.49	-1.01	-1.80
	MAX	1.10	0.41	1.04	2.37	3.19	-1.24
AL-YARMOK	Y1	0.83	0.62	-0.91	-0.28	-0.50	-1.42
	Y3	0.76	-0.01	-0.43	0.79	0.56	-1.62
	Y4	0.82	0.19	-0.24	0.47	0.36	-1.52
	Y5	0.83	-0.16	0.00	1.27	3.41	-1.53
	Y7	0.94	-0.01	0.78	2.08	1.83	-1.72
	Y9	1.26	0.06	0.92	2.15	4.16	-0.91
	Y10	0.48	0.43	0.73	2.72	2.67	-1.02
	MIN	0.48	-0.16	-0.91	-0.28	-0.50	-1.72
	MAX	1.26	0.62	0.92	2.72	4.16	-0.91
AL-EIN	E 1	0.64	0.34	-1.30	-0.79	-1.34	-1.69
	E 3	0.45	0.09	-1.28	-0.02	-0.79	-1.82
	E 5	1.56	-0.05	1.16	1.97	1.84	-2.25
	E 7	0.77	-0.01	0.02	1.01	0.96	-2.05
	E 8	0.61	0.32	0.07	1.42	1.16	-1.31
	E A	0.33	0.43	-0.69	0.32	2.95	-2.05
	MIN	0.33	-0.05	-1.30	-0.79	-1.34	-2.25
	MAX	1.56	0.43	1.16	1.97	4.16	-0.91
AL-MA' MON	M1	0.51	0.53	-0.99	-0.60	-1.15	-1.32
	M2	0.68	0.30	-0.12	0.83	0.87	-1.67
	M3	0.52	0.35	-0.14	0.94	0.84	-1.53
	M4	0.60	0.17	-0.66	0.37	0.19	-2.08
	M5	0.31	0.24	-1.20	-0.56	-0.88	-1.78
	MIN	0.31	0.17	-1.20	-0.60	-1.15	-2.08
	MAX	0.68	0.53	-0.12	0.94	0.87	-1.32

### 2-1-4-4 الجانب الأيسر

يوضح الجدول (4-4) قيم دليل التراكم الأرضي لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيسر. بشكل عام، يلاحظ ان قيم العينات الأولى لبدايات الأودية او روافدها (عدا وادي الدانفيلي) هي الأقل كونها لم تتعرض لتأثيرات التلوث بشكل كبير لأنها بعيدة نسبياً عن مواقع التلوث الصناعية والزراعية والسكنية. أعلى قيم ( $I_{geo}$ ) للكروم كانت في وادي الرشيدية (1.37)، والنيكل في وادي نهر الخوصر (0.77)، والنحاس في وادي الدانفيلي (1.86)، والخاصين في وادي الدانفيلي (2.47)، والرصاص في وادي الدانفيلي أيضاً (3.93).

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

يظهر الجدول (4-4) قيم ( $I_{geo}$ ) للكروم (1.83-0.24)، والنيكل (-0.92-0.77) والتي تقع ضمن فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث) لجميع الأودية. تتراوح قيم ( $I_{geo}$ ) للنحاس بين (-2.41-0.05) في أودية الرشيدية والخرازي ونهر الخوصر والشور، وتقع ضمن فئة (غير ملوثة)، بينما تتراوح قيمها في وادي الدانفيلي بين (-1.48-1.86) والتي تقع ضمن فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث).

وكانت قيم ( $I_{geo}$ ) بالنسبة للخارصين تتراوح بين (-1.83-0.89) في كل الأودية عدا وادي الدانفيلي، أي أنها تقع في فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث). أما في وادي الدانفيلي فكانت القيم بين (-1.06-2.47) بمعنى أنها ضمن الفئتين (غير ملوثة - متوسط التلوث) - (متوسط التلوث - ملوث بقوة)، وأعلى قيم التلوث تظهر في الحي الصناعي.

تراوحت قيم ( $I_{geo}$ ) للرصاص بين (-1.54-0.36) في وادي الرشيدية ووادي الخرازي وهي ضمن فئة (غير ملوثة). بينما كانت قيمها في وادي نهر الخوصر بين (-1.96-0.44) (غير ملوثة) عدا العينة KS4 (0.64) (غير ملوثة - متوسطة التلوث)، أما في وادي الشور تتراوح القيم بين (-1.31-0.33) وهي ضمن فئة (غير ملوثة) عدا العينتان ( $SH1 = 0.21$ ) و ( $SH2 = 0.14$ )، وتقعان ضمن فئة (غير ملوثة - متوسطة التلوث)، أما في وادي الدانفيلي فكانت قيم ( $I_{geo}$ ) بين (-3.93-0.59) وتقع بين فئتي (غير ملوثة) إلى (ملوث بقوة).

أما الزرنيخ فتتراوح قيم ( $I_{geo}$ ) في رواسب الأودية بين (-2.84-0.80)، وهذا يعني أنها غير ملوثة، ورغم ذلك فإن أعلى القيم كانت في وادي الدانفيلي وفي الحي الصناعي تحديداً.

الجدول (4-4): دليل التراكم الأرضي ( $I_{geo}$ ) لبعض العناصر الثقيلة

في رواسب أودية الجانب الأيسر

WADI	Element	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	As
	Sample						
AL-RASHEDIA	R1	0.93	0.59	-1.10	-0.62	-1.14	-1.50
	R2	0.72	0.52	-0.94	-0.36	-1.09	-1.52
	R3	1.23	0.57	-1.10	-0.82	-1.54	-1.58
	R4	1.06	0.55	-1.15	-0.25	-1.32	-1.31
	R6	1.37	0.61	-0.66	0.67	-0.36	-1.63
	MIN	0.72	0.52	-1.15	-0.82	-1.54	-1.63
	MAX	1.37	0.61	-0.66	0.67	-0.36	-1.31
AL-KHARRAZI	KH1	0.37	-0.30	-0.86	0.28	-0.55	-2.52
	KH3	0.45	0.33	-0.81	0.33	-0.48	-1.53
	KH4	1.00	0.48	-1.15	-0.82	-1.06	-1.76
	KHA2	0.71	0.40	-1.15	-0.30	-1.03	-1.74
	MIN	0.37	-0.30	-1.15	-0.82	-1.06	-2.52
	MAX	1.00	0.48	-0.81	0.33	-0.48	-1.53

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

KHOSAR RIVER	KS1	1.17	-0.92	-2.41	-1.83	-1.96	-2.36
	KS2	1.20	-0.43	-2.04	-1.41	-1.77	-2.31
	KS3	1.22	0.47	-1.27	-0.38	-1.43	-1.84
	KS4	1.15	0.23	-0.86	0.34	0.64	-2.34
	KS5	1.83	-0.28	-1.61	-0.77	-0.82	-2.28
	KS7	1.17	0.77	-0.55	-0.22	-0.54	-1.38
	KSA2	0.43	0.37	-1.17	0.28	-0.44	-1.57
	KSB3	0.47	0.52	-0.99	-0.26	-1.13	-1.50
	MIN	0.43	-0.92	-2.41	-1.83	-1.96	-2.36
	MAX	1.83	0.77	-0.55	0.34	0.64	-1.38
AL-DANFILLI	D1	1.00	0.37	0.28	1.28	1.90	-1.29
	D2	0.43	0.40	1.00	2.47	2.48	-0.92
	D3	1.20	0.23	1.36	2.06	3.93	-1.74
	D4	1.30	0.09	1.86	1.54	3.50	-1.19
	D5	0.90	0.32	1.28	2.41	3.35	-0.84
	DA	0.94	0.21	0.41	1.63	2.62	-1.05
	DB1	0.50	-0.56	-1.48	-1.06	-0.59	-2.84
	DB2	1.11	0.26	0.76	1.79	2.78	-0.80
	DB3	1.05	0.42	-0.27	0.47	0.82	-1.62
	DC1	0.53	0.53	-0.59	0.21	0.74	-1.96
	DC2	1.03	0.09	-0.63	-0.25	1.56	-1.60
	MIN	0.43	-0.56	-1.48	-1.06	-0.59	-2.84
	MAX	1.30	0.53	1.86	2.47	3.93	-0.80
	AL-SHOR	SH1	0.24	0.10	-0.12	0.89	0.21
SH2		1.01	0.17	0.05	0.26	0.14	-1.63
SH3		0.92	0.43	-1.02	-0.45	-0.94	-1.62
SH4		1.27	0.37	-1.20	-0.87	-1.18	-1.67
SH5		0.77	0.45	-1.05	-0.56	-0.77	-1.53
SHA		1.23	0.51	-1.12	-0.84	-1.31	-1.58
SH6		1.28	0.36	-1.26	-0.89	-0.43	-1.58
SH7		0.97	0.48	-0.82	0.00	-0.31	-1.80
MIN		0.24	0.10	-1.26	-0.89	-1.31	-2.03
MAX		1.28	0.51	0.05	0.89	0.21	-1.53

### Enrichment factor (EF): عامل الإغناء: 2-4-4

#### 1-2-4-4 الجانب الأيمن

يبين الجدول (4-5) قيم معامل الإغناء لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيمن. تراوحت قيم EF لعناصر الكروم (3.51-10.75)، والنيكل (3.22-5.57)، والنحاس (1.12-7.45)، والخرصين (1.70-21.12)، والرصاص (1.47-76.05)، والزرنيخ (0.66-1.81).

تظهر قيم EF للكروم في وادي عكاب ووادي اليرموك والعين ضمن فئة (إغناء مؤثر) (significant enrichment)، بينما تقع قيمة EF في وادي المأمون بين

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

الفئتين (إغناء متوسط - إغناء مؤثر). تتدرج قيم EF للنكل ضمن فئة (الإغناء المتوسط) في جميع الوديان. أظهرت جميع العينات قيم EF أقل من (4) مما يعكس أن النكل مرتبط بالمعادن الطينية فقط من خلال الامتزاز.

يظهر الجدول أيضاً أن قيم EF للنحاس والخاصين في وادي عكاب ووادي اليرموك ووادي العين تقع في فئات (الإغناء المتوسط - الإغناء المؤثر) باستثناء العينة Y10 بالنسبة للخاصين حيث كانت ضمن فئة (إغناء عالٍ جداً)، بينما كانت تقع ضمن فئة (إغناء متوسط) في وادي المأمون عدا العينتين (M2-M3) حيث تقعان ضمن فئة (إغناء مؤثر). يعكس التذبذب في قيم الرصاص EF التي تتراوح بين (1.47-76.05) (باستثناء العينات الأولى) التباين في تأثير مصادر التلوث على طول مسار الأودية، وكما ذكرنا سابقاً وضوح تأثير المناطق الصناعية على ارتفاع تراكيز الرصاص مقارنة بتأثير المناطق السكنية والزراعية، لذلك تتراوح فئات عامل الإغناء بين (إغناء متوسط - إغناء عالٍ بشدة). يقع الزرنيخ ضمن فئة (النقص إلى الحد الأدنى من الإغناء) حيث إن جميع قيمها أقل من (2).

الجدول (4-5): عامل الإغناء (EF) لبعض العناصر الثقيلة

في رواسب الجانب الأيمن

WADI	Element Sample	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Pb
UGAB	U1	3.93	3.50	1.46	1.98	1.12	1.74
	U2	5.39	3.22	2.46	5.59	0.94	4.71
	U3	5.33	3.54	3.99	6.21	1.01	10.05
	U5	7.28	3.82	7.25	7.91	1.45	16.37
	U6	6.93	3.86	6.74	12.11	1.13	39.80
	U8	7.30	3.62	3.53	7.27	1.41	12.52
	UA2	6.62	3.30	6.94	19.59	1.25	41.39
	MIN	3.93	3.22	1.46	1.98	0.94	1.74
	MAX	7.30	3.86	7.25	19.59	1.45	41.39
AL-YARMOK	Y1	6.96	5.57	1.92	3.12	1.43	3.40
	Y3	5.96	3.24	2.39	5.90	1.12	6.36
	Y4	5.65	3.37	2.48	4.29	1.10	5.02
	Y5	7.39	3.45	3.82	9.73	1.41	54.08
	Y7	6.77	3.25	5.57	14.47	1.05	15.35
	Y9	8.36	3.36	6.03	14.93	1.81	76.05
	Y10	6.29	3.71	6.25	21.12	1.78	28.72
	MIN	5.65	3.24	1.92	3.12	1.05	3.40
	MAX	8.36	5.57	6.25	21.12	1.81	76.05

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

AL-EIN	E1	4.74	3.53	1.12	1.70	0.92	1.47
	E3	5.46	3.93	1.51	3.81	1.11	2.83
	E5	10.75	3.24	7.45	13.80	0.75	15.94
	E7	7.20	3.87	3.93	8.21	0.99	10.02
	E8	5.10	3.84	3.22	8.61	1.32	9.08
	EA	3.51	3.47	1.59	3.38	0.66	26.42
	MIN	3.51	3.24	1.12	1.70	0.66	1.47
	MAX	10.75	3.93	7.45	13.80	1.32	26.42
AL-MA' MON	M1	3.83	3.58	1.24	1.72	1.05	1.48
	M2	5.08	3.61	2.67	5.46	0.98	7.08
	M3	4.80	3.94	2.78	6.23	1.13	7.30
	M4	5.11	3.49	1.94	4.19	0.78	4.69
	M5	4.53	3.97	1.45	2.39	1.04	2.43
	MIN	3.83	3.49	1.24	1.72	0.78	1.48
	MAX	5.11	3.97	2.78	6.23	1.13	7.30

### 4-4-2-2 الجانب الأيسر

يبين الجدول (4-6) قيم معامل الإغناء لبعض العناصر الثقيلة في رواسب أودية الجانب الأيسر. كانت قيم EF لعناصر الكروم (3.63-12.50)، والنيكل (1.95-4.19)، والنحاس (0.69-12.36)، والخراسين (1.08-16.19)، والرصاص (1.25-62.16)، والزرنيخ (0.60-1.79).

تظهر قيم عامل الإغناء للكروم في جميع الأودية ضمن فتتي (إغناء متوسط) إلى (إغناء مؤثر)، وكانت قيم EF لعنصر النيكل ولكل الأودية تقع ضمن فئة (إغناء متوسط)، بينما كانت قيم عامل الإغناء لعنصر النحاس ولأودية الرشيدية والخراسي ونهر الخوصر تقع ضمن فئة (النقص لأدنى حد من الإغناء)، في حين تتباين هذه القيم في وادي الدانفيلي بشكل كبير بين فتتي (النقص لأدنى حد من الإغناء) إلى (إغناء مؤثر) وذلك بسبب تأثير التلوث الصناعي، في وادي الشور يقع بين الفئتين (النقص لأدنى حد من الإغناء) إلى (إغناء متوسط). تتدرج قيم EF للخراسين لجميع الأودية عدا وادي الدانفيلي ضمن فتتي (النقص لأدنى حد من الإغناء) إلى (الإغناء المتوسط) باستثناء العينة (SH1= 6.33)، أما في وادي الدانفيلي فتقع بين فتتي (إغناء متوسط) إلى (إغناء مؤثر). كانت قيم عامل الإغناء للرصاص لجميع الأودية عدا وادي الدانفيلي والعينة KS4، تتدرج ضمن فتتي (النقص لأدنى حد من الإغناء) إلى (الإغناء المتوسط)، أما العينة KS4 فتقع في فئة (إغناء مؤثر)، وفي وادي الدانفيلي تقع بين (إغناء متوسط) إلى (إغناء عالٍ بشدة). أما الزرنيخ فتقع قيم EF في جميع الأودية في فئة (النقص لأدنى حد من الإغناء).

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

الجدول (4-6): عامل الإغناء (EF) لبعض العناصر الثقيلة  
في رواسب الجانب الأيسر

WADI	Element	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb	As
	Sample						
AL-RASHEDIA	R1	5.33	3.89	1.19	1.76	1.55	0.97
	R2	4.99	4.00	1.44	2.28	1.74	1.03
	R3	7.15	4.19	1.30	1.67	1.28	1.00
	R4	6.04	3.93	1.20	2.36	1.42	1.15
	R6	7.31	3.99	1.65	4.36	2.69	0.89
	MIN	4.99	3.89	1.19	1.67	1.28	0.89
	MAX	7.31	4.19	1.65	4.36	2.69	1.15
AL-KHARRAZI	KH1	4.80	2.79	1.88	4.34	3.10	0.63
	KH3	4.12	3.51	1.58	3.67	2.64	1.02
	KH4	5.90	3.81	1.23	1.62	1.73	0.85
	KHA2	5.00	3.72	1.26	2.40	1.82	0.89
	MIN	4.12	2.79	1.23	1.62	1.73	0.63
	MAX	5.90	3.81	1.88	4.34	3.10	1.02
KHOSAR RIVER	KS1	8.98	1.95	0.69	1.08	1.25	0.76
	KS2	8.35	2.49	0.81	1.32	1.30	0.72
	KS3	6.60	3.63	1.08	2.11	1.29	0.78
	KS4	6.85	3.32	1.55	3.77	5.85	0.60
	KS5	12.50	2.67	1.05	1.99	2.44	0.71
	KS7	5.42	3.80	1.52	2.01	2.03	0.91
	KSA2	4.38	3.90	1.33	3.82	2.93	1.08
	KSB3	3.63	3.46	1.21	2.12	1.46	0.90
	MIN	3.63	1.95	0.69	1.08	1.25	0.60
	MAX	12.50	3.90	1.55	3.82	5.85	1.08
AL-DANFILLI	D1	6.08	3.62	3.40	7.14	13.92	1.21
	D2	4.08	3.68	5.53	16.19	20.66	1.56
	D3	7.69	3.61	7.88	13.44	62.16	0.98
	D4	9.15	3.63	12.36	10.44	51.20	1.59
	D5	5.77	3.58	6.89	15.86	38.46	1.69
	DA	6.10	3.40	3.88	9.53	23.82	1.50
	DB1	7.63	3.40	1.78	2.50	4.38	0.74
	DB2	6.87	3.52	4.94	10.70	26.71	1.79
	DB3	6.12	3.64	2.24	3.95	6.38	0.94
	DC1	3.91	3.62	1.65	3.04	5.51	0.68
	DC2	6.87	3.29	1.99	2.74	12.08	1.09
	MIN	3.91	3.29	1.65	2.50	4.38	0.68
	MAX	9.15	3.68	12.36	16.19	62.16	1.79
AL-SHOR	SH1	4.17	3.51	2.98	6.33	5.00	0.85
	SH2	7.05	3.65	3.33	4.07	4.74	1.11
	SH3	5.41	3.57	1.30	2.03	1.82	0.91
	SH4	7.08	3.51	1.17	1.56	1.59	0.91
	SH5	4.70	3.47	1.22	1.81	1.98	0.93
	SHA	6.70	3.76	1.20	1.54	1.40	0.93
	SH6	6.86	3.33	1.08	1.47	2.56	0.92
	SH7	5.24	3.45	1.40	2.59	2.64	0.75
	MIN	4.17	3.33	1.08	1.47	1.40	0.75
MAX	7.08	3.76	3.33	6.33	5.00	1.11	



## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

### 4-5 أدلة جودة الرواسب: Sediment Quality Guidelines

ان تراكم العناصر الثقيلة في الرواسب وتلوثها بفعل المصادر الصخرية والبشرية، جعل منها مصدراً للتأثير على الاحياء الموجودة في تلك الرواسب والذي يمكن أن ينتقل إلى باقي الاحياء ومنها الانسان عن طريق السلسلة الغذائية (Hasimuna *et al.*, 2021). وهناك مجموعة من المعايير والدلائل التي تُقِيم على أساسها هذه الرواسب ومدى تلوثها بالعناصر الثقيلة واحتمالية تأثيرها على تلك الأحياء.

#### 4-5-1 الجانب الأيمن

يبين الجدول (3-4) ان قيم تراكيز العناصر كانت كالاتي: الفناديوم (49-133) والمنغنيز (346-683) والكوبلت (3-17) والروبيديوم (17-25) والزركونيوم (103-166) بوحدة (ppm)، وتعد هذه القيم اقل من القيمة المرجعية للرواسب وفق (Ohta *et al.*, 2017) والقشرة القارية العليا وفق (Rudnick & Gao, 2013)، بينما كانت تراكيز الكروم (168-399 ppm) والنيكل (91-157 ppm)، وهي أعلى من القيمة المرجعية أعلاه، وأعلى كذلك من قيم نطاق التأثير الأدنى (ERL) effects range low ودون قيم نطاق التأثير المتوسط (ERM) effects range median بالنسبة للكروم، ما يعني وجود تأثير سلبي محتمل على الأحياء في الرواسب (Long *et al.*, 1995)، وأعلى من قيمة (ERM) بالنسبة للنيكل ما يعني احتمالية عالية للتأثير على الاحياء، وكذلك كانت أعلى من القيمة المرجعية للسمية (TRV) toxicity reference value، اما تراكيز النحاس فكانت (27-151 ppm)، وهي أعلى من القيم المرجعية باستثناء النماذج (E1, E2)، وهي جميعاً أعلى من قيم (ERL) واقل من قيمة (ERM)، وهي أعلى كذلك (TRV). تراكيز الخارصين كانت (83-842 ppm)، وتعد هذه القيم أعلى من تراكيز القشرة القارية العليا ودون تراكيز القيمة المرجعية للرواسب عدا النماذج الأولى للأودية والتي تمثل بداياتها غير المتأثرة بعوامل التلوث نسبياً، وهي عموماً أعلى من قيمة (ERL) واقل من (ERM) وأعلى من قيمة (TRV) كذلك. كانت تراكيز الزرنيخ (4-10 ppm)، أعلى من القيمة المرجعية للقشرة القارية العليا واقل منها للرواسب، وهي اقل قيمة (ERL) ما يعني عدم وجود تأثير محتمل على الأحياء في الرواسب (Barhoumi *et al.*, 2019; W. Luo *et al.*, 2010)، عدا النماذج الأخيرة في وادي عكاب ووادي اليرموك وهي الأكثر عرضة لعوامل التلوث الصناعي والزراعي فضلاً عن السكني. بينما كانت هذه التراكيز أعلى من قيم (TRV) باستثناء عدد من النماذج (U2, Y7, E3, E5, E7, EA, M4, M5) التي كانت أدنى منها.

اما تراكيز الرصاص التي كانت (12-536 ppm)، وتعد أعلى من القيمة المرجعية للرواسب والقشرة القارية العليا عدا النماذج الأولى للأودية، وكانت أعلى من (ERL) وادنى

## الفصل الرابع.. الجيوكيمياء البيئية

من (ERM)، عدا بعض النماذج كانت اقل من (ERL) وهي (U1, U2, Y1, Y2, E1, UA2, Y5, Y10, E2, M1, M4, M5) وهي عموماً تمثل بدايات الأودية، اما النماذج (EA) فهي أعلى من قيمة (ERM) ويعزى ذلك إلى الأنشطة الصناعية ومخلفاتها إضافة إلى ساحات خردة السيارات المنتشرة على جوانب الوديان في بعض المواقع (Ojekunle *et al.*, 2016).

### 4-5-2 الجانب الأيسر

من خلال الجدول (3-4)، فإن تراكيز العناصر الثقيلة كانت كالآتي: الفناديوم (54-117 ppm)، والمنغنيز (393-870 ppm)، والكوبلت (3-20 ppm)، والروبيديوم (16-33 ppm)، والزركونيوم (89-185 ppm). وهي اقل من القيم المرجعية للرواسب والقشرة القارية العليا. اما تراكيز الكروم (159-479 ppm) والنيكل (54-174 ppm) فهي أعلى من القيم المرجعية، وأعلى من قيمة (ERL) وأدنى من قيم (ERM) بالنسبة للكروم وأعلى من (ERM) بالنسبة للنيكل، وأعلى أيضاً من قيم (TRV). تراكيز النحاس تراوحت بين (13-246 ppm) وهي أعلى من القيمة المرجعية للرواسب باستثناء النماذج (R1, R3, R4, KH4, KS1, KS2, KS3, KS5, KSA2, DB1, SH4, SH7)، وأعلى من القيمة المرجعية للقشرة القارية العليا باستثناء النماذج (DB1, KS5, KS1, KS2) وكانت أعلى من قيم (ERL) وأدنى من قيم (ERM) عدا النماذج آنفة الذكر. وهي أعلى أيضاً من قيم (TRV) عدا العينة (KS1).

كانت تراكيز الخارصين (67-145 ppm)، وهي أعلى من القيمة المرجعية للقشرة القارية العليا عدا النماذج، وهي عموماً أعلى من القيمة المرجعية للرواسب عدا بعض النماذج، وهي عموماً أعلى من قيمة (ERL) وبعضها في وادي الدانفيلي أعلى من قيمة (ERM)، وهي أعلى أيضاً من قيمة (TRV).

تراوحت تراكيز الزرنيخ بين (5-14 ppm)، وهي اقل من القيمة المرجعية للرواسب، وأعلى من القيمة المرجعية للقشرة القارية العليا باستثناء النماذج (KH1, KS1, KS2, DB1)، وهذه التراكيز عموماً اقل من قيمة (ERL) عدا بعض النماذج في وادي الدانفيلي والواقعة في المنطقة الصناعية. اما تراكيز الرصاص فقد كانت (8-457 ppm)، وهي اقل من القيمة المرجعية للرواسب عدا وادي الدانفيلي والنموذج (KS4)، وأعلى من القيمة المرجعية للقشرة القارية العليا عدا وادي الرشيدية والنماذج الأولى لوادي نهر الخوصر وبعض النماذج من وادي الشور. وهي اقل من قيمة (ERL) عدا وادي الدانفيلي والنموذج (KS4). النماذج (D3, D4, D5) أعلى من قيمة (ERM).



# الفصل الخامس

## الاستنتاجات والتوصيات

- 1- إنّ رواسب الوديان هي نتيجة للعمليات الطبيعية المتمثلة في التعرية والنقل من صخور المصدر لتكاوين الفتحة وإنجانة والمقدادية (الحجر الجيري والجبس والمارل والحجر الطيني والحجر الرملي)، وترسبات العصر الرباعي والترب المشتقة منها، وينعكس ذلك على ارتباطها مع المعادن الطينية وأكاسيد الحديد والمنغيز والسليكا. بالإضافة إلى المواد العضوية الناتجة عن تحلل المطروحات الصلبة والسائلة إلى رواسب هذه الوديان والتي تُطرح في المواقع السكنية والصناعية والزراعية.
- 2- تختلف وتتباين تراكيز العناصر الأثرية في رواسب الأودية تبعاً لسلوكها الجيوكيميائي والكيميوحيوي في ظل ظروف التعرية والنقل والترسيب، فضلاً عن مصادرها الطبيعية (الصخور المصدرية) والبشرية (المدنية والصناعية والزراعية)، إذ ترتبط مع الاطوار المعدنية المختلفة والمادة العضوية من خلال آليات متعددة كالامتزاز والاحلال والتبادل الكاتيوني، وتتراكم في رواسب المناطق الملوثة.
- 3- تعد أودية عكاب واليرموك والدانفيلي هي الأكثر تلوثاً لوقوعها في المناطق الصناعية، بينما يعد وادي المأمون الأقل تلوثاً بين الأودية نظراً لقصر طولها ومرورها في منطقة سكنية وعدم وجود ملوثات صناعية وزراعية ذات تأثير كبير.
- 4- ترتبط مصادر العناصر الثقيلة بالأنشطة المنزلية والزراعية والصناعية. ويلاحظ ارتفاع تراكيز الرصاص والزنك والنحاس في وادي عكاب ووادي اليرموك في الجانب الأيمن وفي وادي الدانفيلي في الجانب الأيسر، لوجودها في المواقع الصناعية حيث الأنشطة المتمثلة في ورش السباكة والصبغة والحدادة والإنتاج الغذائي ومصانع المنظفات، فضلاً عن ساحات خردة السيارات والمخلفات الحديدية، بينما تراجعت تراكيز العناصر في باقي الأودية بسبب مرورها خلال المناطق السكنية والزراعية باستثناء بعض المواقع التي تتميز بنشاط صناعي أو زراعي أو بؤر للتلوث مثل ساحات الخردة ومخلفات الحرب.
- 5- تمثل العينات الأولى في جميع الوديان هي الأقل في مستوى التلوث بسبب بعدها عن مصادر التلوث، ويلاحظ بشكل عام زيادة في تراكيز العناصر الثقيلة على طول مسار الوديان نتيجة عوامل التعرية والنقل وحركة المياه وخاصة خلال فترة هطول

## الفصل الخامس.. الاستنتاجات والتوصيات

الأمطار، مع الأخذ بنظر الاعتبار أن التراكيز العالية خلال مسار الوديان تكون في مواقع التلوث كما في أودية عكاب واليرموك والدانفيلي.

6- لم يلاحظ عموماً أي تغيير في تراكيز النيكل المرتفعة والفناديوم والروبيديوم في معظم الوديان وذلك لارتباطها بالمعادن الطينية عن طريق الامتزاز، سوى الانخفاض في بعض المناطق التي يزداد فيها تركيز الكوارتز أو الكربونات على حساب المعادن الطينية.

7- إن عملية الكري لرواسب الأودية ستضيف مصدر تلوث قريباً من الوادي خلال فترات الساقط المطري، نتيجة تكسد المطروحات ومحتواها من العناصر الملوثة التي سوف تتعرض إلى التحلل والانجراف باتجاه الوادي.

### 2-5 التوصيات:

أولاً: في حالة الإبقاء على هذه الأودية على هيئتها الحالية:

1- تهذيب الأودية وكريها وضرورة رفع مواد الكري، وعدم تركها على الأكتاف كما يحصل حالياً، وإنشاء أسيجة مرتفعة تمنع طرح النفايات إلى الأودية.

2- رفع الانقاض المعدنية ومخلفات السكراب المختلفة لأنها مصادر تلوث بالعناصر الثقيلة، ورفع تجاوزات البناء التي تؤثر على تصريف هذه الوديان.

3- معالجة التخسفات الموجودة في مجرى هذه الأودية لتلافي حدوث كارثة بشرية وبيئية نتيجة عملية التخسف وانهيار الأبنية المحيطة.

4- إبعاد مصادر التلوث الصناعي عن الأراضي الزراعية، ويفضل أن تكون خارج المدينة، لما لذلك من تأثير على صحة الإنسان عن طريق السلسلة الغذائية.

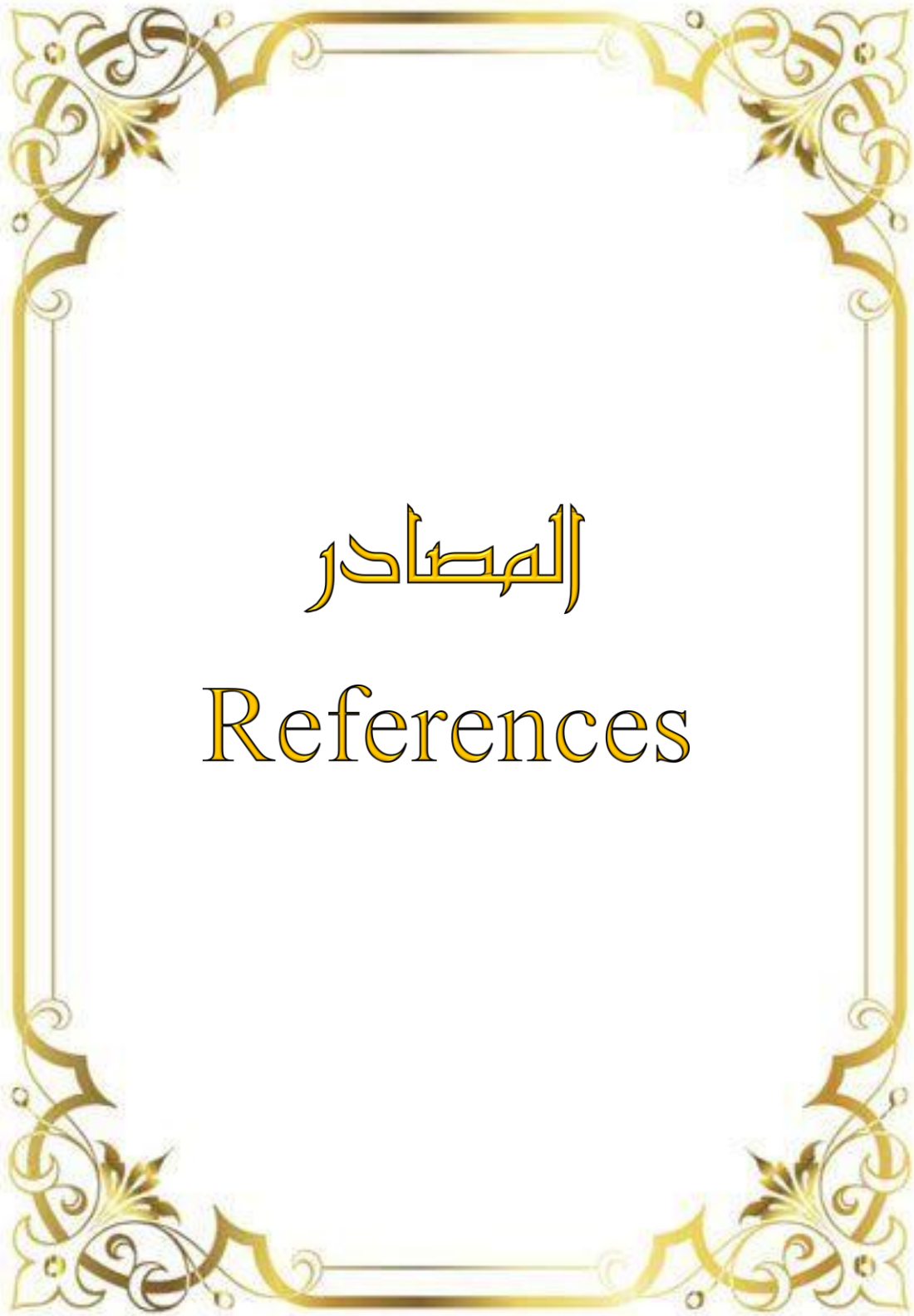
5- قيام وسائل الإعلام بدورها في توعية المواطن بخطورة التلوث وخاصة في هذه الأودية فضلاً عن المخاطر البيئية الأخرى لهذه الأودية، وفرض عقوبات مشددة على

المعامل الصغيرة والمواطن في حالة طرح النفايات والمخلفات في الأودية.

ثانياً: في حالة إجراء تحويلات عليها:

1- تحويلها إلى مجارٍ صندوقية وربطها بشبكات الصرف الصحي.

2- بناء محطات معالجة لكل وادٍ قبل إطلاق مياهها إلى نهر دجلة.



المصادر

References

## المصادر العربية:

- أديب، هدير غازي. (1988). تركيبية وطباقية مدينة الموصل - الجانب الايمن. رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل. 168 ص.
- الجبوري، منهل عبد السلام. (1988). جيولوجية منطقة الموصل - شرق نهر دجلة. رسالة ماجستير، كلية العلوم، جامعة الموصل. 152 ص.
- السراج، ايمان سامي وجانكير، منى حسين والراوي، ساطع محمود. (2019). تقدير تراكيز بعض العناصر الثقيلة في مياه ورواسب نهر دجلة ضمن مدينة الموصل، 10-1 ص.
- الصباح، بشار جبار. (2009). تقييم مدى التلوث البيئي لبعض رواسب نهر دجلة بالعناصر الثقيلة، جنوب العراق. المؤتمر العلمي الثاني لجامعة واسط، 852-864 ص.
- الفهد، يحيى وعباس، ثناء. الأطلس الإحصائي الزراعي (ص9)، وزارة التخطيط العراقية. (2011)
- النعيمي، سعد الله نجم. (2021). تلوث بيئة الانسان بالمعادن الثقيلة وطرق المعالجة (الطبعة الأولى). دار الكتب العلمية - بيروت - لبنان. 342 ص.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق. (1989). دراسة جيوكيميائية ومعدنية للحديد المتواجد مع الترسبات الطينية في تكوين الكعرة في الصحراء الغربية. رسالة ماجستير. كلية العلوم، جامعة الموصل 186 ص.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق والدباغ، سالم محمود. (2018). تقدير الصيغة الكيميائية لمعدن الفرانكولايت في فوسفورايت تكوين عكاشات من معطيات الاشعة السينية الحائدة. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، 18(2)، 61-88 ص.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق وسليمان، علي محمد و إسماعيل، اسماعيل احمد. (2018). تقييم الخصائص الكيميائية لمياه آبار مختارة في المنطقة المحصورة بين الموصل - بعشيقه - الشلالات، محافظة نينوى - شمالي العراق. المؤتمر العلمي الدوري التاسع لمركز بحوث السدود والموارد المائية-الموصل، 201-216 ص.
- حميد، بسمان يونس و يحيى، بشار منير. (2012). اعداد خارطة الكترونية لتطوير حوض وادي الشور شمال شرق مدينة الموصل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، 12(3)، 1-16 ص.
- كاظم، لفته سلمان وزراك، غازي عطية. (2013). دراسة تلوث التربة بالعناصر الثقيلة في منطقة تكريت. مجلة تكريت للعلوم الصرفة، 5(18)، 264-271 ص.

## References:

- Ahmadpour, P., Ahmadpour, F., Mahmud, T. M. M., Abdu, A., Soleimani, M., & Tayefeh, F. H. (2012). Phytoremediation of heavy metals: A green technology. *African Journal of Biotechnology*, 11(76), 14036–14043.
- Akcay, H., Oguz, A., & Karapire, C. (2003). Study of heavy metal pollution and speciation in Buyak Menderes and Gediz river sediments. *Water Research*, 37(4), 813–822.
- Al-Barrak, K. (2006). Impact of Intensive Leaching on Some Clay Minerals of the Soils from Al Hassa Oasis, Saudi Arabia. *Journal of Agronomy*, 5(1), 151–157.
- Al-Daghastani, H. S. (2007). Geomorphologic Map of Nineveh Governorate, Northwestern Iraq Using Visual Image Interpretation. *Rafidain Journal of Science*, 18(1), 81–92.
- Ali, H., Khan, E., & Ilahi, I. (2019). Environmental chemistry and ecotoxicology of hazardous heavy metals: Environmental persistence, toxicity, and bioaccumulation. *Journal of Chemistry*, 2019(Cd).
- Al-Jumaily, H. A. A., & Bushra R.Rasheed. (2018). The Geochemical Distribution and Assessment of Heavy metals Pollutions in Soil Sediment of Chamchamal City-Sulaimanya Governorate / NortherEastern Iraq. *Journal of Environment and Earth Science*, 8(12), 131–147.
- Al-Mayyahi, K. H., & Aljaberi, H. M. (2018). *Geochemical Study for the Upper Shale Member - Zubair Formation in Rumaila Oilfield, South Iraq*. 4(4), 56–75.
- Al-Mubarak, M., & Youkhanna, R. (1976). Report on the regional geological mapping of Al-Fatha-Mosul Area. *Geosurv, Int. Rep*, 753.
- Al-Rawi, D. (1971). Comments on the geology in the vicinity of Mosul. *Iraq Geol. Soc. Jour.*, 4, 91–95.
- Al-Shaikh, Z., & M Ahmad, M. (2005). New Contribution to the Geology of Mosul Area from Geoelectric Investigations. *Rafidain Journal of Science*, 16(6), 132-147.
- Altaf, R., Altaf, S., Hussain, M., Shah, R. U., Ullah, R., Ullah, M. I., ... & Datta, R. (2021). Heavy metal accumulation by roadside vegetation and implications for pollution control. *Plos one*, 16(5), e0249147.



- Awchi, T. A., & Jasim, A. I. (2017). Rainfall Data Analysis and Study of Meteorological Draught in Iraq for the Period 1970-2010. *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 24(1), 110-121.
- Baran, A., Mierzwa-Hersztek, M., Gondek, K., Tarnawski, M., Szara, M., Gorczyca, O., & Koniarz, T. (2019). The influence of the quantity and quality of sediment organic matter on the potential mobility and toxicity of trace elements in bottom sediment. *Environmental geochemistry and health*, 41(6), 2893-2910.
- Barbieri, M. (2016). The Importance of Enrichment Factor (EF) and Geoaccumulation Index (Igeo) to Evaluate the Soil Contamination. *Journal of Geology & Geophysics*, 5(1), 1–4.
- Barhoumi, B., Beldean-Galea, M. S., Al-Rawabdeh, A. M., Roba, C., Martonos, I. M., Bălc, R., Kahlaoui, M., Touil, S., Tedetti, M., Driss, M. R., & Baciuc, C. (2019). Occurrence, distribution and ecological risk of trace metals and organic pollutants in surface sediments from a Southeastern European river (Someșu Mic River, Romania). *Science of the Total Environment*, 660–676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.428>
- Barros, G. M., Dos Santos, J. C. B., de Souza Júnior, V. S., Delarmelinda, E. A., de Souza Júnior, J. C., & Câmara, E. R. G. (2018). Association between parent materials and soil attributes along different geological environments in western Pará, Brazil. *Acta Amazonica*, 48(3), 261–270. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201703322>
- Bellen, R. Van, Dunnington, H., Wetzel, R., & Morton, D. (1959). Lexique stratigraphique international. *Asie, Iraq*, 3(10a), 324.
- Bergaya, F., Theng, B. K. G., & Lagaly, G. (2006). Handbook Of Clay Science. In *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. Elsevier.
- Berger, J. A., Schmidt, M. E., Gellert, R., Boyd, N. I., Desouza, E. D., Flemming, R. L., Izawa, M. R. M., Ming, D. W., Perrett, G. M., Rampe, E. B., Thompson, L. M., VanBommel, S. J. V., & Yen, A. S. (2017). Zinc and germanium in the sedimentary rocks of Gale Crater on Mars indicate hydrothermal enrichment followed by diagenetic fractionation. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 122(8), 1747–1772. <https://doi.org/10.1002/2017JE005290>
- Bide, T., Hetherington, L., & Gunn, G. (2008). Nickel.. Definition, Mineralogy and Deposits. *British Geological Survey*, September, 24. <http://www.bgs.ac.uk/mineralsuk/home.html>

- Bjorlykke, K. (2010). *Petroleum Geoscience: From Sedimentary Environments to Rock Physics*. Springer Science & Business Media.
- Brady, N. C., & Weil, R. R. (2008). Soil Colloids: Seat of Soil Chemical and Physical Activity. *The Nature and Properties of Soils, August 2007*, 310–357.
- Buday, T., & Jassim, S. (1984). Final report and the regional geological survey of Iraq, Unpub. Report SOM. *Library. Tectonic Framework Baghdad*, 2.
- Bulmer, M. H. (2019). Geological considerations of contemporary military tunnelling near Mosul, northern Iraq. *Geological Society Special Publication*, 473(1), 241–265. <https://doi.org/10.1144/SP473.11>
- Calmuc, V. A., Calmuc, M., Arseni, M., Topa, C. M., Timofti, M., Burada, A., Iticescu, C., & Georgescu, L. P. (2021). Assessment of Heavy Metal Pollution Levels in Sediments and of Ecological Risk by Quality Indices, Applying a Case Study: The Lower Danube River, Romania Valentina. *Water*, 13(13), 1801.
- Carver, R. E. (1971). procedures in Sedimentary Petrology. In *Wiley and Inter Science*.
- Çevik, F., Göksu, M. Z. L., Derici, O. B., & Findik, Ö. (2009). An assessment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. *Environmental Monitoring and Assessment*, 152(1–4), 309–317. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0317-3>
- Chabukdhara, M., & Nema, A. K. (2012). Assessment of heavy metal contamination in Hindon River sediments: A chemometric and geochemical approach. *Chemosphere*, 87(8), 945–953. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.01.055>
- Cicero-Fernández, D., Peña-Fernández, M., Expósito-Camargo, J. A., & Antizar-Ladislao, B. (2016). Role of *Phragmites australis* (common reed) for heavy metals phytoremediation of estuarine sediments. *International Journal of Phytoremediation*, 18(6), 575–582. <https://doi.org/10.1080/15226514.2015.1086306>
- Compton, J. S., Hall, D. L., Mallinson, D. J., & Hodell, D. A. (1994). *Journal of sedimentary reserch-1994-origin of dolomite in the phosphatic miocene hawthorn group of florida.pdf*. 3, 638–649.
- Da Silva, F. B. V., do Nascimento, C. W. A., & Araújo, P. R. M. (2017). Environmental risk of trace elements in P-containing fertilizers marketed in

- Brazil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 17(3), 635–647. <https://doi.org/10.4067/S0718-95162017000300007>
- Dean, W. E. (1974). Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition; comparison with other methods. *Journal of sedimentary petrology*, 44(I), 242–248.
- Debicka, M., Kocowicz, A., Weber, J., & A, E. J. (2016). Organic matter effects on phosphorus sorption in sandy soils. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62, 840–855. <https://doi.org/10.1080/03650340.2015.1083981>
- Dias, R. S., López, S., Borgatti, L. M. O., Kebreab, E., Vitti, D. M. S. S., Abdalla, A. L., Appuhamy, J. A. D. R. N., & France, J. (2019). Phosphorus utilization in broilers fed with diets supplemented with different feed ingredients. *Scientia Agricola*, 76(1), 18–23. <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0228>
- Dmitriev, G. S., Zanaveskin, L. N., Shorina, T. E., & Makhin, M. N. (2019). Isolation of Chloride Sodium from Concentrated Wastewater in Chemical Productions. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 92(9), 1239–1243. <https://doi.org/10.1134/S1070427219090088>
- Dokuz, A., & Tanyolu, E. (2006). Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of Lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks of the eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 15(2), 181–209.
- Dreher, G. B., & Follmer, L. R. (2004). A progress report on the description of the geology and chemical composition of soils in Illinois: Cores 102 through 126. In *Open File Series 2004-15* (Vol. 15). <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>
- Ebong, G. A., Ettesam, E. S., & Dan, E. U. (2020). Impact of Abattoir Wastes on Trace Metal Accumulation, Speciation, and Human Health-Related Problems in Soils Within Southern Nigeria. *Air, Soil and Water Research*, 13. <https://doi.org/10.1177/1178622119898430>
- Elkady, A. A., Sweet, S. T., Wade, T. L., & Klein, A. G. (2015). Distribution and assessment of heavy metals in the aquatic environment of Lake Manzala, Egypt. *Ecological Indicators*, 58, 445–457. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.029>
- Fadillah, G., Yudha, S. P., Sagadevan, S., Fatimah, I., & Muraza, O. (2020). Magnetic iron oxide/clay nanocomposites for adsorption and catalytic oxidation in water treatment applications. *Open Chemistry*, 18(1), 1148–1166. <https://doi.org/10.1515/chem-2020-0159>

- Feret, F. R., Roy, D., & Boulanger, C. (2000). Determination of alpha and beta alumina in ceramic alumina by X-ray diffraction. *Spectrochimica Acta, Part B: Atomic Spectroscopy*, 55(7), 1051–1061. [https://doi.org/10.1016/S0584-8547\(00\)00225-1](https://doi.org/10.1016/S0584-8547(00)00225-1)
- Fitzpatrick, R. W., & Chittleborough, D. J. (2018). Titanium and zirconium minerals. *Soil Mineralogy with Environmental Applications*, 7(January 2002), 667–690. <https://doi.org/10.2136/sssabookser7.c22>
- Förstner, U., & Müller, G. (1981). Concentrations of Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydro- carbons in River Sediments: Geochemical Background, Man's Influence and Environmental Impact. *GeoJournal*, 5(5), 417–432.
- Fu, J., Zhao, C., Luo, Y., Liu, C., Kyzas, G. Z., Luo, Y., Zhao, D., An, S., & Zhu, H. (2014). Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: Their relations to environmental factors. *Journal of Hazardous Materials*, 270, 102–109. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.01.044>
- Gerth, J., & Brümmer, G. (1983). Adsorption und Festlegung von Nickel, Zink und Cadmium durch Goethit ( $\alpha$ -FeOOH). *Fresenius' Zeitschrift Für Analytische Chemie*, 316(6), 616–620. <https://doi.org/10.1007/BF00492275>
- Goldberg, K., & Humayun, M. (2016). Geochemical paleoredox indicators in organic-rich shales of the Irati Formation, Permian of the Paraná Basin, southern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 46(3), 377–393. <https://doi.org/10.1590/2317-4889201620160001>
- Gorsuch, R. L. (2014). *Factor Analysis: Classic Edition*, Routledge, New York, USA.
- Gustafsson, J. P. (2019). Vanadium geochemistry in the biogeosphere – speciation, solid-solution interactions, and ecotoxicity. *Applied Geochemistry*, 102(October 2018), 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.027>
- Hahladakis, J., Smaragdaki, E., Vasilaki, G., & Gidaracos, E. (2013). Use of Sediment Quality Guidelines and pollution indicators for the assessment of heavy metal and PAH contamination in Greek surficial sea and lake sediments. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(3), 2843–2853. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2754-2>
- Hasimuna, O. J., Chibesa, M., Ellender, B. R., & Maulu, S. (2021). Variability of selected heavy metals in surface sediments and ecological risks in the Solwezi and Kifubwa Rivers, Northwestern province, Zambia. *Scientific African*, 12, e00822. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00822>

- Heiri, O., Lotter, A., & Lemcke, G. (2001). Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments. *Journal of Paleolimnology*, 25, 101–110.
- Hjeltstr, A. (2015). *Copper minerals under the microscope*. 111, 1–23.
- Ho, H. H., Swennen, R., Cappuyns, V., Vassilieva, E., & Van Tran, T. (2012). Necessity of normalization to aluminum to assess the contamination by heavy metals and arsenic in sediments near Haiphong Harbor, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 56, 229–239. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.05.015>
- Huang, J. H., Huang, F., Evans, L., & Glasauer, S. (2015). Vanadium: Global (bio)geochemistry. *Chemical Geology*, 417, 68–89. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2015.09.019>
- Huang, Z., Liu, C., Zhao, X., Dong, J., & Zheng, B. (2020). Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China. *Environmental Sciences Europe*, 32(1). <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00305-w>
- Hussein, M. L., & Al-Owaidi, M. R. A. (2021). Major oxides study of the Euphrates River bed sediments from north Hilla to the Shatt Al-Arab at Basrah cities. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 790(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/790/1/012002>
- Hylander, L. D., Meili, M., Oliveira, L. J., De Castro E Silva, E., Guimarães, J. R. D., Araujo, D. M., Neves, R. P., Stachiw, R., Barros, A. J. P., & Silva, G. D. (2000). Relationship of mercury with aluminum, iron and manganese oxy-hydroxides in sediments from the Alto Pantanal, Brazil. *Science of the Total Environment*, 260(1–3), 97–107. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00544-1](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00544-1)
- Idris, A. M. (2008). Combining multivariate analysis and geochemical approaches for assessing heavy metal level in sediments from Sudanese harbors along the Red Sea coast. *Microchemical Journal*, 90(2), 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2008.05.004>
- Ikhajiagbe, B., Anoliefo, G. O., Omoregbee, O., & Osigbemhe, P. (2014). *Changes in the Intrinsic Qualities of a Naturally Attenuated Waste Engine Oil Polluted Soil after Exposure to Different Periods of Heat Shock*. 4(May 2015), 45–53. <https://doi.org/10.5923/j.re.20140401.05>
- Jassim, S. Z., & Goff, J. C. (2013). The geology of Iraq. In *Encephale* (Vol. 53, Issue 1). <http://dx.doi.org/10.1016/j.encep.2012.03.001>

- Jia, L., Liu, H., Kong, Q., Li, M., Wu, S., & Wu, H. (2020). Interactions of high-rate nitrate reduction and heavy metal mitigation in iron-carbon-based constructed wetlands for purifying contaminated groundwater. *Water Research*, *169*, 115285. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115285>
- Kabata-Pendias, A. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. In *Angewandte Chemie International Edition*, *6(11)*, 951–952. (4th ed.). Taylor and Francis Group, LLC.
- Kaiser, H. F. (1974). An index of factorial simplicity. *Psychometrika*, *39(1)*, 31–36. <https://doi.org/10.1007/BF02291575>
- Knipper, J. (2021). *Assessment of Statistical Methods Applied to Geochemical Data for Paleoenvironmental Interpretation: A Case Study from the Al-Azraq Basin, Jordan* [University of Missouri Kansas City]. <https://emea.mitsubishielectric.com/ar/products-solutions/factory-automation/index.html>
- Kome, G. K., Enang, R. K., Tabi, F. O., & Yerima, B. P. K. (2019). Influence of Clay Minerals on Some Soil Fertility Attributes: A Review. *Open Journal of Soil Science*, *09(09)*, 155–188. <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.99010>
- Koolivand, A., Yari, M., Khalaji, S., & Jonker, A. (2019). Feeding di-ammonium phosphate as a phosphorous source in finishing lambs reduced excretion of phosphorus in feces without detrimental effects on animal performance. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, *32(4)*, 527–532. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0591>
- Kumar, S., Priyanka, S., Jayanta, M., & Biswas, K. (2017). *Trace elements in surface sediments of the Hooghly ( Ganges ) estuary : distribution and contamination risk assessment*. 1245–1258. <https://doi.org/10.1007/s10653-017-9952-3>
- Kumar, V., Pandita, S., Sharma, A., Sharma, V., Sharma, M., & Cerda, A. (2021). Combination of contamination indices and ecological risk assessment index for evaluation of pollution level in sediments. *Heavy Metals in the Environment*, 99–117.
- Kwok, K. W. H., Batley, G. E., Wenning, R. J., Zhu, L., Vangheluwe, M., & Lee, S. (2013). *Sediment quality guidelines : challenges and opportunities for improving sediment management*. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1778-7>
- Landrot, G., & Khaokaew, S. (2018). Lead Speciation and Association with Organic Matter in Various Particle-Size Fractions of Contaminated Soils.

*Environmental Science and Technology*, 52(12), 6780–6788.  
<https://doi.org/10.1021/acs.est.8b00004>

- Lewin, J., & Gibbard, P. L. (2010). Quaternary river terraces in England: Forms, sediments and processes. *Geomorphology*, 120(3–4), 293–311.  
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.04.002>
- Lilli, M. A., Moraetis, D., Nikolaidis, N. P., Karatzas, G. P., & Kalogerakis, N. (2015). Characterization and mobility of geogenic chromium in soils and river bed sediments of Asopos basin. *Journal of Hazardous Materials*, 281, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.07.037>
- Lim, K. Y., Zakaria, N. A., & Foo, K. Y. (2021). Geochemistry pollution status and ecotoxicological risk assessment of heavy metals in the Pahang River sediment after the high magnitude of flood event. *Hydrology Research*, 52(1), 107–124. <https://doi.org/10.2166/NH.2020.122>
- Lin, J. G., & Chen, S. Y. (1998). The relationship between adsorption of heavy metal and organic matter in river sediments. *Environment International*, 24(3), 345–352. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(98\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(98)00012-9)
- Liu, C., Hystad, G., Golden, J. J., Hummer, D. R., Downs, R. T., Morrison, S. M., Ralph, J. P., & Hazen, R. M. (2017). Chromium mineral ecology. *American Mineralogist*, 102(3), 612–619. <https://doi.org/10.2138/am-2017-5900>
- Liu, Y., Cheng, Q., Zhou, K., Xia, Q., & Wang, X. (2016). Multivariate analysis for geochemical process identification using stream sediment geochemical data: A perspective from compositional data. *Geochemical Journal*, 50(4), 293–314. <https://doi.org/10.2343/geochemj.2.0415>
- Long, E. R., & Morgan, L. G. (1991). *The potential for biological effects of the national status and trends program sediment-sorbed contaminants tested in the national status and trends program, NOAA Technical Memorandum NOS OMA 52, Seattle, Washington*. 235.
- Long, E. R., Macdonald, D. D., Smith, S. L., & Calder, F. D. (1995). Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19(1), 81–97. <https://doi.org/10.1007/BF02472006>
- Louhi, A., Hammadi, A., & Achouri, M. (2012). Determination of some Heavy Metal pollutants in sediments of the seybouse River in Annaba, Algeria. *Air, Soil and Water Research*, 5(1), 91–101.
- Lukman, S., Essa, M. H., Mu'azu, N. D., Bukhari, A., & Basheer, C. (2013). Adsorption and desorption of heavy metals onto natural clay material:

- Influence of initial pH. In *Journal of Environmental Science and Technology* (Vol. 6, Issue 1, pp. 1–15).  
<https://doi.org/10.3923/jest.2013.1.15>
- Luo, L., Ma, Y., Zhang, S., Wei, D., & Zhu, Y. G. (2009). An inventory of trace element inputs to agricultural soils in China. *Journal of Environmental Management*, 90(8), 2524–2530.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.011>
- Luo, W., Lu, Y., Wang, T., Hu, W., Jiao, W., Naile, J. E., Khim, J. S., & Giesy, J. P. (2010). Ecological risk assessment of arsenic and metals in sediments of coastal areas of northern Bohai and yellow Seas, China. *Ambio*, 39(5), 367–375. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0077-5>
- Maloku, F., Ahmeti, A., Kopali, A., Doko, A., Malltezi, J., Brahusi, F., & Sulçe, S. (2015). Water and Sediment Heavy Metal Pollution in Ereniku River of Kosovo. *Albanian Journal of Agricultural Sciences*, 14(2), 137–148.
- Marcussen, H., Holm, P. E., Strobel, B. W., & Hansen, H. C. B. (2009). Nickel sorption to goethite and montmorillonite in presence of citrate. *Environmental Science and Technology*, 43(4), 1122–1127.  
<https://doi.org/10.1021/es801970z>
- Merrot, P., Juillot, F., Noël, V., Lefebvre, P., Brest, J., Menguy, N., Guigner, J. M., Blondeau, M., Viollier, E., Fernandez, J. M., Moreton, B., Bargar, J. R., & Morin, G. (2019). Nickel and iron partitioning between clay minerals, Fe-oxides and Fe-sulfides in lagoon sediments from New Caledonia. *Science of the Total Environment*, 689, 1212–1227.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.274>
- Meunier, J. D. (1994). The composition and origin of vanadium-rich clay minerals in colorado plateau jurassic sandstones. *Clays and Clay Minerals*, 42(4), 391–401. <https://doi.org/10.1346/CCMN.1994.0420403>
- Michael-Kordatou, I., Michael, C., Duan, X., He, X., Dionysiou, D. D., Mills, M. A., & Fatta-Kassinou, D. (2015). Dissolved effluent organic matter: Characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research*, 77, 213–248.  
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.011>
- Muedi, V. M. and K. L. (2018). Environmental Contamination by Heavy Metals. *Heavy Metals*, 10, 115–132.
- Müller, G. (1979). Index of Geoaccumulation in Sediments of the Rhine River. *Journal of Geology*, 2(3), 108–118.



- Nachtegaal, M., & Sparks, D. L. (2004). Effect of iron oxide coatings on zinc sorption mechanisms at the clay-mineral/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 276(1), 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.03.031>
- Nash, D. M., Haygarth, P. M., Turner, B. L., Condon, L. M., McDowell, R. W., Richardson, A. E., Watkins, M., & Heaven, M. W. (2014). Using organic phosphorus to sustain pasture productivity: A perspective. *Geoderma*, 221–222, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.12.004>
- O’loughlin, E. J., Boyanov, M. I., & Kemner, K. M. (2021). Reduction of vanadium(V) by iron(ii)-bearing minerals. *Minerals*, 11(3), 1–21. <https://doi.org/10.3390/min11030316>
- Ohta, A., Imai, N., Tachibana, Y., Ikehara, K., Katayama, H., & Nakajima, T. (2017). Influence of different sedimentary environments on multi-elemental marine geochemical maps of the Pacific Ocean and Sea of Japan, Tohoku region. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, 68(3), 87–110. <https://doi.org/10.9795/bullgsj.68.87>
- Ojekunle, O. Z., Ojekunle, O. V., Adeyemi, A. A., Taiwo, A. G., Sangowusi, O. R., Taiwo, A. M., & Adekitan, A. A. (2016). Evaluation of surface water quality indices and ecological risk assessment for heavy metals in scrap yard neighbourhood. *SpringerPlus*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2158-9>
- Otero, X. L., Ferreira, T. O., Huerta-Díaz, M. A., Partiti, C. S. M., Souza, V., Vidal-Torrado, P., & Macías, F. (2009). Geochemistry of iron and manganese in soils and sediments of a mangrove system, Island of Pai Matos (Cananeia - SP, Brazil). *Geoderma*, 148(3–4), 318–335. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.016>
- Otero-Fariña, A., Gago, R., Antelo, J., Fiol, S., & Arce, F. (2015). Surface complexation modelling of arsenic and copper immobilization by iron oxide precipitates derived from acid mine drainage. *Boletín de La Sociedad Geológica Mexicana*, 67(3), 493–508. <https://doi.org/10.18268/BSGM2015v67n3a12>
- Peck, D. C., & Theyer, P. (1998). *Pge-Copper-Nickel Potential of Mafic-Ultramafic Intrusions in the Bird River Greenstone Belt (Parts of Nts 52L)*. 151–160.
- Pérez, M., García, M., Townley, B., & Deckart, K. (2021). Mineralogy and geochemistry of seabed sediments of the chiloé–taitao area, southern chile,

and implications for ore deposits. *Minerals*, 11(8).  
<https://doi.org/10.3390/min11080903>

- Polowczyk, I., Cyganowski, P., Ulatowska, J., Sawiński, W., & Bastrzyk, A. (2018). Synthetic Iron Oxides for Adsorptive Removal of Arsenic. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(6), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3866-2>
- Pongrac, P., McNicol, J. W., Lilly, A., Thompson, J. A., Wright, G., Hillier, S., & White, P. J. (2019). Mineral element composition of cabbage as affected by soil type and phosphorus and zinc fertilisation. *Plant and Soil*, 434(1–2), 151–165. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3628-3>
- Pozo, M., & Calvo, J. P. (2018). An overview of authigenic magnesian clays. *Minerals*, 8(11), 1–22. <https://doi.org/10.3390/min8110520>
- Quinn, R., & Dussailant, A. (2018). The impact of macropores on heavy metal retention in sustainable drainage systems. *Hydrology Research*, 49(2), 517–527. <https://doi.org/10.2166/nh.2018.277>
- Rahman, M. A., Das, S. C., Pownceby, M. I., Tardio, J., Alam, M. S., & Zaman, M. N. (2020). Geochemistry of recent brahmaputra river sediments: Provenance, tectonics, source area weathering and depositional environment. *Minerals*, 10(9), 1–30. <https://doi.org/10.3390/min10090813>
- Reyes, T. G., & Crisosto, J. M. (2016). Characterization of Dissolved Organic Matter in River Water by Conventional Methods and Direct Sample Analysis-Time of Flight-Mass Spectrometry. *Journal of Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/1537370>
- Rosales, R. M., Faz, A., Gómez-Garrido, M., Muñoz, M. A., Murcia, F. J., González, V., & Acosta, J. A. (2017). Geochemical speciation of chromium related to sediments properties in the riverbed contaminated by tannery effluents. *Journal of Soils and Sediments*, 17(5), 1437–1448. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1412-7>
- Rudnick, R. L., & Gao, S. (2013). Composition of the Continental Crust. In *Treatise on Geochemistry: Second Edition* (2nd ed., Vol. 4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6>
- Rzyski, P., Niedzielski, P., Klimaszuk, P., & Poniedziałek, B. (2014). Bioaccumulation of selected metals in bivalves (Unionidae) and *Phragmites australis* inhabiting a municipal water reservoir. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(5), 3199–3212. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3610-8>

- Salminen, R., Plant, J., Reeder, S., & Salminen, R. (2005). *Geochemical atlas of Europe. Part 1, Background information, methodology and maps*. Geological survey of Finland Espoo.
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2021). Potassium control of plant functions: Ecological and agricultural implications. *Plants*, 10(2), 419.
- Siegel, F. R. (2002). *Environmental geochemistry of potentially toxic metals* (Vol. 32). Berlin: springer.
- Sipos, P., Choi, C., Németh, T., Szalai, Z., & Póka, T. (2014). Relationship between iron and trace metal fractionation in soils. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 26(1), 21–30. <https://doi.org/10.3184/095422914X13887685052506>
- Smil, V. (2000). *P HOSPHORUS IN THE E NVIRONMENT : Natural Flows and Human Interferences*. 53–88.
- Smith, S. L., MacDonald, D. D., Keenleyside, K. A., Ingersoll, C. G., & Field, L. J. (1996). A preliminary evaluation of sediment quality assessment values for freshwater ecosystems. *Journal of Great Lakes Research*, 22(3), 624–638. [https://doi.org/10.1016/S0380-1330\(96\)70985-1](https://doi.org/10.1016/S0380-1330(96)70985-1)
- Stefánsson, A., Gunnarsson, I., Kaasalainen, H., & Arnórsson, S. (2015). Chromium geochemistry and speciation in natural waters, Iceland. *Applied Geochemistry*, 62, 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2014.07.007>
- Turekian, K. K., & Wedepohl, H. (1961). KARL K. TUREKIAN Dept. Geology, Yale University, New Haven, Conn. KARL HANS WEDEPOHL Mineralogische-Institut der Universitat, Gottingen, Germany Distribution of the Elements in Some Major Units of the Earth's Crust. *America*, February, 175–192.
- Ugwu, I. M., & Igbokwe, O. A. (2019). Sorption of Heavy Metals on Clay Minerals and Oxides: A Review. *Advanced Sorption Process Applications*, 1–23.
- USEPA. (1999). Screening level ecological risk assessment protocol for hazardous waste combustion facilities. Appendix E: Toxicity Reference Values. *Epa 530-D99-001C*, III, 96. [http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/eco-risk/voume3/a\\_ppxe.pdf](http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/combust/eco-risk/voume3/a_ppxe.pdf)
- Van Everbroeck, T., Ciocarlan, R. G., Van Hoey, W., Mertens, M., & Cool, P. (2020). Copper-containing mixed metal oxides (Al, Fe, Mn) for application

in three-way catalysis. *Catalysts*, 10(11), 1–20.  
<https://doi.org/10.3390/catal10111344>

Van Groeningen, N., Glück, B., Christl, I., & Kretzschmar, R. (2020). Surface precipitation of Mn<sup>2+</sup> on clay minerals enhances Cd<sup>2+</sup> sorption under anoxic conditions. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 22(8), 1654–1665. <https://doi.org/10.1039/d0em00155d>

Von der Heyden, B. P., & Roychoudhury, A. N. (2015). Application, Chemical Interaction and Fate of Iron Minerals in Polluted Sediment and Soils. *Current Pollution Reports*, 1(4), 265–279. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0020-2>

Wang, S., & Mulligan, C. N. (2006). Effect of natural organic matter on arsenic release from soils and sediments into groundwater. *Environmental Geochemistry and Health*, 28(3), 197–214. <https://doi.org/10.1007/s10653-005-9032-y>

Wang, X., Fu, R., Li, H., Zhang, Y., Lu, M., Xiao, K., Zhang, X., Zheng, C., & Xiong, Y. (2020). Heavy metal contamination in surface sediments: A comprehensive, large-scale evaluation for the Bohai Sea, China. *Environmental Pollution*, 260, 113986. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113986>

Webb, M. J., & Loneragan, J. F. (1988). Effect of Zinc Deficiency on Growth, Phosphorus Concentration, and Phosphorus Toxicity of Wheat Plants. *Soil Science Society of America Journal*, 52(6), 1676–1680. <https://doi.org/10.2136/sssaj1988.03615995005200060032x>

Wedepohl, K. (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59(7), 1217–1232. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00038-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00038-2)

Weng, L., Van Riemsdijk, W. H., & Hiemstra, T. (2012). Factors Controlling Phosphate Interaction with Iron Oxides. *Journal of Environmental Quality*, 41(3), 628–635. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0250>

White, W. M. (2019). Encyclopedia of Geochemistry. In *Elements* (Vol. 15, Issue 2). <https://doi.org/10.2138/gselements.15.2.137a>

*World Meter*. (2021). Worldometer. <https://www.worldometers.info/world-population/>

Wuana, R. A., & Okieimen, F. E. (2011). Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for

Remediation. *ISRN Ecology*, 2011, 1–20.  
<https://doi.org/10.5402/2011/402647>

Yacoub, S. Y., Othman, A. A., & Kadhim, T. H. (2012). GEOMORPHOLOGY OF THE LOW FOLDED ZONE. *Iraqi Bull. Geol. Min.*, 5, 7–37.

Yang, X., Chen, X., & Yang, X. (2019). Soil & Tillage Research Effect of organic matter on phosphorus adsorption and desorption in a black soil from Northeast China. *Soil & Tillage Research*, 187(October 2017), 85–91.  
<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.016>

Zhang, C., Yu, Z. gang, Zeng, G. ming, Jiang, M., Yang, Z. zhu, Cui, F., Zhu, M. ying, Shen, L. qing, & Hu, L. (2014). Effects of sediment geochemical properties on heavy metal bioavailability. *Environment International*, 73, 270–281. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.08.010>

Zhang, X., & Zhang, Y. (2021). Distribution and Ecologica Risk of Sediment Heavy Metals in the Water-Level-Fluctuation Zone of the Shawan River Section of Yelang Lake. *Journal of Chemistry*, 1–7.

Zhu, H., Xiao, X., Guo, Z., Han, X., Liang, Y., Zhang, Y., & Zhou, C. (2018). Adsorption of vanadium (V) on natural kaolinite and montmorillonite: Characteristics and mechanism. *Applied Clay Science*, 161(October 2017), 310–316. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2018.04.035>

## Abstract

A geochemical and environmental study was conducted targeting the sediments of main nine wadis of Mosul city, to assess its quality as it is a significant indicator of water pollution, especially as it flows into the Tigris River, as well as these sediments are a permanent or temporary catchment for many heavy polluting elements. Using the GPS system, the wadis were investigated in the field, their tracks traced, and their nature and characteristics recognized. The city is surrounded by a group of anticlines from both sides, this topographic situation imposes the wadis to pass the city towards the Tigris River. These wadis contain sediments derived from the exposed rocks of Fat'ha, Injanah formations, Quaternary deposits and the soils derived from them. These wadis pass through residential, industrial and agricultural areas. As the waters of various human activities (urban, industrial, and agricultural) are discharged and drained into these wadis, they are used as solid waste dumps and as an alternative to the city's sewage system.

(81) samples were collected from these wadis, and (61) of them were selected for study and chemical analysis by X-ray fluorescence (XRF) technique to determine the major and minor oxides, in addition to a number of trace elements, in the German-Iraqi laboratory at the University of Baghdad. Organic matter (O.M.), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), and loss on ignition (L.O.I) were estimated in the geochemistry laboratory of the department of geology at the University of Mosul. The concentrations of the major and minor oxides in (wt%) of the wadis of the right side were: SiO<sub>2</sub> (25.22-37.92), CaO (20.32-33.59), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (5.50-8.63), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3.86-6.10), MgO (2.15-4.30), CO<sub>2</sub> (7.42- 16.79), TiO<sub>2</sub> (0.52-0.79), Na<sub>2</sub>O (0.37-1.08), K<sub>2</sub>O (0.88-1.17), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.12-0.63), SO<sub>3</sub> (0.19-1.39), Cl (0.01- 0.05), and the organic matter (O.M.) was (4.37-17.72). The concentrations of trace elements in (ppm) were: vanadium (49-133), chromium (169-399), manganese (346-683), cobalt (3-17), nickel (93-157), copper (27-151), zinc (83-842), arsenic (4-10), rubidium (17-25), zirconium (103-166), and lead (12-536). While the

concentrations of the major and minor oxides in (wt%) of the left side wadis were: SiO<sub>2</sub> (26.62-39.52), CaO (17.73-34.13), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4.29-9.61), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2.35-6.13), MgO (1.72-4.53), CO<sub>2</sub> (8.23-19.25), TiO<sub>2</sub> (0.37-0.85), Na<sub>2</sub>O (0.42-1.46), K<sub>2</sub>O (0.87-1.54), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0.11-0.55), SO<sub>3</sub> (0.16-4.73), Cl (0.01-0.18), and the organic matter (O.M.) was (1.5-15.75). The concentrations of trace elements in (ppm) were: vanadium (54-117), chromium (159-479), manganese (393-870), cobalt (3-20), nickel (54-174), copper (13-246), zinc (40 -790), arsenic (3-11), rubidium (16-33), zirconium (89-185), and lead (8-457).

Factor analysis of the right-side sorted three main components representing (79.84) of the total variance, and they were (44.75, 28.05, 7.04) for the first, second, and third factors, respectively, which reflect the control of the distribution of elements in organic matter and secondary minerals, the clay minerals group and the iron oxides group, in addition to the carbonate group. While the factor analysis of the left side sorted four main components representing (80.86) of the total variances, and they were as follows: (first component: 33.83, second component: 29.75, third component: 11.82, fourth component: 5.46), and it represents the distribution of elements within the group of clay minerals, organic matter, secondary minerals of halite and gypsum, in addition to feldspar.

The geoaccumulation index ( $I_{geo}$ ) indicates that the highest concentrations of heavy metals were in the industrial areas and sites in the wadis of Ugab, Al-Yarmouk and Al-Ein on the right side, and for the wadis of the left side, the highest concentrations were in the Danfilli wadi, especially in the part of industrial area, and therefore it seems that these sites with high levels of pollution compared to other sites that were polluted at lower rates and sometimes not. The enrichment factor (E.F.) values showed the following order for the right-side sediments; lead > zinc > chromium > copper > nickel > arsenic, while on the left side they varied, but in general they were in order; lead > chromium > zinc > nickel > copper > arsenic.

**University of Mosul**  
**College of sciences**



**Geochemical assessment of heavy metals in  
sediments of main wadis of Mosul city/ Iraq**

**Ali Hashim Hammo Al-Dabbagh**

**MSc. Thesis**  
**Geology / geochemistry**

**Supervised by Assist. Prof.**  
**Kotayba Tawfiq Al-Youzbakey**

---

**1443 A.H.**

**2021 A.D.**