# المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات في العراق

خلدون صبحي البصام* و لمى عزالدين المختار**

الاستلام: 27/ 9/ 2007، القبول: 6/ 12/ 2007

**المستخلص**

تتناول هذه الدراسة ايجاد تراكيز المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات (الجزء الرملي منها + 63µ m) وعلاقة هذه المعادن مع الصخور المصدرية ودورها في إغناء العناصر الثقيلة في هذه الرواسب، فضلاً عن تحديد نمط توزيع المعادن الثقيلة في قواطع نهر الفرات الشمالي والوسطي والجنوبي ومقارنة النتائج الحالية مع دراسات سابقة في هذا المجال.

بينت النتائج وجود اختلافات في تراكيز معظم المعادن الثقيلة في قواطع النهر الثلاث ولوحظ زيادة المعادن التي تنتمي الى صخور مصدرية متحولة باتجاه الجنوب في حين تقل تراكيز المعادن التي تنتمي الى صخور مصدرية نارية في نفس الاتجاه. تمثل المعادن الثقيلة شبه المستقرة حوالي 50% من مجموع المعادن الثقيلة، في حين لاتزيد نسبة المعادن الثقيلة المستقرة عن 5% وتمثل المعادن الثقيلة المعتمة نسبة عالية حيث يبلغ تركيزها حوالي 32% من مجموع المعادن الثقيلة ويتناقص تركيزها من الشمال الى الجنوب. وتماثلها مجموعة معادن البايروكسين حيث يصل معدل تركيزها حوالي 32% ويليها الهورنبلند ومعدل تركيزه حوالي 18%. تشير العلاقات الإرتباطية بين بعض المعادن الثقيلة والعناصر الثقيلة في رواسب نهر الفرات الى مساهمة معدن الغارنت في إغناء عناصر الكروم والنيكل والنحاس ويرتبط الكادميوم مع المعادن الثقيلة المعتمة، في حين يسهم معدن البايوتايت في إغناء عناصر الكوبلت والنحاس والكروم والنيكل والرصاص.

تبين هذه الدراسة وجود مصادر مختلفة للمعادن الثقيلة في رواسب النهر أهمها المعقدات الصخرية النارية والرسوبية في تركيا وسوريا، تكويني انجانة والدبدبة في داخل العراق والفتاتيات المنقولة من شمال شرق العراق بواسطة نهر دجلة وروافده والتي يظهر تأثيرها في مناطق السهل الرسوبي من حوض النهر.

# HEAVY MINERALS IN THE SEDIMENTS OF THE EUPHRATES RIVER, IN IRAQ

**Khaldoun S. Al-Bassam and Luma A. Al-Mukhtar**

**ABSTRACT**

This study is concerned with the heavy minerals (HM) analysis in the + 63µ m fraction of the Euphrates River sediments, distribution pattern in the various river sectors, as well as comparing the present results with previous works.

The metastable HM make about 50% of the population whereas the ultrastable HM make only about 5%. Opaques are present in high proportions reaching about 32% as an average, decreasing southwards. The pyroxenes are similarly high (32%) followed by hornblend (18%). Statistical correlations indicate that garnet has contributed to the enrichment of Cr, Ni and Cu, opaques contributed to the enrichment of Cd, and biotite contributed to the enrichment of Co, Cu, Cr, Ni, and Pb. This study has shown that there are several sources for the HM in the Euphrates River sediments, including igneous and sedimentary complexes in Turkey and Syria, Injana and Dibdibba formations inside Iraq, as well as the clastics derived from NE Iraq by the Tigris River and its tributaries, which show their influence in the Mesopotamian part of the river basin.

* رئيس باحثين، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين، ص.ب. 986، علوية، بغداد، العراق
** رئيس جيولوجيين أقدم، الشركة العامة للمسح الجيولوجي والتعدين

**المقدمة**

يتناول هذا البحث محتوى رواسب نهر الفرات من المعادن الثقيلة لأهميتها في تحديد الصخور المصدرية لهذه الرواسب، فضلاً عن علاقتها بتركيز بعض العناصر الثقيلة التي سبق وان تمت دراستها من قبل البصام (1999). الدراسات عن المعادن الثقيلة في الرواسب القديمة والحديثة متعددة وهي من المواضيع التقليدية في دراسة الرواسب والصخور الفتاتية الرملية لأهميتها في تحديد عدد من العوامل، أهمها درجة نضوج الرواسب وعلاقتها بالمناخ وكذلك مسافة النقل ودورات الترسيب وتحديد الصخور المصدرية المجهزة للفتاتيات. هناك دراسة رائدة عن محتوى وتوزيع المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات نشرت في عام 1968 (Philip, 1968) تناولت محتوى وتوزيع هذه المعادن في 14 محطة نمذجة من الكرابلة الى القرنة، شملت 17 معدناً. كما شملت الدراسة عينات من نهر دجلة ورواسب فتاتية قديمة من عمر البلايوسين والبلايستوسين.

فضلاً عن تلك الدراسة، قام Jawad Ali (1977) بإجراء تحديد لمناطق المعادن الثقيلة في رواسب نهري الفرات ودجلة والمقارنة بينهما واقتراح نوع الصخور المصدرية للمعادن الثقيلة في رواسبهما وقام بتقسيم حوض الفرات الى أقاليم على أساس توزيع المعادن الثقيلة في رواسب النهر.

درس Al-Rawi (1977) المعادن الثقيلة في رواسب السهل الفيضي لنهري دجلة والفرات بين الديوانية والحلة. ودرس Sadik (1977) نوعية المعادن الثقيلة في فتاتيات تكوين الدبدبة في منطقة النجف – كربلاء. كما درس المعروف (1986) المعادن الثقيلة في تكوين انجانة في منطقة الحبانية – الرزازة. تناولت إحدى الدراسات في هذا المجال الرواسب الحديثة للعصر الرباعي في منخفض بحر النجف (بني، 2001) كما ساهم Al-Juboury *et al*. (1999) و الجبوري وآخرون (2001) و Al-Juboury (2002 and 2006) في دراسة المعادن الثقيلة والمايكا في الرواسب الحديثة لنهر دجلة وروافده في شمال العراق، وعزى الاختلافات النسبية والنوعية بين نهر دجلة وروافده الى عدة عوامل أهمها الصخور المصدرية ومورفولوجية النهر فضلاً عن اختلافات الوزن النوعي لهذه المعادن وأحجامها الحبيبية.

من الضروري تحديث المعلومات عن توزيع هذه المعادن في رواسب نهر الفرات ضمن البحوث الجارية لدراسة حوض النهر من كافة النواحي، سيما وان هذه الدراسة تسهم في تفسير تركيز العناصر الثقيلة في رواسب النهر وانتماءاتها المعدنية وعلاقتها بجيولوجية الحوض والصخور المصدرية المجهزة للفتاتيات التي ينقلها نهر الفرات على طول مجراه، فضلاً عن تأثير التغيرات في جيولوجية الحوض نتيجة إنشاء السدود في كل من تركيا وسوريا على تركيز وتوزيع المعادن الثقيلة المنقولة مع رواسب النهر في العراق.

اعتمدت الدراسة الحالية على 12 عينة تم جمعها في عام 1998 لغرض دراسة العناصر الثقيلة في رواسب الفرات وقد اعتمد الجزء الرملي (+ 63µ m) للدراسة وهو الحجم الاعتيادي لمثل هذه الدراسات. تغطي العينات موضوع الدراسة 12 محطة نمذجة تمتد من مدخل النهر الى العراق في الكرابلة الى السماوة، وتشمل المحطات الآتية (الشكل 1):

الكرابلة، العبيدي، راوة، البغدادي، هيت، الفلوجة، الحلة، المسيب، الكفل، الكوفة، الشنافية والسماوة. جمعت النماذج من ضفة النهر اليسرى أو اليمنى وحسب توفر الإمكانية لذلك.

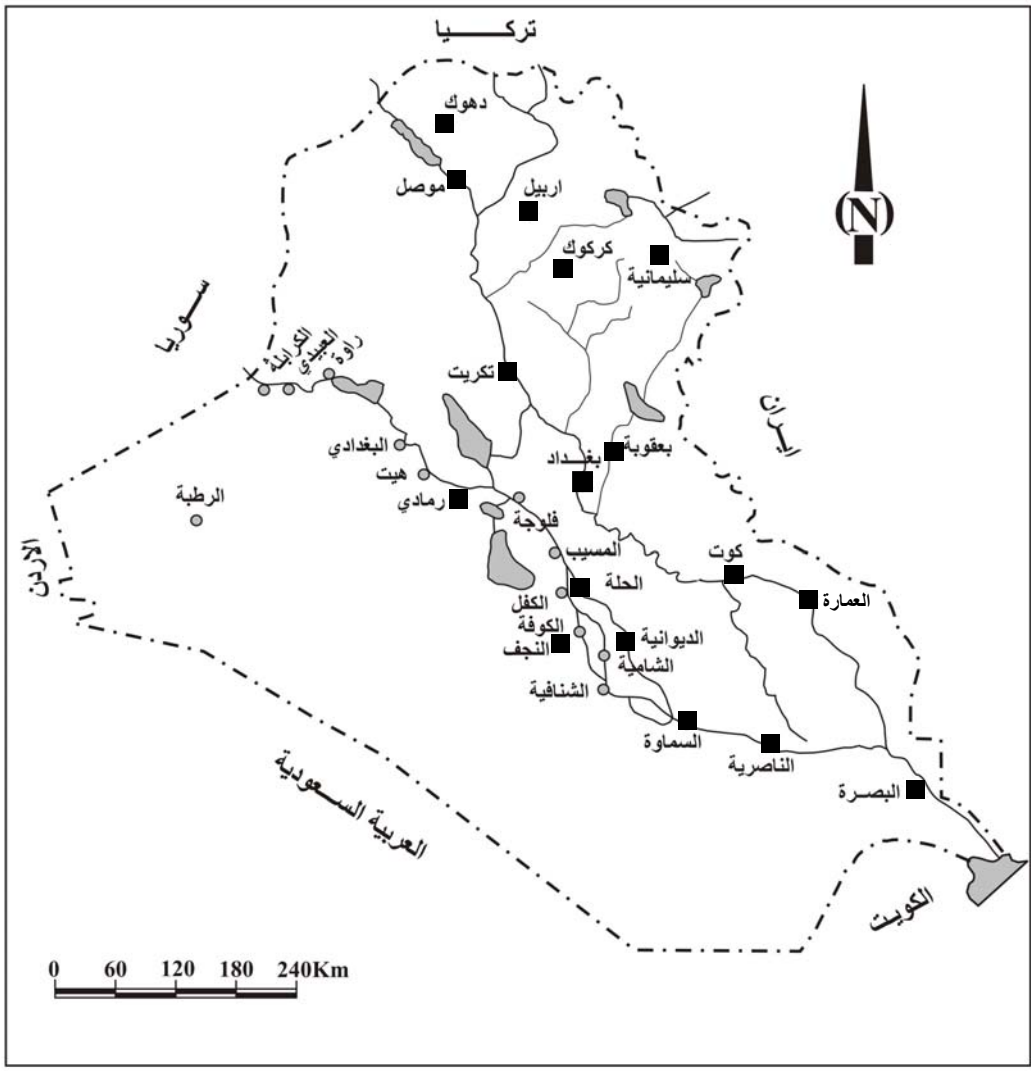
**أسلوب العمل**

تم تجفيف العينات وفصل الجزء الرملي منها بالغربلة الرطبة، حيث اخذ 100 غم من العينة الكلية المجففة وتمت الغربلة على حجم 63µ m وتم وزن الجزء المتبقي على الغربال (+ 63µ m) الذي يمثل الجزء الرملي من الرواسب.

تم تحديد نسبة الكاربونات في العينات المفصولة بحساب الفقدان بالوزن، بعد المعالجة بحامض الـ HCl المخفف كما تم تحديد نسبة معادن المايكا في العينة المفصولة بأخذ 200 حبة رملية وحساب نسبة معادن المايكا فيها. تبع ذلك إجراء فصل للمعادن الثقيلة باستعمال سائل البروموفورم (كثافة 2.89 غم/ سم$^3$) وحساب نسبة هذه المعادن في العينة الرملية. تم تشخيص المعادن الثقيلة وحساب كمياتها في كل عينة بالفحص المجهري الضوئي وقد تم تحديد نسب المعادن الثقيلة الآتية في كل عينة، فضلاً عن تحديد نسبة المايكا في الجزء الرملي ونسبة الكاربونات والنسبة الكلية من المعادن الثقيلة في العينات:

Opaques, Brown pyroxene, Orthopyroxene, Monopyroxene, Zoisite, Epidote, Garnet, Rutile, Kyanite, Staurolite, Chlorite, Tremolite – Actinolite, Hornblende, Biotite, Zircon, Celestite and Barite.

تمت معالجة البيانات المستحصلة بتحديد معدل التركيز لكل معدن في العينات والانحراف المعياري. كما تم استخراج معاملات المضاهاة بين المعادن الثقيلة والمتغيرات الأخرى ومنها التحليلات الكيميائية للعناصر الثقيلة لعينات الدراسة (العينة الكلية) والتي سبق دراستها من قبل البصام (1999).




شكل 1: مسار نهر الفرات في العراق ومحطات النمذجة

**النتـائـج**

النسب المئوية للمعادن الثقيلة في الجزء الرملي من رواسب الفرات موضحة في الجدول (1) الذي يبين تراكيز هذه المعادن في كل محطة من محطات النمذجة. فضلاً عن ذلك فان معدل هذه التراكيز والمدى والانحراف المعياري موضحة في الجدول (2) لمجموع محطات النمذجة.

تم ايجاد معدلات المعادن الثقيلة حسب انتماءاتها الصخارية لكل من المقاطع الثلاث لنهر الفرات: الشمالي (الكرابلة - هيت) والوسطي (الفلوجة - الكوفة) والجنوبي (الشنافية - السماوة) (الجدول 3). تم إيجاد معاملات المضاهاة للمتغيرات أعلاه (الجدول 4) وكذلك معاملات المضاهاة لبعض هذه المتغيرات مع تراكيز العناصر الثقيلة في الرواسب الكلية لنهر الفرات والتي سبق دراستها (البصام، 1999) (الجدول 5).

جدول 1: تراكيز المعادن الثقيلة والمكونات الاخرى في الجزء الرملي من رواسب نهر الفرات (%)

| المحطة | Sand | H.M. | Carb. | Mica | M.Pyr. | Chlor. | Gar. | Epid. | Staur. | Kyan. | Tr. + Ac. | Rut. | O.Pyr. | B.Pyr. | Zirc. | Tour. | Op. | Horn. | Biot. | Cel. + Ba. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الكرابلة | 56.1 | 17.47 | 14.8 | 3.5 | 23.81 | 2.86 | 7.14 | 1.43 | 0.1 | 0.95 | 0.01 | 0.1 | 8.57 | 1.43 | 1.9 | 0.01 | 43.33 | 3.81 | 0.95 | 0.01 |
| العبيدي | 26.0 | 6.05 | 32.2 | 4.5 | 16.11 | 3.88 | 2.22 | 3.88 | 2.77 | 0.1 | 1.11 | 0.55 | 5.0 | 1.66 | 0.55 | 0.55 | 41.11 | 18.33 | 0.1 | 0.1 |
| راوة | 16.5 | 3.75 | 75.4 | 4 | 28.05 | 4.88 | 1.83 | 3.05 | 1.83 | 1.22 | 0.1 | 0.01 | 7.32 | 1.83 | 0.01 | 2.44 | 21.95 | 18.9 | 1.22 | 1.22 |
| البغدادي | 44.07 | 3.56 | 20 | 6 | 28.16 | 4.02 | 4.59 | 1.15 | 1.15 | 0.57 | 0.1 | 0.01 | 5.75 | 2.29 | 0.57 | 0.01 | 26.44 | 22.41 | 1.15 | 0.1 |
| هيت | 4.09 | 5.17 | 17 | 3.5 | 15.34 | 3.07 | 3.07 | 4.29 | 0.01 | 0.61 | 1.23 | 0.01 | 3.68 | 2.45 | 1.23 | 1.23 | 47.87 | 11.66 | 0.61 | 1.23 |
| الفلوجة | 75.05 | 15.24 | 14 | 2 | 28.29 | 0.66 | 4.61 | 0.66 | 1.32 | 0.66 | 0.01 | 0.01 | 5.26 | 1.97 | 1.97 | 0.01 | 36.84 | 15.13 | 0.66 | 0.01 |
| الحلة | 37.5 | 5.66 | 27.4 | 6.5 | 20.11 | 9.78 | 4.81 | 3.8 | 0.54 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 4.35 | 0.1 | 1.09 | 0.01 | 38.04 | 13.59 | 0.54 | 0.01 |
| المسيب | 62.63 | 4.65 | 14.8 | 5.5 | 20.45 | 3.73 | 1.86 | 4.97 | 0.62 | 1.24 | 0.01 | 0.01 | 9.94 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 28.57 | 21.74 | 1.24 | 1.24 |
| الكفل | 26.79 | 6.12 | 22.4 | 6 | 26.19 | 4.76 | 5.36 | 2.38 | 1.78 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 8.93 | 1.19 | 1.19 | 0.1 | 21.43 | 22.62 | 1.78 | 1.19 |
| الكوفة | 76.25 | 9.28 | 17.4 | 4 | 33.17 | 1.51 | 3.52 | 2.51 | 0.5 | 0.5 | 0.01 | 0.01 | 6.03 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 29.15 | 19.09 | 2.01 | 0.01 |
| الشنافية | 28.8 | 7.31 | 26.2 | 6 | 28.65 | 2.92 | 2.34 | 3.51 | 0.58 | 0.1 | 0.01 | 0.01 | 7.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 21.05 | 26.31 | 2.92 | 1.17 |
| السماوة | 29.75 | 5.05 | 44.0 | 6.5 | 21.57 | 7.84 | 3.43 | 2.45 | 0.1 | 0.01 | 0.98 | 0.49 | 6.86 | 0.1 | 0.49 | 0.01 | 25.49 | 26.47 | 0.98 | 0.01 |

H.M.= Heavy Minerals, Op.= Opaque Minerals, Cel. + Ba. = Celestite and Barite, Carb.= Carbonates

ملاحظات

- نسبة الرمال محسوبة قياسا الى محتويات عينة الرواسب الكلية في كل محطة (نسبة مئوية وزنية)
- نسبة المعادن الثقيلة والكاربونات والمايكا محسوبة قياسا الى الجزء الرملي من العينة (نسبة مئوية عددية)
- نسب بقية المعادن الثقيلة محسوبة قياسا الى مجموع نسبة المعادن الثقيلة في العينة

جدول 2: معدل ومدى تركيز المعادن الثقيلة والمكونات الاخرى في رواسب نهر الفرات (الجزء الرملي)

| المكونات | المعدل (%) | المدى (%) | الانحراف المعياري |
|---|---|---|---|
| Sand | 40.32 | 16.50 – 75.05 | 18.78 |
| H.M. | 7.44 | 3.56 – 17.47 | 4.46 |
| Opaques | 31.77 | 21.05 – 47.88 | 9.29 |
| Carbonates | 27.13 | 14.00 – 75.40 | 17.55 |
| Mica | 4.83 | 2.00 – 6.50 | 1.45 |
| Mono Pyroxene | 24.16 | 15.34 – 33.17 | 5.50 |
| Ortho Pyroxene | 6.56 | 3.68 – 9.94 | 1.91 |
| Brown Pyroxene | 1.10 | 0.01 – 2.45 | 0.97 |
| Hornblende | 18.34 | 3.81 – 26.47 | 6.51 |
| Epidote | 2.84 | 0.66 – 4.97 | 1.32 |
| Stauroulite | 0.94 | 0.01 – 2.77 | 0.85 |
| Kyanite | 0.51 | 0.01 – 1.24 | 0.45 |
| Chlorite | 4.16 | 0.66 – 9.78 | 2.52 |
| Garnet | 3.73 | 1.83 – 7.14 | 1.62 |
| Zircon | 0.75 | 0.01 – 1.98 | 0.72 |
| Tourmaline | 0.37 | 0.01 – 2.44 | 0.75 |
| Biotite | 1.18 | 0.10 – 2.92 | 0.76 |
| Rutile | 0.10 | 0.01 – 0.55 | 0.20 |
| Cele. + Bar. | 0.53 | 0.01 – 1.24 | 0.61 |
| Trem. + Actin. | 0.30 | 0.01 – 1.23 | 0.49 |

جدول 3: معدل تراكيز المعادن الثقيلة في قواطع نهر الفرات (%)

| المعادن الثقيلة | القاطع الشمالي | القاطع الوسطي | القاطع الجنوبي |
|---|---|---|---|
| **1. المعادن التي تنتمي غالبا الى الصخور المتحولة** | | | |
| Mono Pyroxene | 22.29 | 25.64 | 25.11 |
| Chlorite | 3.74 | 4.08 | 5.38 |
| Epidote | 2.76 | 2.86 | 2.98 |
| Garnet | 3.77 | 4.05 | 2.89 |
| Rutile | 0.11 | 0.10 | 0.25 |
| Staurolite | 1.15 | 0.95 | 0.29 |
| Tremelite + Actinolite | 0.47 | 0.01 | 0.49 |
| Kyanite | 0.67 | 0.48 | 0.10 |
| المجموع | **34.96** | **38.17** | **37.47** |
| **2. المعادن التي تنتمي غالباً الى الصخور النارية** | | | |
| Zircon | 0.85 | 0.85 | 0.24 |
| Ortho Pyroxene | 6.06 | 6.90 | 6.94 |
| Brown Pyroxene | 1.93 | 0.63 | 0.01 |
| Tourmaline | 0.84 | 0.01 | 0.01 |
| المجموع | **9.69** | **8.39** | **7.19** |
| **3. المعادن الموجودة في عدة انواع من الصخور المصدرية** | | | |
| Opaques | 36.14 | 30.81 | 23.27 |
| Hornblende | 15.02 | 18.43 | 26.39 |
| Biotite | 0.79 | 1.25 | 1.95 |
| Cel. + Bar. | 0.49 | 0.49 | 0.58 |
| المجموع | **52.44** | **50.98** | **52.19** |
| **4. المعادن فائقة الاستقرار ( الزركون والتورمالين والروتايل )** | | | |
| | 1.80 | 0.85 | 0.49 |

جدول 4: معاملات الارتباط بين المعادن الثقيلة

| | Biot. | Horn. | Op. | Tour. | Zirc | B. Pyr. | O. Pyr. | Rut. | Tr.+ Ac. | Kyan. | Staur. | Epid. | Gar. | Chlor. | M. Pyr. | Mica | Carb. | H. M. | Sand |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C.B. | 0.41 | 0.26 | -0.33 | 0.48 | -0.34 | 0.05 | 0.37 | -0.40 | -0.03 | 0.27 | 0.05 | 0.55 | -0.48 | -0.10 | -0.09 | 0.10 | 0.21 | -0.43 | -0.50 |
| Biot. | | 0.50 | -0.71 | -0.18 | -0.47 | -0.48 | 0.43 | -0.42 | -0.51 | -0.10 | -0.21 | -0.02 | -0.13 | -0.25 | 0.68 | 0.29 | -0.03 | -0.04 | 0.11 |
| Horn. | | | -0.82 | -0.12 | -0.70 | -0.39 | 0.21 | 0.18 | 0.00 | -0.37 | 0.21 | 0.14 | -0.55 | 0.16 | 0.27 | 0.61 | 0.28 | -0.62 | -0.13 |
| Op. | | | | 0.00 | 0.61 | 0.39 | -0.52 | 0.15 | 0.45 | 0.09 | -0.18 | 0.09 | 0.28 | -0.12 | -0.62 | -0.52 | -0.41 | 0.41 | 0.00 |
| Tour. | | | | | -0.22 | 0.47 | -0.15 | -0.06 | 0.26 | 0.43 | 0.30 | 0.26 | -0.46 | 0.02 | -0.12 | -0.31 | 0.74 | -0.34 | -0.59 |
| Zirc. | | | | | | 0.46 | -0.20 | -0.08 | 0.01 | -0.05 | -0.11 | -0.50 | 0.78 | -0.12 | -0.20 | -0.46 | -0.43 | 0.68 | 0.13 |
| B. Pyr. | | | | | | | -0.33 | -0.07 | 0.28 | 0.28 | 0.36 | -0.34 | 0.16 | -0.35 | -0.16 | -0.54 | 0.04 | 0.08 | -0.29 |
| O. Pyr. | | | | | | | | -0.12 | -0.48 | 0.35 | -0.01 | 0.00 | 0.07 | -0.08 | 0.25 | 0.22 | 0.03 | 0.09 | 0.24 |
| Rut. | | | | | | | | | 0.69 | -0.42 | 0.28 | 0.09 | -0.19 | 0.27 | -0.47 | 0.16 | 0.26 | -0.10 | -0.23 |
| Tr. + Ac. | | | | | | | | | | -0.30 | 0.03 | 0.34 | -0.33 | 0.15 | -0.72 | -0.04 | 0.14 | -0.30 | -0.58 |
| Kyan. | | | | | | | | | | | -0.10 | 0.02 | -0.13 | -0.38 | 0.12 | -0.50 | 0.10 | 0.16 | 0.28 |
| Staur. | | | | | | | | | | | | -0.04 | -0.25 | -0.09 | 0.01 | -0.09 | 0.34 | -0.20 | -0.16 |
| Epid. | | | | | | | | | | | | | -0.66 | 0.29 | -0.59 | 0.31 | 0.12 | -0.57 | -0.42 |
| Gar. | | | | | | | | | | | | | | 0.03 | 0.15 | -0.10 | -0.44 | 0.63 | 0.30 |
| Chlor. | | | | | | | | | | | | | | | -0.39 | 0.72 | 0.41 | -0.51 | -0.42 |
| M. Pyr. | | | | | | | | | | | | | | | | -0.10 | 0.05 | 0.25 | 0.50 |
| Mica | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.14 | -0.64 | -0.30 |
| Carb. | | | | | | | | | | | | | | | | | | -0.44 | -0.51 |
| H.M. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 0.59 |

H. M. = Heavy Minerals, Op. = Opaque Minerals, C.B. = Celestite and Barite, Carb. = Carbonates

تبين النتائج المدرجة في الجداول أعلاه وجود تغاير كبير في تركيز المعادن الثقيلة في الجزء الرملي من رواسب الفرات، حيث تتراوح بين ( 3.56 – 17.47 ) % وبمعدل 7.44% ويتميز القاطع الوسطي بأعلى معدل للمعادن الثقيلة (8.19%) في حين تتميز محطة الكرابلة بأعلى نسبة تراكيز المعادن الثقيلة في عموم محطات النمذجة (17.47%). تتكون المعادن الخفيفة في الجزء الرملي من رواسب الفرات من المعادن الكاربونيتية والكوارتز والصوان والفلدسبار. تمثل المعادن الكاربونيتية (الكالسايت والاراغونايت والدولومايت) نسبة مهمة من المحتويات الخفيفة في الجزء الرملي حيث يصل معدلها الى 27.13% ويتناسب تركيزها عكسياً مع نسبة الرمال في الرواسب ويقل محتواها في القاطع الوسطي، حيث تكون نسبة الرمال عالية قياساً بالقاطعين الشمالي والجنوبي. يتراوح تركيز المايكا (بكافة أنواعها) بين (2.0 – 6.5) % ويزداد تركيزها بشكل عام من الشمال الى الجنوب وتتكون من المسكوفايت والبايوتايت فضلاً عن معدن الفلوغوبايت (في محطتي الحلة والكوفة فقط) وتزداد تراكيز معدن الكلورايت في نفس الاتجاه، حيث تصل الى أقصاها في محطة الحلة.

تمثل المعادن المعتمة (Opaques) جزءاً كبيراً من المعادن الثقيلة وبمعدل 31.77% ويقل محتواها تدريجياً من الشمال الى الجنوب وتتميز محطات الكرابلة والعبيدي وهيت بأعلى التراكيز. تتكون المعادن المعتمة من الماغنيتايت والهيماتايت والإلمانايت وتماثل مجموعة معادن البايروكسين المعادن المعتمة في تراكيزها العالية في عينات الدراسة، حيث يصل معدل مجموع الأنواع الثلاث منها الى 31.82% ويسود فيها البايروكسين الأحادي (Mono Pyroxene) بمعدل 24.16% ويزداد تركيزه في محطات القاطعين الوسطي والجنوبي وخاصة في محطة الكوفة (33.17%). يمثل معدن الهورنبلند المعدن الشائع الثاني في مجموعة المعادن الثقيلة الشفافة، حيث يصل معدله الى 18.34% ويزداد تركيزه تدريجياً من الشمال الى الجنوب وتتميز محطتي الشنافية والسماوة بأعلى التراكيز ومحطة الكرابلة بأقل التراكيز . تمثل المعادن المعتمة والبايروكسين والهورنبلند حوالي 82% من المعادن الثقيلة.

تأتي مجموعة الكلورايت والغارنت والابيدوت والبايوتايت في المرتبة التالية من ناحية التركيز، حيث تتراوح معدلاتها في مجمل محطات النهر بين 1.18% بايوتايت و 4.16% كلورايت. يزداد تركيز الكلورايت والإبيدوت والبايوتايت من الشمال الى الجنوب، وتتميز محطتي الحلة والسماوة بأعلى التراكيز بالنسبة للكلورايت ومحطتي الكوفة والشنافية للبايوتايت، في حين تتميز محطة الكرابلة بأعلى تركيز لمعدن الغارنت (7.14%).

بقية المعادن الثقيلة موجودة بتراكيز اقل من 1% كمعدل وتشمل الشتوروليت والزركون والسيليستايت والبارايت والكيانايت والتورمالين والتريمولايت – اكتينولايت والروتايل. بشكل عام، تزداد تراكيز هذه المعادن في الشمال أكثر من الجنوب، باستثناء الروتايل والسيليستايت والبارايت.

**المناقشة**

المعادن الثقيلة مركبات متبلورة طبيعية تنشأ معظمها في الصخور النارية والمتحولة وأحيانا الرسوبية وتنقل كمواد فتاتية الى الأحواض الرسوبية بواسطة الأنهار من جراء تعرية وتآكل الصخور الأم وهي بذلك موجودة أيضا في الصخور الرسوبية الفتاتية القارية المنشأ على وجه الخصوص، ويعاد تدوير المعادن الثقيلة مرة أخرى من جراء تآكل هذه الصخور التي تصبح بدورها صخور مصدرية ثانوية لهذه المعادن (Morton and Hallsworth, 1999). على هذا الأساس تلعب الصخور المصدرية ومناطق وجودها دوراً أساسيا في نوعية المعادن الثقيلة في الرواسب النهريةن فضلاً عن ان الظروف المناخية السائدة في المناطق المصدرية تلعب دوراً مهما هي الأخرى في التغيرات التي تطرأ على المعادن الثقيلة التي تتباين درجة استقرارها تحت ظروف التجوية وينتج عن ذلك وتحت ظروف تجوية شديدة زيادة في تراكيز المعادن الثقيلة المستقرة على حساب تلك الأقل استقراراً. كما ان مسافة النقل تلعب هي الأخرى دوراً مشابها في هذا المجال (Folk, 1974, Krumbine and Sloss, 1963 وPettijohn, 1975). وقد وضح Al-Juboury (2006) دور الالتواءات النهرية في تركيز بعض المعادن الثقيلة فضلاً عن علاقة الحجم الحبيبي لهذه المعادن بنسب تركيزها في الرواسب النهرية الحديثة.

بقدر تعلق الأمر برواسب نهر الفرات، فان مصادر تجهيزه بالفتاتيات تأتي من عدة مناطق هي هضبة الأناضول في تركيا والأراضي السورية التي يخترق عبرها نهر الفرات صخور نارية ورسوبية مختلفة وتستمر الصخور الرسوبية الحديثة كمصادر تجهيز موقعية في أعالي الفرات في الأراضي العراقية وتسهم الوديان الصحراوية في نقل الفتاتيات في مواسم الأمطار من داخل الصحراء، حيث التكوينات الجيولوجية الأقدم، ويمثل وادي حوران الذي يصب في نهر الفرات شمال البغدادي أهمها وأكبرها تأثيراً في هذا المجال. كما ان تكويني الدبدبة وانجانة ذات التركيب الفتاتي لهما تأثير مهم في تجهيز الفتاتيات من الرمادي والى الشنافية، حيث يقطع نهر الفرات احد أو كلا من هذين التكوينين في مجراه (البصام، 2000) علما بان مصادر فتاتيات تكوين انجانة هي من المعقدات النارية في الشمال الشرقي ومصادر فتاتيات تكوين الدبدبة من الصخور النارية في الدرع العربي (البيداري، 1997).

من دراسة معدلات تراكيز المعادن الثقيلة في قواطع النهر الشمالي والوسطي والجنوبي (الجدول 3) يلاحظ ان تراكيز المعادن الثقيلة المعروفة بوجودها أساساً في الصخور النارية (وهي الزركون والأورثو بايروكسين والبايروكسين البني والتورمالين) تقل تدريجيا من الشمال الى الجنوب، في حين ان معظم المعادن ذات الارتباط الأقرب الى الصخور المتحولة (وتشمل الأبيدوت والبايروكسين الأحادي والكلورايت والروتايل) يزداد تركيزها من الشمال الى الجنوب، وتشذ عن ذلك معادن الشتورولايت والكيانايت والغارنت التي تظهر نمطاً في نقصان تراكيزها من الشمال الى الجنوب والتريمولايت – اكتينولايت المفقودان في القاطع الوسطي (الجدول 3). تشير هذه النتائج الى ان رواسب نهر الفرات في القاطع الشمالي تأتي من فتاتيات ذات أصول نارية بالدرجة الأساس مع مساهمة اقل من فتاتيات ذات أصول متحولة، في حين تزداد مساهمة الفتاتيات المنقولة من صخور متحولة في القاطع الجنوبي بسبب تداخل رواسب دجلة المنقولة من شمال شرق العراق مع رواسب نهر الفرات في السهل الفيضي الذي يخترقه نهر الفرات في قاطعيه الوسطي والجنوبي.

يتفق نمط توزيع المعادن الثقيلة المعتمة مع نمط توزيع المعادن الثقيلة الشفافة ذات الأصول النارية، حيث تكون تراكيزها أعلى في القاطع الشمالي وتقل تدريجيا باتجاه الجنوب. المعادن المعتمة ذات أصول مختلفة، حيث إنها تنشأ في الصخور النارية والمتحولة وكذلك توجد في الصخور الرسوبية، ومصدرها في حالة رواسب نهر الفرات يبدو من المعقدات الصخرية التي يخترقها نهر الفرات في تركيا وسوريا.

تمثل المعادن الثقيلة شبه المستقرة النسبة الأكبر من المعادن الثقيلة (تشمل مجموعة معادن البايروكسين والهورنبلند) في رواسب نهر الفرات في كافة قواطعه، حيث تمثل حوالي 50% من مجموع المعادن الثقيلة (المعتمة والشفافة). بالمقارنة مع ذلك لاتتجاوز نسبة المعادن المستقرة (تشمل الزركون والتورمالين والروتايل والغارنت) أكثر من 5% من مجموع المعادن الثقيلة. يشير ذلك الى ان فتاتيات نهر الفرات قد تم تجهيزها من مصادر ومناطق ذات ظروف مناخية جافة نسبياً لم تكن كافية لإحداث تغيرات في المعادن قليلة الاستقرار، علماً ان نسبة المعادن المتغيرة الثقيلة (Alterites) في هذه الدراسة تراوحت بين (1.2 – 4.3) % وهي نسبة قليلة جدا. وبالتالي تعتبر فتاتيات نهر الفرات رواسب غير ناضجة معدنياً وهي مشابهة من هذه الناحية (درجة النضوج) الى الرواسب الفتاتية لتكويني انجانة (المايوسين المتاخر – البلايوسين) والدبدبة (البلايوسين – البلايستوسين) ورواسب نهر دجلة ورواسب السهل الفيضي (ما بين النهرين) (Philip, 1968 وJawad Ali , 1977).

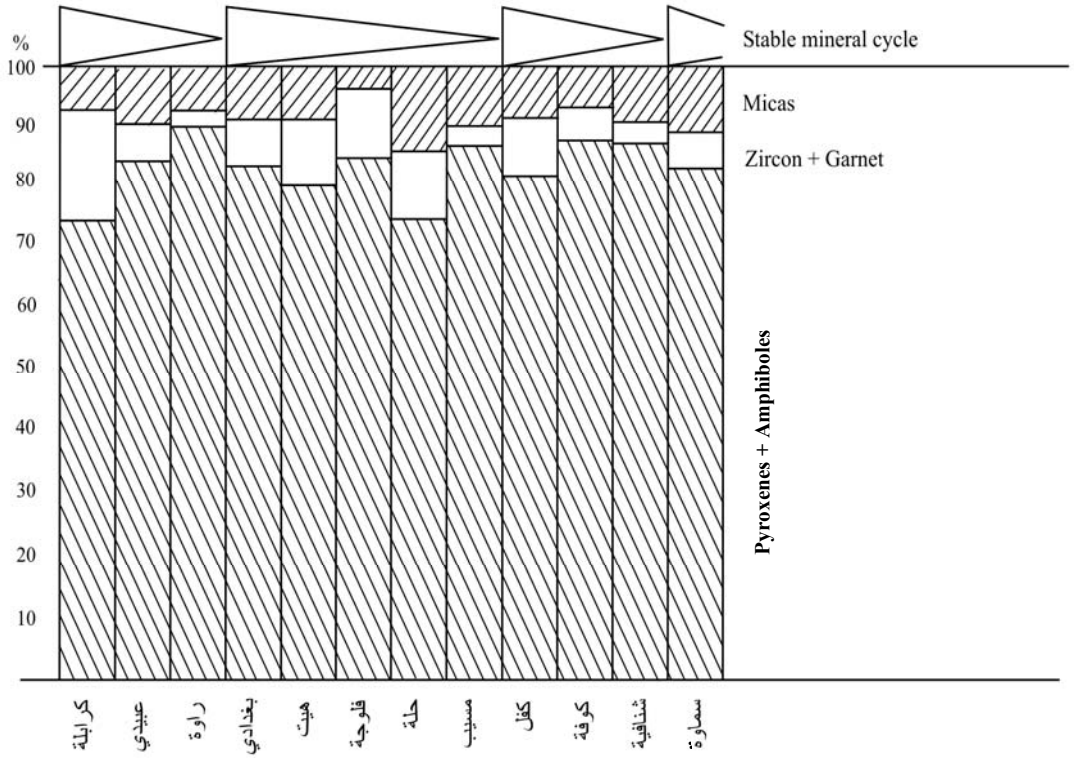
يمكن ملاحظة زيادات نمطية دورية في تراكيز المعادن الثقيلة المستقرة في رواسب نهر الفرات (الشكل 2)، حيث ان تراكيزها عالية عند دخول النهر الى الأراضي العراقية وتنخفض تدريجياً الى ان تصل راوة (الدورة الأولى) وتعود تراكيز هذه المعادن الى الارتفاع بشكل مفاجئ في البغدادي، حيث يظهر تاثير الرواسب المنقولة من التكوينات الفتاتية القديمة في الصحراء الغربية عبر وادي حوران (الدورة الثانية). تنخفض التراكيز في المسيب، حيث تبدأ زيادة اخرى مفاجئة في الكفل وتستمر بالانخفاض التدريجي الى الشنافية (الدورة الثالثة) وهنا يمكن ان تكون لفتاتيات تكوين الدبدبة ذات الأصول النارية الحامضية الغنية نسبياً بمعدن الزركون دوراً في زيادة تراكيز المعادن المستقرة في رواسب نهر الفرات عندما يقطعها وادي النهر.

تشير العلاقات الارتباطية بين المعادن الثقيلة (الجدول 4) الى وجود علاقة موجبة بين تراكيز هذه المعادن كمجموعة وبين نسبة الرمال في الرواسب النهرية ، ويفسر ذلك الى ان معظم المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات هي معادن قليلة الاستقرار وتفقد أو تتغير الى معادن أخرى مع طول فترة الدهك والنقل النهري وبالتالي تقل تراكيزها في الأجزاء الغرينية والطينية، من الرواسب المتعرضة الى دورات ترسيبية أكثر أو مسافة نقل أطول من الأجزاء الرملية .

يمكن ملاحظة أربع مجاميع من المعادن الثقيلة على أساس علاقتها التناظرية الموجبة (الحد المعنوي للقيم التناظرية 0.5). هذه المجاميع الأربع تعكس الأصول الصخرية والمناطق المصدرية للفتاتيات المنقولة، وهذه المجاميع هي:

- **مجموعة البايروكسين الاحادي والهورنبلند والبايوتايت:** تعكس صخور مصدرية متحولة (metamorphic) في معظم الحالات ويمكن ان تكون المناطق الشمالية الشرقية من العراق احد مصادرها (سلسلة قنديل التي تحتوي على وفرة من صخور Hornblende Schist) وخاصة في القاطعين الوسطي والجنوبي من نهر الفرات، حيث تسهم رواسب السهل الفيضي لنهر دجلة في ذلك فضلاً عن المعقدات الصخرية في سوريا وتركيا.
- **مجموعة الروتايل والأكتينولايت – تريمولايت:** تعكس صخور مصدرية متحولة .

- **مجموعة الأبيدوت والتورمالين والسيليستايت والبارايت:** تعكس أصل مشترك ومصدر من صخور متحولة ورسوبية ويتضح ذلك من العلاقة الإيجابية لبعض هذه المعادن مع نسبة الكاربونات في الجزء الرملي. وعلى الأرجح ان مناطق الصخور المتحولة تقع في الأراضي التركية والسورية والصخور الحاملة للسيليستايت والبارايت تقع في الأراضي العراقية ضمن تكوينات انجانة والدبدبة والفتحة.
- **مجموعة الزركون والغارنت والمعادن الثقيلة:** تعكس أصول مشتركة من صخور متحولة ونارية حامضية جمعت بينها علاقة وجود مشترك في رواسب نهر الفرات، كونها أكثر استقرارا من بقية المعادن الثقيلة.




شكل 2: التوزيع النسبي للمعادن الثقيلة المستقرة وقليلة الاستقرار والمايكا في رواسب نهر الفرات

كانت العلاقات الارتباطية لبقية المعادن الثقيلة اقل من الحد المعنوي (0.5) ولذلك لم يتم التعليق عليها او تفسيرها.
تشير العلاقات الارتباطية بين معادن ثقيلة مختارة لدلالتها المصدرية وهي الزركون والغارنت والمعادن المعتمة وبين العناصر الفلزية الثقيلة في رواسب نهر الفرات (الجدول 5) الى ارتباط ايجابي لعناصر: النحاس والكروم والنيكل مع المعادن الثقيلة (مجموعة) في هذه الرواسب، فضلاً عن ارتباطها المتميز مع معدن الغارنت ذو الأصل المتحول. ويرتبط الكادميوم مع المعادن الثقيلة المعتمة وهو في هذه الحالة موجود ضمن المعادن الحديدية (الماغنيتايت والهيماتايت والألمنايت). الكوبلت والنحاس والكروم والنيكل والرصاص ترتبط مع البايوتايت وهو احد معادن المايكا الغنية بالحديد، ويمكن ان توجد هذه العناصر الثقيلة في تركيبه البلوري. في حين لايوجد ارتباط واضح (ذو معنى) للخارصين مع المعادن الثقيلة المختارة ومن المحتمل ارتباطه مع المعادن الطينية في هذه الرواسب.
يلاحظ ان بعض العينات (في الدراسة الحالية) تحتوي على تراكيز عالية جداً ومتميزة من بعض المعادن الثقيلة حيث تشمل هذه العينات المحطات الآتية:

- **الكرابلة:** المعادن الثقيلة كمجموعة ومعدن الغارنت
- **العبيدي:** معدن الشتورولايت والروتايل
- **راوة:** معدن التورمالين
- **الحلة:** معدن الكلورايت
- **الشنافية:** معدن البايوتايت
- **السماوة:** معدن الروتايل

من ناحية أخرى لوحظ وجود تراكيز مرتفعة نسبياً لأنواع معينة من المعادن الثقيلة في محطات النمذجة المختلفة على الرغم من كون تراكيز هذه المعادن لم تصل الى حدود عالية جداً، غير ان الإشارة اليها قد تكون مهمة. وهذه المحطات هي:

- **الكرابلة:** معادن الكيانايت والأورثو بايروكسين والزركون والمعادن الثقلية المعتمة
- **العبيدي:** المعادن الثقلية المعتمة
- **راوة:** معدن الشتورولايت والكيانايت والسيليستايت والبارايت
- **البغدادي:** المايكا والبايروكسين البني
- **هيت:** معدن الأبيدوت والتريمولايت والأكتينولايت والبايروكسين البني والزركون والتورمالين والمعادن الثقلية المعتمة والسيليستايت والبارايت
- **الفلوجة:** الزركون ومجموعة المعادن الثقلية
- **الحلة:** المايكا
- **المسيب:** الأبيدوت والكيانايت والأورثو بايروكسين والسيليستايت والبارايت
- **الكفل:** الغارنت والاورثو بايروكسين
- **الكوفة:** البايروكسين الأحادي والبايوتايت
- **الشنافية:** المايكا والكلورايت والتريمولايت والأكتينولايت والروتايل والهورنبلند

جدول 5: تراكيز العناصر الثقلية (ppm) وبعض المعادن الثقيلة والكاربونات (%) في عينات الدراسة ومعاملات الارتباط بينها

| Biot. | Zircon | Garnet | Carb. | Cd | Pb | Co | Ni | Cr | Cu | Zn | Opaq. | H.M. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.95 | 1.9 | 7.14 | 14.8 | 3.5 | 20 | 44 | 203 | 138 | 41 | 103 | 43.33 | 17.47 | **الكرابلة** |
| 0.1 | 0.55 | 2.22 | 32.2 | 4.3 | 18 | 47 | 134 | 100 | 28 | 97 | 41.11 | 6.05 | **العبيدي** |
| 1.22 | 0.01 | 1.83 | 75.4 | 3.8 | 19 | 44 | 156 | 100 | 30 | 67 | 21.95 | 3.75 | **راوة** |
| 1.15 | 0.57 | 4.59 | 20 | 3.8 | 22 | 44 | 147 | 101 | 34 | 94 | 26.44 | 3.56 | **البغدادي** |
| 0.61 | 1.23 | 3.07 | 17 | 4.2 | 19 | 41 | 125 | 88 | 25 | 73 | 47.87 | 5.17 | **هيت** |
| 0.66 | 1.97 | 4.61 | 14 | 3.8 | 17 | 50 | 209 | 127 | 37 | 92 | 36.84 | 15.24 | **الفلوجة** |
| 0.54 | 1.09 | 4.81 | 27.4 | 3.8 | 19 | 50 | 209 | 127 | 40 | 82 | 38.04 | 5.66 | **الحلة** |
| 1.24 | 0.01 | 1.86 | 14.8 | 3.8 | 19 | 50 | 197 | 124 | 40 | 148 | 28.57 | 4.65 | **المسيب** |
| 1.78 | 1.19 | 5.36 | 22.4 | 3.5 | 17 | 53 | 200 | 128 | 40 | 79 | 21.43 | 6.12 | **الكفل** |
| 2.01 | 0.01 | 3.52 | 17.4 | 3 | 19 | 53 | 206 | 130 | 38 | 87 | 29.15 | 9.28 | **الكوفة** |
| 2.92 | 0.01 | 2.34 | 26.2 | 3 | 25 | 53 | 200 | 130 | 38 | 86 | 21.05 | 7.31 | **الشنافية** |
| 0.98 | 0.49 | 3.43 | 44 | 3.5 | 20 | 55 | 209 | 140 | 38 | 86 | 25.49 | 5.05 | **السماوة** |

| Zircon | Garnet | Carb. | Cd | Pb | Co | Ni | Cr | Cu | Zn | Opaq. | H.M. | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | 0.41 | **Opaq.** |
| | | | | | | | | | | 0.05 | 0.11 | **Zn** |
| | | | | | | | | | 0.39 | -0.35 | 0.38 | **Cu** |
| | | | | | | | | 0.91 | 0.25 | -0.27 | 0.49 | **Cr** |
| | | | | | | | 0.96 | 0.93 | 0.22 | -0.31 | 0.45 | **Ni** |
| | | | | | | 0.76 | 0.75 | 0.64 | 0.11 | -0.54 | 0.00 | **Co** |
| | | | | | 0.04 | 0.00 | 0.08 | 0.10 | 0.00 | -0.33 | -0.15 | **Pb** |
| | | | | -0.47 | -0.63 | -0.70 | -0.71 | -0.66 | 0.05 | 0.57 | -0.25 | **Cd** |
| | | | 0.09 | 0.02 | -0.07 | -0.21 | -0.23 | -0.33 | -0.46 | -0.41 | -0.44 | **Carb.** |
| | | -0.44 | -0.16 | -0.16 | -0.06 | 0.38 | 0.43 | 0.49 | -0.09 | 0.28 | 0.63 | **Garnet** |
| | 0.78 | -0.43 | 0.28 | -0.42 | -0.26 | 0.13 | 0.14 | 0.11 | -0.12 | 0.61 | 0.68 | **Zircon** |
| -0.47 | -0.13 | -0.03 | -0.86 | 0.59 | 0.48 | 0.39 | 0.37 | 0.40 | -0.06 | -0.71 | -0.04 | **Biot.** |

ان هذه التراكيز المتميزة لبعض المعادن الثقيلة في محطات النمذجة المختلفة يمكن ان تعزى الى عدة عوامل تستحق ان تكون موضوعاً لدراسات قادمة، ومن هذه العوامل تأثير شكل وحجم حبيبات المعادن الثقيلة ومورفولوجية النهر عند محطة النمذجة، فضلاً عن مساهمة الصخور والرواسب الموجودة في حوض النهر والوديان الصحراوية التي تسهم موسمياً في حمولة مياه النهر من الرواسب المختلفة.

تشير المقارنة مع الدراسات السابقة عن المعادن الثقلية في نهر الفرات (الجدول 6) الى وجود زيادة نسبية في تراكيز المعادن الثقلية المعتمة والغارنت ومجموعة معادن البايروكسين عن معدلات عام 1968، يقابلها انخفاض ملحوظ في تركيز معدن الأبيدوت. وحيث ان مصادر وجود المعادن الثقلية في هذه الرواسب النهرية تعود الى التكوينات الصخرية التي يخترقها النهر عبر مجراه فان التفسير الوحيد لهذه الظاهرة يكمن في التغيرات التي حصلت في نظام تصريف نهر الفرات جراء إنشاء العديد من السدود في تركيا وسوريا وتأثير ذلك على نوعية حمولة النهر من الرواسب.

تبين المقارنة مع رواسب السهل الفيضي بين الحلة والديوانية وجود زيادة كبيرة في تركيز المعادن الثقيلة المعتمة في تلك الرواسب، مقارنة مع رواسب نهر الفرات. ويعود ذلك على الأغلب الى مساهمة فعالة من الرواسب التي ينقلها نهر دجلة وروافده الى منطقة السهل الفيضي، على الرغم من ان معدل تركيز المعادن الثقيلة في رواسب دجلة المبينة في الجدول (6) لاتشير الى تراكيز عالية من المعادن المعتمة، إلا ان بعض الروافد وخاصة نهر ديالى يتميز بتراكيز عالية من هذه المعادن الثقيلة (Philip, 1968).

يلاحظ وجود تشابه في تراكيز العديد من المعادن الثقيلة الموجودة في رواسب نهر الفرات والرواسب الأقدم لتكوين انجانة في المناطق التي يخترق فيها وادي النهر هذا التكوين في قاطعه الأوسط مما يشير الى مساهمة هذه الفتاتيات القديمة في تزويد نهر الفرات بالفتاتيات بفعل التعرية التي يحدثها النهر.

جدول 6: معدل تركيز المعادن الثقيلة في رواسب نهري الفرات ودجلة والسهل الرسوبي وتكوين انجانة

| Heavy Minerals (%) | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Opaques | 20.7 | 24.6 | 17.3 | 42.0 | 71.0 | 31.77 |
| Pyroxenes | 12.3 | 11.1 | 24.5 | 1.10 | --- | 31.81 |
| Amphiboles | 21.1 | 24.0 | 8.13 | 0.83 | --- | 18.34 |
| Chlorite | 2.2 | 5.3 | 13.9 | 2.60 | 3.95 | 2.60 |
| Garnet | 1.3 | 3.6 | 8.66 | 5.40 | 0.90 | 3.73 |
| Epidote | 33.7 | 24.4 | 5.85 | 24.0 | 16.1 | 2.84 |
| Biotite | 1.6 | 2.5 | 5.80 | 2.6 | 3.2 | 1.18 |
| Staurolite | 0.3 | 0.1 | --- | 0.83 | 0.9 | 0.94 |
| Zircon | 0.2 | 0.1 | 3.07 | 5.6 | 1.35 | 0.75 |
| Kyanite | 0.1 | 0.2 | 1.56 | 0.1 | 1.0 | 0.51 |
| Tourmaline | 0.4 | 0.2 | 1.98 | 3.18 | 1.0 | 0.37 |
| Rutile | 1.0 | 0.7 | 1.11 | 1.31 | 0.90 | 0.10 |

(1) رواسب نهر الفرات (Philip, 1968)
(2) رواسب نهر دجلة (Philip, 1968)
(3) فتاتيات تكوين انجانة، منطقة الحبانية – الرزازة (المعروف، 1986)
(4) فتاتيات تكوين انجانة، منطقة النجف – الرزازة (البيداري، 1997)
(5) رواسب السهل الفيضي بين الحلة والديوانية (Al-Rawi, 1977)
(6) رواسب نهر الفرات (الدراسة الحالية)
(---) لم يتم التثبت من وجودها

**الاستنتاجات**

- يمكن تقسيم نهر الفرات الى ثلاثة قواطع جغرافية على أساس توزيع وتراكيز المعادن الثقيلة في رواسب النهر، حيث يتميز القاطع الشمالي بوفرة المعادن الثقيلة المعتمة والمعادن ذات الأصول النارية وتقل تراكيز هذه المعادن باتجاه الجنوب، حيث تزداد تراكيز المعادن الثقيلة ذات الأصول المتحولة.
- المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات ذات انتماءات صخارية مختلفة تشمل المعقدات الصخرية النارية والرسوبية في كل من سوريا وتركيا، وتكويني انجانة ودبدبة داخل العراق، فضلاً عن المعقدات الصخرية المتحولة والنارية في شمال شرق العراق المنقولة الى السهل الرسوبي بواسطة نهر دجلة وروافده.
- هناك ارتباط ايجابي بين تراكيز بعض المعادن الثقيلة والعناصر الثقيلة في رواسب نهر الفرات، حيث يسهم معدن الغارنت في إغناء الكروم والنيكل والنحاس وتسهم المعادن الثقيلة المعتمة في إغناء عنصر الكادميوم ويسهم معدن البايوتايت في إغناء عناصر الكروم والنيكل والرصاص والكوبلت والنحاس.
- التغيرات الحاصلة في تراكيز بعض المعادن الثقيلة في رواسب نهر الفرات بالمقارنة مع الدراسات السابقة يمكن تفسيرها كنتيجة للتغيرات الحاصلة في بنية حوض الفرات بسبب بناء السدود في كل من تركيا وسوريا والعراق في السنوات الأخيرة، وتأثير ذلك على حمولة النهر من الرواسب وبضمنها المعادن الثقيلة .
- تتميز بعض محطات النمذجة بتراكيز عالية من بعض المعادن الثقيلة ويشمل ذلك محطات: الكرابلة (الغارنت والمعادن المعتمة والزركون)، العبيدي (الشتوروليت والروتايل) راوة (التورمالين والشتوروليت والكيانايت)، البغدادي (المايكا والبايروكسين)، هيت (الأبيدوت والبايروكسين والزركون والتورمالين والسيليستايت)، الفلوجة (الزركون)، الحلة (الكلورايت والمايكا)، المسيب (الأبيدوت والبايروكسين والكيانايت)، الكفل (الغارنت والبايروكسين)، الكوفة (البايروكسين والبايوتايت)، الشنافية (الهورنبلند) والسماوة (المايكا والكلورايت والتريمولايت والروتايل والهورنبلند).
- تغلب المعادن الثقيلة قليلة الأستقرار بتركيز حوالي 50% على المعادن فائقة الاستقرار (5%) في رواسب نهرالفرات، يشير ذلك وبشكل عام الى رواسب غير ناضجة معدنياً ومناطق مصدرية ذات مناخ جاف الى شبه جاف وتعرية ميكانيكية لصخور المصدر مع دورات ترسيبية قليلة.

**المصادر**


البصام، خلدون، 1999. محتوى وتوزيع العناصر الثقيلة في رواسب نهر الفرات. البرنامج الوطني للاستخدام الأمثل للموارد المائية في حوض الفرات، المحور 1 – 3، تقرير داخلي، وزارة الزراعة.

البصام، خلدون، 2000. التاثيرات الجيولوجية على بيئة نهر الفرات. البرنامج الوطني للاستخدام الأمثل للموارد المائية في حوض الفرات، المحور 1 – 3، تقرير داخلي، وزراة الزراعة.

البيداري، ازهار، 1997. معدنية وجيوكيميائية وتقييم الصخور الطينية لتكوين انجانة في منطقة النجف – كربلاء. رسالة دكتوراه، جامعة بغداد، 208 صفحة.

الجبوري، علي اسماعيل والمعماري، فلاح عبد وغزال، محسن محمد، 2001. توزيع المعادن الثقيلة في الرواسب الرملية الحديثة لنهر دجلة وروافده في شمال وشمال شرق العراق. مجلة علوم الرافدين، المجلد 12، ص 145- 161.

المعروف، صلاح، 1986. رسوبية وصخارية تكوين الفارس الأعلى (انجانة) من منطقة الحبانية والرزازة. رسالة ماجستير، جامعة بغداد، 150 صفحة.

بني، ثائر، 2001. التاريخ الرسوبي والمناخ القديم لمنخفض بحر النجف في أثناء العصر الرباعي المتأخر. رسالة ماجستير، جامعة بغداد 148 صفحة.

Al-Rawi, I.K., 1977. Sedimentological study of the alluvial plain deposits in Diwaniya – Hilla area. M.Sc.Thesis, Baghdad Univ., 138pp.

Al-Juboury, A., 2002. Mica enrichment in the recent sediments of Tigris River, North of Iraq. Raf. Jour. Sci., Vol.13, p. 90 – 98.

Al-Juboury, A., 2006. Some aspects on heavy minerals enrichment from recent fluvial sediments, Northern Iraq, 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information (Earth and Water) Proceedings, Vol.I, p. 250 – 252.

Al-Juboury, A., Ismail, S. and Ghazal, M., 1999. Chromite enrichment in the Recent fluviatile sediments, North Iraq. Qatar Univ. Sci. Jour., Vol.18, p. 159 – 167.

Al-Juboury, A., Ghazal, M. and Al-Naqib, S., 2001. Development and heavy minerals analysis of the Tigris River terraces, Northern Iraq. Dirasat, Pure Science, Vol.28, p. 245 – 259.

Folk, R., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphil Publ. Co., Texas, 182pp.

Jawad Ali., A., 1977. Heavy mineral provinces of the Recent sediments of the Euphrates – Tigris basin. Jour.Geol. Soc. Iraq, Vol.10, p. 33 – 46.

Krumbine, W.C. and Sloss, L.L., 1963. Stratigraphy and Sedimentation. Freeman and Co., 660pp.

Morton, A.C. and Hallsworth, C.R., 1999. Process controlling the composition of heavy mineral assemblages in sandstone. Sed. Geology, Vol.124, p. 3 – 29.

Pettijohn , F.J., 1975. Sedimentary Rocks (3 rd edit.). Harper and Row, N.Y., 628pp.

Philip, G., 1968. Mineralogy of Recent sediments of Tigris and Euphrates Rivers and some older detrital deposits. Jour. Sed. Pet., Vol.38, p. 35 – 44.

Sadik, J.M., 1977. Sedimentological investigation of Dibdibba Formation, Southern and Central Iraq. M.Sc. Thesis, Baghdad Univ., 148pp.