

## العوامل المتحكممة بالتوزيع المعدني والجيوكيميائي في الرواسب الفوسفاتية، الصحراء الغربية العراقية

قتيبة توفيق اليوزبكي

مركز بحوث السدود والموارد المائية

جامعة الموصل

تاريخ الاستلام 2020/11/20 ، تاريخ القبول 2021/2/6

### الملخص

توجد الفوسفورايت العراقية في الصحراء الغربية، وتعود إلى نطاق فوسفورايت التيثيس، تقع في مناطق الرطبة-H3 والكعرة وعكاشات، والاثنى (قرب الحدود العراقية الأردنية)، منطقة وادي عكاش الغربي. اجريت دراسة احصائية تحليلية للعوامل التي لعبت دورا كبيرا في تكوين رواسب الفوسفات وتجمعها ضمن منطقة الجرف القاري. وفي ضوء ذلك تم تحديد خمسة عوامل لها الفاعلية الأكثر في عملية التوزيع المعدني والجيوكيميائي للفوسفورايت. وهي عامل اغناء الفسفور الذي ساعد على تكوين معدن الأبتايت (الفرانكولايت)، وعامل الظروف البيئية الترسيبية التي أدت الى تجمع الرواسب الفوسفاتية في منطقة الجرف القاري للجزء الجنوبي من بحر التيثيس، وعامل سحب المغنيسيوم من مياه البحر من جراء تكوين أطوار الباليكوسكايت وقليل من الدولومايت، الأمر الذي يساعد على تكوين الأبتايت، وعامل ارتفاع الملوحة بشكل ضئيل اكثر من الأعتيادي بما يساعد أيضا على تكوين الأبتايت، وأما العامل الأخير فيتمثل بعامل الترسيب الدوري المتعاقب للكربونيت والجيرت مع الفوسفورايت في الرواسب الفوسفاتية.

الكلمات الدالة: التحليل العاملي، الفوسفورايت العراقية، الصحراء الغربية، عكاشات، الأثنى، وادي عكاش، الكعرة.

## Factors Controlling the Mineralogical and Geochemical Distribution of Phosphatic Deposits, Western Iraqi Desert

Kotayba Tawfiq Al-Youzbakey

Dams and Water Resources research center

University of Mosul

kotaybatawfiq@gmail.com

### ABSTRACT

The Iraqi phosphorites distributed in western desert belong to Tethys phosphorites. They are found in Al-Rutba- H3, Al-Ga'ara, Akashat, and Al-Ethna and in the western wadi Aakash areas.

The statistical factor analysis shows that the main five factors playing great roles in phosphate formation in the congenital shelf are the more active factors that control the mineralogical and geochemical distributions in phosphorites; they are (1) Phosphorus enrichment factor, which led to apatite (francolite) formation. (2)

Depositional environment factor, which represents the deposition of phosphates in continental shelf of the southern part of Tethys Sea. (3) Mg withdrawing from sea water, the factor which controlled by clay mineral transportation like palygorskite and some dolomite that contributes to form apatite. (4) The slightly increased saline factor. (5) The cyclic alternative deposition factor, which represents the sequence deposition of phosphates, carbonates and cherts periodically.

**Key words:** Factor analysis, Iraqi phosphorites, Akashat, Al-Ethna, Wadi Aakash, Al-Ga'ara

### المقدمة

توجد الفوسفورايت العراقية في الصحراء الغربية، وتعود إلى نطاق فوسفورايت التيثس، وتوجد ضمن رواسب الطباشيري العلوي (Upper Campanian-Maastrichtian) والبالوسين (Paleocene) والأيوسين (Eocene) (Al-Bassam and Al-Haba, 1990).

تكتشف فوسفورايت الكامبانيان- الماستيرختيان في منطقة الرطبة-H3 وتعود إلى تكوين الجيد ( Jeed Fn.)، وفي منطقة الكعرة التي تعود إلى تكوين دكمة (Digma Fn.) وتمتاز بوجود ثلاثة أنطقة من الفوسفورايت مترافقة مع صخور جيرية، ورملية، ومارل، وسجيل (محمد، 1985)، وتتكون الفوسفورايت من نسيج حبيبي ودمالق وبقايا عظام واسنان فقریات بحرية، وتتميز عن بقية الفوسفورايت العراقية بمحتواها العالي من السليكا المتمثلة بالكوارتز والجالسيوني وتكون المادة السمنتية إما كلسية، أو سليكية، ويبلغ تركيز خامس أوكسيد الفسفور فيها حوالي (18-19)% (Al-Bassam and Al-Allak, 1985) (شكل 1).

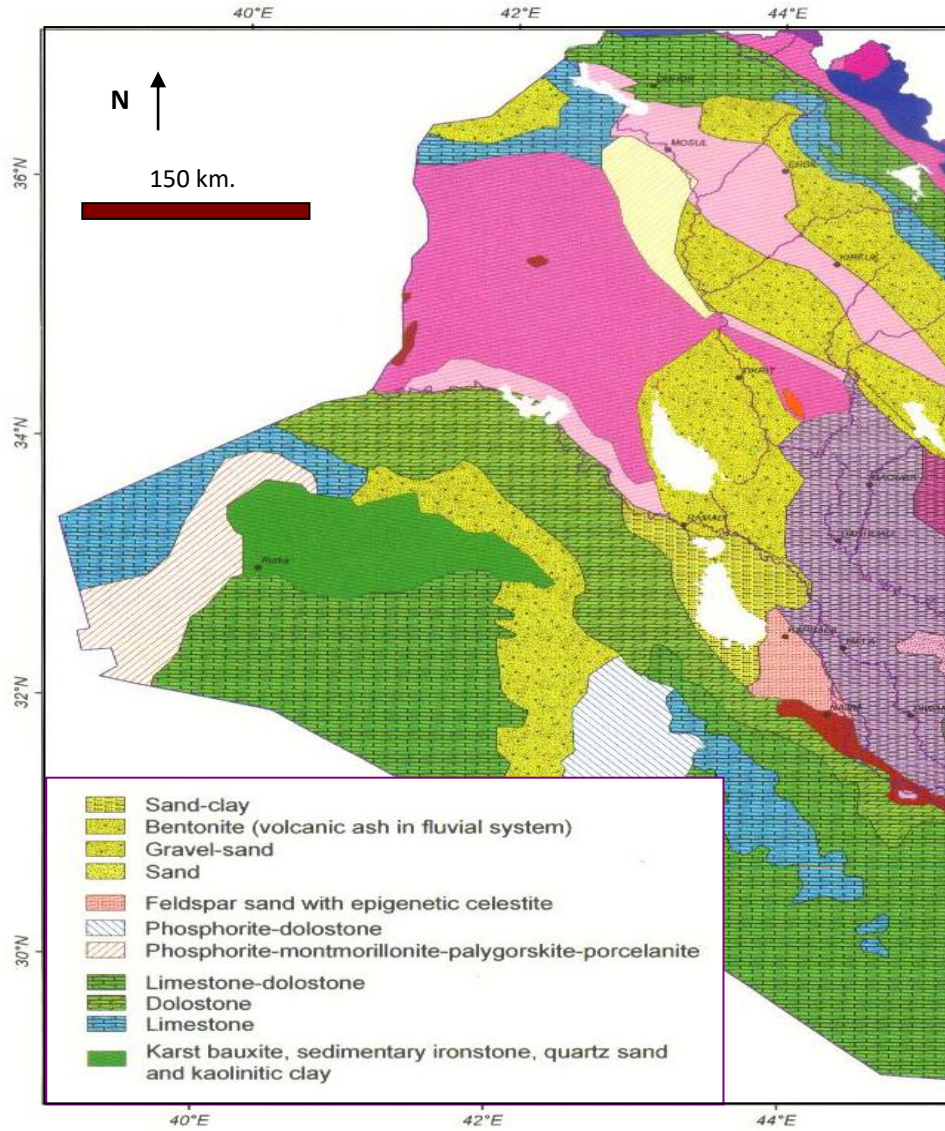
أما فوسفورايت البالوسين التي توجد في منطقة عكاشات فتعود إلى وحدة الهري (البالوسين الأوسط) ضمن تكوين عكاشات (Akashat Fn.)، وتتمثل بأفقيين من الفوسفورايت متعاقبة مع صخور جيرية غنية بالأصداف، وصخور جيرية متدلّمة وسجيل، وتمتاز بنسيجها السريّ والدملقي الجيد الفرز، والمادة السمنتية فيها كلسية مع وجود قليل من الدولومايت والباليكورسكايت. ويبلغ معدل تركيز خامس أوكسيد الفسفور (21-22) %، ويصل إلى أكثر من 30% في بعض السحنات، وتمتاز هذه الفوسفورايت بسمكها الكبير إذ يصل إلى عشرة أمتار في منطقة عكاشات (علي، 1985 وأبا حسين، 1987، واليوزكي والنقيب، 2002).

تضم فوسفورايت الأيوسين التي تعود إلى تكوين الرتقة (Ratga Fn.) أفقيين من الفوسفورايت، الأول بعمر الأيوسين الأسفل الذي ينكشف في منطقة الأثنى (قرب الحدود العراقية الأردنية)، وتمتاز الفوسفورايت فيه بتعاقبها مع صخور الحجر الجيري النيوميولايتي والصوان، وتتكون من فتات داخلي فوسفاتي ودمالق برازية (fecal pellets) وكوبرولايت، والمادة السمنتية كلسية أو سليكية (Al-Bassam and Hagopian, 1983) ويبلغ معدل تركيز خامس أوكسيد الفسفور 14% (الجليل، 1983). أما الأفق الثاني فهو بعمر الأيوسين الأوسط وينكشف في منطقة وادي عكاش الغربي، وتتكون الفوسفورايت فيه من دمالق وسرئيات ناعمة، وتكون جيدة الفرز، والمادة السمنتية كلسية (Al-Bassam and Al-Hashimi, 1982). ويبلغ معدل تركيز خامس أوكسيد الفوسفور حوالي 12.33% (اسماعيل، 1986).

يتكون معدن الأبتايت بشكل عام من ارتباط جذر الفوسفات  $(PO_4)^{3-}$  مع ايون موجب ثنائي الشحنة عادة مثل  $(Ca^{2+})$ ، وايون سالب أحادي الشحنة مثل  $(F^-, Cl^- \text{ or } OH^-)$  (Tribble et al., 1995). يشغل الكالسيوم

(Ca<sup>2+</sup>) في أطوار معدن الأبتايت موقع الايون الموجب الثنائي، أما موقع الايون السالب فيشغله أيون الفلور فيسمى الفلورايتايت *fluorapatite* (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub>)، أو أيون الكلور فيسمى كلورايتايت *chlorapatite* (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Cl<sub>2</sub>) أو جذر الهيدروكسيل فيسمى هيدروكسي أبتايت *hydroxyapatite* (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>OH<sub>2</sub>)، فضلاً عن معدن الكربونيت أبتايت *carbonate-apatite*; Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>CO<sub>3</sub>.XH<sub>2</sub>O (Kostov, 1968). تمثل هذه المعادن أعضاء طرفية End members في سلسلة معادن الأبتايت وتكون نادرة الوجود بشكل طبيعي، في حين تنتشر الأطوار المحصورة بينها في مختلف الصخور. تختلف هذه المعادن بطبيعة وجودها؛ إذ يوجد الفلورايتايت في الصخور النارية والمتحولة والرسوبية (McArthur, 1978)، ويعد من أطوار فوسفات الكالسيوم المستقرة ثيرموديناميكيا في اغلب البيئات السطحية (Tribble et al., 1995). ويوجد الفلورايتايت في الصخور الرسوبية ذات المنشأ البحري بشكل طور يحتوي على نسبة من إحلال CO<sub>3</sub> محل PO<sub>4</sub>، لذلك يسمى بالفلورايتايت الكربوناتي *carbonate-fluorapatite* (Ca<sub>10</sub>(PO<sub>4</sub>CO<sub>3</sub>)<sub>6</sub>F<sub>2</sub>) الذي يسمى أيضاً بالأبتايت البحري (marine apatite)، أو الفرانكولايت (Francolite) (McArthur, 1985). وتجدر الإشارة الى إن معدن الفلورايتايت الكربوناتي (الفرانكولايت) هو المعدن الفوسفاتي الوحيد الذي تم تشخيصه في جميع الفوسفورايت العراقية، كما هو الحال في فوسفورايت المناطق المجاورة، وشمال أفريقيا، (Al-Bassam, 1974 and Gallala et al., 2016).

يسهم التحليل العاملي (Factor analysis) في استنباط العوامل البيئية التي تتحكم بتوزيع العناصر وإطوارها المعدنية في الرواسب الفوسفاتية وتأثير هذه العوامل في آلية تكوين الفرانكولايت والمعادن المصاحبة. ذكر (Al-Bassam and Al-Allak, 1985) في دراسة التحليل العاملي لعموم رواسب الفوسفورايت العراقية (الطباشيري الأعلى والبالوسين الأوسط والأيوسين المبكر والأيوسين الأوسط) وجود اربع عوامل رئيسية هي: (1) عامل التيارات البحرية الصاعدة والحركات التكتونية، وتأثير البراكين تحت البحرية. (2) عامل بيئة الجرف القاري الضحلة الدافئة ذات ملوحة ودالة حمضية أكثر من الطبيعي. (3) عامل تركيز الفوسفور. (4) عامل خفض Mg في المحلول. وأشار إلى ان مجموع هذه العوامل تمثل الظروف الفيزيوكيميائية للترسيب والوضع العام للحوض الرسوبي. كما أشار (اسماعيل، 1986) في دراسته للعوامل المتحكمة بتوزيع العناصر في رواسب الايوسين الاوسط وجود ثلاث عوامل رئيسية هي: (1) عامل تركيز الفوسفور في بيئة الترسيب، (2) عامل ترسيب الباليكورسكايت، (3) عامل التجوية.



شكل 1: خارطة جيولوجية للصخور المنكشفة بالصحراء الغربية العراقية.  
(after Buday and Jassim, 1984).

يهدف البحث الى استنباط العوامل التي تحكمت بالتوزيع المعدني والجيوكيميائي لفوسفورايت التكاوين الأنفة الذكر ضمن بيئاتها الرسوبية.

### طرائق العمل

تم اختيار تحاليل كيميائية لـ 34 إنموذجا من فوسفورايت التكاوين الأنفة الذكر وكما يلي: (7) نماذج من فوسفورايت الطباشيري (Al-Bassam and A-Alak, 1985)، و (9) نماذج من فوسفورايت الباليوسين (أبا حسين، 1987 واليوزكي، 2004)، و (3) نماذج من الأيوسين الأسفل (الجليل، 1983)، و (15) نموذج من الأيوسين الأوسط (اسماعيل، 1986). أجريت معالجات إحصائية تمثلت بالتحليل العاملي (factor analysis) لبيانات التحاليل الكيميائية لتحديد العوامل المتحكممة بالتوزيع المعدني والجيوكيميائي.

أما معاملات الارتباط بين العناصر ضمن المجموعة الواحدة (r-mode correlation coefficients.) فيتحكم فيها عدد النماذج المستخدمة عند مستوى معنوي (significance) معين. وقد استخدم البرنامج الحاسوبي (SPSS) لغرض حساب معاملات الارتباط عند مستوى المعنوية 0.95. وتعد أدنى قيم لمعاملات الارتباط التي يظهر عندها التأثير المعنوي للعلاقة بين متغيرين (عنصرين) عند هذا المستوى من المعنوية هي تلك التي تفصل بين معاملات الارتباط المعتمدة وبين معاملات الارتباط غير المهمة والمهملة. وبلغت القيم الدنيا لمعامل الارتباط  $(r=+/- 0.39)$ . ولذلك سنتناول في الدراسة الحالية القيم المعنوية فقط لمعاملات الارتباط أثناء الإشارة إلى العلاقات بين العناصر.

### النتائج والمناقشة

أشارت التحاليل المعدنية إلى أن المعادن السائدة في الفوسفورايت العراقية تتمثل بشكل رئيس بمعادن الفرانكولايت ونسب ثانوية من المعادن الكربوناتيّة (الكالسايت وقليل من الدولومايت) والمعادن الطينية (الباليكوسكايت وقليل من المونتموريللوناييت) ومعادن السليكا (الجالسيدوني) وأكاسيد الحديد، فضلا عن وجود نسب قليلة ومتباينة من الأملاح (بشكل هالاييت وجبسوم ثانويين) ومادة عضوية، (اليوزكي، 2004).

وبهدف توضيح التوزيع الكيميائي للعناصر بحسب محتوى الفوسفورايت من المعادن، فقد تم اختيار بعض الأكاسيد الرئيسية ممثلة عن الأطوار المعدنية لتحديد معاملات ارتباط (R-mode correlation coefficients) الأكاسيد الرئيسية والعناصر الأثرية بها. إذ يمثل  $(P_2O_5)$  مجموعة الفرانكولايت، و  $(Al_2O_3)$  يمثل مجموعة المعادن الطينية، و  $(SiO_2)$  يمثل معادن السليكا، و  $(Fe_2O_3)$  يمثل أطوار أكاسيد الحديد. مع الأخذ بنظر الاعتبار أن بعض الأكاسيد والعناصر تتوزع في أكثر من طور معدني.

تظهر معاملات الارتباط القوية بين خامس أكسيد الفسفور من عناصر الفلور (F) والسترونتيوم (Sr) والخارصين (Zn) وثالث أكسيد الكبريت  $(SO_3)$ . إذ يدخل الفلور كعنصر رئيس في معدن الفرانكولايت ويشغل موقعين في القناة البلورية الوسطية للتركيب البلوري للفرانكولايت (Yi et al., 2013). (جدول 1)

أما السنترونيوم فهو من العناصر الأثرية التي توجد في الفرانكولايت ويعزى هذا الإغتناء إلى إن عنصر السنترونيوم يترافق مع الفسفور في المياه البحرية، فكلاهما يوجدان في الأحياء البحرية حيث يتركز الفسفور في الأجزاء الرخوة من الكائن الحي البحري، بينما يوجد السنترونيوم في الجزء الصلب المتمثل بالأصداف والقشور والأشواك والعظام والأسنان (Prevot-Lucas and Lucas, 1980 and Simandl et al., 2012) التي عادة ما تتكون من معدن الأراكونايت بشكل رئيس. يمتاز النظام البلوري المعيني القائم للأراكونايت بقابليته على استضافة عنصر السنترونيوم أكثر من الكالسايت (Dhannoun and Al-Dabbagh, 1979) بحسب العدد التناسقي للكالسيوم في الأراكونايت الذي يقارب العدد التناسقي للسنترونيوم ولذلك يتركز فيه. وعند تحلل كل من الأجزاء الرخوة والصلبة ضمن الأجزاء العليا لرواسب القاع فإن المياه البينية في مسامات هذه الرواسب سوف تكون غنية بالفسفور والكالسيوم والسنترونيوم مما تساعد على تكوين معدن الأبتايت البحري (الفرانكولايت) (Bliskovsky et al., 1967 in McArthur, 1985). أو يعزى إلى عملية الفسفة التي تتضمن تفاعل  $H_2PO_4^-$  مع كربونات الكالسيوم (Navas and Al-Garra, 2001)، ولا يتأثر محتوى Sr بهذه العملية (Prevot-Lucas and Lucas, 1980)، ولذلك فإن محتواه سيبقى موروثا في الفرانكولايت. ويشير نصف قطره

الايوني الكبير والبالغ 1.12 انكستروم الى احتلال السترونتيوم الموقع Ca (I) في بلورة الفرانكولايت (Slansky, 1986). ولا يعتقد انه يشغل الموقع Ca (II) لعدم ملائمة هذا الموقع لتقبل  $Sr^{2+}$  (اليوزبكي والدباغ، 2019)، لكن ربما يتأثر بالعمليات التحويرية التي تحدث لاحقا على محتوى الفوسفورايت من Sr.

وتجدر الإشارة الى وجود السنترونيوم في المعادن الكربوناطية مثل معدن الكالسايت المصاحب للفرانكولايت في صخور الفوسفورايت من خلال إحلاله محل الكالسيوم (Yi et al., 2013)، إلا إن وجوده الشائع هو في الفرانكولايت وكما اشار معامل الارتباط بينه وبين خامس أكسيد الفسفور.

يحل عنصر الخارصين محل الكالسيوم في الفرانكولايت بالرغم من تباين توزيعه بين الفرانكولايت والمعادن الطينية والمعادن الكربوناطية. ويعزى مصدر الخارصين الى اغتناء المادة العضوية به، ومن خلال مراحل النمو المتزايد للمكونات الفوسفاتية، فان المادة العضوية تسهم باغناء الفرانكولايت بالخارصين.

أما الكبريت فيوجد في الفرانكولايت من خلال إحلاله بشكل  $(SO_4^{2-})$  محل الفوسفات  $(PO_4^{3-})$ . يرتبط  $SO_3^-$  بالفرانكولايت عن طريق إحلاله بشكل كبريتات محل الفوسفات نتيجة تماثل الشكل الرباعي الأوجه لهما (McArthur, 1978). ويعكس إحلال  $SO_4^{2-}$  تأثير البيئة الترسيبية ودرجة ملوحتها وطبيعة الحوض الرسوبي في الجرف القاري، وتأثير الحواجز تحت البحرية على ارتباط الحوض الرسوبي بالبحر المفتوح (Al-Bassam, 1992 and Shaltami et al., 2018). في حين اقترح (McArthur, 1978) بأن جميع الفرانكولايت البحرية لها محتوى متشابه من  $SO_4^{2-}$  حين تكوينها. كما يوجد الكبريت مع عدد من العناصر الجالكوفيلية بشكل كبريتيدات في المادة العضوية بهيئة معقدات، وإذا ما تعرضت المادة العضوية الى عملية أكسدة فانها تطلق الكبريت بشكل أيون الكبريتات (Shaltami et al., 2018).

يوجد الكالسيوم أيضا بأكثر من طور معدني كعنصر رئيس في معادن الفرانكولايت والكالسايت والدولومايت، ولذلك لا تظهر له علاقة واضحة تجاه هذه الأطوار. ان مصدر الكالسيوم هو مياه البحر وتحل الأجزاء الصلبة الكربوناطية مثل الأصداف والقشور والهياكل العظمية والأسنان والأشواك، ولذلك غالبا ما تغتني مسامات الجزء العلوي من رواسب القاع بالكالسيوم مما يساعد على تكوين أطواره المعدنية (Bentor, 1980). يحتل الكالسيوم موقعين في بلورة الأبتايت، الموقع الأول على المحور الثلاثي الذي يكون الكالسيوم فيه ذا تناسق تساعي (9-coordination)، أما الموقع الثاني على المحور السداسي، الذي يكون الكالسيوم فيه بتناسق سباعي (7-coordination) (McClellan, 1980). ويعتقد ان شروط تشابه او تقارب الشحنة (فرق شحنة واحدة) وتشابه نصف القطر الأيوني لا تمثل الشرط الأساسي لإحلال العدد الكبير من الايونات محل الكالسيوم، وذلك بسبب التباين بين أنصاف الأقطار الأيونية أو الشحنة أو كليهما لبعض الايونات بشكل كبير. ولعل طبيعة التناسق للأيون، ومدى تقارب هذا التناسق من تناسق الكالسيوم في كلا الموقعين يفسر عملية الإحلال لكثير من العناصر الرئيسية منها والأثرية (اليوزبكي، 2004). ولو فرضنا ان معدل التناسق في الموقعين Ca(I) و Ca (II) هو ثماني فان حدود التناسق الثماني هي  $0.732 < R+/R- < 1.0$  (Hurlbut and Klein, 1977)، وبما ان  $R-$  يمثل الأوكسجين الذي يكون نصف قطره في هذا التناسق 1.4 انكستروم (Shannon and Prewitt, 1970)، فان نصف قطر الايون الموجب  $R+$  ينحصر بين  $1.02 < R+ < 1.4$ .



لذلك فان الأيونات التي ستشغل الموقع الأول هي ذات نصف قطر ايوني اكبر من 0.99 انكستروم (وهو نصف قطر ايون الكالسيوم  $Ca^{2+}$ )، أما التي ستشغل الموقع الثاني فهي اصغر من 0.99 انكستروم؛ بسبب تناسقه السباعي. وبما ان الموقع الأول محاط بتسعة أوكسجين التابعة لمجموعة الفوسفات، لذلك من الصعوبة حصول عملية الإحلال أثناء المراحل التحويرية المبكرة أو المتأخرة، وإنما يحتفظ هذا الموقع بما ورثه من الايونات الموجبة الكبيرة مثل  $K^+$  و  $Sr^{2+}$  (Slansky, 1986 and Dione et al., 2018) في مرحلة تكوين الفرانكولايت. وينعكس ذلك عن طريق النسبة القليلة للإحلال محل الكالسيوم وهي 5% مقارنة بالنسبة المئوية للإحلال في موقع الفوسفات التي تصل إلى 30% (McClellan, 1980)، ولهذا السبب يبدو ان الموقع الثاني للكالسيوم هو أكثر تعرضاً للإحلال من الموقع الأول بسبب التناسق السباعي من جهة ووجوده حول القناة البلورية للأبتايت مما يسهل عملية التبادل الأيوني من جهة أخرى (Lanifranco, et al., 2004).

ترتبط عناصر ( $Mn$  و  $Cu$  و  $Ni$  و  $Cr$  و  $O_2K$  و  $Al_2O_3$ ) مع بعضها بعلاقات قوية- متوسطة، وهي تمثل مجموعة المعادن الطينية والعناصر الممتزة على أسطحها. يمتاز معدن الباليكورسكايت بسبب طبيعته البلورية ذات الألفية بامتزاز كثير من العناصر مثل  $K$  و  $Cu$  و  $Ni$  و  $Co$  داخل هذه الألفية أو على سطح حبيباته (Murray, 2002).

من المفروض ان تظهر علاقة  $MgO$  قوية مع مجموعة المعادن الطينية، إلا ان وجوده في أكثر من طور معدني مثل الباليكورسكايت والدولومايت والكالسايت لم يعط علاقة واضحة مع اي من هذه الأطوار. يتوزع المغنيسيوم أيضا بأكثر من طور معدني، ولكن على الأغلب يوجد في المعادن الطينية وخاصة مجموعة الباليكورسكايت المرافقة للرواسب الفوسفاتية. ويكون مصدره على الأغلب من التجهيز الفتاتي للمياه القارية الحاوية على دقائق المعادن الطينية التي تترسب في منطقة الجرف القاري مع الرواسب الفوسفاتية (Dione et al., 2018). ومن المتوقع ان تظهر علاقة بين خامس اوكسيد الفوسفور وأوكسيد الصوديوم بسبب الإحلال التعويضي الذي يحصل في الفرانكولايت نتيجة إحلال الكربونات ( $CO_3^{2-}$ ) والكبريتات ( $SO_4^{2-}$ ) محل الفوسفات ( $PO_4^{3-}$ ) حيث يحل الصوديوم بالمقابل محل الكالسيوم لتحقيق التوازن بالشحنة. ولكن يبدو ان إحلال الصوديوم في الفرانكولايت لا يحصل بنفس نسبة إحلال الكربونات او الكبريتات، إذ على الأرجح دخول عناصر أخرى إضافة للصوديوم تحل محل الكالسيوم وخاصة في الموقع الثاني للكالسيوم ( $Ca$  (II) لتحقيق التوازن بالشحنة لعملية الإحلال التعويضي. بينما يكون طور الهالايت هو أكثر الأطوار الحاوية على الصوديوم من خلال العلاقة القوية للصوديوم مع الكلور، لذلك لم تظهر علاقة بين الألمنيوم ( $Al_2O_3$ ) والصوديوم الذي غالبا ما يعد من العناصر الممتزة على المعادن الطينية.

تمثل السليكا ( $SiO_2$ ) المعادن السليكية المرافقة للرواسب الفوسفاتية وخاصة معدن الجالسيديوني الذي يوجد بشكل رواسب الجيرت، وهذه الأخيرة لا توجد ضمن الرواسب الفوسفاتية وإنما بشكل طبقات متعاقبة مع طبقات الفوسفورايت. ولذلك تظهر السليكا علاقات سالبة مع جميع العناصر بعضها قوية الى متوسطة، مثل علاقة السليكا مع اوكسيد الكالسيوم، حيث من المعروف ان الرواسب الفوسفاتية ذات



المادة السمنتية الكلسية تفتقر الى للسليكا، عدا بعض الرواسب ذات المادة السمنتية السليكية مثل رواسب فوسفورايت الأيوسين الأسفل.

أما أكاسيد الحديد فهي أيضا لا ترتبط مع بقية العناصر لوجودها بشكل أطوار معدنية مستقلة إما بشكل حبيبات دقيقة الحجم أو بشكل مادة سمنتية والتي تتباين نسبها في الرواسب الفوسفاتية.

### التحليل العاملي Factor Analysis

ان عامل المضاهاة يوضح علاقة وتوزيع العناصر مع بعضها البعض في الأطوار المعدنية التي تتكون منها الفوسفورايت. ولكن لغرض التعرف على العوامل التي تؤثر على تكوين الرواسب الفوسفاتية فقد تم إجراء التحليل العاملي بالاعتماد على البيانات الجيوكيميائية، لأن هذه الطريقة تتعامل مع العناصر كمجموعة متشابهة في سلوكها وتوزيعها.

يوضح الجدول (2) عدد العوامل والقيمة الوزنية لكل عامل. ويتضح ان العوامل الخمسة الأولى تمثل المعلومات بنسبة 81%، ويعد العاملان الأول والثاني أكثر العوامل تأثيرا إذ يمثلان حوالي 57% من هذه المعلومات، وتجدر الإشارة الى انه تم استخدام تحليل العوامل بعد التدوير لغرض الحصول على أكبر (أوضح) تباين، اي خفض مقدار التشتت في توزيع العناصر. كما تم حذف العناصر التي لها أوزان منخفضة على جميع المحاور. وفي ضوء هذا التحليل يمكن استنباط العوامل المؤثرة على تكوين الرواسب الفوسفاتية وتوزيع الأطوار المعدنية فيها. وفيما يلي وصف العوامل الخمسة ذات الأوزان العالية نسبة الى العوامل الأخرى التي لم يؤخذ بها.

#### العامل الأول (Factor 1):

يحتل هذا العامل (32.4%) من بين العوامل الاخرى المؤثرة، ويمثل مجموعة العناصر المرتبطة بالفرانكولايت وهي (F و P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> و SO<sub>3</sub> و Sr و Cr و Zn و V و Y و U)، (الأشكال 2-6)، إذ ان خامس أكسيد الفسفور مع الفلور وأوكسيد الكالسيوم تمثل مجتمعة العناصر الرئيسية المكونة لمعدن الفرانكولايت. ويرتبط أكسيد الكبريت مع هذه المجموعة حيث يحل محل جذر الفوسفات الرباعي بشكل جذر الكبريتات الرباعي. وهذا الإحلال يقابله إحلال ايونات أحادية مثل الصوديوم لتحقيق التوازن بالشحنة (Shaltami et al., 2018)، غير انه وجد ان الصوديوم لا يرتبط بشكل كبير بالفرانكولايت لأنه يوجد بشكل رئيس في طور آخر وهو معدن الهالايت، لذا يكون موقعه بينهما، وكما يلحظ موقعه بالأشكال (2-6). يرتبط عنصر السنترونيوم مع هذه المجموعة لكون المياه البحرية في المسامات البينية للجزء العلوي لرواسب القاع غنية بالسنترونيوم القادم من تحلل الأجزاء الكربوناتية الصلبة والمكونة بشكل رئيس من الأراكونايت (Compton and Bergh, 2016)، لذلك يحل محل الكالسيوم في موقع Ca(I) خلال مراحل تكوين الفرانكولايت. كذلك الحال مع عنصري الخارصين (Zn) والايتريوم (Y) الذين يحلان محل الكالسيوم في هذا الموقع خلال مرحلة التكوين. ويأتي الاغتناء بشكل رئيس بهذين العنصرين من المادة العضوية المتحللة خلال ظروف تحلل الأحياء الميتة المتجمعة على رواسب قاع البحر. وأما بالنسبة لعنصر اليورانيوم U فإنه يتوزع بين عدة أطوار؛ في الفرانكولايت (Jerden et

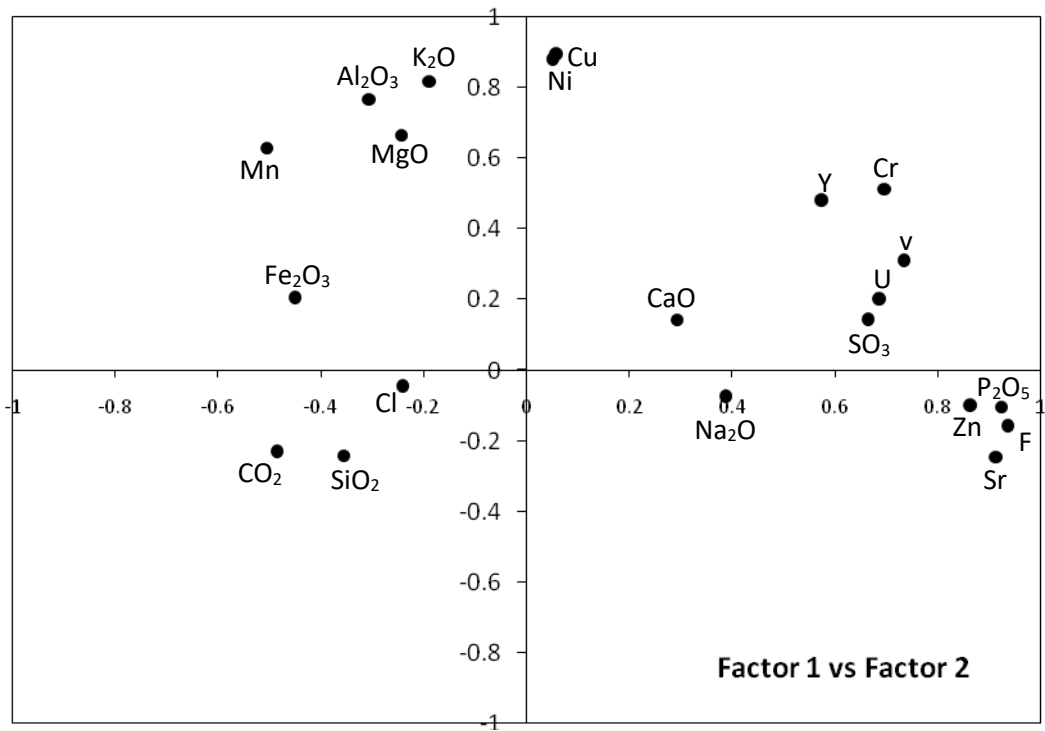
(Dawson and Hinton, 2003 and El-Anwar *et al.*, 2017), والكالسايت بصيغة احلال (Bremner, 1980). او يمتاز على المعادن الطينية والمادة العضوية (2003).

جدول 2: تحميل أوزان العناصر على المحاور بعد التدوير (Rotated Factor Matrix)

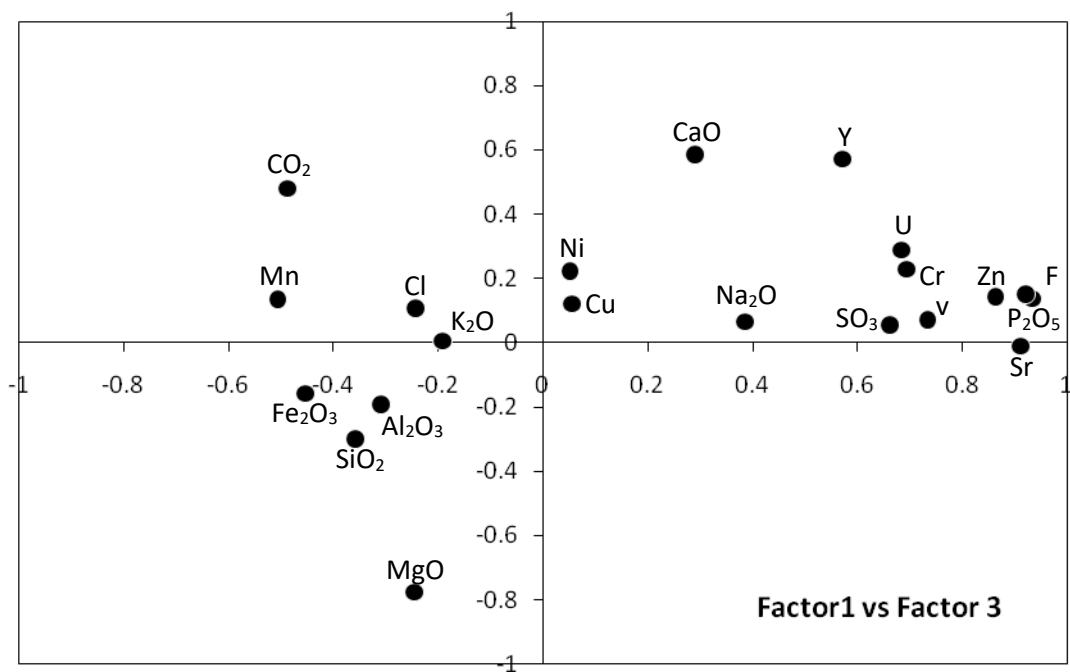
	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	النسبة النسبة التجميعية	النسبة النسبة التجميعية	النسبة النسبة التجميعية
						القيمة الوزنية للعامل Eigen Value	النسبة النسبة التجميعية	النسبة النسبة التجميعية
							Pct. Of Variance	Cum. Pct.
SiO <sub>2</sub>	-0.356	-0.240	-0.303	-0.274	<b>-0.771</b>	<i>Fact. 1</i>	6.813	32.4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.307	<b>0.769</b>	-0.195	0.054	0.078	<i>Fact. 2</i>	5.160	24.6
CaO	0.292	0.143	<b>0.582</b>	0.266	<b>0.647</b>	<i>Fact. 3</i>	2.406	11.5
MgO	-0.244	<b>0.667</b>	<b>-0.775</b>	-0.087	-0.004	<i>Fact. 4</i>	1.614	7.7
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.451	0.207	-0.157	-0.409	<b>0.367</b>	<i>Fact. 5</i>	1.065	5.1
Na <sub>2</sub> O	0.387	-0.072	0.066	<b>0.806</b>	0.131			
K <sub>2</sub> O	-0.190	<b>0.819</b>	0.006	-0.149	0.174			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<b>0.936</b>	-0.155	0.138	0.111	0.144			
F	<b>0.923</b>	-0.103	0.149	0.064	0.196			
Cl	-0.241	-0.043	0.104	<b>0.893</b>	0.096			
SO <sub>3</sub>	<b>0.664</b>	0.145	0.052	<b>0.476</b>	0.202			
CO <sub>2</sub>	<b>-0.486</b>	-0.228	<b>0.481</b>	-0.194	<b>0.423</b>			
Mn	-0.506	<b>0.631</b>	0.132	0.016	-0.091			
Cu	0.057	<b>0.897</b>	0.122	0.110	0.091			
Ni	0.051	<b>0.883</b>	0.219	-0.094	0.080			
Cr	<b>0.696</b>	<b>0.515</b>	0.230	0.066	-0.150			
Sr	<b>0.913</b>	-0.244	-0.009	-0.025	0.149			
Zn	<b>0.863</b>	-0.097	0.139	-0.129	0.086			
V	<b>0.734</b>	0.313	0.069	-0.277	0.283			
Y	<b>0.573</b>	0.484	<b>0.573</b>	-0.194	0.077			
U	<b>0.686</b>	0.204	0.289	-0.160	0.067			

إلا إن أكثر تركيز لـ U يكون في الفرانكولايت؛ إذ يعد الأخير احد مصادر اليورانيوم. يتوزع الكروميوم والفسفور بين الفرانكولايت والمعادن الطينية، ولكنهما يرتبطان بالفرانكولايت في حالة غياب او انخفاض تركيز المعادن الطينية. ان ارتباط كل من Cr و V مع هذه المجموعة يعزى الى قابلية هذه العناصر للإحلال بصيغ (CrO<sub>4</sub>) و (VO<sub>4</sub>) محل جذر الفوسفات في الفرانكولايت (Notholt, 1980).

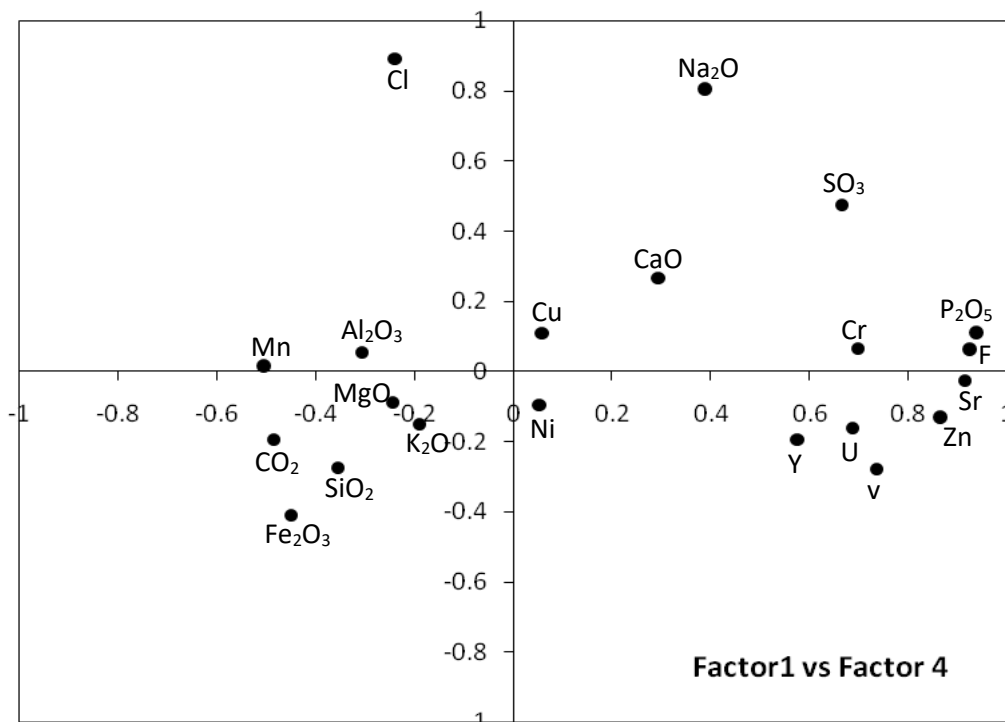
وفي ضوء ما تقدم فان هذا العامل يمثل عامل تركيز الفسفور الذي يؤدي الى تكوين الأبتايت. ومن المعتقد ان الفسفور يأتي من اغتناء المياه البحرية في الجزء الملامس لرواسب القاع بالكائنات والأحياء المجهرية الميتة ذات الإنتاجية العالية وتوفر كميات كبيرة من المغذيات، ولذلك يحصل اغتناء الرواسب بالمعادن العضوية (التي يدخل الفسفور في مكوناتها)، وعند تحللها تحرر الفسفور الى المياه البيئية في الجزء العلوي لرواسب القاع. وتجدر الإشارة الى وجود تجهيز بالفسفور من قبل المياه القارية والبحيرات الشاطئية (رغم كون نسبته قليلة مقارنة بمصدر الإغناء السابق).



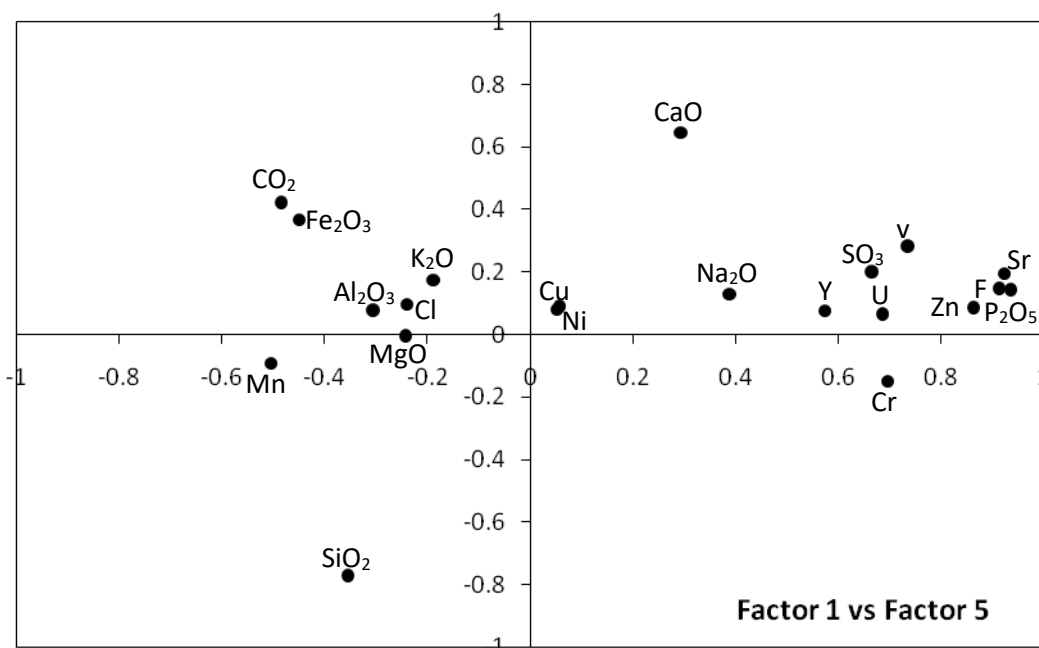
الشكل 2: توزيع العناصر بين العاملين الأول والثاني.



الشكل 3: توزيع العناصر بين العاملين الأول والثالث.



الشكل 4: توزيع العناصر بين العاملين الأول والرابع.

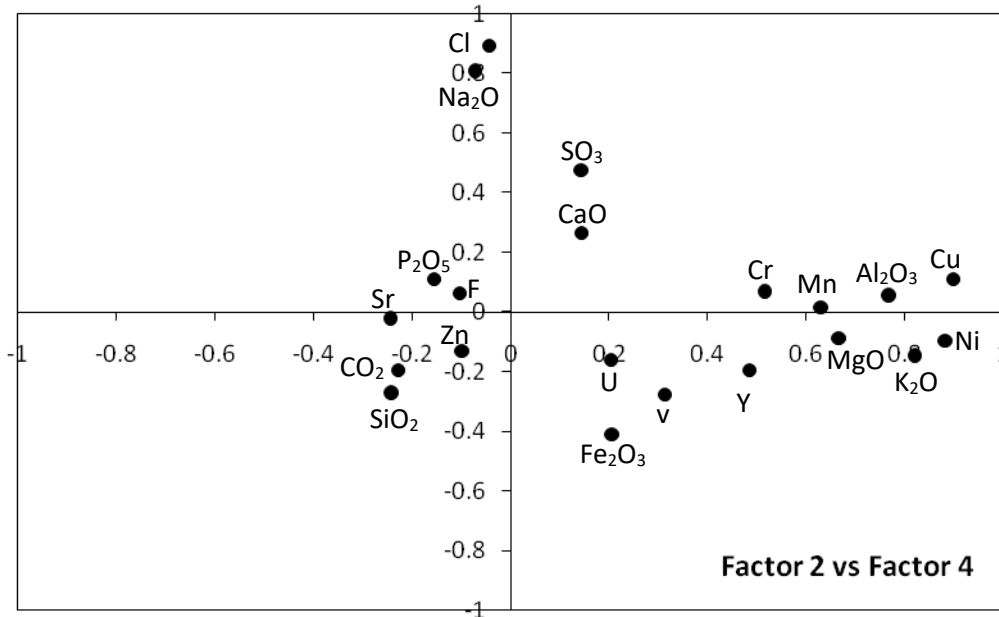


الشكل 5: توزيع العناصر بين العاملين الأول والخامس.

## العامل الثاني (Factor 2):

يشكل هذا العامل (24.6 %) من تأثير مجموع العوامل، ويعكس هذا العامل تأثير عناصر مجموعة المعادن الطينية ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $\text{MgO}$  و  $\text{K}_2\text{O}$ ) فضلا عن عناصر ( $\text{Cr}$  و  $\text{Ni}$  و  $\text{Cu}$  و  $\text{Mn}$ )

التي تعد من العناصر الممتزة بشكل شائع على المعادن الطينية. وهذه العناصر الأثرية تتركز في المادة العضوية الموجودة في المياه العميقة، وعند تحلل المادة العضوية تحررت هذه العناصر الى المياه وترافقت مع عناصر مجموعة الفرانكولايت خلال التيارات البحرية الصاعدة وترسبت على المعادن الطينية المرافقة لترسيب الأبتايت في نفس البيئة وهي منطقة الجرف القاري. فضلا عن مرافقة عنصر (Cr) مع (Ni) و (Cu) في المادة العضوية المتحللة وانتقاله بواسطة التيارات البحرية الصاعدة الى بيئة الجرف القاري، حيث يمتز على أسطح المعادن الطينية أو يجل بعضه محل (Al) فيها.



الشكل 6: توزيع العناصر بين العاملين الثاني والرابع.

وتجدر الإشارة الى ان المغنيسيوم له تأثير قليل على هذا العامل لوجوده في طور المعادن الطينية بشكل معدن الباليكورسكايت من جهة وفي طور الدولومايت من جهة أخرى بالرغم من ان نسبة الدولومايت منخفضة في الرواسب الفوسفاتية. ان عملية تكون معدن الباليكورسكايت نتيجة التجهيز بالمغنيسيوم من المياه القارية في بيئة منطقة الجرف القارية تعمل على سحب المغنيسيوم من مياه البحر (Filippelli, 2011)، الأمر الذي يسمح بتكوين الأطوار الفوسفاتية ومنها معدن الفرانكولايت.

ولهذا ممكن لهذا العامل ان يعكس تأثير البيئة الترسيبية، إذ تمثل المعادن الطينية رواسب الأطيان القادمة بواسطة المياه القارية لتصل الى منطقة الجرف القاري ومن ثم تحولها الى معدن الباليكورسكايت. كما تمثل منطقة الجرف القاري مواقع وصول التيارات البحرية الصاعدة الغنية بالعناصر المكونة للمعادن الفوسفاتية. تمتاز منطقة الجرف القاري للجزء الجنوبي والغربي من بحر التيثيس بكونها منطقة ضحلة ودافئة ومالحة تساعد على ترسيب معادن الأبتايت والكربونيت والمعادن الطينية (Al-Bassam, 1992 and El-Anwar et al., 2017).

**العامل الثالث (Factor 3):**

يحتل هذا العامل تأثيراً قليلاً بين العوامل المؤثرة إذ يبلغ وزنه (11.5 %)، ويمثل هذا العامل تأثير الكالسيوم وكذلك التأثير السلبي للمغنيسيوم. يوجد الكالسيوم كما سبق ذكره في الفرانكولايت والكالسايت والدولومايت كعنصر رئيس. أما المغنيسيوم وكما يظهر من معاملات الارتباط ومن خلال التحليل العاملي فإنه يدخل (يستهلك) في الكالسايت بشكل Mg-calcite، وفي الدولومايت وفي المعادن الطينية (مثل الباليكورسكايت)، إذ إن الأطيان التي تصل إلى البحر غالباً ما تحتوي على معدن المونتموريلونايت الذي يتحول إلى معدن الباليكورسكايت من خلال سحب المغنيسيوم من مياه البحر (Dione et al., 2018). ولهذا يظهر من الأشكال وقوع MgO في الجهة الأخرى من المحور المقابلة لـ CaO. إن عملية السحب الدائم للمغنيسيوم من مياه البحر سوف تخفض نسبة Mg/Ca فتسمح بتكون الأبتايت. وتجدر الإشارة إلى أن بعض الكربونيت وخاصة العضوية منها تعاني من عملية الإذابة وربما يعزى ذلك إلى تغير في قيم pH مما يؤدي إلى ارتفاع تركيز الكالسيوم وانخفاض النسبة Mg/Ca فتعطي فرصة أكبر لتكوين الأبتايت. ويطلق على هذه العملية "عملية تحول الكربونيت العضوي إلى أبتايت biological Ca-carbonate transformation"، إلا أن تأثيرها يكون قليلاً مقارنة بعملية استهلاك المغنيسيوم (اليوزبكي والدباغ، 2019).

يدخل عنصر الليتريوم أيضاً في معادن الكربونيت، إذ يحل محل الكالسيوم (Yi et al., 2013) and Shaltami et al., 2018) ولذلك يلحظ توزيعه بشكل واضح بين العاملين الأول والثالث. يمكن أن يعكس هذا العامل تأثير استهلاك المغنيسيوم في المعادن الطينية وفي Mg-calcite والكمية المنخفضة من الدولومايت، لذا يطلق على هذا العامل "عامل استهلاك المغنيسيوم". وبالرغم من أن تأثير هذا العامل منخفض (حوالي 11%) نسبة إلى العاملين السابقين، إلا أنه أكثرهم تأثيراً على بقية العوامل، ويعزى ذلك إلى أن استهلاك المغنيسيوم يساعد على تكوين وترسيب الأبتايت (العامل الأول) ودخوله في المعادن الطينية (العامل الثاني)، وإذابة بعض الكربونيت الكلسية وترسيب السليكا كمادة سمّنتية بدل الجيرية في بعض الرواسب الفوسفاتية (العامل الخامس).

**العامل الرابع (Factor 4):**

يمثل هذا العامل تأثير عناصر الصوديوم والكلور والكبريت. إذ يمثل كل من الصوديوم والكلور معدن الهالالايت. وبالرغم من انخفاض تأثير هذا العامل الذي يبلغ (7.7 %) إلا أنه يعكس تأثير عامل الملوحة (salinity)، مع الأخذ بنظر الاعتبار أن كلا من الصوديوم والكلور ممكن أن يوجد في الأبتايت من خلال إحلال الصوديوم محل الكالسيوم والكلور محل الفلور. إلا أن كلتا الحالتين قليلة كما يظهر من معاملات الارتباط القوية بينهما والضعيفة مع الأبتايت ووقوع الصوديوم بين الكلور وخامس أكسيد الفسفور (الأشكال 2-6).. وأما بالنسبة لثالث أكسيد الكبريت، فإنه ربما يعكس وجوده بشكل متبخرات (جبسوم ثانوي).

**العامل الخامس (Factor 5):**

تمثل السليكا أكثر العناصر تأثيراً على هذا العامل. وبالرغم من انخفاض تأثيره (5.1%) إلا أنه يعكس تأثير السليكا التي عادة ما تأتي من الأحياء المجهرية البحرية مثل قشور الراديولاريا و diatom و ooZ والأشواك السليكية التي تمثل المصدر الرئيس للسليكا في المياه العميقة (Slansky, 1986 and Filippelli, 2011)، وتنتقل هذه السليكا خلال التيارات البحرية الصاعدة إلى بيئة ترسيب الأبتايت في الجرف القاري.

ويظهر من الأشكال (2-6) تحميل الكالسيوم وثنائي أكسيد الكربون أيضاً على هذا العامل، وربما يعزى ذلك إلى ظروف ترسيب السليكا بشكل طبقات من الجيرت التي تقابلها إذابة الكربونيت أو توقف ترسيبها، ويظهر ذلك من خلال تعاقب الصخور الكربونيتية مع طبقات الجيرت وكذلك وجود الحشوة السليكية (مثل بعض رواسب الأيوسين الأسفل) أو أكاسيد الحديد بدل الكلسية في الرواسب الفوسفاتية كما توضح ذلك قيم معامل الارتباط القوية العكسية بينهما (-0.93)، وموقع كل من  $SiO_2$  و CaO على طرفي العامل. وتجدر الإشارة إلى أن هنالك مصدراً آخر للسليكا يتمثل بالسليكا الفتاتية المنقولة (detrital silica) إلى بيئة ترسيب الأبتايت في المياه الضحلة من الجرف القاري. وفي ضوء ذلك يمكن أن يمثل هذا العامل "عامل الترسيب المتعاقب" cyclicity أي تعاقب الكربونيت والجيرت مع الفوسفات.

ومما يؤدي صحة هذا التحديد للعوامل من خلال التحليل الإحصائي هو عدم تأثير أي من هذه العوامل على العوامل الأخرى كما يظهر من الجدول (3) عدا العامل الثالث كما سبق ذكره.

جدول 3: معاملات التأثير بين العوامل الخمسة المؤثرة.

	<b>Factor1</b>	<b>Factor2</b>	<b>Factor3</b>	<b>Factor4</b>	<b>Factor5</b>
<b>Factor 1</b>	0.91	-0.22	0.25	0.17	0.14
<b>Factor 2</b>	-0.05	0.76	0.47	0.29	0.32
<b>Factor 3</b>	0.34	0.48	-0.23	-0.76	-0.08
<b>Factor 4</b>	0.21	0.34	-0.66	0.55	-0.31
<b>Factor 5</b>	-0.03	-0.07	-0.47	-0.01	0.88

**الاستنتاجات**

في ضوء الدراسة الإحصائية التحليلية للعوامل المؤثرة على تكوين وترسيب وتعاقب الأطوار المصاحبة والمتعاقبة في الفوسفورايت العراقية، يمكن تحديد العوامل الأكثر فاعلية، وهي كما يلي:

1. عامل إغناء الفسفور (ارتفاع تركيز الفسفور) وهو أكثر العوامل تأثيراً ويشكل 32%،
2. العامل البيئي، الذي يمثل البيئة الترسيبية للأبتايت والكربونيت والسليكا وهي بيئة الجرف القاري ذات المياه الدافئة والضحلة والمالحة التي تمثل بيئة ترسيب الأبتايت البحرية (الباليكورسكايت

- والمونتموريلونائيت) والتي تمثل في الوقت نفسه بيئة وصول تأثيرات التيارات البحرية الصاعدة. ويعد هذا العامل من العوامل المؤثرة بشكل كبير إذ يشكل 24%،
3. عامل استهلاك المغنيسيوم، ويعكس عملية سحب المغنيسيوم من المياه ودخوله في معادن الباليكورسكايت والكريونيت (Mg-calcite and dolomite). وهذا العامل له تأثير قليل إذ يشكل 11%،
4. عامل الملوحة، ويتمثل بتأثير ارتفاع ملوحة المياه بشكل أكثر من الطبيعي بقليل ويشكل 8%،
5. عامل الترسيب الدوري المتعاقب للكربونيت والجيرت مع الفوسفورايت في الرواسب الفوسفاتية، ويشكل حوالي 5%

### المصادر العربية

- أبا حسين، اسماء علي عبد الرحمن (1987) دراسة جيوكيميائية وبتروغرافية ومعدنية لوحدات الباليوسين الفوسفاتية في منطقة الكعرة - عكاشات. اطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم - جامعة بغداد، 277 صفحة.
- اسماعيل، سعد علي (1986) بتروغرافية ومعدنية وبيوكيميائية الصخور الفوسفاتية لعصر الأيوسين الأوسط في وادي عكاش الغربي - الصحراء الغربية، العراق. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم - جامعة الموصل، 172 صفحة.
- الجيل، حكمت صافي مصطفى (1983) جيوكيميائية ومعدنية فوسفات عصر الأيوسين الأسفل في الصحراء الغربية. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم - جامعة بغداد، 147 صفحة.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق (2004) الجوانب البتروغرافية والبيوكيميائية وتأثيرها على خطوط إنتاج الأسمدة الفوسفاتية ومطروحاتها / القائم - غربي العراق. أطروحة دكتوراه غير منشورة، كلية العلوم، جامعة الموصل، 278 صفحة.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق والدباغ، سالم محمود 2019. جيوكيميائية الفوسفورايت والصخور المصاحبة لها ضمن تكوين عكاشات (الباليوسين الأوسط) في منجم عكاشات، الصحراء الغربية العراقية. الجزء الثاني: العناصر الأثرية. المجلة العراقية الوطنية لعلوم الأرض، المجلد 19، العدد 2، ص 100-118.
- اليوزبكي، قتيبة توفيق والنقيب، سالم قاسم (2002) التقييم البتروغرافي والمعدني والبيوكيميائي لصخور منجم عكاشات وخطات النفايات لخطوط إنتاج صناعة الفوسفات. مجلة علوم الرافدين، مجلد 13، العدد 4، ص 70-90.
- علي، عباس اكرم (1985) التحليل السحني لتكوين أم ارضمة في مناطق مختارة من الصحراء الغربية - العراق. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة بغداد، العراق، 190 صفحة



محمد، ابراهيم قاسم (1985) بتروغرافية وجيوكيميائية الصخور الفوسفاتية لعصر الكريتاسي الأعلى / الباليوسين في منطقة الرطبة H3- في الصحراء الغربية - العراق. رسالة ماجستير غير منشورة، كلية العلوم - جامعة بغداد، 266 صفحة.

### المصادر الأجنبية

- Al-Bassam, K. S. (1974) The Mineralogy and Geochemistry of the Marine Sedimentary Phosphate Deposits of Iraq and Other Areas in the Middle East. Unpublished Ph. D. Thesis, University of Wales, UK. 360P.
- Al-Bassam, K. S. (1992) Genesis of the Late Cretaceous-Early Tertiary Phosphorites in Iraq. *Iraqi Geological Jour.*, 25 (3), 80-103.
- Al-Bassam, K. S. and Al-Allak, M.M. (1985) Factors Controlling the Deposition of Some Tethyan Phosphorites of Iraq. *Chemical Geology*, 51, 199-212.
- Al-Bassam, K. S. and Al-Hashimi, H. (1982) Middle Eocene Phosphorite of the Western Desert, Iraq. Internal Report of S.O.M., Iraq.
- Al-Bassam, K. S. and Hagopian, D. (1983) The Lower Eocene Phosphorites of the Western Desert, Iraq. *Sedi. Geol.*, 33, 295-316.
- Al-Bassam, K.S. and Al-Haba, Y.Q. (1990) The Geology and Organic Geochemistry of the Upper Cretaceous and Lower Tertiary Black Shales Associated Phosphorites and Limestones from the Western Desert, Iraq. *Iraqi Geol. Jour.*, 23 (1) 1-15.
- Altschuler, Z.S., Clarke, R. S. and Young, E.J. (1958) Geochemistry of Uranium in Apatite and Phosphorite. *Shorter Contributions to General Geology. Geological Surv. Prof. Paper 314-D*, 45-87.
- Bentor, Y. K. (1980). Phosphorites-The Unsolved Problems. In Y. K. Bentor (Ed.), A Symposium of the 10th International Congress On Sedimentology, 29 (pp. 3-18). The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists.
- Bremner, J.M. (1980) Concretionary Phosphorite from SW Africa. *The Journal of the Geological Society*, 137, Part VI, 773-785.
- Compton, J. S., & Berg, E. W. (2016). Phosphorite deposits on the Namibian shelf. *Marine Geology*, 380, 290-314.
- Dawson, J.B. and Hinton, R.W. (2003) Trace Element Content and Partitioning in Calcite, Dolomite and Aptite in Carbonatite, Phalaborwa, South Africa. *Mineralogical Magazine*, 67 (5), 921-930.

- Dhannoun, H.Y. and Al-Dabbagh, S.M. (1979) Mineralogy and Geochemistry of Lower-Middle Miocene Limestone from Jebel Atshan in Northern, Iraq. *Jour. Geol. Soc.*, 12(1), 9-16.
- Dione, N. P., Diagne, M., Diouf, M. B., Fall, M., & Giresse, P. (2018). Petrography and Mineralogy of the Eocene Phosphate Deposit of Tobane (Tambour, Senegal). *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 06(05), 193–209. <https://doi.org/10.4236/gep.2018.65016>
- Buday, T. and Jassim, S. Z. (1984). Tectonic Map of Iraq, 1:1000000. In *Geosurv*, Iraq. Geological Survey (S.O.M.) Publications, Baghdad.
- El-Anwar, E. A. A., Mekky, H. S., Abd El Rahim, S. H., & Aita, S. K. (2017). Mineralogical, geochemical characteristics and origin of Late Cretaceous phosphorite in Duwi Formation (Geble Duwi Mine), Red Sea region, Egypt. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(1), 157–169. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.004>
- Filippelli, G. M. (2011). Phosphate rock formation and marine phosphorus geochemistry: The deep time perspective. *Chemosphere*, 84(6), 759–766.
- Gallala, W., Saïdi, M., El Hajii, S., Zayani, K., Gaied, M. E., & Montacer, M. (2016). Characterization and Valorization of Tozeur-Nefta Phosphate Ore Deposit (Southwestern Tunisia). *Procedia Engineering*, 138, 8–18. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.02.047>
- <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.019>
- <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2016.04.006>
- Hurlbut, C.S. and Klein, C. (1977) *Manual of Mineralogy*.(after Dana, J.D.) 19<sup>th</sup> Edition. Tr. by Cornelius, et al., John Wiley & Sons INC. New York. 532P.
- Jerden, J.L., Sinha, A.K. and Zelazny, L. (2003) Natural Immobilization of Uranium by Phosphate Mineralization in an Oxidizing Saprolite-soil Profile: Chemical Weathering of the Coles Hill Uranium Deposit, Virginia. *Chemical Geology*, 199 (1-2), 129-157.
- Kostov, I., 1968 *Mineralogy*. Trans. by Oliver & Boyd LTD. Printed by Robert & Sons LTD. London, 587P.
- Lanfranco, A.M., Schofield, P.F., Murphy, P.J., Modson, M.E., Mosselmans, J.E. and Valsami-Jones, E. (2004) Characterization and Identification of Mixed-metal Phosphates in Soils: The Application of Raman Spectroscopy. *Mineralogical Magazine*, 67 (6), 1299-1319.

- McArthur, J.M. (1978) Systematic Variation in the Contents of Na, Sr, CO<sub>3</sub> and SO<sub>4</sub> in Marine Carbonate-fluorapatite and their Relation to Weathering. *Chem. Geol.*, 21, 89-112.
- McArthur, J.M. (1985) Francolite Geochemistry-compositional Controls during Formation, Diagenesis, Metamorphism and Weathering. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 23-35.
- McClellan, G.H. (1980) Mineralogy of Carbonate-fluorapatite. *The Journal of the Geological Society*, 137, Part VI, 675-681.
- Murray, H. (2002) Industrial Clays Case Study. Mining Minerals and Sustainable Development. Report No. 64, International Institute for Environment Development. IIED & WBCSD.
- Navas, A. S. and Al-Garra, A. M. (2001) Genesis of Apatite in Phosphate Stromatolites. *European Journal of Mineralogy*, 13 (2).
- Notholt, A.J.G. (1980) Economic Phosphatic Sediments: Mode of Occurrence and Stratigraphical Distribution. *The Journal of the Geological Society*, 137, Part VI, 657-660.
- Prevot, L. and Lucas, J. (1980) Behavior of some Trace Elements in Phosphatic Sedimentary Formations. A Symposium of the 10<sup>th</sup> Inter. Cong. On Sed. By Bentor, 1980 (Edi.). *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, 29, 31-40.
- Shaltami, O.R., Fares, F.F., EL Oshebi, F.M., Errishi, H., Santos, P. and Fello, N, M. (2018). Mineralogy and Geochemistry of the Phosphate Nodules Hosted in the Melaz International Conference on Healthcare , Applied science and Engineering 1 st -2 nd February 2018 University of California , Riverside United States of America Proceeding Book MINERA. International Conference on Healthcare, Applied Science and Engineering, University of California, Riverside, USA, 2018, February, 22-30.
- Shannon, R.D. and Prewitt, C.T. (1970) Revised Values of Effective Ionic Radii, (Short communications), *Acta Cryst.*, B26, 1046-1048. <https://doi.org/10.1107/S0567740870003576>.
- Simandl, G. J., Paradis, S., & Fajber, R. (2012). Sedimentary Phosphate Deposits Mineral Deposit Profile F07. *Geological Fieldwork*, January, 217-222.
- Slansky, M. (1986) *Geology of Sedimentary Phosphates*. (Tr.) by Cooper, P. and Notholt, A., North Oxford Academic Publishers Ltd., 210P.
- Tribble, J.S., Arvidson, R.S., Michael Lane III, M. L. and Mackenzie, F.T., 1995. Crystal Chemistry, and Thermodynamic and Kinetic Properties of Calcite, Dolomite, Apatite and Biogenic Silica: Applications to Petrologic Problems. *Sedimentary Geology*, Vol. 95, 11-37.
- Yi, H. and others, 2013. A carbonate-fluoride defect model for carbonate-rich fluorapatite. *American Mineralogist*, Vol. 98 pp. 1066-1069.

ملحق: التحاليل الكيميائية للأكاسيد الرئيسية (*wt%*) وبعض العناصر الأثرية (*ppm*) لنماذج من الفوسفورايت العراقية

العمر	M. Eiocene.															L. Eiocene.		
المصدر	اسماعيل (1986)															عبد الجليل (1983)		
S. No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	19	18	17.5	17.14	13.5	11.5	18.5	12.05	18.48	11.58	15.94	16.9	16.6	12.33	12.05	14.7	14.48	12.91
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.4	0.43	0.31	0.34	0.37	0.37	0.35	0.43	0.39	0.38	0.3	0.24	0.43	0.39	0.53	0.11	0.04	0.07
SiO <sub>2</sub>	3.2	3.18	1.9	1.35	3.4	2.4	1.73	3.6	2.93	2.24	2.17	1.55	2.74	2.69	3.22	13.8	0.74	28.59
CaO	51.8	52.7	52.7	53.2	52.13	52.58	52.4	52.4	52.06	53.75	51.01	52.42	50.96	52.54	50.6	44.28	53.4	38.33
MgO	0.68	0.67	0.69	0.57	0.95	0.57	0.64	0.95	0.62	0.64	0.54	0.5	0.62	0.73	0.89	0.1	0.25	0.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.37	0.41	0.27	0.19	0.28	0.72	0.24	0.39	0.27	0.32	0.13	0.13	0.27	0.31	0.33	0.63	0.12	0.5
SO <sub>3</sub>	1.47	1.81	1.27	1.35	1.44	0.6	1.11	0.93	1.96	1.26	1.28	2.75	1.6	1.17	1.1	0.69	0.59	0.76
Na <sub>2</sub> O	0.55	0.6	1.12	0.53	0.51	0.36	0.62	0.45	0.54	1.07	3.13	1.29	1.75	0.7	0.52	0.42	0.19	0.3
K <sub>2</sub> O	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.06	0.04	0.05	0.06	0.04	0.03	0.03	0.05	0.05	0.06	0.01	0.04	0.07
F	2.57	2.69	2.13	1.28	1.71	1.75	2.3	1.66	2.71	1.61	1.9	2.28	2.18	1.52	1.68	2.21	1.84	1.51
Cl	0.21	0.34	0.95	0.22	0.42	0.05	1.11	0.08	0.15	1.08	2.56	1.08	2.2	0.47	0.26	0.2	0.05	0.1
CO <sub>2</sub>	18.5	19.5	19.6	22.01	25.16	29	18.8	27.9	20.1	27.1	21.9	22.5	22.72	26.66	29.01	22.85	27.63	16.84
Zn	184	170	124	93	95	150	95	130	144	77	88	75	150	110	424	85	71	97
Cu	44	37	40	26	30	36	27	31	30	33	26	22	26	30	28	11	15	28
Ni	76	73	48	34	34	101	40	55	57	44	21	26	52	48	35	10	8	9
Cr	317	317	227	231	194	245	234	168	207	147	177	113	177	202	88	58	21	41
Sr	849	870	827	866	778	521	852	561	828	625	848	770	820	624	568	873	724	554
V	150	114	101	85	73	175	99	97	76	108	65	49	64	85	174	123	137	86
U	63	49	53	52	31	31	52	36	50	37	50	36	42	33	38	48	42	51
Y	238	216	210	201	143	134	212	125	217	140	196	150	216	136	112	16	121	136

العمر	Cretaceous.							Paleocene.								
المصدر	Al-Bassam and Al-Alak (1985)							ابا حسين (1987)					اليوزبكي (2004)			
S. No.	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	11.53	14.00	16.16	13.89	8.8	7.2	11.92	19.58	21.6	18.25	20	19.35	25.61	24.61	25.55	24.59
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.23	0.26	0.36	0.28	0.31	0.30	0.71	0.48	0.26	0.19	0.26	0.14	0.29	0.27	0.24	0.39
SiO <sub>2</sub>	11.74	28.41	2.89	14.34	52.11	43.39	8.33	2.99	1.82	1.20	1.16	0.78	1.36	1.64	0.93	0.73
CaO	41.20	30.00	49.50	40.25	26.6	28.77	39.92	51.03	52.53	53.15	54.95	54.12	51.31	51.71	52.21	51.53
MgO	5.42	7.00	1.27	4.51	0.14	1.49	2.49	1.28	0.62	0.12	0.17	0.42	0.71	0.69	0.57	0.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.12	0.51	1.11	0.58	0.14	0.15	0.42	0.24	0.16	0.08	0.1	0.03	0.21	0.23	0.18	0.21
SO <sub>3</sub>	0.72	1.00	0.94	0.88	0.36	0.71	1.21	1.3	1.44	0.65	0.75	0.65	1.34	1.56	1.21	1.25
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.42	0.39	0.32	0.20	0.28	0.65	0.86	0.94	0.7	0.58	0.35	0.32	0.5	0.63	0.33
K <sub>2</sub> O	0.03	0.02	0.06	0.04	0.02	0.03	0.1	0.05	0.03	0.01	0.01	0.02	0.04	0.03	0.03	0.03
F	1.43	1.55	2.19	1.72	1.07	0.61	1.64	2.56	2.82	2.23	2.50	2.33	3.21	3.03	3.01	3.11
Cl	0.13	0.24	0.25	0.14	0.17	0.21	0.11	0.16	0.29	0.44	0.04	0.05	0.24	0.66	0.62	0.18
CO <sub>2</sub>	27.60	16.45	23.24	22.43	11.5	16.9	25.38	16.96	17.47	23.3	21.8	22.8	12.31	12.31	10.22	13.17
Zn	72	65	84	74	109	63	140	474	550	143	121	141	535	514	503	447
Cu	23	25	17	22	17	14	37	24	25	2	2	19	26	24	21	24
Ni	16	14	36	22	37	21	68	33	36	14	14	23	42	54	28	31
Cr	107	133	125	122	200	100	201	244	288	293	260	287	343	230	335	295
Sr	752	688	1143	861	219	550	873	1419	913	311	300	560	1314	1437	1226	1175
V	16	49	46	37	28	45	49	97	112	25	20	110	103	74	85	59
U	26	17	34	26	29	16	25	56	45	14	14	34	46	39	54	41
Y	16	13	16	15	12	17	37	58	62	74	122	38	53	43	50	43