

دراسة جيوكيميائية للعناصر المشعة (اليورانيوم، الثوريوم، البوتاسيوم) في صخور رقعة اللاذقية

د. أحلام إبراهيم*

د. محمد سعيد المصري**

عفراء غدير***

(تاريخ الإيداع 8 / 6 / 2020. قُبِلَ للنشر في 30 / 9 / 2020)

□ ملخص □

يتناول هذا البحث دراسة جيوكيميائية للعناصر المشعة (اليورانيوم، الثوريوم، البوتاسيوم) في صخور مختلفة التركيب ضمن رقعة اللاذقية، حيث تم تحديد تركيز النظائر المشعة ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K باستخدام جهاز كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة، وجهاز التحليل الطيفي للأشعة السينية (XRD) لتحديد الأطوار الفلزية. بينت الدراسة وجود تباين في تركيز ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K في صخور منطقة الدراسة، ولوحظ أن النشاط الإشعاعي يرتبط بشكل رئيس بعنصر الثوريوم، ويرجع ذلك لوجود فلزات حاملة للثوريوم. يرجع انخفاض تركيز البوتاسيوم في معظم العينات لانخفاض نسبة فلزات الميكا والفلدسبار، أو فسادها إلى فلزات الإيليت، والمونتموريللونيت. دلت النسبة Th/U على بيئة مرجعة ملائمة لترسيب اليورانيوم في معظم العينات الرسوبية، ويعزى ارتفاع هذه النسبة في عينات المعقد الأفيوليتي (باستثناء صخور السرينتينييت)، نتيجة أكسدة وهجرة اليورانيوم من هذه الصخور باتجاه الصخور التابعة للتشكيلات الرسوبية، وثبات الثوريوم وعدم تأثره بالظروف المؤكسدة. بينت النسبة Th/K سيطرة فلزي الإيليت والمونتموريللونيت في أغلب العينات، مع وجود فلزات حاملة للثوريوم المقاومة للتجوية في عينة البازلت، ورسوبيات بحيرة 16 تشرين. أظهرت الدراسة الفلزية وجود أطوار فلزية لليورانيوم، والثوريوم، بالإضافة إلى فلزات حاملة للعناصر المشعة كالمونازيت، والزركون.

كلمات مفتاحية: جيوكيمياء، عناصر مشعة، صخور، رقعة اللاذقية.

* أستاذ مساعد - قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** أستاذ - قسم الوقاية والأمان، هيئة الطاقة الذرية، اللاذقية، سورية.

*** طالبة دكتوراه - قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

Geochemical Study of Radioactive Elements (Uranium, Thorium, and Potassium) in the Rocks of Latakia Sheet

Dr. Ahlam Ibrahim*
Dr. Mohammad Saied Al-Masri**
Afraa Ghadeer***

(Received 8 / 6 / 2020. Accepted 30 / 9 / 2020)

□ ABSTRACT □

This paper deals with a geochemical study of radioactive elements (uranium, thorium, and potassium) in rocks of different composition within the Latakia sheet, where the concentration of radioactive isotopes ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K was determined using a high-purity germanium detector, and an X-ray diffraction method was (XRD) used to determine the mineral phases.

The study showed a variation in the concentration of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in the rocks of the study area, and it was observed that the radioactivity is mainly related to the element thorium, due to the presence of metals carrying thorium. The low concentration of potassium in most samples is due to the low percentage of mica and feldspar metals, or their corruption to elite and montmorillonite.

The ratio Th/U indicated a suitable reference environment for deposition of uranium in most sedimentary samples, and this high percentage in the ophiolitic complex samples (with the exception of serpentinite rocks) is due to the oxidation and migration of uranium from these rocks towards rocks of sedimentary formations, and the stability of thorium and is not affected by oxidative conditions.

The ratio Th/K indicated the predominance of elite and montmorillonite in most samples, with the presence of weather-resistant thorium-bearing metals in the basalt sample, and the sediments of Lake 16 October.

The mineralogical study revealed the existence of mineral phases of uranium and thorium, in addition minerals carrying radioactive elements such as monazite and zircon

Keywords: Geochemistry, Radioactive Elements, rocks, Latakia sheet.

*Associate Professor - Department of Geology, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Professor - Department of Protection and Safety, Atomic Energy Commission, Lattakia, Syria.

*** Postgraduate Student (PhD) - Department of Geology, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تحتوي العديد من الصخور الطبيعية على عناصر مشعة مثل ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K ، وعلى الرغم من أن هذه النويدات المشعة موزعة على نطاق واسع في الهواء، الرواسب، المياه، مواد البناء والمكونات الأخرى، إلا أن تركيزها يعتمد على الظروف والخصائص الجيولوجية والجيوكيميائية والجغرافية لمنطقة الدراسة، وهي تظهر بمعدلات مختلفة على مستوى العالم [1].

العناصر المشعة التي تحدث بشكل طبيعي، هي المصدر الرئيس للإشعاع الأرضي، تنتقل هذه العناصر من الغلاف الصخري إلى النظم البيئية الطبيعية عبر عدة مسارات كالتجوية وتآكل الصخور الأرضية، عمليات النقل عن طريق المياه والرياح والجاذبية [2]، ويتأثر توزيع وتركيز العناصر المشعة بالمدخلات الطبيعية والبشرية المنشأ [3].

أهمية البحث وأهدافه:

تحتوي المصادر الطبيعية (الصخور النارية والرسوبية) كميات مختلفة من العناصر المشعة، ويختلف تركيز هذه العناصر باختلاف تركيب الصخر. تتجلى أهمية البحث بتحديد تركيز العناصر المشعة في أنواع مختلفة من الصخور، وتحديد تأثير ليثولوجية الصخور وطبيعة الترب على حركية وامتزاز العناصر. تتلخص أهداف هذه الدراسة بالآتي:

I. تحديد تركيز العناصر المشعة (اليورانيوم، الثوريوم، البوتاسيوم) في صخور منطقة الدراسة.

II. دراسة سلوك وحركية العناصر المشعة في صخور منطقة الدراسة.

طرائق البحث ومواده:

نفذت الدراسة على مرحلتين حقلية ومخبرية:

أجريت العديد من الجولات الحقلية لمنطقة الدراسة، وجمعت عينات صخرية تضم مجموعة من الصخور مختلفة التركيب، بوزنة (500 g)، تم جمع عينات من التربة الزراعية، والرسوبيات بوزنة (2-3 kg) لكل عينة، وتم اختيار 35 عينة نموذجية لهذه الدراسة، كما حددت إحداثيات العينات باستخدام جهاز GPS.

تضمنت المرحلة المخبرية تحليل العينات في مخبر هيئة الطاقة الذرية بدمشق، تم استخدام كاشف الجرمانيوم العالي النقاء (HPGe) تم تحديد تركيز عناصر ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K من خلال قياس نشاط ووليداتهم (^{214}Pb (351.9 keV)، ^{214}Bi (609 keV) وجرى قياس ^{40}K ، ^{238}U (^{234}Th)، ^{232}Th باستخدام خطوط الطاقة على التوالي 1460 keV، 911 keV، 63.3-92.5 keV. أجريت معايرة الكفاءة باستخدام عينات مرجعية (RGK، RGTH، RGU) مقدمة من الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA).

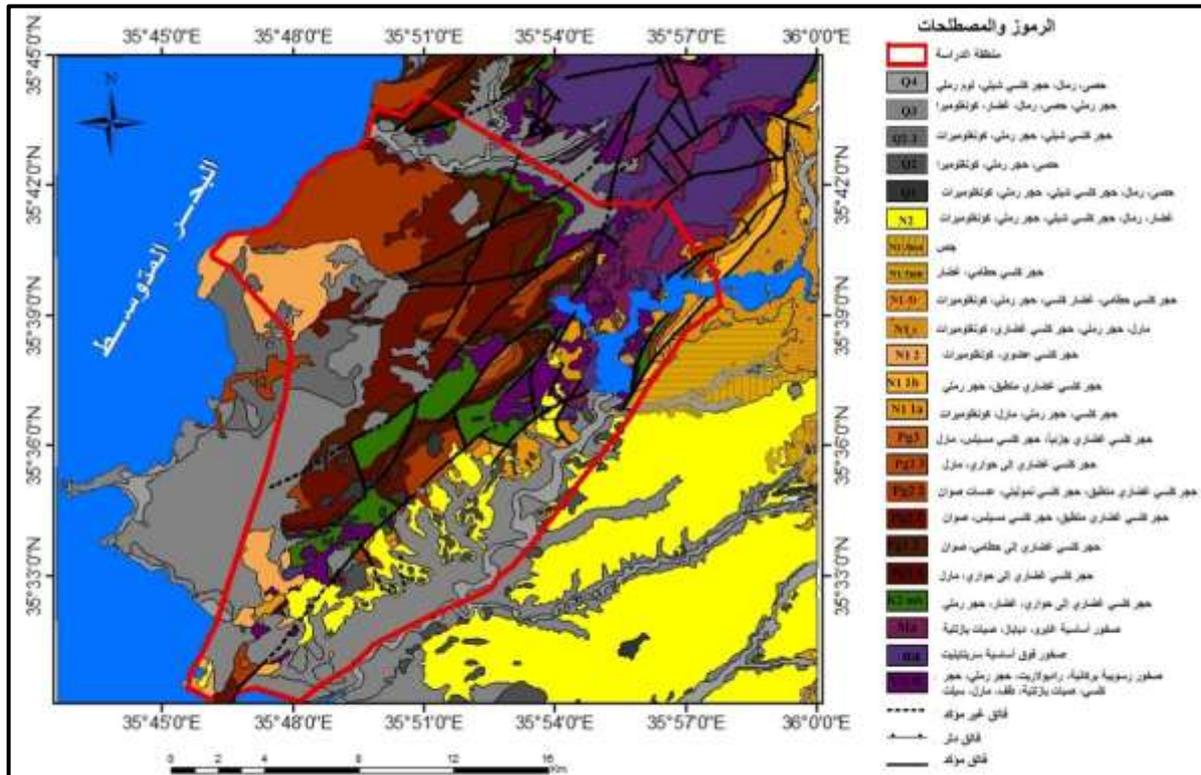
تم استخدام جهاز قياس انعراج الأشعة السينية بطريقة المسحوق XRD لتحديد الأطوار الفلزية، حيث خضعت العينات للتجفيف في درجة حرارة 100 لعدة ساعات ثم بُردت، ثم طُحنت لمسحوق ناعم حتى 53 ميكرون، أُخذ من العينة (20-30g)، ثم طُحنت العينات مع الكحول من أجل تجانس الحبات، ووضعت في مستطيلين زجاجيين (حامل للعينات). نضع قطرتين من الجليسرين والكحول على سطح العينة بقصد جعلها متجانسة، وتترك العينات للجفاف ثم تصبح جاهزة للتحليل باستخدام XRD، وتم تحديد الأطوار الفلزية باستخدام برنامج (X- powder-2010).

الوضع الجيولوجي لمنطقة الدراسة:

تمثل منطقة الدراسة جزءاً من رقعة اللادقية الجيولوجية 1:50000 [4]، حيث تقع ضمن الإحداثيات كما هو موضح في الشكل (1):

N: 35°44'00" – 35°30'00"

E: 35°45'00" – 35°58'00"



الشكل (1) موقع منطقة الدراسة على خارطة اللادقية بمقياس 1:50000.

تقع رقعة اللادقية في شمال غرب سورية، وتضم أراضيها وحدتين بنيوتين هما منطقة البابر البسيط، وحوض نهر الكبير الشمالي النيوجيني. تتميز منطقة البابر البسيط بوجود المعقد الأفيوليتي المعتلي على هامش الصفيحة العربية الشمالية، والمحصور بين زمرتين رسوبيتين من الأسفل رسوبات الجوراسي حتى الماستريخت الأسفل في الشمال، ومن الأعلى رسوبات من الماستريخت الأعلى حتى الرباعي والتي تغطي صخور المعقد الأفيوليتي.

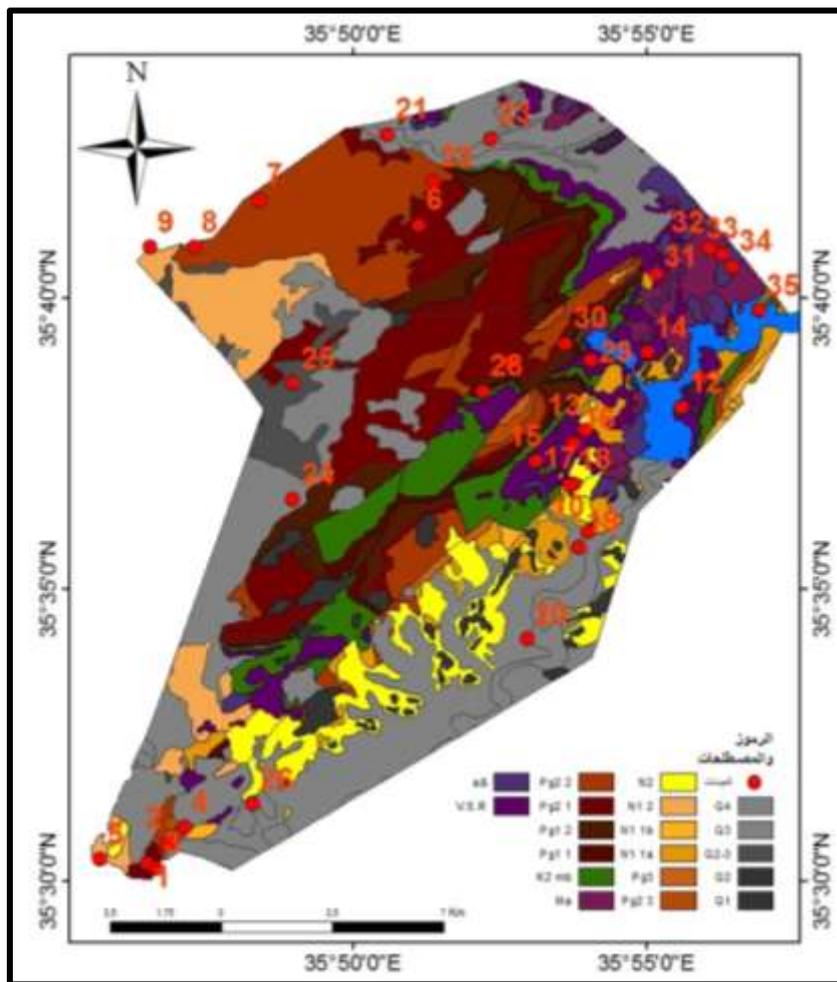
يحد البابر البسيط من الجنوب الشرقي صدع اللادقية-كلس التراكي والذي يغطي في عدة أماكن برسوبات النيوجين التابعة لحوض نهر الكبير الشمالي. تعود أقدم الصخور المتكشفة في رقعة اللادقية إلى زمرة الصخور الرسوبية - البركانية والصخور الأفيوليتية، وقد أعطى لها الباحثون عمراً يمتد بين أعلى الترياسي وأعلى الكريتاسي، وتوجد بشكل رئيس وسط وشمال منطقة الدراسة، تعدّ التنكشات الكريتاسية محدودة الانتشار ضمن المنطقة، وتقتصر على الرسوبيات العائدة لعمر الماستريخت الأعلى، تتكون توضعات الماستريخت الأعلى من حجر كلسي غضاري، يكون في القاعدة حجر رملي وغضار وكونغولوميرا، وتنتشر توضعات الباليوجين بشكل واسع ضمن منطقة الدراسة حيث تشكل تقريباً معظم التنكشات الواقعة في القسم الغربي من المنطقة، والمحصورة بين نهر الكبير الشمالي وخط شاطئ البحر بدءاً من مدينة اللادقية جنوباً ومروراً فوق معظم الأراضي السهلية والتلالية الممتدة إلى الشمال منها، تتألف التوضعات

الباليوجينية عموماً من تتاوب صخور كلسية وكلسية غضارية حوارية ومازل غنية بالمنخربات مع تداخلات من الصخور الكلسية المسيلسة والصوان [5].

تشكل الرسوبيات النيوجينية جزءاً هاماً من رقعة اللاذقية، وهي واسعة الانتشار بحيث تغطي تكشفتها ثلث مساحة الرقعة تقريباً، وهي ذات منشأ بحري، وتتكشف التوضعات الرباعية بشكل واسع في رقعة اللاذقية، وتعتبر نموذجية من حيث تنوعها ووضوحها، وتعود في منشئها إلى توضعات برولوفال (توجد عند سفوح التلال وأقدام المنحدرات وتتألف من ركام المنحدرات وحطام الصخور القاسية من كتل وحصى من الحجر الكلسي الدولوميتي والصوان)، نهريّة، بحرية، رحيّة، وتوضعات كولوفال (مواد مارلية سيلتية وغضارية غنية بالمواد العضوية (الدبال) وبالطفل، تأخذ عموماً لوناً قاتماً أسود أو بني مشكلة تربة زراعية) [5].

النتائج والمناقشة:

أسقطت إحداثيات العينات الموضحة في الجدول (1) على خارطة منطقة الدراسة باستخدام برنامج ArcGIS 10.3 كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) خارطة جيولوجية لمنطقة الدراسة موضح عليها مواقع أخذ العينات.

الجدول (1) يبين إحصائيات العينات ونتائج قياس التحليل الغامي للعينات ضمن منطقة الدراسة بوحدة (ppm) و (Bq /kg).

رقم العينة	العمر الزمني	الوصف الليتولوجي	إحصائيات العينات		⁴⁰ K%	⁴⁰ K (Bq/Kg)	²³² Th		²³⁸ U	
			E	N			ppm	(Bq/Kg)	ppm	(Bq/Kg)
1	أيوسين أسفل Pg ₂ ¹	حجر كلسي مع مواد بيثومية	35° 46' 28.1"	35° 30' 17.6"	0.105	33±3	< 0.32	< 1.3	1.61±0.32	20±4
2	أيوسين أوسط Pg ₂ ²	بريشيا فالفية	35° 46' 49.4"	35° 30' 38.1"	0.287	90±4	1.77±0.17	7.2±0.7	1.21±0.24	15±3
3	أيوسين أسفل Pg ₂ ¹	حجر كلسي مع اسفلت سائل	35° 46' 37.7"	35° 30' 12.8"	0.159	50±4	0.49±0.17	2.0±0.7	0.81±0.29	10±3.6
4	أيوسين أوسط Pg ₂ ²	حجر كلسي مع مواد بيثومية	35° 47' 7.5"	35° 30' 54.9"	0.149	46.9±4.6	0.57±0.25	2.3±1.0	0.81±0.32	10±4
5	ميوسين أوسط N ₁ ²	حجر كلسي رملي مستحاثي	35° 45' 40.1"	35° 30' 21.7 "	0.063	20±5	< 0.32	< 1.3	8.06±0.89	100±11
6	أيوسين أسفل Pg ₂ ¹	حجر كلسي كتلي	35° 51' 5.7"	35° 41' 15.8"	0.188	58.9±4.8	0.81±0.29	3.3±1.2	0.73±0.24	9.0±3.0
7	أيوسين أوسط Pg ₂ ²	رمال شاطئية	35° 48' 23"	35° 41' 41.9"	0.402	126±3	< 0.32	< 1.3	1.29±0.32	16±4
8	أيوسين أوسط Pg ₂ ²	حجر كلسي	35° 47' 16.7"	35° 40' 53"	0.351	110±5	1.20±0.17	4.9±0.7	1.13±0.24	14±3
9	ميوسين أوسط N ₁ ²	حجر كلسي كتلي	35° 46' 31.3"	35° 40' 33.4 "	0.023	7.2±3	< 0.32	< 1.3	2.90±0.32	36±4
10	ميوسين أسفل N ₁ ^{1 a}	كلس غضاري	35° 53' 59.5"	35° 36' 00 "	0.488	153±9	1.32	2.46±0.32	10 ±1.3	1.85±0.56
11	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	رسوبيات بحيرة 6[تشرين	35° 55' 54"	35° 38' 38.5"	0.159	50. ±3.7	2.23	1.25±0.17	5.1±0.7	0.56±0.24
12	ميوسين أعلى N ₁ ^{3 m}	حجر كلسي مدلمت	35° 55' 35"	38° 8 ' 35°	0.088	27.6±4.8	0.167	0.54±0.22	2.2±0.9	3.23±0.56
13	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	صخور سيليكاتية غضارية	35° 53 ' 57"	37° 44.2" 35°	0.607	190±10	6.75	2.70±0.49	11±2	< 0.40
14	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	صخور سيليكاتية غضارية	35° 54' 59.8"	35° 39' 5"	0.527	165±7	3.02	2.21±0.25	9±1	0.73±0.32
15	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	صخور سيليكاتية غضارية	35° 53' 6.3"	35° 37' 12.1"	0.616	193±9	4.36	3.19±0.27	13.0±1.1	0.73±0.32
16	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	سربنتينيت	35° 54 ' 43.7 "	35° 37' 30.3 "	0.015	< 5	0.8	< 0.32	< 1.3	< 0.40
17	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	فتات سربنتينيت	35° 53 ' 45.3 "	35° 36' 49.2 "	0.015	< 5	0.8	< 0.32	< 1.3	< 0.40
18	ماسنريخت أعلى K ₂ ^{2 b}	كلس غضاري	35° 53 ' 40.9"	35° 36' 48.2"	0.166	52±11	0.94	1.30±0.59	5.3±2.4	1.37±0.40
19	بليستوسين أعلى Q ₃	رسوبيات رباعية	35° 53' 49.7"	35° 35' 44"	0.405	127±8	0.44	0.76±0.29	3.1±1.2	1.69±0.48
20	هولوسين حديث Q ₄	رسوبيات رباعية	35° 52' 57.4"	35° 34' 9.1"	0.456	143±9	1.17	2.85±0.49	11.6±2.0	2.42±0.40
21	هولوسين حديث Q ₄	رمال شاطئية - وادي قنديل	35° 49 ' 58.5"	35° 43' 25.3"	0.130	41±3	1.65	0.66±0.17	2.7±0.7	< 0.40
22	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	سربنتينيت	35° 51' 21.3"	35° 42' 0.6"	0.015	< 5	0.8	< 0.32	< 1.3	< 0.40
23	بليستوسين أعلى Q ₃	رسوبيات نهر وادي قنديل	35° 53' 45.3"	35° 36' 49.2"	0.485	152±9	1.76	2.14±0.39	8.7±1.6	1.21±0.32
24	بليستوسين أعلى Q ₃	كلس حواري ابيض اللون	35° 49' 58.5"	35° 43' 25.3"	0.089	28±4	0.70	0.57±0.22	2.3±0.9	0.81±0.32
25	بليستوسين أوسط Q ₂₋₃	حجر كلسي غضاري	35° 51' 21.3"	35° 42 ' 0.6"	0.265	83±5	1.07	1.47±0.25	6.0±1.0	1.37±0.32
26	بليستوسين أعلى Q ₃	تربة زراعية	35° 52' 19.7"	35° 42 ' 45 "	0.329	103±9	3.76	4.55±0.74	18.5±3.0	1.21±0.32
27	أيوسين أسفل Pg ₂ ¹	كلس غضاري	35° 48' 58"	32.7" 35° 36'	0.127	40±5	1.6	0.64±0.29	2.6±1.2	< 0.40
28	بالويسين أعلى Pg ₂ ²	كلس غضاري	35° 48' 58"	35° 38' 32.7"	0.073	23±4	0.8	< 0.32	< 1.3	< 0.40
29	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	كلس حواري قاسي	35° 52' 11.7"	35° 38' 24.5"	0.562	176±4	1.1	0.44±0.25	1.8±1.0	< 0.40
30	بالويسين أسفل Pg ₁ ¹	كلس حواري	35° 54' 2.2"	35° 38 56.3"	0.0798	25±5	1.725	0.69±0.27	2.8±1.1	< 0.40

الجدول (1) يبين إحدائيات العينات ونتائج قياس التحليل الغامي للعينات ضمن منطقة الدراسة بوحدة (ppm) و (Bq/kg).

رقم العينة	العمر الزمني	الوصف الليتولوجي	إحدائيات العينات		⁴⁰ K%	⁴⁰ K (Bq/Kg)	²³² Th		Th/U
			E	N			ppm	(Bq/Kg)	
31	ميوسين أوسط N ₂	كلس غضاري	35° 53 '36.5"	35° 39 '13.9"	0.575	180±6	2.92±0.22	11.9±0.9	1.64
32	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	بازلت فاسد	35° 55'9.2"	35° 40 '25.4"	0.015	< 5	8.85± 0.74	36±3	3.91
33	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	سربنتين فاسد	35° 56'2.6"	35° 40 '52.5"	0.025	8±3	< 0.32	< 1.3	0.41
34	ترياسي أعلى- كريتاسي أعلى	سربنتين	35° 56 '17.1"	35° 40 '46.0"	0.015	< 5	< 0.32	< 1.3	0.8
35	ماسترخت أعلى K ₁ ^b	رسوبيات بحيرة 16 تشرين	35° 56'26.8 "	35° 40 '33.3"	0.008	2.6±8	2.46±0.25	10±1	6.15

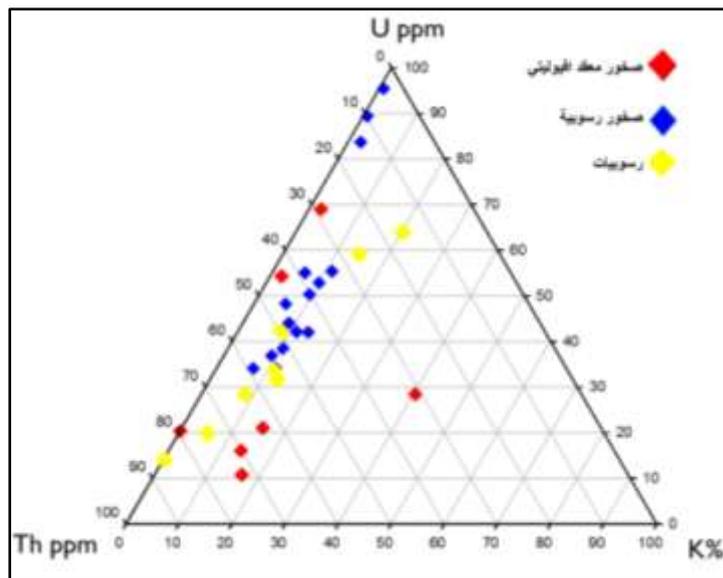
أظهرت نتائج قياس التحليل الغامي للعينات التي تم جمعها وجود ²³⁸U، ²³²Th، ⁴⁰K كما هو مبين في الجدول (1)، حيث يعطى تركيز العناصر المشعة (K، U، Th) بتركيز مكافئ لوجودها في القشرة الأرضية، تم التعبير عن تركيز ²³⁸U و ²³²Th بأجزاء من مليون (ppm)، وتركيز ⁴⁰K بالنسب المئوية (%). بحيث يحسب النشاط الإشعاعي لكل عينة بالشكل الآتي [6]:

$$12.3 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ of } ^{238}\text{U} = 1 \text{ ppm U}$$

$$4.08 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ of } ^{232}\text{Th} = 1 \text{ ppm Th}$$

$$313 \text{ Bq kg}^{-1} \text{ of } ^{40}\text{K} = 1\% \text{ K}$$

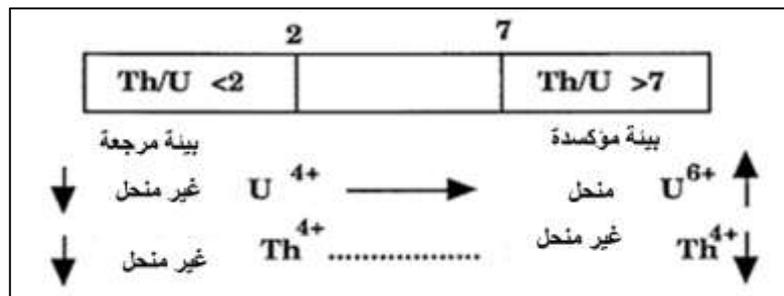
تم رسم مخطط K-U-Th بالاعتماد على النتائج الموضحة في الجدول (1)، حيث تم إعادة حساب تركيز اليورانيوم، الثوريوم، والبوتاسيوم في العينات على شكل نسب مئوية % 100 من خلال العلاقة (Uppm+Thppm+K%=100) ومن ثم حساب تركيز كل عينة كنسبة مئوية وإسقاط هذه النتائج على المخطط المبين في الشكل (3)، حيث يوضح العلاقة بين العناصر، نجد بأن النشاط الإشعاعي في عينات منطقة الدراسة مرتبط باليورانيوم والثوريوم وبشكل أقل بالبوتاسيوم، ويلاحظ زيادة عدد العينات التي تقع فوق خط % 50 للثوريوم مقارنة باليورانيوم، وبالتالي يرتبط النشاط الإشعاعي بشكل رئيس بالثوريوم، يرجع هذا الارتفاع لوجود فلزات مشعة حاملة للثوريوم، كالزركون، والتيتانيوم، الأبيدوت، الأباتيت، السفين.



الشكل (3) مخطط K-U-Th للعينات المدروسة.

❖ نسبة Th/U:

يرتبط اليورانيوم والثوريوم ارتباطاً جيوكيميائياً قوياً، ويوجد كل منهما في حالات الأكسدة الرباعية والسداسية في معظم البيئات الجيولوجية. يكون اليورانيوم في بيئة التجوية أكثر قابلية للذوبان وللحركة من الثوريوم في المياه ذات الأكسدة الطبيعية، ويميل اليورانيوم إلى تكوين ارتباطات قوية بشكل رئيس مع المواد العضوية والفسفات المذاب، ويشكل في ظل الظروف القارية عدة مركبات مستقرة نسبياً (مثل الأكاسيد، الكربونات، الفوسفات، الفاناديت، والزنريخات) [7]. يتمتع اليورانيوم والثوريوم بخصائص تكافؤ مميزة تحت ظروف الإرجاع، يكون اليورانيوم رباعي التكافؤ قابلاً للذوبان ومرتبطة عادةً بالمادة العضوية، بينما يكون اليورانيوم السداسي التكافؤ منحللاً في المحاليل في ظروف الأكسدة، ويحدث ذلك عادة عن طريق عمليات الرشح على النقيض من ذلك يقتصر الثوريوم على حالة رباعي التكافؤ غير القابل للانحلال، وبالتالي يستخدم لتقييم درجة ندرة أو الغنى النسبي باليورانيوم، وتعتبر نسبة Th/U مؤشراً لشروط الأكسدة والإرجاع كما في الشكل (4)، عندما تكون نسبة $Th/U < 2$ فهذا مؤشر على الغنى باليورانيوم، وبالتالي البيئة الترسيبية ملائمة لتثبيت اليورانيوم في ظل ظروف مرجعة، وهذا يلائم البيئة البحرية، بينما تدل قيم النسبة $Th/U > 7$ على الفقر باليورانيوم، وعلى فقدان اليورانيوم من خلال التجوية أو الرشح، وبالتالي تشير إلى بيئة مؤكسدة وربما قارية [8].



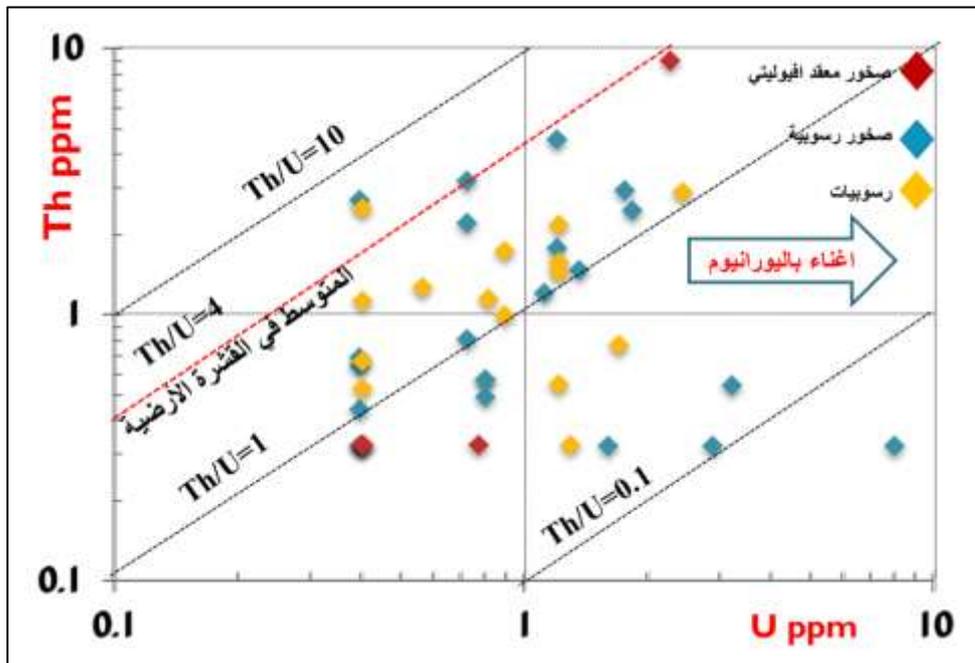
الشكل (4) بيئات تشكل اليورانيوم [8].

وجدت أدنى قيم لليورانيوم والثوريوم في صخور السرينتينيت، حيث بلغ اليورانيوم 0.40ppm، والثوريوم 0.32ppm، بينما كانت أعلى قيم لليورانيوم 8.06ppm في العينة الخامسة وهي عبارة عن حجر كلسي رملي مستحاثي عائد للنيوجين، وكانت أعلى قيم للثوريوم 8.85ppm في عينة بازلتية عائدة لصخور المعقد الأفيوليتي.

تم حساب نسب Th/U للعينات المدروسة والموضحة في الجدول (2)، حيث تسمح هذه النسبة من وجهة النظر الجيوكيميائية بتقدير أهمية حركة اليورانيوم، لوحظ أن هذه النسب في عينات منطقة الدراسة متغيرة بشكل كبير كما هو موضح في الشكل (5)، ويعود ذلك لاختلاف التركيب الفلزي لصخور منطقة الدراسة.

يظهر أن غالبية قيم نسب Th/U أقل من 3.5 والذي هو متوسط نسبة Th/U في صخور القشرة الأرضية [9]، باستثناء العينة 15 التابعة للتشكيلة الرسوبية البركانية، والعينة 32 التابعة للصخور البازلتية، والعينة 35 العائدة للماستريخت الأعلى وهي عبارة عن رسوبيات من الجهة الشمالية لبحيرة 16 تشرين، حيث كانت قيم نسب Th/U على الترتيب 4.36، 3.76، 6.15، ويعود ذلك لارتفاع تركيز الثوريوم الغير منحل مقارنة مع اليورانيوم، السريع الانحلال والانتقال بالمياه نتيجة التجوية [10]، وأما النسب المنخفضة في صخور السرينتينيت فترجع لانخفاض تركيز اليورانيوم والثوريوم في الصخور الأم التي تحولت عنها هذه الصخور، وهي الصخور فوق الأساسية ذات الانتشار الكبير في

صخور المعقد الأفيوليتي، ويرجع ضعف تركيز اليورانيوم في الصخور الأساسية، وفوق الأساسية إلى كبر حجم أيون اليورانيوم والتكافؤ الرباعي الأمر الذي يؤدي لزيادة تركيزه في المرحلة المهلية الأخيرة من عملية التبلور الماغماتي [11] يبين الشكل (3) حدوث عملية اغتناء باليورانيوم في الصخور الرسوبية على حساب الثوريوم، يلاحظ أن نسب Th/U ضمن الصخور الرسوبية أقل من 2، بسبب حدوث عملية غنى ثانوي باليورانيوم نتيجة عمليات التجوية لصخور المعقد الأفيوليتي، ويكون هذا الغنى مرتبط بالتركيب الفلزّي للصخور الرسوبية الذي يسمح بجذب اليورانيوم من المحاليل، بالإضافة لذلك تلعب المادة العضوية وأكاسيد الحديد والمنغنيز والكبريت في ترسيب اليورانيوم من المحاليل [10]. يلاحظ اختلاف النسب في الرسوبيات، ويرجع ذلك لاختلاف التركيب الفلزّي للرسوبيات والسلوك الجيوكيميائي لعنصري اليورانيوم والثوريوم، فاليورانيوم أكثر انحلالية من الثوريوم الأمر الذي يؤدي إلى تعرضه لعملية الرشح بشكل دائم وانتقاله في المحاليل المائية، ليترسب في حال توفر شروط ملائمة للوسط. يرجع تباين نسب Th/U في صخور المعقد الأفيوليتي، ارتفاع تركيز الثوريوم في الصخور السيليكاتية الغضارية، ويرجع ذلك لضعف انحلالية الثوريوم مقارنة باليورانيوم، وارتباط الثوريوم بالفلزات الغضارية [12]



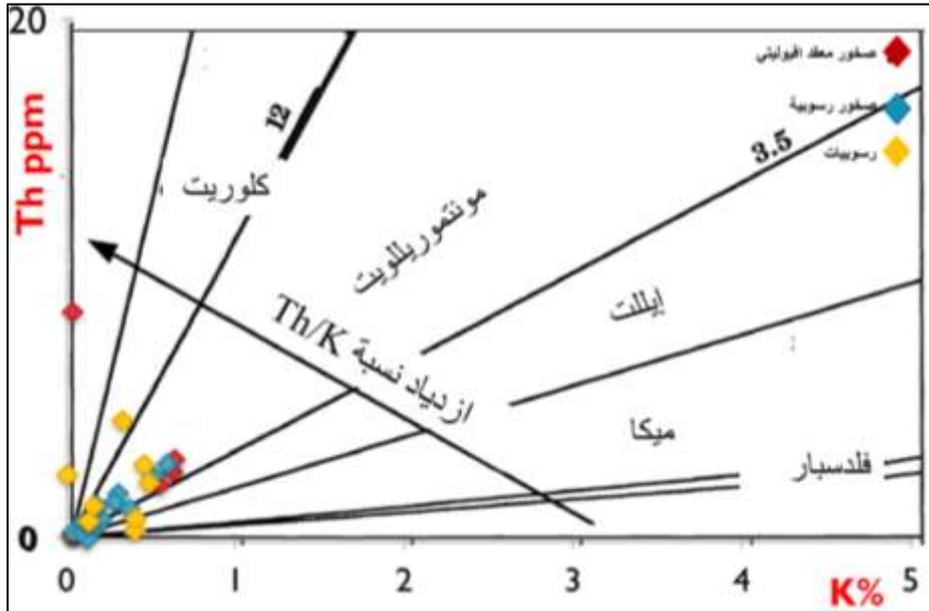
الشكل (5) مخطط Th-U للعينات المدروسة.

❖ نسبة Th/K :

تُستخدم نسبة الثوريوم إلى البوتاسيوم على نطاق واسع لتميّز الفلزات الغضارية، وبين الميكا والفلدسبار، حيث يرتبط البوتاسيوم بالتركيب الكيميائي للفلزات الغضارية، أما الثوريوم عن طريق الامتزاز على أسطح الفلزات الغضارية، وفي حال ارتفاع هذه النسبة قد تكون مؤشراً على الاعتناء بالعناصر المشعة، وإذا كانت النسبة 2×10^{-4} فإن الصخور غنية بالثوريوم، وإذا كان $Th/K \leq 1 \times 10^{-4}$ فإن الصخور غنية بالبوتاسيوم [13].

يعتبر البوتاسيوم من العناصر الوفيرة، ولكن حركته مقيدة بثلاث عمليات: 1- يتم دمجها بسهولة في البنية البلورية للفلزات الغضارية بسبب حجمه الكبير، 2- يتم امتزاجه بقوة أكبر من Na^+ على أسطح الفلزات الغضارية والمواد العضوية، 3- البوتاسيوم عنصر مهم في المحيط الحيوي ويتم امتصاصه بسهولة من قبل النباتات. يزداد تركيز البوتاسيوم في الصخور التي يدخل في تركيبها كل من الفلدسبار (الأورتوكلاز، والميكروكلين)، والميكا. تقل نسبة هذه الفلزات في الصخور الأساسية وفوق الأساسية [14].

تمّ تحديد الفلزات الغضارية كما هو مبين في الشكل (6) استناداً لقيم كل من الثوريوم والبوتاسيوم المذكورة في الجدول (1)، لوحظ وجود فلزي الإيليت والمونتموريللونيت في أغلب العينات، ولوحظ ارتفاع نسبة Th/K في عينة البازلت، ورسوبيات 16 تشرين، يرجع ذلك لاختلاف سلوك الثوريوم، والبوتاسيوم أثناء عمليات التجوية، وذلك وفقاً لاستقرار الفلزات المضيفة لها، فالفلزات الحاملة للثوريوم أكثر استقراراً بشكل عام من الفلزات الحاملة للبوتاسيوم نظراً لحقيقة أن الثوريوم غير قابل للذوبان، بينما البوتاسيوم قابل للذوبان، لذلك كلما كانت التجوية أقوى ازداد التخلص من البوتاسيوم، وزادت نسبة Th/K [15].

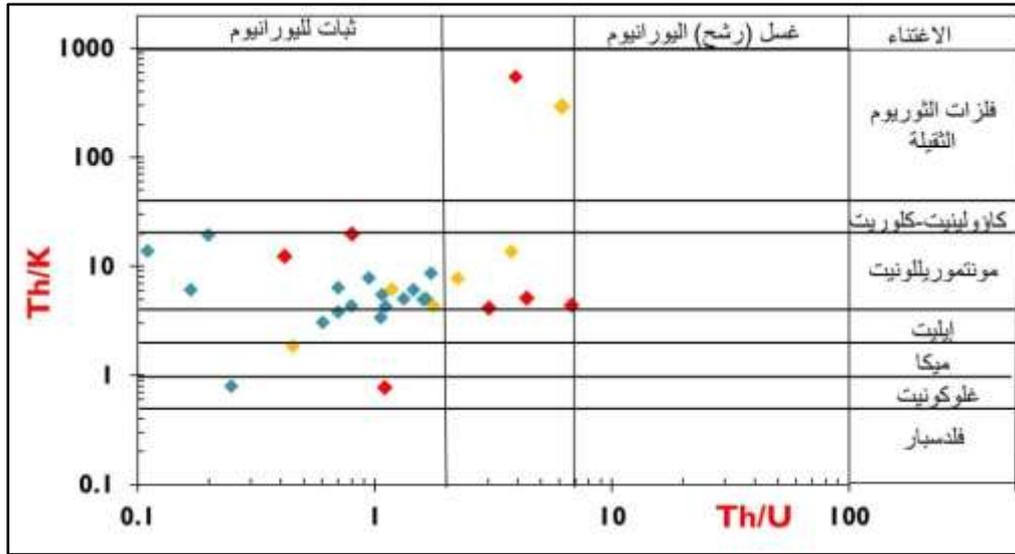


الشكل (6) مخطط Th-k للعينات المدروسة

تم الاعتماد على النسب Th/K و Th/U لرسم المخطط المبين في الشكل (7) [16]، والذي يبين أنواع الفلزات المسيطرة في منطقة الدراسة ونوعية البيئة الترسيبية. يبين الشكل (7) وجود فلزات ثقيلة حاملة للثوريوم في العينة 32 (بازلت فاسد)، والعينة 35 (رسوبيات بحيرة 16 تشرين) كالزركون، الأبيدوت، والتيتانيت، ويرجع وجودها في الصخور البازلتية لارتفاع تركيز الثوريوم مقارنة بالبوتاسيوم، لأن الثوريوم لا يتأثر بالظروف المؤكسدة، بينما يعزى ارتفاع الثوريوم في رسوبيات بحيرة 16 تشرين بالرغم من ضعف انحلاليته، لانتقال الفلزات الثقيلة الحاملة للثوريوم، والمقاومة للتجوية من صخور المعقد الأفيوليتي بعمليات ميكانيكية إلى الرسوبيات [17].

يلاحظ سيطرة فلز المونتموريللونيت في معظم العينات، الذي يتشكل نتيجة عمليات التجوية للصخور الأساسية، وفوق الأساسية، مما يؤدي إلى تحرر كاتيونات Ca، و Mg وارتباطها مع السيليس المتحرر بوجود عنصري الألمنيوم، والحديد، كما يمكن أن يتشكل من الميكا أو الكلوريت عن طريق ازاحة البوتاسيوم من بين طبقات الميكا ومبادلتها بالكالسيوم، والمغنيزيوم [18].

بينت نسبة Th/U أن غالبية العينات تقع في مجال ثبات اليورانيوم، وهذا يدل بيئة مرجعة ملائمة لثبات وترسيب اليورانيوم من المحاليل، باستثناء بعض صخور المعقد التي تعرضت للتجوية، وأدت لانحلال اليورانيوم.



الشكل (7) مخطط Th/U و k/Th للعينات المدروسة.

الدراسة الفلزية:

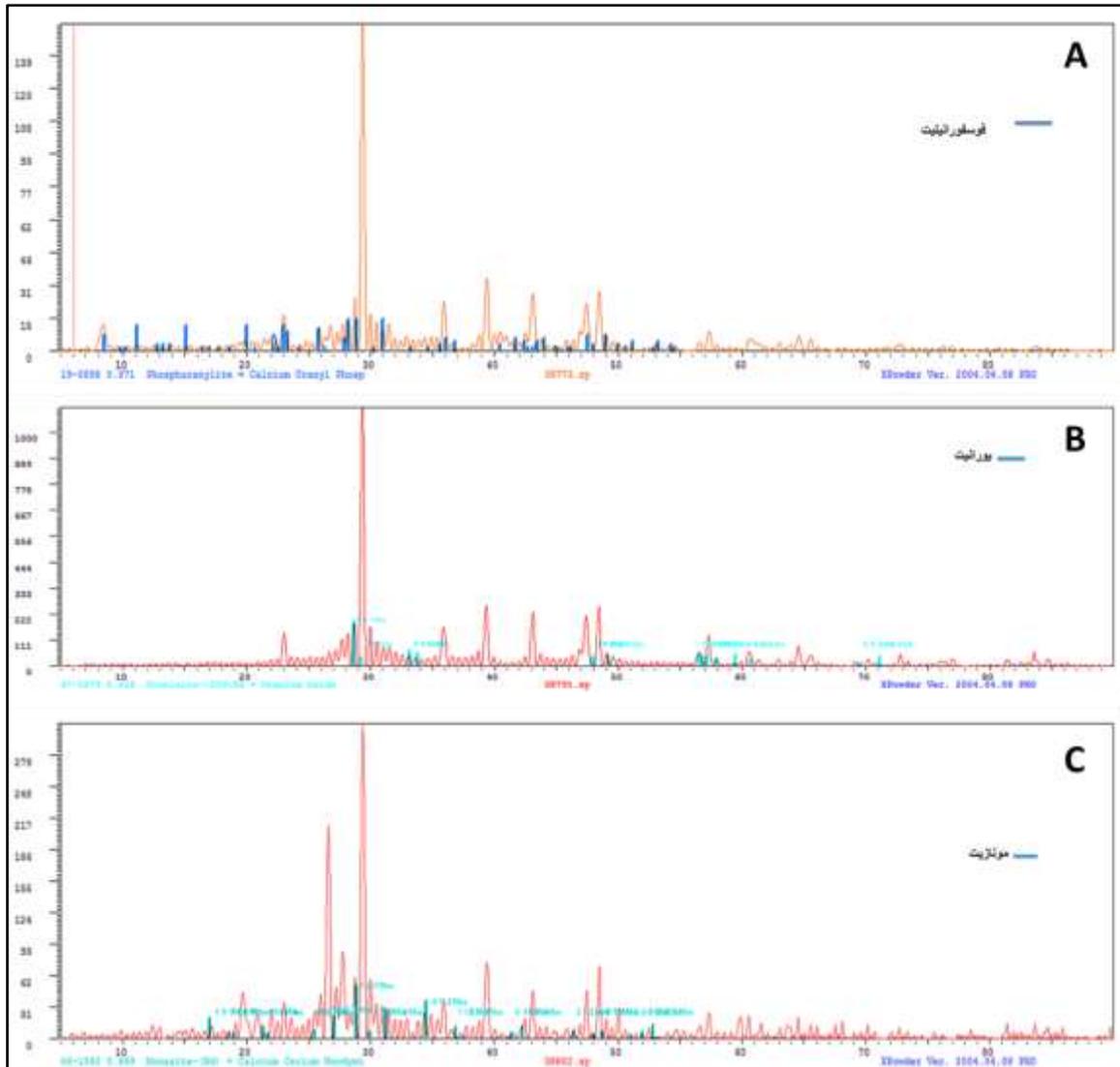
تم استخدام برنامج (X-powder 2010) لتفسير مخططات X.R.D للعينات المدروسة، وتم تحديد الأطوار الرئيسية المبينة في الجدول (2):

الجدول (2) يبين الأطوار الفلزية في العينات المدروسة.

أنواع الصخور	التركيب الفلزي
صخور المعقد الأفيوليتي	كوارتز، إيليت، مونتموريللونيت، ميكا، فلزات سرينتين (كيزوتيل، ليزرديت، انتيغوريت، كلينوكريزوتيل)، ألبيت، أوليفين، نيفلين
الصخور الرسوبية	كالسيت، كوارتز، دولوميت، إيليت، مونتموريللونيت، غلوكونيت،
الرسوبيات والتربة	كالسيت، كوارتز، دولوميت، إيليت، مونتموريللونيت، فورستريت، ليزرديت، ميكا، غالينا، زركون، كروميت

يرتبط تشكل فلزات اليورانيوم ارتباطاً مباشراً بخصائصه الجيوكيميائية وسلوكه في الوسائط الجيولوجية المختلفة ويرتبط ارتباطاً مكانياً بالصخور المضيفة، بالإضافة لدور الخصائص الجيولوجية والبنوية للمنطقة، تم تحديد مجموعة من

الأطوار الفلزية لليورانيوم مثل اليورانيت الشكل (B,8)، كاسوليت، البرانيريت، شوييت، ميتا شوييت، شاربيت، الفوسفورانيليت (A,8)، الثورغوميت، الزيركيليت، بالإضافة الى بعض الفلزات الحاملة للثوريوم واليورانيوم كالمونازيت كما هو مبين في الشكل (C,8)، والزركون في العينة 35 (رسوبيات بحيرة 16 تشرين) ، الزركونوليت في العينة 32 (بازلت)



الشكل (8) مخطط بيكات لبعض أطوار اليورانيوم في العينات 6، 26، 35.

ينتج التنوع الكيميائي لأطوار اليورانيوم عن ظروف كيميائية مختلفة تتشكل فيها فلزات اليورانيوم، بالتالي تعد فلزات اليورانيوم والثوريوم مؤشرات ممتازة للبيئات الجيوكيميائية. يمكن لليورانيوم الهجرة عدة كيلومترات من صخور المعقد الأفيوليتي، التي تعتبر مصدر اليورانيوم والثوريوم، حيث يتحكم بتوزيع هذه العناصر في هذه الصخور النارية (المعقد الأفيوليتي) بواسطة نصف قطرها الأيوني وشحنتها، يحل U^{+4} و Th^{+4} بسبب شحنتهما الكبيرة في عدد محدود من

الفلزات الثانوية، كفلزات الزركون، المونازيت، والإبيدوت، قد يبقى اليورانيوم، والثوريوم حتى المرحلة المتأخرة من تفاعل الماجما ليشكلان فلزاتهما الخاصة مثل يورانيت (UO_2) [19].

لوحظ غياب أطوار اليورانيوم والثوريوم في بعض العينات، على الرغم من احتوائها على اليورانيوم والثوريوم، ويرجع ذلك لامتناز اليورانيوم والثوريوم على أسطح الحبيبات الناعمة، المادة العضوية، وأكاسيد العناصر (أكاسيد الحديد والمنغنيز)، كما يمتاز اليورانيوم على سطح الكوارتز متأثراً بوجود العناصر القلوية [20]. تحتوي جميع الفلزات الرئيسية المكونة للصخور النارية مثل الكوارتز والفلسبار والبيوتيت، البيروكسينات، والهورنبلاند على أجزاء صغيرة من اليورانيوم [11].

الأصناف السائدة لليورانيوم، والثوريوم الرباعي (IV) U في منطقة الدراسة هي: اليورانيت، والثورغوميت، البرانيريت والتي تتشكل عند قيم pH أعلى من 7 [21].

وُجدت فلزات هيدروكسيدات اليورانيل (شوبيت، ميتاشوبيت) في تحاليل XRD، وتتشكل هذه الفلزات تحت ظروف الارجاع عند قيم pH أعلى من 8.1، مع تركيز مرتفع من إجمالي اليورانيوم المذاب، حيث تؤدي زيادة قيمة PH إلى استقرار اليورانيوم [22].

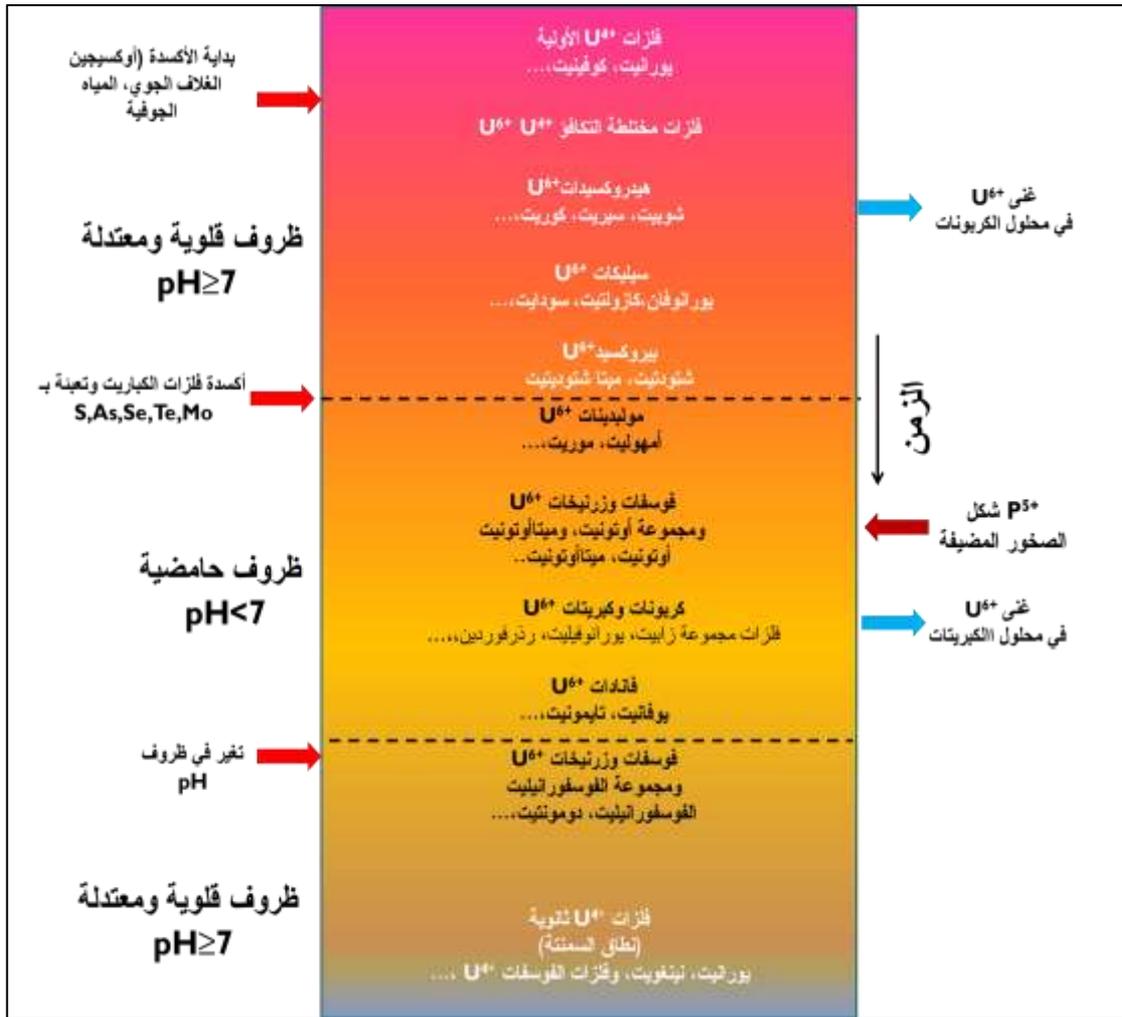
تتشكل كربونات اليورانيل عندما يكون التبخر كبيراً أو عندما يكون انبعاث ثاني أكسيد الكربون أكبر في الغلاف الجوي، حيث تتشكل الكربونات البسيطة الأحادية في ظروف الحموضة المعتدلة، بينما تتكون معقدات كربونات اليورانيل الثنائية والثلاثية عند قيم حموضة أعلى كفلزات (شاربيت) [23].

يساهم وجود عناصر مثل الفلورايد والفسفات والمركبات العضوية في التنوع الفلزي، إذا كانت موجودة عند تركيز مرتفع وفي ظروف معينة من PH [20]، وتكون معظم سيليكات اليورانيل، الفوسفات غير قابلة للذوبان نسبياً، ولكن يتطلب تشكلها وجود بعض العناصر الذائبة في المحاليل مثل Si، P، V، وAs، والتي يمكن اشتقاقها من مصادر متنوعة [24]، تتشكل سيليكات اليورانيل بكثرة عند وجود فلز الكوارتز، الموجود في غالبية العينات، وتمثلت فلزات سيليكات اليورانيل في منطقة الدراسة بشكل رئيس بفلز (كاسوليت)، بينما أهم فلزات فوسفات اليورانيل المتشكلة في منطقة الدراسة (فوسفورانيليت).

تتمتع منطقة الدراسة بمجموعة من الخصائص تسمح بتنوع الأطوار الفلزية لليورانيوم والثوريوم، وتشمل هذه الخصائص الارتفاع الطبوغرافي لصخور المعقد الفيوليتي، ووجود شبكة كثيفة من الفوالق، والشقوق تلعب دوراً هاماً في حركة المحاليل المائية الحاملة للعناصر المشعة، وجيوكيمياء الصخور المضيفة لتلك العناصر، بالإضافة إلى كثافة عمليات التجوية.

بينت دراسة سابقة للتربة في رقة اللاذقية أن قيم PH معتدلة إلى قلوية، حيث تراوحت بين 7.5-8.2 [25]، وهذه القيم ملائمة لتثبيت اليورانيوم، حيث أن زيادة قيم PH تؤدي إلى استقرار اليورانيوم [22].

يلخص الشكل (9) هجرة فلزات اليورانيوم لمعظم مجموعات فلزات اليورانيوم من الرواسب الحاملة لليورانيوم [26]:



الشكل (9) مخطط تشكل فلزات اليورانيوم خلال عمليات التجوية.

الاستنتاجات والتوصيات:

تشير نتائج الدراسة إلى الآتي:

- 1- تعتبر صخور المعقد الأفيوليتي مصدر اليورانيوم في منطقة الدراسة، حيث تنتقل العناصر المشعة بالمحاليل بعد تعرض صخور المعقد الأفيوليتي للتجوية، ويتم ترسيبها في التشكيلات الجيولوجية الرسوبية عند توفر ظروف مرجعة، ولكن بالرغم من ذلك يكون تركيز اليورانيوم في هذا النوع من الترسبات ضئيلة، وبدون أهمية اقتصادية، لأن اليورانيوم مشتت على نطاق واسع وتركيزه منخفض.
- 2- بينت الدراسة ارتباط النشاط الإشعاعي في منطقة الدراسة بشكل رئيس بعنصر الثوريوم، ويرجع ذلك لوجود فلزات حاملة للثوريوم، بالإضافة لأن الثوريوم ثابت لا ينحل، ولا يتأثر بالظروف المؤكسدة.
- 3- يلاحظ انخفاض تركيز البوتاسيوم في معظم العينات، ويرجع ذلك لانخفاض نسبة فلزات الميكا والفسبار، ويعزى وجود هذه الفلزات في بعض العينات لكونها منقولة، وليست من أصل الصخر، أو تكون ناتجة عن تجوية صخور السانيت النيفيليني الموجود بشكل قواطع في صخور المعقد الأفيوليتي.

4- يلاحظ أن معظم العينات كربوناتية التركيب، والتي تعتبر بشكل عام من بين أقل الصخور محتوى باليورانيوم في القشرة الأرضية، قد احتوت قيم مرتفعة من اليورانيوم في صخور منطقة الدراسة مقارنة مع متوسط تركيزها في هذا النوع من الصخور، وينتج ذلك عن وجود اليورانيوم كمكون ثانوي لبعض المواد التي يمكن أن تتراكم مع رواسب الكربونات، كفلزات الأباتيت حيث يحل اليورانيوم محل الكالسيوم في الشبكة البلورية، أو قد يتم ادمصاص اليورانيوم على الفلزات الغضارية، السيليكات، والمواد العضوية التي تترسب في وقت واحد مع التوضعات الكربوناتية، أو يكون اليورانيوم مكون ثانوي لبعض الفلزات الثقيلة المقاومة للتجوية، وبالتالي يعتمد محتوى الصخر من اليورانيوم والثوريوم على تركيبه الفلزّي، والكيميائي.

5- دلت النسبة Th/U على بيئة مرجعة ملائمة لترسيب اليورانيوم في معظم العينات، باستثناء بعض العينات التابعة للمعدن الأفيوليتي، ويعزى ارتفاع هذه النسبة لتعرض اليورانيوم إلى عملية انحلال وهجرة باتجاه الصخور التابعة للتشكيلات الرسوبية، بعكس الثوريوم الذي لا يتأثر بالظروف المؤكسدة.

6- دلت النسبة Th/K على سيطرة فلزي الإيليت والمونتموريللونيت في أغلب العينات، ولوحظ ارتفاع نسبة Th/K في عينة البازلت، ورسوبيات بحيرة 16 تشرين، ويرجع ذلك لارتفاع تركيز الثوريوم مقارنة بالبوتاسيوم، حيث أن الثوريوم لا يتأثر بالظروف المؤكسدة، بالإضافة لوجود فلزات حاملة للثوريوم المقاومة للتجوية، والتي تنتقل من صخور المعدن الأفيوليتي بعمليات ميكانيكية إلى الرسوبيات

7- أظهرت الدراسة الفلزّية وجود أطوار فلزية لليورانيوم والثوريوم، بالإضافة إلى فلزات ثقيلة حاملة للعناصر المشعة كالمونازيت، والزركون، ويرتبط أصل فلزات اليورانيوم بشكل أساسي بتغيير فلزات اليورانيوم أولية النشأة من خلال عمل السوائل المؤكسدة، وانحلال اليورانيوم ثم إعادة ترسبه في أشكال أخرى.

نوصي باستخدام النتائج التي تم الحصول عليها كبيانات مرجعية لرصد التغيرات التي تحدث على تركيز العناصر المشعة في المستقبل، وذلك كون منطقة الدراسة تتمتع بالعوامل الطبيعية الملائمة (الوضع الطبوغرافي، ووجود شبكة هيدروغرافية كثيفة) لهجرة العناصر، بالإضافة لاستخدام هذه البيانات في رسم خرائط تبين توزيع العناصر المشعة، وتغير قيمها في الزمان والمكان.

References:

- 1- Abbady, A; Ahmed, N. K; El-Arabi, A. M; Miche, R; El-Kamel, A. H; and Abbady, A. G. E; (2006). Estimation of radiation hazard indices from natural radioactivity of some rocks. Nuclear science and techniques, Vol. 17 No.2, pp.118-122.
- 2- Yii, MW; Zaharudin, A; Abdul-Kadir, I; (2009) Distribution of naturally occurring radionuclides activity concentration in East Malaysian marine sediment. Appl Radiat Isot 67:630-635
- 3- Papaefthymio, H; Athanasopoulos, D; Papatheodorou, G; Iatrou, M; Geraga, M; Christodoulou, D; Kordella, S; Fakiris, E; Tsikouras, B; (2013) Uranium and other natural radionuclides in the sediments of a Mediterranean fjord-like embayment, Amvrakikos Gulf (Ionian Sea), Greece. J Environ Radioact 122:43-54.
- 4- Ajeman, J; Khaton, A (1999). Geological Map of Latakia Sheet 1:50000, G. E. G. M. R. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus.

- 5- Adjeman, J.; Khaton, A (1999). Explanatory Note of Sheet Latakia NI 36–XVI–E–B, G. E. G. M. R. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus.
- 6- Anjos, R.M., Veiga, R., Macario, K., Carvalho, C., Sanches, N., Bastos, J. and Gomes, P.R.S., (2006). Radiometric analysis of Quaternary deposits from the southern Brazilian coast. *Marine Geology*, 229, 29 - 43.
- 7- Gascoyne, M (1992). Geochemistry of the actinides and their daughters. In: M.Ivanovich et R.S. Harmon (Editors), *Uranium-series disequilibrium; applications to earth, marine, and environmental sciences*. Clarendon Press, Oxford, United Kingdom, pp. 34-61.
- 8- Adams, J.A.S., and Weaver, C.E., (1958). Thorium to uranium ratios as indications of sedimentary processes: Example of concept of geochemical facies: *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, V. 42, 387-430
- 9- Wedepohl, H.K., (1995). The composition of the continental crust. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59.
- 10- Plant, J.A., Simpson, P.R., Smith, B., Windley, B.F., (1999). Uranium ore deposits—products of the radioactive Earth. In: Burns, P.C., Finch, R. (Eds.), *Uranium: Mineralogy, Geochemistry and Environment: Reviews in Mineralogy*, 38, pp. 255–319.
- 11- McKelvey, V.E., Everhart, D.L., and Garrels, R.M., (1955) Origin of Uranium Deposits, *Econ. Geol*, part I, pp. 465–533.
- 12- Glover, P. *Petrophysics MSc Course Notes*, Department of Geology and Petroleum Geology University of Aberdeen UK
- 13- Macfarlane, P.A., Whittemore, D.O., Townsend, M.A., Doventon, J.H., Hamilton, V.J., Coyle III, W.G., Wade, A., Macpherson, G.L., Black, R.D., (1989). The Dakota Aquifer Program Annual Report, FY89. Appendix B. Kansas Geological Survey, Open File Rept. 90-27.
- 14- Doventon, J.H., and Prenskey, S.E., (1992). Geological applications of wireline logs: a synopsis of developments and trends. *Log Anal.* 33 (3), 286–303.
- 15- Schlumberger (1982) *Natural gamma ray spectrometry. Essentials of N.G.S. interpretation*. Schlumberger Limited, New York, USA.
- 16- Ewing, R.C. (1993) Long-term Predictions using Natural Analogues In: Murphy, W. M., Kovach, K. (ed.), *The Role of Natural Analogs in Geologic Disposal of High-Level Nuclear Waste*, Proceedings of symposium sponsored by the Nuclear Regulatory Commission. Center for Nuclear Waste Regulatory Analyses, Report 93-020, 29.
- 17- Marchalland, C.P., Fairbridge, R.W., (1999). *Encyclopedia of Geochemistry*. Kluwer Academic Press.
- 18- Jack, L.H. and Haydan, H.M. (1957). Clay minerals stability and formation during weathering. 6th Nat. Conf. Clay and Clay Miner., P.144-153.
- 19- Romberger, S.B., (1984): Transportation and deposition of uranium in hydrothermal systems at temperatures up to 300C: geological implications. In: Vivo, B.D., Capaldi, F.I.G and Simpson, R.R., (Eds.) *Uranium Geochemistry, Mineralogy, Exploration and Resources*. Trans. Instit. Mining and Metallurgy, London, 12-17.
- 20- Nair S. and Merkel B.J., (2011): Impact of Alkaline Earth Metals on Aqueous Speciation of Uranium (VI) and Sorption on Quartz. *Springer Science + Business Media B.V.* pp. 209–219.
- 21- Langmuir, O (1978). Uranium solution-minerals equilibria at low temperatures with applications to sedimentary ore deposits. *Geochim Cosmochim Acta* 42:547-569.

- 22- Finch RJ, Hawthorne FC, Ewing RC 1998 Crystallographic relations among schoepite, metaschoepite and dehydrated schoepite. *Can Mineral* 36:831-84.
- 23- Finch RJ 1997a Thermodynamic stabilities of U(VI) minerals: Estimated and observed relationships. *Mater Res Soc Symp Proc* 465:1 185-1192.
- 24- Finch RJ 1994 Paragenesis and crystal chemistry of the uranyl oxide hydrates. Ph.D. Thesis, University of New Mexico, 257 p.
- 25- Ghanem, S (2019). Study Of The Diagnostic Properties of the pedological cover of the northern-eastern area of Latakia and the participation in its classification. Thesis of PhD in Agricultural Sciences, Tishreen University, p. 190.
- 26- Krivovichev SV, Plášil J (2013) Mineralogy and crystallography of uranium. In: Burns PC, Sigmon GE (eds) *Uranium: From Cradle to Grave*. Mineralogical Association of Canada Short Course.