

جيوكيمياء العناصر المشعة في صخور ورسوبيات

رقعة جبلة وأثرها البيئي

الدكتورة أحلام إبراهيم*

الدكتور محمد سعيد المصري**

عفرأء غدير***

المخلص

أجريت الدراسة على 24 عينة تضم عينات صخرية، ورسوبيات بهدف دراسة تركيز العناصر المشعة (اليورانيوم، الثوريوم، والبوتاسيوم) في رقعة جبلة، وأثرها البيئي.

أظهرت الدراسة الجيوكيميائية في منطقة الدراسة، ارتفاع تركيز اليورانيوم في بعض عينات الصخور الرسوبية، مقارنة بالصخور البركانية البازلتية، والرسوبيات، وأكدت النسب Th/U ، $U/(U/Th)$ ، $U/U-(Th/3.5)$ حدوث عملية اغتناء باليورانيوم في الصخور الرسوبية، وتعرض الرسوبيات لاحقاً لعملية تجوية مما أدى لانخفاض تركيز اليورانيوم، وبالتالي يعتبر السلوك الجيوكيميائي للعناصر المشعة في البيئات الجيولوجية العامل المسيطر على تركيز هذه العناصر.

أكدت نسب Th/K ارتفاع نسبة الغضاربات في الرسوبيات، مع سيطرة فلز المونتموريللونيت في معظم العينات.

* أستاذ مساعد/ قسم الجيولوجيا/ كلية العلوم/ جامعة تشرين/ سورية.

** أستاذ/ قسم الوقاية والأمان/هيئة الطاقة الذرية/ سورية.

*** طالبة دكتوراه/قسم الجيولوجيا/ كلية العلوم/ جامعة تشرين/ سورية.

إن قيم جميع مؤشرات مخاطر التلوث الإشعاعي أقل بكثير من الحدود الموصى به حسب منظمة الصحة العالمية، وبالتالي فإن منطقة الدراسة تعتبر آمنة من الناحية الإشعاعية للإنسان.

كلمات مفتاحية: جيوكيمياء، العناصر المشعة، الأثر البيئي، رقعة جبلة.

Geochemistry of Radioactive Elements in Rocks and Sediments Jableh Sheet and Their Environmental Impacts

Abstract

The study was conducted on a group of rock samples and sediments in order to study the concentration of radioactive elements (uranium, thorium, and potassium) in the Jabla area, and their environmental impact.

The geochemical study in the study area showed, the high concentration of uranium in some samples of sedimentary rocks, compared to basalt volcanic rocks and sediments, and the ratios Th / U , $U / (U / Th)$, $U / U - (Th / 3.5)$ confirmed the occurrence of uranium enrichment process In sedimentary rocks, the sediments were subsequently subjected to a weathering process , which led to a decrease in the concentration of uranium. The geochemical behavior of radioactive elements in geological environments is the dominant factor in the concentration of these elements.

Th / K ratios confirmed the high percentage of clays in sediments, with montmorillonite mineral dominating most of the samples.

All indicators of the risk of radioactive contamination are far below the recommended limits according to the World Health Organization, and therefore the study area is radioactively safe for humans.

Keywords: Geochemistry, radioactive elements, environmental impact, Jableh Sheet.

مقدمة:

ينتج النشاط الإشعاعي الطبيعي في الصخور بشكل أساسي من العناصر المشعة الطبيعية: مثل $U-238$ ، $K-40$ ، و $Th-232$ ومنتجات انحلالها، يتم نقل هذه العناصر الموجودة بشكل رئيس في الصخور النارية بسبب العمليات الجيولوجية إلى الرواسب، حيث تتراكم مع أنواع مختلفة من الفلزات [1].

يختلف تركيز اليورانيوم، الثوريوم، والبتاسيوم من منطقة إلى أخرى باختلاف أنواع الصخور، و هناك عوامل متعددة تؤثر أيضاً على توزيع اليورانيوم والثوريوم في الصخور، والرواسب، أهمها الشروط الجيوكيميائية للوسط، كمية المادة العضوية، بالإضافة الى السلوك الجيوكيميائي لهذه العناصر [2]

أهمية البحث وأهدافه:

تشهد منطقة جبلة تشهد تطوراً كبيراً على المستويين الصناعي والعمري، بالإضافة إلى أهمية المنطقة من الناحية الزراعية، الأمر الذي يتطلب دراسة تأثير هذا التطور على البيئة، لذلك كان من الضروري دراسة النشاط الإشعاعي في صخور، ورسوبيات رقعة جبلة الحيوية، وتحديد أثر النشاط الإشعاعي الطبيعي على عناصر البيئة كالتربة، والرسوبيات، وبالتالي على المنتجات الزراعية.

تتلخص أهداف البحث في:

1. تحديد تركيز العناصر المشعة في أنواع مختلفة من الصخور (الرسوبية، والبركانية)، والرسوبيات، والتربة في منطقة الدراسة.
2. دراسة جيوكيمياء العناصر المشعة.
3. تقييم المخاطر البيئية الناتجة عن العناصر المشعة في منطقة الدراسة.

طرائق البحث وأدواته:

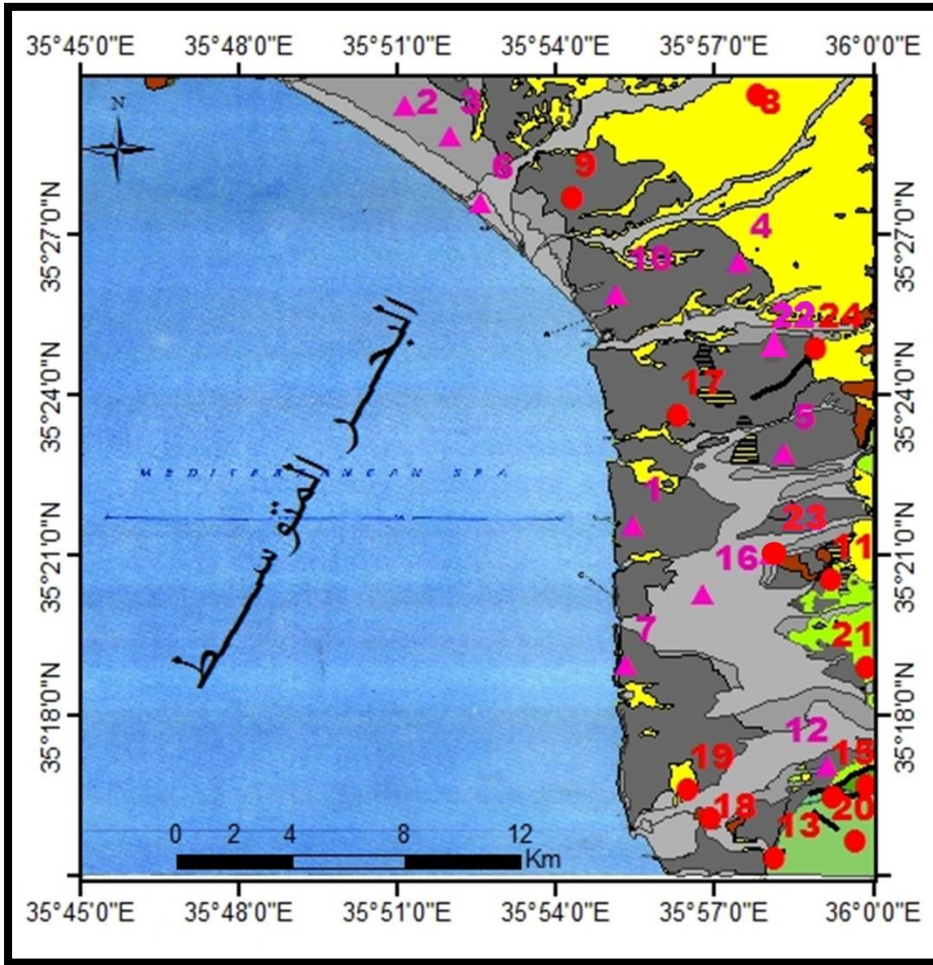
أُجريت عدة جولات حقلية على امتداد منطقة الدراسة، تمّ فيها جمع 24 عيّنة نموذجية من أنواع مختلفة من الصخور، الرسوبيات، والتربة، وتمّ فرز العينات، وثنيت البيانات الضرورية لكلّ عينة في الحقل، وتمّ تحديد الإحداثيات المكانية لكلّ عينة باستخدام جهاز الـ GPS كما هو موضح بالجدول (1). تم إجراء أربع وعشرين تحليلاً كيميائياً للصخور، والرسوبيات في مخبر قسم الوقاية والأمان ضمن هيئة الطاقة الذرية بدمشق، تم قياس تركيز اليورانيوم، الثوريوم، والبوتاسيوم باستخدام نظام التحليل الغامي.

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

منطقة الدراسة:

تقع رقعة جبلية على شاطئ البحر المتوسط بين اللاذقية وبنياص الشكل (1)، يحدها من الشرق الجبال الساحلية ومن الغرب البحر المتوسط، من الشمال حوض نهر الكبير الشمالي، ومن الجنوب منطقة بنياص [3]، وتمتد بين الإحداثيات [4]:

N: 35°15'00", 35°30'00" E: 35°45'00", 36°00'00"



الشكل (1) خارطة جبلة الجيولوجية بمقياس 1:50000 موضح عليها مواقع العينات.

الوضع الجيولوجي:

ينكشف الكريتاسي في مناطق محدودة من جنوب شرق خارطة جبلة 1:50000، وتعود أقدم الرسوبيات المتكشفة إلى الجزء العلوي من تشكيلة عين البيضاء التي تمثل الألبان، وتتألف من تتابع الحجر الكلسي الدولوميتي، والدولوميت المارلي، والدولوميت بسماكة تصل حتى 70 m. ويتألف السينومانيان من تتاب طبقات سميقة من الحجر الكلسي، أو الدولوميت، الحجر الكلسي المارلي الحاوي على جيودات من الصوان. لا تتكشف رسوبيات التورونيان، والسينونيان الأدنى في رقعة جبلة. تتكشف

رسوبيات السيونيان الأعلى في الجزء الجنوبي الشرقي من جبلة ، وتتألف من مارل رملي إلى حواري، وحجر كلسي حواري
تتكشف رسوبيات الباليوجين في الجزء الشرقي من سهل جبلة وكذلك في
التلال الصغيرة وعلى المنحدرات. يتألف الباليوجين من مارل حواري وحجر كلسي
ومارل رملي.

تتمثل تكشفات النيوجين برسوبيات الميوسين (N1) غير متمايز، والبليوسين
(N2) ، حيث بدأ ترسيب الأكيثانيان الأسفل في بيئة بحرية، وتوضع مارل حواري
جزئياً وحامل للصوان باتجاه الأعلى، تتناوب هذه الرسوبيات مع حجر كلسي مارلي
وحجر كلسي صفائي، تتراوح السماكة بين 5-50 m. تتألف رسوبيات البليوسين من
وتيرة واحدة من المارل ومن حجر سلتي بحري ومن حجر رملي متطبق (كالكارنيت)،
تتصف توضعات البليوسين مورفولوجياً بالسفوح ذات الانحدار الخفيف واللون
الرمادي-البني.

تظهر الصخور البركانية البليوسينية على بعد (4 Km) شرق مدينة جبلة،
وحول بلدة السفريقية. تتألف التوضعات البركانية من بازلت أوليفيني، امتلأت الفراغات
الغازية بالناتروليت، أما البازلت المكتشف غرب بلدة السفريقية فيتألف من بريشيا طفيفة
غنية بالبازلت ناتج عن جدار اندفاعي نشأ بعد توضع الحجر السلتي البليوسيني
البحري.

تعتبر رسوبيات الرباعي من أكثر الصخور انتشاراً في رقعة جبلة لأنها تغطي
أكثر من 50% من السطح، تعود في منشئها إلى توضعات برولوفيال، نهريّة، بحرية،
ريحية وكولوفيال [3].

الوضع التكتوني:

تقع رقعة جبلة على أطراف الركيزة العربية وبالقرب من حوض البحر
المتوسط، تأثر نظامها التكتوني بالتاريخ البنيوي للسلسلة الساحلية، يوجد في المنطقة

صدعين هامين الأول: صدع نهر السن الذي يمثل بنية تكتونية تصل بين انهدام الغاب وحوض البحر المتوسط. يخترق الجزء الجنوبي من المنطقة باتجاه شمال شرق - جنوب غرب. الصدع الثاني هو صدع نهر الكبير الشمالي الذي يقع على حدود رقعة جبلة الشمالية، يفصل هذا الصدع الصخور الأوفيوليتية في البسيط عن الصخور الرسوبية في السلسلة الساحلية، وتميل الطبقات بكل عام نحو الغرب وهي محددة بالفوالق [3].

النتائج والمناقشة:

جيوكيمياء اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم:

تم تحديد توزع العناصر المشعة ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{226}Ra ، ^{40}K في الوحدات الصخرية المختلفة المتكشفة في منطقة الدراسة من خلال جمع 24 عينة من الحقل، تشمل هذه العينات عينتان من الصخور البركانية (بازلت)، 11 عينة صخرية رسوبية، 11 عينة رسوبيات، وتربة زراعية، بلغ أعلى تركيز لليورانيوم 24.19 ppm في العينة 21 (حجر كلسي حاوي على فوسفات)، وأدنى قيمة بلغت 0.40 ppm في العينة 6 (رسوبيات رباعية)، وبلغ أعلى تركيز للثوريوم 5.78 ppm في العينة 12 (رسوبيات رباعية)، وأدنى قيمة 0.37 ppm في العينة 13 حجر كلسي مع صوان الجدول (1).

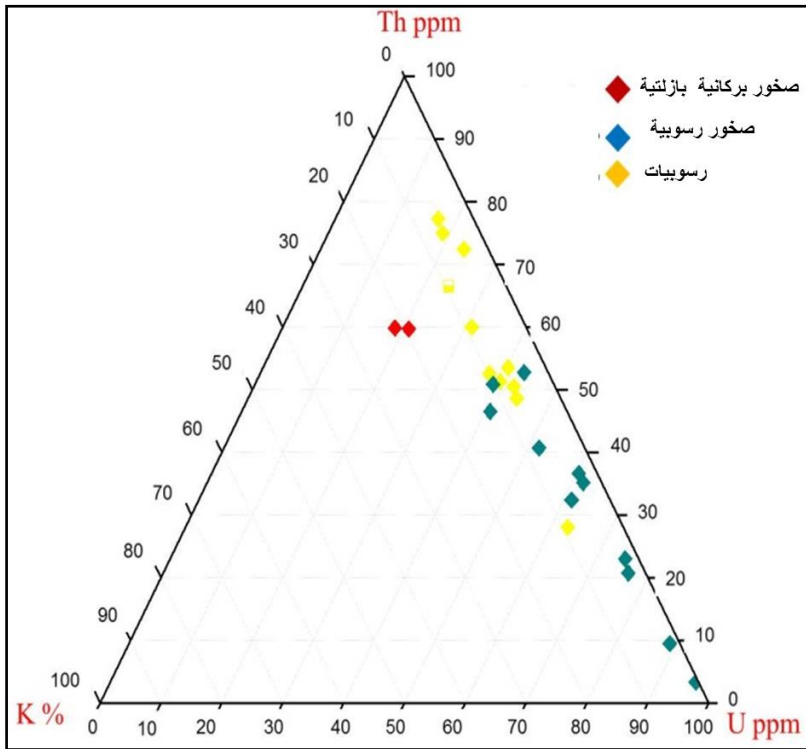
الجدول (1) نتائج قياس التحليل الغامي للعينات ضمن منطقة الدراسة بوحدة البيكرل لكل كغ (Bq / kg)، وجزء من المليون (ppm).

²²⁶ Ra (Bq/Kg)	²³² Th		²³⁸ U		K%	⁴⁰ K (Bq/Kg)	احداثيات العينات		الوصف الليتولوجي	رقم العينة
	ppm	(Bq/Kg)	ppm	(Bq/Kg)			E	N		
13.0±2.5	1.55±0.20	6.3±0.8	1.21±0.32	15±4	0.261022	81.7±4.9	35° 55' 26.07"	35° 21' 32.39"	تربة زراعية رباعية	1
13±3	1.72±0.25	7±1	0.89±0.24	11±3	0.255591	80±4	35° 51' 7.9"	35° 29' 24.1"	رسوبيات رباعية	2
10±3	1.13±0.25	4.6±1.0	0.81±0.32	10.0±4.0	0.209265	65.5±5.1	35° 51' 58.2"	35° 28' 49.5"	رسوبيات رباعية	3
14±2	0.54±0.25	2.2±1.0	1.21±0.24	15±3	0.175719	55±5	35° 57' 27.48"	35° 26' 30.1"	رسوبيات رباعية	4
9.2±1.2	0.98±0.25	4±1	0.89±0.24	11.0±3.0	0.145367	45.5±5.0	35° 58' 17.38"	35° 22' 53.89"	رسوبيات رباعية غامقة اللون	5
11±5	1.11±0.22	4.5±0.9	< 0.40	< 5	0.158147	49.5±4.6	35° 52' 33.09"	35° 27' 34.96"	رسوبيات رباعية رملية مع حصى	6
13±3	1.43±0.32	5.8±1.3	1.21±0.24	15±3	0.191693	60±5	35° 55' 17.75"	35° 18' 57.71"	رسوبيات رباعية	7
< 5	0.52±0.20	2.1±0.8	< 0.40	< 5	0.102236	32±3	35° 57' 49.1"	35° 29' 36.38"	حجر رملي كلسي (بليوسن)	8
<8	0.74±0.49	3.0±2	1.21±0.32	<8	0.201278	63±6	35° 54' 18"	35° 27' 40"	حجر رملي رباعي	9
30±4	5.19±0.64	21±2.6	1.69±0.40	21±5	0.28754	90±8	35° 55' 6.8"	35° 25' 53.33"	رسوبيات رباعية	10
23±4	1.11±0.20	4.5±0.8	2.10±0.32	26±4	0.217252	68±4	35° 59' 11.13"	35° 20' 32.37"	مارل حواري (سينونيان أعلى)	11
29±3	5.78±0.35	23.4±1.4	1.45±0.40	18±5	0.479233	150±7	35° 58' 2.41"	35° 17' 54.51"	رسوبيات رباعية	12
14.0±6	<0.37	<1.5	< 0.65	<8	0.031949	<10	35° 58' 8.56"	35° 15' 18.55"	حجر كلسي مع صوان (سينونيان)	13
8±2	0.20±0.15	0.8±0.6	< 0.65	<8	0.019169	6±3	35° 59' 12.93"	35° 16' 27.33"	حجر كلسي مع صوان (سينونيان)	14
17±3	0.35±0.12	1.4±0.5	1.29±0.32	16±4	0.047923	15±3	35° 59' 52.08"	35° 16' 40.95"	حجر كلسي مع عضويات (ألبان)	15
30±4	2.35±0.27	9.5±1.1	1.77±0.40	22±5	0.271565	85±6	35° 56' 45.2"	35° 20' 16.14"	رسوبيات رباعية	16
10±3	0.54±0.17	2.2±0.7	0.89±0.32	11±4	0.044728	14±3	35° 56' 17.32"	35° 23' 35.04"	حجر رملي رباعي	17
20±3	1.14±0.17	4.6±0.7	1.45±0.32	18±4	0.210863	66±4	35° 56' 55.47"	35° 16' 3.55"	حجر كلس مارلي (أبوسين أوسط)	18
45±4	<0.37	1.3±0.7	3.47±0.65	43±8	0.063898	20±4	35° 56' 28.08"	35° 16' 36.28"	حجر كلسي (بليوسين)	19
10±3	1.28±0.25	5.2±1.0	1.05±0.24	13±3	0.095847	30±3	35° 59' 39.91"	35° 15' 38.76"	حجر كلسي رملي مع صوان (سينوماتيان)	20
550±30	0.84±0.27	3.4±1.1	24.19±0.24	300±3	0.115016	36±5	35° 59' 52.89"	35° 18' 52.81"	حجر كلسي رملي حاوي فوسفات (أسفل السينونيان)	21
17±4	3.70±0.35	15±1.4	0.81±0.40	10±5	0.277955	87±6	35° 58' 3.38"	35° 21' 0.6"	رسوبيات بازلتية	22
14.6±5	2.10±0.27	8.5±1.1	0.65	<8	0.760383	238±9	35° 58' 8.16"	35° 24' 50.39"	بازلت نيوجيني مجوى	23
<8	2.32±0.30	9.4±1.2	0.81±0.24	10±3	0.753994	236±9	35° 58' 54.73"	35° 24' 51.24"	بازلت نيوجيني سفريقية	24

تم توضيح الوفرة النسبية للعناصر المشعة، والعلاقة بين محتويات U، Th، و K في منطقة الدراسة بالمخطط الثلاثي (K-Th-U) الشكل (2). يُلاحظ أن النشاط الإشعاعي في عينات منطقة الدراسة مرتبط باليورانيوم والثوريوم وبشكل أقل بالبوتاسيوم، حيث يلاحظ انخفاض تركيز البوتاسيوم في الصخور الرسوبية لمنطقة الدراسة، مما يشير لانخفاض نسبة الغضاربات في هذه الصخور، لأن هناك ارتباط إيجابي قوي بين تركيز البوتاسيوم ومحتوى الصخر من الغضار[5]. ينخفض تركيز البوتاسيوم في الصخور البركانية البازلتية بسبب انخفاض الفلزات الغنية بالبوتاسيوم كالفلدسبار، والميكا، حيث تسيطر هذه الفلزات في الصخور الحامضية، والقلوية، وهذا النوع من الصخور غير موجود في منطقة الدراسة [6].

يبين الشكل مساهمة اليورانيوم في الصخور الرسوبية لمنطقة الدراسة بشكل عام بأكثر من % 45 من إجمالي النشاط الإشعاعي، ويفسر ذلك بالسلوك الجيوكيميائي لليورانيوم السداسي، حيث تعد البيئات المؤكسدة بمثابة مصدر لليورانيوم، ليتم ترسيبه في البيئات المرجعة التي توفرها المواد العضوية، أو فلزات الكباريت في الصخور الرسوبية، مما يؤدي لتوزع رسوبي غير متجانس لليورانيوم [7].

تشكل مساهمة الثوريوم في الرسوبيات % 45، ويعزى ارتفاع تركيز الثوريوم في الرسوبيات لارتباطه بالفلزات الثانوية (تلك الموجودة عند مستوى أقل من % 5 في الصخر) الحاملة للعناصر المشعة والمقاومة للتجوية مثل الزركون، المونازيت، الأباتيت، التيتانيت، والألانيت، والتي تنتقل إلى الرسوبيات بالعمليات الميكانيكية، أو لارتباطه بالفلزات الغضارية [8].



الشكل (2) مخطط K-U-Th للعينات المدروسة في منطقة الدراسة بين الوفرة النسبية لهذه العناصر المشعة [9].

نسبة Th/U:

تم حساب نسب Th/U لجميع العينات، بالإضافة إلى حساب نسب U/(U/Th)، ونسب U/U-(Th/3.5) لتحديد الاغثناء باليورانيوم ولوحظ أن هذه النسب في عينات منطقة الدراسة متغيرة بشكل كبير، مقارنة مع متوسط نسبة Th/U في صخور القشرة الأرضية [10]3.5، وتم استخدام هذه النسبة لتحديد مدى اغثناء، أو رشح اليورانيوم من عينات منطقة الدراسة.

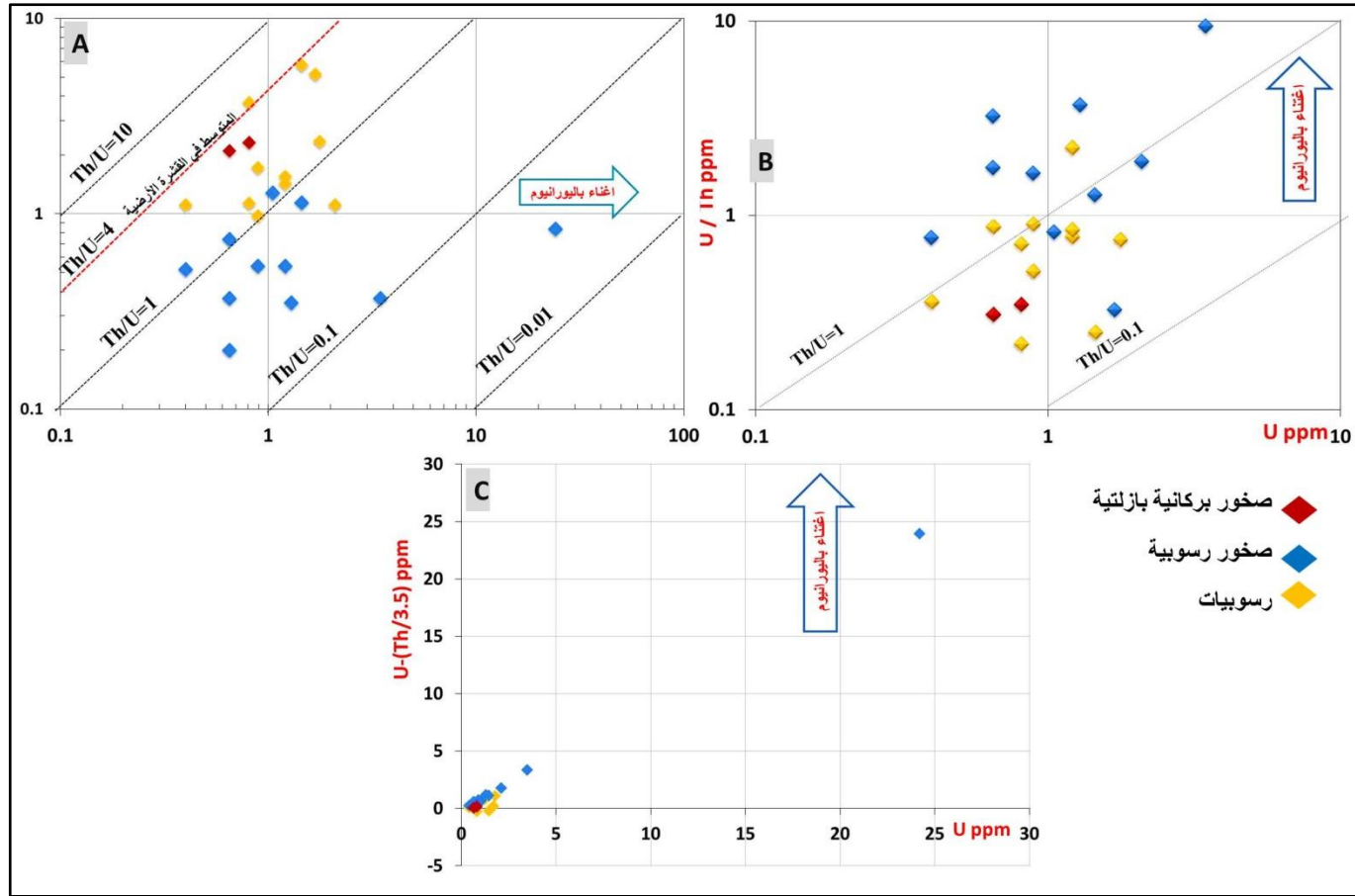
يبين الشكل (3: A, B, C) تغير نسب Th/U بين (0.03-1.21) في الصخور الرسوبية لمنطقة الدراسة، وبالتالي يشير انخفاض هذه النسبة $Th/U < 2$ إلى حدوث عميلة اغثناء باليورانيوم في هذه الصخور على حساب الثوريوم، مع سيطرة بيئة بحرية ملائمة لتثبيت اليورانيوم في ظل ظروف مرجعة، [11]، كما يدل على حدوث ارتشاح اليورانيوم على مساحة كبيرة، ومن ثم حدوث إعادة ترسيب لليورانيوم في بيئات مناسبة جيوكيميائياً، ويعزى

ارتفاع تركيز اليورانيوم في هذه الصخور إلى وجود المادة العضوية التي تلعب دوراً هاماً في تثبيت اليورانيوم، وذلك من خلال تأكسد المادة العضوية مما يؤدي إلى نقصان حاد في الأكسجين ويعمل على تغيير ظروف (Eh) من مؤكسدة إلى مرجعة وفي هذه الحالة يتحول اليورانيوم السداسي الذائب إلى يورانيوم رباعي غير قابل للذوبان مكوناً فلز اليورانيت [12]، بالإضافة لدور التركيب الفلزي الذي يساهم في ادمصاص اليورانيوم في بعض الفلزات المكونة للصخور الرسوبية، وهذا ما يلاحظ في عينة الصخر الكلسي الفوسفاتي، حيث أدى وجود فلز الأباتيت $[Ca_{10}(PO_4)_4F_2]$ إلى زيادة تركيز اليورانيوم في هذه العينة مقارنة ببقية العينات، من خلال استبدال الكالسيوم ثنائي التكافؤ $(0.99A^\circ)$ باليورانيوم الرباعي $(0.97A^\circ)$ في البنية البلورية لفلز الأباتيت، وذلك نظراً للتقارب الكبير نسبياً في أنصاف أقطارهما [13].

هناك تباين قوي في محتوى الصخور الرسوبية من العناصر المشعة، وهذا ما ينطبق على محتويات الرسوبيات. تعكس الرسوبيات المتبقية بشكل عام تكوين الصخور الأم، أو قد تكون الرسوبيات الناتجة عن نقل الحطام الصخري ذات طبيعة مختلفة عن طبيعة الصخر الذي تعلوه [14]. يبين الشكل (3: A, B, C) اختلاف النسب في الرسوبيات، ويرجع ذلك للتركيب الفلزي للرسوبيات واختلاف السلوك الجيوكيميائي لعنصري اليورانيوم والثوريوم، فاليورانيوم أكثر انحلالية من الثوريوم الأمر الذي يؤدي إلى تعرضه لعملية الغسل بشكل دائم وانتقاله في المحاليل المائية، ليرسب في حال توفر شروط ملائمة للوسط. بينما ارتفاع تركيز الثوريوم في الرسوبيات مقارنة بالعينات الصخرية، وقد ينتج ذلك من قدرة الثوريوم على الدخول في تركيب فلزات مقاومة للتجوية، وينتقل بعملية ميكانيكية للرسوبيات، أو يحدث ادمصاص للثوريوم على الفلزات الغضارية المتواجدة في الرسوبيات بشكل أكبر من الصخور الرسوبية في منطقة الدراسة.

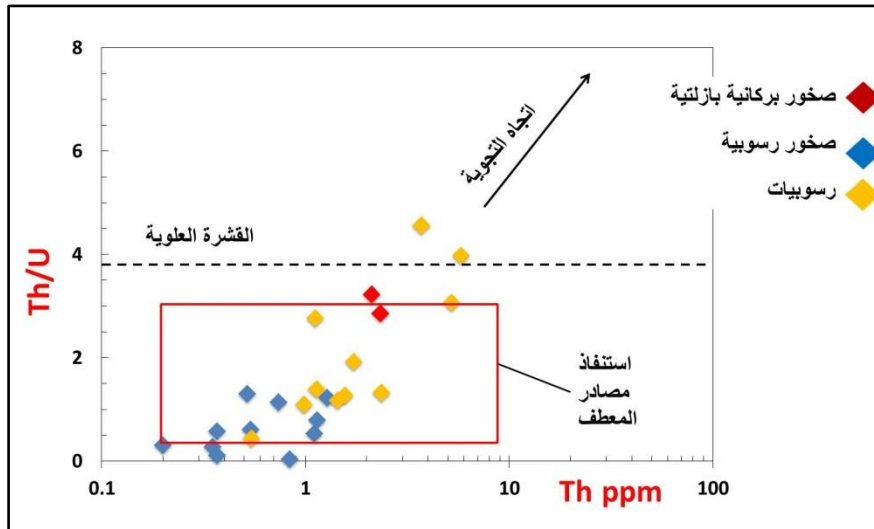
يبين الشكل (3، C) أن النسبة $u-(th/3.5)$ في أغلب الرسوبيات، والصخور البركانية البازلتية قريبة من الصفر، وهذا يدل على غياب لليورانيوم، أو فقده، بينما تشير القيم السالبة لهذه النسبة في العينتين (12، 22) إلى حدوث غسل لليورانيوم منهما نتيجة تأثرهما بعمليات التجوية بشكل أكبر من بقية العينات الأمر الذي أدى الى تحرر اليورانيوم، وفقدانه. كانت القيم النسبة $u-(th/3.5)$ أكبر من صفر في الصخور الرسوبية، وهذا يدل على حدوث اغتاء باليورانيوم أي إضافته إلى الصخور الرسوبية لمنطقة الدراسة [15].

ويبين الشكل (3، A) أن نسب Th/U في الصخور البركانية البازلتية لمنطقة الدراسة قريبة من متوسط نسب Th/U في القشرة الأرضية، ويرجع انخفاض تركيز اليورانيوم، والثوريوم في البازلت لأن هذين العنصرين يتجهان لتكوين مركبات معقدة مع أيونات أخرى تمنع انفصالهما عن المهل بسبب تكافؤهما الرباعي، وكبر الجهد الأيوني لهما، لذا فإن تركيز وتمعدن اليورانيوم، والثوريوم يكون في المراحل الأخيرة من التبلور الماغماتي، مما يعني أن تركيز هذين العنصرين يزداد في الصخور الحامضية التركيب ويقل في الصخور البازلتية [17].



الشكل (3) (A) مخطط U-Th، (B) مخطط تباين نسبة U مقابل U/Th، (C) مخطط U مقابل معادلة تعينة اليورانيوم U-(Th / 3.5) للعينات في منطقة الدراسة [18].

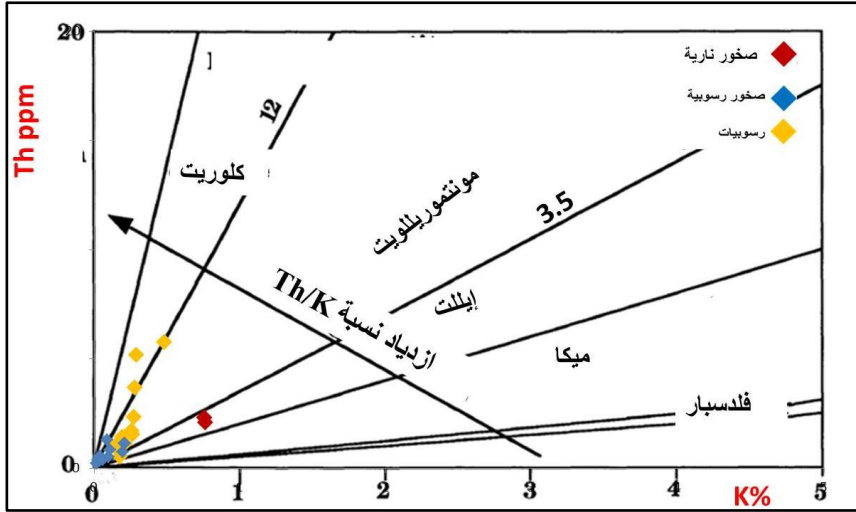
يبين الشكل (4) أن نسبة Th/U أكبر من 3.5 في العينتان الرسوبيتان (12، 22)، وهذا يدل على أن هاتين العينتين معرضتين للتجوية بشكل أكبر من بقية العينات بسبب سيطرة ظروف مؤكسدة أدت إلى تحويل أيونات U^{4+} غير القابل للذوبان إلى أيونات U^{6+} القابل للذوبان، بالتالي حدث انحلال وفقدان لليورانيوم أثناء عمليات الترسيب مع ثبات للثوريوم المقاوم للتجوية. كما يلاحظ أيضاً انخفاض نسبة Th/U في الصخور الرسوبية وهذا يدل على حدوث عملية اغتاء باليورانيوم على حساب الثوريوم [19].



الشكل (4) مخطط تباين نسبة Th مقابل Th/U للعينات في منطقة الدراسة [20].

نسبة Th/K:

تم استخدام المخطط Th-K المبين في الشكل (5)، لتحديد الفلزات الغضارية المسيطرة في منطقة الدراسة، بالاعتماد على تركيز الثوريوم، والبوتاسيوم.



الشكل (5) مخطط Th-K للعينات في منطقة الدراسة [22].

يبين الشكل (5) انخفاض نسب Th/K في مجمل عينات الصخور الرسوبية، وهذا يدل على انخفاض نسبة الفلزات الغضارية في هذه الصخور، وبالتالي الصخور الرسوبية في منطقة الدراسة هي عبارة عن كربونات نقية. يمكننا القول بأن مساهمات K، و Th مرتبطة بمحتوى الغضار في عينات الكلس الغضاري أو المارل، وبالمثل تشير قيم K و Th المرتفعة إلى كربونات غضارية [23].

يلاحظ ارتفاع نسبة Th/K في بعض عينات الرسوبيات، مقارنة بالصخور الرسوبية، والبركانية البازلتية، وهي تقع ضمن مجال المونتموريللونيت، الكلوريت كما هو موضح في الشكل (5)، ازدياد هذه النسبة يدل على زيادة عمليات التجوية بسبب انخفاض نسبة البوتاسيوم الذي يتأثر بعمليات التجوية، على عكس الثوريوم الأكثر ثباتاً ومقاومة للتجوية. ويعزى وجود فلز المونتموريللونيت إلى تجوية الصخور البازلتية المنتشرة في منطقة الدراسة، من خلال تحرر عنصري الكالسيوم والمغنيزيوم، وارتباطهما مع السيليس المتحرر بوجود الألمنيوم [24]، أو تمت إضافته إلى للتربة، والرسوبيات عن طريق عمليات النقل المختلفة، كما يمكن أن يتشكل من الميكا أو الكلوريت عن طريق إزاحة البوتاسيوم من بين طبقات الميكا، واستبدالها بالكالسيوم والمغنيزيوم [25].

يلاحظ انخفاض النسبة Th/K في الصخور البازلتية، وهذا يدل على بداية تعرض هذه الصخور للفساد، وبالتالي بداية ظهور الفلزات الغضارية، حيث يؤدي فساد الفلزات السيليكاتية إلى تشكل الإيليت [26].

حساب مؤشرات المخاطر الإشعاعي:

الراديويم المكافئ (Ra_{eq}) Radium Equivalent

وهو مؤشر خطر إشعاعي يستخدم لمقارنة فعاليات إشعاعية محددة لعينات تحتوي تركيزاً مختلفاً من الراديويم والثوريوم والپوتاسيوم. يحسب مكافئ الراديويم من العلاقة الآتية [27]:

$$Ra_{eq} = A_{Ra} + 1.43A_{Th} + 0.077A_K \quad (1)$$

علماً أنّ A_{Ra} ، و A_{Th} ، و A_K ، هي تركيز ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K على التوالي بوحدة Bq/kg. يجب أنّ يكون الحد الأقصى لقيمة Ra_{eq} أقل من 370 Bq/kg [28].

بلغ متوسط نشاط الراديويم المكافئ للعينات المدروسة في منطقة الدراسة 52.817 Bq/kg، وهذه القيم أقل بكثير من القيم العالمية المسموح بها، ويلاحظ ارتفاع نشاط الراديويم المكافئ في الصخور الفوسفاتية العينة (21)، ويعود ذلك لوجود فلزات الأباتيت حيث يحدث إحلال اليورانيم الرباعي محل الكالسيوم ثنائي التكافؤ في بلورات الأباتيت.

مؤشر الخطر الخارجي External Hazard Index:

وهو مؤشر آخر عن الخطر الإشعاعيّ مستخدم على نطاق واسع، يجب أن تكون قيمة المؤشر أقل من الواحد حتى يكون الخطر الإشعاعيّ مهمل، ويحدد هذا المعامل بالعلاقة الآتية [27]:

$$H_{ex} = A_{Ra}/370 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (2)$$

علماً أنّ A_{Ra} ، A_{Th} ، و A_K ، هي تركيز ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K على الترتيب بوحدة Bq/kg، إنّ أعلى قيمة لمؤشر الخطر الخارجي مساوية للواحد تتوافق مع أعلى قيمة للراديويم المكافئ (370 Bq/kg) [28].

مؤشر الخطر الداخلي Internal Hazard Index:

حُدّ التعرض الداخلي للرادون ونواتجه، بمؤشر الخطر الداخلي H_{in} والذي يحسب بالعلاقة الآتية [27]:

$$H_{in} = A_{Ra}/185 + A_{Th}/259 + A_K/4810 \leq 1 \quad (3)$$

علماً أنّ A_{Ra} ، A_{Th} ، و A_K ، هي تركيز ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K على الترتيب بوحدة Bq/kg، وكما في مؤشر الخطر الخارجي فإنّ حد الأمان لهذا المؤشر هو الواحد.

تمّ تطبيق العلاقات (2) و(3) وحصلنا على النتائج الموضحة في الجدول (2)، كان متوسط قيم دليل الخطورة الداخلي والخارجي في منطقة الدراسة أقل من الحدّ المسموح عالمياً (1mSv/y).

معدل الجرعة الممتصة في الهواء Absorbed Radiation Dose :

يأتي الإشعاع الأرضي نتيجة تفكك المواد المشعة الطبيعية في التربة والصخور، وبالتالي تتعلق مساهمة هذه المواد المشعة في معدل الجرعة الممتصة في الهواء بتركيز هذه المواد في التربة والصخور.

يقدر متوسط معدل الجرعة الممتصة في الهواء عند 1m من المصادر الأرضية لإشعاع غاما في التربة بـ 55 nGy/h [27]، ويتم حساب الجرعة الممتصة بالعلاقة الآتية:

$$D_{nGy/h} = 0.462A_{Ra} + 0.621A_{Th} + 0.042A_K \quad (4)$$

علماً أنّ A_{Ra} ، A_{Th} ، و A_K ، هي تركيز ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{40}K على الترتيب بوحدة Bq/kg.

بتطبيق المعادلة (4) تم الحصول على متوسط معدل الجرعة الممتصة في الهواء في منطقة الدراسة الموضحة في الجدول (2)، فكان متوسط قيمة الجرعة الممتصة في الهواء nGy/h 24.602، وهي أقل من الحد المسموح (55n Gy/h)..

الجرعة الفعالة السنوية Annual Effective Dose:

تعرّف الجرعة الفعالة السنوية (AED) بأنها معامل إشعاعيّ يستخدم للحكم على مدى الآثار الصحية الناجمة عن الجرعة الممتصة وتقاس بوحدة (mSv/y). يتم حساب معدل الجرعة الفعالة السنوية الخارجية اعتماداً على معدل الجرعة الممتصة باستعمال عامل التحويل (0.7 Sv/Gy)، واستعمال عامل الإشغال الخارجي (0.2)، وفق المعادلة الآتية:
:[28]

$$E = D(\text{nGy/h}) \times 0.7(\text{Sv/Gy}) \times 10^{-6} \times 8760(\text{h/y}) \times 0.2 \dots\dots\dots(5)$$

بتطبيق المعادلة (5) تم الحصول على متوسط الجرعة الفعالة السنوية في منطقة الدراسة الموضحة في الجدول (2). وصل متوسط قيم الجرعة الفعالة السنوية 0.03017 mSv/y، وهي أقل من القيمة 1mSv/y الموصى بها من قبل لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري.

لوحظ أن جميع مؤشرات المخاطر الإشعاعية تعطي قيمة أقل من الحد المسموح بها، وبالتالي لا يوجد أي مخاطر مشعة صحية في منطقة الدراسة.

جيوكيمياء العناصر المشعة في صخور ورسوبيات رقعة جيلة وأثرها البيئي

جدول (2) يبين قيم مكافئ الراديوم Ra_{eq} ، ومستوى الخطر الخارجي H_{ex} ومستوى الخطر الداخلي H_{in} والجرعة الممتصة في العينات D في منطقة الدراسة.

الجرعة الفعالة السنوية E (mSv/y)	الجرعة الممتصة D (nGy/h)	مؤشر الخطر الداخلي H_{in}	مؤشر الخطر الخارجي H_{ex}	Ra_{ep} (Bq/kg)	وصف العينة	رقم العينة
0.0163	13.3497	0.1115	0.0764	28.29	تربة زراعية	1
0.0168	13.713	0.1139	0.0787	29.17	رسوبيات رباعية	2
0.0125	10.2276	0.0854	0.0584	21.62	رسوبيات	3
0.0124	10.1442	0.0956	0.0577	21.38	رسوبيات	4
0.0106	8.6454	0.0746	0.0497	18.42	رسوبيات رباعية غامقة اللون	5
0.0122	9.9555	0.0871	0.0573	21.24	رسوبيات رباعية رملية مع حصي	6
0.0148	12.1278	0.1051	0.07	25.91	رسوبيات رباعية	7
0.0060	4.9581	0.0417	0.0282	10.46	حجر رملي مستحاثي ذو ملاط كلسي	8
0.0100	8.205	0.0679	0.0463	17.14	حجر رملي	9
0.0376	30.681	0.2619	0.1808	66.96	رسوبيات	10
0.0199	16.2765	0.1558	0.0936	34.67	مازل حواري	11
0.04197	34.2294	0.2782	0.1999	74.01	رسوبيات	12
0.0095	7.8195	0.0835	0.0457	16.91	حجر كلسي مع صوان	13
0.0054	4.4448	0.0475	0.0259	9.60	حجر كلسي مع صوان وأكاسيد حديد	14
0.0114	9.3534	0.1004	0.0544	20.15	حجر كلسي مع عضويات	15
0.0286	23.3295	0.2165	0.1354	50.13	رسوبيات رباعية	16
0.0080	6.5742	0.0654	0.0384	14.22	حجر رملي	17
0.0182	14.8686	0.1395	0.0855	31.66	حجر كلس مارلي	18
0.0275	22.4373	0.2524	0.1307	48.39	حجر كلسي	19
0.0111	9.1092	0.080	0.0533	19.74	حجر كلسي رملي مع صوان	20
0.3160	257.7234	2.9935	1.5070	557.63	حجر كلسي رملي حاوي فوسفات	21
0.0270	22.0197	0.1612	0.1217	45.08	رسوبيات بازلتية	22
0.0255	20.823	0.1678	0.1219	45.14	بازلت فاسد	23
0.0238	19.4454	0.1286	0.1069	39.614	بازلت	24
0.030172567	24.60255	0.246517672	0.142711365	52.8176	المتوسط	
1	55	1	1	370	المعدل العالمي [28]	

الاستنتاجات:

تم التوصل خلال هذه الدراسة إلى النتائج الآتية:

- هناك تباين في تركيز العناصر المشعة من موقع إلى آخر، ويرتبط ذلك بشكل مباشر بالخصائص الجيوكيميائية للعناصر المشعة وسلوكها في الأوساط الجيولوجية، ويرتبط أيضاً مكانياً بالصخور المضيفة في منطقة الدراسة، وبالتالي تعتبر القيم المرتفعة من العناصر المشعة في منطقة الدراسة شواذات جيوكيميائية، وليست تمعدنات حقيقية.
- تعتبر الصخور الفوسفاتية، والتكشفات البركانية البازلتية المنتشرة بشكل قليل في منطقة الدراسة، وبشكل أكبر في المناطق القريبة من منطقة الدراسة، المصدر الرئيس للعناصر المشعة في منطقة الدراسة، حيث تساهم مجموعة من العوامل في تحرير وانتقال هذه العناصر من هذه التكشفات، أهمها العوامل المناخية التي تساهم في نقل العناصر المشعة في المياه السطحية نتيجة الهائل المطري الغزير، والعوامل الطبوغرافية حيث الانحدارات الشديدة، وتباين الارتفاعات بين المصدر والبيئات المجاورة.
- يعتمد النشاط الإشعاعي بشكل رئيس على اليورانيوم والثوريوم، وبشكل أقل على البوتاسيوم.
- حدثت عملية اغتناء باليورانيوم في الصخور الرسوبية كما بينت النسب Th/U ، $U/(U/Th)$ ، $U/U-(Th/3.5)$ ، انخفاض اليورانيوم في الرسوبيات نتيجة تعرضه للغسل أو الرشح، بينما ارتفع تركيز الثوريوم بسبب قابليته المنخفضة للانحلال، وكانت النسب في الصخور البركانية البازلتية قريبة من معدلها في القشرة الأرضية.
- تعرضت الرسوبيات لعمليات تجوية أقوى، مقارنة بالصخور الرسوبية، والبازلتية كما أظهرت النسب Th/U .
- ترتفع نسبة الغضاريات في الرسوبيات، مع سيطرة فلز المونتموريللونيت في معظم العينات كما بينت نسب Th/K .

- إن قيم النشاط المكافئ للراديووم، ومعدل جرعة جاما الممتصة، ومؤشرات الخطر الداخلي (Hin)، والخارجي (Hex) للعينات في منطقة الدراسة أقل من قيمة الحد العالمي المسموح به، فالمنطقة آمنة إشعاعياً.

التوصيات:

يوصى بدراسة توزع العناصر المشعة في أنواع أخرى من الصخور وتقييمها وتحسينها، وتوسيع منطقة الدراسة لتشمل السلسلة الساحلية، واستخدام بيانات هذه الدراسة في بناء قاعدة بيانات جيوكيميائية للعناصر المشعة، واستخدام هذه البيانات في رسم خرائط جيوكيميائية إشعاعية تفيد في المساهمة بالدراسة والمراقبة البيئية للمنطقة الساحلية.

• المراجع:

- [1] Tzortzis, M., Svoukis, E., Tsetos, H., (2004). A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. *Radiation Protection Dosimetry* 109 (3), 217–224.
- [2] Barnes, C.E. and Cochran, J.K. (1993) Uranium geochemistry in estuarine sediments: controls on removal and release processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57: 555– 569.
- [3] Roski, R (1978) Explanatory Note of Sheet Jableh NI 36–X–2–d, G. E. G. M. R. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus.
- [4] Roski, R., Yousef, S., Sanlaville, P., Mouty, M., Sgallash., G. (1979) Geological Map of Jableh Sheet 1:50000, G. E. G. M. R. Ministry of Petroleum and Mineral Resources, Damascus.
- [5] Wedepohl, K H. (Editor). 1978b. *Handbook of Geochemistry: Volume II/2 Elements Si(14) to V(23)*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg & New York
- [6] Webb, P.C., Tindle, A.G., Barrit, S.D., (1987). Factors controlling distribution of heat production in selected UK Granites. *Geophysical Research Letters* 14, 299–302.
- [7] 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.
- [8] Marchalland, C.P., Fairbridge, R.W., (1999). *Encyclopedia of Geochemistry*. Kluwer Academic Press.
- [9] Paxton, S. T., M. Aufill., P. Kamann & A. Krystyniak, (2008). Spectral gamma ray response of Oklahoma shales in outcrop. In *Gas Shales Workshop*. Oklahoma Geological Survey
- [10] Wedepohl, K.H., (1995). The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59, 1217–1232
- [11] 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
- [12] Levinson, (1974). *Introduction to geochemical exploration*. Applied publishing Ltd., USA, 573p.
- [13] Hussein, E. M. (1994). Radioactivity of phosphate ore, superphosphate and phosphogypsum in Abu- Zaabal phosphate plant, Egypt. *Journal of Health Physics*, 67, 280–283

- [14] Jasinska, M., T. Niewiadomski, and J. Schwabenthan, (1980). On a new possibility of estimating population exposure to terrestrial sources, *Health Physics*, v. 38. p. 419-421.
- [15] Boyle, R.W. (1982) *Geochemical Prospecting for Thorium and Uranium Deposits*. *Developments in Economic Geology* 16, Elsevier, Amsterdam, 189.
- [16] Wardha, R.; Moustafa, M. *Petrographic Study of the basaltic rocks in the North-west Syria* Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies- Basic Sciences Series Vol. (38) No. (5) 2016
- [17] McKelvey, V.E., Everhart, D.L., and Garrels, R.M., *Origin of Uranium Deposits*, *Econ. Geol.*, 1955, part I, pp. 465–533.
- [18] Cuney, M. (1984) *Les Methods des Prospection de l'uranium*. Nuclear Energy Agency of the OECD, Paris, 277-292.
- [19] Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1985) *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*. *The Journal of Geology*, 94.
- [20] S. M. McLennan, S. Hemming, D. K. McDaniel, and G. N. Hanson, (1993). "Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics," *Special Paper of the Geological Society of America*, vol. 284, pp. 21–40.
- [21] Sparks, D.L. (1985). *Kinetics of ionic reaction in clay minerals and soils*. *Adv. Agron.*, 38:231-266.
- [22] Schlumberger, (1989), *Log Interpretation Principles/Application*, Wire Line & Logging Center, Texas, p(45-58).
- [23] Glover, P. *Petrophysics MSc Course Notes*, Department of Geology and Petroleum Geology University of Aberdeen UK.
- [24] KOVDA, B.K. AND ROZONOVA, B.K. *. pedology soil types and Geografic*. Eds high school Moscow, 1988, 367P.
- [25] GRIM, R.E. *mineralogy* McGraw-Hill Book Co, New York. 1968. Pp 596.
- [26] Eggleton, R.A. and Aspindiar, M. (2007). *Environmental mineralogy*. Lab. (Bentley, Western Australia National, Univ. Report 206:159p.
- [27] Beretka, I. Mathew, P.I (1985). *Natural radioactivity of Australian building materials, waste and byproducts*. *Health Physics*, 48: 87-95.
- [28] United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). *Report to the General Assembly. Annex B: Exposures from Natural Radiation Sources*, United Nations, New York.

