

Received	2025/10/26	تم استلام الورقة العلمية في
Accepted	2025/11/21	تم قبول الورقة العلمية في
Published	2025/11/23	تم نشر الورقة العلمية في

سجلات أشعة جاما وتقييم الانبعاثات الإشعاعية المؤينة لبئر نفطي X1 في حقل الفيل، حوض مرزق، جنوب غرب ليبيا

زهرة خليفة محمد رحومة*، سعاد المختار إبراهيم خمّاج، عفاف علي الربيب

جامعة الزاوية / الزاوية / ليبيا

*z.rahoumah@zu.edu.ly

الملخص:

تسلط الدراسة الضوء على تقييم المواد المشعة الصخور الطينية والصخر الزيتي في تكوين تنازفت ببئر X1 في حقل الفيل باستخدام مطياف أشعة جاما الطبيعية (NGR) لتحديد تراكيز العناصر المشعة K و U و Th. أظهرت سجلات جاما قيماً تتراوح بين 116- API 200 مع ارتفاع ملحوظ في الجزء السفلي من البئر، مما يشير إلى زيادة المعادن الطينية الحاملة للمواد المشعة. بيّنت منحنيات اليورانيوم ونسبة Th/U ارتباطاً وثيقاً بظروف الترسيب ومحتوى الكربون العضوي، ما يجعلها مؤشرات فعالة لنشاط المواد المشعة في التكوين. كما أشارت الدراسة إلى أن المياه المصاحبة لعمليات استخراج النفط تسهم في نقل النظائر المشعة إلى السطح أو تترسب على معدات الحفر مما يعزز احتمالات التلوث الإشعاعي الطبيعي (NORM) في مواقع الانتاج. وبالاعتماد على مقارنة جيولوجية بمناطق مماثلة ذات بيانات منشورة وموثوقة؛ خلصت النتائج إلى وجود خطر إشعاعي يستدعي وضع إطار تنظيمي صارم وبرامج سلامة ميدانية لحماية العاملين والبيئة.

الكلمات المفتاحية: معادن الطين، أشعة جاما، NGR، حوض مرزق، تلوث الإشعاعي للنفط.

Gamma-Ray Logs and Assessment of Ionizing Radioactive Emissions of Oil Well X1 in El-Feel Field, Murzuq Basin, Southwest Libya

Zahra Khalifa Mohamed Rahouma*, Souad Al-Mukhtar Ibrahim
Khamaaj, Afaf Ali Al-Rabeeb

University of Zawia - Al-Zawiya - Libya

*z.rahoumah@zu.ed.ly

Abstract

The study highlights the evaluation of radioactive materials within the clay and shale units of the Tanazeft Formation in well X1, located in the El-Feel Field, using Natural Gamma Ray (NGR) spectrometry to determine the concentrations of the radioactive elements K, U, and Th. Gamma-ray logs recorded values ranging from 116 to 200 API, with a notable increase in the lower section of the well, indicating higher abundances of clay minerals enriched in radioactive elements. The uranium curves and the Th/U ratio show a strong correlation with depositional conditions and organic carbon content, making them effective indicators of radioactive activity within the formation. The study also indicates that produced water associated with oil extraction contributes to transporting radioactive isotopes to the surface or depositing them on drilling equipment, thereby increasing the likelihood of naturally occurring radioactive material (NORM) contamination at production sites. Based on geological comparison with similar, well-documented regions, the findings reveal a potential radiological risk that necessitates a strict regulatory framework and specialized field safety programs to protect workers and the environment.

Keywords: clay minerals, gamma ray, NGR, Murzuq Basin, oil radioactive contamination.

1- المقدمة

لقد تم إجراء دراسة البيئة الإشعاعية الطبيعية بشكل نشط منذ اكتشاف النشاط الإشعاعي. تم قياس إشعاع جاما الطبيعي للتكوينات الجيولوجية عن طريق تسجيل الآبار لأكثر من نصف قرن. قبل ثمانينيات القرن الماضي، حيث كان العدد الإجمالي للعينات المكتشفة

يُستخدم في الغالب كمؤشر على "الطبقة الصخرية". يُستخدم تسجيل أشعة جاما الطبيعية السلبي بشكل شائع لتحديد الخصائص الصخرية، أو تحديد المعادن، و في الآبار. استخدمت تسجيل أشعة جاما الطبيعية في أقسام خزانات الحجر الرملي بغرض الحصول على المعلومات عن مؤشر لمحتوى الطين، وبالتالي جودة الخزان [1,2].

نوعين من سجلات أشعة جاما: الأول سجل أشعة جاما التقليدي والذي يمثل إجمالي إشعاع جاما الطبيعي في البئر بغض النظر عن طاقة أشعة جاما، والثاني يقيس مسار أشعة جاما الطبيعية الطيفية (SNG) طيف أشعة جاما، أي توزيع طاقة أشعة جاما. تُعد بيئة الإشعاع الطبيعي المصدر الرئيسي لتعرض الإنسان للإشعاع، وتتكون من مصادر داخلية وخارجية. أهم المصادر الداخلية هي العناصر المشعة K^{40} و Rn^{222} التي تدخل الجسم. أما المصادر الخارجية فهي الأشعة الكونية والنظائر المشعة الطبيعية لسلسلة اضمحلال K^{40} و U^{238} و Th^{232} ، والتي يمكن العثور على بعضها أو جميعها في الأرض، مواد البناء، والهواء. تختلف مستويات الإشعاع الداخلية والخارجية تبعاً للمواد الجيولوجية، ونوع المسكن، والارتفاع عن مستوى سطح البحر.

تنقسم النويدات المشعة الطبيعية في البيئة إلى نوعين: كونية المنشأ وبدائية المنشأ. تُنتج النويدات المشعة الكونية المنشأ من خلال تفاعل الأشعة الكونية مع ذرات الغلاف الجوي، ولا تُسهم بشكل كبير في جرعات إشعاع جاما الخارجية [3]. ينشأ المكون الأرضي للإشعاع الطبيعي من النويدات المشعة البدائية لعناصر البوتاسيوم واليورانيوم والثوريوم ونواتج اضمحلالها. يحتوي البوتاسيوم الطبيعي على 0.0119% من نظير البوتاسيوم. يُنتج اضمحلال اليورانيوم والثوريوم إلى نظائر مستقلة تتألف من عشرات النويدات المشعة، اليورانيوم الطبيعي هو خليط من نظيري U^{235} و U^{238} ، حيث يشكل U^{235} نسبة 0.72% من اليورانيوم الطبيعي [4].

مطياف أشعة جاما يوفر طريقة سريعة وموثوقة لقياس الإشعاع لتحليل خامات اليورانيوم اليورانيوم و الثوريوم، و يعرض النتائج التجريبية. وتحديد نسب اليورانيوم إلى الثوريوم في الصخور، وهي نسب مهمة في دراسات التعرف على الطبقات وارتباطها مباشرةً بواسطة مطياف أشعة جاما دون الحاجة إلى إجراء تحاليل فردية لليورانيوم أو الثوريوم. كما يُسهّل مطياف أشعة جاما تحليل خامات البوتاسيوم. ويمكن غالبًا حل السلوك غير المنتظم لسجلات آبار أشعة جاما من خلال دراسة أطيف هذه السجلات،

متبوعًا بالتحليل الطيفي لأشعة جاما، للمواد الأرضية الشائعة، طريقة لتحليل صخور الآبار لعناصر مثل الكالسيوم والهيدروجين والكلور والكبريت والمغنيسيوم. يمكن غالبًا تحسين بيانات الدراسات التي تستخدم مُتتبعات إشعاعية باستخدام مطياف أشعة جاما [5].

يُستخدم مطياف أشعة جاما في تطبيقات متعددة التخصصات، حيث يوفر معلومات حول هوية النويدات المشعة، ويتيح تحديدها كميًا. أشعة جاما هي إشعاعات كهرومغناطيسية ذات أصل نووي، ولا يُعد كشفها مباشرًا، إذ يعتمد على إنتاج جسيمات ثانوية يمكن جمعها معًا لإنتاج إشارة كهربائية [6].

توجد المواد التي تحتوي على أنوية مشعة بشكل طبيعي والتي يصطلح على تسميتها بالمواد المشعة الطبيعية (Naturally Occurring Radioactive Material) واختصارًا NORM على الأرض في أماكن متعددة وبنسب مختلفة حيث تعد المياه المصاحبة لاستخراج النفط الخام من باطن الأرض أهم مصدر لهذه المواد ومنشأها من سلاسل النشاط الإشعاعي الطبيعي لسلاسل ^{238}U ، ^{232}Th بالإضافة إلى سلسلة ^{40}K وأثناء استخراج النفط والغاز تخرج المواد المشعة الطبيعية إلى السطح مرافقة المياه المتدفقة كما تتراكم في المعدات المختلفة مثل رؤوس الإبار؛ والمضخات؛ وأوعية الفصل، وتتخذ شكل قشور وبعض النفايات الأخرى. وتعتبر هذه التراكبات خطرة على العمال والأشخاص العاديين والبيئة نظرًا لأن عمر النصف لانحلال هذه المواد يستغرق فترات زمنية طويلة تصل إلى ملايين السنوات، مما يسبب تلوثًا إشعاعيًا طويل الأمد على البيئة كما يشكل خطر حقيقي على صحة العاملين والمقيمين في هذه الحقول، وبالرغم من أننا لا نتوقع حدوث آثار حادة مماثلة لتلك الناجمة عن جرعات عالية من الإشعاع الصناعي إلا إن تأثير هذه الإشعاعات يظهر على المدى الطويل حيث يؤثر التعرض العشوائي للأنسجة الحية إلى زيادة احتمالية الإصابة بالسرطانات والطفرة الوراثية المختلفة إذا ما لم يتم اتخاذ إجراءات وقائية مناسبة لتفادي هذا الخطر وذلك لعدم وجود جرعة حدية ثابتة في هذا الصدد. كما أنه ووفق ما يرد من منظمات الحماية من الإشعاع يمكن تقليل الخطر من تأثيرات الإشعاع عن طريق مراقبة النفايات المشعة الطبيعية والمعدات الملوثة والسيطرة عليها، وتدريب العمال وتوعيتهم، وتطبيق المبادئ العامة والتدابير الوقائية الجيدة

في أماكن العمل، ومن ثم فإن الحكم في التعرض والقياس الكافي للجرعات هما من أهم مكونات برنامج الوقاية من المواد المشعة الطبيعية الذي تتبعه جل هذه المنظمات.

2- الهدف من الدراسة

تهدف هذه الدراسة ألي إجراء تحليل مُفصل للمواد المشعة تحت السطحية باستخدام تقنية تسجيل أشعة جاما الطيفية، إذ يُمكنها تقدير تركيزات المواد المُشعة في بئر X1 بحقل الفيل جنوب غرب ليبيا (حوض مرزق).

3- الأدوات المستخدمة

- الاستقراء العلمي ، الأوراق البحثية المنشورة، والكتب المنشورة.
- تسجيلات مجس أشعة جاما للبئر X1.

4- منهجية الدراسة

تأولت الدراسة محورين المحور الاول الخليفة العلمية لمصادر الاشعاع الطبيعي واهمية دراستها، والخليفة الجيولوجية لمنطقة المدروسة ، والمحور الثاني المتمثل في تسجيلات مجس اشعة جاما، والاستقراء العلمي لمنطقة الدراسة.

4-1 المحور الاول

1- مصادر الإشعاع الطبيعي

ينشأ الإشعاع الطبيعي من مصادر لطالما كانت جزءاً من بيئة الإنسان. المصادر الرئيسية في باطن الأرض تشمل البوتاسيوم الطبيعي بنسبة 0.0119% من نظير البوتاسيوم، وينتج سلسلة اضمحلال اليورانيوم، الثوريوم الى نظائر مستقرة حيث تتألف سلسلة الاضمحلال من عشرات النويدات المشعة، اليورانيوم الطبيعي هو خليط من نظيري اليورانيوم 235 و اليورانيوم 238، حيث يُشكل U^{235} نسبة 0.72% من اليورانيوم الطبيعي. الثوريوم الطبيعي هو العنصر الأم لـ Th^{232} [7]، كما يساهم الإشعاع الكوني القادم من الفضاء الخارجي، وغاز الرادون في الهواء، والإشعاع الداخلي في جسم الإنسان في بيئة الإشعاع الطبيعي. بالإضافة إلى الإشعاع الطبيعي، توجد أيضاً مصادر مختلفة للإشعاع من صنع الإنسان. وقد وُصفت بيئة الإشعاع الطبيعي [8,9].

يشمل الإشعاع الطبيعي الخارجي للإنسان أشعة جاما الأرضية، وأشعة جاما من الإشعاع الكوني. تنقسم النويدات المشعة الطبيعية في البيئة إلى نوعين: كونية المنشأ وبدائية المنشأ. تُنتج النويدات المشعة الكونية المنشأ من خلال تفاعل الأشعة الكونية مع ذرات الغلاف الجوي، ولا تُسهم بشكل كبير في جرعات إشعاع جاما الخارجية [10].

2- الخلفية الجيولوجية لتكوين النفط الخام في حوض مرزق

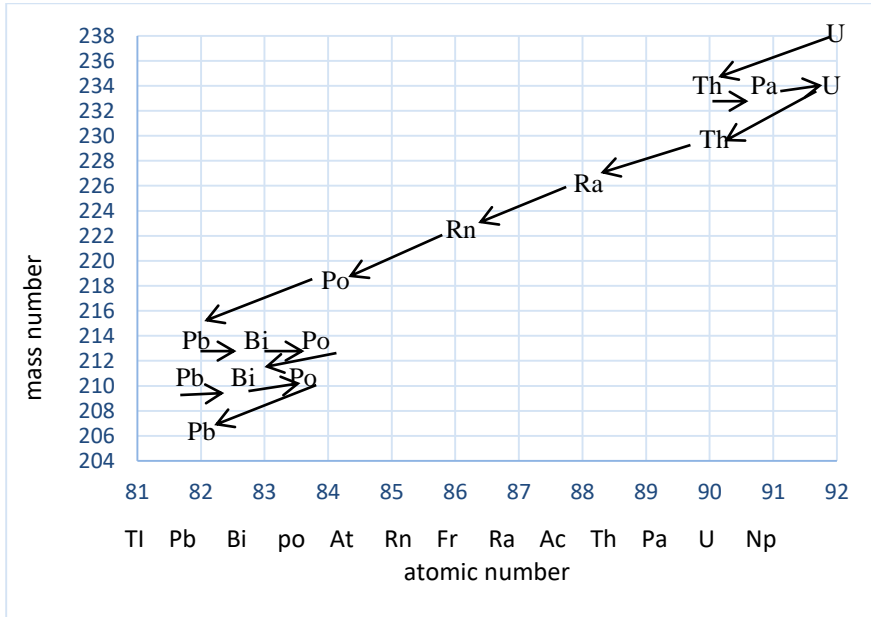
يتميز الجزء الجنوبي الغربي من ليبيا بتاريخ جيولوجي معقد جعله هدف استراتيجيا لاكتشاف وإنتاج النفط، حيث يمثل حوض مرزق أحد الأحواض الرسوبية الرئيسية المتكونة من تركيب طبقي صخري غني بالمواد العضوية وهي المصدر الأساسي الذي يولد منه النفط الخام في معظم حقول الحوض، كما يتميز بتكوين الصخر الطيني الذي يعمل كغطاء ممتاز يحبس الهيدروكربونات اسفله، وبمرور السنين تكونت المصائد النفطية التي شملت مصائد هيكلية مثل القباب domes، والطيات anticlines المتشكلة بسبب الصدوع؛ ومصائد طبقية تحتبس النفط بسبب التغير الرأسي في خصائص مسامية الصخر، حيث يتميز النفط المستخرج من هذه الحقول بكثافة ولزوجة منخفضة ما يطلق عليه مصطلح (الخام الخفيف) مما يجعله يتدفق بسهولة في الظروف الطبيعية في خطوط الانابيب فيقلل من تكاليف الإنتاج والنقل ويجعله مرغوبا عالميا، كما يتميز أيضا بانخفاض كبير في محتوى الكبريت ويصنف على أنه أكثر صداقة للبيئة لأنه ينتج اقل ملوثات من ثاني أكسيد الكبريت، وتطابق هذه البنية الجيولوجية بناء على دراسات جيولوجية منشورة [11] بنية حقل حاسي مسعود بالجزائر

وبنية حقول السويس في مصر [12] وبنية حقول جنوب تونس [13].

اما عن المياه المصاحبة لخروج النفط الخام فهي موجودة بشكل طبيعي في الحوض وتتميز بشدة الملوحة الناتجة عن وجود صخور بيئية بحرية قديمة حيث تتبخر المياه بفعل الحرارة على مدى ملايين السنين، وعندما تذوب الايونات في المياه عالية الملوحة (مثل الكلوريدات) تكون مستقرة كيميائيا وتشكل معقدات ذائبة مع العناصر مثل اليورانيوم والراديوم (نويدات مشعة طبيعية موجودة بالصخور)، وعند استخراج النفط تتغير الظروف الكيميائية وتتطلق النويات المشعة من محلول الماء وترسب وتتراكم على سطح الأرض حيث تطرح المياه الزائدة او على اسطح معدات الإنتاج (كالأنابيب والصمامات والفواصل مكونة ما يعرف بـ (NORM) .

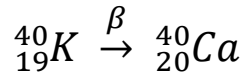
3- الآلية الفيزيائية لإنتاج الأشعة المؤينة

تصدر الأشعة المؤينة من المواد المشعة الطبيعية المصاحبة لخروج النفط الخام والملتصقة بالمعدات البترولية أثناء عمليات الاستخراج والمعالجة والتي تنشأ أساسا من سلاسل النشاط الإشعاعي الطبيعي U^{238} والمتمثلة في Ra^{226} الذي ينحل بدوره تلقائيا على السطح وصولا إلى الرصاص المستقر، كما موضح بالشكل (1).



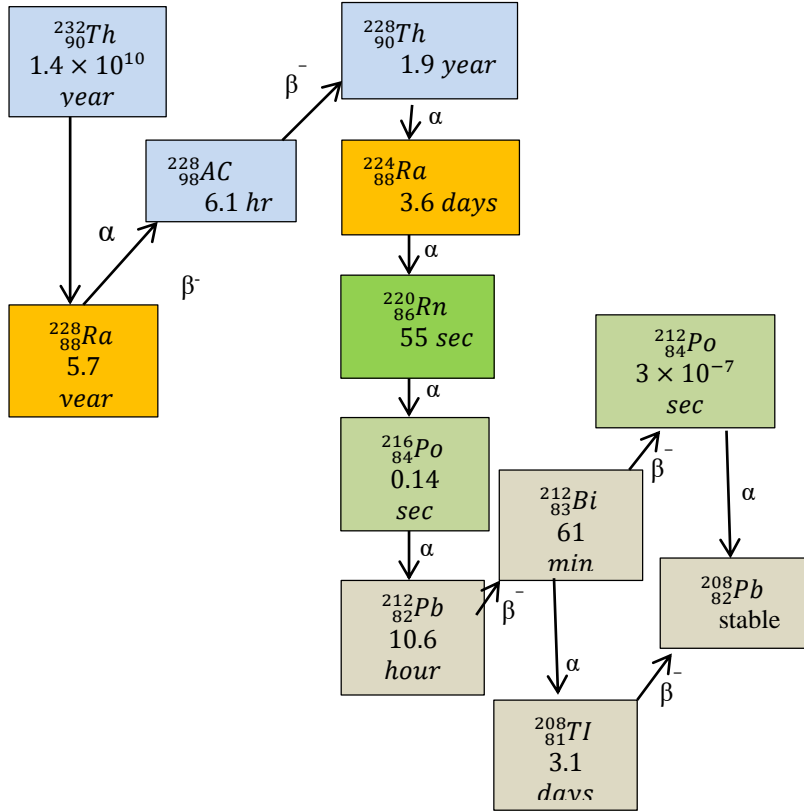
شكل (1) يوضح مراحل انحلال اليورانيوم 238.

وتنشأ أيضا من سلسلة الإشعاع الطبيعي Th^{232} الذي ينحل هو تلقائيا على السطح وصولا إلى الرصاص المستقر كما موضح بالشكل (2). يساهم البوتاسيوم 40 المذاب في الماء في تغذية هذه الإشعاعات حيث ينحل بانبعث جسيمات بيتا بالترافق مع أشعة الفا ويعمر نصف يعادل 1.28×10^9 y وفق المعادلة



طبيعيا يتواجد كلا من اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم في باطن الأرض بالقرب من مكان النفط والغاز وعند ضخ الخليط المتكون من النفط الخام والمياه المصاحبة له إلى

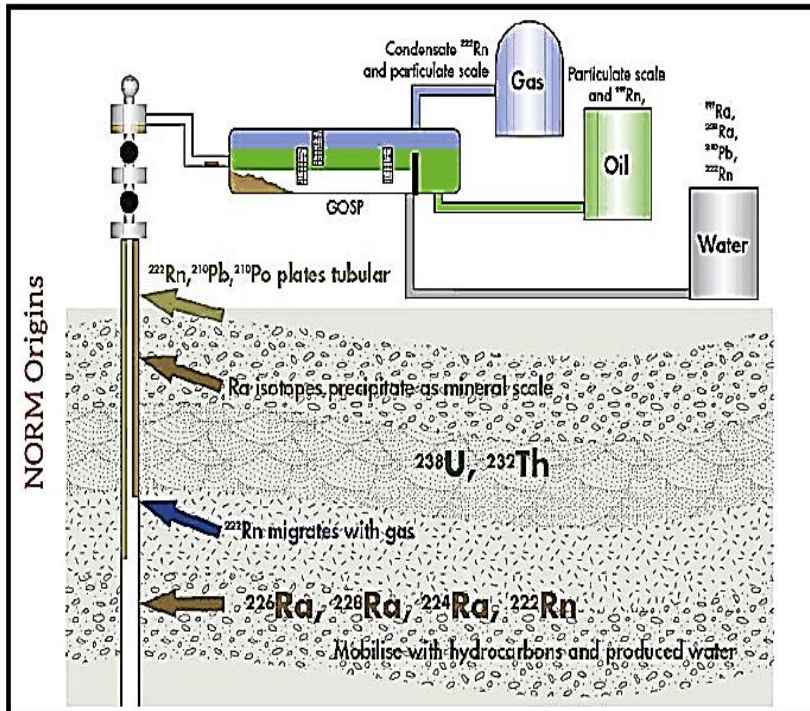
السطح ينخفض الضغط ودرجة الحرارة وتخرج نواتج تحللهم الى سطح الأرض مع المياه المستخرجة بسبب ذوبانها في الماء كما بالشكل (3).



الشكل (2) يوضح مراحل انحلال الثوريوم 232

باستمرار عملية الضخ تتراكم المواد المشعة في صورة حماة أو قشور على الأسطح الداخلية للمعدات حيث تنشأ القشور من اتحاد الأملاح الذائبة في الماء مثل الباريوم والكالسيوم والاسترانشيوم بالإضافة لمجموعة الكربونات والسلفيت مع العناصر المشعة وتنشأ الحماة من الهيدروكربون السائل والطين والمواد المشعة المذابة وتتناسب كمية المواد المشعة الطبيعية المترسبة مع كميات المياه المستخرجة، حيث تمثل نسبة المياه المستخرجة عادة الى كمية الزيت تقريبا ما يعادل نسبة 1:10 وهذا طبقا لإحصائية معهد البترول الأمريكي، وتترسب غالبا على الأسطح الداخلية للأنايبب والصمامات والفواصل وأوعية

التخزين وهي ذات نشاط إشعاعي عالي وعمر نصف طويل نسبيا كما موضح بالجدول (1)، تستكمل هذه العناصر دورة تحللها على سطح الأرض في أماكن تصريف المياه المصاحبة لخروج النفط الخام أو على اسطح المعدات والأدوات المستخدمة في هذه العملية.



شكل (3) منشأ المواد المشعة الطبيعية داخل معدات النفط والغاز

حيث أثبتت الدراسات وجود طبقة رقيقة من Pb^{210} الذي عمر النصف له يعادل 22year على الأسطح الداخلية لمعدات الانتاج ومعالجة الغاز تأتي نتيجة تحلل غاز Rn^{222} الذي يمكنه الذوبان في نواتج النفط العضوي في محطات الغاز وله فترة نصف عمر تقدر بـ 3.8 day حيث يتحلل Pb^{210} بإطلاق جسيمات بيتا وأشعة جاما منخفضة الطاقة وصولاً إلى Pb^{206} المستقر وهنا يكمن الضرر الإشعاعي في البيئة المحيطة بسبب تتطاير جسيمات الفا وبيتا في كل مكان نتيجة كل هذه الانحلالات.

جدول (1) يوضح النشاط الإشعاعي وعمر النصف لنواتج سلسلة تحلل كلا من U و Th

Parent	Daughter	Half- life billion years	Specific Activity
Uranium-238	Lead - 207	0.704	12.4 kBq/g
Uranium-235	Lead - 206	4.47	80 K Bq/g
Potassium-40	Argon-40	1.25	31 Bq/g
Rubidium-87	Strontium-87	48.8	1.4 k Bq/g
Samarium-147	Neodymium-143	106	15 GBq/g
Thorium-232	Lead- 208	14.0	4.1 kBq/g
Rhenium-187	Osmium-187	43.0	1.7 KB/g
Lutetium-176	Hafnium-176	35.0	51 Bq/g

4 - أليات الحماية الممكنة من الإشعاعات المؤينة المرافقة لاستخراج النفط الخام .

تشمل أليات الحماية تعريف العاملين بأنواع التأثيرات البيولوجية الناجمة عن التعرض للإشعاع المؤين بشكل عام، وكيفية الحد منها، والتعريف بمصطلح معامل الخطر وأهميته لتحديد مدى احتمالية الإصابة بالمرض اثناء التعرض، ونختتم بعرض القواعد الدولية المتبعة للحماية من الإشعاع والتي يجب اتباعها داخل الحقول النفطية الليبية.

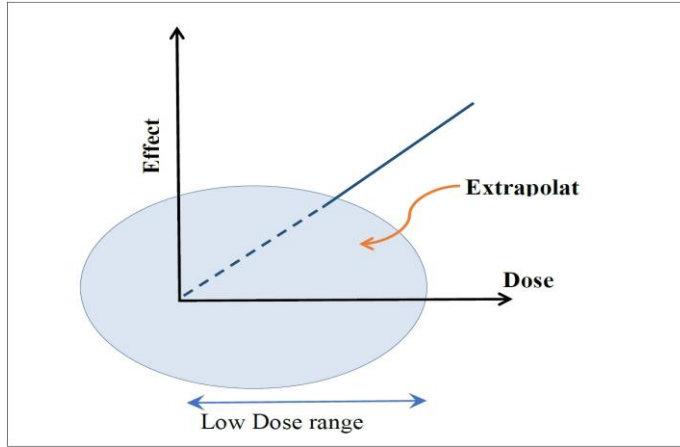
1-انواع التأثيرات البيولوجية الناتجة عن التعرض للإشعاع الطبيعي المؤين

قسمت التأثيرات البيولوجية للإشعاع المؤين بشكل عام إلى نوعين من التأثيرات وهي:

● **تأثيرات حادة مؤكدة** وتأتي نتيجة التعرض للجرعات الإشعاعية العالية خلال ساعات أو أيام قليلة وتؤدي إلى فقدان الشعر أو حروق الجلد والمياه البيضاء التي تصيب العين ونقص كرات الدم البيضاء والوفاة المباشرة أحيانا؛ وتعتمد هذه التأثيرات على الجرعة الإشعاعية الممتصة وتكون في المستوى من 500 mSv فما فوق، تصاحب هذه الآثار عادة بعض الحوادث الإشعاعية في الصناعات النووية وكذلك استخدام مصادر الأنشطة الإشعاعية العالية مثل مولدات الأشعة السينية والمسرعات [14].

● **تأثيرات احتمالية مزمنة** لا يوجد لها جرعة محددة، وفيها يتم امتصاص الطاقة الإشعاعية على فترات زمنية طويلة لشهور أو سنوات، كحالة التعرض لـ NORM في الحقول النفطية حيث تعتبر معظم التأثيرات الإشعاعية احتمالية مزمنة لأن الجرعات الإشعاعية منخفضة على فترات زمنية طويلة الامد تؤدي الى تطور السرطانات والطفرات الجينية ويزداد احتمال الإصابة مع زيادة الجرعة، فمثلاً؛ يعتبر عنصر الراديوم باحثاً عن العظام نظراً لتشابه تركيبه الكيميائي مع عنصر الكالسيوم وفي حالة دخوله إلى جسم الإنسان يؤدي ذلك إلى ترسبه داخل أنسجة العظام مسبباً

سرطان العظام، كما يؤدي الى تدمير خلايا النخاع العظمي مما يسبب في اختلال تكوين الدم. ويتم تحديد درجة تأثير الجرعات المنخفضة من خلال منحنى العلاقة بين الجرعة والتأثير فيما يعرف بالنموذج الخطي LNT (شكل 5)، حيث يتم امتداد المنحنى الخطي إلى نقطة الصفر.



شكل (4) النموذج الخطي LNT

2 - طرق التعرض للإشعاع الطبيعي (NORM) في الحقول النفطية.

التعرض لهذه التأثيرات في الحقول النفطية فيتم بطريقتين أساسيتين هما:

- **التعرض الخارجي:** وينشأ من التعرض المهني الخارجي في مجال صناعة النفط لهذه الإشعاعات وخاصة أشعة جاما الناتجة عن تحلل Ra^{226} و Ra^{228} الموجودان في القشرة الداخلية لأسطح المعدات والحماة الموجودة داخل أوعية الفصل وكذلك في الرمال الملوثة نتيجة تصريف المياه المستخرجة أثناء عمليات الاستخراج، معدل الجرعة الإشعاعية يعتمد على كمية المواد المشعة الطبيعية المترسبة داخل المعدات، و على نشاطها الإشعاعي، وكذلك يعتمد على التدرج المتاح بواسطة جدران المواسير والأوعية، ويتراوح معدل الجرعة التي من المحتمل أن يتم التعرض لها من عدة $\mu SV/hr$ إلى عدة مئات من $\mu SV/hr$.
- **التعرض الداخلي** يعتبر Rn^{222} و $Ra^{228-226}$ ، Pb^{210} أهم عناصر المواد المشعة التي تسبب تلوثاً داخلياً للعاملين في مجال صناعة النفط والغاز، والتي تتواجد في القشرة

الصلبة الداخلية، أو الحمأة الموجودة بمعدات الفصل والرمال الملوثة بالمياه المستخرجة، وينتج التلوث الداخلي عند بلع أو تنفس المواد العالقة والغبار المحمل بالمواد المشعة، ويحدث ذلك أثناء تعامل العاملين مع المعدات التي توجد في الصيانة والتي تفتح لسبب ما مما يؤدي إلى انتشار المواد المشعة ويحدث ذلك أيضاً أثناء تداول المعدات الملوثة وأثناء عمليات إزالة التلوث من تلك المعدات بواسطة شركات إزالة التلوث NORM من المعدات البترولية [15].

3- الحد من خطر التعرض للمواد المشعة في الحقول النفطية:

أولاً: الحد من خطر التعرض الخارجي.

- a. توفير التدريب الدوري والتوعية بشأن الحماية من الإشعاع وتوضيح مخاطر NORM لجميع العمال.
- b. وضع علامات واضحة على كل أوعية فصل الزيت separators وخطوط الأنابيب والمضخات التي تحتوي على NORM بهدف الحد من تواجد العاملين في محيط هذه المعدات للحد من الجرعات الإشعاعية الممتصة للانسجة الحيوية.
- c. توجيه جميع العمال لاتباع إجراء روتيني يتطلب تقليل الوقت المسموح به بجوار المعدات الملوثة، مع الاحتفاظ بمسافة بين العمال والمعدات الملوثة، حيث تضمن هذه الطريقة الحفاظ على الجرعة الفعالة السنوية أقل من 1m Sv [16].
- d. القياس الإشعاعي للجرعات في بيئة العمل، لتحقيق حماية البيئة من خلال التحكم في ملوثات NORM ومنع انتشارها و التحكم في المعدات الملوثة ومنع استخدامها لأي أنشطة صناعية أخرى إلا بعد إزالة التلوث منها بواسطة شركات إزالة التلوث الإشعاعي من المعدات.

ثانياً: الحد من خطر التعرض الداخلي.

- a. عمل مسح إشعاعي لمكان العمل قبل بداية العمل، ووضع خطة محكمة للعمل
- b. تهوية الأوعية المخطط الدخول إليها للحفاظ على جو العمل رطباً ومنع انتشار الغبار كما ينصح باستخدام العاملين لأجهزة حماية الجهاز التنفسي لمنع دخول الغبار أو ذرات الهواء المحملة بملوثات NORM
- c. استخدام معدات الحماية الشخصية من لباس واقية، حذاء مطاوي، قفاز، نظارة وسدادة أذن، والاهتمام بالنظافة الجيدة لمنع انتشار ملوثات NORM إلى البيئة المحيطة.

4-معامل الخطر عند التعرض للإشعاع :

يستخدم مصطلح معامل الخطر للتعبير عن احتمال الإصابة بمرض عشوائي عند التعرض لجرعة اشعاعية قدرها 1Sv كما موضح بالجدول (2)، ويمكن عن طريقه تحديد عدد حالات الإصابة الممكنة اثناء التعرض لجرعات اشعاعية وفق المعادلة التالية :

عدد حالات الإصابة = متوسط الجرعة الفعالة للمتعرضين × عدد المتعرضين × معامل الخطر

جدول (2) تقييم مخاطر الإصابة السرطانية (معامل الخطر) طبقا للنموذج الضريبي ونموذج المعهد الوطني الامريكي للصحة [17].

احتمال الإصابة لكل 1Sv		الدولة
النموذج الضريبي	نموذج المعهد الوطني للصحة	
0.112	0.087	الولايات المتحدة
0.129	0.097	المملكة المتحدة
0.095	0.102	بورتوريكو
0.062	0.060	الصين
0.102	0.093	اليابان
0.100	0.088	متوسط الاحتمال

5- القواعد الدولية المتبعة للوقاية الاشعاعية في الحقول النفطية.

حدد المجلس الدولي للوقاية الإشعاعية في سنة 2007 قواعد للتعرض الإشعاعي في مناطق استخراج النفط والتي تضمنت ما يلي:

- لا يمكن تبرير أي نشاط في منطقة ما، بما في ذلك الأنشطة التي يرافقها تعرض للإشعاع المؤين ما لم يكن من الممكن إثبات أنه سيؤدي إلى فائدة إيجابية.
- يجب أن تكون جميع حالات التعرض على الدوام على مستوى منخفض بشكل معقول (ALARA) مع أخذ المعايير الاقتصادية والاجتماعية في الاعتبار.
- إدخال متطلبات الحماية والسلامة من الإشعاع في معايير السلامة الدولية (BSS) من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية على المعايير القياسية في صناعة النفط والغاز.

- تطبيق نموذج العتبة الخطى LNT في مجال الوقاية الإشعاعية، تجنباً للتعرضات غير المرغوب فيها والتي حددت بأقل من $100 m Sv$ حيث لا يوجد برنامج متابعة طبي دولي يستطيع الكشف عن الآثار الصحية في المنطقة التي تحتوي جرعات إشعاعية منخفضة .
- تطبيق برنامج لإدارة NORM داخل شركات النفط والغاز ، والذي يحرص على عدم تخطي الجرعات الممتصة للعاملين حد الجرعة المخصص للجمهور وهي $1000 \mu Sv$ ويتم ذلك بإستخدام مقياس الجرعة الجيبي للعاملين وعمل مسح إشعاعي لبيئة العمل بشكل دوري منظم [18].
- عمل خريطة NORM بكل المعدات الموجودة في منطقة العمل مع وضع العلامات التحذيرية على المعدات المحتوية على ملوثات NORM.

2-4 المحور الثاني

1- سجل أشعة جاما للبئر

سجل أشعة جاما هو منحنى يُظهر مقدار الكثافة الإشعاعية في التكوين. ويعمل السجل عن طريق تسجيل إشعاع أشعة جاما الطبيعي للصخور ، مما يجعله مفيداً في الكشف عن رواسب المعادن المشعة وتقييمها، مثل البوتاسيوم (K) والثوريوم (Th) وخام اليورانيوم (U) في الصخور الرسوبية، تتركز العديد من العناصر المشعة في الصخر الزيتي والطين، لذا فإن حجم الكثافة الإشعاعية يُشير إلى وجود معادن الطين من عدمه. الصخور ذات المحتوى الطيني العالي تكون ذات تركيزات إشعاعية عالية، وبالتالي تكون قيمة أشعة جاما عالية أيضاً، مع وجود منحنيات انحراف إلى اليمين

العنصر المشع الرئيسي هو البوتاسيوم الذي يوجد عادة في الإليات. على طبقة نفاذة نظيفة، سيظهر منحنى سجل أشعة جاما شدة إشعاعية منخفضة.

وإذا كانت الطبقة تحتوي على معادن معينة مشعة، أو الطبقة التي تحتوي على مياه مالحة تحتوي على أملاح البوتاسيوم المذابة. توجد العناصر المشعة في الغالب في طبقات الصخر الزيتي، لذا فإن سجلات أشعة جاما مفيدة للغاية لتحديد حجم الرقائق أو الطين. يسجل سجل أشعة جاما العناصر المشعة على مقياس معهد البترول الأمريكي (API). الوحدة الأساسية هي CPS (العدد في الثانية) والتي يتم تحويلها بعد ذلك إلى API بعد معايرتها بتكوين معروف تماماً بمحتوى المعادن المشعة (U و Th و K). تشمل

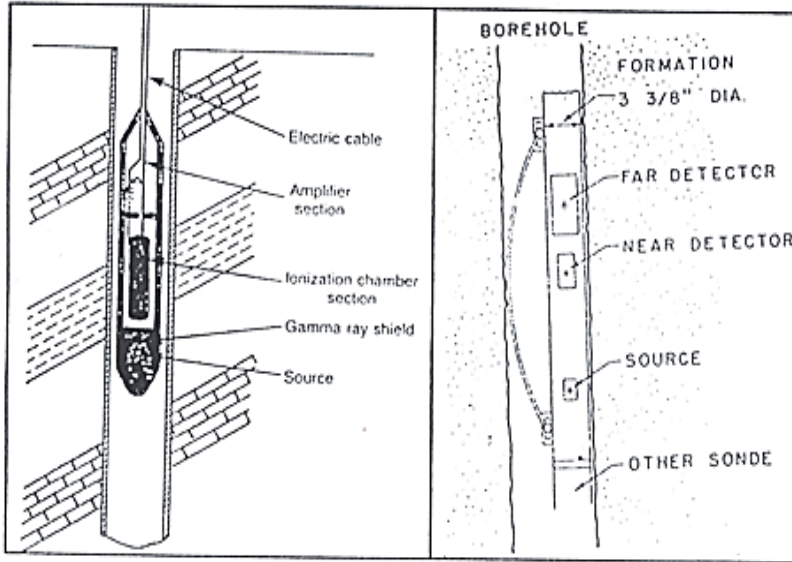
استخدامات سجل أشعة جاما هذا تحديد محتوى الصخر الزيتي (Vsh) ومحتوى الطين وتحديد الطبقات النفاذة وتقييم معادن الخام المشعة وتقييم طبقات المعادن غير المشعة والارتباطات بين الآبار يعد محتوى الطين أحد المعايير المهمة التي تؤثر على خصائص الصخور المصدرية والخزان باستخدام سجل أشعة جاما الذي يسجل كمية النشاط الإشعاعي الطبيعي للصخور.

2- أساسيات التفسير

في العادة تتكون المعدات من جهاز يعمل كهربائياً يحمل عداد (Detector) مثل عداد جيجر (Geiger Counter) ينزل داخل البئر ويبدأ التسجيل أثناء سحب الجهاز من الأسفل إلى الأعلى كما موضح بشكل (5)، والجهاز يسجل نسبة أشعة جاما الموجودة في الصخور المحفورة بواسطة الآبار النفط، من هنا يمكن تعريف أشعة جاما على أساس أنها تسجيل لمقدار الإشعاع الطبيعي مع الأعماق، وهذا المعدل يتناسب مع معدل انبعاث جاما (GR) طبيعياً من العناصر الطبيعية المشعة بالتكوين.

وتسجل كمية الإشعاع كذبذبات تنتقل إلى السطح لتسجل على جهاز تسجيل، حيث تحول الذبذبات إلى فولتية كهربائية ومن ثم تمثل على الورق البياني. إن أشعة جاما تنطلق من عناصر طبيعية غير ثابتة كاليورانيوم (U)، الثوريوم (Th)، البوتاسيوم (Po) والتي تتواجد بكميات بسيطة وتعطى أشعة ذات طاقة عالية يمكن قياسها في جميع الصخور الموجودة بها، فمثلاً عنصر K^{40} هو عنصر طبيعي مشع يعطى أشعة جاما وجسيمات بيتا β على شكل إلكترونات، ولهذا السبب نجد الطين (Shale) يسجل أعلى

قيمة تواجد هذا العنصر. ولقد لوحظ أنه في الصخور الرسوبية (الناجمة من عمليات الترسيب المختلفة) وخاصة في تكوينات الطفل والطين (Shale and clay) تحتوي عادة على أعلى تركيز من هذه العناصر غير الثابتة، لهذا فهي أكثر اشعاعاً من الحجر الجيري والدولومايت والملح. في الغالب الصخور النارية تحتوي على نسبة أكبر من الصخور الرسوبية والمتحولة، لذا فإن سجل أشعة جاما يحدد بشكل دقيق وجود التكوين الطيني تحت سطح الأرض.



شكل (5) يوضح مجس أشعة جاما المستخدم في قياس الإشعاع

وخلال عمليات استقرار هذه العناصر المشعة الموجودة بالصخور تعطي ثلاثة أنواع من الأشعة هي أشعة ألفا α ، أشعة بيتا β ، أشعة جاما γ [19].
ونظر لشدة أشعة جاما فإنها بالإمكان تسجيل وجود هذه الأشعة في الصخور في الآبار حتى بعد تبطينها وتغليفها من الداخل (Cased) أو في آبار غير مبطنه، وكذلك بغض النظر عن طبيعة السوائل الموجود في البئر موصلة أو غير موصلة.
أما سجل المنحى فإنه ينحرف إلى اليمين كلما كانت الأشعة الموجودة في الصخور عالية، وإلى اليسار عند انخفاضها وفي العادة يرسم المنحى على الجانب الأيسر من السرود. كما يكون تدرج السجل من اليسار إلى اليمين بادياً من 0-150 أو من 1:20 API، حيث وحدات القياس هي API (وهذه الوحدة تعرف على أساس 1:20 بالنسبة إلى حساسية الجهاز المستعمل في المعايرة).

3- تقييم الإشعاعات المؤينة بالاستقراء العلمي ضمن منطقة الدراسة.

يعتبر وجود نسبة عالية من الإشعاعات المؤينة ضمن مترافقات استخراج النفط الخام أو ما يعرف بـ NORM في جنوب غرب ليبيا (حوض مرزق) معزز بشكل كبير من خلال الدراسات المنشورة للأحواض المماثلة في شمال أفريقيا والتي لها ظروف جيولوجية

وهيدروجيولوجية متشابهة؛ حيث وجد ارتباط قوي بين هذه الظروف وتركيزات NORM المرتفعة مما يوفر أساسا تنبئيا قويا يشير إلى وجود مثل هذه الإشعاعات في حقول جنوب غرب ليبيا (حوض مرزق) و يعتبر حوض حاسي مسعود بالجزائر الأكثر تماثلا من حيث البيئة الرسوبية والتشابه الجيولوجي التقني في آبار النفط الخام بالخرزانات العميقة ذات الملوحة العالية حيث سجلت دراسة عمر وأخرون 2015 تجاوز قيم مستوى النشاط الإشعاعي لغاز ^{226}Ra المقدار 16500 Bq/kg في عينات الرواسب التي أخذت من آلات الإنتاج في هذا الحقل و تعد هذه المستويات غير امنة إطلاقا وفقا للمقاييس الدولية مما يشير إلى وجود مستويات نشاط إشعاعي عالي في هذه المنطقة.

كما سجلت أيضا دراسة بحثية بواسطة عبدالنبي وأخرون 2017 في حقول خليج السويس بمصر والتي تظهر توافقا جيولوجيا مع حقول حوض مرزق وملوحة ماء مطابقة لملوحة الماء المصاحب لإنتاج النفط في هذا الحوض وجود تراكيز عالية لغاز ^{226}Ra تراوحت بين $(30000-80000 \text{ Bq/kg})$ ما يؤكد على تشبع منطقة هذه الحقول بالإشعاعات المؤينة .

وفي دراسة أخرى بواسطة السلامي وزملائه (2018) لحقول في جنوب تونس تتميز بالتوافق الجيولوجي مع حقول حوض مرزق شملت عينات من الفواصل (Separators)، والخرزانات (Storage Tanks) وأحواض التجميع أكدت وجود مستويات عالية من كل من ^{210}Pb ؛ ^{226}Ra وهي ما يمثل خطرا إشعاعيا مستمرا بسبب طول فترة نصف العمر لها، وأظهرت الدراسة أيضا أن التهديد الإشعاعي المقدر يشمل البنية التحتية السطحية للحقل والبيئة المحيطة به.

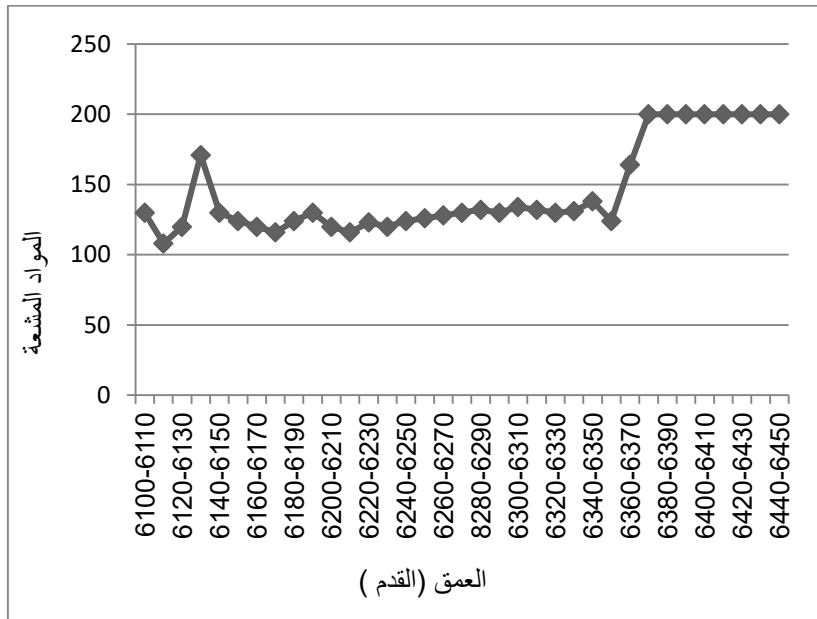
من خلال ما سبق وباستخدام أسلوب المطابقة بالمنطق العلمي الاستقرائي نستطيع القول أن منطقة حوض مرزق نظريا تتعرض لتلوث إشعاعي طويل الامد بإشعاعات مؤينة تتمثل في جسيمات ألفا وبيتا وأشعة جاما التي تتميز جميعها بقدرتها العالية على إحداث التلف بالأنسجة الحيوية المختلفة وتعرض المنطقة لتلوث إشعاعي بيئي يؤثر على كافة عناصر البيئة على المدى الطويل؛ ويجعل من عملية استخراج النفط والذي يعد المصدر الاساسي للطاقة في ليبيا والمحرك الجوهري للاقتصاد مصدر تهديد خطير على البيئة بجميع مكوناتها ما لم يتم التعامل مع هذه الملوثات بمهنية عالية واتخاذ الاجراءات الوقائية اللازمة لتفادي هذا الخطر.

5- المناقشة والنتائج

1- الجدول (3) يوضح سجل مجس أشعة جاما نسبة المواد المشعة لتكوين تانزفت الزيتي لسمك حوالي 440 قدم وكانت التسجيلات لكل 10 قدم، اثبتت التسجيلات ان التكوين غني بالمواد العضوية المنتجة للنفط وخاصة الجزء السفلي من التكوين والبالغ حوالي 80 قدم ويطلق عليه بالطين الساخن. الشكل (6) يوضح مستوى الاشعاع في بئر X1 بحقل الفيل بالنسبة للعمق مقدر بالقدم حيث نلاحظ انه كلما زاد العمق زادت اشعة جاما.

جدول (3). يوضح تسجيلات أشعة جاما للبئر X1 المدروس

العمق (قدم)	سجلات أشعة جاما GR (API)
6100 - 6110	130
6110 - 6120	108
6120 - 6130	120
6130 - 6140	171
6140 - 6150	130
6150 - 6160	124
6160 - 6170	120
6170 - 6180	116
6180 - 6190	124
6190 - 6200	130
6200 - 6210	120
6210 - 6220	116
6220 - 6230	123
6230 - 6240	120
6240 - 6250	124
6250 - 6260	126
6260 - 6270	128
6270 - 6280	130
6280 - 6290	132
6290 - 6300	130
6300 - 6310	134
6310 - 6320	132
6320 - 6330	130
6330 - 6340	131
6340 - 6350	138
6350 - 6360	124
6360 - 6370	164
6370 - 6380	200
6380 - 6390	200
6390 - 6400	200
6400 - 6410	200
6410 - 6420	200
6420 - 6430	200
6430 - 6440	200
6440 - 6450	200



شكل (6) مستوى المواد المشعة باستخدام مجس اشعة جاما للبئر X1 في حقل الفيل حوض
مرزق جنوب غرب ليبيا

تبين من خلال تسجيلات مجس اشعة جاما وجود مواد مشعة في بئر X1 بحق الفيل
بجنوب غرب ليبيا (حوض مرزق) و تتراوح قيمة اشعة جاما بين (105 - 200) API
باختلاف العمق وهو نطاق متوسط الى مرتفع ، نلاحظ وجود نشاط اشعاعي مرتفع نسبيا
خاصة ما بين (6450-6370) هذه نقاط تحذيرية و تؤكد وجود خطر اشعاعي بمنطقة
الدراسة، وهذا يستدعي قياس الجرعات الاشعاعية .

2- على الرغم من قلة البيانات الميدانية للمنطقة محل الدراسة وبناءً على أسلوب الدراسة
العلمية الاستقرائية الناتجة من مطابقة الخصائص الجيولوجية للمنطقة مع مناطق
مجاورة والمتبعة بنبيء بوجود خطر إشعاعي محتمل نظريا وذلك بسبب
وجود مصدر طبيعي للنويدات المشعة في منطقة الدراسة.

6- الخلاصة:

في ختام الدراسة نستنتج الآتي:

- يعتبر تكوين تانزفت الطيني مصدر مهم وذات قيمة اقتصادية عالية لا نتاج النفط.
- الخطر إشعاعي وذلك بسبب وجود مصدر طبيعي للنويدات المشعة في منطقة الدراسة.
- تجاهل الخطر الصحي والمهني وغياب الوعي والمراقبة المنهجية لمستويات الإشعاع يشكل تهديدا غير مرئي لصحة وسلامة العاملين بهذه الحقول.
- قصور تنظيم مؤسسات توعوية بيئية في ليبيا يظهر فجوة خطيرة في السياسية البيئية الليبية.
- تسجيلات اشعة جاما لبئر X1 في حقل الفيل حوض مرزق جنوب غرب ليبيا تؤكد وجود الخطر الإشعاعي المؤين؛ والحاجة الماسة إلى وضع إطار لإدارة المخاطر الإشعاعية وحماية صحة الإنسان والبيئة.
- التقييم النظري الذي قدمته هذه الدراسة هو بمثابة إنذار مبكر يدعو الشركة الوطنية للنفط والهيئات التنظيمية والباحثين إلى اتخاذ إجراءات فورية لسلامة صحة الإنسان والبيئة، وضمان استدامة صناعة النفط في ليبيا لأنه يعتبر مصدر الطاقة الأهم ومنبع الازدهار الاقتصادي فيها ولا ينبغي أن يكون مصدرا للخطر الصامت.

7- التوصيات:

- 1- إجراء مسح إشعاعي منهجي لعينات من الرواسب والمياه في حقول مختلفة من الجنوب الغربي الليبي.
- 2- قياس مستويات الإشعاع على المعدات السطحية (الفواصل، الخزانات، المضخات) وتحديد المعدات الملوثة باستخدام أجهزة المسح الإشعاعي.
- 3- قياس الجرعة الفعالة السنوية للعاملين باستخدام مقياس الجرعة الجيبي والحرص على ألا تتجاوز الحد المسموح به دوليا.
- 4- تطوير استراتيجية وطنية للتخلص الآمن من نفايات الـ NORM لحماية الإنسان والبيئة.

5- استخدام معدات شخصية وقائية من الإشعاع (PPE) و تدريب العاملين على طرق الوقاية، وتنفيذ برنامج مراقبة بيئية شامل.

المراجع

- [1] احمد السريع، د. محمد فاروق "أسس الفيزياء الإشعاعية" دار الفجر، الطبعة الاولى، المملكة العربية السعودية ، (1998).
- [2] مبروكة هاشم، وآخرون (مقارنة بعض الخواص الفيزيائية والكيميائية للمياه المصاحبة والنفط الخام بحقلي الشرارة وإبراون حوض مرزق ليبيا) المجلة الليبية لعلوم وتكنولوجيا البيئة العدد7 (2025)
- [3] Schlumberger, (1982). Natural gamma-ray spectrometry. Essentials of N.G.S. interpretation, 69 pp. Houston, Texas: Schlumberger Educational Services.
- [4] THE USE OF Gamma Ray Data To Define The Natural Radiation Environment IAEA, Vienna, 1990 IAEA-Tecdoc-566 ISSN 1011-4289 Printed by the IAEA in Austria September 1990.
- [5] John L. Mer, (2012). Uses of the gamma ray spectrometer in Mineral Exploration. Society of Exploration Geophysicists Pages, 1054-1076.
- [6] Rares Suvaila, (2024). Gamma spectroscopy for geological studies EGU General Assembly Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-4664.
- [7] Serra, O., (1984). Fundamentals of Well-Log Interpretation (Vol. 1): The Acquisition of Logging Data: Dev. Pet. Sci., 15A: Amsterdam (Elsevier).
- [8] KOGAN, R.M., NAZAROV, I.M., and FRIDMAN, Sh.D, (1971).Gamma Spectrometry of Natural Environments and Formations. Israel Programme for Scientific Translations.
- [9] ADAMS, J.A.S., and GASPARINI, P., (1970). Gamma Ray Spectrometry of Rocks, Elsevier, Holland.
- [10] RIDER, M.H, (1986). The Geological Interpretation of well logs. Blackie, Glasgow.
- [11] Omar, M., El Kamel, F., &Hamza, M.(2015) Assesment of natural radioactivity in scales and sludge from oil production

- facilities in the Hassi Messaoud field, Algeria. *Journal of Environmental Radioactivity*, 149, P 36-42.
- [12] Abd El-Naby, H. H., & Abd El-Azeem, S. A. (2017). Radiological characterization of scale deposits in oil production facilities in the Gulf of Suez, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(15), 337.
- [13] Slim-Saidi, L., & Chkir, N. (2018). Evaluation of naturally occurring radioactive materials (NORM) in the surface environment of oil fields: A case study from southern Tunisia. *Environmental Earth Sciences*, 77(19), 668 pp.
- [14] National Research Council. (2006). *Health Risks from Exposure to Low Level of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2*. Washington, DC: the National Academies Press Chapter 12 "Estimating Cancer Risk".
- [15] API. (1990). *Guide for Pressure-Relieving and Depressuring Systems – American Petroleum Institute Recommended Practice 521*. Washington, D.C.: American Petroleum Institute, Edition.
- [16] MERKEL, RICHARD H, (1979). *Well Log Formation Evaluation*, AAPG Publication, Tulsa, Ok, USA.
- [17] IAOGP, (2016). *Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) In the Oil & Gas Industry*. Report No.
- [18] Smith K.P., Blunt D.L., Williams G.P. and Tebes C.L. (1996). Radiological dose assessment related to management of naturally occurring radioactive materials generated by the petroleum industry. Report ANL/EAD-2m. Argonne National Laboratory, USA.
- [19] ALLAUD, LOUIS, & MARTIN, MAURICE, (1987). *The History of a Technique*, John Wiley, New York, ELLIS, DAREINV *Well Logging for Earth Scientists* Shlumberger, Elsevier,