تحديد مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في عينات التربة الرملية في منطقة العزيب–ترهونة، ليبيا

إبراهيم علي فرج امحمد
أستاذ مساعد، فيزياء
جامعة الزيتونة كلية التربية ترهونة، قسم الفيزياء
I.emhemed@azu.edu.ly

سعد صالح إبراهيم
محاضر مساعد فيزياء
جامعة الزيتونة كلية التربية ترهونة، قسم الفيزياء
S.ibrahim@azu.edu.ly

عادل أبوالقاسم أحمد المبروك
أستاذ مساعد فيزياء
جامعة غريان كلية العلوم الشقيقه، قسم الفيزياء
adel.almabrouk@gu.edu.ly

فطمة محمد علي قبيلي
محاضر، فيزياء نووية
جامعة المرقب كلية الآداب والعلوم مسلاته، فسم الفيزياء
fmqabeeli@elmergib.edu.ly

خديجة الصغير محمد أبوستة
محاضر مساعد، فيزياء اشعاعية طبية
جامعة طرابلس كلية التقنية الطبية، قسم الأشعة التشخيصية والعلاجية
k.abusittah@uot.edu.ly

تاريخ استقبال البحث: 11 أبريل 2026م تاريخ قبول البحث: 28 ابريل 2026م

الملخص:

هدفت الدراسة إلى تقييم مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي، ومخاطر الإشعاع المرتبطة بها في عينات التربة الرملية بمنطقة العزيب ببلدية ترهونة، ليبيا، من خلال تحديد تراكيز النظائر المشعة (^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U) وتقييم مؤشرات مخاطر الإشعاع ذات الصلة. .تم إجراء تحليل العينات باستخدام تقنية مطيافية أشعة جاما المزودة بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة. وأظهرت النتائج أن متوسط تراكيز النشاط الإشعاعي بلغت 14.89Bq/kg لليورانيوم-238، و 9.07Bq/kg للثوريوم-232، و 141.32Bq/kg للبوتاسيوم-40. كما سجل متوسط معدل الجرعة الممتصة في الهواء 18.25 nGy/h، والجرعة الفعالة السنوية المكافئة 0.022 mSv/y، بينما بلغت قيمة مكافئ الراديوم 38.75 Bq/kg Raeq. وبمقارنة هذه النتائج مع المتوسطات العالمية، يتضح أنها تقع ضمن الحدود الطبيعية المسموح بها دولياً؛ حيث كانت قيم مؤشري الخطر الخارجي والداخلي (Hext = 0.104, Hint = 0.183) أقل من الواحد الصحيح. تستنتج الدراسة أن التربة في هذه المنطقة لا تشكل خطراً إشعاعياً على السكان، وتوصي باستمرار المسوحات لإنشاء قاعدة بيانات وطنية للخلفية الإشعاعية في ليبيا.

الكلمات المفتاحية: النشاط الإشعاعي الطبيعي، مطياف أشعة جاما، ترهونة، مؤشرات الخطر الإشعاعي، ليبيا، كاشف HPGe.

مجلـــة العلـوم الإنسانيـــة والتطبيقيـــــة
Journal of Humanitarian and Applied Sciences
كلية الآداب والعلوم قصر خيار -جامعة المرقب
المجلد العاشر -العدد التاسع عشر -يونيو /2026

Determination of Natural Radioactivity Levels in Sandy Soil Samples from Al- Azeeb – Tarhuna Area, Libya

Ibrahim Emhemed
Assistant Lecturer, Physics
Azzaytuna University
I.emhemed@azu.edu.ly

Saad Ibrahim
Assistant Lecturer, Physics
Azzaytuna University
S.ibrahim@azu.edu.ly

ADEL ALMABROUK
Assistant Lecturer, Physics
University of Gharyan
.adel.almabrouk@gu.edu.ly

FATIMAH QABEELI
Lecturer, Nuclear Physics
Elmergib University f
mqabeeli@elmergib.edu.ly

Khadeejah Abusittah
Assistant Lecturer, Medical Radiation Physics
Tripoli University
k.abusittah@uot.edu.ly

Abstract

This study aimed to assess the levels of natural radioactivity and the associated radiological hazards in sandy soil samples collected from the Al- Azeeb area in Tarhuna municipality, Libya. The study focused on determining the activity concentrations of naturally occurring radionuclides (^{238}U, ^{232}Th, and ^{40}K) and evaluating the relevant radiological hazard indices.

The soil samples were analyzed using gamma-ray spectrometry equipped with a high-purity germanium (HPGe) detector. The results indicated that the mean activity concentrations were 14.89 Bq/kg for ^{238}U, 9.07 Bq/kg for ^{232}Th, and 141.32 Bq/kg for ^{40}K. The mean absorbed dose rate in air was 18.25 nGy/h, while the annual effective dose equivalent was 0.022 mSv/y. The radium equivalent activity (Raeq) was found to be 38.75 Bq/kg.

Comparison with global average values shows that all measured parameters fall within internationally accepted permissible limits. Additionally, the external and internal hazard indices (Hex = 0.104, Hin = 0.183) were both below unity, indicating negligible radiological risk.

The study concludes that the soils of the investigated area do not pose any radiological hazard to the local population. It further recommends the continuation of systematic radiological surveys to establish a comprehensive national database for background radiation levels in Libya.

Keywords: Natural Radioactivity, Gamma-Ray Spectrometry, Tarhuna, Radiological Hazards, HPGe, Libya.

أولاً: المقدمة

تشكل المواد المشعة طبيعياً (NORM) مكونًا أساسيًا للبيئة الأرضية، وتمثل المصدر الرئيس للتعرض للإشعاع الذي يواجهه البشر في حياتهم اليومية، (UNSCEAR, 2000)، يتم توزيع النظائر المشعة الطبيعية الأولية في جميع أنحاء القشرة الأرضية بتركيزات مختلفة اعتمادًا على الخصائص الجيولوجية والمعدنية المتأصلة في كل منطقة، تشمل هذه النظائر في الغالب سلسلة اضمحلال اليورانيوم 238 (^{238}U) والثوريوم 232(^{232}Th) ، جنبًا إلى جنب مع النظير المشع البوتاسيوم -40(^{40}K) ، عادةً ما ترتبط هذه النظائر بالصخور الأصلية والمعادن التي تسهم في تكوين التربة، ويتم نشرها من خلال عمليات التجوية إلى المصفوفات البيئية الأخرى، بما في ذلك المياه الجوفية والنباتات، والاندماج في نهاية المطاف في السلسلة الغذائية البشرية (Faheem et al, 2017).

قد تتأثر مستويات النشاط الإشعاعي الموجودة في التربة بالخصائص الجيولوجية، والجودة المتأصلة في علم الصخر الأصلي، فضلاً عن الظواهر الفيزيائية والكيميائية السائدة في المنطقة (Hendricks, 2011)، وبالتالي فإن التحقيق في النشاط الإشعاعي في التربة يشكل مسعى حيويًا لتقييم جرعات الإشعاع التي قد يتعرض لها البشر، سواء بشكل مباشر أو غير مباشر، تدعو الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA, 2005) ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR, 2000) إلى إجراء تقييم دوري لمستويات الإشعاع الطبيعي لتسهيل المقارنة مع العتبات العالمية المسموح بها، وبالتالي ضمان السلامة البيئية والصحة العامة؛ لذلك تعد دراسة النشاط الإشعاعي الطبيعي في التربة أمراً حيوياً لتقييم الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها الإنسان ولتحديد مستويات الخلفية الإشعاعية الطبيعية في البيئة (Rangaswamy et al., 2016).

تُظهر ليبيا تنوعًا جيولوجيًا كبيرًا، بدءًا من تكوينات الحجر الجيري إلى الركائز الرملية، مما يؤدي إلى مستويات متباينة من النشاط الإشعاعي الطبيعي عبر مناطق مختلفة، تعتبر منطقة العزيب –ترهونة منطقة جغرافية مهمة في شمال غرب ليبيا، وتتميز في الغالب بالتربة الرملية التي نشأت من التجوية الميكانيكية والكيميائية للصخور الأم، ويتميز هذا النوع من التكوينات المشعة الطبيعية باختلاف توزيعها المكاني.

على الرغم من وجود العديد من الدراسات المحلية التي تبحث في النشاط الإشعاعي في مناطق ليبية مختارة (الشتيوي وآخرون، 2018 ;El-Sharkawy et al., 2020)، لا تزال البيانات المتعلقة بمدينة ترهونة قليلة نسبيًا، وبالتالي فإن القياس الكمي لمستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في تربة هذه المنطقة هو مشروع علمي حاسم يهدف إلى إنشاء قاعدة بيانات إشعاعية محلية يمكن أن تكون مورداً أساسياً للرصد البيئي والتخطيط الحضري والمبادرات الصحية في المستقبل.

يستخدم هذا البحث التحليل الطيفي لأشعة جاما عالي الدقة باستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاء (HpGe)، والذي يُعرف بأنه المنهجية الأكثر موثوقية لتقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في العينات البيئية (IAEA, 2005). تسهل هذه التقنية التحديد الدقيق لتركيزات النظائر الرئيسة (^{226}Ra) و (^{232}Th) و (^{40}K) بعد إنشاء التوازن الإشعاعي (التوازن العلماني) بين النظائر الأم والابنة، مما يتيح حساب مؤشرات الإشعاع والجرعات المكافئة المحتملة وفقًا للمعايير الدولية.

وبناءً على ذلك، فإن الهدف من هذا البحث هو التأكد من مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في عينات التربة الرملية من منطقة العزيب – ترهونة ليبيا، مع تقدير مؤشرات مخاطر الإشعاع والجرعات المكافئة، ومقارنة النتائج مع

القيم القياسية العالمية التي أوصت بها الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA) واللجنة العلمية للأمم المتحدة (UNSCEAR).

ثانياً: المواد وطرق العمل:

1- منطقة الدراسة:

أُجريت هذه الدراسة في منطقة العزيب الواقعة داخل الحدود الإدارية لبلدية ترهونة، على بُعد حوالي 84km إلى الجنوب الشرقي من العاصمة طرابلس، تُعد المنطقة ذات طبيعة زراعية ريفية في الغالب، وتبلغ مساحتها نحو $25km^2$، وهي موطن لعدد سكان يقدر بنحو عشرة آلاف نسمة، من منظور جيولوجي تُعتبر منطقة العزيب امتدادًا للمرتفعات الجبلية التي تحيط بمدينة ترهونة، والتي تتميز في المقام الأول بخصائص رملية، والتي تستخدم في كل من الممارسات الزراعية التقليدية ورعي الماشية، يشكل هذا التباين الجيومورفولوجي والجيولوجي جنبًا إلى جنب مع التركيب الرملي السائد للتربة عاملاً مهمًا يؤثر على توزيع وتركيز ونقل النويدات المشعة الطبيعية داخل مصفوفة التربة.

يوضح الشكل (1) الموقع الجغرافي لمنطقة العزيب بترهونة على خريطة ليبيا باستخدام صور الأقمار الصناعية التي تم الحصول عليها من خرائط جوجل (Google Maps)، وبالتالي تحديد المدى المكاني للموقع ومناطق أخذ العينات المحددة المستخدمة في هذه الدراسة.

الشكل (1): خريطة منطقة العزيب بترهونة توضح مواقع جمع العينات (المصدر: Google Maps)



2- تجميع العينات:

تم جمع عينات التربة من مواقع مختارة بشكل منهجي داخل منطقة الدراسة، شملت بيئات شبه حضرية وريفية لضمان تمثيل التنوع الجغرافي للمنطقة، في كل موقع كشطت الطبقة السطحية بدقة لإزالة المواد العضوية والشوائب السطحية الناتجة عن الأنشطة البشرية، استُخرجت العينات من عمق يتراوح بين 5 إلى 15cm باستخدام أدوات يدوية (Hand Auger)، ثم وُضعت في أكياس بلاستيكية بوزن تقريبي 1kg لكل عينة، جرى توثيق وترميز وتصنيف كافة العينات

فور جمعها، مع الالتزام الصارم بالبروتوكولات المنهجية القياسية المعتمدة دولياً في دراسات النشاط الإشعاعي البيئي (IAEA, 2005; El-Sharkawy et al., 2020).

3- تحضير العينات وطريقة العمل:

أ- تحضير العينات

لتسهيل القياس الدقيق لتركيز نشاط النويدات المشعة ^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U في المعمل، تم اتباع بروتوكولات التحضير الموحدة بدقة، في البداية تم طحن العينات يدويًا، تليها الغربلة من خلال غربال (منخل) بفتحات يصل قطرها إلى 2mm لإزالة الملوثات (الشوائب) وضمان التجانس في حجم حبيبات التربة قبل إرسالها إلى المعمل للقياس التحليلي، كما هو موضح في الشكل (2)(Udo & Ogunwale, 1978) .

شكل (2): الغربال المستخدم لتجانس وتجهيز العينات قبل القياس الإشعاعي



بعد ذلك تم وزن الحاويات المتخصصة (الحافظة)، وتحديدًا أوعية مارينيلي Marinellin Beaker، بدقة باستخدام ميزان إلكتروني، تم وزن كل عينة على حدة، مع الحفاظ على كتلة ثابتة تبلغ حوالي (1kg) لكل عينة (Beretka & Mathew, 1985). تم حساب الوزن الصافي لكل عينة باستخدام الصيغة التالية:

وزن العينة = وزن الحافظة وهي مملوءة- وزن الحافظة وهي فارغة.

$$W_{sample} = W_{full} - W_{empty} \quad \rightarrow (1)$$

حيث إن: W_{sample} :هو وزن العينة، W_{empty} :وزن الحافظة فارغة، W_{full} :وزن الحافظة والعينة.

ب-التجفيف والقياس

لضمان الإزالة الكاملة للرطوبة وتثبيت الوزن، تم وضع عينات التربة الحقلية من الدراسة للتجفيف في فرن كهربائي (Oven) عند درجة حرارة 105℃ لمدة 24hr، أو حتى الوصول إلى حد الوزن المحدد مسبقًا (الوزن الثابت) (Beretka & Mathew, 1985).

ت-التوازن الإشعاعي:

لضمان احتجاز غاز **الرادون-222** ^{222}Rn، وهو أمر ضروري لتحقيق التوازن الإشعاعي بين نظائر سلسلة اليورانيوم، تم إغلاق أوعية مارينيلي بإحكام بشريط بلاستيكي قوي وتخزينها داخل حاويات بلاستيكية محكمة الإغلاق، وتم تسجيل الاسم ورقم التعريف والنوع والوزن لكل عينة بدقة على الحاوية (الحافظة)، تم الاحتفاظ بهذه العينات لمدة لا

تقل عن 30 يوماً، وهو ما يعتبر كافيًا لتحقيق التوازن الإشعاعي المطلوب للقياس الدقيق (Dovlete & Povinec, 2004).

4- منظومة القياس الإشعاعي:

تشكل المنهجية المستخدمة للتحقق من النشاط الإشعاعي المحدد للنويدات المشعة في عينات التربة إجراءً حاسمًا يتطلب دقة استثنائية في القياس، وبالتالي تم إجراء جميع التحاليل الطيفية في معمل مركز القياسات الإشعاعية والتدريب بمدينة طرابلس باستخدام منظومة مطيافية أشعة جاما (Gamma ray spectroscopy) المزودة بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (High Purity Germanium Detector – HpGe)، والذي يتميز بكفاءة 40%، ويمتلك قدرة رائعة على تحليل الطاقة، مما يجعله من أفضل الخيارات الرئيسة لتحليل النويدات المشعة في العينات البيئية (Knoll, 2010).

تم وضع الكاشف بشكل إستراتيجي داخل درع من الرصاص يبلغ سمكه 10cm، بهدف تخفيف إشعاع الخلفية وتقليل التداخل من الإشعاع المحيط، وفقًا للبروتوكولات المعمول في معامل القياس الإشعاعي(Gilmore, 2008) . تم ربط المنظومة بمحلل متعدد القنوات(MCA) ، باستخدام برامج متخصصة لتسهيل تحليل البيانات الطيفية واستخراج قمم الطاقة، بعد ذلك تم تحليل البيانات التي تم الحصول عليها باستخدام برنامج تحليلي متخصص مصمم للنماذج الخاضعة للدراسة (Faheem et al.، 2017). يوضح الشكل (3) الجهاز المستخدم في هذا البحث والذي يتميز بنظام التحليل الطيفي لأشعة جاما (Gamma Spectroscopy System) مزود بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) .

الشكل (3): منظومة مطيافية أشعة جاما المزودة بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) بمركز القياسات الإشعاعية والتدريب – طرابلس.



5- تقييم المخاطر الاشعاعية:

لتقييم المخاطر الإشعاعية المحتملة المرتبطة بالنشاط الاشعاعي الطبيعي في عينات التربة، تم حساب المؤشرات الإشعاعية التالية بناءً على التراكيز النوعية المقاسة (A_K, A_{Th}, A_U) :

أ- **النشاط الإشعاعي (The Activity Concentration–A)**: تم حساب النشاط الإشعاعي النوعي A لكل نظير بوحدة Bq/kg باستخدام المعادلة التالية (2) (Dovlete & Povinec, 2004).

$$A = \frac{net\ CPS\ samples}{Eff\ \ I_\gamma W} \quad Bq/kg \qquad \rightarrow (2)$$

حيث إن: net CPS samples معدل العد الصافي لكل ثانية، Eff كفاءة الكاشف عند الطاقة المحددة، بوحدة قياس (Efficiency)، I_γ نسبة شدة إصدار جاما لهذه الطاقة، بوحدة قياس (Intensity)، و W وزن العينة، بوحدة قياس (kilogram).

ب- **النشاط المكافئ للراديوم (Ra_{eq}) (Radium Equivalent Activity–)**: النشاط المكافئ للراديوم ($R_{a_{aq}}$) بوحدة Bq/kg (becquerel per kilogram) مؤشر خطر إشعاعي واسع الانتشار ويستخدم لتقييم المخاطر المرتبطة بالمواد المحتوية على نويدات ^{226}Ra و ^{232}Th و ^{40}K وقد تم تحديده على أساس افتراض أن: 370Bq/kg من ^{226}Ra و 260Bq/kg من ^{232}Th و 4810Bq/kg من ^{40}K تنتج نفس معدل الجرعة(UNSCEAR, 2000)

تم حسابه على النحو الموضح في المعادلة (3)(Beretka & Mathew, 1985)

$$R_{a_{aq}} = A_U + (A_{Th} \times 1.43) + (A_K \times 0.077) \quad Bq/kg \rightarrow (3)$$

حيث إن: A_U , A_{Th} و A_K هي قيم النشاط الإشعاعي لـ: ^{238}U , ^{232}Th و ^{40}K على التوالي بوحدة Bq/kg.

و 1.43 و 0.077 هي عوامل التحويل القياسية.

ث- **الجرعة الممتصة (Absorbed Dose Rate in Air– D)** : يتم تحديد معدل الجرعة الممتصة (D) للعينات بوحدة nGy/h من تركيز النشاط الإشعاعي النوعي، بالإضافة إلى المخاطر الإشعاعية المصاحبة من الجرعة الممتصة عند واحد متر فوق سطح الأرض موضح في المعادلة (4) (Beretka & Mathew, 1985) .

$$D = (0.462 \times A_U) + (0.604 \times A_{Th}) + (0.0417 \times A_K)\ nGy/h \rightarrow (4)$$

حيث إن: 0.462 و 0.604 و 0.0417 هي عوامل التحويل من Bq/kg إلى nGy/h

ج- **مكافئ الجرعة الفعالة السنوية (Annual Effective Dose Equivalent– AEDE)** :

يمكن قياس تركيز النويدات المشعة في البيئة بسبب إشعاع جاما الأرضي الناتج من النويدات الطبيعية ^{238}U, ^{232}Th ^{40}K من خلال المتوسط المكافئ السنوي الفعلي للجرعة(UNSCEAR, 2000) . AEDE ويتم حسابه من المعادلة (5):

$$AEDE = D \times 1.23 \times 10^{-3} \quad mSv/y \quad \rightarrow (5)$$

حيث D معدل الجرعة الممتصة (nGy/h).

ح- **مؤشر الخطر الداخلي (Internal Hazard Index–H_{int})** : مقياس يشير إلى التعرض الداخلي نتيجة لاستنشاق الرادون ^{222}Rn ومنتجاته، ويجب أن يكون المؤشر أقل من الواحد ليكون ضمن عتبة السلامة (القيمة المسموح بها هي 1)، ويحسب كما بالمعادلة (6) (Svoukis & Tsertos, 2007).

$$H_{int} = \left(\frac{A_U}{185} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}\right) \leq 1 \quad \rightarrow (6)$$

خ- **مؤشر الخطر الخارجي (External Hazard Index–H_{ext})** : يستعمل مؤشر H_{ext} لتقييم التعرض للإشعاع الخارجي من المواد المحتوية على الراديوم. تمثل قيمة $H_{ext} = 1$ القيمة القصوى المسموح بها المكافئة لنشاط مكافئ الراديوم مقداره 370 Bq/kg ، ويحسب كما في المعادلة (7) (Svoukis & Tsertos, 2007).

$$H_{ext} = \left(\frac{A_U}{370} + \frac{A_{Th}}{259} + \frac{A_K}{4810}\right) \leq 1 \quad \rightarrow (7)$$

ثالثاً: النتائج والمناقشة

1- النشاط الإشعاع النوعي

أظهرت نتائج التحليل الطيفي لأشعة جاما عن تذبذب ملحوظ في تركيزات النشاط الإشعاعي المحدد بين العينات التي تمت دراستها، توضح البيانات المقدمة في الجدول (1) أن مستويات نظير البوتاسيوم -40 تظهر تباينًا؛ إذ أظهرت العينة رقم (2) أعلى قيمة مسجلة؛ حيث بلغ قياس النشاط $410.44 \pm 33 Bq/kg$. في المقابل، أظهرت عينات أخرى، على وجه التحديد (7، 8، 12، 13، 14، 15)، مستويات النشاط الإشعاعي التي انخفضت إلى ما دون الحد الأدنى للكشف (أقل من حد الكشف، Below Detection Limit – BDL) تم تصنيف الحد الأدنى للقيمة أيضًا على أنهاBDL ، يمكن أن يعزى هذا الانخفاض إلى الخصائص المعدنية للتربة الرملية في منطقة العزيب، والتي تتكون أساسًا من رمال «الكوارتز» التي تعاني من نقص في معادن الطين والفلسبار الغني بالبوتاسيوم، أو قد تنتج عن عمليات الرشح الناتجة عن هطول الأمطار؛ حيث يمتاز البوتاسيوم بحركية عالية في التربة الرملية تؤدي لانتقاله للطبقات السفلى (Udo & Ogunwale, 1978; Gilmore, 2008).

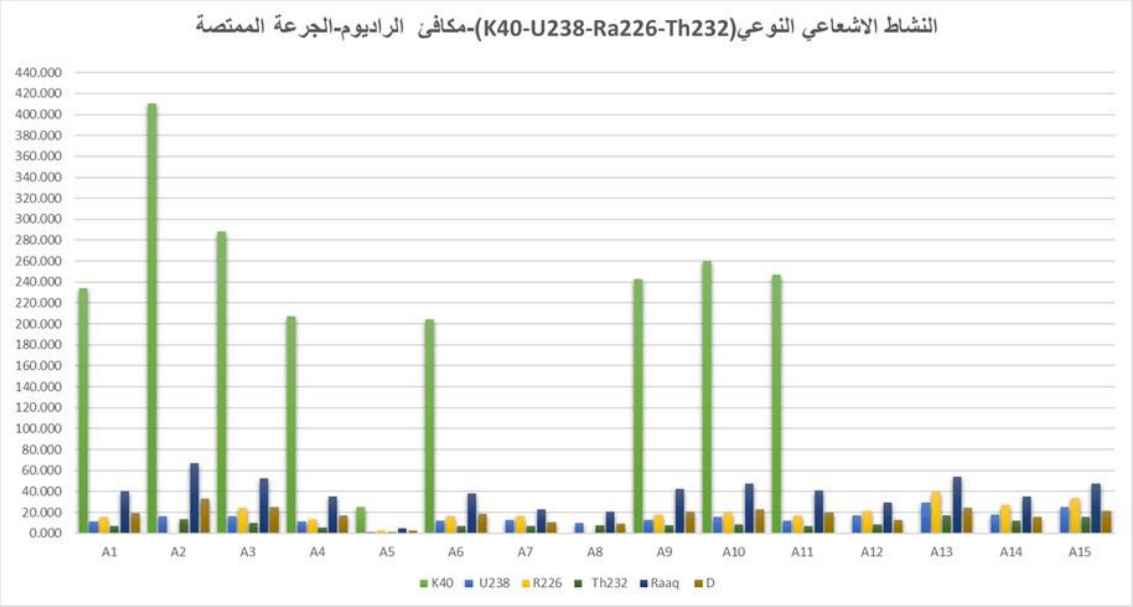
يوضح الشكل (4) توزيع النشاط الإشعاعي المحدد ومكافئ الراديوم والجرعة الممتصة عبر العينات.

من الواضح أن هيمنة الإشعاع تُعزى إلى نظير البوتاسيوم K40. تشير النتائج إلى أن نظير البوتاسيوم -40 يمتلك أعلى تركيز إشعاعي بين النظائر المقيّمة، وهو ما يرتبط بوفراته النسبية الملحوظة في القشرة الأرضية (حوالي 2.1%) كما ورد في تقرير (UNSCEAR, 2000)، مما يوضح نشاطه النسبي المرتفع في جميع العينات مقارنة بعناصر اليورانيوم والثوريوم (UNSCEAR, 2000; Tufail et al., 2013) .

الجدول (1): تركيز النشاط الإشعاعي للنظائر المشعة الطبيعية (K-40) **و** (Ra-226) **و** (U-238) **و** (Th-232) **في عينات التربة المجمعة من منطقة العزيب – ترهونة (بوحدة**Bq/kg) .

Activity Bq/kg	K	R226	main A U238	main A Th232
A1	234.17303 ± 9.7	15.92366 ± 1.6	11.77618 ± 1.5	7.41612 ± 0.3
A2	410.44286 ± 17	0.00000 ± 0.0	16.49283 ± 1.8	13.39043 ± 0.6
A3	288.16143 ± 11	24.26318 ± 2.4	16.17320 ± 1.9	9.76864 ± 0.4
A4	207.47730 ± 8.6	13.53790 ± 1.4	11.22837 ± 1.2	5.76415 ± 0.2
A5	25.39318 ± 1.05	2.62162 ± 0.05	1.65780 ± 0.1	1.11369 ± 0.3
A6	204.13847 ± 8.4	16.26835 ± 1.6	12.15363 ± 1.4	7.01908 ± 0.3
A7	0.00000 ± 0.0	16.30776 ± 1.6	12.97673 ± 1.5	7.19892 ± 0.3
A8	0.00000 ± 0.0	0.00000 ± 0.0	10.02513 ± 1.2	7.72947 ± 0.3
A9	242.68753 ± 10	18.00558 ± 1.8	12.81081 ± 1.5	7.54366 ± 0.3
A10	259.99448 ± 10	19.91851 ± 1.9	15.72668 ± 1.9	8.42506 ± 0.4
A11	247.42756 ± 10	17.12556 ± 1.7	12.29141 ± 1.4	6.96970 ± 0.3
A12	0.00000 ± 0.0	21.88034 ± 2.2	16.91242 ± 2.1	8.81689 ± 0.4
A13	0.00000 ± 0.0	39.71189 ± 4.3	29.76219 ± 5.2	17.16206 ± 0.9
A14	0.00000 ± 0.0	27.37816 ± 2.6	18.25814 ± 1.8	11.86308 ± 0.5
A15	0.00000 ± 0.0	34.00403 ± 2.6	25.20858 ± 1.8	15.88667 ± 0.5
max	A2	A13	A13	A13
min	A(7-8-12-13-14-15)	A(2-8)	A5	A5

الشكل (4): توزيع النشاط الإشعاعي النوعي والنشاط المكافئ للراديوم ومعدل الجرعة الممتصة في عينات التربة



وفيما يتعلق بنشاط اليورانيوم، سجلت العينة رقم (13) ذروة النشاط $29.76219 \pm 5.2\ Bq/kg$، بينما أظهرت العينة رقم (5) أدنى قياس $1.65780 \pm 0.1 Bq/kg$. من الجدير بالذكر أن جميع القيم المسجلة تقع ضمن النطاق الطبيعي المتوقع لعينات التربة. وبالمثل – فيما يتعلق بالثوريوم – سجلت العينة رقم (13) أعلى نشاط $17.16206 \pm 0.9\ Bq/kg$، في حين سجلت العينة رقم (5) الحد الأدنى للقراءة $1.11369 \pm 0.3\ Bq/kg$. وصل تركيز الراديوم Ra 226 إلى ذروته في العينة رقم $39.71189 \pm 4.3 Bq/kq$ (13). أشارت النتائج إلى مستوى الاستقرار في تركيزاتها؛ حيث ظلت القيم أقل من الحدود المسموح بها، ومن الضروري الاعتراف بأن غياب الراديوم في عينات معينة قد يُعزى إلى "عدم التوازن الإشعاعي (Radioactive Disequilibrium) داخل السلاسل الطبيعية، وهي ظاهرة شائعة في البيئات الجيولوجية المفتوحة التي تتأثر بالعمليات الكيميائية والفيزيائية، أو نتيجة انخفاض نشاطه عن حد تحسس منظومة القياس المستخدمة (UNSCEAR, 2000; IAEA, 2019).

يتم التأكيد على أهمية الراديوم من خلال دوره كمصدر أساس لغاز الرادون 222، والذي يشكل المساهم الرئيس في جرعة الإشعاع الطبيعي التي يتعرض لها البشر(Tufail et al., 2013) .

وفيما يتعلق بمؤشر مكافئ للراديوم Ra_{aq} ، فإنه يعمل كمقياس لتقييم المخاطر يحدد الجرعة الإجمالية من سلاسل الإشعاع المكافئة لتلك الخاصة بالراديوم وأسلافه، مع البقاء ضمن الحدود المقبولة. يقدم الجدول (2) تحليلاً مقارنًا بين هذه الدراسة والعديد من الدراسات المماثلة التي أجريت في مختلف الدول العربية وإيران والمتوسط العالمي .تشير تركيزات النشاط الإشعاعي المسجلة في هذا البحث إلى أنها أقل عمومًا من المتوسط العالمي الذي أبلغت عنه لجنة الأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR, 2000)، مما يشير إلى أن منطقة الدراسة لا تظهر مستويات مرتفعة من النشاط الإشعاعي الطبيعي(UNSCEAR, 2000; Bajoga et al., 2017) .

من الضروري الاعتراف بأن تقييم الخلفية الإشعاعية عبر مساحة جغرافية واسعة، يتطلب نهجًا إحصائيًا يعتمد على عدد كبير من العينات لضمان تصوير دقيق للتنوع الجيولوجي والمعدني. على الرغم من وجود مناطق عالمية (مثل مواقع مختارة في إيران والبرازيل) تُظهر مستويات مرتفعة بشكل ملحوظ من النشاط الإشعاعي، فإن المتوسط الإجمالي لهذه الدول قد يتضاءل عندما يتم دمج البيانات من مناطق أخرى تتميز بمستويات نشاط أقل (UNSCEAR, 2000). وبالتالي، فإن التحليل المقارن الذي تم إجراؤه في هذه الدراسة يطمح إلى تقديم مؤشرات مرجعية أولية ولا يمكن استقراؤه كاستنتاج نهائي فيما يتعلق بالخلفية الإشعاعية للمنطقة بأكملها دون تنفيذ مسوحات أكثر شمولاً تشمل مئات العينات، من الأهمية بمكان التأكيد على أن التقلبات الطفيفة الملحوظة هي اختلافات طبيعية متأصلة تنبع من عمليات جيولوجية بحتة ولا تُعزى إلى أي مصادر إشعاعية بشرية أو ملوثات نابعة من المساعي البشرية أو العسكرية؛ إذ إن النظائر المقاسة (^{40}K, ^{232}Th, ^{238}U) هي مكونات أصيلة في القشرة الأرضية وليست نواتج انشطار صناعي (Gilmore, 2008; UNSCEAR, 2021).

الجدول (2): متوسط تركيز النشاط الإشعاعي للنظائر الطبيعية (U–238 وTh–232 وK–40) في تربة بعض دول الشرق الأوسط مع المتوسط العالمي ونتائج الدراسة الحالية (Bq/kg).

الدولة	K40	Th232	U238
مصر	320	18	17
إيران	640	22	28
العراق	452	7	14
الاردن	188	15	25
الكويت	368	14	17
عمان	225	16	30
السعودية	641	23	11
سوريا	116	24	15
اليمن	939	42	48
المتوسط العالمي	400	30	35
الدراسة الحالية	141.32	9.07	14.89

عند مقارنة متوسط النشاط الإشعاعي داخل منطقة الدراسة بالمتوسطات العالمية، يصبح من الواضح أن منطقة العزيب بترهونة تقدم خلفية إشعاعية منخفضة (UNSCEAR, 2000). تتوافق هذه النتائج مع الدراسات الإقليمية المماثلة التي أجريت في بلدان مثل الكويت والعراق؛ حيث أظهرت التربة الرملية قيمًا أقل من المتوسطات العالمية بسبب انخفاض محتوى المعادن الثقيلة (Bajoga et al., 2017; Chandrasekaran et al., 2014) .

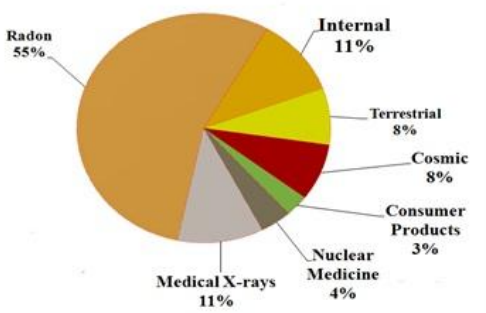
2- مؤشرات الخطر الإشعاعية

لتقييم المخاطر الصحية المرتبطة بالتعرض للإشعاع في منطقة العزيب بترهونة، تم حساب مجموعة من المؤشرات المعترف بها دوليًا. تشكل الجرعة الفعالة المكافئة السنوية (AEDE) أحد أهم المعايير؛ حيث إنها تحدد كمية الطاقة

الإشعاعية التي يمتصها جسم الإنسان على مدى عام واحد، وقد حددت اللجنة الدولية للحماية من الإشعاع (ICRP) الحد الأدنى لعامة السكان بـ 1mSv/year (ICRP, 2007) . بلغ متوسط الجرعة الفعالة السنوية (AEDE) في منطقة الدراسة 0.022 mSv/y، وهي قيمة منخفضة جداً تمثل حوالي 11.5% من القيمة المرجعية العالمية البالغة 0.192 mSv/y المعتمدة في تقارير(UNSCEAR, 2000) ، وهذا الانخفاض الملحوظ يعكس الطبيعة الإشعاعية الآمنة لتربة منطقة العزيب مقارنة بالمستويات العالمية المحددة للتعرض البشري.

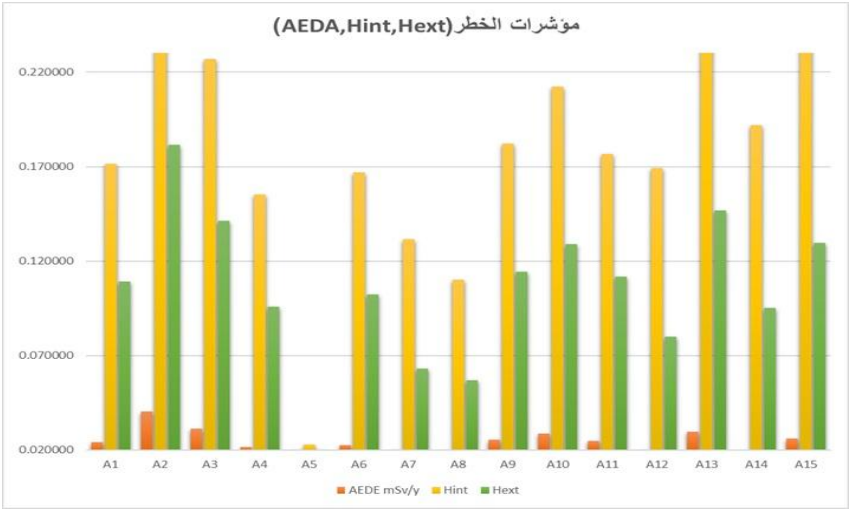
يوضح الشكل (5) أن المصادر الطبيعية تشكل المساهم الرئيسي في التعرض للإشعاع البشري، بنسبة تصل إلى 82٪ . حيث يظهر غاز الرادون (^{222}Rn) باعتباره أهم عنصر طبيعي يحفز الجرعات الداخلية، ويسهم بحوالي 55٪ (UNSCEAR, 2000).

شكل (5): متوسط مساهمة المصادر الإشعاعية المختلفة في الجرعة الفعالة الكلية



يعرض الشكل (6) نتائج مؤشرات المخاطر جنبًا إلى جنب مع الجرعة السنوية المكافئة لمؤشرات المخاطر الداخلية والخارجية، يعمل مؤشر الخطر الداخلي كمقياس تقييمي لجرعة الرادون الناشئة عن سلسلة U 238 و Th232. وكانت أعلى قيمة مسجلة لمؤشر الخطر الداخلي في العينة (13) هي 0.30436 بمتوسط عام قدره 0.18358. وبالنظر إلى أن هذا المؤشر لا يزال أقل من القيمة الحدية (1)، فإن التعرض للإشعاع الناتج عن استنشاق غاز الرادون الناتج عن سلاسل الاضمحلال الطبيعية يبقى ضمن حدود مقبولة.

الشكل (6): مؤشرات الخطر الإشعاعي لعينات التربة المدروسة



وفيما يتعلق بمؤشر الخطر الخارجي (Hext)، الذي يحدد كمية جرعة أشعة جاما الناتجة عن الإشعاع الأرضي، سجلت العينة رقم (2) أعلى قيمة قدرها 0.182 بمتوسط عام قدره 0.105، وهو أيضاً أقل بكثير من القيمة الحدية العالمية، مما يشير إلى عدم وجود خطر إشعاعي خارجي كبير داخل منطقة الدراسة (Beretka & Mathew, 1985; UNSCEAR, 2000).

من الضروري الاعتراف بأن تقييم مخاطر غاز الرادون في هذه الدراسة تم استخلاصه بشكل غير مباشر من خلال استخدام المعادلات التجريبية المعتمدة، والتي تُعزى إلى ندرة أجهزة القياس المتخصصة القادرة على مراقبة مستويات الرادون في البيئة المحلية، ومع ذلك تحتفظ النتائج بموثوقية كبيرة بسبب خصائص البيئة المفتوحة (الهواء الطلق)، التي تخفف من احتمالية تراكم الغاز إلى التركيزات الخطرة، كما يُلاحظ غالبًا في الأماكن المغلقة، وبالتالي تشير النتائج الناتجة عن هذا البحث إلى أن مستويات التعرض في الهواء الطلق تظل ضمن الحدود المقبولة ولا تشير إلى وجود مخاطر صحية كبيرة.

يوضح الجدول (3)أيضًا تحليلًا مقارنًا لمؤشرات مخاطر الإشعاع المحددة في هذه الدراسة جنبًا إلى جنب مع المتوسطات العالمية، يكشف هذا التحليل المقارن أن جميع المؤشرات المحسوبة في هذا البحث تقع ضمن الحدود الآمنة المعتمدة دوليًا، مما يدل على أن التربة في منطقة العزيب لا تشكل مصدرًا بارزًا للتعرض للإشعاع للسكان المحليين.

من الملاحظ أن مؤشرات المخاطر الداخلية والخارجية على المستوى العالمي بشكل عام ليست دقيقة تمامًا، ومع ذلك فإنها عادة لا تتجاوز العتبات المقبولة إلا في بعض المناطق الموثقة جيدًا في جميع أنحاء العالم، لا سيما داخل بلدان محددة مثل إيران والبرازيل والهند (UNSCEAR, 2000; Bajoga et al., 2017).

الجدول (3): مقارنة مؤشرات الخطورة الإشعاعية لعينات التربة في الدراسة الحالية مع القيم العالمية.

المؤشر	الجرعة الممتصة nGy/h	الجرعة الفعالة السنوية mSv/y	مكافئ الراديوم Bq/kg	الخطر الداخلي Hint	الخطر الخارجي Hext
المتوسط العالمي	57	70	370	N.A	NA
المدى العالمي	18-98	NA	NA	NA	NA
متوسط الدراسة الحالية	18.25	0.022	38.75	0.183	0. 104

NA: Not Available (غير متوفر في المصدر المرجعي).

تظهر النتائج المتعلقة بمؤشرات مخاطر الإشعاع الخارجية والداخلية أن قيمها أقل من الحد المقبول (Hext < 1و Hint < 1) ، وهي الحدود الموصى بها عالميًا والمصممة لحماية السلامة الإشعاعية للسكان، تشير هذه الملاحظة إلى أن مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي الموجودة في التربة لا تشكل خطرًا إشعاعيًا على السكان، وتتفق هذه النتائج مع التقارير السابقة (UNSCEAR, 2000)

أظهرت النتائج أيضاً معدل الجرعة الممتصة متوسطه 18.25nGy/h، وهو أقل بشكل ملحوظ من متوسط الجرعة العالمية (~57nGy/h). كما سجلت الجرعة السنوية المكافئة AEDE الناتجة عن النشاط الإشعاعي الأرضي تبلغ 0.022mSv/y، أي أقل من الحد العالمي المسموح به (1mSv/y)، مما يعزز الاستنتاج بأن التعرض للإشعاع الطبيعي في المنطقة يظل ضمن مستويات آمنة (ICRP, 2007; Beretka & Mathew, 1985).

وبالنظر إلى أن هذه القيم أقل من الحد المقبول (الواحد الصحيح)، فإن المنطقة تصنف على أنها آمنة بيئيًا وصحيًا، ولا تشكل أي مخاطر إشعاعية كبيرة على سكانها، من المهم ملاحظة أن تقييم المخاطر الداخلية يعتمد جزئيًا على انبعاثات الرادون، الأمر الذي يستلزم مستقبلاً استخدام كواشف الأثر النووي (مثل CR-39) للحصول على قياسات مباشرة وأكثر دقة داخل الأماكن المغلقة (WHO, 2021).

رابعاً: الاستنتاج

حددت هذه الدراسة مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي الموجود في تربة منطقة العزيب الواقعة في مدينة ترهونة بليبيا، أشارت النتائج إلى أن توزيع النظائر المشعة (^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K) يقع ضمن النطاقات الطبيعية المعترف بها عالميًا، مع سيادة واضحة لنظير للبوتاسيوم -40، وهو ما ينسجم مع التركيب المعدني للقشرة الأرضية (UNSCEAR, 2021).

وعند مقارنة مؤشرات خطر الإشعاع المحسوبة، تبين أن جميع القيم أقل من الحدود الحرجة الموصى بها دوليًا، مما يؤكد أن التربة الرملية في منطقة الدراسة لا تشكل تهديدًا إشعاعيًا كبيرًا للصحة العامة أو التوازن البيئي، وفقًا للمعايير الدولية (ICRP, 2007; UNSCEAR, 2021).

توصي هذه الدراسة إلى استمرار المسح الإشعاعي ليشمل مناطق جغرافية أوسع داخل ليبيا وتؤكد على ضرورة إنشاء قاعدة بيانات وطنية لخلفية الإشعاع الطبيعي، مما سيسهل مراقبة أي تغييرات بيئية محتملة ويوفر أساسًا علميًا لمبادرات الحماية من الإشعاع.

الشكر والتقدير:

يرغب الباحثون في التعبير عن امتنانهم العميق وتقديرهم للتعاون المثمر والمساعي التعاونية التي سهلت الانتهاء من هذه الورقة البحثية، حيث كان للجهد الجماعي والشراكة العلمية دور فعال في التغلب على العقبات المنهجية وتحقيق الذروة الناجحة لهذه الدراسة، كما يتقدم الباحثون بالشكر الجزيل والتقدير للعاملين بمركز القياسات الإشعاعية والتدريب– طرابلس، لما قدموه من دعم فني وتسهيلات معملية وتوفير الإمكانيات التقنية اللازمة لإجراء القياسات الإشعاعية، والتي أسهمت بشكل في نجاح هذا العمل.

المراجع

أولاً: المراجع باللغة الإنجليزية

1. Bajoga, A., Alazemi, N., Shams, H., Regan, P. H., & Bradley, D. A. (2017). Evaluation of naturally occurring radioactivity across the State of Kuwait using high-resolution gamma-ray spectrometry. *Radiation Physics and Chemistry*, 137, 203–209.
2. Beretka, J., & Mathew, P. J. (1985). Natural radioactivity of Australian building materials, industrial wastes and by-products. *Health Physics*, 48(1), 87–95.
3. Chandrasekaran, S., Ravisankar, M., & Vijayagopal, P. (2014). Natural radioactivity and radiological hazard assessment in soil samples from different regions. *Radiation Physics and Chemistry*, 103, 89–95.
4. Dovlete, C., & Povinec, P. (2004). Quantification of uncertainty in gamma spectrometric analysis of environmental samples. In *IAEA-TECDOC-1401* (pp. 103–126). International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, Austria.
5. El-Sharkawy, A., El-Arabi, A. M., & El-Taher, A. (2020). Assessment of natural radioactivity levels and radiological hazards in soil samples from selected locations in Libya. *Journal of Environmental Radioactivity*, 217, 106211.
6. Faheem, M., Al-Zahrani, J. H., & Al-Sulaiti, H. A. (2017). Natural radioactivity levels and associated hazard assessment in the soil of Al-Qassim region, Saudi Arabia. *Journal of Environmental Radioactivity*, 172, 107–113.
7. Gilmore, G. (2008). *Practical Gamma-Ray Spectrometry* (2nd ed.). John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK. DOI: 10.1002/9780470695043.
8. Hendricks, M. B. (2011). Geochemistry and mineral composition of soil and sediment formations. *Earth Science Reviews*, 105(3–4), 213–228.
9. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2005). *Protection against natural radiation sources*. Safety Standards Series No. RS-G-1.7, Vienna, Austria.
10. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2019). *Guidelines for Environmental Radioactive Surveillance*. Safety Reports Series No. 64, Vienna, Austria.
11. International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103, Annals of the ICRP*, 37(2-4).
12. Knoll, G. F. (2010). *Radiation Detection and Measurement* (4th ed.). John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
13. McAulay, I. R., & Moran, D. (1988). Natural radioactivity in soil in the Republic of Ireland. *Radiation Protection Dosimetry*, 24(1-4), 47–49.
14. Rangaswamy, V., Seshagiri Rao, S., & Srinivasa Rao, K. (2016). Natural radioactivity and radiological hazard assessment in soil samples. *Journal of Environmental Radioactivity*, 151, 15–23.
15. Svoukis, E., & Tsertos, H. (2007). Indoor and outdoor in situ high-resolution gamma radiation measurements in urban areas of Cyprus. *Radiation Protection Dosimetry*, 123(3), 384–390.
16. Tufail, M., Nasim, A., & Iqbal, Z. (2013). Measurement of natural radioactivity in soil from different regions and assessment of radiological hazards. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 25–32.

17. Udo, E. J., & Ogunwale, J. A. (1978). *Laboratory manual for the analysis of soil, plant and water samples* (1st ed., pp. 11–30). University of Ibadan Press.
18. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation: Report to the General Assembly, with Scientific Annexes (Volume I)*. United Nations, New York.
19. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2021). *Sources, effects and risks of ionizing radiation: Report to the General Assembly (2020/2021 Scientific Annexes)*. United Nations, New York.
20. World Health Organization (WHO). (2021, February 2). *Radon and health*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon

ثانياً: المراجع باللغة العربية:

1. الشتيوي، أ. & وآخرون، (2018). دراسة النشاط الإشعاعي الطبيعي في تربة مناطق مختارة بليبيا وتقييم مخاطرها الإشعاعية . *مجلة العلوم الأساسية والتطبيقية*، جامعة طرابلس، ليبيا، المجلد 12، العدد 1، ص 45-58.