الهيئة العربية للطاقة الذرية

# الذرة والتنمية

نشرة علمية إعلامية فصلية
المجلد السادس والثلاثون ـ العدد الثالث - خاص- 2024

## قياس النشاط الإشعاعي الطبيعي وتقيم المخاطر الإشعاعية لعينات تربة حول موقع شركة تعدين اليورانيوم من منطقة وسط الأردن

## قييم جودة وصلات اللحام في المصادر المشعة المختومة بإستخدام تقنية الفحص الغير إتلافي

## راسة المياه الجوفية العميقة لطبقة الكريتاسي الأعلى في البادية السورية بإستخدام تقنية النظائر البيئية والهيدروكيميا

## إزالة التلوث الإشعاعي من السوائل بإستخدام الخفاف الطبيعي

نشرة علمية إعلامية فصلية المجلد السادس
والثلاثون ـ العدد الثالث خاص - 2024

الذرة في خدمة الإنسان

**نشرة الذرة والتنمية، نشرة علمية إعلامية فصلية تهتم بزيادة وعي أبناء الوطن العربي بمختلف مجالات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها السلمية**
**تصدر عن الهيئة العربية للطاقة الذرية**

إن الآراء والأفكار والمعلومات التي تنشر بأسماء كتّابها تكون على مسؤوليتهم
يسمح باستعمال ما ورد في هذه النشرة من مواد علمية أو فنية، بشرط الإشارة إلى مصدرها
المقالات والمراسلات توجه إلى رئيس تحرير نشرة الذرة والتنمية على عنوان الهيئة أدناه .

**العنوان البريدي : الهيئة العربية للطاقة الذرية، 7، نهج المؤازرة، حي الخضراء 1003، تونس**
**الهاتف : 71.808.400 ـ الفاكس : 71.808.450**
**العنوان الإلكتروني: aaea@aaea.org.tn & aaea_org@yahoo.com**
**الموقع الإلكتروني: www.aaea.org.tn**

# الذرة والتنمية

**نشرة فصلية ربع سنوية**

**تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية ـ تونس**

**المجلد السادس والثلاثون ـ عدد خاص لسنة 2024**

**لجنة التحرير**

**رئيس التحرير** : أ. د. سالم حامدي

**المراجعون :**

أ. د. خالد زهرمان

# جدول المحتويات


| الموضوع | الصفحة |
| --- | --- |
| ✯ قياس النشاط الإشعاعي الطبيعي وتقيم المخاطر الإشعاعية لعينات تربة حول موقع شركة تعدين اليورانيوم من منطقة وسط الأردن– د. الليث الدرابيع . | 3 |
| ✯ تقييم جودة وصلات اللحام في المصادر المشعة المختومة بإستخدام تقنية الفحص الغير إتلافي– د. أيمن أبو غزال ..... | 20 |
| ✯ دراسة المياه الجوفية العميقة لطبقة الكريتاسي الأعلى في البادية السورية بإستخدام تقنية النظائر البيئية والهيدروكيمياء– د. عبدالرحمن الشريدة ..... | 35 |
| ✯ إزالة التلوث الإشعاعي من السوائل بإستخدام الخفاف الطبيعي– د. مزهر عبد كاطع ..... | 56 |
| ✯ قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية..... | 67 |

# قياس النشاط الإشعاعي الطبيعي وتقيم المخاطر الإشعاعية لعينات تربةحول موقع شركة تعدين اليورانيوم من منطقة وسط الأردن


## Abstract

The radionuclide concentrations of Radium ($^{226}$Ra), Uranium ($^{238}$U), Thorium ($^{232}$Th), and Potassium ($^{40}$K) were measured for 24 surface soil samples using a high-purity germanium (HPGe) detector, in order to calculate the concentration of natural radioactivity, and determine the radiation background of the study area. Samples were collected from the central Jordan around the site of the Jordan uranium mining company (JUMCO) and in the residential areas close to it (Sawaqa, Al-Damkhi village, and Qatrana City). The area contains various mining activities. This study is considered a basic study of the area as it is expected to increase mining activity in the area. As uranium mines and expansion of phosphate mines and cement mining in neighboring areas. The natural radioactivity concentrations for $^{226}$Ra, $^{238}$U $^{232}$Th, and $^{40}$K ranged (from 31.6 to 352.8), (from 22.8 to 249.5), (from 11.1 to 23.6), (from 151 to 456.7) (Bq/kg) and it is average value are (89.5, 66.4, 19.7, 287.7) (Bq/kg), respectively. The results showed that the average radioactivity concentration values for the isotopes $^{232}$Th and $^{40}$K were less than the global average concentration of these isotopes (45, 420) (Bq/kg), respectively. As for the average concentration of radioactivity for $^{226}$Ra and $^{238}$U, it was higher than the

global average concentration (32, 33) (Bq/kg), respectively, as stated in the report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 2000). The values of the radium equivalent concentration ($Ra_{eq}$) ranged from (81.8 to 401.75) (Bq/kg). The average values were (140) (Bq/kg), which is less than the internationally recommended limit of (370) (Bq/kg), and to measure Radiation risk to the public as a result of exposure to $^{226}Ra$, $^{238}U$, $^{232}Th$, and $^{40}K$ in the studied samples. The air absorbed dose rate (DR), the annual effective dose equivalent (AEDE), and the internal ($H_{in}$) and external ($H_{ex}$) radiation hazard index were calculated and their average values are less than internationally permissible limits.

## مـــقـــــدمة

يتعرض البشر خلال حياتهم إلى كمية من الإشعاع الطبيعي وغير الطبيعي، حيث يساهم الإشعاع الطبيعي في نسبة عالية من مجمل التعرضات، حيث أن هناك مصادر متعددة قد تساهم في هذا التعرض من إشعاع كوني يخترق طبقات الغلاف الجوي وإشعاع أرضي ناتج عن الإشعاع الطبيعي للعناصر المتواجدة في الطبيعة. كما أن أجساد البشر بطبيعة الحال تحتوي على نظائر مشعة من الطفولة مثل البوتاسيوم، قد يتعرض البشر خلال حياتهم أيضاً للإشعاع من التعرض الطبي من بعض الإجراءات الطبية مثل التصوير التشخيصي أو العلاج الإشعاعي او الطب النووي، يساهم البشر أيضاً من خلال النشاطات الصناعية من صناعات تحويلية وتعدين وغيرها في زيادة التعرض البشري للإشعاع من خلال رفع تراكيز النويات المشعة الناتجة من النشاطات التي تم ذكرها في البيئات المحيطة للمجتمعات، كما أن هناك متبقيات من نظائر مشعة ناتجة من الحوادث النووية التي حصلت على الكرة الأرضية ونقلت بالتيارات الهوائية وإنتشرت في مختلف أنحاء العالم. ويعتمد النشاط

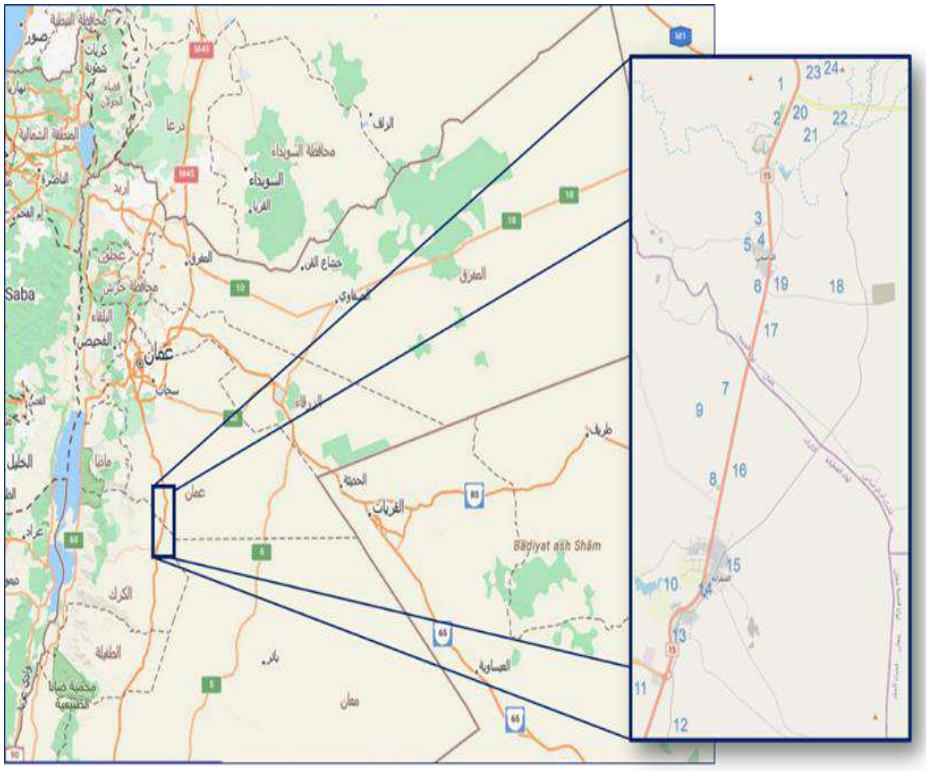
الإشعاعي البيئي الطبيعي والتعرض الخارجي المصاحب لأشعة جاما بشكل أساسي على الظروف الجيولوجية والجغرافية، ويظهر على مستويات مختلفة في التربة والصخور المكونة لكل منطقة في العالم. وترتبط المستويات المحددة للإشعاع البيئي الأرضي بتركيبة كل منطقة منفصلة من الناحية الصخرية، وبمحتوى المعادن التي تنشأ منها التربة. إن قياس عينات التربة يهدف الى معرفة نوعية العناصر الطبيعية والصناعية الملوثة للبيئة وحساب تراكيزها، حيث توفر لنا هذه القياسات معلومات عن النظائر المتواجد وبناء الخطط المناسبة للتخلص وإزالة هذه المخلفات الإشعاعية الى الحدود المسموح بها دوليا لحماية العاملين والسكان والبيئة من مخاطر التلوث الاشعاعي.

يوجد في منطقة وسط الأردن – منطقة الدراسة الحالية – عدة منشآت للصناعات التعدينية وإستخراج خامات الفوسفات والبوتاس واليورانيوم والصناعات المختلفة من إسمنت وأسمدة وسيراميك، وحيث أن هذه الخامات المستخدمة في الصناعات التعدينية متموضعة في الطبقات الصخرية في المنطقة مما قد تساهم في رفع تراكيز النويدات المشعة الطبيعية في البيئة. سيتم خلال هذه الدراسة التعرف على تراكيز النظائر المشعة الطبيعية والصناعية – إن وجدت– المنتشرة في المنطقة ودراسة الخلفية الإشعاعية الطبيعية لها وتقدير الجرعات التي من المتوقع أن يتعرض لها العاملين وسكان المناطق المجاورة وتقدير الخطر الاشعاعي على الجمهور في منطقة الدراسة، وذلك من خلال مناقشة ومقارنة تركيزات النويدات المشعة في العينات التي تم جمعها مع القيم الدولية الصادرة عن اللجنة العلمية للأمم المتحدة حول تأثيرات الاشعاع الذري (UNSCEAR 2000). حيث أنه لم يتم دراسة وتقيم الأثر الإشعاعي للمنطقة سابقاً.

## منهج البحث

**1- منطقة الدراسة وجمع العينات:** تقع منطقة الدراسة في وسط الأردن جنوب العاصمة عمان على بعد 40 كم جنوب مطار الملكة علياء الدولي، وتشمل منطقة

الدراسة على بعض التجمعات السكانية المنتشرة في المنطقة وما حولها بما في ذلك منطقة سواقة وقرية الدامخي ومدينة القطرانة والتي تمتد على مسافة 20 كم تقريباً والقريبة من موقع شركة تعدين اليورانيوم الأردنية ومواقع الصناعات التعدينية في المنطقة حيث تم إختيار موقع الدراسة بسبب تواجد نشاط صناعي لعدة منشآت في المنطقة من صناعات ثقيلة وتعدين ويتواجد بالقرب منها منشأة لإستكشاف ودراسة خامات اليورانيوم في منطقة وسط الأردن بالإضافة الى منشأتين لتصنيع الإسمنت ومنشأة صناعية كبيرة لتصنيع البلاط والسيراميك ومنشأة لتصنيع مادة الجبص، بالإضافة لتواجد موقع تعدين وحفر يتبع لشركة تعدين الفوسفات يبعد عدة كيلومترات بالإتجاه الشرقي وبالقرب من المنطقة التي يتواجد فيها التجمعات السكانية، التي قد تتأثر ببعض نشاطاتها، كما أن المنطقة تشمل على مسطحات زراعية ونباتات قد تتأثر بالتلوث وتنقل التلوث للبشر عند تناولها بشكل مباشر او من خلال الثروة الحيوانية الرعوية من دواجن ومواشي وغيرها قد تتسبب بنقل التلوث إن وجد في حال تناول لحومها أو منتجاتها، وهناك أيضاً مسطحات مائية معرضة للتلوث في حال تواجده مما قد تتسبب بنقل التلوث للبشر بشكل مباشر عن طريق الشرب أو بشكل غير مباشر من خلال ري المزروعات أو ري الحيوانات الرعوية. ومن الجدير بالذكر أيضاً أن المنطقة لا يوجد لها اي دراسات سابقة أو بحوث علمية منشورة سابقاً تتعلق بالأثر الإشعاعي والبيئي، وقد يكون هناك بعض الدراسات لبعض المنشآت في المنطقة لكنها غير منشورة وعلى الأغلب تقتصر على محيط المنشأة فقط دون شمل التجمعات السكانية القريبة منها، وتصنف منطقة الدراسة من الناحية المناخية على أنها شبه جافة. تم جمع العينات في شهر تموز عام 2023، حيث تم جمع 24 عينة تربة سطحية حتى عمق 10 سم ومن مناطق مختلفة كما هو موضح في الصورة (1).




صورة 1: مناطق أخذ العينات ومنطقة الدراسة

2- **تحضير العينات:** تم تحضير العينات للقياس بعد جمعها في مختبرات التحضير في هيئة الطاقة الذرية الأردنية حيث تم إزالة الأحجار والنباتات والمواد العضوية وطحن جميع العينات إلى مسحوق ناعم بإستخدام الطرق الفيزيائية، كما تم إستخدام فرن كهربائي لتجفيف العينات عند حوالي 105 درجة مئوية لمدة 24 ساعة لإزالة محتوى الرطوبة، وتم تنخيلها من خلال غربال 150 ميكرون للحصول على جودة جيدة للعينة، تم تعبئة العينات المجففة في علب بلاستيكية مخصصة لعملية

القياس PVC محكمة الإغلاق بسعة 65 مل لها نفس الشكل والأبعاد (ارتفاع 7 مم وقطر 6.5 سم) مثل تلك الخاصة بمصادر جاما القياسية للوكالة الدولية للطاقة الذرية المستخدمة لمعايرة الكفاءة. كما تم تخزين العينات هذه لمدة 30 يوماً قبل تحليل مقياس طيف جاما، وذلك للسماح بالتوازن الإشعاعي بين نواتج الاضمحلال لغاز الرادون.

**3- جمع البيانات وتحليلها:** تم تحديد تركيز النشاط للنويدات المشعة التي تحدث بشكل طبيعي للراديوم ($^{226}Ra$) والثوريوم ($^{232}Th$) واليورانيوم ($^{238}U$) والبوتاسيوم ($^{40}K$) في عينات التربة السطحية بإستخدام نظام التحليل الطيفي لجاما في الخلفية المنخفضة في مختبرات البحوث والمعلومات في هيئة الطاقة الذرية الأردنية، النتائج معروضة في الجداول 1 و2، يشتمل نظام القياس على كاشف من الجرمانيوم عالي النقاوة من شركة اورتك (ORTEC) ، ووعاء تبريد النيتروجين السائل، والكاشف عبارة عن أسطوانة متحدة المحور بقطر نشط يبلغ 61.5 مم، ومسافة 5 مم من النافذة (الخارجية) ونافذة من البريليوم. تقدر الكفاءة النسبية للكاشف ب 50٪، وبدقة 2.0 كيلو فولت عند نصف قيمته القصوى (FWHM) عند 1.33 ميغا إلكترون فولت. تم وضع الكاشف داخل درع رصاصي ذو خلفية منخفضة بسماكة 10 سم، وسمكه 1.6 مم، ونقاوة عالية، وخلفية نحاسية رقيقة. يوفر الدرع وقاية فعالةً لخلفية إشعاع غاما الموجودة في موقع المختبر. تم قياس كل عينة، بعد تحقيق التوازن، تم عدها لمدة 60000 ثانية بإستخدام كاشف HPGe. تم الحصول على البيانات بإستخدام المحلل متعدد القنوات (MCA) وتم تحليل البيانات بواسطة برنامج الكمبيوتر (Genie-2000) .

## النتائج والمناقشة

### 1- الحسابات:

أ- **تركيز النشاطية:** تم تحديد تركيز عنصر الراديوم ($^{226}Ra$) من خلال متوسط تركيز النويدات الوليدة حيث تم أخذ قمم منحنيات إشعاع جاما عند قيم الطاقة (351 كيلو الكترون فولت) للرصاص ($^{214}Pb$) و (609 كيلو الكترون فولت) للبيزموث ($^{214}Bi$)، وتم تحديد تركيز عنصر اليورانيوم ($^{238}U$) من خلال قمة المنحنى عند الطاقة (92 كيلو الكترون فولت) وتحديد تركيز الثوريوم ($^{232}Th$) من خلال قمة منحنى الطاقة عند (911 كيلو الكترون فولت) للأكتينيوم ( $^{228}Ac$)، أما بالنسبة للبوتاسيوم ($^{40}K$) تم تحديده من خلال قمة ذروته الوحيده البالغة (1460 كيلو الكترون فولت). تم إستخدام المعادلة التالية لحساب تركيز النشاط الاشعاعي للراديوم($^{226}Ra$) واليورانيوم ($^{238}U$) والثوريوم ($^{232}Th$) والبوتاسيوم($^{40}K$).

$$\mathbf{A} = \frac{C}{\epsilon * I\gamma * m * t}$$

حيث أن A النشاطية المحددة للنويدات المشعة (بيكرل لكل كيلو غرام) (Bq/kg)، و C التعداد الصافي لكل عينة تم فحصها (مطروح منها قيمة الخلفية الإشعاعية الطبيعية) و$\epsilon$ كفاءة الكاشف لطاقة الذروة ، $I\gamma$: شدة أشعة جاما و m كتلة العينة الجافة بوحدة الكيلوجرام و t مدة العد بالثانية.

ب- **نشاط مكافئ الراديوم (Raeq):** تم حساب قيمة مكافئ الراديوم من خلال المعادلة التالية:

$$Ra(eq) = \mathrm{A\,Ra} + 1.43\mathrm{ATh} + 0.077\mathrm{AK}$$

حيث أن $A_K, A_{Th}, A_{Ra}$ هي نشاطية كل من الراديوم والثوريوم والبوتاسيوم على التوالي.

**ت- معدل الجرعة الممتصة (D):** لتقدير معدل الجرعة الممتصة في الهواء **(DR)** عند إرتفاع 1 متر فوق مستوى سطح الأرض بسبب إنبعاثات أشعة جاما، يتم حساب المعدل الإجمالي للجرعة الممتصة في الهواء بدلالة تراكيز الراديوم والثوريوم والبوتاسيوم من خلال المعادلة التالية، وقد أعطت عوامل تحويل الجرعة لتحويل تركيزات النشاط $^{226}Ra$ و$^{232}Th$ و$^{40}K$ إلى جرعات ($nGy.h^{-1}$ لكل Bq.kg−1) بمقدار 0.427 و0.662 و0.043 على التوالي:

$$\mathrm{DR\,(nGy/h)} = 0.427\,\mathrm{ARa} + 0.662\,\mathrm{ATh} + 0.043\,\mathrm{AK}$$

**ث- الجرعة الفعالة السنوية المكافئة (AEDE):** عند حساب الجرعة الفعالة السنوية يجب أن يراعى ما يلي عامل تحويل الجرعة الممتصة إلى جرعة فعالة وعامل الإشغال الداخلي. يستخدم العامل Sv0.7 كعامل تحويل من الجرعة الممتصة في الهواء إلى الفعالية السنوية التي يتلقاها الجسم. 0.2 هي نسبة الوقت الذي يقضيه في الخارج وهي نسبة الإشغال الخارجي، وهذه البيانات وجدت أن الجرعة الفعالة السنوية تحسب على النحو التالي:

$$AEDE(mSv/y) = D(nG/h) * 10^{-6} * 8760(h/y) * 0.2 * 0.7(Sv/Gy)$$

حيث 8760 هو عدد الساعات في السنة.

**ج- مؤشرات مخاطر الإشعاع الخارجي (Hex) والداخلي (Hin):** حيث يجب أن تكون قيم المؤشرين أقل من الواحد، فإذا كان يساوي أو أكبر من الواحد يدل على وجود خطر إشعاعي.

- يتم حساب مؤشر الخطر الإشعاعي الخارجي من خلال المعادلة التالية:

$$Hex = \frac{\mathbf{ARa}}{\mathbf{370}} + \frac{\mathbf{ATh}}{\mathbf{259}} + \frac{\mathbf{AK}}{\mathbf{4810}}$$

- أما التعرض الداخلي فهو ناتج عن إستنشاق غاز الرادون ونواتجه ويمكن التعبير عنه بدلالة مؤشر الخطر الداخلي ويحسب بالمعادلة التالية:

$$Hin = \frac{\mathbf{ARa}}{\mathbf{185}} + \frac{\mathbf{ATh}}{\mathbf{259}} + \frac{\mathbf{AK}}{\mathbf{4810}}$$

**2- النشاط الإشعاعي في التربة:** بعد إجراء الحسابات وتحليل النتائج للعينات و قياس النشاط الاشعاعي للراديوم($^{226}Ra$) و اليورانيوم ($^{238}U$) والثوريوم ($^{232}Th$) والبوتاسيوم($^{40}K$) تبين ان معدل النشاط الإشعاعي لها كانت (89.5، 66.4، 19.7، 287.7) (بيكرل/كغم) على التوالي حيث أن المعدلات للثوريوم والبوتاسيوم هي أقل من المعدل العالمي( 45 ,420) (بيكرل/كغم) على التوالي، لكن المعدلات للراديوم واليورانيوم كانت أعلى من المعدل العالمي وهو (32، 33) (بيكرل/كغم) حيث أن السبب يكمن في أن المنطقة تشهد نشاط تعديني مجاور لخامات الفوسفات مع تموضع لخامات اليورانيوم في المنطقة وتشهد عمليات إستكشافية له كما تحتوي المنطقة على منشأتي تصنيع للإسمنت الذي يستخدم خامات صخرية يتم إستخراجها من المنطقة، ويظهر الجدول رقم 1 حسابات النشاطية الاشعاعية الطبيعية لمنطقة

الدراسة والتي تم حسابها على جهاز مطيافية جاما بكاشف الجرمانيوم عالي النقاوة لجميع العينات. كما تبين الصور (5,4,3,2) نتائج تراكيز النشاط الإشعاعي لكل من للراديوم($^{226}Ra$) واليورانيوم ($^{238}U$) والثوريوم ($^{232}Th$) والبوتاسيوم($^{40}K$) ومقارنتها مع المتوسط العالمي لها. وتم الإعتماد على تقرير اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بأثار الاشعاع الذري (UNSCEAR 2000) في قيم المتوسط العالمي.

أظهرت النتائج في الدراسة أرقام مقاربة لنتائج دراسات سابقة في مناطق قريبة من منطقة الدراسة ومناطق اخرى أجريت فيها دراسات مماثلة وكانت تلك المناطق تشهد نشاط تعديني مماثل.

**3- مؤشرات الخطر الإشعاعي:** تم حساب قيمة نشاط مكافئ الراديوم($Ra_{eq}$)، معدل الجرعة الممتصة(D)، الجرعة الفعالة السنوية المكافئة(AEDE)، وكل من مؤشرات مخاطر الإشعاعي الخارجي ($H_{ex}$) والداخلي ($H_{in}$) ويبين ذلك الآثار والمخاطر الإشعاعية للنويدات الطبيعية المقاسة والتي تعطي مؤشراً على تعرض الجمهور للإشعاع.

أظهرت القياسات التي تم حسابها لمعرفة الضرر الصحي للجمهور، كان معدل نشاط مكافئ الراديوم ($Ra_{eq}$) يساوي (140) (بيكرل/كغم) وهو تحت الحد المسموح به عالمياً وهو 370 (بيكرل/كغم)، ولمعدل الجرعة الممتصة (D) فقد كان (63.7) ($nGy.h^{-1}$) وهو أقل من الحد المسموح به عالمياً 55 ( $nGy.h^{-1}$) ، فيما يخص معدل الجرعة الفعالة المكافئة السنوية (AEDE) فقد كان ($77.9*10^{-3}$) mSv/y وهو تحت الحد المسموح به عالمياً 1 mSv/y. كما أظهرت الحسابات أن معدل المؤشر الخارجي ($377.04*10^{-3}$) وهو أقل من الحد المسموح به عالمياً (1)، أما معدل مؤشر الخطر الداخلي فقد بلغ ($617.81*10^{-3}$) وهو أقل من الحد المسموح به عالمياً.

| رقم العينة | إحداثيات مواقع العينات | | نوع العينة | تركيزات النظائر المشعة بوحدة (Bq/kg) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | N | E | | Ra-226 | U-238 | Th-232 | K-40 |
| S1 | 31.4028273 | 36.0871043 | تربة | 50.0±1.0 | 35.7±3.5 | 22.3±0.9 | 306.8±12.1 |
| S2 | 31.3886735 | 36.8316510 | تربة | 37.7±0.9 | 39.1±3.6 | 17.7±0.9 | 244.1±10.6 |
| S3 | 31.3708559 | 36.0735239 | تربة | 154.1±2.3 | 91.5±501 | 17.5±0.9 | 212.2±9.9 |
| S4 | 31.3475522 | 36.0749941 | تربة | 109.6±1.9 | 93.9±4.9 | 20.2±0.9 | 285.0±11.4 |
| S5 | 31.3503517 | 36.0628199 | تربة | 38.9±0.9 | 22.8±3.1 | 19.1±0.9 | 277.8±11.3 |
| S6 | 31.3360025 | 36.0733251 | تربة | 125.4±1.9 | 99.5±5.2 | 22.1±0.9 | 300.5±11.8 |
| S7 | 31.3100208 | 36.0499315 | تربة | 42.8±0.9 | 31.8±3.4 | 22.9±0.9 | 456.7±15.8 |
| S8 | 31.2706221 | 36.0486169 | تربة | 35.4±0.9 | 29.5±3.2 | 23.6±0.9 | 445.2±15.3 |
| S9 | 31.2984735 | 36.0338729 | تربة | 78.3±1.3 | 63.5±3.1 | 11.9±0.7 | 196.8±8.7 |
| S10 | 31.2426305 | 36.0293623 | تربة | 45.9±0.9 | 43.2±3.4 | 22.2±0.9 | 288.4±11.1 |
| S11 | 31.2174489 | 36.0046129 | تربة | 143.9±2.1 | 88.8±4.9 | 16.3±0.9 | 223.7±10.1 |
| S12 | 31.1937901 | 36.0350962 | تربة | 48.9±0.9 | 37.3±3.0 | 15.4±0.7 | 191.0±8.4 |
| S13 | 31.2284491 | 36.0325874 | تربة | 67.8±1.2 | 56.2±3.7 | 19.7±0.8 | 231.7±9.6 |
| S14 | 31.2369334 | 36.0325874 | تربة | 53.9±1.1 | 45.1±3.5 | 17.9±0.8 | 201.6±9.3 |
| S15 | 31.2483938 | 36.0584596 | تربة | 167.4±2.3 | 116.2±5.6 | 21.9±0.9 | 297.7±11.7 |
| S16 | 31.2809160 | 36.0564185 | تربة | 44.7±0.9 | 36.7±3.2 | 22.9±0.9 | 381.4±13.3 |
| S17 | 31.3241606 | 36.0743530 | تربة | 61.2±1.2 | 28.5±3.4 | 21.9±0.9 | 304.1±12.8 |
| S18 | 31.3316527 | 36.1108948 | تربة | 352.8±3.9 | 249.6±3.5 | 19.9±0.9 | 266.2±10.7 |
| S19 | 31.3471711 | 36.0779043 | تربة | 94.6±1.5 | 86.4±4.5 | 21.6±0.9 | 242.3±8.9 |
| S20 | 31.3937717 | 36.0898817 | تربة | 55.6±1.1 | 49.6±3.5 | 11.1±0.7 | 151.0±7.7 |
| S21 | 31.3895190 | 36.0981121 | تربة | 33.0±0.8 | 30.1±3.2 | 22.3±0.9 | 362.9±13.1 |
| S22 | 31.3913822 | 36.1186128 | تربة | 31.6±0.8 | 28.7±3.6 | 25.4±0.9 | 409.4±14.2 |
| S23 | 31.4053077 | 36.0988218 | تربة | 50.4±1.1 | 30.2±3.8 | 19.5±0.9 | 274.9±11.4 |
| S24 | 31.4093722 | 36.1036709 | تربة | 214.2±2.8 | 160.5±6.5 | 19.8±0.9 | 310.3±11.9 |
| أعلى قيمة للنشاط الاشعاعي: (Bq/kg) | | | | 352.8 | 249.5 | 23.6 | 456 |
| أقل قيمة للنشاط الاشعاعي: (Bq/kg) | | | | 31.6 | 22.8 | 11.1 | 151 |
| المعدل: (Bq/kg) | | | | 89.5 | 66.4 | 19.7 | 287.7 |
| المتوسط العالمي [5] | | | | 32 | 33 | 455 | 420 |

**جدول 1: أرقام العينات وإحداثياتها مع تراكيز النويدات المشعة بها (K-40 /Th-232/U-238 /Ra-226)**

| رقم العينة | نشاط مكافئ الراديوم ($Ra_{eq}$) (Bq/kg) | معدل الجرعة الممتصة (D) (nGy/h) | الجرعة الفعالة السنوية المكافئة (AEDE) $*10^{-3}$ | مؤشر خطر الاشعاع الخارجي ($H_{ex}$) $*10^{-3}$ | مؤشر خطر الاشعاع الداخلي ($H_{in}$) $*10^{-3}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| S1 | 105.5126 | 49.305 | 60.468 | 285.019 | 420.154 |
| S2 | 81.8067 | 38.3116 | 46.985 | 220.980 | 322.872 |
| S3 | 195.4644 | 86.5103 | 106.096 | 528.170 | 944.657 |
| S4 | 160.431 | 72.4266 | 88.824 | 433.460 | 729.676 |
| S5 | 87.6036 | 41.1999 | 50.528 | 236.635 | 341.770 |
| S6 | 180.1415 | 81.0975 | 99.458 | 486.721 | 825.640 |
| S7 | 110.7129 | 53.0735 | 65.089 | 299.041 | 414.716 |
| S8 | 103.4284 | 49.8826 | 61.176 | 279.353 | 375.028 |
| S9 | 110.4706 | 49.7743 | 61.043 | 298.482 | 510.104 |
| S10 | 99.8528 | 46.6969 | 57.269 | 269.727 | 393.781 |
| S11 | 185.1269 | 82.242 | 100.862 | 500.232 | 889.151 |
| S12 | 85.629 | 39.2881 | 48.183 | 231.331 | 363.493 |
| S13 | 113.8119 | 51.9551 | 63.718 | 307.475 | 490.719 |
| S14 | 95.0202 | 43.5339 | 53.390 | 256.700 | 402.376 |
| S15 | 221.6399 | 98.7787 | 121.142 | 598.880 | 1051.313 |
| S16 | 106.8148 | 50.6469 | 62.113 | 288.521 | 409.332 |
| S17 | 118.7047 | 55.2545 | 67.764 | 320.668 | 486.074 |
| S18 | 401.7544 | 175.266 | 214.946 | 1085.691 | 2039.204 |
| S19 | 144.1451 | 65.1123 | 79.854 | 389.448 | 645.123 |
| S20 | 83.1 | 37.5824 | 46.091 | 224.520 | 374.791 |
| S21 | 92.8323 | 44.4583 | 54.524 | 250.737 | 339.926 |
| S22 | 99.4304 | 47.9036 | 58.749 | 268.548 | 353.953 |
| S23 | 99.4523 | 46.2505 | 56.722 | 268.658 | 404.874 |
| S24 | 266.4071 | 117.9139 | 144.610 | 719.878 | 1298.797 |
| الاعلى | 401.75 | 37.5 | 214.946 | 1085.691 | 2039.204 |
| الاقل | 81.8 | 180.2 | 46.091 | 220.98 | 322.872 |
| المعدل | 140 | 63.7 | 77.90 | 377.04 | 617.81 |
| متوسط الحد العالمي المسموح | 370 | 55 | 1000 | 1000 | 1000 |

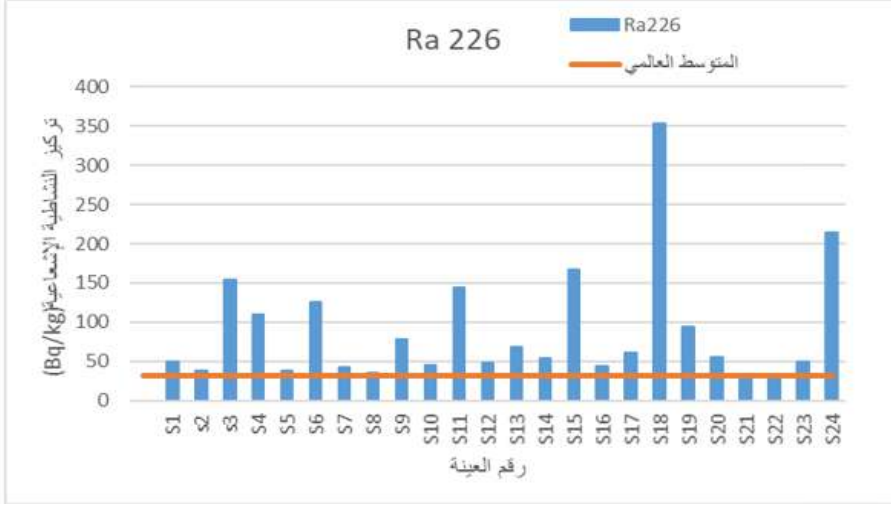
**جدول 2 : قيم مكافئ الراديوم($Ra_{eq}$)،معدل الجرعة الممتصة(D)،الجرعة الفعالة السنوية المكافئة(AEDE)،مؤشر خطر الاشعاع الخارجي(Hex) والداخلي(Hin)**

## الإستنتاجات

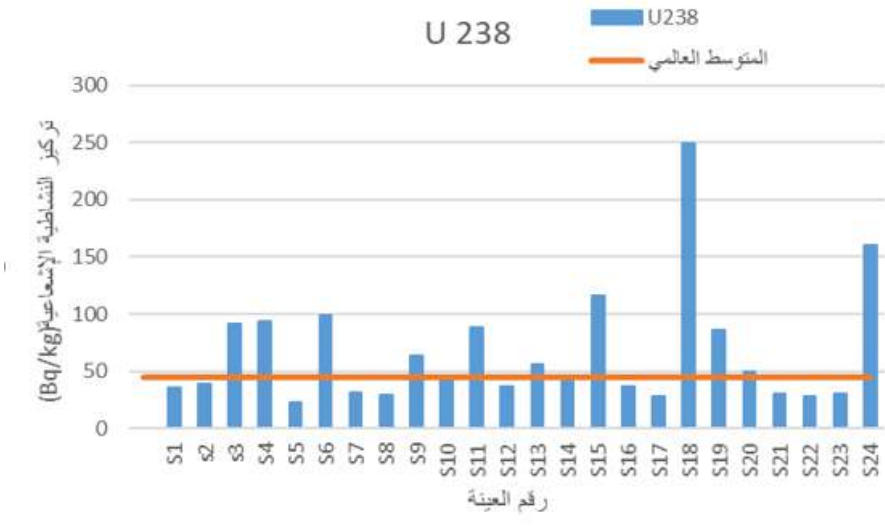
أظهرت نتائج القياس والحساب أن معدل تركيز النشاط الإشعاعي أقل من المتوسط العالمي وذلك للثوريوم ($^{232}Th$) والبوتاسيوم($^{40}K$)، أما للراديوم($^{226}Ra$) و اليورانيوم ($^{238}U$) فقد كان معدل تركيز النشاط الإشعاعي أعلى من المتوسط العالمي وذلك بسبب النشاط التعديني في المنطقة وتموضع لخامات اليورانيوم فيها وتواجد صناعي، وبحسب دراسات التي تمت في المناطق التي تشهد صناعات تعدينية متشابهة أن المناطق التي تجاور مناطق التعدين للفوسفات وتواجد لتراكيز لخامات اليورانيوم في المنطقة من شأنها أن تتسبب بارتفاع تركيز نشاط الراديوم واليورانيوم في تربة المنطقة.

جميع المؤشرات التي تم حسابها لمعرفة مدى الضرر الإشعاعي على السكان في المنطقة من قيمة نشاط مكافئ الراديوم ($Ra_{eq}$)، معدل الجرعة الممتصة(D)، الجرعة الفعالة السنوية المكافئة(AEDE)، وكل من مؤشرات مخاطر الاشعاعي الخارجي ($H_{ex}$) والداخلي ($H_{in}$) كان المعدل لها تحت الحد المسموح به عالمياً، مما يدل على عدم وجود مخاطر صحية إشعاعية على السكان في المناطق المدروسة.

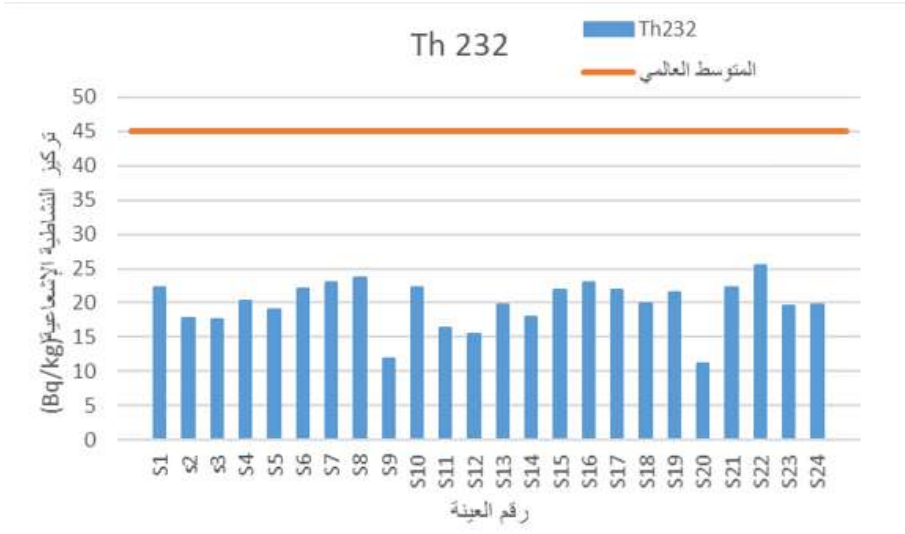
تعتبر هذه الدراسة كدراسة أساسية يمكن الإعتماد عليها مستقبلاً لتقدير الضرر الناتج من النشاطات التي قد تتم في المنطقة وخاصة أن المنطقة تحتوي على تراكيز لخامات اليورانيوم والفوسفات مما قد يكون هناك مواقع لمناجم لإستخراج خامات اليورانيوم وتوسع لمناجم إستخراج الفوسفات في المناطق المجاورة.



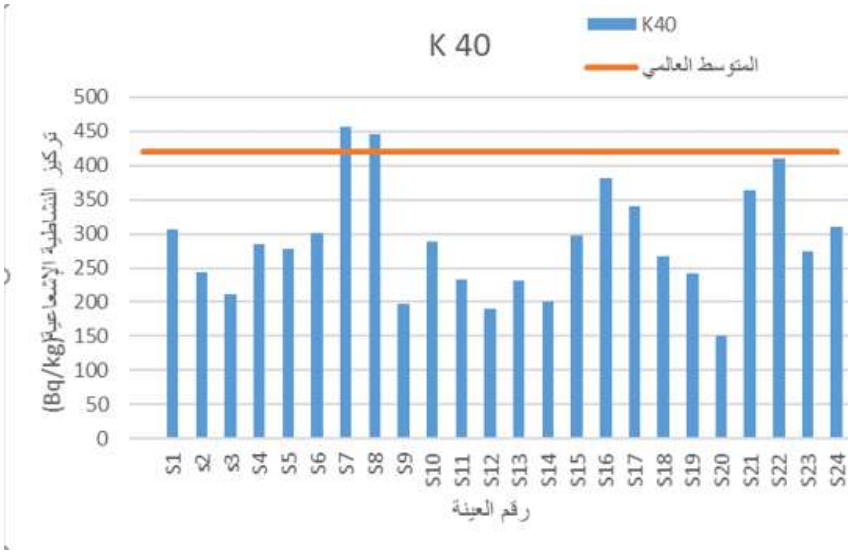

**صورة 2: رسم توضيحي يبين تراكيز النشاط الإشعاعي لنظير الراديوم Ra226 والمتوسط العالمي**




**صورة 3: رسم توضيحي يبين تراكيز النشاط الإشعاعي لنظير اليورانيوم U238 والمتوسط العالمي**




**صورة 4: رسم توضيحي يبين تراكيز النشاط الإشعاعي لنظير الثوريوم Th232 والمتوسط العالمي**




**صورة 5: رسم توضيحي يبين تراكيز النشاط الإشعاعي لنظير البوتاسيوم K40 والمتوسط العالمي**

**الليث الدرابيع**
**هيئة الطاقة الذرية الأردنية**

**أحمد عبد الحكيم المومني**
**شركة تعدين اليورانيوم الأردنية**

## References

1. علي خطاب حسين (2018)، معامل انتقال العناصر المشعة (راديوم 226، بوتاسيوم 40، ثوريوم 232) من التربة الى بعض الخضروات المحلية في مناطق مختلفة من محافظة نينوى. مجلة علوم الرافدين، المجلد 27، العدد 1
2. Augustine Kolapo Ademola, Adekunle Kazeem Bello, Adeniyi Caleb Adejumobi (2014.) Determination of natural radioactivity and hazard in soil samples in and around gold mining area in Itagunmodi, south-western, Nigeria. Journal of Radiation Research and Applied Sciences Volume 7, Issue 3, Pages 249-255.
3. ICRP (1994). Dose coefficients for intakes of radionuclides by workers .ICRP publication 68. Annals of the ICRP 24(4), (Oxford: Pergamon press).
4. M. U. Khandaker, Kh. Asaduzzaman, S. M. Nawi, A. R. Usman, Y. M. Amin, E. Daar, D. A. Bradley, H. Ahmed, A. A. Okhunov. (2015) Assessment of Radiation and Heavy Metals Risk due to the Dietary Intake of Marine Fishes (Rastrelliger kanagurta) from the Straits of Malacca. PLOS ONE 1-16.
5. UNSCEAR, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2000. Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly with Annex B. United Nations, New York.
6. Ali A. Ridha, Sanaa Rasool Salim, Dunia Fadhil Talib, (2016) Evaluation of Natural Radioactivity of Soil Samples from Different

Regions in Baghdad Governorate. JOURNAL OF COLLEGE OF EDUCATION. No. 16.

7. Y. Raghu, R. Ravisankar, A. Chandrasekaran , P. Vijayagopal, B. Venkatraman , (2017) Assessment of natural radioactivity and radiological hazards in building materials used in the Tiruvannamalai District, Tamilnadu, India, using a statistical approach. Journal of Taibah University for Science, Volume 11, Issue 4, Pages 523-533.
8. Y. A. Almismary, M.A. Alabede, and, I.F. Elhery.(2016) Assessment of natural radioactivity and its associated radiological hazards in local and imported Ceramic in Benghazi, Libya. Journal of Geochemical Exploration.
9. Afaneh, F., Al-Momani, M., Al-Jundi, J., Aldrabee, A. and Juwhari, H. (2016), Radioactivity concentrations and dose assessment for agricultural soil samples around the Jordanian petroleum refinery in Zarqa, Jordan. International Journal of Low RadiationVol. 10, No. 3
10. M.S. Hamideen , J.Sharaf (2012) Natural radioactivity investigations in soil samples obtained from phosphate hills in the Russaifa region ,Jordan. Radiation Physics and Chemistry. Volume 81, Issue 10, Pages 1559-1562
11. N. Ahmad, Matiullah and A. J. A. H. Khatibeh (1997). INDOOR RADON LEVELS AND NATURAL RADIOACTIVITY IN JORDANIAN SOIL. Radiation Protection Dosimetry, Volume 71, Issue 3, Pages 231–233,
12. M. Zubair , Shafiqullah (2020). Measurement of natural radioactivity in several sandy-loamy soil samples from Sijua, Dhanbad, India. Heliyon, Vol. 6, Issue 3.

# تقييم جودة وصلات اللحام في المصادر المشعة المختومة الفحص الغير إتلافي بإستخدام تقنية


## Abstract

The non-destructive examination of materials is essential in the life cycle of any nuclear facility. This research presents a new approach to assessing the quality of welding joints, with a specific focus on studying the capsules of the $^{192}$Ir radioactive source. The results obtained from the study of a stainless- steel sample indicatethat the distribution of the electro-physical signal on the base material differs from the distribution on the weld joint, suggesting the sensitivity of the method used in distinguishing between the weld joint and the base material of the sample. It also shows that the distribution of the electro-physical signal for the sample with low welding quality is higher compared to the sample with relatively good welding. According to the results of the silver-welded copper sample, an increase in stress on the weld joint led to an increase in the distribution of the electro-physical signal. Finally, it was observed that the distribution of the electro-physical signal in high-quality welding samples is somewhat consistent, despite the different types of welding materials. In conclusion, the method used is effective and opens up new prospects for its use in assessing the quality of welding joints in a variety of peaceful applications in the nuclear energy sector.

## مـــقـــــدمة

يُعَدُّ الفحص الغير إتلافي سمةً أساسيةً في دورة حياة المنشآت النووية، ويعتبر أداةً فعالة لضمان مراقبة الجودة في جميع مراحل عملية التصنيع، حيث يمكّن من الكشف المبكر عن أي عيوب محتملة وضمان جودة المنتج النهائي دون إلحاق أي ضرر في المادة الخاضعة للفحص. وفي هذا السياق، تشجع الوكالة الدولية للطاقة الذرية بإستمرار على إستخدام تقنيات الفحص الغير إتلافي للإلتزام بأعلى معايير الجودة ولرفع مستوى السلامة والموثوقية، وذلك بهدف ضمان تشغيل آمن للمنشآت النووية وغيرها من المنشآت الصناعية. هناك العديد من طرق وتقنيات الفحص الغير اتلافي المستخدمة وأشهرها وأكثرها شيوعاً هي: التصوير الإشعاعي الصناعي والموجات فوق الصوتية والفحص بسوائل الإختراق والفحص بالجُسيمات المغناطيسية وبالتيارات الدوامة. ومن طرق الفحص الغير إتلافي تعتبر تقنية قياس الجهد التلامسي، التي يُعْمَل على تطويرها بإستمرار في مختبر المواد في هيئة الطاقة الذرية الأردنية، إحدى تقنيات الفحص الغير إتلافي التلامسي غير النشط. وفي هذا السياق يشير مصطلح "تلامسي" إلى ضرورة اتصال أداة الفحص مع المادة المراد إختبارها، أما "غير النشط" فيشير إلى أن طبيعة الفحص لا تتطلب إجراءات فعالة أو تدخلات مباشرة كما في حالة التصوير الإشعاعي أو الموجات فوق الصوتية.

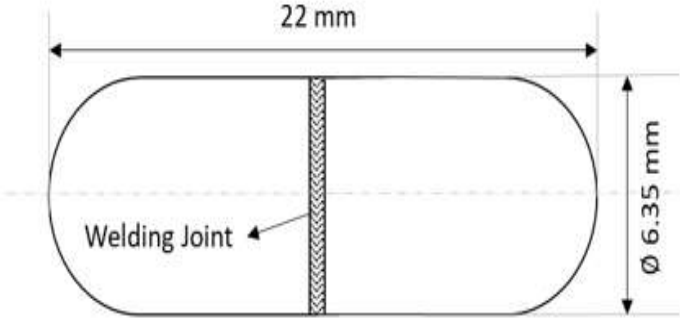
تُعْنى تقنية "الجهد التلامسي" بقياس ورصد الإشارات الكهروفيزيائية من على أسطح المواد المعدنية. الإشارات الكهروفيزيائية المقاسة بإستخدام تقنية " قياس الجهد التلامسي" هي نتيجة الإتصال المعدني بين المستشعر وبين المادة المراد فحصها؛ حينها تنتقل الإلكترونات وفقاً لتأثير فرق الجهد، والذي يمكن أن يتأثر بعوامل مختلفة مثل: موجات التشوه السطحي، ودالة الشغل الإلكتروني، وضغوط الإتصال وموجات الإجهاد الميكانيكية، والموصلية الكهربائية وتكوين نقاط الإتصال، وديناميكا الخشونة والتموج. إحدى أبرز مزايا هذه التقنية هي صغر الأبعاد الهندسية للمستشعرات، وقابليتها للتحكم والعمل عن بُعد، بالإضافة إلى مقاومتها لظروف الحرارة العالية، مما

يجعلها مناسبة لتحليل سلوك المواد في بيئات قاسية، وقد ثبت تجريبياً عدم تأثرها بالإشعاع. هذا وقد شملت الأعمال السابقة في مجال تقنية "قياس الجهد التلامسي" تقييماً شاملاً لسلامة وصلات اللحام في مولدات البخار لمفاعلات الماء–ماء النووية (VVER-1000) . بالإضافة إلى ذلك، أُجْرِيت العديد من التحقيقات التجريبية باستخدام تقنية حيود النيوترونات الحرارية في المفاعل النبض السريع (IBR-2)، وكشفت النتائج فعالية التقنية في إكتشاف تكون طور ألفا– مارتينسيت (α-martensite ) في عينات الفولاذ المقاوم للصدأ، كما أثبتت التجارب فعالية التقنية في التنبؤ والكشف المبكر عن مراحل فشل المادة على نحو دقيق. مؤخراً؛ أُسْتُخْدِمَت تقنية "قياس الجهد التلامسي" لدراسة آلية تشكل الإجهادات المتبقية (Stresses Residual) وتطورها في المنطقة المتأثرة حرارياً (Heat Affected Zone) كما إستخدمت لتحديد منطقة الإنهيار بدقة تحت تأثير قوة شد أحادي المحور بالإضافة إلى التنبؤ بمنطقة الفشل ولحظة الإنهيار في قضيب حديدي باتباع إستراتيجية تجريبية طويلة المدى. بالإضافة إلى ذلك، إستخدمت تقنية " قياس الجهد التلامسي" لرصد الشقوق في طبقة الألومينا الدقيقة المتكونة على سطح الألمنيوم بفعل تأثير أشعة غاما والحرارة، علاوة على فعاليتها في تحليل آلية نمو طبقة الألومينا في وقت فعلي في أثناء التجربة. يعتبر مصدر Ir192 أحد النويدات المشعة الرئيسية التي تُنْتَج في المفاعلات النووية بإستخدام طريقة التنشيط النيوتروني. ينتج المفاعل النووي الأردني للبحوث والتدريب مصدر Ir192 على شكل أقراص مستديرة صلبة بأبعاد هندسية مختلفة، وفي داخل الخلايا الساخنة للمفاعل تُثَبَّت الأقراص داخل كبسولات التجميع المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ لتُخْتَم بعد ذلك عن طريق اللحام. تشكل المصادر المشعة المختومة من Ir192 جزءاً هاماً في عمليات التصوير بإستخدام أشعة غاما المستخدمة في الإختبارات الغير إتلافية للوصلات الملحومة والمسبوكات والخرسانة المسلحة. تصنف هذه المصادر على أنها "مواد مشعة منخفضة التشتت"، ومن أجل إستخدامها تُقَدَّم ضمانات حول المادة المشعة، وتصميم الكبسولة، ونتائج الإختبارات للحصول على

موافقة الهيئة الوطنية المختصة. وفقاً للمواصفة رقم (2919) يجب أن تخضع الكبسولة لعدد من فحوصات الأداء مثل الحرارة والضغط وإختبار الصدمة، وبعد ذلك يكمن المعيار المحدد لسلامة وصلة اللحام في نجاحها في إختبارات التسريب مثل إختبار الفقاعات المائية وإختبار الفقاعات بإستخدام النيتروجين السائل. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقديم طريقة تقييم مبتكرة على أساس تقنية "قياس الجهد التلامسي" التي تم تطويرها مؤخراً في مختبر المواد وتهدف بشكل خاص إلى تقييم سلامة وصلات اللحام لكبسولات مصدر Ir192 المشع.

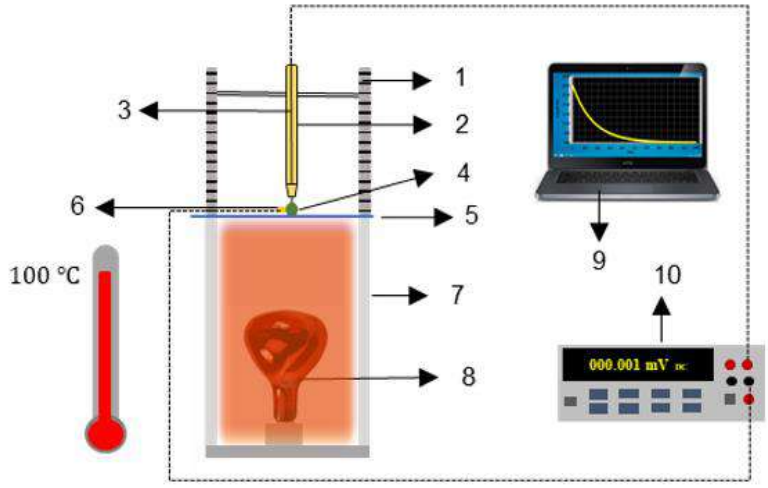
## المواد ومنهجية البحث

في هذا البحث، حضرتْ كبسولتين من الفولاذ المقاوم للصدأ (Steel 316L Stainless) وفقاً للأبعاد الهندسية الموضحة في الشكل 1، ثم لُحمت العينات بالأرجون، وأثناء ذلك تم تشكيل عيوب بشكل متعمد في إحدى العينات (لحام منخفض الجودة) لأغراض الدراسة، في حين لحمت العينة الأخرى بشكل أفضل (لحام عالي الجودة نسبياً).




**الشكل 1: الأبعاد الهندسية للعينات.**

بصفة عامة، تم تنفيذ الطريقة المستخدمة في هذا البحث بإستخدام مستشعرين من النيكل والفولاذ (صُلب عالي الكربون)، تم تثبيت أحدهما على طرف العينة، في حين تم تثبيت الآخر على وصلة اللحام. تم توصيل كلا المستشعرين بمقياس جهد بدقة (6½) طراز (Keysight 34401 a). سجلت الإشارات الكهربائية المتولدة بمعدل 1 هيرتز بإستخدام نظام معلومات قياس من خلال برمجية (LabVIEW).

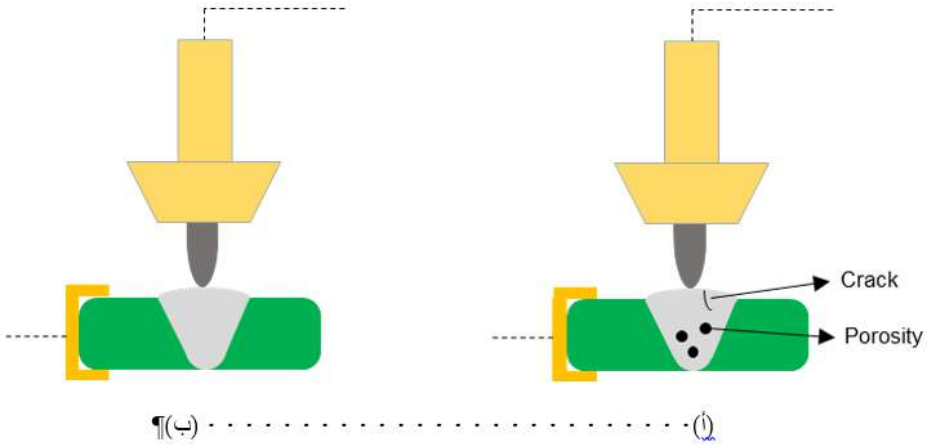



**الشكل 2: الهيكل العام للتجربة العملية من أجل تقييم جودة وصلات اللحام. (1): قضبان داعمة. (2): حافظة المستشعر الرئيسي. (3): المستشعر الرئيسي. (4): العينة المختبرة. (5): لوح من الفولاذ المقاوم للصدأ. (6): المستشعر الثانوي. (7): صندوق بولي إيثيلين عالي الكثافة. (8): مصباح أشعة تحت الحمراء. (9): جهاز حاسوب. (10): مقياس جهد عالي الحساسية.**

تم تنفيذ الطريقة التفصيلية المستخدمة لتقييم جودة وصلات اللحام بشكل منهجي (كما هو موضح في الشكل 2). شملت عملية تجهيز العينة الأولى، التنظيف بإستخدام تركيز عالٍ من الإيثانول للتخلص من الشوائب. بعد ذلك، تم تثبيت العينة المختارة للفحص بإستخدام مستشعر ثابت ثانوي (رقم 6)، ووضعها على سطح لوح فولاذي مقاوم للصدأ (رقم 5)، ومحاذاته بدقة مع المستشعر الثابت الرئيسي (رقم 3) في موقع معين على وصلة اللحام. وتم توصيل المستشعرين ببعضهما عبر سلك نحاس مقاوم للحرارة، وبالتالي تم تشكيل إتصال مع مقياس الجهد عالي الحساسية (رقم 10)، المتصل بجهاز الحاسوب (رقم9) قبل بدء الإختبار، تم تسجيل الخلفية (Background) في قياس سعة الإشارات الكهروفيزيائية (ADS) للوصول الى حالة الإتزان الحراري. بدأت عملية التسخين بتشغيل مصباح الأشعة تحت الحمراء (رقم 8) مع ضبطه للوصول إلى 100 درجة مئوية، بينما أجريت التجارب جميعها في ظروف المختبر القياسية حوالي 26 درجة مئوية. الهدف الرئيسي من التسخين هو تحفيز العيوب الهيكلية داخل وصلة اللحام، وذلك لتعزيز إمكانية إكتشافها بواسطة المستشعر. سجلت قراءات الإشارات الكهروفيزيائية طوال فترة الإستقرار الحراري عند 100 درجة مئوية. تم عرض وتحليل البيانات التي تم الحصول عليها من خلال المدرجات التكرارية (Histograms) بإستخدام برنامج Mathcad-15. تم ضبط عرض الأعمدة (Bins) في المدرج التكراري ليساوي 0.1 مايكرو فولت، والذي يعادل عشر أضعاف للأصغر قيمة قابلة للقياس من قبل مقياس الجهد عالي الحساسية، والتي تبلغ 0.01 مايكرو فولت.

يوضح الشكل 3، ألية تفاعل المستشعر الرئيسي مع وصلة اللحام. من المهم أن نلاحظ أن وجود أي عيوب أو شذوذ هيكلي داخل وصلة اللحام سيؤثر على إقتران

الشغل للإلكترونات السطحية بفعل موجات الإجهاد الميكانيكية الناتجة عند التسخين، مما يؤدي إلى تغيير في قيم الإشارات الكهروفيزيائية.




**الشكل 3: ألية اتصال المستشعرات مع وصلة اللحام. (أ): لحام مَعِيب يحتوي على شقوق ومسامات. (ب): لحام مثالي.**

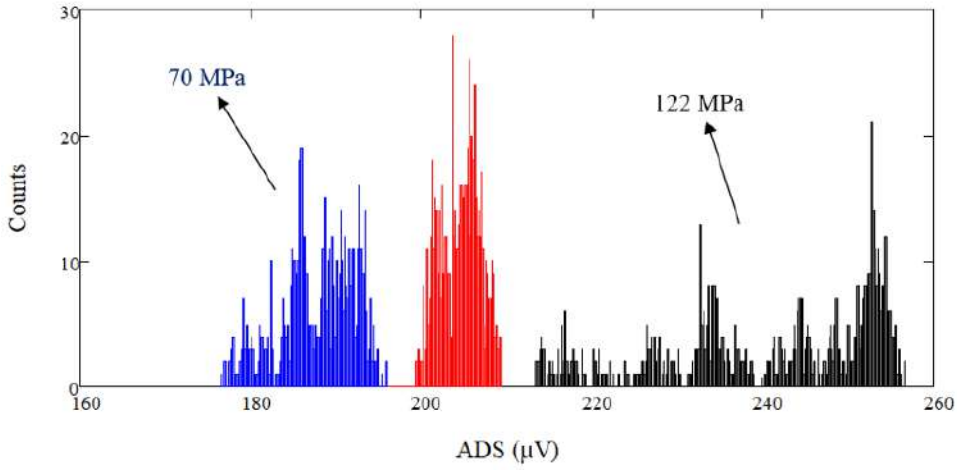
في بداية الأمر، وبهدف التحقق من صحة الطريقة المستخدمة في هذا العمل، تم فحص نوعين من العينات الملحومة بواسطة مواد مختلفة. العينة الأولى هي من النحاس النقي مسطحة الشكل بأبعاد 86.5 × 12.70 × 2.95 مم$^3$، تم قطع العينة من المنتصف ولحمت بإستخدام الفضة، بينما العينة الثانية هي من الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ بأبعاد هندسية 149.50 ×2.72×4 مم3، تم قصها من المنتصف ولحمت بواسطة الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ (ER308).

ولأغراض المقارنة النهائية، تم فحص عينة من كبسولات (192Ir) التي يتم تصنيعها بواسطة المفاعل النووي الأردني للبحوث والتدريب، المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ ومختومة بإستخدام لحام الغاز الخامل التنغستن (TIG)، وذلك وفقاً لتصنيف المصدر (C 43515) تماشياً والمواصفة رقم ISO 2919:2012. تجدر الإشارة هنا، إلى أن عينات كبسولات الفولاذ المقاوم للصدأ المستخدمة في هذه الدراسة خضعت لإجراءات اختبار الأداء وفقاً للإرشادات الموضحة في المواصفة رقم ISO 2919:2012. بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء إختبار التحقق من عدم التسرب بإستخدام طريقة الفحص بالنيتروجين السائل وفقاً للمواصفة ISO 9978:2020، الفقرة 6.2.4. أظهرت نتائج هذه الاختبارات أن العينة ذات اللحام عالي الجودة اجتازت بنجاح إختبار التسرب، بينما فشلت العينة ذات اللحام منخفض الجودة في تحقيق المعيار المطلوب.

## النتائج والتحليل

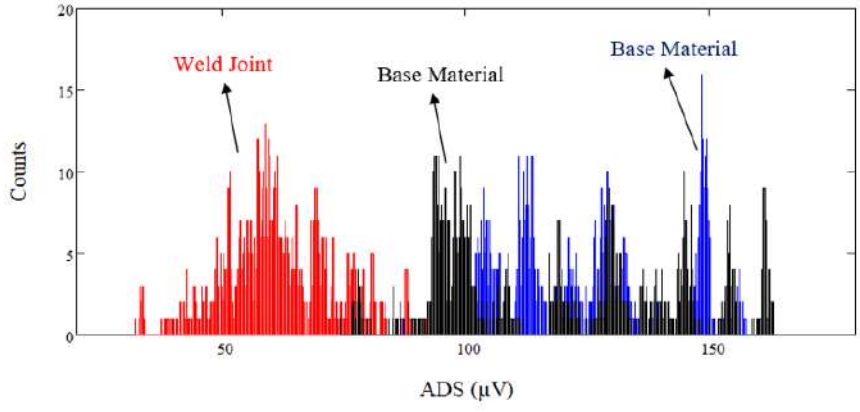
فحصت عينة النحاس الملحومة من خلال ثلاث حالات، وذلك لإثبات كفاءة الطريقة المستخدمة في تقييم جودة وصلة اللحام. في الحالة الأولى، تم فحص اللحام دون تطبيق أي إجهاد خارجي. في الحالة الثانية، تم تعريض العينة لإجهاد شد بقوة 70 ميجا باسكال بإستخدام آلة إختبار الشد أحادية المحور بسرعة إختبار بلغت 1 مم/دقيقة، مما أدى إلى تشوه بمقدار 1 مم. في الحالة الثالثة، خضعت العينة لإجهاد شد بقوة 122 ميجا باسكال، مما أدى إلى تشوه بمقدار 2 مم.

أظهرت النتائج تغييرات في توزيع الإشارة الكهروفيزيائية بعد كل حالة من حالات الفحص الثلاث. كما هو موضح في الشكل 4، يمثل اللون الأحمر نتائج الحالة الأولى، حيث بلغ نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية 15.2 مايكرو فولت. أما اللون الأزرق فيشير إلى نتائج الحالة الثانية، مُظهرًا أن توزيع الإشارة الكهروفيزيائية بلغ 19.2 مايكرو فولت. ويمثل اللون الأسود نتائج الحالة الثالثة، حيث بلغ نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية 43.1 مايكرو فولت. يمكن إستنتاج أن زيادة التشوه، أدى إلى ظهور عيوب وتشوهات في وصلة اللحام، وإنعكس ذلك على قيم نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية. ومن الواضح أيضا أنه مع زيادة التشوه، إزدادت قيم نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية.




**الشكل 4: توزيع الإشارة الكهروفيزيائية للحالات الثلاث لعينة النحاس الملحومة بالفضة**

فحصت عينة الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ في ثلاث حالات مختلفة على النحو التالي: الحالة الأولى، كان التركيز على دراسة وصلة اللحام. في الحالة الثانية، تم فحص المادة الأساسية للعينة، على بُعد 5.4 ملم إلى اليسار من نقطة الفحص في الحالة الأولى. في الحالة الثالثة، تم فحص منطقة أخرى على المادة الأساسية للعينة، على بُعد 4.3 ملم إلى اليمين من نقطة الفحص في الحالة الأولى. يبين الشكل 5 النتائج التي تم الحصول عليها، حيث يمثل اللون الأحمر نتائج الحالة الأولى، حيث بلغ نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية 52.38 مايكرو فولت. أما اللون الأزرق فيشير إلى الحالة الثانية، حيث بلغ نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية 115.98 مايكرو فولت. أما اللون الأسود فيشير إلى نتائج الحالة الثالثة، حيث بلغ نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية 96.53 مايكرو فولت. إذن يمكن الإستنتاج أن نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية في الحالة الأولى، يختلف عن نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية في الحالتين الثانية والثالثة، وأظهرت النتائج أن توزيع الإشارة الكهروفيزيائية في الحالتين الثانية والثالثة تظهر تداخلًا وتقارباً واضحاً.

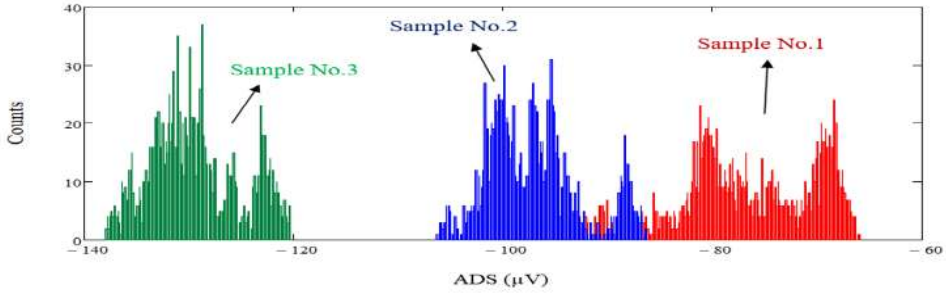



**الشكل 5: توزيع الإشارة الكهروفيزيائية للحالات الثلاث لعينة الفولاذ الأوستنيتي المقاوم للصدأ.**

بناء على الفحوصات التجريبية السابقة التي هدفت إلى التحقق من صحة الطريقة المستخدمة في تقييم جودة وصلة اللحام، تمت دراسة ثلاث كبسولات مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ المخصصة لإيواء النظير المشع 192Ir.

ومن المهم التذكير أن العينة رقم 1 (ذات اللحام منخفض الجودة) لم تستوفِ معايير إجتياز إختبار التسريب، بينما نجحت العينة رقم 2 (ذات اللحام عالي الجودة) في إجتياز إختبار التسريب بنجاح. أما العينة رقم 3 فقد تم الحصول عليها من قسم إنتاج النظائر المشعة في المفاعل النووي الأردني للبحوث والتدريب وذلك من أجل المقارنة، علماً بأن اللحام في العينة رقم 3 تم بإستخدام غاز التنغستن الخامل.

تظهر نتائج تقييم وصلات اللحام لتلك العينات في الشكل 6، الذي يشير إلى أن نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية للعينة رقم 1 (اللون الأحمر) يساوي 27.20 مايكرو فولت، وللعينة رقم 2 (اللون الأزرق) 19.84 مايكرو فولت، وللعينة رقم 3 (اللون الأخضر الداكن) 17.4 مايكرو فولت. علاوة على ذلك، يظهر من الشكل 6 أن المدرج التكراري للعينة رقم 2 ورقم 3 متطابقين الى حد ما، ويتبين أن المدرج التكراري للعينة رقم 1 مختلف. ومن الملاحظ أيضًا أن قيم نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية لكل من العينة رقم 2 و3 متقاربة.




**الشكل 6: توزيع الإشارة الكهروفيزيائية لكبسولات 192Ir المصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ.**

## الإستنتاجات

تم إستخدام تقنية فحص قياس الجهد التلامسي الغير إتلافي بإستخدام منهجية جديدة لتقييم جودة وصلات اللحام، مع التركيز بشكل خاص على ضمان سلامة كبسولات مصدر الإشعاع Ir192 المختومة. أظهرت دراسة عينة الفولاذ المقاوم للصدأ الملحومة تقارباً وتداخلاً في توزيع الإشارة الكهروفيزيائية عند الفحص على المادة الأساسية للعينة، وإختلافا في توزيع الإشارة الكهروفيزيائية على وصلة اللحام. وهذا يؤكد حساسية الطريقة المستخدمة في التمييز بين مادة اللحام والمادة الأساسية للعينة.

علاوة على ذلك، تم إستنتاج أن توزيع الإشارة الكهروفيزيائية لوصلة اللحام في العينة 1، والتي تحتوي على عيوب هيكلية وتشوهات، هو الأعلى مقارنة بالعينات 2 والعينة 3. ويتماشى ذلك مع نتائج دراسة عينة النحاس الملحومة بالفضة، حيث تبين أن زيادة الإجهاد والتشوه المطبقين على وصلة اللحام يتناسب مع زيادة في نطاق توزيع الإشارة الكهروفيزيائية. إضافة إلى ذلك، تبين أن المدرجات التكرارية لكل من العينة 2 والعينة 3 متطابقة الى حد ما، على الرغم من اختلاف نوع مواد اللحام في كلتا العينتين. في الختام، تُظهر الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة فعاليتها في تقييم جودة وصلات اللحام، حيث تسهم بشكل مباشر في تقييم جودة كبسولات Ir192 المنتجة من قبل المفاعل النووي الأردني للبحوث والتدريب، وتفتح آفاقاً لإستخدامها لضمان سلامة وصلات اللحام في الاستخدامات السلمية للطاقة الذرية.

**أيمن أبو غزال، روند العكش، حمزة عبد الرحمن**

**هيئة الطاقة الذرية الأردنية، عمان، المملكة الأردنية الهاشمية**

**غزل النداف، محمد سعيفان**

**قسم الهندسة النووية، جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية، الرمثا، المملكة الأردنية الهاشمية.**

**ريم الخطيب، سنا الحمارنة، زينب الجميلي**

**قسم الفيزياء، الجامعة الهاشمية، الزرقاء، المملكة الأردنية الهاشمية.**

## References

[1] International Atomic Energy Agency, Safety of Research Reactors, IAEA Safety Standards Series No. SSR-3, IAEA, Vienna (2016)

[2] Abu Ghazal, A. A. (2018). Developing a system and instruments for non-destructive assessment of nuclear power equipment (Doctoral dissertation). National Research Nuclear University MEPhI, Moscow. Available at: https://search.rsl.ru/ru/record/01009897963?ysclid=lfldcqrk1y142860773

[3] Loeb, L.B. (1958). The contact potential difference or Volta potential. In: Static Electrification. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-88243-2_3

[4] Ekaterina A. Kozlova, Valentin N. Parmon, Chapter 10 - Semiconductor Photocatalysts Based on Nanostructured Cd1−xZnxS Solid Solutions in the Reaction of Hydrogen Evolution From Aqueous Solutions of Inorganic Electron Donors Under Visible Light, Editor(s): Vladislav A. Sadykov, In Advanced Nanomaterials, Advanced Nanomaterials for Catalysis and Energy, Elsevier, 2019, Pages 357-391, ISBN 9780128148075, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814807-5.00010-3.

[5] A.A. Abu Ghazal, P.S. Dzhumaev, A.V. Osintsev, V.I. Polsky, V.I. Surin. Experimental investigation of the failure of steel AISI 316 by the methods of structural analyses. Lett.
Mater., 2019, 9(1) 33-38. https://doi.org/10.22226/2410-3535-2019-1-33-38

[6] Beketov, V., Surin, V., Dembitsky, A., Ghazal, A. A., & Alwaheba, A. (2018). Control Quality of Welded Joints by Scanning Contact Potentiometry Method. KnE Engineering, 3(3), 219-229. https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1621

[7] Ghazal, A. A., Bokuchava, G., Papushkin, I., Surin, V., & Shef, E. (2018). The Application of Scanning Contact Potentiometry Method and Diffraction of Thermal Neutrons at Physico-Mechanical Tests of Materials. KnE Engineering, 3(3), 109-126. https://doi.org/10.18502/keg.v3i3.1611

[8] Ayman Abu Ghazal et al (2021). Study of the Contact Thermal Compression Behavior of Copper Using Scanning Contact Potentiometry Method and Finite Element Analysis. Walailak Journal of Science and Technology (WJST), 18(16), Article 22795 (14 pages). https://doi.org/10.48048/wjst.2021.22795.

[9] Ayman Abu Ghazal et al (2021). Experimental prediction of lead failure under tensile load using scanning contact potentiometry technique. Lett. Mater., 2021, 11(3) 249-253 https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-3-249-253.

[10] Ayman Abu Ghazal et al (2023). A qualitative Assessment of the influence of gamma radiation and heating on aluminum using non-destructive examination, Radiation Physics and Chemistry, Volume 213, 111210, ISSN 0969-806X, https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111210.

[11] International Atomic Energy Agency: Regulations for the safe transport of radioactive material" Safety requirements no. SSR no.6:2012, Vienna

[12] Olteanu, C. M., Nistor, V., & Valeca, S. C. (2016). Aspects related to the testing of sealed radioactive sources. In Paraschiv, Irina Maria (Ed.). Proceedings of NUCLEAR 2016 the 9th annual international conference on sustainable development through nuclear research and education Part 3/3, (p. 207). Romania: Institute for Nuclear Research - Pitesti.

# دراسة المياه الجوفية العميقة لطبقة الكريتاسي الأعلى في البادية السورية بإستخدام تقنية النظائر البيئية والهيدروكيمياء


## Abstract

Chemical and environmental isotopes have been used for studying the Upper Cretaceous aquifer systems in the Syrian Desert. The results indicate that the salinity of groundwater (0.18 to 7 g/l) reveals the dissolution of evaporate rocks is the main factor of high salinity especially in the Sabkhet Almooh depression. Groundwater from the Upper Cretaceous Aquifer (UCA) is classified into two main water types: Ca-Mg-$SO_4$/Cl and Na-Cl along the flow path. The salinity and its space distribution are basically related to the pattern of groundwater movement and the tectonic conditions in the UCA. The $\delta^2$H and $\delta^{18}$O values range from −54.2‰ to −31.6‰ and from −8.8‰ to −5.10‰, respectively. The isotopically depleted groundwater occurs in the deeper part ravel may be the stratification of groundwater in the deep aquifer. Deep groundwater shows a wide range of $^{14}$C ages due to the complex conditions of mixing without isolation from modern groundwater in several places. The corrected ages of groundwater are less than 10 thousand years in Al-qaryaten and Palmyra Mt. However, the corrected age of groundwater in the remaining area range between 10 to 25 thousand years indicate late Pleistocene recharge period.

## مـــقـــــدمة

مشروعية البحث ودراسة المياه الجوفية العميقة كأحد المصادر المائية البديلة في سورية لم يعد خياراً، بل ضرورة ملحة فرضها العجز الحاصل في الموارد المائية المتاحة في معظم الأحواض السورية نتيجة الإجهادات المائية الكبيرة على الحوامل المائية العليا، والمرتبطة بالتغيرات المناخية والنمو السكاني المضطرد والإحتياجات المتزايدة للمياه. منذ البداية، ولتشكيل فهم مشترك حول تعريف المياه الجوفية العميقة في سورية والتي نقصد بها مياه الحامل الثاني والمتواجدة في الصخور الكربوناتية المشققة والمكرستة من عمر الكريتاسي الأعلى ( سينومان –تورونيان )، والمميزة بالإمتداد الإقليمي، والمتواجدة تحت ضواغط هيدروليكية عالية، ولها إرتباط هيدروليكي مع الطبقات الجوفية الأعلى. يعتبر حوض سبخة الموح من أكثر المناطق جفافاً في الصحراء السورية بسبب قلة هطول الأمطار (أقل من 150 مم / سنة) ومعدلات التبخر العالية (2000–3000 مم/سنة)، إضافة إلى الإستخدام المكثف لموارد المياه الجوفية. يركز العمل الحالي على الطبقة المائية العميقة للكريتاسي التي تشكل مصدر المياه الرئيسي في المنطقة، حيث أدى النمو السريع في صناعة تعدين الفوسفات وتوسيع الزراعة المروية إلى زيادة الإجهاد على موارد المياه الجوفية المحدودة في منطقة الدراسة. بضوء الأهمية الإستراتيجية لهذه الموارد وسلوكها الهيدروليكي المعقد فيمكن للطرق الجيوكيميائية والنظيرية سد العديد من الفجوات المعرفية وتقديم رؤى حول آليات تشكل الملوحة، وتحديد مصادر التغذية ووقت الإقامة والظروف المناخية القديمة وإستدامة إستغلال المياه. تم إجراء العديد من الدراسات الكيميائية والنظيرية في العديد من الأحواض المائية السورية لتقييم إمكانات موارد المياه الجوفية للكريتاسي الأعلى. أشارت النتائج إلى أن هذه المياه تتميز بقيم مستنفذه للنظائر المستقرة تتوافق مع قيم منخفضة للكربون–14، مما يثبت أن هذه المياه غير متجدده وتعكس تغذية قديمة. يشير النموذج الباليومناخي لمنطقة الدراسة إلى ان التغذية الرئيسة للخزانات الجوفية العميقة قد تمت قبل 10إلى 20 ألف سنة قبل الآن، حيث كان متوسط درجة الحرارة السنوية أقل من تلك الحالية بحوالي 6 درجات مئوية. هذه النتائج مشابهة إلى ما تم التوصل اليه في الطبقات الجوفية

للحجر الرملي النوبي أو في صحراء شمال افريقيا ومنطقة الشرق الاوسط. يهدف هذا البحث إلى تعميق المعرفة النوعية حول الطبقة المائية العميقة في البادية السورية على قاعدة إستخدام تقنية النظائر البيئية والهيدروكيمياء إلى تحديد الخصائص النظائرية والهيدروكيميائية لهذا الحامل، آليات تشكل الحمولة الملحية وأسبابها، تأريخ أعمار المياه الجوفية وطبيعة التغذية. هذه النتائج تخدم في النهاية التأسيس الموضوعي لتنمية وتطوير إدارة مصادر المياه الجوفية العميقة في سورية من أجل خدمة التنمية المستدامة.

## منطقة الدراسة

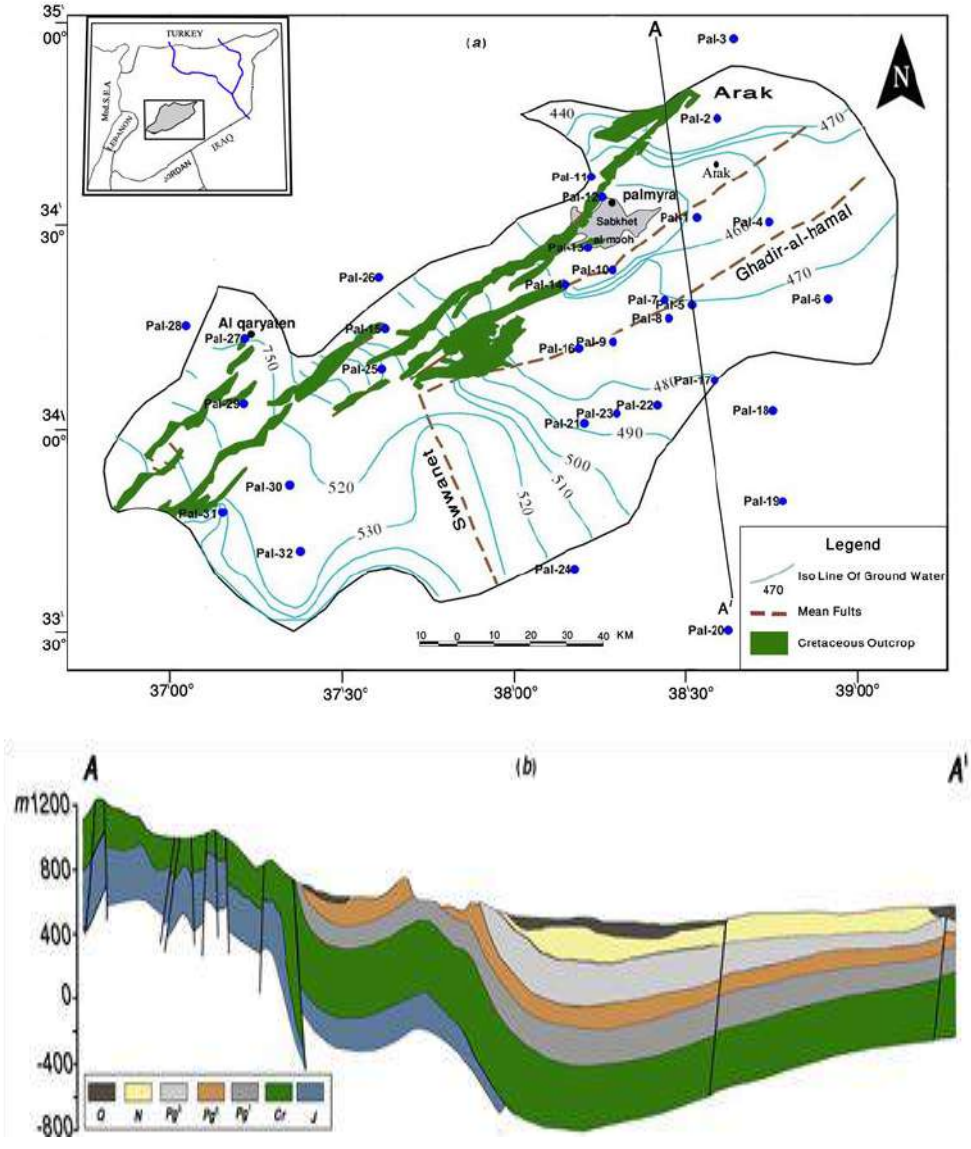
تقع منطقة الدراسة في وسط سورية ، بين خطي عرض (34°.30'-34°.00') وخطي طول (38°.30'-38°.00') ، والمتضمنة الجزء الجنوبي من حوض الدو (بشكل رئيس السلسلة التدمرية الجنوبية وسبخة الموح ) (الشكل.1). تتراوح إرتفاعات المناطق الجبلية ما بين 900 و 1500 م مطلق عن سطح البحر، والمناطق السهلية ما بين 600 إلى 370 م في سبخة الموح. تتميز المنطقة بمناخ جاف وقاري حيث يتراوح المعدل العام لكميات الهطول المطري بين 150 مم في محطة تدمر وقيم التبخر الظاهري 3000 مم /سنة. تتميز المنطقة بوجود شبكة من المسيلات والتي يمكن أن تشكل رافداً لتغذية حديثة لمختلف الحوامل المائية الجوفية في منطقة الدراسة. تتكشف الطبقات الجوراسية في جزء بسيط من جبال التدمرية الجنوبية وتتألف من صخور دولوميتية وجصية تترافق مع فوالق ذات اتجاه جنوب غرب –شمال شرق [1] . تتكشف الطبقات الكريتاسية في منطقة الدراسة في الجبال التدمرية الجنوبية والمؤلفة من صخور الحجر الكلسي الدلوميتي من عمر السينومانيان والتورونيان. تتكشف صخور الباليوجين في غرب وشرق منطقة الدراسة، وتتألف من صخور مارلية وحجر كلسي. تتكشف الرسوبات النيوجينية في مناطق محدودة من منطقة الدراسة وتتألف من توضعات كلسية رملية في الميوسين الأسفل إلى توضعات

كونغلوميراتية وسيلتية مع إندساسات جصية في البليوسين. تتكشف التوضعات الرباعية على مساحات كبيرة من منطقة الدراسة في المنخفضات وحواف الجبال ومفارش السيول وتتألف من المنقولات السيلية واللحقيات والترسبات البحيرية والريحية. الطبقة المائية الجوفية الرئيسة في منطقة الدراسة من التوضعات الكربوناتية المدلمته والمشققة من عمر السينومانيان والتورونيان مع إندساسات مارلية رملية وجبسيه في الأقسام السفلية. القسم العلوي من هذه الطبقة المائية يتكشف على السطح على طول البنية المحدبة من التدمرية الجنوبية ( الشكل 1). ومع ذلك، فان الجزء الأساسي من هذه الطبقة المائية المضغوطة يقع ما بين طبقتين غير نفوذتين من الغضار والمارل: الأبسيان – البيان حيث تشكل تلك التوضعات حاجزاً قاعياً إقليمياً في حين تشكل توضعات السينونيان والباليوجين وحتى الباليوسين الطبقة الحاجزية العلوية وبسماكة أكثر من 250 م باتجاه الشرق والجنوب الشرقي.

تظهر الخريطة البيزومترية للطبقة المائية العميقة لحامل الكريتاسي حركة المياه الجوفية العميقة وإتجاه الجريان من الجنوب الغربي نحو الشمال الشرقي لتصرف عن طريق البنية الفالقية المشققة لوداي غدير الحمل بإتجاه سبخة الموح والتي تمثل منطقة صرف لكامل نظام المياه الجوفية. تتم تغذية المياه الجوفية جزء منها عبر التكشفات المرتفعة للكريتاسي في التدمرية الجنوبية إلى الشمال والشمال الشرقي من سبخة الموح والتي حددت قيمتها بـ 15% من المعدل الوسطي للهطول المطري في تلك المنطقة أو من التسرب من الأودية بالتقاطع مع الفوالق العرضية العميقة وخاصة إلى الجنوب من جبل الصوانة. بينت حسابات الموازنة المائية بموجب الموديل الرياضي للحامل العميق في منطقة الدراسة أن هنالك جريان افقي داخل يقدر بـ 66 م.م$^3$/ سنة مضافا اليها 22 م.م$^3$ / سنة من الرشح العمودي من مياه الأمطار في تكشفات التدمرية الجنوبية للكريتاسي الأعلى.

## الإعتيان والطرائق التحليلية

تم إعتيان 32 عينة من آبار المياه الجوفية الفعالة للطبقة المائية العميقة للكريتاسي الأعلى بأعماق تتراوح ما بين 120 م إلى 1100 م بدءاً من سطح الأرض خلال شهري نسيان وأيار من عام 2010. البارومترات الفيزيائية والكيميائية التي تم قياسها حقلياً متضمنة : الحرارة ، درجة الحموضة ، الناقلية الكهربائية والقلوية الكلية ممثلة بالبيكربونات ($HCO_3^-$) . تم قياس المنحل الكلي اللاعضوي للكربون في 17 عينة بإستخدام الطرق الموثقة من قبل الوكالة الدولية للطاقة الذرية. تم إستخدام طريقة الكروموتواغرافيا السائلة (HPLC) من اجل إجراء التحاليل الكيميائية للعناصر الكيميائية الرئيسة مثل $Cl^-$, $SO_4^{2-}$, $NO_3^-$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Na^+$, $K^+$. يظهر حساب الميزان الشاردي لكافة التحاليل الكيميائية أن الفروقات لا تتجاوز 5%±. تم قياس المحتوى النظائري للأوكسجين والهيدروجين ضمن العينات المائية بإستخدام جهاز مطياف الكتلة ، عن طريق التوازن مع غاز $CO_2$ بالنسبة للأوكسجين $-18$ والتبادل النظيري مع غاز $H_2$ بالنسبة للديتيريوم. النسبة لقيم النظائر الثابتة $^{18}O/^{16}O$ و $^{2}H/^{1}H$ تم التعبير عنها بـ $\delta$ كجزء من ألف مقارنة مع V–SMOW ( فيينا – القيمة المعيارية الوسطية لمياه البحر). دقة درجة القياسات من أجل $\delta^{18}O$, $\delta^{2}H$ هي 0.2‰±، 1.0‰± على التوالي. تم قياس المحتوى النظيري للكربون $-13$ في المنحل الكلي اللاعضوي للكربون بإستخدام مطياف الكتلة وتم التعبير عنها بـ $\delta$ كجزء من ألف مقارنة مع V–PDB (فيينا – القيمة المعيارية الوسطية لمعطيات صخور الكريتاسي بي دي المأخوذه من شمال كاليفورنيا مع دقة في درجة القياس تصل إلى 0.1‰±). نتائج التريتيوم تم التعبير عنها بوحدة التريتيوم TU ( وحدة التريتيوم تعادل ذرة واحدة من $^3H$ من أجل $10^{18}$ ذرة هيدروجين ) مع دقة قياس تصل إلى حدود 0.3 TU± لإنحراف معياري $2\sigma$. نتائج الكربون $-14$ تم التعبير عنها بالنسبة المئوية للكربون الحديث (pmC) ودرجة الدقة تعتمد على كمية الغاز الناتج، زمن العد والفعالية الإشعاعية للعينة نفسها. تم إجراء كافة التحاليل الكيميائية والنظائرية في مخابر هيئة الطاقة الذرية السورية.

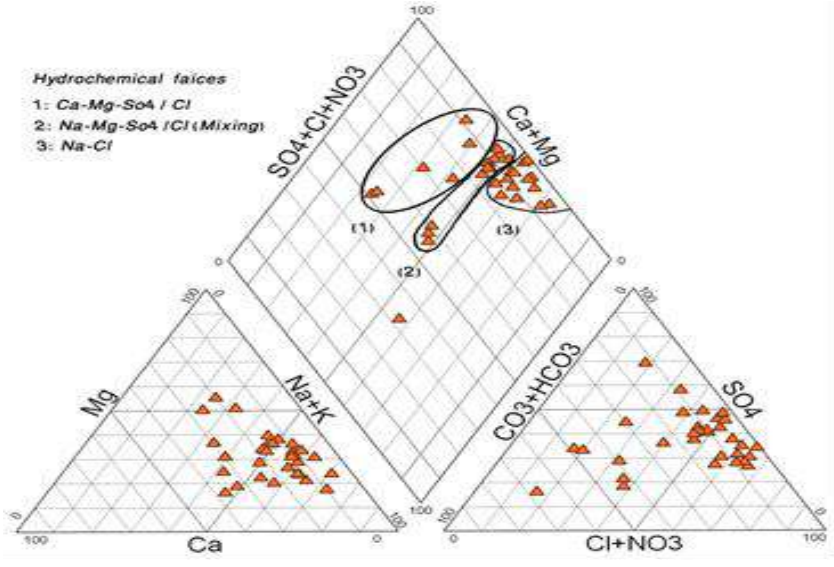



**الشكل1: (a) خريطة هيدروجيولوجية لمنطقة الدراسة تبين تموضع تكشفات الكريتاسي ومناسيب المياه الجوفية (متر فوق سطح البحر ) ومواقع الإعتيان من منطقة الدراسة و (b) مقطع جيولوجي شمال–جنوب لمنطقة الدراسة معدل حسب [1].**

## النتائج والمناقشة

**1- كيمياء المياه الجوفية:** تتراوح ملوحة المياه الجوفية (TDS) بين 0.18 إلى أقل من 7 غ/ل ، ودرجة حرارة بين 21.9 إلى 54.5°C. يعزى مصدر الحرارة إلى الجريانات العميقة من خلال الصدوع أو إلى التدرج الحراري الأرضي الناتج عن الحرارة المتبقية والمرتبطة بالنشاط البركاني وخاصة في مناجم الفوسفات القريبة. تتراوح قيم pH من 6.9 إلى 8.1، بمتوسط 7.5، مما يشير إلى أن المياه طبيعية وتميل إلى القلوية قليلاً. يشير أسقاط تراكيز العناصر الرئيسة على دياغرام بيابر إلى تواجد ثلاثة مجموعات من السحنات المائية (باستثناء بئر مهين 28 Pal حيث المياه بيكربوناتية – صودية) (1) مياه كلسية مغنيزيومية سلفاتية (Ca–Mg–SO4/Cl) في آبار المياه الجوفية الواقعة على الأطراف الشمالية الشرقية والجنوبية الغربية للتدمرية الجنوبية (Pal 2,3 29,30,31,32) وبنسبة 20% من إجمالي العينات والملوحة اقل من 1غ/ل، (2) مياه صوديومية- كلورية (Na–Cl) وبنسبة 47% في الآبار المتواجدة بالقرب من منطقة سبخة الموح والذي يعكس إنحلال المتبخرات للجص والهاليت، (3) مياه مختلطة ما بين المجموعتين (Na–Mg–Ca/Cl) وبنسبة 33% في معظم آبار منطقة الدراسة الواقعة بالقرب من منضومة الفوالق لغدير الحمل وصوانة الحمرا بالجنوب الشرقي (الشكل. 2) .

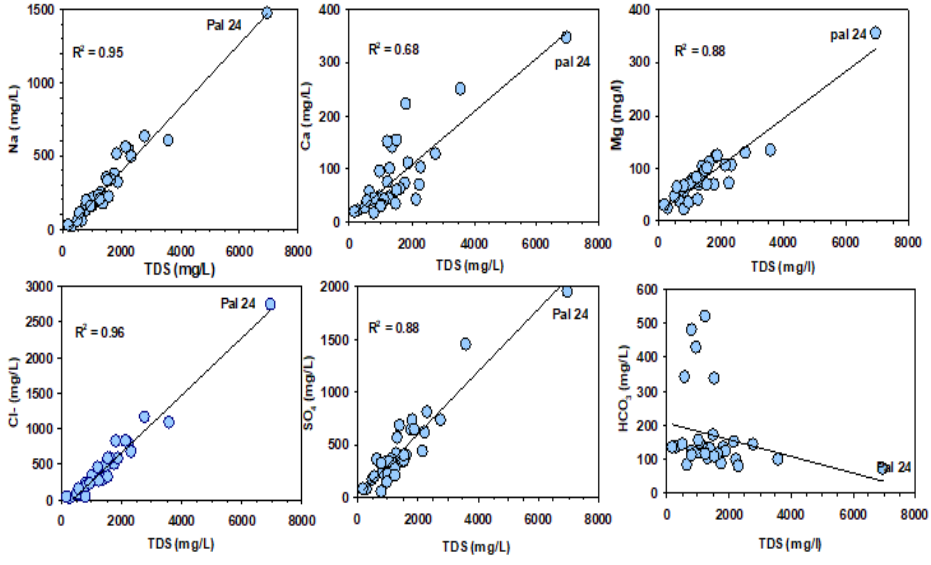
بشكل عام، فإن التوزع المكاني لخريطة TDS متوافق بشكل جيد نسبياً مع خريطة مناسيب المياه الجوفية، حيث أن المياه منخفضة الملوحة ترتكز في نطاقات النغذية وتزداد بإتجاه سبخة الموح حسب مسار تدفق المياه الجوفية. بهدف تسليط الضوء على الميكانيكية التي تساهم في زيادة ملوحة المياه الجوفية لمنطقة الدراسة، فقد تم دراسة العلاقات الخطية لتراكيز مختلف العناصر( الكاتيونات والأيونات ) الرئيسه مع الملوحة TDS.




**الشكل 2: مخطط بيبر ونوعية المياه الجوفية لحامل الكريتاسي الأعلى في البادية السورية**

بشكل عام، فان الملوحة تزاداد بزيادة تراكيز مختلف العناصر بموجب علاقات خطية موجبة وقيم معامل إرتباط عالية ( الشكل. 3). ($r^2$) تتراوح بين 0.68 إلى 0.98 لكل من العناصر $Mg, Na, Ca, Cl, SO_4$ ( والتي تشكل 88% و 81% من مجمل الكاتيونات والأيونات على التوالي) والذي يعني أن هذه العناصر تساهم في زيادة ملوحة المياه الجوفية، في حين تنخفض معاملات الإرتباط لكل من والبوتاسيوم والنترات وتصبح سلبية بالنسبة لشاردة $HCO_3$ مع إزدياد الملوحة وهذا يعني مساهمة ضعيفة في زيادة ملوحة المياه الجوفية لحامل الكريتاسي الأعلى في منطقة الدراسة. تشير العلاقة ما بين تراكيز الكلوريد والصوديوم ( الشكل. 4a) إلى التزايد المتزامن في تركيز كلا العنصرين. وهذا يؤكد إنهما من نفس المصدر حيث تتوضع النقاط على الخط 1:1 والذي يمثل إنحلال الهاليت مع معامل إرتباط عالي ($r^2$=0.96)،

مما يعني وجود عمليات إنحلال لأملاح كلوريد الصوديوم الموجودة على شكل فلزات الهاليت والتي تظهر على شكل طبقات رقيقة في الصخور الحاضنة للمياه والتي تشكلت خلال عدة ملايين من السنيين بواسطة عمليات التبخر الشديدة لأحواض بحرية مغلقة.

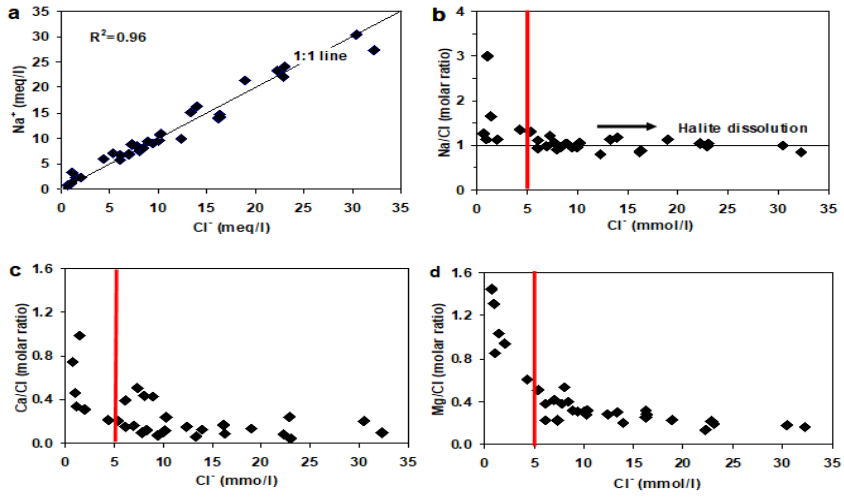



**الشكل3: علاقة تراكيز كل من $Na, Ca, Mg, Cl, SO_4, HCO_3$ مع ملوحة المياه.**

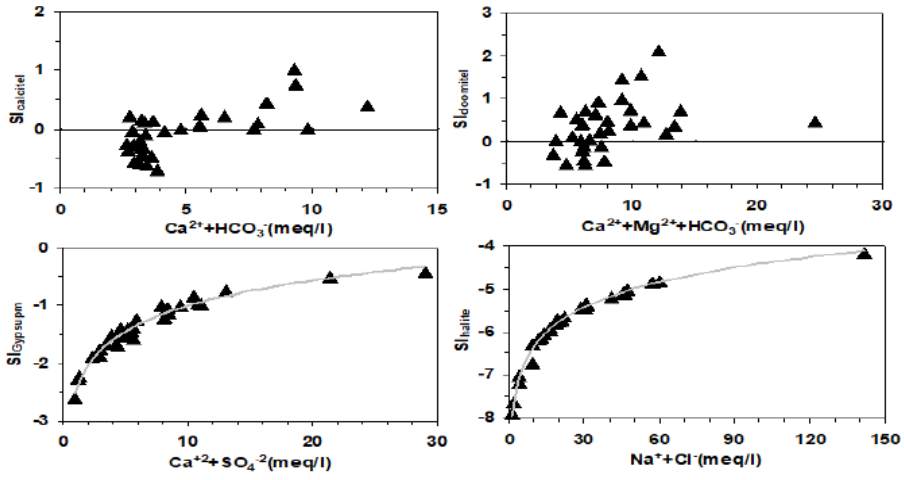
النسبة المولية لـ Na/Cl تتغير بين 3 للمياه الأقل ملوحة إلى قيم محصورة ما بين 0.8 و 1 للمياه الأعلى ملوحــة ( الشكل.4b). كل عينات المياه الجوفية في سبحة الموح تكون فيها النسبة المولية قريبة من الواحد والذي يؤكد إنحلال الهاليت. الاتجاه العام للنسبة المولية لكل من $Ca^{2+}/Cl^-$ و $Mg^{2+}/Cl^-$ بالعلاقة مع تركيز الكلوريد من أجل عينات المياه الجوفية يماثل النسبة المولية لـ Na/Cl مع تركيز الكلوريد (الشكل. 4). حيث تتناقص هذه النسب المولية مع إزدياد الملوحة. هذه البيانات تدعم النموذج الجيوكيميائي القائم على أن مصدر الملوحة في المياه ذات

التراكيز ( $Cl^-$<5 ميلي مول/ل) ناتجة عن آليات مثل عمليات المزج تبخر أو تفاعل ما بين الصخر والماء) [13]. في حين تظهر جيوكيميائية المياه ذات التراكيز ($Cl^-$ >5 ميلي مول/ل) تغيرات طفيفة في النسبة المولية Cation/Cl والذي ينسجم مع تجانس تام على أن الانحلال لصخور المتبخرات هو العامل الوحيد وراء هذه الملوحة العالية للمياه الجوفية[13]. تم حساب قرائن الإشباع لكل من الكالسيت، الدلوميت، الجبس، الأنهدريت والهاليت في عينات المياه الجوفية وذلك بتابعية التركيب الكيميائي لهذه الفلزات (الشكل. 5). يلاحظ أن قيم قرائن الإشباع لفلزي الكالسيت والدلوميت في معظم عينات المياه الجوفية هي مشبعة إلى فوق مشبعة وربما تحصل عمليات دلمته ثانوية في بعض تلك الأبار وخاصة في الجزء الغربي من منطقة الدراسة ( من Pal 28 إلى Pal 32) ، أما الجزء الأخر من هذه الآبار فأن قيم قرائن الإشباع تقترب من حد التوازن (SI = 0) أو تكون سلبية. القيم المحسوبة لقرائن إشباع كل من الجبس والهاليت يؤكد فرضية انحلال هذه الفلزات المتبخرة على الرغم من أن قرائن إشباع الهاليت تظهر قيم سالبة وتقترب بالنسبة للجبس في بعض الآبار إلى حد التوازن.

**2- الدراسات النظائرية:** الدراسات النظائرية تجيب عن أسئلة بالغة الأهمية من حيث تحديد مصادر التغذية، العلاقات الهيدروديناميكية بين مختلف الطبقات الجوفية والأهم من كل ذلك هو تحديد أعمار المياه الجوفية كقرينة اساسية على مدى تجدد هذا الحامل العميق والتمييز ما بين التغذية المعاصرة المرتبطة بحلقة المياه الحالية والتغذية القديمة التي تمت في ظروف مناخية مغايرة عما هو موجود حالياً.




**الشكل 4: علاقة تراكيز الصوديوم مع الكلوريد، وعلاقة النسب المولية مقابل تراكيز الكلور في العينات المائية. يمثل الخط الاحمر العتبة المولية لتركيز الكلوريد بالعلاقة مع النسب المولية لمختلف العناصر حيث تبدأ عمليات الانحلال للصخور المتبخرة.**




**الشكل: العلاقة ما بين قرائن إشباع لكل من الكالسيت، الدلوميت، الجبس والهاليت في العينات المائية.**

**علاقة δ18O و δ2H في المياه الجوفية ومصدر التغذية**

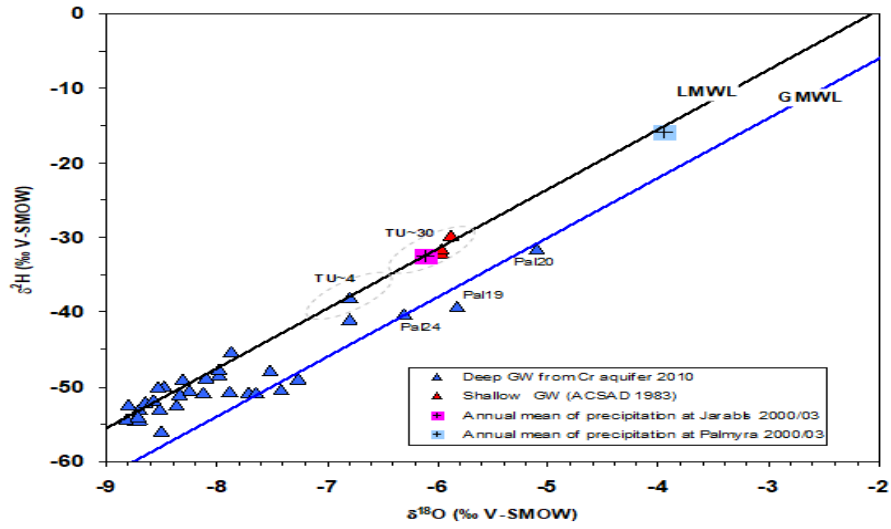
تتراوح قيم النظائر الثابتة لكل $\delta^{18}O$ و $\delta^{2}H$ بين 8.82− و‰ 5.10− و − 54.24 و‰ 31.6− على التوالي، مع قيم فرط في الديتريوم بين 9 إلى ‰20.3. تم رصد خط الهطول المحلي من خلال القياسات النظائرية الشهرية التي تمت في محطني تدمر وجرابلس للفترة 2000−2003، ومن خلال ثلاث عينات من آبار سطحية تحتوي على التريتيوم في منطقة الدراسة. يظهر الشكل. 6 دياغرام علاقة δ18O و δ2H لتوزع عينات المياه الجوفية للطبقة المائية لحامل الكريتاسي الأعلى ( سينومانيان –تورونيان) في منطقة الدراسة مع مرجعية خط الهطول المحلي (LMWL) ($\delta^{2}H = 8\ \delta^{18}O + 16$) وخط الهطول العالمي المحدد ( $\delta^{2}H = 8\ \delta^{18}O + 10$). تتميز معظم نقاط الطبقة المائية العميقة بقيم ناضبة لكل من $\delta^{2}H$ و $\delta^{18}O$ مقارنة مع الآبار ذات التغذية الحديثة ومع القيم الوسطية للهاطل المطري في محطة تدمر ( $\delta^{2}H = -15.8\ \delta^{18}O = -4.0$‰) ومحطة جرابلس − = $\delta^{2}H$) ($\delta^{18}O = -6.1$‰ 32.1). يشير هذا النضوب في محتوى النظائر الثابتة إما إلى تغذية من إرتفاعات عالية أو من تغذية حصلت في شروط باليومناخية قديمة ( تغذية تمت في شروط مغايرة عما هو موجود حالياً). وبمقارنة متوسط محتويات النظائر المستقرة في المياه الجوفية العميقة مع تلك في مياه الامطار فان الفروقات تتراوح ما بين 1.8 إلى 3‰ بالنسبة لـ $\delta^{18}O$. في الواقع، تشير الإختلافات في فرط الديتريوم وإعمار المياه الجوفية إن القسم غير المضغوط من الطبقة الجوفية والواقع في الشمالية والغربية يتلقى تغذية محلية بفرط ديتيريوم ~16‰ ، في حين أن القسم المضغوط من هذه الطبقة في سبخة الموح والأقسام الجنوبية والمتوافقة بأعمار كبيرة وقيم مستنفذة للنظائر المستقرة مع فرط ديتيريوم ~10‰ .

وبالتالي فأن التغذية قد حصلت بظروف مناخية أكثر رطوبة وأقل حرارة ومغايرة عن الظروف السائدة الحالية وهذه النتائج متوافقة مع النتائج التي تم الحصول عليها في حوض حلب ومنخفض حمص. إن تغذية بعض الآبار المعزولة [Pal 19,20,24] والمتاخمة للمسيلات مرتبطة بالتغذية الحديثة ودليل ذلك وجود التريتيوم

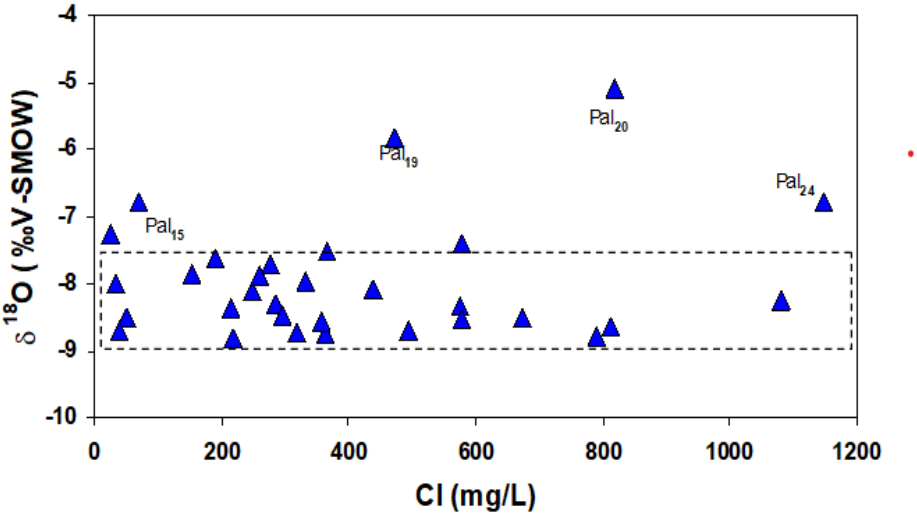
في مياهها وبتراكيز تعادل ما هو موجود حالياً في مياه الأمطار وبملوحة بين 2 إلى 7 غ/ل والذي يشير إلى عمليات تبخر على المياه السطحية المغذية للمياه الجوفية. يوضح الشكل.7 عدم وجود علاقة طردية ما بين قيم الكلور والاوكسجين-18 مما يدل على ان التبخر لا يلعب الدور الحاسم في زيادة ملوحة المياه الجوفية، حيث تظهر عينات الطبقة المائية العميقة تزايد في تركيز الكلور مع عدم وجود أي تغير في المحتوى النظائري وهذا يعني ان منشأ الملوحة قد تم على حتمية العمر الكبير للمياه الجوفية وانحلال لصخور المتبخرات. وهذا ما لاحظناه تقريباً في كل الدراسات السابقة على المياه العميقة في سورية، ويؤكد على أن الحمولة الملحية لتلك المياه ناتجة عن عمليات الانحلال لمختلف مكونات الطبقة الحاملة إضافة لعمليات الخلط التي تتم على مستوى هذا الحامل. إن ضعف قيم تراكيز التريتيوم والإنخفاض في قيم الفعالية الإشعاعية للكربون-14 والمتزامنة مع سويات عالية للملوحة في معظم النقاط للطبقة المائية العميقة يشكل نقطة معنوية لأعمار كبيرة للمياه ويقود إلى إستنتاج أن تغذية هذه المياه قد تم في الفترة الرطبة للبلستوسين في أنحاء سورية.

## التريتيوم والكربون-14 وتقدير أعمار المياه الجوفية

تم قياس التريتيوم 16 مرة في مياه الأمطار لمحطة تدمر المطرية للفترة 2000-2003 والتي تتغير ما بين 5.7 إلى 6.6TU مع قيمة وسطية تصل إلى 5.8TU. تشير نتائج تراكيز التريتيوم في 12 عينة مائية في منطقة الدراسة إلى أن معظم تلك العينات لا تحتوي على التريتيوم (حد الكشف $^{3}H$ أقل من 0.3TU) ويؤكد عدم وجود إي تغذية لهذه المياه. القيم العالية ما بين 0.4 و 4TU تم قياسها في البئرين (Pal 15, Pal 18) حيث يقع الأول في نطاق تكشفات التدمرية الجنوبية والبئر الثاني في الأجزاء الجنوبية من حوض تدمر (لاحظ الشكل 1)،




**الشكل 6: العلاقة ما بين تركيز الاوكسجين-18 والديتريوم في عينات المياه الجوفية ومياه الأمطار وخطي الهطول المحلي والعالمي.**




**الشكل 7: العلاقة ما بين تركيز الكلوريد والمحتوى النظائري للأوكسجين-18 في العينات المائية.**

والذي يعني وجود مساهمة لتغذية حديثة سواء من الرشح المباشر أو تغذية من تسربات المياه من المجاري الموسمية للوديان أثناء العواصف المطرية المهمة نحو المياه الجوفية. من جهة أخرى، القياسات التي تمت على بعض آبار المنطقة من قبل أكساد والتي تتروح ما بين 30 إلى 40TU تعود أيضا إلى مساهمة المياه السطحية في رفد المياه الجوفية بتغذية حديثة كما أسلفنا، وإن عدم وجود مثل هذه القيم المرتفعة حاليا يعود إلى الإماتة الإشعاعية للتريتيوم على مدار 30 عاما السابقة.

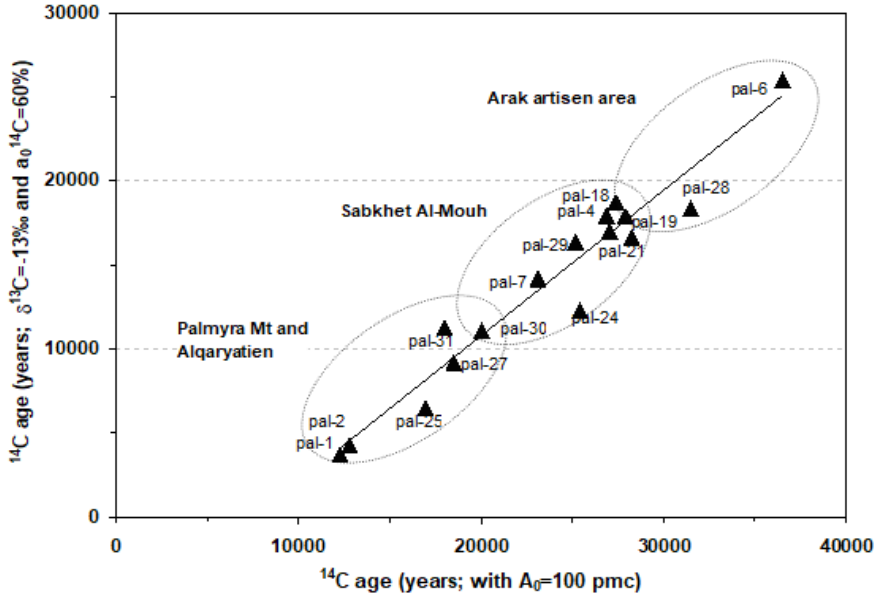
تم قياس الفعالية الإشعاعية للكربون –14 وتركيز النظير $\delta^{13}$ C ‰ PDB في DIC في 17 بئر (أعماقها محصورة بين 200 إلى 1100 م ). النتائج النظائرية للكربون– 13 تتراوح من ‰4.5– إلى PDB ‰ 9.5– ، في حين تتناقص الفعالية الإشعاعية للكربون–14 من 22.6 إلى pmc 1.2%. هذه القيم مماثلة لقياسات سابقة حيث انخفضت $^{14}$C من 28.6 إلى % pmC 1.1 بينما إزداد تركيز لـ $^{13}$C من 11.2– إلى ‰3.6– . تختلف الأعمار الظاهرية والمحسوبة إستناداً إلى قانون التفكك الإشعاعي والذي يفترض أن الفعالية الإشعاعية البدائية تساوي pmC 100%، عن القيم المصححة التي تأخذ بعين الاعتبار جملة من المعطيات سواء كانت جيوكيميائية أو عمليات تبادل نظائرية على طول مسار المياه الجوفية وبالتالي التأثير المباشر على فعالية الكربون–14. تم إستخدام نموذج المزج لـ $^{13}$C في هذه الدراسة من أجل تصحيح أعمار المياه الجوفية وهذا النموذج هو الأكثر تدولاً على مستوى العالم والقائم على الإرتباط الوثيق بين قيم الفعالية الاشعاعية للكربون–14 وقيم الكربون –13 خلال عملية التطور الجيوكيميائي لمياه الخزان الجوفي. يقوم مبدأ هذه المقاربة على إستخدام التبيان النظيري ما بين القيم المقاسة لـ $^{13}$C و $^{14}$C في TDIC كقطب أول وقياسات كربونات الخزان الجوفي كقطب آخر وفق المعادلة 1.

$$q = \frac{\delta\ ^{13}C_{DIC} - \delta\ ^{13}C_{carb}}{\delta\ ^{13}C_{rech} - \delta\ ^{13}C_{carb}}$$

حيث : $\delta^{13}C_{DIC}$ القيمة المقاسة لعينة المياه الجوفية، $\delta^{13}C_{rech}$القيمة المقاسة في مناطق التغذية عند وصولها إلى النطاق المشبع، $\delta^{13}C_{carb}$ قيمة بالعادة تساوي إلى 0 ‰ في الصخور الكربوناتية (الكالسيت). هذه النموذج يأخذ بعين الاعتبار الانظمة المائية المفتوحة والمغلقة. ففي النظام المفتوح يحصل نوع من التوازن مع قيم $CO_2$ الموجود في التربة وبالتالي لا تتمايز قيم $^{13}C$و $^{14}C$ مع تلك الموجودة في الغلاف الجوي. في النظام المغلق، فأن عامل التصحيح في المعادلة أعلاه يتم على خلفية التمديد الناتجة عن عملية إنحلال الكربونات والتبادل الشاردي التي تؤدي إلى إضافة المزيد من الكربونات $^{14}C$–free إلى TDIC. تحصل التجزئة النظائرية التي على قيم $^{13}C$ أثناء تحول $CO_2$ إلى $HCO_3$ حوالي (9‰)، فالقيم الأصلية المتوقعة لـ $\delta^{13}C$ في $CO_2$ التربة يساوي إلى 23‰– يتحول في TDIC إلى تقريبا 13‰– [14]. وبناءً عليه فإن قيم التصحيح q المحسوبة تتراوح بين 0.27 و 0.67 وهذا يعني أن 30 إلى 70% من TDIC في المياه الجوفية مشتق من إنحلال الكالسيت في الطبقة المائية. تم إستخدام قيم q من المعادلة (1) تصبح معادلة تصحيح أعمار المياه الجوفية كما يلي:

$$^{14}T = -8276 \times \ln\left(\frac{a_t\ ^{14}C_{DIC}}{q.a_0\ ^{14}C_{DIC}}\right)$$

تشير علاقة أعمار المياه الجوفية المصححة وفق نموذج المزج ( $A_0$ = 60% pmC, $\delta^{13}C_{rech}$=−13.4‰) مع أعمار المياه الجوفية غير المصححة ( $A_0$ = 100% pmC) ( الشكل.8 ) إلى وجود ثلاثة مجموعات مائية متمايزة من حيث زيادة الأعمار والتي تشمل: (1) آبار المياه الجوفية في مناطق التدمرية والقريتين بحدود 10 آلاف سنة قبل الأن تترافق مع حمولة ملحية معتدلة حيث تصل تراكيز عنصر الكلور من 30 إلى 300 ملغ/ل. آبار منطقة صوانة الحمراء تقع في أقصى الجنوب من منطقة الدراسة وأعمارها المصححة ما بين 12 إلى 16 الف سنة مع تراكيز عالية من الكلور ما بين 500 إلى 2700 ملغ/ل. الإغناء بالنظائر والحمولة الملحية يقودنا إلى إفتراض انه لدينا تغذية سطحية من المجاري الموسمية والتي تحل الأملاح المترسبة في التربة والغنية بالنظائر الثابتة، ولكن ذلك لا يبرر تلك الأعمار الكبيرة. و (3) ويشمل آبار سبخة الموح ومنطقة أراك (بين فالقي جبل الأبتر وفالق وداي غدير الحمل) فإننا نجد التراكيز الأكثر نضوباً في الأوكسجين−18 ما بين ( 7.8 to−8.8‰−) وتترافق بأعمار مياه جوفية مصححة تتراوح بين 14 إلى 25 الف سنة قبل الآن وتراكيز الكلور ما بين 300 إلى 1000 ملغ/ل. فضلاً عن ذلك لوحظ أن الأعمار الاعلى وجدت في حوض أراك ما بين 18 الف سنة إلى 25 الف سنة قبل الآن. تشير بيانات النظائر المستقرة والكربون المشع إلى أن المياه الجوفية في حوض سبخة الموح، تم إعادة شحنها على مدى آلاف السنين وعلى مدى فترات تتميز بظروف مناخية مختلفة. ونظراً لفترات بقاء المياه الجوفية العميقة المحصورة لفترات طويلة، فإن أي عملية إعادة تغذية أو تجديد حديثة لهذا المورد ضئيلة مقارنة بالكميات المستخرجة حالياً.




**الشكل 8: العلاقة بين اعمار المياه الجوفية المصححة وغير المصححة في منطقة الدراسة**

## الخلاصة

التحريات الهيدروكيميائية والنظائرية للطبقة المائية العميقة للكريتاسي الأعلى في البادية السورية أعطت نتائج مهمة حول آلية تشكل الملوحة وبمصدر هذه المياه وأعمارها. ترتبط الحمولة الملحية للمياه الجوفية بالمجمل بعمليات الإنحلال لتوضعات متبخرة، بدليل العلاقة مابين تراكيز الكلوريد والاوكسجين-18 التي أكدت أن عامل الإنحلال لمختلف الفلزات هو العامل المسيطر على جيوكيميائية المياه. يشير المحتوى النظائري لكل من الاوكسجين-18 والديتيريوم لمياه الطبقة المائية العميقة إلى نضوب كبير مقارنة مع مياه الامطار الحالية والتي تعكس الشروط المناخية لتغذية مياه هذه الطبقة. إعتماداً على نتائج كل من $^{18}O$ و $^{14}C$ لتقدير أعمار المياه الجوفية، فأن جزءاً من تغذية الطبقة المائية العميقة للكريتاسي الأعلى وفي مناطق

محددة كحوض القريتين وآبار التدمرية الجنوبية ما زال مستمراً وأعمار المياه لا تتجاوز 10000 سنة قبل الآن، في حين وجدت المياه الجوفية القديمة والتي يتراوح أعمارها ما بين 10000 إلى 25000 سنة قبل الآن في المنطقة المتبقية من الطبقة المائية العميقة ، حيث الأعمار اعلى ما يمكن إلى الشرق من فالق الأبتر وفي مناطق الصرف والمتوافقة بشكل عام مع المياه الأكثر تمعدناً والأقل تبخراً. وأخيرا فإن الآثار البيئية التي تبرز في المناطق الجافة وشبه الجافة كما هو الحال في منطقة الدراسة حيث فترة الجفاف الطويلة والمترافقة مع شح التغذية وزيادة الطلب على المياه الجوفية للري. في هذه الحال فإن إستخراج المياه العميقة هو إستثمار لمياه غير متجددة حتى وأن كان هناك وجود لبعض التغذية المحلية فهي غير كافية بالمفهوم الحجمي لكميات الإستثمار ولحل مشكلة الطلب على المياه.

**د. عبدالرحمن الشريدة**

**هيئة الطاقة الذرية السورية**

## References

1. Rasoul Agha W, Droubi A (1983) Water resources in the Dawwa basin. Part II, Hydrochemical and Hydro-geophysics (in Arabic), Damascus, The Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands, (ACSAD/DM/T-37), pp 247.
2. Wagner W, Geyh MA (1999) Application of environmental isotope method for groundwater studies in the ESCWA region. Economic and social commission for western Asia, United Nations, New York, pp 129.

3. ACSAD (1998) The Arab Center for the Studies of Arid zones and Dry lands: Mathematical model of Sabkhet Al-Mouh. Water Resources Division. ACSAD/WS/R-92. Damascus.
4. Al-Charideh A (2011) Geochemical and isotopic characterization of groundwater from shallow and deep limestone aquifer system of Aleppo basin (north Syria). Environ Earth Sci 65 (4): 1157-1168.
5. Al-Charideh A (2013) Recharge and mineralization of groundwater of the Upper Cretaceous aquifer in Orontes basin (Syria). Hydrol Sci J 58(2):1-16.
6. Al-Charideh A, Katta B (2016) Isotope hydrology of deep groundwater in Syria: renewable and non-renewable groundwater and paleoclimate impact. Hydrogeology Journal, Vol.24 (1): 79-98.
7. Stadler S, Geyh MA, Ploethner D, Koeniger P (2012) The deep Cretaceous aquifer in the Aleppo and Steppe basin of Syria: assessment of the meteoric origin and geographic source of the groundwater. Hydrogeol J 20:1007–1026.
8. Ferronsky VI, Polyakov VA, Ferronsky SV (1991) Isotope variations in water in the hydrological cycle as a tool in a climate change mechanism study. In: International symposium on isotope techniques in water resources development. Vienna: IAEA, 567–586.
9. Gat JR, Issar A (1974) Desert isotope hydrology: water sources of Sinai. Geochim Cosmochim Acta 38:117-1131.
10. Vengosh A, Hening S, Ganor J, Mayer B, Weyhenmeyer CE, Bullen TD, Paytan A (2007) New isotopic evidence for the origin of groundwater from the Nubian sandstone aquifer in the in the Negev, Israel. Appl. Geochem 22: 1052-1073.

11. Edmunds WM (2009) Palaeoclimate and groundwater evolution in Africa - implications for adaptation and management. Hydrological Sci J 54(4): 781-792.
12. El Naka A, Al Kuisi M (2004) Hydrogechemical modeling of the water seepages through Tannur Dam, southern Jordan. Environ Geol 45:1087–1100
13. Cartwright I, Weaver T, Cendón DI, Swane I (2010) Environmental isotopes as indicators of inter-aquifer mixing, Wimmera region, Murray Basin, Southeast Australia. Chem. Geol. 277, 214–226.
14. Clark ID, Fritz P (1997) Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis, New York, 328 pp.
15. Edmunds WM (2003) Renewable and non-renewable groundwater in semi-arid and arid regions. In: A.S. Alsharhan AS, Wood WW (eds.): Water Resources Perspectives: Evaluation, Management and Policy: 265-281. Elsevier. Amsterdam.
16. Al-Charideh A, Abou Zakhem B (2010) Distribution of tritium and stable isotopes in precipitation in Syria. Hydrol Sci J 55(5):832-843
17. Craig H (1961) Isotopic variations inmeteoric waters. Science 133:1702-1703.
18. Pearson FJ, Hanshaw BB (1970) Sources of dissolved carbonate species in groundwater and their effects on carbon-14 dating. In:Isotope hydrology 1970, IAEA Symposium 129, IAEA Vienna,pp 271-286.

# إزالة التلوث الإشعاعي من السوائل بإستخدام الخفاف الطبيعي


## Abstract

In this study, pumice in batch experimental method was used to remove radionuclides from real radioactive liquid. The pumice was natural and without modification as identified through X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF). The gross Alpha and gross Beta/Gamma technique was used for the radiologically characterization of radioactive liquid before and after decontamination. The initial radionuclides concentration was 29766 Bq/L for gross Beta activity and 4623 Bq/L for gross Gamma activity. At optimum conditions (i.e., pH 5, pumice dose 3.33 g/L, mixing time of 5 min, mixing speed of 100 rpm, and liquid temperature of 20 ˚C), the batch experimental results showed that the adsorption efficiency of gross Beta and Gamma were 65.77% and 61.73%, respectively. Therefore, pumice stone has proven its ability to remove radionuclides with a minimum mixing time and without an additional power.


## مـــقـــــدمة

تعد النفايات السائلة في مقدمة النفايات التي تشكل خطرا على الصحة العامة والبيئة. تعتبر عمليات معالجتها تحدي للمختصين في هذا المجال. إذ تحوي هذه النفايات على نويدات مشعة، قد تكون باعثات ألفا أو باعثات بيتا/جاما أو كليهما.

تعتبر مرحلة معالجة النفايات المشعة السائلة مرحلة حاسمة في إدارة النفايات المشعة. أنها عملية يمكن من خلالها تحسين عناصر السلامة وتقليل كلف الأنشطة اللاحقة. يمكن أن تخفف معالجة السوائل المشعة من نشاطها الإشعاعي لتتوافق مع مبدأ التخفيض إلى أدني حد معقول (ALARA) او مع محددات الإطلاق للتصريف في البيئة المحيطة. تعتبر عمليات المعالجة عن طريق إمتزاز النويدات المشعة على مواد صديقة للبيئة من المعالجات الواعدة بسبب كفاءتها وطبيعتها غير المعقدة. قد تكون المواد المازة طبيعية أو صناعية. يعتبر حجر الخفاف في مقدمة المواد المازة الطبيعية وهو أحد المواد الخضراء الصديقة للبيئة. أنه تكوين بركاني عالي المسامية. يتكون من الحمم البركانية ذات المحتوى المائي العالي وبخار الماء والغازات المنبعثة من تأثير البركان. تتألف حبيبات الخفاف من شبكة من التجاويف البيضوية والغير منتظمة، بعضها تكون متصلة ومفتوحة إلى الخارج والأغلب منها تكون منفصلة داخل جسيمة الخفاف. أجريت العديد من الدراسات على إستخدام الخفاف كمادة مازة للإزالة النويدات من السوائل المشعة. قام Rajib وجماعته بحساب معامل التوزيع لأيونات السيزيوم واليود غير المشعين في سائل يحتوي على أملاح الأيونات المذكورة حيث إستخدموا الخفاف المعدل بواسطة $NaClO_4$ وبطريقة نظام الدفعات. وخلصوا إلى أن زيادة تراكيز الأيونات المذكورة في المحلول أدى فقط إلى تقليل معامل التوزيع للسيزيوم مع عدم وجود تأثير كبير على معامل التوزيع لأيونات اليود. حقق Çiçek وجماعته نسبة إزالة 90٪ من الكوبلت غير المشع بإستخدام الخفاف المنشط بدرجة حرارة 873 كلفن ولمدة ساعتين وبطريقة نظام الدفعات. استخدم Akkaya الخفاف المعدل عن طريق بلمرة الجذور الحرة لتشكيل [(P HEMA–Pum)] كمادة مركبة لإمتزاز أيونات الثوريوم واليورأنيوم من السوائل بطريقة نظام الدفعات، حيث أظهر الخفاف المعدل كفاءة إمتزاز قوية لأيونات الثوريوم واليورأنيوم. لذا، يمكن أن نستنتج أن الدراسات السابقة ركزت على الخفاف المعدل بمواد أخرى، وإتبعت الأعمال الإنتقائية في إزالة أيونات معينة دون أخرى. لذلك، تم في هذا البحث دراسة كفاءة

حجر الخفاف الطبيعي والغير معدل على إزالة النويدات المشعة من سائل مشع حقيقي.

## المواد وطرق العمل

**1- حجر الخفاف:** إستخدم في هذا العمل حجر الخفاف الذي جلب من الأسواق المحلية. تم تكسيره يدوياً ثم طحن بواسطة مطحنة ( RETSCH crusher type (BB 50) وغسل مرات عديدة بماء الاسالة ثم الغسل بالماء المقطر، لإزالة الشوائب العالقة ثم جفف ونخل بسلسلة من المناخل. أستخدم حجر الخفاف المطحون والمار من منخل قياس 63 ميكروميتر في تجارب إمتزاز الملوثات الإشعاعية المتواجدة في السائل المشع. تم إجراء تحليل حيود الأشعة السينية (XRD) بواسطة جهاز قياس حيود الأشعة السينية نوع (Ultima IV RIGAKU)، مع كاشف نوع (D/teX Ultra). تم إجراء تحليل فلورية الأشعة السينية (XRF) بإستخدام مطياف الأشعة السينية المحوسب (PW 2400، Philips) مع مشتت طرد مركزي نوع (HERMLE). كذلك، تم تحديد الدالة الحامضية لمسحوق الخفاف بخلط 10 غم مع 100 مل من الماء المقطر لمدة ساعة واحدة مع المزج البطيء بواسطة ( magnetic stirrer). بعد ذلك تم فصل مسحوق الخفاف بإستخدام ورق الترشيح وأخذ الراشح وتم قياس قيمة الأس الهيدروجيني له بإستخدام جهاز قياس الحامضية والقاعدية نوع (HQ411D، HACH) مع كاشف نوع (PHD101).

**2- السائل المشع (Radioactive Liquid)**: تم سحب 1.5 ملليتر من السائل المشع الموجود في خزانات تجميع النفايات السائلة في موقع التويثة النووي، وأضيف له الماء المقطر لتكوين عينة بحجم 1 لتر. تم توصيف السائل المشع قبل وبعد المعالجة بمنظومة إجمالي عد ألفا وإجمالي عد بيتا/جاما، وهي طريقة بسيطة وغير مكلفة وتعطي نتائج قياس سريعة. تتكون المنظومة من جهاز القياس وحاسبة

لعرض النتائج وحاويات صغيرة (planchets) مصنوعة من الفولاذ المقاوم للصدأ. تم وضع 3 مليليتر من السائل المشع في كل حاوية صغيرة، ثم تجفف الحاويات في فرن تجفيف لمدة ساعة ثم توضع بعدها في الحوامل المخصصة لها داخل جهاز القياس لمدة 10 دقائق لكل نموذج حيث يكتمل قياس النماذج تباعاً ويتم عرض النتائج على الحاسبة.

**3- طريقة نظام الدفعات (Batch System):** سحب لدراسة تأثير حامضية المحلول على عملية الامتزاز، تم وضع 30 مل من السائل المشع في أربع دوارق منفصلة وتم تعديل الدالة الحامضية لكل دورق (بإضافة حامض النتريك/هيدروكسيد الصوديوم) بحيث كانت 2، 5، 7 ،10 على التوالي (كل دورق يمثل دالة حامضية من الدوال المذكورة). تم إضافة 0.1 غم من مسحوق حجر الخفاف لكل بيكر وخلطه لمدة 5 دقائق وبسرعة 100 دورة بالدقيقة وبدرجة حرارة الغرفة. ولمعرفة تأثير الزيادة او النقصأن لجرعة الخفاف، تم وضع 30 مل من السائل المشع ذي الدالة الحامضية 5 في 7 دوارق منفصلة. تم وزن (0.01، 0.025، 0.05، 0.075، 0.1، 0.2، 0.3) غم من مسحوق الخفاف. تم اضافة كل وزن من الأوزان الى دورق (كل دورق يمثل وزن من الأوزان المذكورة) وبذلك تكون جرعة الخفاف في كل دورق (0.33، 0.83، 1.66، 2.5، 3.33، 6.66، 10) غم/لتر على التوالي، خلط بسرعة 100 دورة بالدقيقة ولمدة 5 دقائق وبدرجة حرارة الغرفة.

تم دراسة تأثير زمن الخلط من خلال وضع 30 مل من السائل المشع ذي الدالة الحامضية 5 في 6 دوارق منفصلة. تم إضافة 0.1 غم من مسحوق الخفاف لكل دورق وخلط بسرعة 100 دورة بالدقيقة وبدرجة حرارة الغرفة. تم أخذ عينات للفحص من الدوارق بأزمان مختلفة، حيث كانت (2، 5، 10، 20، 30، 60) دقيقة (كل دورق يمثل زمن خلط من الأزمان المذكورة). في كل الحالات أعلاه، تم

فصل السائل المعالج عن حبيبات الخفاف بإمرار المزيج من ورقة ترشيح نوع (Whatman) وبحجم مسامي 0.3 ميكروميتر، ثم التخلص منها في كيس نايلون ويوضع داخل حاوية محكمة الغلق ويؤخذ الراشح لغرض الفحص.

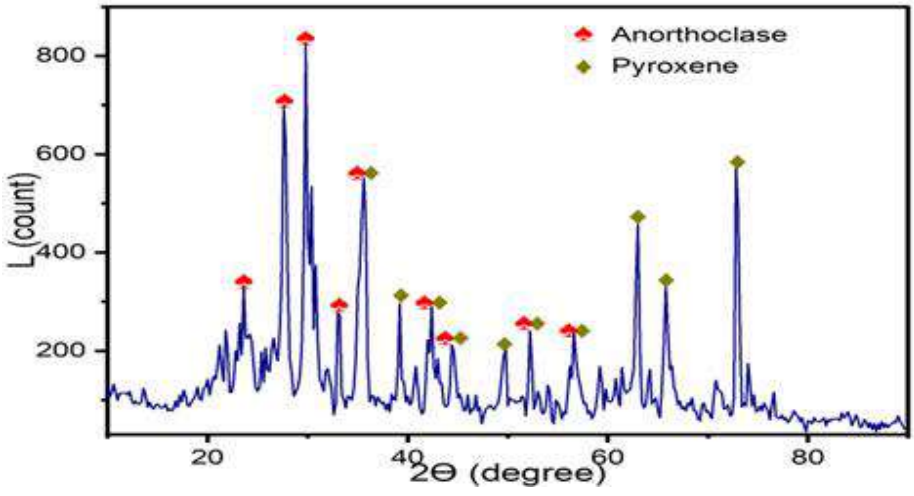
تم حساب كفاءة الإمتزاز (R%) (adsorption efficiency) وسعة الإمتزاز ($q_e$)(adsorption capacity) بإستخدام المعادلتين 1 و2 على التوالي:

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \qquad (1);\ q_e = \frac{(C_0 - C_e)\,V}{m} \qquad (2)$$

حيث أن $C_o$ و $C_e$ هما تركيز النويدات المشعة (بيكرل/لتر) قبل وبعد الإمتزاز على التوالي؛ V هو حجم المحلول (ملليلتر)؛ (m) هو الوزن الجاف للخفاف (غم).

## النتائج والمناقشة

**1- مسحوق حجر الخفاف:** يعرض الشكل 1 طيف حيود الأشعة السينية حيث يظهر قمم بارزة لـ $2\theta$ عند 23.6, 27.7, 30.5, 33.2, 35.6, 39.2, 42.4, 44.4, 49.8, 52.2, 56.6, 62.8, 65.8, 72.8 درجة. إن المعادن التي تم إكتشافها حسب بيانات حيود الأشعة السينية هي معدن البيروكسين (pyroxene (Ca0.999Fe0.038Mg1.002O6Si2)) ومعدن الأنورثوكلاس (anorthoclase (Al2Si6Na1.5K0.5O16))، اللذين يشكلان 34% 66% من تركيبة المادة، على التوالي. كذلك، عززت نتائج فحص الحيود بنتائج فلورية الاشعة السينية الموضحة في الجدول 2. حيث كانت العناصر الرئيسية Si, Al, Fe Mg, Na, K. وبذلك يكون الخفاف المستخدم طبيعي وغير معدل بمواد أخرى.




**الشكل 1: نتائج تحليل حيود الاشعة السينية لمسحوق الخفاف**

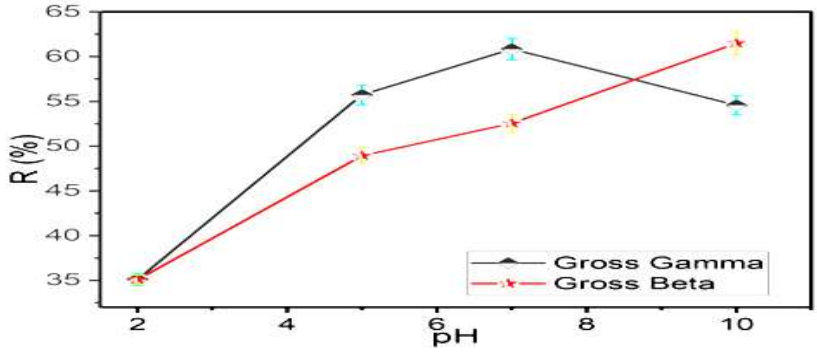
| Element | Weight (ppm) | Element | Weight (ppm) | Element | Weight (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| Si | 353858 | Ca | 96631 | Zr | 5193 |
| Na | 107575 | Mg | 89853 | S | 4037 |
| Al | 104970 | K | 28058 | Mn | 1763 |
| Fe | 101781 | Ti | 14431 | Cl | 1549 |

**الجدول 1: العناصر الرئيسية في مسوق حجر الخفاف**

**2- السائل المشع (Radioactive Liquid)**: أظهرت النتائج أن تركيز النويدات ذات النشاط بيتا هو **29766** بيكرل/لتر وجاما هو **4623** بيكرل/لتر، في حين أن النويدات المشعة ذات إنبعاثات ألفا أقل بكثير من الحدود المسموح، ولذلك، يمكن إهمالها. أن الدالة الحامضية للسائل المشع كانت 5.

### 3- نتائج تجارب نظام الدفعات (Batch Experiments):

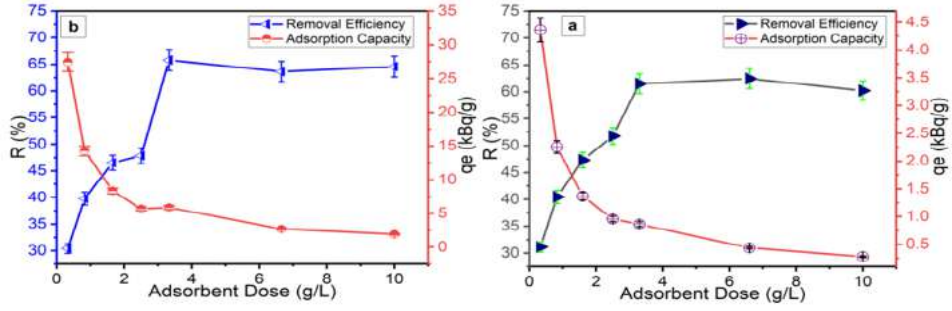
**- تاثير حامضية المحلول (Effect of pH):** تمت دراسة تأثير حامضية وقاعدية المحلول على كفاءة الإمتزاز للنويدات المشعة على حبيبات الخفاف بجرعة خفاف تبلغ 3.33 غم/لتر، حجم السائل المشع 30 مل، وقت الخلط 5 دقائق، وسرعة الخلط 100 دورة في الدقيقة، ودرجة حرارة الغرفة. يبين الشكل 2 أن كلا الملوثين (باعثات بيتا وباعثات جاما) قد أنخفضت نسبة إزالتهما في الوسط الشديد الحموضة وذلك بسبب منافسة أيون الهيدروجين الموجب للنويدات المشعة على المواقع النشطة للخفاف. في حين كانت أفضل نسبة إزالة هي بين 5 و7 للدالة الحامضية بعدها أنخفضت نسبة الإزالة لباعثات جاما بسبب تكون مركبات الهيدروكسيل لهذه النويدات والذي أعاق عملية الإمتزاز على الخفاف. بالمقابل، فأن باعثات بيتا قد إزدادت نسبة إزالتها مع إزدياد قيم الدالة الحامضية نحو القاعدية المتطرفة وذلك بسبب تكون مركبات قابلة للترسيب في الوسط العالي القاعدية. تمت جميع التجارب اللاحقة على السائل المشع عند الدالة الحامضية 5 لأن نسبة الإزالة للملوثين كانت متقاربة عند القيمتين 5، 7 للدالة الحامضية بالإضافة الى أن الدالة الحامضية الأصلية للمحلول كانت 5.




**الشكل 2: تأثير الدالة الحامضية للسائل المشع على عملية الإمتزاز.**

- **تأثير جرعة الخفاف (Pumice Dose):** تم فحص تأثير جرعة الخفاف في ظل ظروف التشغيل والتي كانت حجم 30 مل من السائل المشع، وزمن خلط 5 دقائق، وسرعة الخلط 100 دورة في الدقيقة، وبدرجة حرارة الغرفة. يوضح الشكل 3a كفاءة الازالة وسعة الامتزاز لحجر الخفاف في امتزاز النويدات ذات انبعاثات جاما. يمكن ملاحظة أنه مع زيادة جرعة الخفاف من 0.33 إلى 3.33 غم/لتر، تم تحسين كفاءة امتزاز باعثات جاما من 31.14 إلى 62.43٪ في حين قلت مع زيادة جرعة الخفاف أكثر من 3.33 غم/لتر وصولا إلى حوالي 10 غم/لتر، وإنخفضت سعات الإمتزاز من 4.4 إلى 0.28 كيلو بيكريل/لتر كما موضح في الشكل 3a. كانت هناك زيادة مضطردة في كفاءة إمتزاز وإنخفاض تدريجي في سعة الامتزاز للنويدات المشعة مع زيادة جرعة الخفاف حتى قيمة 3.33 جم/لتر. في الوقت نفسه، كان سلوك النويدات المشعة مع نشاط باعثات بيتا مشابها لسلوك نشاط باعثات جاما، كما هو موضح في الشكل 3b. تم تحسين كفاءة الإمتزاز لنشاط بيتا من 30.42 إلى 65.77٪ مع زيادة جرعة الخفاف من 0.33 إلى 3.33 غم/لتر، بينما أدت الزيادة الإضافية في جرعة الخفاف إلى إنخفاض طفيف في كفاءة الإمتزاز إلى حوالي 63.62 ٪ و 64.55٪ على التوالي، بينما إنخفضت سعات الإمتزاز من 27.4 إلى 1.9 كيلو بيكرل/لتر على التوالي. إن الزيادة في جرعة الخفاف (حتى 3.33 غم/لتر) سمحت بمساحة أكبر للإمتزاز، حيث تمت زيادة المواقع النشطة (active sites) لمزيد من التبادل بين معادن الخفاف والنويدات المشعة. بعد الجرعة 3.33 غم/لتر، بقيت كفاءة وقدرة الإمتزاز على الاغلب مستقرة بسبب التفاعلات الأمامية لعمليات الإمتزاز( forward interactions) والتفاعلات العكسية لفك الإرتباط (reverse interactions) للنويدات المشعة، مما جعل جزيئات الخفاف تصل إلى حالة التوازن. لذلك، فإن 3.33 غم/لتر هي جرعة الخفاف المثلى لإمتزاز النويدات المشعة التي تمتلك نشاط

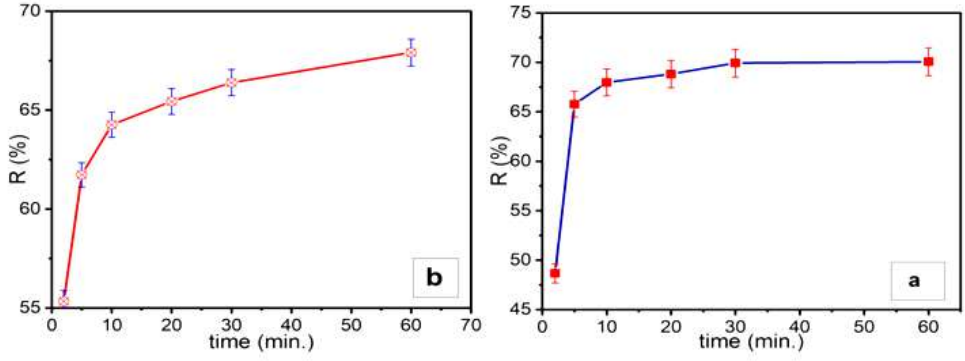
جاما بيتا. لوحظت نتيجة مماثلة لتأثير زيادة جرعة المادة المازة على الملوثات في السوائل، حيث لاحظ (Sambudi) وجماعته أن عملية الإمتزاز تعتمد بشدة على جرعة الممتزات عندما إستخدموا الكاؤلين المعدل لإزالة الميثيلين الأزرق من مياه الصرف.




**الشكل 3: تأثير مقدار جرعة الخفاف على إمتزاز النويدات المشعة (a) باعثات جاما، (b) باعثات بيتا.**

– **تأثير زمن الخلط (Mixing Time):** تم إجراء تأثير زمن الخلط على كفاءة الإزالة بإستخدام جرعة خفاف 3.33 غم/لتر، والدالة الحامضية 5، وسرعة خلط 100 دورة في الدقيقة، ودرجة حرارة الغرفة. يتضح من الشكل 4 أنه مع زيادة زمن الخلط من 2 إلى 60 دقيقة، زادت كفاءة الإمتزاز من 48.67 إلى 70.06٪ لنشاط جاما، ومن 55.33 إلى 67.91٪ لنشاط بيتا. يمكن أن نستنتج أن هناك زيادة سريعة في كفاءة الإمتزاز في الدقائق القليلة الأولى من عمر عملية الإمتزاز، خاصة عندما يزداد زمن الخلط من 2 إلى 5 دقائق. كانت الزيادة في كفاءة الإمتزاز قليلة بعد زمن الخلط 5 دقائق لكلا الملوثين (أي الوصول الى حالة التوازن). في البداية، كان معدل الإمتزاز أعلى لأن جميع المواقع النشطة (active sites) في جزيئات الخفاف كانت غير مشغولة، وكان التركيز مرتفعًا. أدى تطور إمتزاز الملوثات إلى ملئ المواقع النشطة للإمتزاز على جسيمات الخفاف، مما يؤدي في النهاية إلى

ثبوت كفاءة الإمتزاز. يوضح الشكل 4 أن إمتزاز نشاط بيتا وجاما وصل إلى التوازن عند 5 دقائق، حيث كانت معدلات كفاءة الإمتزاز لنشاط بيتا ونشاط جاما 65.77٪ و 61.73٪ على التوالي.




**الشكل 4: تأثير زمن الخلط على كفاءة الإمتزاز للنويدات (a) باعثات جاما و(b) باعثات بيتا.**

## الإستنتاج

وجد أنه من الممكن ازالة النويدات المشعة والتي تحوي على إنبعاثات بيتا وإنبعاثات جاما من خلال إستخدام حجر الخفاف بزمن خلط قليل ومن دون الحاجة إلى قدرة اضافية. أظهر توصيف حجر الخفاف أنه مادة طبيعية. ان السائل المشع كان ملوثاً بدرجة عالية بالنويدات المشعة التي لها نشاط بيتا جاما بينما النويدات المشعة مع بواعث ألفا ضمن المستويات المسموح بها.

**مزهر عبد كاطع**
**مديرية تصفية المنشآت النووية**

**سعد جندي كاظم**
**هيئة الطاقة الذرية العراقية–العراق**

## References


1 L. D. Wesley, "Determination of specific gravity and void ratio of pumice materials," *Geotechnical testing journal*, vol. 24, 2001.

2 M. Rajib, T. Sasaki, T. Kobayashi, Y. Miyauchi, I. Takagi, and H. Moriyama, "Analysis of sorption behavior of cesium and iodide ions on pumice tuff," *Journal of nuclear science and technology*, vol. 48, pp. 950-957, 2011.

3 E. Çiçek, C. Cojocaru, G. Zakrzewska-Trznadel, A. Jaworska, and M. Harasimowicz, "Response surface methodology for cobalt removal from aqueous solutions using Isparta pumice and zeolite 4A adsorbents," *Nukleonika*, vol. 53, pp. 121--128, 2008.

4 R. Akkaya, "Uranium and thorium adsorption from aqueous solution using a novel polyhydroxyethylmethacrylate-pumice composite," *Journal of environmental radioactivity*, vol. 120, pp. 58-63, 2013.

5 B. Ersoy, A. Sariisik, S. Dikmen, and G. Sariisik, "Characterization of acidic pumice and determination of its electrokinetic properties in water," *Powder Technology*, vol. 197, pp. 129-135, 2010.

6 U. A. Guler and M. S. Cebeci, "Potential of pumice modified with iron (III) for copper removal from aqueous solutions," *Environment Protection Engineering*, vol. 43, 2017.

7 H. U. Sidik, "Modification Of Coconut Shells By Polyether Ether Ketone For High-Pressure Adsorption Of Methane And Natural Gas," Universiti Teknologi Malaysia, 2019.

8 N. S. Sambudi, Y. Sithambaran, K. C. Hui, M. W. Nugraha, N. A. Kamal, N. Y. Harun, *et al.*, "Modification of Kaolin with Carbon Quantum Dots as Composite for Methylene Blue Removal: Literature Review and Experiment," *Indonesian Journal of Science and Technology*, vol. 7, pp. 311-336, 2022.

# قائمة مطبوعات الهيئة العربية للطاقة الذرية

| الرقم | عنوان الكتاب | عدد الصفحات | إسم المؤلف | لغة الكتابة | تاريخ الصدور | السعر بالدولار الأمريكي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | الهيئة في أربعة أعوام | 264 | الهيئة العربية | عربية | 1993 | – |
| 2 | وقائع المؤتمر العربي الأول للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 780 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1993 | 20 |
| 3 | إستخدام الاشعاع والنظائر المشعة في الزراعة وعلوم الأحياء | 531 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | 20 |
| 4 | فيزياء وتقانة المفاعلات | 728 | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1993 | 20 |
| 5 | إستخدام الحاسوب في الفيزياء النظرية | 197 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1993 | 10 |
| 6 | تداول ومعالجة النفايات المشعة | مجلدان | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1993 | 20 |
| 7 | الطب النووي تشخيصاً وعلاجاً | 289 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1994 | 15 |
| 8 | طرق إعداد تقريري الأمان الأولي والنهائي لمفاعلات البحوث | مجلدان | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | 20 |
| 9 | إستخدام التقنيات النووية في تحليل المواد | 420 | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1994 | 15 |
| 10 | مصادر الطاقة في الوطن العربي والعالم : الواقع والآفاق المستقبلية | 180 | د. نواف الرومي | عربية | 1994 | 10 |
| 11 | الرادون والتلوث البيئي الإشعاعي | 218 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1994 | 15 |
| 12 | إعداد برامج الرقابة البيئية | 618 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 20 |
| 13 | الإستعداد الطبي للحوادث الإشعاعية والنووية | 652 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 20 |
| 14 | تعقيم وحفظ المواد الغذائية بالإشعاع | 237 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 10 |
| 15 | إنتاج النظائر المشعة واستخداماتها الطبية | 828 | مجموعة مؤلفين | إنجليزية | 1995 | 20 |
| 16 | إستخدام أجهزة الكشف عن الإشعاعات المؤينة ومعايرتها | 435 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | نفد |
| 17 | إستخدام المصادر المشعة في الصناعة | 387 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 15 |
| 18 | أجهزة القياس والإلكترونيات النووية | 469 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 20 |
| 19 | إستخدام التقنيات النووية في تحسين الإنتاج النباتي | 687 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1995 | 20 |
| 20 | وقائع المؤتمر العربي الثاني للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1995 | 30 |
| 21 | النقل الآمن للمواد ذات النشاط الإشعاعي | 374 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1996 | 15 |
| 22 | تكنولوجيا الإشعاع في الأغذية والزراعة | 599 | د. محمود شرباش | عربية | 1996 | 20 |
| 23 | معايير الأمان الأساسية الدولية للوقاية من الإشعاعات المؤينة | 349 | الوكالة الدولية | عربية | 1996 | 15 |
| 24 | الهيئة في أربعة أعوام 93 . 1996 | مجلدان | الهيئة العربية | عربية | 1997 | – |
| 25 | دورة الوقود النووي من الخام حتى الركاز الأصفر | 635 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1997 | 20 |
| 26 | الخامات الذرية في الوطن العربي | 386 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1997 | 15 |
| 27 | تصميم وإنشاء مرافق حفظ النفايات المشعة | 328 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1998 | 15 |
| 28 | الإشعاعات المؤينة وحفظ الغذاء من الحشرات | 143 | أ. د. محمد سعيد هاشم | عربية | 1998 | 10 |
| 29 | وقائع المؤتمر العربي الثالث للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 1998 | 30 |

| الرقم | عنوان الكتاب | عدد الصفحات | إسم المؤلف | لغة الكتابة | تاريخ الصدور | السعر بالدولار الأمريكي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 30 | نظام الضمانات الدولي وأسلوب تطبيقه على المستويين القطري والإقليمي | 392 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1998 | 15 |
| 31 | البرنامج النظري والعملي للتدريب في عمليات التصوير الشعاعي (المستوى الأول) | 243 | مجموعة مؤلفين | عربية | 1999 | 20 |
| 32 | الحفاظ على الحبوب ومشتقاتها بالإشعاعات المؤينة | 130 | د. محفوظ البشير | عربية | 2000 | 15 |
| 33 | الأسس العامة لتكنولوجيا معالجة الأغذية بالإشعاع | 148 | أ. د. علي راضي | عربية | 2000 | 15 |
| 34 | وقائع المؤتمر العربي الرابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 5 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2000 | 40 |
| 35 | نظام الضمانات النووية الدولي "الآفاق والآليات والمشاكل" | 419 | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2000 | 20 |
| 36 | الهيئة في أربعة أعوام 97 ـ 2000 | مجلدان | الهيئة العربية | عربية | 2000 | ـ |
| 37 | البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالأمواج فوق الصوتية (المستوى الأول) | 278 | مجموعة مؤلفين | عربية | 2001 | 20 |
| 38 | البرنامج النظري والعملي للتدريب في الإختبارات بالسوائل النافذة والجسيمات المغنطيسية (المستوى الأول) | 214 | مجموعة مؤلفين | عربية | 2001 | 20 |
| 39 | التقنيات النووية وتقدير الهرمونات | 330 | د. أحمد عصام فكري | عربية | 2002 | 20 |
| 40 | وقائع المؤتمر العربي الخامس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 5 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2002 | نفد |
| 41 | وقائع المؤتمرالعربي السادس للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 4 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2003 | نفد |
| 42 | وقائع المؤتمر العربي السابع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | 3 أجزاء | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2004 | نفد |
| 43 | مستقبل توليد الكهرباء بالطاقة النووية | 56 | أ. د. ضو مصباح<br>أ. د. م. نصر الدين | عربية | 2006 | 10 |
| 44 | وقائع المؤتمر العربي الثامن للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2007 | 10 |
| 45 | النشاط الإشعاعي البيئي من المصادر الطبيعية والصناعية والعسكرية | 816 | (مترجم)<br>أ. د. بهاء الدين معروف | عربية | 2007 | 50 |
| 46 | Research Reactors Types & Utilization | 88 | أ. د. إبراهيم داخلي<br>عبد الرازق | إنجليزية | 2008 | 10 |
| 47 | المفاعلات البحثية : أنواعها واستخداماتها | 88 | (مترجم)<br>م. نهلة نصر | عربية | 2008 | 10 |
| 48 | إستخدام التقنيات النووية والذرية في التحليل العناصري والنظائري | 176 | مجموعة مؤلفين | عربية | 2008 | 20 |
| 49 | الهيئة العربية للطاقة الذرية في ثماني سنوات 2001 . 2008 | 174 | الهيئة العربية | عربية | 2008 | ـ |
| 50 | الأشعة السينية وبعض تطبيقاتها | 190 | أ. د. م. نصر الدين | عربية | 2008 | 20 |

| الرقم | عنوان الكتاب | عدد الصفحات | إسم المؤلف | لغة الكتابة | تاريخ الصدور | السعر بالدولار الأمريكي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | الإستراتيجية العربية للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية حتى العام 2020 | 160 | الهيئة العربية | عربية | 2008 | 20 |
| 52 | وقائع المؤتمر العربي التاسع للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2009 | 10 |
| 53 | توصيات اللجنة الدولية للوقاية من الإشعاع ICRP-105 "الوقاية من الإشعاع في الطب" | 69 | (مترجم) مجموعة خبراء | عربية | 2011 | 10 |
| 54 | الفحص البصري للملحومات . المستوى الثاني | 352 | أ. د. محمود أحمد شافعي | عربية | 2011 | 25 |
| 55 | الأشعة غير المؤينة : طبيعتها والوقاية من مخاطرها | 60 | (مترجم) مجموعة خبراء | عربية | 2011 | 10 |
| 56 | وقائع المؤتمر العربي العاشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2011 | 10 |
| 57 | أسئلة امتحان التأهيل للإختبارات اللاّإتلافية وعلم المواد . المستوى الأول | 178 | أ. د. حسن إبراهيم شعبان<br>أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش | عربية | 2013 | 20 |
| 58 | البرنامج النظري والعملي في الإختبارات اللاّإتلافية بالتيارات الدوامية ـ المستوى الأول | 248 | أ. د. حسن إبراهيم شعبان<br>أ. د. جمال محمد عاشور الدرويش | عربية | 2014 | 20 |
| 59 | وقائع المؤتمر العربي الحادي عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2015 | 20 |
| 60 | وقائع المؤتمر العربي الثاني عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2015 | 20 |
| 61 | وقائع المؤتمر العربي الثالث عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2017 | 20 |
| 62 | وقائع المؤتمر العربي الرابع عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص مدمج (CD) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2019 | 20 |
| 63 | وقائع المؤتمر العربي الخامس عشر للإستخدامات السلمية للطاقة الذرية | قرص ذاكرة (Flash) | مجموعة مؤلفين | عربية وإنجليزية | 2022 | 20 |
| 64 | التحليل بالتنشيط النتروني ومطيافية أشعة جاما | 454 | أ.د إبراهيم أبوقصة | عربية | 2022 | 30 |

للحصول على المطبوعات المذكورة يرجى مخاطبة الهيئة العربية للطاقة الذرية على العنوان أدناه وإرفاق شيك بإسم الهيئة بمبلغ المطبوعة يضاف إليه قيمة البريد الجوي عن كل نسخة حسب الوزن. عنوان المراسلة : الهيئة العربية للطاقة الذرية نهج المؤازرة حي الخضراء . تونس . الجمهورية التونسية . هاتف : 71.808.400 . فاكس : 71.808.450 . البريد الإلكتروني: aaea_org@yahoo.com و aaea@aaea.org.tn

أو إجراء تحويل بالمبلغ إلى حساب الهيئة العربية للطاقة الذرية لدى الشركة التونسية للبنك – (STB) الفرع المركزي، نهج الهادي نويرة – تونس، مع إخطار الهيئة بالفاكس بصورة من مستندات التحويل.

**رقم الحساب:** 840-3-4173-90-100 10 404 // **IBAN:** TN 59 1040 4100 9041 7338 4007

**BIC:** STBKTNTTXXX

# دعوة للعلماء والإختصاصيين العرب

ندعوكم لإرسال مقالات علمية مبسّطة مؤلفة أو مترجمة في مجالات العلوم النووية والاستخدامات السلمية للطاقة الذرية حسب القواعد التالية :

1 ـ تكون المقالات موجهة لزيادة تعريف أبناء الوطن العربي بأساسيات العلوم والتقنيات النووية واستخداماتها في مختلف المجالات التطبيقية .

2 ـ يكتب ملخص باللغة الإنجليزية السليمة في بداية المقالة على ألاّ يتجاوز عدد كلماته 200 كلمة، وتضاف قائمة بالمراجع في نهاية المقالة على ألاّ تزيد على 5 مراجع .

3 ـ صياغة المقالات تكون باللغة العربية الفصحى، على أن تكون المصطلحات العلمية المتضمنة مطابقة لما ورد في المعاجم الموحدة لمصطلحات الفيزياء العامة والنووية والكيمياء والبيولوجيا الصادرة عن مكتب تنسيق التعريب بالمنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم (الألكسو) .

4 ـ مراعاة تجنّب التفاصيل العلمية الدقيقة أو الإستنتاجات الرياضية المعقدة التي تفوق مستوى القارىء غير المتخصص باعتباره القارىء المفضل لنشرة الذرة والتنمية .

5 ـ يجب أن تكون الموضوعات المطروحة لم تسبق معالجتها بشكل مشابه في الأعداد السابقة وملائمة لأغراض النشرة ومتوافقة مع سياسة النشر بها ولا تتضمّن أية إشارات سياسية أو خصوصيات أمنية لأي من الدول العربية.

6 ـ يشترط في المقالات المترجمة أن تكون مرفقة بالأصل الذي ترجمت منه، علماً بأنه عند نشر المقالات المترجمة في نشرتنا يشار إلى إسم صاحب المؤلف الأصلي بالإضافة إلى ذكر اسم الوثيقة المنشور فيها سابقاً مع تحديد العدد وتاريخ النشر .

7 ـ يمكن للسادة المؤلفين أو المترجمين إرسال استفساراتهم بشأن المواضيع التي يرغبون في تقديمها للنشرة للحصول على رأي لجنة التحرير قبل إرسالها للنشر.

ISSN : 0330-7123