

Measuring of Radioactivity Resulting from the Isotopes of Potassium ^{40}K and Cesium ^{137}Cs of Seawater Samples from the Blue Beach Resort in the Mediterranean, Syria

Dr. Haisam Ibrahim Jbeli*
Ekhllass AbdulKarim Abboud**

(Received 18 / 12 / 2023. Accepted 11 / 6 / 2024)

□ ABSTRACT □

In this work, Seawater samples from the Blue Beach Resort were concentrated by evaporation by direct exposure to sunlight. The initial volume of samples in which, after concentration, potassium ^{40}K radioactivity was measured, was (4L) or greater. The energy of the gamma spectrometer used was calibrated using point sources, and the efficiency was calibrated using standard sources. It has been demonstrated, under certain conditions, that a point source can be used to calibrate efficiency. The validity of the gamma spectrometer used was also tested by comparing its parameters at the date of measurement with its parameters at the date of previous measurements. The potassium ^{40}K activity, measured in sea waters from the Mediterranean Blue Beach Resort, Syria, is at a low level compared to other water areas globally. As for the activity of cesium ^{137}Cs , it was, in this study, not detected (N.D).

Keywords: blue beach, potassium ^{40}K , gamma spectrometer, seawater, radioactivity.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Tishreen University, Lattakia, Syria.

** Postgraduate student (Master's) - Department of Marine Physics - Higher Institute for Marine Research - Tishreen University, Lattakia - Syria. EkhllassabdulKarimabboud@gmail.com

قياس النشاط الإشعاعي الناتج عن نظيري البوتاسيوم ^{40}K والسيزيوم ^{137}Cs لعينات مياه بحرية من منتج الشاطئ الأزرق من مياه البحر المتوسط، سورية

د. هيثم إبراهيم جبيلي*

إخلاص عبد الكريم عبود**

(تاريخ الإيداع 18 / 12 / 2023. قُبِلَ للنشر في 11 / 6 / 2024)

□ ملخص □

تم في هذا العمل تركيز عينات بحرية من منتج الشاطئ الأزرق عن طريق التبخر بالتعريض المباشر لإشعاع الشمس. كان الحجم الأولي للعينات التي تم فيها، بعد التركيز، قياس النشاط الإشعاعي للبوتاسيوم ^{40}K ، (4L) أو أكبر. تمت معايرة الطاقة لمطياف جاما المستعمل، باستخدام منابع نقطية، و تمت معايرة الكفاءة باستخدام منابع معيارية. وتم إثبات، ضمن شروط معينة، أنه يمكن استخدام منابعاً نقطياً لمعايرة الكفاءة. كما تم اختبار صلاحية مطياف جاما المستعمل بمقارنته معاملات عند تاريخ القياس مع معاملاته عند تاريخ قياسات سابقة. إن نشاط البوتاسيوم ^{40}K ، الذي تم قياسه في المياه البحرية من منتج الشاطئ الأزرق من البحر المتوسط، سورية، هو عند مستوى منخفض مقارنة بمناطق المياه الأخرى على مستوى العالم. أما بالنسبة لنشاط السيزيوم ^{137}Cs فكان، في دراستنا هذه، غير قابل للكشف (N.D).

الكلمات المفتاحية: الشاطئ الأزرق، البوتاسيوم ^{40}K ، مطياف جاما، مياه بحرية، النشاط الإشعاعي.



حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص

CC BY-NC-SA 04

* أستاذ - قسم الفيزياء - كلية العلوم - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

** طالبة دراسات عليا (ماجستير). قسم الفيزياء البحرية - المعهد العالي للبحوث البحرية - جامعة تشرين، اللاذقية - سورية.

EkhlassabdulKarimabboud@gmail.com

مقدمة:

على مدى العقود الماضية، تسببت الأنشطة البشرية في درجات متفاوتة من التلوث الإشعاعي في البحار والمحيطات في جميع أنحاء العالم. ويعود هذا التلوث في المقام الأول إلى إطلاق النظائر المشعة البشرية المنشأ في المحيطات، وخاصة من إلقاء النفايات المشعة، والتصريف الساحلي من المنشآت النووية، والحوادث التي تنطوي على السفن التي تعمل بالطاقة النووية، والترسب السطحي للغبار المتساقط من تجارب الأسلحة النووية، وحادثة تشيرنوبيل وفوكوشيما. وقد أدت هذه الأنشطة إلى زيادة النشاط الإشعاعي في البيئة البحرية. ومن المطلوب فهم شامل لمستويات النظائر المشعة في المحيطات لإجراء تقييم موثوق لصحة النظام البيئي. علاوة على ذلك، ستوفر المعلومات التي يتم الحصول عليها أساساً حاسماً لتقييم الإطلاق العرضي للإشعاع من محطات الطاقة النووية والتخلص من النفايات النووية من مرافق إعادة المعالجة النووية [1].

يعد السيزيوم ^{137}Cs ، بعمر نصف ($T= 30.17 \text{ y}$)، من بين أهم النظائر المشعة الخطرة المشاركة في التلوث الإشعاعي للإنسان والبيئة. الـ ^{137}Cs ، باعتباره واحداً من أكثر من 30 نظيراً، هو ناتج عن انشطار الـ ^{235}U . النظر ^{137}Cs قابل للذوبان في الماء، ولديه قدرة عالية على الحركة ويمكن استبداله بين الطبقات المختلفة في البيئة البحرية [2]. علاوة على ذلك، فقد تمت دراسته على نطاق واسع نظراً لأنه يمكن كشفه من خلال قياس طيف أشعة جاما، و يتوافق وجوده مع مصادر حدوث معروفة (مثل الحوادث النووية واختبارات الأسلحة، والإطلاق التشغيلي لمحطات الطاقة).

أدى حادث محطة تشيرنوبيل للطاقة النووية (ChNPP) Chernobyl Nuclear Power Plant إلى انبعاثات مشعة كبيرة في البيئة. في نهاية القرن العشرين، وصلت مخزونات الـ ^{137}Cs في التربة، داخل منطقة تشيرنوبيل، إلى مستويات أكبر من 37MBq.m^{-2} [2]. بالإضافة إلى ذلك، تم نقل الـ ^{137}Cs المشع من تجمعات المياه إلى المصب كمواد معلقة وتم تخزينه في أحواض الأنهار. ثم نُقل الـ ^{137}Cs بعد ترسبه في التربة عبر الأنهار إلى البحر الأسود. ومن البحر الأسود إلى بحر إيجه الذي يشكل الجزء الشمالي الشرقي من البحر الأبيض المتوسط، وبالتالي انتقل إلى شواطئ بلاد الشام (ومن هذه الشواطئ منتجع الشاطئ الأزرق).

يحتوي البوتاسيوم، وهو العنصر الضروري للأنواع الحية، على ثلاثة نظائر طبيعية { ^{39}K (93.2581%) ، ^{40}K (0.0117%) و ^{41}K (6.7302%.6) } حيث ^{40}K فقط مشع ويمكن أن يدخل الجسم عن طريق شرب الماء وتناول الطعام أو تنفس الهواء. إن إشعاع جاما القوي المرتبط بعملية الأسر الإلكتروني لـ ^{40}K يجعل التعرض الخارجي لهذا النظير مهماً، وله مخاطر صحية بالغة، مع القدرة العامة لتحريض السرطان لاحقاً، مرتبطة بتلف الخلايا الناجم عن هذا الإشعاع المؤين [3].

إن تأثير التعرض للإشعاع الناتج عن تفكك النظائر المشعة الطبيعية على أنشطة الإنسان خارجياً وداخلياً على المدى الطويل يمكن أن يسبب مشاكل صحية مختلفة، مثل نقص الكريات البيض الحاد، وفقر الدم، وسرطان الدم، ونخر الفم، وكسور الأسنان، وإعتام عدسة العين، وكذلك الرئة، والكبد، والبنكرياس، وسرطان الكبد، كما يؤثر على العظام، والكلية [4]. لذلك فالهدف الرئيس لهذا البحث هو تقييم النشاط الإشعاعي، للنظير الطبيعي ^{40}K و للناتج الانشطاري ^{137}Cs ، في عينات مياه منتجع الشاطئ الأزرق من البحر المتوسط، سورية.

أهمية البحث وأهدافه:

الهدف من هذه البحث هو المساهمة في دراسات تحديد النشاط الإشعاعي، للنظيرين المشعّين البوتاسيوم ^{40}K و السيزيوم ^{137}Cs عن طريق التحليل الطيفي لأشعة جاما في مياه منتجع الشاطئ الأزرق من مياه البحر المتوسط، سورية. ويهدف أيضاً هذا العمل إلى تقييم ومقارنة النتائج مع القيم المتوسطة الواردة في الدراسات المنفذة في أجزاء مختلفة من العالم.

طرائق البحث ومواده:

1. منطقة الدراسة والعمل الميداني Study Area and Field Work

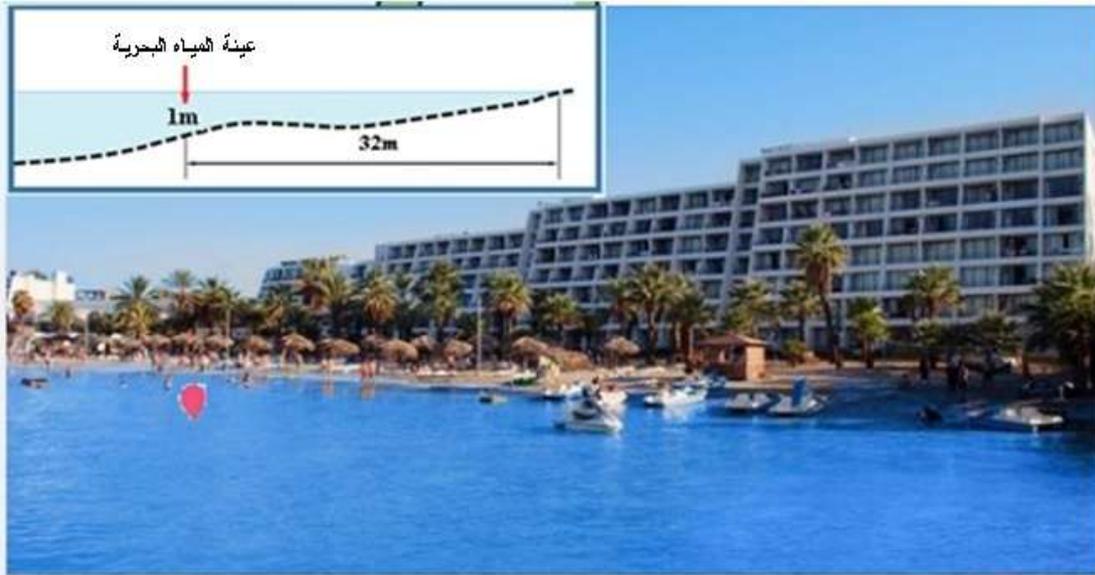
يقع منتجع الشاطئ الأزرق من البحر الأبيض المتوسط، سورية، شمال مدينة اللاذقية، وعلى الشاطئ الغربي لمحافظة اللاذقية، الشكل(1). ويمثل منتجع الشاطئ الأزرق، الذي يتردد إليه عامة الناس، مشروعاً سياحياً منجزاً بالإضافة لمشاريع أخرى تقع إلى شرقه وغربه، بالإضافة إلى مركز البحوث البحرية (انظر الشكل 2). تم أخذ عينات مياه بحرية من منتجع الشاطئ الأزرق من مياه البحر المتوسط، سورية، الشكل(3)، في 5 أيلول/سبتمبر 2023 بحجم حوالي 42L (42 ليتراً). وتم جمع العينات في المنطقة الساحلية لمنتجع الشاطئ الأزرق على بعد 32m من خط الساحل (الشكل 3) وعلى عمق 1m تقريباً بوجود أمواج طفيفة، ارتفاعها حوالي 6cm، (كما سيتم توضيح ذلك لاحقاً) و عكارة منخفضة (حيث ليست أعلى كثيراً من عكارة ماء الشرب)، و يبين ذلك القياسات التالية.



الشكل(1): موقع منتجع الشاطئ الأزرق من البحر الأبيض المتوسط، محافظة اللاذقية، سورية.



الشكل(2): موقع منتجع الشاطئ الأزرق بالنسبة للمشاريع السياحية الأخرى.



الشكل(3): مكان أخذ العينة (النقطة الحمراء على الصورة: $35^{\circ} 35' 21.4'' N$ $35^{\circ} 44' 45.8'' E$) من مياه البحر في منتجع الشاطئ الأزرق عند أمواج يبلغ ارتفاعها حوالي 6cm. ويوضح هذا الشكل (الزاوية العلوية على اليسار) أن العينة المأخوذة، على مسافة 32m من خط الساحل وعلى ارتفاع 1m من قاع الماء.

إن السرعة العالية و الارتفاع العالي للأمواج يؤديان لاصطدام مياه المنتجع بقوة مع الشاطئ الرملي للمنتجع. وهذا يؤدي إلى عكارة مرتفعة لمياه المنتجع، وخاصة ما يكون منها على ارتفاع 1m. إن العكارة العالية تؤثر (بوساطة الامتصاص والتشتت) على شدة الإشعاع الصادر عن نظيري البوتاسيوم ^{40}K والسيزيوم ^{137}Cs الموجودين في المياه البحرية العكرة.

لمعرفة ارتفاع الأمواج قمنا بقياس متوسط سرعة الرياح باستخدام مقياس تايلور TAYLOR ANEMOMETER ، الشكل(4)، الموجود في المعهد العالي للبحوث البحرية. ولإجراء القياس نوجه المقياس باتجاه الرياح بحيث يدور ريش، وبالتالي مؤشرات، المقياس باتجاه يمين المستخدم. ولأخذ القياس نضع الجهاز في حالة العمل بوضع مؤشر العمل على

الوضع on، ثم نسجل نتيجة القياس بعد مرور دقيقة على بدء القياس بوضع مؤشر العمل على الوضع off. نعيد القياس عدة مرات، حيث زمن قياس كل مرة دقيقة، ونأخذ متوسط مرات القياس فنحصل على متوسط سرعة الرياح مقدرة بال feet/min، وللتحويل إلى m/s فإن 1feet = 0.3048m و 1min=60s. كان متوسط سرعة الرياح المقاسة في منتجع الشاطئ الأزرق، حوالي الساعة العاشرة صباحاً من يوم 5 أيلول/سبتمبر 2023، يساوي: $v = 0.95m/s$ ، وهي سرعة



الشكل(4): مقياس تايلور. المؤشر ضمن الدائرة على اليمين يقيس سرعة الرياح بالقدم feet،

حيث يمثل كل تدريج ألف قدم، بينما كل تدريج في الدائرة على اليسار يمثل مائة قدم.

خفيفة. ويُعطى ارتفاع الموجة بدلالة سرعة الرياح بالمعادلة [5]:

$$H = 0.0016v^2 + 0.0275v$$

حيث تُقدر سرعة الرياح بالعقدة knot، و $1knot = 0.51 m/s$ [5]، وبالتالي فإن متوسط سرعة الرياح

$$v = 0.95m/s = 1.86knot$$

و يتم تبديل قيمة v في المعادلة السابقة نجد: $H \approx 6cm$.

وقمنا بقياس عكارة مياه منتجع الشاطئ الأزرق باستخدام مقياس العكارة MI415 Turbidity Meter، الموجود في المعهد العالي للبحوث البحرية، وقارنا مع نتيجة القياس لعكارة الماء المقطر وماء الشرب، فحصلنا على النتيجة، مقدرة بوحدة العكارة (FNU) Formazin Nephelometric Unit، والمبينة في الجدول (1). وهكذا يمكن القول إن تأثير عكارة مياه المنتج على نشاط النظائر المدروسة مهم.

الجدول(1): مقارنة عكارة مياه منتجج الشاطئ الأزرق مع عكارة الماء المقطر وماء الشرب.

نوع الماء	الماء المقطر	ماء الشرب	مياه المنتجج
العكارة (FNU)	0	0.65	1.17

2. الإعداد المسبق للعينة Sample Pretreatment

إن كل كيلوغرام من ماء البحر (ما يقرب من لتر واحد من حيث الحجم) يحتوي على 35g من الأملاح الذائبة. وتبلغ كثافة ماء البحر 1.025kg/L في المتوسط، وهي كثافة أعلى قليلاً من كثافة الماء العذب والماء النقي 1kg/L وذلك لأن الأملاح الذائبة تزيد من كتلة الماء دون أن تُحدث تغيير ذو شأن في حجمه. ولذلك يمكن أن يُعبر بدلاً عن وحدة قياس النشاط الإشعاعي لمياه البحر Bq/L بـ Bq/kg [3]. إن قياس الملوحة، في هذا البحث ليس مطلوباً، لأن قياس الملوحة ودرجة الحرارة يتم عند أخذ عينات بعيدة عن الشاطئ وأعماق تصل إلى (2km)؛ حيث تُستخدم مخططات درجة الحرارة والملوحة (مخططات T/S) لتحديد الكتل المائية عن طريق رسم درجة الحرارة المحتملة مقابل الملوحة [2]. يتطلب تحليل عينات المياه، باستخدام مطياف جاما، التركيز المسبق للعينة من أجل تحديد محتوى النظائر المشعة منخفضة المستوى [6]. ويُستخدم التركيز الكيميائي باستخدام التحليل الطيفي لأشعة جاما، في عينات مياه البحر. ولقياس نشاط الـ ^{137}Cs ، تم تطبيق إجراء تركيز مسبق كيميائي مناسب في المختبر [2]. كما يستخدم التركيز بالتبخير، حيث تم تركيز عينات مياه البحر مباشرة عن طريق التبخير، وكان الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف minimum detectable activity (MDA) أعلى نسبياً من ذلك المحدد باستخدام الطريقة الكيميائية الإشعاعية [1].

لأسباب أعلاه، اعتمدنا تركيز عينات مياه منتجج الشاطئ الأزرق مباشرة عن طريق التبخير. فتم تقسيم عينة من مياه منتجج الشاطئ الأزرق حجم 21L إلى حجوم أصغر، 1L، 2L،...، 6L، فحصلنا على العينات المبينة في الجدول (2). وقد تم توزيع العينة S2 في وعائين بلاستيكيين سعة كلٌّ منهما 2L حيث تم وضع 1L في كل وعاء من الوعائين السابقين كما هو مبين في الشكل (5). وبالمثل وزعت العينة S3 في ثلاثة أوعية بلاستيكية، وهكذا بالنسبة للعينات الأخرى.

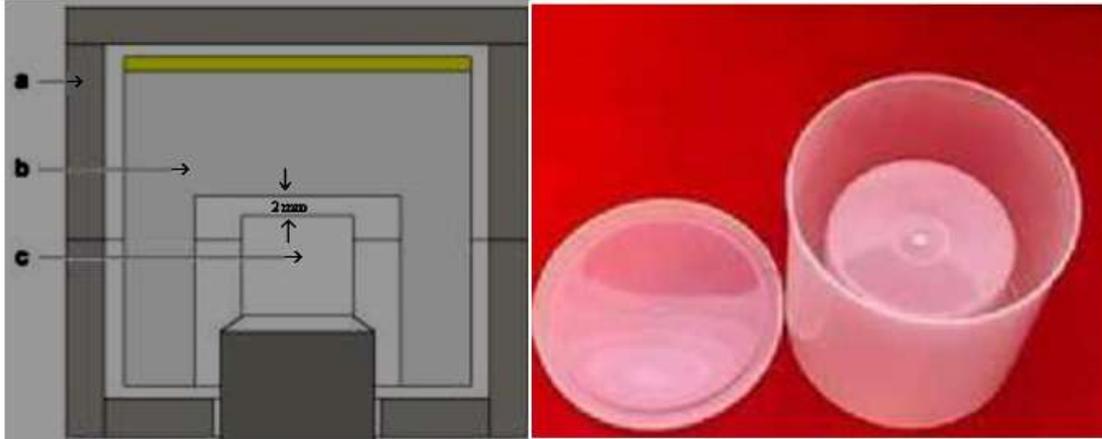
الجدول(2): يبين توزيع مياه منتجج الشاطئ الأزرق حجم 21L إلى 6 عينات بأحجام متزايدة.

العينة	S1	S2	S3	S4	S5	S6
حجم العينة	1L	2L	3L	4L	5L	6L



الشكل(5): يبين العينة S2 معرّضة للتبخير بواسطة إشعاع الشمس.

لم تُعرض العينة S1 للتركيز بالتبخر، إنما وُضعت مباشرة في وعاء مارينيللي، الشكل (6) [7,8]، الذي يتسع لحجم 1L من السائل. ثم وُضع وعاء مارينيللي الذي يحوي العينة S1 في مكانه من مطياف جاما، كما في الشكل (6)، للتحليل بتاريخ جمع العينات 5 أيلول/سبتمبر 2023.



الشكل (6): من اليمين، وعاء مارينيللي [7]. من اليسار، يبين ترتيب الكاشف الومضاني مع وعاء مارينيللي: (a) درع من الرصاص، (b) وعاء مارينيللي مع عينة، (c) الكاشف الومضاني [8]. ونشير إلى أن البعد العامودي بين الكاشف ووعاء مارينيللي 2mm.

أما بقية العينات (S2 حتى S6) فقد عُرضت للتركيز بالتبخر بواسطة إشعاع الشمس بوضعها على سطح بناءٍ ذي فسحة سماوية مناسبة، يقع جانبَ مخبر الفيزياء الإشعاعية في كلية العلوم بجامعة تشرين وذلك بتاريخ جمع العينات المذكور سابقاً. وننوه إلى أننا وزعنا العينات المعرضة للتبخر، في أوعية بلاستيكية (حتى منتصف كل وعاء) بالطريقة المنوه عنها، للتقليل من تأثير جزيئات الهواء على العينات ولتسريع التبخر.

وقد تم اختيار تاريخ 5 أيلول/سبتمبر 2023، للتركيز بالتبخر بواسطة إشعاع الشمس، لأنه نهاية فصل الصيف، وهو قريب من الاعتدال الخريفي (الذي يبدأ في 21 أيلول/سبتمبر من كل عام) حيث يتساوى تقريباً طول الليل مع طول النهار و تكون أشعة الشمس شبه عمودية على سطح الأرض.

وباستخدام الجوال المحمول حصلنا على توقعات الطقس في مكان تركيز العينات، حيث أعطت طقساً مناسباً وحركة رياح خفيفة وجواً صحواً، بالنسبة للأمطار (خلال فترة التركيز)، ما عدا ليلاً واحداً، فتمت خلاله تغطية كل عينة (S2 حتى S6) بغطاء من النايلون النظيف والشفاف، وتم نزعه في صباح اليوم التالي.

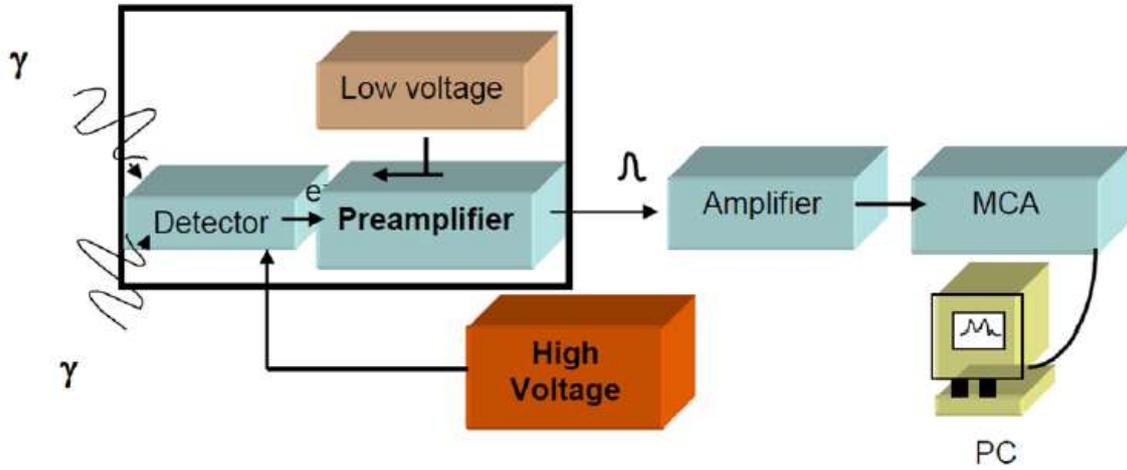
فلما وصلت العينة S2 إلى الحجم المطلوب (1L) والمحدد مسبقاً (أي نصف ليتر 1L/2 لكل وعاء بلاستيكي)، تم وضعها في وعاء مارينيللي لتوضع مباشرة في مطياف جاما للتحليل. ووضوحاً، فإن العينات الأخرى تحتاج لزمان أطول للوصول إلى الحجم المطلوب (1L) مع ازدياد الحجم الأولي لكل عينة والمبين في الجدول (2). ولما وصلت كل عينة، من العينات الأخرى، للحجم المطلوب تم تحليلها مباشرة بواسطة مطياف جاما.

ونوضح أنه عند الوصول للحجم المطلوب لكل عينة ونقل العينة إلى وعاء مارينيللي، لاحظنا ترسب ملح في الأوعية البلاستيكية. جمعنا هذا الملح من كل الأوعية فحصلنا على عينة من الملح كتلتها 15g، نرمز لها بـ S7. قمنا بتحليل هذه العينة بوضعها على قطعة نايلون شفاف، مثبتة على فتحة وعاء مارينيللي، بحيث مركز القطعة يلامس سطح الوعاء المقابل للكاشف (انظر الشكل 6). وكما سنبين، فإن هذه العينة لن تؤثر على قيمة النشاط الإشعاعي للعينات المركزة.

ونبين أن تركيز العينة S1 بالتبخير ليصبح حجمها 1L/2 لن يكون مفيداً، لأنها في النهاية ستوضع في وعاء مارينيللي الذي يتسع لحجم 1L. فعند تحليلها ستتملأ الوعاء السابق إلى النصف مما يقلل احتمال التأثير المتبادل بين إشعاع النظائر والكاشف، هذا بالإضافة إلى أن عدد النظائر المشعة في هذه العينة لن يزداد. كما نبين أن تركيز عينات بحجم أكبر من حجم العينة S6 سيزيد زمن بقاء العينة في الأوعية البلاستيكية مما يزيد احتمال انتقال النظائر المشعة إلى جدرانها [9,2]، حيث تميل النظائر المشعة للالتصاق بجدران الوعاء. ولذلك أوقفنا التركيز عند الحجم الأولي للعينة S6.

3. مطياف أشعة جاما gamma-ray spectrometer

يبين الشكل (7) مخططاً مبسطاً لمطياف أشعة جاما المستخدم في القياس، والموجود في مخبر الفيزياء الإشعاعية في قسم الفيزياء من كلية العلوم بجامعة تشرين. أما العينة التي تصدر أشعة جاما فهي موضوعة في وعاء مارينيللي الذي



يحيط بالكاشف كما هو موضح في الشكل (6).

الشكل (7): مخطط مبسط للمطياف المستخدم في القياس.

كاشف Detector، جهد عالي High Voltage، مضخم أولي Preamplifier،

جهد منخفض Low Voltage، مضخم Amplifier، محلل متعدد

الأقنية Multichannel Analyzer (MCA)، حاسوب شخصي (PC).

يتألف هذا المطياف، الذي هو من صنع شركة Leybold، بشكل رئيسي من:
 - كاشف يوديد الصوديوم المُنشط بالتاليوم $NaI(Tl)$ ، قطر البلورة 3.81cm وسماكتها 5.1cm. ويتميز الكاشف السابق، عن كواشف الجرمانيوم عالية النقاوة (HPGe)، بأنه يعمل في درجة حرارة الغرفة.
 - محلل متعدد الأقنية، يتكون بشكل رئيسي من ذاكرة ذات مواقع تخزين مقدارها يساوي عدد قنوات المحلل (في حالتنا عدد القنوات 512 قناة)، حيث هذه القنوات مُرقمة من (0-512)، ويتم تخزين الحوادث (النبضات) في هذه القنوات بحسب طاقة كل حادثة.

- حاسب مزود ببرنامج (Cassylab) الذي يسمح بالتمثيل البياني لعدد الحوادث (النبضات) بتابعية رقم القناة. وهذا يسمح باستنتاج رقم القناة المرافقة لطاقة المنبع المعلوم المستخدم، وبهذه الطريقة يمكننا رسم مستقيم المعايرة، ثم استنتاج طاقة المنبع المجهول.

طبّقنا في عملنا هذا، على الكاشف $NaI(Tl)$ ، الجهد 600V لأنه الأفضل لدراسة نشاط نظير البوتاسيوم ^{40}K [10].

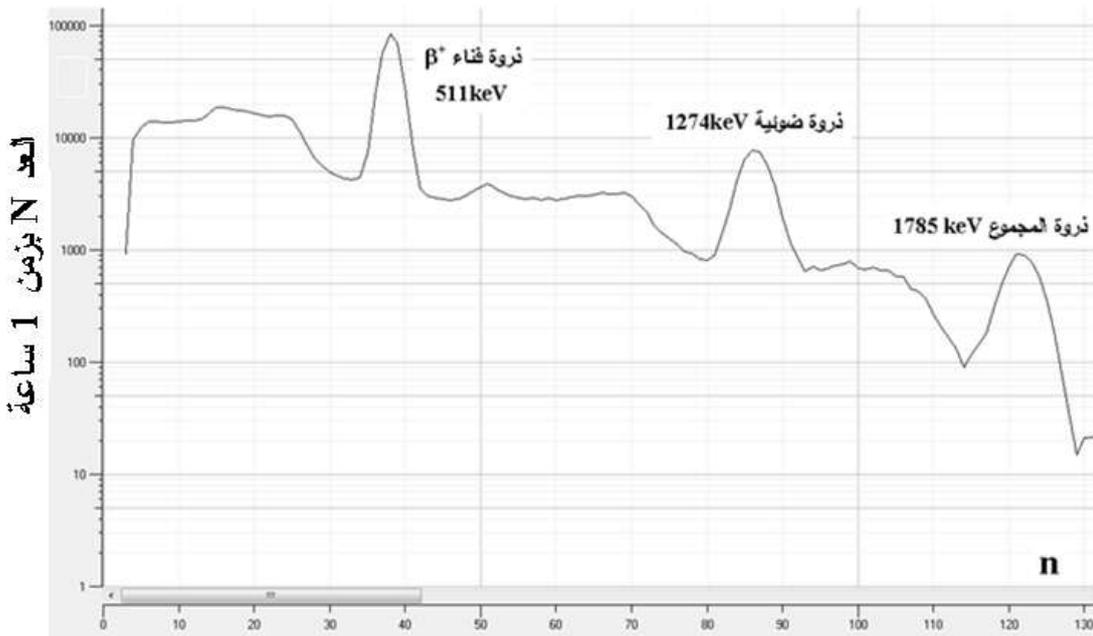
4. معايرة مطياف جاما Gamma spectrometer calibration

تتألف معايرة مطياف جاما من معايرتين: معايرة للطاقة ومعايرة للكفاءة. تمت معايرة مطياف جاما للطاقة بتسجيل أطياف المنابع النقطية: ^{60}Co , ^{22}Na , ^{137}Cs , ^{241}Am خلال زمن لكل منها يساوي $1hr = 3600s$ ، بالإضافة للشروط المشار إليها سابقاً. وبالإضافة لمعايرة الطاقة تم حساب مقدرة الفصل للكاشف باستخدام طيف المنبع النقطي الـ ^{137}Cs . ولمعايرة الكفاءة استخدمنا المنبع النقطي الـ ^{137}Cs بالإضافة لمنبعين لا نقطيين: منبع لا نقطي معياري ^{40}K (KCl) عبارة عن كلوريد البوتاسيوم KCl ، بكتلة 1kg، موضوعاً في وعاء مارينيللي، ومنبع لا نقطي معياري ^{40}K (KCl) عبارة عن للمنابع المشعة المستخدمة من خلال تحديد تأثيرات الهندسة وإشعاع الخلفية.

ونوضح أن جميع المنابع المستخدمة في هذا العمل مصنعة من قبل شركة Leybold.

1.4 - معايرة الطاقة Energy calibration

يبين الشكل (8)، مثلاً لأحد الأطياف المستخدمة لمعايرة الطاقة، مؤلف من ثلاث ذرى صادرة عن المنبع النقطي المشع ^{22}Na : ذروة فناء جسيم β^+ ، حيث يصدر عن الإفناء فوتونات جاما بطاقة (511keV)، والذروة الضوئية 1274 keV الناتجة عن تفكك الحالة المثارة للنظير $^{22}Ne^*$ الذي ينتج عن تفكك ^{22}Na بإصدار جسيم β^+ . وتنتج ذروة المجموع (الذروة المضاعفة) عن وصول متزامن لفوتونين (أحدهما من الإفناء والآخر من الحالة المثارة)، خلال زمن فصل الكاشف، إلى الكاشف. ويبين الجدول (3) طاقات الذرى الضوئية، للمنابع المشعة المستخدمة، مع أرقام القنوات الموافقة.



الشكل (8): يبين طيف المنبع المشع ^{22}Na المستخدم لمعايرة الطاقة.

الجدول(3): يبين طاقات الذرى الضوئية للمنباع المشعة المستخدمة مع أرقام القنوات الموافقة.

رقم القناة n	E(keV)	المنبع المشع
4	59.5	²⁴¹ Am
38	511	²² Na
86	1274	
121	511+1274=1785	
48	662	¹³⁷ Cs
80	1173	⁶⁰ Co
90	1332	
169	1173+1332=2505	

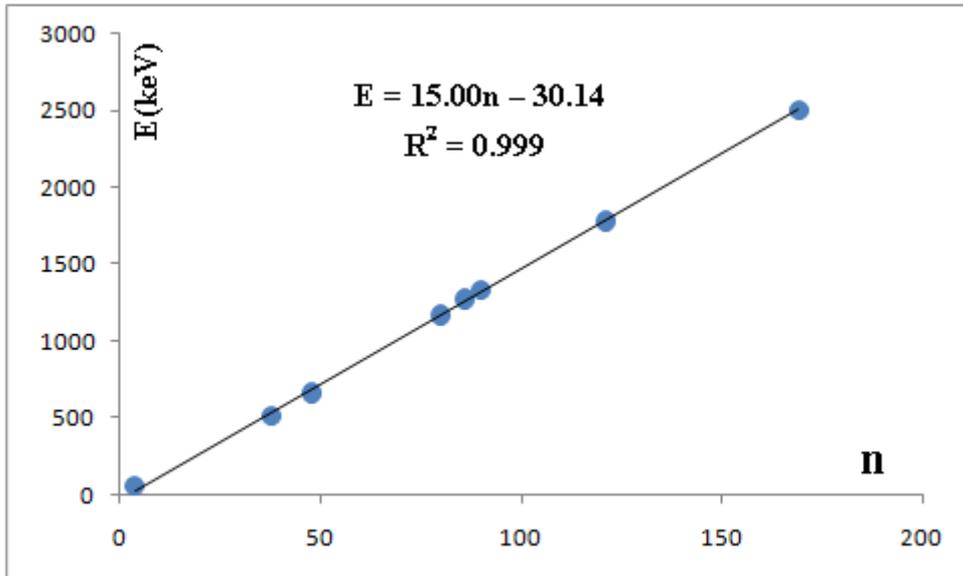
يبين الشكل(9) تغيرات التابع $E = f(n)$ ، حيث حصلنا على مستقيم معايرة الطاقة المعطى بالمعادلة:

$$E = 15.00n - 30.14 \quad (1)$$

مع معامل ترابط $R^2 = 0.999$. وبمقارنة معامل الترابط السابق مع معامل الترابط المحسوب لنفس المطياف، عام

2014 [11]، نجد أنهما متساويان (والتطابق تام).

وتم قياس مقدرة الفصل R من أجل المسافة (d = 2cm) بين المنبع النقطة المشع ¹³⁷Cs



الشكل(9): يبين مستقيم معايرة الطاقة للمطياف مع عامل ترابط $R^2 = 0.999$.

والكاشف والتي تُعطى بالعلاقة الآتية (بتابعية رقم القناة n):

$$R = \frac{FWHM}{n} \times 100 = \frac{n_2 - n_1}{2} \times 100$$

حيث $FWHM$ عرض الذروة عند منتصف أعظم قيمة. من أجل المنبع المشع الـ ¹³⁷Cs ومن أجل المسافة (d = 2cm) ، وجدنا:

$$R = \frac{n_2 - n_1}{n} \times 100 = \frac{50 - 46}{48} \times 100 = 8.33\%$$

وذلك عند الطاقة 662 keV ورقم القناة $n = 48$ ، للمنبع المشع الـ ^{137}Cs ، والمبينتان في الجدول (3). وبمقارنة مقدرة الفصل السابقة مع مقدرة الفصل المحسوبة لنفس المطياف، عام 2014 [11]، والتي تساوي $R = 6.61\%$ (من أجل المنبع المشع الـ ^{137}Cs و المسافة $d = 2\text{cm}$)، يمكن أن نقول إن القيمة المحسوبة في هذا العمل قريبة من تلك المحسوبة في عام 2014، وذلك بالنظر للخطأ المرتكب في تحديد كل من n, n_1, n_2 على الطيف.

2.4. معايرة الكفاءة Efficiency calibration

كما أشرنا، فقد استخدمنا لمعايرة الكفاءة منبعاً نقطياً هو الـ ^{137}Cs (مع مسافة عن الكاشف تساوي $d = 0.2\text{cm}$ والتي تساوي البعد العمودي للمنبع اللا نقطي عن الكاشف، انظر الشكل 6) ومنبعين لا نقطيين معياريين هما: ^{137}Cs LO عبارة عن عينة كتلتها 1kg موضوعة في وعاء مارينيلي، و البوتاسيوم ^{40}K (KCl) عبارة عن كلوريد البوتاسيوم KCl، بكتلة 1kg، موضعاً في وعاء مارينيلي. ونبين في الجدول (4) الخصائص النووية لهذه المنابع المشعة. ونوضح أن نسبة التفرع f تمثل احتمال إصدار إشعاع جاما، عند الطاقة E ، الوارد من المنبع المشع. ونبين أننا، لحساب النشاط الإشعاعي عند تاريخ القياس، استخدمنا المعادلة التالية:

$$A = A_0 e^{-\frac{0.693 \times \Delta t}{T}}$$

حيث A النشاط الإشعاعي عند تاريخ القياس، A_0 النشاط الإشعاعي عند تاريخ الصنع، و Δt الفترة الزمنية الفاصلة بين تاريخ القياس وتاريخ الصنع. وبما أن عمر النصف $T = 1.277 \times 10^9$ y للبوتاسيوم ^{40}K ، فإن: $\frac{0.693 \times \Delta t}{T} \rightarrow 0$ ، أي أن $A \approx A_0$ بالنسبة للبوتاسيوم ^{40}K .

الجدول (4): الخصائص النووية للمنابع المشعة المستخدمة في معايرة الكفاءة.

المنبع المشع	النشاط الإشعاعي مقدرًا بالـ kBq عند تاريخ القياس	عمر النصف (year)	تاريخ الصنع	النشاط الإشعاعي مقدرًا بالـ kBq عند تاريخ الصنع	نسبة التفرع f [3]
^{137}Cs	225	30.17	19/12/2006	333	0.851
^{137}Cs LO	3.384	30.17	1/4/2007	4.94	0.851
^{40}K (KCl)	≈ 16.7	1.277×10^9	11/9/2007	16.7	0.110

تُعطي كفاءة المطياف بالمعادلة [12,3]:

$$\mathcal{E} = \frac{N(E)}{A \times f \times t} = \frac{N_p(E) - N_b(E)}{A \times f \times t} \quad (2)$$

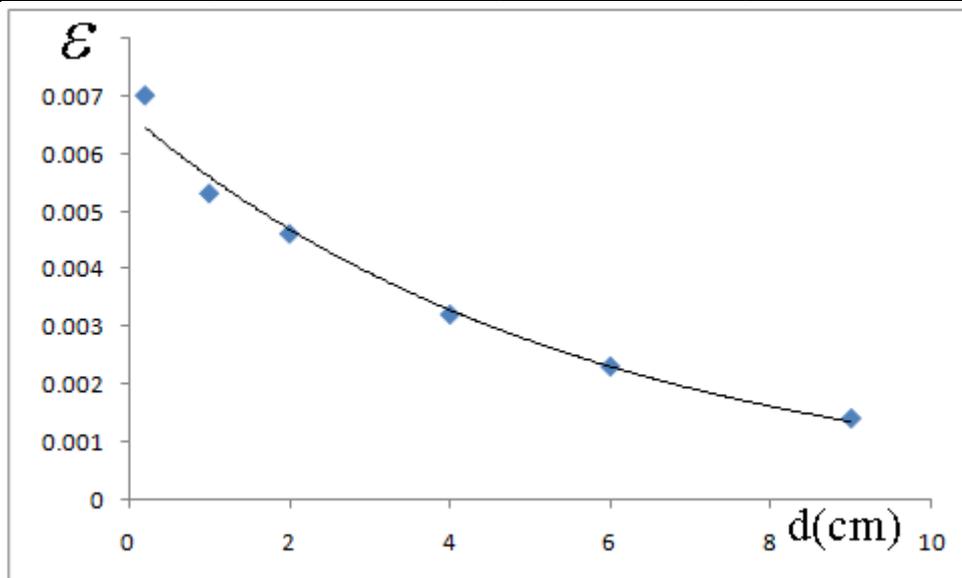
حيث: $N(E)$ العد الصافي الناتج عن الذروة الموافقة للطاقة E ، $N_p(E)$: العد الناتج عن الذروة الموافقة للطاقة E ، $N_b(E)$: العد الناتج عن إشعاع الخلفية الموافق للطاقة E . و A : يمثل نشاط المنبع المشع المعياري عند تاريخ القياس على أن يُقدر بالبيكرل Bq ، و f : احتمال إصدار إشعاع جاما، عند الطاقة E ، و t : زمن القياس بالثواني.

ونشير إلى أننا قمنا بقياس إشعاع الخلفية للمنبعين المعياريين $^{137}\text{Cs LO}$ ، $^{40}\text{K KCl}$ باستخدام وعاء مارينيلي فارغ ضمن الدرع الرصاصي. كما قسنا إشعاع الخلفية للمنبع النقطي بدون وعاء مارينيلي وبدون الدرع الرصاصي. بتطبيق العلاقة (2) ومعطيات الجدول (4) حسبنا \mathcal{E} ونبين النتائج التي حصلنا عليها في الجدول (5).

ونستنتج من الجدول السابق أن كفاءة المطياف بالنسبة للمنبع النقطي ^{137}Cs واللا نقطي $^{137}\text{Cs LO}$ متقاربتان. مما يسمح بالقول: إنه من الممكن استخدام منبعٍ نقطيٍّ لمعايرة كفاءة المطياف وذلك بمراعاة أن يكون بعد المنبع عن الكاشف مماثلاً للبعد العامودي بين وعاء مارينيلي والكاشف، حيث أن الكفاءة التي تحسب باستخدام منبعٍ نقطيٍّ تتناقص بتأخرية البعد عن الكاشف وكما هو مبين في الشكل (10).

الجدول (5): كفاءة المطياف للمنابع: $^{40}\text{K KCl}$ ، $^{137}\text{Cs LO}$ ، ^{137}Cs

\mathcal{E}	$N(E)$	زمن القياس (s)	المنبع
0.0070	4831990	3600	^{137}Cs
0.0077	79872	3600	$^{137}\text{Cs LO}$
0.0028	18256	3600	$^{40}\text{K KCl}$



الشكل (10): كفاءة المطياف بتأخرية البعد عن الكاشف باستخدام المنبع النقطي ^{137}Cs .

وللمقارنة، وباستخدام قيم $N(E)$ ، A ، t المحسوبة عام 2012 [8] بالإضافة لقيمة f المعطاة في الجدول (4)، حسبنا كفاءة مطياف جاما للعام السابق، كما هو مبين في الجدول (6).

الجدول(6): كفاءة مطياف جاما المستخدم عام 2012 .

المنبع	$t(s)$	$A(kBq)$	$N(E)$	\mathcal{E}
$^{137}\text{Cs LO}$	3600	4.42	116515	0.0086
$^{40}\text{K KCl}$	3600	16.7	21400	0.0032

واعتماداً على القيم المحسوبة أعلاه، فإن الجدول(7) يبين، ما يمكن أن نسميه، صلاحية مطياف جاما المستخدم بين العامين 2012 و 2023. ونستنتج من الجدول (7) أن المطياف المستخدم في هذا العمل، لا زالت له صلاحية ممتازة من ناحية معامل الترابط R^2 ، وجيدة جداً من ناحية الكفاءة \mathcal{E} ومقدرة الفصل R .

الجدول(7): يبين صلاحية المطياف المستخدم بين العامين 2012 و2023.

العام	R^2	$R(\%)$	المنبع	\mathcal{E}
2012			$^{137}\text{Cs LO}$	0.0086
			$^{40}\text{K KCl}$	0.0032
2014	0.999	6.61		
2023	0.999	8.33	$^{137}\text{Cs LO}$	0.0077
			$^{40}\text{K KCl}$	0.0028

5. قياس النشاط الإشعاعي للعينة

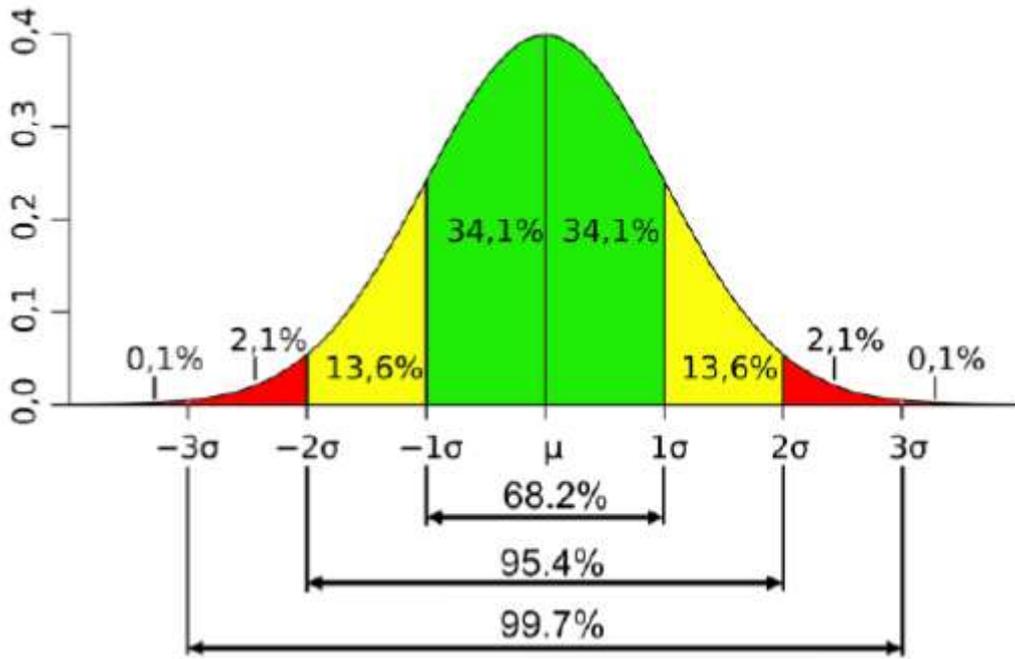
Measure the radioactivity of the sample

كل قياس للنشاط الإشعاعي هو عدد لا حصر له من القياسات الممكنة التي يمكننا إجراؤها. إذا كان الفرق بين كل قيمة مفاصة والقيمة المتوقعة يرجع إلى الصدفة البحثية، فهناك أدلة كثيرة تشير إلى أن التوزيع سيكون غاوسياً [13]. لذلك تظهر ذرى في طيف العينة المدروسة بدلاً من الخطوط الطيفية، كما هو مبين في الشكل(8). يتم حساب النشاط الإشعاعي لأي نظير مشع في العينة باستخدام المعادلة [14]:

$$A(Bq) = \frac{N(E)}{\mathcal{E} \times f \times t} = \frac{N_p(E) - N_b(E)}{\mathcal{E} \times f \times t} \quad (3)$$

حيث: الرموز $N(E)$ ، $N_p(E)$ ، $N_b(E)$ ، f ، t تم تعريفها بعد المعادلة (2)، والنشاط A يقدر بالبيكرل Bq . وننوه إلى أن المعادلة السابقة يمكن الحصول عليها من المعادلة (2) باعتبار قيمة الكفاءة \mathcal{E} معلومة والنشاط A هو المجهول. ونحسب $N_p(E)$ ، العد الناتج عن الذروة الموافقة للطاقة E ، بعامل تغطية يساوي 2σ ضمن حد الثقة 95.4% كما هو مبين في الشكل(11).

يتم تعريف حد الكشف $\text{Limit of detection (L}_D\text{)}$ أو الحساسية، بشكل شائع، على أنه أدنى مستوى نشاط يختلف إحصائياً عن إشعاع الخلفية عند مستوى محدد من الثقة. من الناحية العملية، نادراً ما يكون L_D الخاص بتحليل معين محدوداً بحساسية التقنية التحليلية، ولكنه محكوم بمستوى وتنوع قيمة إشعاع الخلفية [15]. ويُعطى L_D بالمعادلة التالية [16,17]:



الشكل(11): التوزيع الغوسي كتابع لعدد الانحرافات المعيارية عن المتوسط [13].

$$L_D = 2.71 + 4.65\sqrt{N_b(E)}$$

حيث: $N_b(E)$: العد الناتج عن إشعاع الخلفية الموافق للطاقة E . وبالتالي يمكننا حساب الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف MDA، والذي يُعطى بالمعادلة [17,16]:

$$MDA = \frac{L_D}{\varepsilon \cdot f \cdot t}$$

حيث: f نسبة التفرع، ε الكفاءة، t زمن القياس مقدراً بالثانية، ويُقدر MDA بالبيكرل Bq . وبالنتيجة يكون لدينا ثلاث حالات: الحالة الأولى $0 < N_p(E) - N_b(E)$ وبالتالي نشاط النظير المدروس غير قابل للكشف ونعبر عن ذلك بـ (N.D) not detected. الحالة الثانية $0 < N_p(E) - N_b(E) < L_D$ وبالتالي نشاط النظير المدروس أقل من الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف ونعبر عن ذلك بـ MDA. والحالة الثالثة $N_p(E) - N_b(E) > L_D$ وبالتالي نحسب نشاط النظير المعني بتطبيق العلاقة (3).

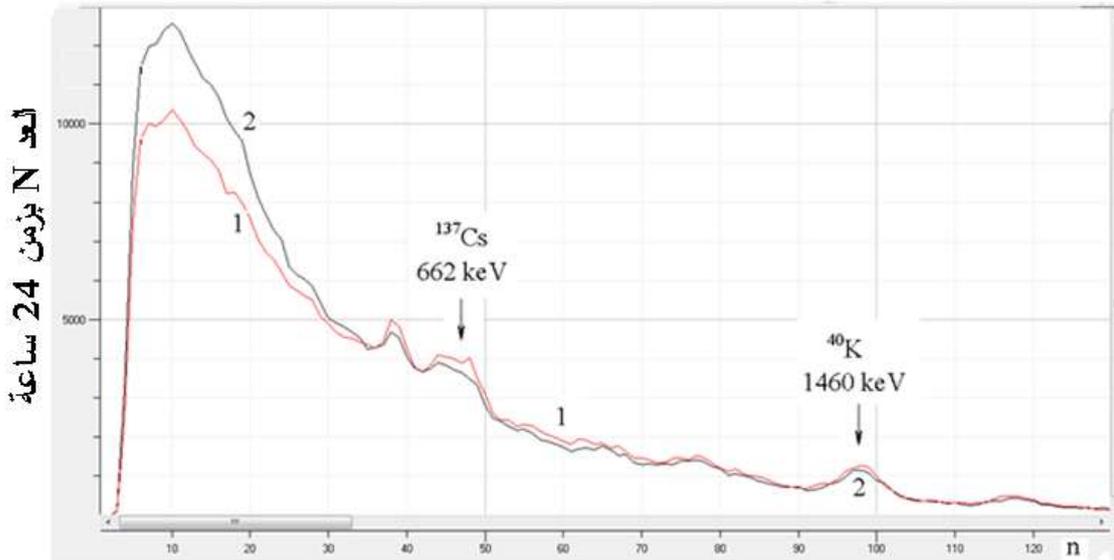
ونشير إلى أن الخطأ الإحصائي المرتكب عند حساب النشاط الإشعاعي لأي نظير مشع في العينة يُعطى، اعتماداً على العلاقة (3)، بالمعادلة:

$$\Delta A = A \left[\frac{\sqrt{N_p(E)} + \sqrt{N_b(E)}}{N(E)} \right] \quad (4)$$

النتائج والمناقشة:

تم تسجيل أطيف العينات S1 حتى S7 بنفس شروط تسجيل أطيف العينات المعيارية ما عدا زمن القياس، حيث تم تسجيل أطيف العينات المجهولة السابقة بزمن قياس يساوي $24hr = 8600s$. كما تم تسجيل طيف إشعاع الخلفية

أيضاً بزمن قياس يساوي الزمن السابق، وذلك بوضع وعاء مارينيلي فارغاً ضمن الدرع الرصاصي. ونبين في الشكل(12) طيف العينة S1 (المنحني الأسود ومشار إليه بـ 2) مع طيف إشعاع الخلفية (المنحني الأحمر ومشار إليه بـ 1).



الشكل(12): يبين طيف العينة S1 (المنحني الأسود) مع طيف إشعاع الخلفية (المنحني الأحمر).

واعتماداً على معادلة مستقيم المعايرة (1) تم التعرف على ذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K . ونلاحظ من الشكل السابق أن نشاط إشعاع الخلفية أعلى من نشاط العينة S1، بدءاً من القناة $n = 37$ ، بما في ذلك ذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K . واعتماداً على طيف العينة S1 و على طيف إشعاع الخلفية حسبنا $N_p(E)$ ، $N_b(E)$ ، $N(E)$ و L_D و MDA لذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K كما هو مبين في الجدول(8).

الجدول(8): يبين قيم $N_p(E)$ ، $N_b(E)$ ، $N(E)$ و L_D و MDA لذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K .

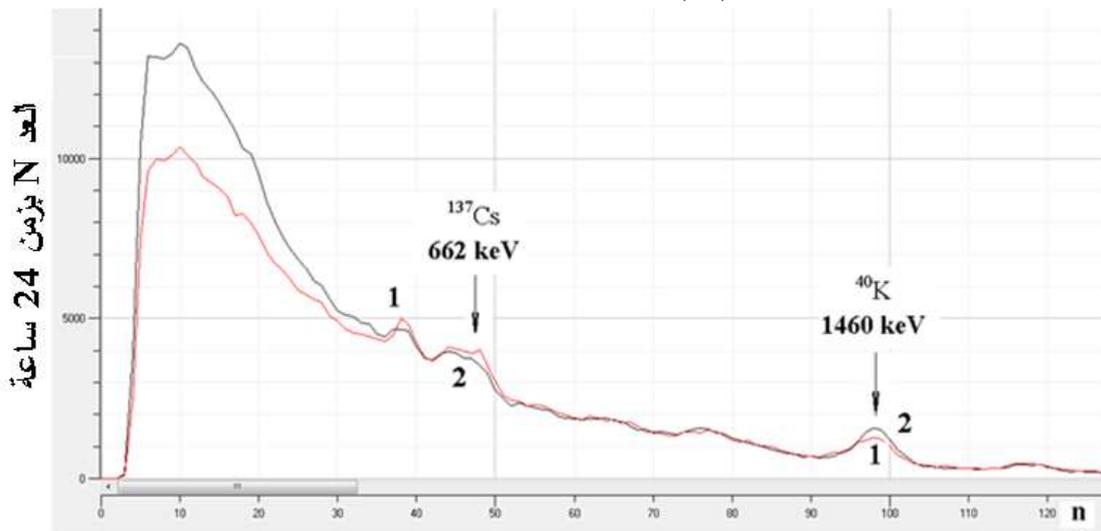
MDA(Bq)	L_D	$N(E)$	$N_b(E)$	$N_p(E)$	الذروة
1.68	862	-1568	34152	32584	^{137}Cs
16.60	442	-548	8918	8370	^{40}K

ونستنتج من الجدول السابق أن نشاط كلٍ من السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K في العينة S1، ليس فقط أقل من الحد الأدنى القابل للكشف MDA، وإنما هو غير قابل للكشف (N.D). ونوضح أن قيم كل من L_D ، $N_b(E)$ ، $N(E)$ ، $N_p(E)$ ثابتة من أجل العينات S1 حتى S6. أما العينة S7 فقد وضعت على قطعة نايلون شفاف، مثبتة على فتحة وعاء مارينيلي، ولذلك فإن طيفها وطيف إشعاع الخلفية الموافق يختلفان قليلاً عن ما هو مبين في الشكل(12) والذي يخص العينة S1. واعتماداً على طيف العينة S7 و على طيف إشعاع الخلفية الخاص بها حسبنا $N_p(E)$ ، $N_b(E)$ ، $N(E)$ و L_D و MDA لذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K كما هو مبين في الجدول(9).

الجدول(9): يبين قيم $N(E)$ ، $N_b(E)$ ، $N_p(E)$ و L_D و MDA لذروتي السيزيوم ^{137}Cs والبوتاسيوم ^{40}K ، من أجل S7.

MDA(Bq)	L_D	$N(E)$	$N_b(E)$	$N_p(E)$	الذروة
1.50	850	-586	34530	33944	^{137}Cs
16.84	448	23	9156	9179	^{40}K

ونستنتج من الجدول(9) أن نشاط السيزيوم ^{137}Cs غير قابل للكشف (N.D)، لأن $\langle N(E) \rangle < 0$ ، ونشاط البوتاسيوم ^{40}K أقل من الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف، لأن $\langle N(E) \rangle < L_D$. وبالتالي فإن نشاط العينة S7، والتي تمثل الملح المترسب عن التركيز بالتبخير للعينات S2 حتى S6، لن يؤثر على النشاط المقاس للعينات السابقة. يبين الشكل(13) طيف العينة S6 (المنحني الأسود ومشار إليه بـ 2) مع طيف إشعاع الخلفية (المنحني الأحمر ومشار إليه بـ 1). ونلاحظ أن طيف العينة S6 يختلف عن طيف العينة S1 بالنشاط العائد للبوتاسيوم ^{40}K ، إذ أصبح نشاط النظير السابق أعلى من نشاط إشعاع الخلفية الموافق. أما نشاط السيزيوم ^{137}Cs فلا زال أقل من نشاط إشعاع الخلفية. إن أطراف العينات S2 حتى S5 مماثلة لطيف العينة S6، وباستخدام المعادلة (3) حسبنا النشاط الإشعاعي للسيزيوم ^{137}Cs و البوتاسيوم ^{40}K مقدراً بالبيكرل Bq. ونبين في الجدول(10) نتائج قياس النشاط الإشعاعي لكل العينات المدروسة، مع الأخذ بعين الاعتبار أن $\langle N(E) \rangle < 0$ للسيزيوم ^{137}Cs من أجل كل العينات، وبالتالي نشاط النظير السابق غير قابل للكشف (N.D). وللحصول على نشاط السيزيوم ^{137}Cs و البوتاسيوم ^{40}K مقدراً بالـ Bq/L أخذنا العينات التي فيها النشاط الإشعاعي للبوتاسيوم ^{40}K أعلى من الحد الأدنى القابل للكشف MDA، ونبين في الجدول(11) النتائج التي حصلنا عليها، بعد حساب الخطأ الإحصائي المرتكب باستخدام المعادلة(4). وتمثل هذه النتائج النشاط الإشعاعي للسيزيوم ^{137}Cs و للبوتاسيوم ^{40}K لعينات مياه بحرية من منتج الشاطئ الأزرق من البحر المتوسط، سورية. ونجد من الجدول(11) أن



الشكل(13): يبين طيف العينة S6 (المنحني الأسود) مع طيف إشعاع الخلفية (المنحني الأحمر).

نشاط البوتاسيوم ^{40}K يتراوح من 5.88 إلى 8.71 Bq/L بمتوسط (7.63 ± 1.17) Bq/L.

الجدول(10): النشاط الإشعاعي A للـ ^{137}Cs و البوتاسيوم ^{40}K مقدراً بالبكرل Bq .

A (Bq)		L_D	N(E)	العينة
^{137}Cs	^{40}K			
N.D	N.D	442	-548	S1
N.D	MDA		48	S2
N.D	MDA		389	S3
N.D	23.52		626	S4
N.D	41.52		1105	S5
N.D	52.27		1391	S6
N.D	MDA	448	23	S7

إن النشاط السابق، أقل من نشاط الـ ^{40}K في مياه البحر من خليج دايا بالصين والذي يتراوح من 9.9 إلى 10.4 Bq/L [1]. وأيضاً متوسط النشاط الذي حصلنا عليه للبوتاسيوم أقل من متوسط النشاط الإشعاعي لـ ^{40}K ، والذي يساوي $(14.08 \pm 3.50) \text{Bq/L}$ ، في مياه البحر من شاطئ سيرمساكلي ببحر إيجه (تركيا) [3]. كما أن المتوسط الذي حصلنا عليه للبوتاسيوم أقل من ذلك المحسوب في شمال الخليج العربي $(18.6 - 19.1 \text{Bq/L})$ [18]، وهو أيضاً أقل من ذلك المقاس في المياه الساحلية المصرية $(13.8 - 17.56 \text{Bq/L})$ [19]. علاوة على ذلك، فهو أقل من ذلك الموجود في المحيط الهادئ المفتوح (12Bq/L) ، وبحر البلطيق (11.5Bq/L) ، والبحر الأيرلندي (11.5Bq/L) ، وبحر الشمال (11.5Bq/L) [20]. لذلك، يمكن أن نستنتج أن نشاط ^{40}K في المياه البحرية من منتجع الشاطئ الأزرق من البحر المتوسط، سورية، هو عند مستوى منخفض مقارنة بمناطق المياه الأخرى على مستوى العالم.

الجدول(11): النشاط الإشعاعي للـ ^{137}Cs و للبوتاسيوم ^{40}K لعينات مياه بحرية من منتجع الشاطئ الأزرق.

A(Bq/L)		العينة
^{137}Cs	^{40}K	
N.D	5.88 ± 1.80	S4
N.D	8.30 ± 1.50	S5
N.D	8.71 ± 1.26	S6
N.D	[5.88 – 8.71]	المجال

أما بالنسبة لنشاط السيزيوم ^{137}Cs ، النظير الصناعي المرتبط بنشاط البشر، فكان، في دراستنا هذه، غير قابل للكشف (N.D). ويمكن أن تُقارن هذه النتيجة مع نتيجة قياسه في خليج دايا بالصين حيث كانت أقل من MDA، من أجل جميع العينات [1]. أي لم يتم قياس النشاط الإشعاعي للـ ^{137}Cs في الحالتين: حيث كان، النشاط السابق، في حالتنا غير قابل للكشف (N.D)، و في خليج دايا بالصين كان نشاط السيزيوم ^{137}Cs أقل من الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف MDA.

الاستنتاجات والتوصيات:

في هذه الدراسة، تم قياس النشاط الإشعاعي لـ 6 عينات من مياه منتجع الشاطئ الأزرق باستخدام مطياف جاما لتحديد نشاط البوتاسيوم ^{40}K ، و السيزيوم ^{137}Cs . ونستنتج من الدراسة السابقة ما يلي:

(1) تم تركيز عينات من مياه منتجع الشاطئ الأزرق مباشرة عن طريق التبخر بالتعريض لإشعاع الشمس. وكان النشاط الإشعاعي للبوتاسيوم ^{40}K أعلى من الحد الأدنى للنشاط القابل للكشف MDA من أجل العينات التي حجمها الأولي 4L أو أكبر. أما بالنسبة لنشاط السيزيوم ^{137}Cs فظل غير قابل للكشف (N.D).

(2) نشاط البوتاسيوم ^{40}K في المياه البحرية من منتجع الشاطئ الأزرق من البحر المتوسط، سورية، هو عند مستوى منخفض مقارنة بمناطق المياه الأخرى على مستوى العالم.

(3) يمكن استخدام كفاءة المطياف المحددة تجريبياً في حسابات النشاط، حيث لا تتطابق هندسة العينة مع هندسة المنبع، كما في حالة المنبع النقطي السيزيوم ^{137}Cs .

(4) يمكن اختبار صلاحية مطياف جاما بمقارنة معاملاته عند تاريخ القياس مع معاملاته عند تاريخ قياسات سابقة، كما فعلنا بالنسبة لمعامل الترابط، ومقدرة الفصل، والكفاءة.

ومن خلال هذا العمل، يمكن أن يُوصى بتوسيع الدراسة لتحديد جميع النظائر المشعة في مياه المواقع المحيطة بمنتجع الشاطئ الأزرق مثل مشروع شرق المنتجع السياحي و مشروع غرب المنتجع السياحي، والتي ستساهم في تقييم مؤشرات النشاط الإشعاعي الطبيعي وفي أعمال رسم خرائط النشاط الإشعاعي في هذه المنطقة الساحلية.

References:

- [1] Fan Cui, Honghui Huang, Yi Shen, Zhan Tan, Pengxiang Qu, Ming Dai, Hongwei Yu, Weixu Huang, Zixiang Wu, Huifeng Chen, Weizhen Guo, Yuxin Jia, Yanbing Liu(2023), **Investigation on the radioactivity levels of seawater, sediments, and biota in Daya Bay, China**. Radiation Medicine and Protection.
- [2] Petros Leivadaros, Christos Tsabaris, Dionisis L. Patiris, Georgios Eleftheriou, Filothei K. Pappa, Efrossyni Androulakaki, Manos Dasenakis, Evangelia Krasakopoulou and Vassilis Zervakis(2022), **Recent ^{137}Cs Distribution in the Aegean Sea, Greece**. Journal of Marine Science and Engineering.
- [3] Seyda TEZSEZER, Sevilay HACIYAKUPOGLU, Esra ORUCOGLU (2011), **Determination of ^{40}K in Beach Sand and Seawater Samples at Sarımsaklı Beach of Aegean Sea (Turkey)**, Gazi University Journal of Science.
- [4] D I P Putra, W R Prihatiningsih, M Makmur, M N Yahya, Y Priasetyono and Untara(2021), **Distribution of some natural and anthropogenic radionuclides in the sediments and seawater along the coastal areas of North Sulawesi**, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 890.
- [5] Denny Nugroho Sugianto, Muhammad Zainuri, Alfin Darari, Suripin, Suseno Darsono, Nur Yuwono(2017), **Wave height forecasting using measurement wind speed distribution equation in Java Sea, Indonesia**, International Journal of Civil Engineering and Technology.
- [6] Marijan Necemer and Marko Gerbec(2016), **Automated Preparation of Water Samples for Low-level Gamma Spectrometry**, Acta Chim. Slov.
- [7] Dr. Haetham Jbile, Dr. Hesham Abazly, Dr. Ahlam Ibrahim, Akram Hatem(2020), **Measurement of Radioactivity concentration of Radioisotopes ^{228}Ac , ^{212}Bi , ^{214}Bi , ^{214}Pb** ,

- ²¹²Pb in Phosphate Deposits in the Syrian Coast**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (24) No. (4).
- [8] Dr. Jabbour Jabbour, Dr. Haissam Jbeli, Dr. Jehad Mulhem(2012), **Measuring the radioactivity resulted from (¹³⁷Cs) and from (⁴⁰K) isotopes of water samples from different sources in Lattakia**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (34) No. (3).
- [9] European Atlas of Natural Radiation, Part 6, **Radionuclides in water and river sediments**, <https://remon.jrc.ec.europa.eu>, 01/06/ 2023.
- [10] Dr. Jabbour Jabbour, Dr. Haissam Jbeli, Dr. Jehad Mulhem(2012), **Study of Experimental Characteristics of a Detector NaI(Tl) for Investigation in Radioactivity Measurements of a Weakly radioactive samples**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (34) No. (1).
- [11] Dr. Jabbour Noufal Jabbour, Dr. Haisam Ibrahim Jbeli, Sara Ibrahim Aljmmal(2014), **Analytical and experimental study of the mechanisms of computing and measuring the radioactivity of the radioactive sources**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (2).
- [12] Sangrok Kim , Taeyoon Kim and Hyungjin Yang(2022), **Design of a Low-Resolution Gamma-ray Spectrometer for Monitoring Radioactive Levels of Wastewater**, Applied sciences.
- [13] Merita.X(2013), **New Gamma-Ray Spectrometry Methods For Estimating K, U, Th Concentrations In Rocks Of The Sardinia Batholith**, A Dissertation for the Degree of Doctor of Philosophy in Science and technology of mineral and rocks of industrial interest presented ,Sassari University.
- [14] H Saad, N Aref(2021), **Measuring of radioactive contamination by Gamma-ray Spectroscopy for many water projects in Baghdad City**, Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing.
- [15]Klaus Grasshoff, Klaus Kremling, Manfred Ehrhardt(1999), **Methods of Seawater Analysis**, WILEY-VCH Verlag GmbH.
- [16] Dr. Jabbour Jabbour, Dr. Jehad Mulhem, Saadeh Dayoub(2014), **Analytical and experimental study of the effect of noise background on the radioactivity measurement**, Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Basic Sciences Series Vol. (36) No. (5).
- [17] Akram Hatem(2022), **Study of The Radioactivity of some Radioactive Isotopes and their Transfer Factors to Ground Water and some Coastal Plants**, Thesis Submitted for Ph.D. Degree in Radiation Physics, Tishreen University.
- [18] Uddin S, Behbehani M, Aba A, et al.(2017), **Naturally occurring radioactive material(NORM) in seawater of the northern arabian Gulf – baseline measurements**, Marine Pollution Bulletin.
- [19]El-Saharty AA.(2013), **Radioactive survey of coastal water and sediments across Alexandria and Rashid coasts**, Egypt. J Aquat Res.
- [20] Povinec PP, Katsumi H.(2015), **Fukushima radionuclides in the NW Pacific, and assessment of doses for Japanese and world population from ingestion of seafood**, SCIENTIFIC REPORTS.