استخدام التكنولوجيا النووية فى صناعة واكتشاف النفط والغاز**

أ.د. عُذاب طاهر الكناني*

تستخدم التكنولوجيا النووية بشكل واسع فى صناعة النفط والغاز، حيث أن أي مقياس نووي يستعمل فى هذه الصناعة يحتوى غالباً على مصدر أو أكثر من السيزيوم -137 وعلى كاشف إشعاعي. وتعد طريقة نفاذ الأشعة للمقاييس شائعة الاستخدام بدلاً من طريقة قياس الأشعة المرتدة من المادة، حيث أن المصدر فى هذه الحالة يكون داخل وعاء محكم من الحديد أو الرصاص قطره حوالي30 سم يثّبت على الخزانات أو أنابيب النقل. وتعتمد شدة الإشعاع الواصل إلى الكاشف فى الجهة الأخرى من المصدر على كثافة محتويات ذلك الخزان أو الأنبوب. وإذا كانت الخزانات سميكة وكثافة المادة داخلها كبيرة يستخدم مصدر الكوبلت - 60. وهناك ترتيب آخر للعدّاد والمصدر فى المقاييس النووية، حيث يكون المصدر فى نهاية عمود داخل الخزان، وذلك لقياس كثافة المائع أو مقدار جريانه أو السيطرة عليه، كما فى حالة استخدام المقاييس فى حالة خطوط نقل النفط.

تستخدم المقاييس النووية كذلك للتحكم بارتفاع وقياس مستوى الموائع فى الأوعية وللكشف عن الحدود الفاصلة بين مختلف الموائع مثل الماء والنفط والبخار فى أنابيب الفصل فى الصناعة النفطية، حيث يمكن الاستدلال على نوع النفط بقياس كثافته فى أي منطقة تحتاج ذلك. يطلى الوعاء الحاوي على المصدر يصبغ مضيء وتوضع عليه إشارات تحذيرية من الإشعاع واضحة ومرئية حتى ولو كان موضوعاً على ارتفاعات عالية. ويجب أن يثبت الوعاء مع جدران الأوعية والأنابيب بطريقة دقيقة بحيث لا يترك فراغ بين الوعاء والأنبوب، ويزود الوعاء بمغلاق يمنع الإشعاع من النفاذ فى حالة الإغلاق ويسمح له بالنفاذ فى حالة الفتح.

وكذلك يوجد مقياس نووي متنقل يحتوي على مصدر نترونى (^{241}Am-Be) يستخدم للكشف عن وجود الماء الذى قد يتواجد بين أنابيب نقل النفط والغاز والعازل الموجود بينهما، حيث أن النترونات السريعة المنبعثة من المصدر تقل طاقتها وتنعكس مرتدة إلى الكاشف النووي إذا كان هناك ماء بين العازل والأنبوب. وبذلك تكون هذه الطريقة ناجحة للكشف عن الماء والتخلص منه لكى لا يحدث تآكل للأنابيب الناقلة. تستخدم بعض المقاييس النووية المتنقلة لقياس دقة جوانب الأنابيب حيث يوضع مصدر من السيزيوم (^{137}Cs) وكاشف على جانبي حلقة تدور بسرعة عالية حول محور كل أنبوب يمر عبر هذه الحلقة لمعرفة دقة تصنيع الأنبوب وتحمله لدرجات الحرارة والضغط لأنابيب النفط والغاز الداخلة فى الآبار.

ومن أهم التطبيقات النووية المستخدمة فى اكتشاف النفط والغاز أجهزة سبر الآبار (Well logging)، يعرف تسجيل المعلومات عن الآبار بأنه تسجيل معلومات المتتالية عن الخواص الفيزيائية للبئر، ويسمى هذا التسجيل للمعلومات سبر الآبار أو فى بعض الأحيان الحفر الجيوفيزيائى، ويشمل جميع الترتيبات اللازمة لإدخال أجهزة التحسس والمعدات

* خبير إشعاعى – وزارة البيئة – دولة قطر

** الذرة والتنمية – نشرة علمية إعلامية فصلية - تصدرها الهيئة العربية للطاقة الذرية - تونس – المجلد الحادى والعشرون – العدد الثنى ٢٠٠٩ ص ٣ : ١٤

داخل البئر وتسجيل بعض المعلومات الفيزيائية التى تفسر خواص الصخور والموائع التى تحتويها. كانت أول المعلومات تلك التى وضعت عام ١٩٢٧ فى أحد حقول النفط، حيث رسمت العلاقة بين انحراف الكلفانومتر والذى يمثل المقاومة النوعية للصخور ومقدار الموائع فى تلك الصخور. وفى عام ١٩٢٧ وضعت علاقة رياضية بين شدة أشعة غاما الطبيعية ونفاذية الصخور، وقد تطورت دراسة سبر الآبار بواسطة التقنية النووية.

طرق سبر الآبار

من أهم الطرق، حسب تطورها، لسبر الآبار هى:

١ - الطريقة الكهربائية

استخدمت هذه الطريقة فى أوائل عام ١٩٢٠ من قبل الأخوين شلمبرغير (Schlumberger) واللذين استخدما فى البداية الطريقة الكهربائية للتنقيب عن المعادن من خلال قياس التوصيل الكهربائي. ثم استخدما عام ١٩٢٦ الطريقة الكهربائية لقياس التوصيل الكهربائي إلى بئر عمقه حوالى ٥٠٠ متر فى فرتسا.

٢ - الطريقة الإشعاعية أو النووية

وتعتمد هذه الطريقة على قياس الشدة الإشعاعية للعناصر الطبيعية والتى تنبعث من المواد داخل البئر.

٣ - القياسات الحرارية

القياسات المستمرة لحرارة البيئة المحيطة تماما بالبئر والتى تعطى المعلومات عن مصدر وحركة المياه والتوصيل الحرارى للصخور.

٤ - الطريقة الصوتية

استخدمت القياسات الصوتية فى حفر الآبار عام ١٩٤٦. وتمتاز هذه الطريقة بدقتها فى قياس الأعماق. يتم فى هذه الطريقة توليد موجات فوق صوتية يتراوح ترددها بين ٢٠ - ٣٠ كيلو هرتز من خلال اهتزاز بلورة مولدات الطاقة (Transducer) التى تنقل هذه الموجات فى البئر ثم ترتد، ومنها يتم معرفة مكونات الصخور ونفاذيتها ومؤشرات وجود الغازات أو النفط.

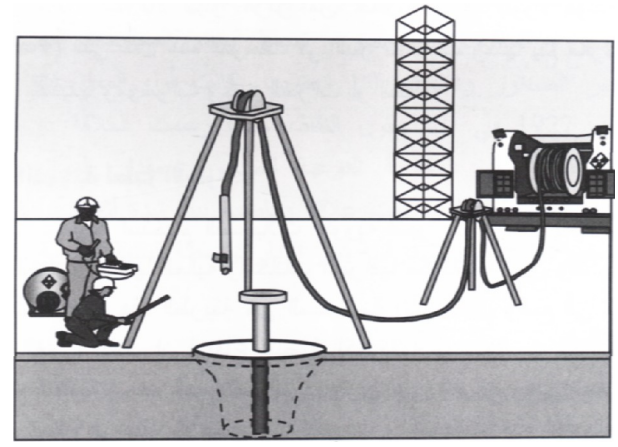
الطريقة النووية لسبر الآبار

بدأت محاولة استخدام التسجيلات النووية لسبر الآبار عام ١٩٤٠ باستخدام أشعة غاما نظراً لطاقتها العالية وإمكانات اختراقها مكونات الآبار، وقد جعل تطور كواشف أشعة غاما هذه الطريقة هى المستخدمة الآن بشكل واسع فى حفر الآبار واكتشاف الغاز والنفط، إن ارتفاع النبضة الكهربائية المستلمة من الكاشف يتناسب مباشرة مع النفاذية وحجم المسامات التى تحتوى على الموائع والتى تعطى المؤشر على نوع المائع فى تلك الأعماق، ثم تطورت واستخدمت هذه الطريقة منذ عام ١٩٦٠ وإلى الآن، والعناصر المهمة لقياس خواص الآبارهي الهيدروجين (H) والأكسجين (O) الماء والكربون (C) والهيدروجين (H) للهيدروكربونات والأكسجين (O) والسليكون (السليسيوم) (Si) للصخور. وبشكل عام، فإن تسجيل خواص الآبار بالطرقة النووية هو طريقة دراسة المواد التى تحيط بمسامية صخور وتربة البئر. ويستخدم فى الطريقة مصدر نترونى أو غامى وكاشف أو أكثر للإشعاع يدخل إلى أعماق الآبار. وتعتمد استجابة الكاشف للإشعاع على نوع الصخور والنفاذية وخواص الموائع لتلك المواد.

يشمل تسجيل المعلومات الجيوفيزيائية للآبار جميع التقانات الخاصة باستخدام الأجهزة داخل البئر لقياس الخواص الفيزيائية للبئر. وتقسم إلى قسمين رئيسيين هما:

أ - الحفر والتوقف

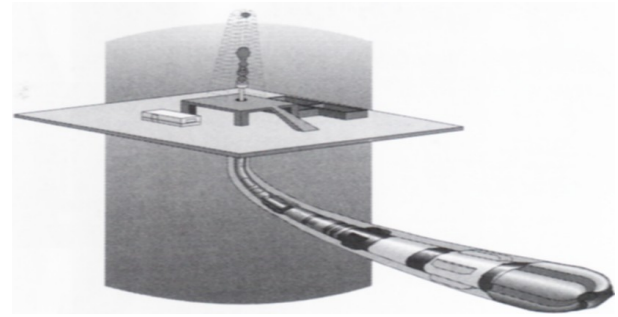
فى هذا النوع من القياس يتم إدخال المقياس النووي لسبر الآبار إلى داخل البئر بعد إيقاف عملية الحفر وسحب معدات الحفر من البئر وهذه الطريقة مهمة فى حالة الحفر الشاقولي غير المتعرج، وهي طريقة أمينة من الناحية الإشعاعية لأن المصدر لا ينقطع عن الذراع المعلق به، شكل (١).



شكل ١ - سبر الآبار فى نوع الحفر والتوقف

ب - القياس خلال الحفر

يتم تسجيل المعلومات الجيوفيزيائية بواسطة معدات السبر بشكل متوازي مع عملية الحفر ولا يتطلب ذلك إخراج معدات الحفر، شكل (٢)، وهي مفيدة فى الحفر غير المنتظم (العمودي، الأفقي، والمائل) ولكن احتمال انقطاع المصدر عن الذراع المعلق به كبيراً وضياعه داخل البئر والذى جهوداً كبيرة لاصطياده قد غير ناجحة.



شكل ٢ - سبر الآبار فى نوع القياس خلال الحفر

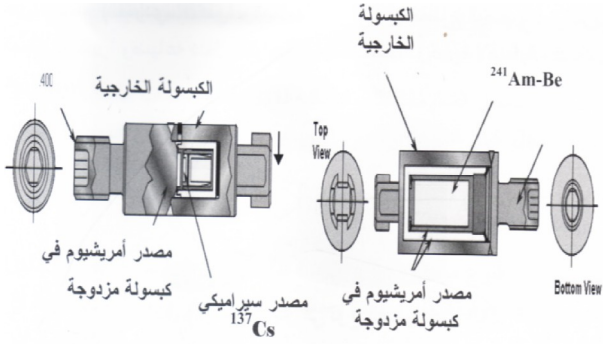
توجد أربع أنواع من مقاييس سبر الآبار المتعارف عليها:

فى هذه الطريقة يوم الكاشف بقياس تركيز العناصر المشعة الطبيعية الباعثة لأشعة غاما فى الصخور لغرض معرفة الطبقات الجيولوجية وتزويد الجيولوجي بالمعلومات عن تراكيز اليورانيوم والراديوم ونتائج انحلالهما وكذلك البوتاسيوم – 40. وهذه القياسات لا تضمن التمييز بين النظائر المشعة وإنما قياس النشاط الإشعاعي الكلي لأشعة غاما المنبعثة من الصخور داخل البئر.

من العلاقة بين قراءتي الكاشفين نستنتج معامل السامية (Porosity index) للصخور، والذى يشير إلى أن الصخور تحتوى على الهيدروكربونات أو الماء نتيجة لتفاعل أشعة غاما مع تركيب الصخور حسب ظاهرة كومبتون، حيث تتناسب طاقة غاما الممتصة طردياً مع كثافة إلكترونات ذرات الصخور أي كثافة تلك الصخور.

٢ - قياس النترونات

يتم فى هذه الطريقة ترتيب المصدر النترونى والعّداد بحيث يكون العد الناتج دالة لكمية الهيدروجين فى المسامات الصخرية. ويستخدم قياس النترونات بشكل كبير فى الكشف عن المياه لاحتوائها على الهيدروجين، شكل (٣).



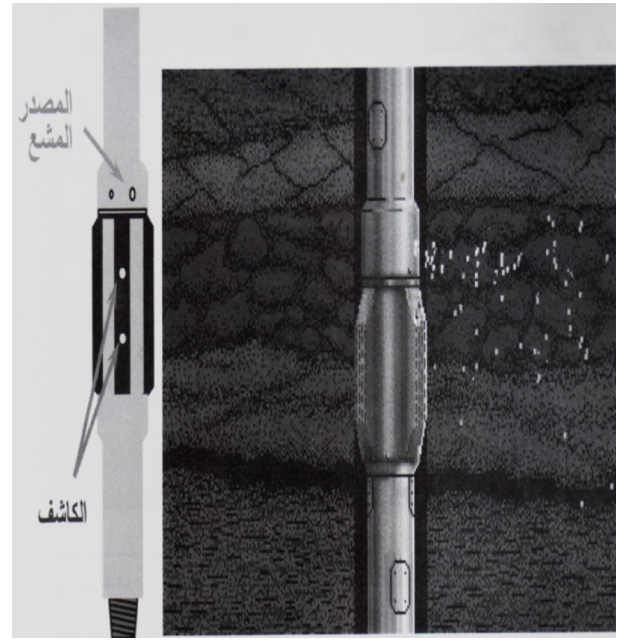
شكل ٣ - الآبار لقياس الرطوبة باستخدام النترونات

يوجد نوعان من القياس أحدهما لقياس مسامية الصخور، حيث تكون أقطار الحفر كبيرة وشدة المصدر النتروني كبيرة. أما فى حالة قياس الرطوبة فإن المصدر النتروني يكون أصغر والمسافة بين المصدر والكاشف تكون صغيرة والتى تجعل معدل العد يزداد بزيادة الرطوبة. وقد أمكن قياس الكثافة والرطوبة باستخدام مصدر نتروني وكاشفين للإشعاع يقعان على بعد مسافات مختلفة من المصدر المشع. وتعد عملية قياس النترونات ذات فائدة كبيرة لاكتشاف النفط.

٣ - طريقة غاما – غاما أو الكثافة

وفى هذه الطريقة يستخدم مصدر من السيزيوم - 137 أو الكوبلت - 60 وكاشفان للإشعاع. تقيس أشعة غاما المنعكسة عن التركيبات الجيولوجية للصخور المختلفة داخل البئر الكثافة والنفاذية على التوالى. وتشير هذه القياسات إلى

وجود الغاز أولا، ويكون الكاشف من نوع يوديد الصوديوم المشاب بالثاليوم [(Tl) NaI] والذى يدرع باستخدام شبكة معدنية أو قطعة رصاصية، شكل (٤).



شكل ٤ - سبر الآبار لقياس الرطوبة والنفاذية باستخدام أشعة غاما

٤ – تقانة نترون – غامة

فى هذه الطريقة يستخدم معجل خطى (Linear accelerator) يحتوى على هدف التريتيوم (3H) والباعث لجسيمات بيتا ذات الطاقة المنخفضة، عندما تسلط فولطية عالية (٨٠كيلوفولط) تتعجل ذرات الدوتوريوم(2H) والتى تقصف ذرات التريتيوم فى الهدف منتجة نترونات طاقتها ١٤ -١٥ ميغا إلكترون فولط. تؤدى هذه النترونات إلى تنشيط بعض نوبات التركيبة الجيولوجية للبئر بعد أن تقل طاقتها وتصبح نترونات حرارية والتى تبعث أشعة غاما أثناء انحلالها، ومن خلال القياسات تتم معرفة العناصر من خلال أشعة غاما أو النترونات الحرارية، حيث يمكن معرفة مكونات البئر وكثافة صخوره، ومن معرفة تركيز الكلور وكمية المياه الصالحة فى الصخور يمكن معرفة وجود النفط أو الغاز.

لقد تطور تفسير المعلومات فى عملية سبر الآبار فى السنوات الأخيرة من خلال استخدام الحاسوب ومعادلات بولتزمان ومقدار لمقاطع العرضية للنترونات أو أشعة غاما للعناصر المختلفة.

ويمكن توضيح المصادر المشعة والكواشف المستخدمة فى سبر الآبار كما هو مبين فى جدول (١).

جدول ١ - المصادر المشعة والكواشف المستخدمة فى سبر الآبار

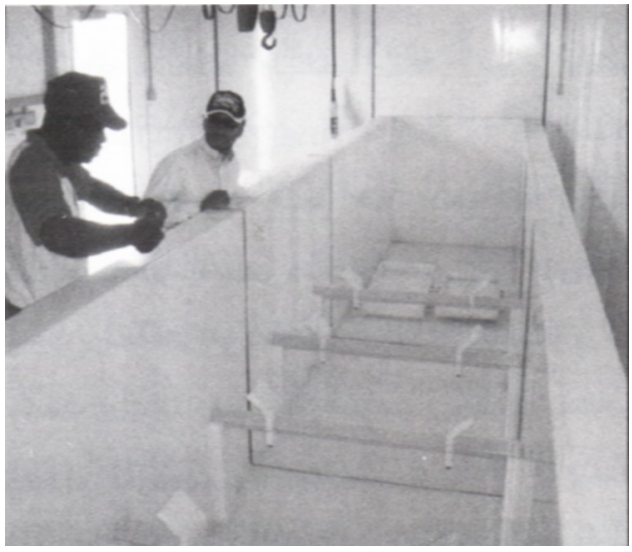
الطريقة	المصدر المشع	الكاشف	القياس
أشعة غاما	العناصر الطبيعية	غاير وعداد(Nal (T1	الطين ومحتوى الطبقات
غاما – غاما	60Co, 137Cs	غاير وعداد(Nal (T1	النفاذية
نترون	Am- Be, Pu-Be. 252Cf,	غاير وعداد(Nal (T1	الهيدروجين
نترون - غاما	Am Be, 137Cs	غاير وعداد(Nal (T1	مستوى المياه

تعيير وأمان المصادر المشعة لسبر الآبار

١ - تعيير مصادر السبر المشعة

يتم تعيير مصادر غاما والمصادر النترونية باستخدام منظومة تعيير مركزية قبل استخدامها فى عملية السبر. تتضمن المنظومة الرئيسية لتعيير المصادر النترونية توليد النترونات عندما يكون المصدر داخل خزان التعيير المملوء بالماء المقطر. يبقى الخزان ومكوناته مشعاً لفترة تصل إلى ٣٠ دقيقة بعد انتهاء عملية التعيير، لذلك يجب أن توضع منظومة التعيير فى منطقة مسيطر عليها ومعلمة بإشارات تحذيرية شكل (٥ - أ)، ويتم الدخول لها بضوابط لغرض وقاية العاملين من الإشعاع. وبعض منظومات تعيير النترونات لا تكون بشكل خزان معدنى فى الفضاء، وإنما بشكل حوض خرسانى يملأ بالماء المقطر داخل مخزن مبطن بالرصاص لامتصاص أشعة غاما وطبقة من البوليمرات الغنية بالهيدروجين لتهدئة النترونات. يكون الحوض على الأرض ويتم إدخال المصادر فى الفراغات المخصصة داخل العمود الحديدي الطويل الذى ينقل منظومة السبر الإشعاعية ميكانيكاً. يوضع العمود والمصدر الذى بداخله أفقياً على مساند حديدية داخل حوض الماء عن بعد شكل (٥ ب).

أ



ب

شكل ٥ - منظومة التعيير

٢ - أمان المصادر المستخدمة فى سبر الآبار

يصنع المصدر المغلق المستخدم فى صناعة النفط والغاز حسب معايير الهيئة الدولية للمقاييس (ISO). يوضع المصدر داخل كبسولة معدنية متينة طوال فترة عمله وحتى بعد إرجاعه إلى المصنع وخلال الاستخدام. تكون هذه المصادر مصدراً لتعرض العاملين للإشعاع وخاصة عند نقل هذه المصادر، ولكن خبرة هذه الشركات تجعل التعرض للإشعاع فى النقل الاعتيادي قليلاً. وفى الحقول البحرية أو البرية يجب أن تكون هناك مواقع دائمة أو مؤقتة لخزن هذه المصادر تضمن متطلبات الآمان ووضع لوحات التحذير الإشعاعية بالغة المحلية والإنجليزية وتكون هذه المخازن بعيدة عن مواقع العمل وبعيدة عن مخازن المواد الخطرة الأخرى.

يتطلب إخراج المصدر المشع من حاويته فى مواقع العمل وضع عدة حواجز دائمة أو مؤقتة لتحديد منطقة السيطرة. لكن فى المواقع البحرية تكون مساحة منطقة السيطرة مشكلة، وذلك لأن حيز محدود والأفراد يكونون قريبين من مصادر الإشعاع حتى فى خارج أوقات العمل، لذلك يجب تحديد اتجاه حزمة الإشعاع نحو منطقة العمل فقط. وبالإضافة لذلك توضع دروع واقية حول المصادر.

وبدون استخدام السياقات الصحيحة فإن مصادر الإشعاع فى عملية السبر أو التصوير الفوتوغرافي تؤدى إلى تعرض العاملين إلى جرعات إشعاعية عالية، وخاصة عندما تكون خارج حاويتها. إن التعامل غير الصحيح مع مصادر السبر الإشعاعية أو الحالات الطارئة، كصعوبة إخراج المصدر من معدات السبر، يؤدي إلى تعرض الفنيين والمهندسين إلى جرعات عالية وخاصة عند عدم استخدام أجهزة المسح الإشعاعي بشكل صحيح.

فقدان المصدر

توجد احتمالات كبيرة لفقدان مصدر السبر المشعة ومن أهم الاحتمالات:

أ - فقدان المصدر أثناء النقل

تنتقل مصادر الإشعاع المستخدمة فى صناعة النفط والغاز فى العادة باستمرار بين موقع وآخر بشكل مؤت أو ثابت، فهي معرضة للضياع أو السرقة والفقدان. لذلك فإن سياقات نقل المصدر يجن أن تكون دقيقة وموثقة بسجلات

دقيقة لمنع وقوع حوادث التعرض المهني أو التصريف بالنسبة للمصادر المستخدمة فى المنصات البحرية. ويساعد استخدام سجلات عن تنقلات المصادر المشعة فى المواقع البحرية فى إعادة المصدر فى حالة الحوادث الكبيرة.

إن احتمالية فقدان المصادر المشعة تكون كبيرة بالنسبة للمصادر المحمولة الصغيرة. وتوضع جميع المتطلبات لمعرفة موقع المصادر المشعة، ويجب إعلام الهيئة الرقابية فوراً عند فقدان المصدر. تعتبر المصادر اليتيمة (Orphan) من المصادر ذات المخاطر الكبيرة على الجمهور والأفراد الذين يقومون بإخراجها من الحاوية. وتكون الخطورة أكبر عندما يكون المصدر مع السكراب (الخردة) من أجل عملية التدوير.

يمكن تجنب مخاطر فقدان المصدر باتخاذ بعض الاحتياطات، وذلك بوضع خيمة حول معدات السبر أو سلسلة تربط المصدر مع معدات السبر الأخرى ويقلل ذلك من احتمال سقوط المصدر داخل البئر.

ب - فقدان المصدر داخل البئر

عند إنزال المعدات داخل البئر هناك خطر عدم إمكانية استعادة مصادر الإشعاع مثل(241Am,137Cs) بسبب كسر السلك أو انحساره (Snagged) داخل فتحة البئر، وعندما يعلق المصدر يجب على المرخص له إخبار السلطة الرقابية وتقديم كل الإمكانيات من أجل إخراج المصدر من داخل البئر. وهناك شركات متخصصة تستطيع إعادة المصادر المشعة واصطيادها (Fishing) من داخل البئر باستخدام معدات خاصة بذلك. ومن المهم عدم الإخلال بتعبئة المصدر داخل غلافه نتيجة لعملية الإعادة، لأن الضرر فى كبسولة المصدر يؤدي إلى انتشار واسع للتلوث الإشعاعي داخل البئر، بما يتضمن معدات الحفر ومعدات صيد المصدر والخزانات والمضخات والمعدات والأجهزة التى تكون ملامسة إلى السوائل الناتجة عن الحفر.

أضرار حاوية المصدر

تكون حاوية المصدر المستخدمة لنقل المصدر وخزنه مصممة لإعطاء التدريع المناسب والأمان الإشعاعي فى جميع الظروف البيئية. وتتطلب هذه الحاويات بعض الصيانة لغرض مقاومتها للظروف المناخية القاسية، مثل الأجواء الرملية، أو الملحية، والتى تزيد من عملية التآكل، وبذلك فإن معدل الجرعة والتعرض الخارجي يكون كبيراً عند حدوث ضرر للحاوية نتيجة لتأثيرات ميكانيكية، حرارية أو كيميائية، ويجب أخذ الاحتياطيات التالية:

أ - الخواص المستمرة لخواص التدريع للحاوية.

ب - الرصد الإشعاعي وقياس الجرعات لسطح الحاوية.

ج – قياسات التسرب باستخدام المسوحات على فترات تتحدد من قبل المواد الطبيعية المشعة، وبشكل عام عند تنصيب أي مقياس ننوي يجب القيام باختبارات ضبط الجودة لتنصيب المقاييس النووية.