هيئة الرقابة النووية والإشعاعية
Nuclear and Radiological Regulatory Commission

NRRC Public Publication

مواد البناء والتشييد

وعلاقتها بالأمان (السلامة) الإشعاعية

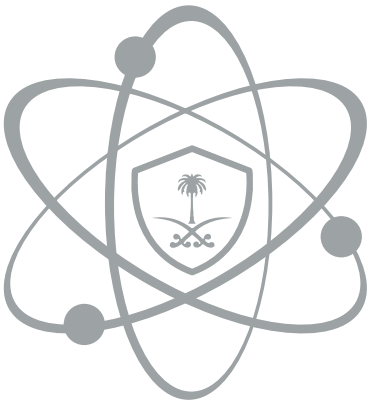


NRRC-PP-12 2026

مـواد البنـاء والتشـييد وعلاقتهـا بالأمـان (السلامـة) الإشـعاعية

2026

NRRC-PP-12



هيئة الرقابة النووية والإشعاعية

Nuclear and Radiological Regulatory Commission

تمهيد

تسعى هيئة الرقابة النووية والإشعاعية إلى تعزيز الوعي بمخاطر الإشعاعات المؤينة الناشئة عن المواد المشعة في الطبيعة، بما في ذلك المرتبطة بمواد البناء والتشييد، انطلاقاً من مسؤولياتها التنظيمية والرقابية المنصوص عليها في تنظيمها الصادر بقرار مجلس الوزراء رقم (334) وتاريخ 1439/7/25هـ، ويأتي ذلك امتداداً لجهود الهيئة في تطوير وتعزيز ثقافة الأمان النووي والإشعاعي، بوصفها أحد أهدافها الاستراتيجية ضمن خطتها الاستراتيجية (2026-2030) واتساقاً مع «سياسة المفاهيم والتوجهات الإعلامية الوطنية في مجالات الرقابة النووية والإشعاعية»، وبالالتزام بقرار مجلس الوزراء رقم 61596 وتاريخ 1443/9/30هـ، والمعني في مجمله بنشر الأجهزة الحكومية لخدماتها بوسائل الإعلام الحديثة وتعزيز التواصل مع الجمهور.

وتهدف هذه الوثيقة إلى التعريف بالمواد المشعة الطبيعية وعلاقتها بمواد البناء والتشييد، وتأثيراتها المحتملة وما قد تشكله من متطلبات رقابية في إطار مسؤوليات هيئة الرقابة النووية والإشعاعية وفق تنظيمها المشار له آنفًا، وإلى نظام الرقابة على الاستخدامات النووية والإشعاعية الصادر بالمرسوم الملكي رقم (م / 82) وتاريخ 1439/7/25هـ ، ولوائحة الفنية. وتبين التقييم الصحيح وبناء المفاهيم الرقابية بأسس مقبولة تتفق مع الأنظمة، إلى جانب ترسيخ الفهم العلمي السليم وتصحيح المفاهيم غير الدقيقة، وبناء وعي مجتمعي قائم على الحقائق العلمية والمتطلبات التنظيمية، بعيداً عن التصورات الذهنية الخاطئة والمعلومات المغلوطة.

مقدمة

يُعد النشاط الإشعاعي الطبيعي جزءًا أصيلاً من البيئة الأرضية منذ نشأتها، إذ تحتوي القشرة الأرضية على نظائر مُشعّة طبيعية ذات أعمار نصفية طويلة. تُعرف المواد التي تحتوي على هذه النظائر بالمواد المُشعّة طبيعية المنشأ (Naturally Occurring Radioactive Materials - NORM)، والتي توجد بصورة طبيعية في الصخور، والتربة، والمياه، والهواء، والكائنات الحية. ومن أهم هذه النظائر سلسلتي اليورانيوم–238، والثوريوم–232، والبوتاسيوم–40، التي لا تزال موجودة حتى يومنا هذا نتيجة امتداد أعمارها النصفية إلى ملايين، أو مليارات السنين.

وتتوزع هذه النظائر المُشعّة الطبيعية بنسب متفاوتة في الصخور والمعادن التي تُستخدم مصادر للمواد الخام التي تدخل في صناعة مواد البناء والتشييد. فخلال عمليات استخراج الخامات الطبيعية مثل الحجر الجيري، والطُّفْلَةُ (صخر رسوبي طيني)، والرمال، والجرانيت، والرخام، والجبس وغيرها، تنتقل كميات متفاوتة من هذه النظائر إلى المنتجات النهائية المُستخدمة في تشييد المباني والمنشآت. ولذلك تُعد مواد البناء أحد مصادر التعرض للإشعاع الطبيعي ضمن ما يُعرف بالخلفية الإشعاعية الطبيعية (Natural Background Radiation). وتختلف مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء تبعًا لعدة عوامل، من أهمها الخصائص الجيولوجية لمصدر الخام، والتركيب المعدني للصخور، وموقع الاستخراج، وعمليات التصنيع والمعالجة. فعلى سبيل المثال، قد تحتوي بعض الصخور المتحولة مثل الجرانيت على تراكيز أعلى نسبيًا من اليورانيوم والثوريوم مقارنةً ببعض الصخور الرسوبية، كما قد تُسهم بعض المواد الثانوية، أو المواد المُعاد تدويرها المستخدمة في صناعة الأسمنت أو غيرها من منتجات البناء في تغيير مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي للمنتج النهائي.

ومع التوسع العمراني وزيادة استخدام كميات كبيرة من مواد البناء في المباني السكنية، والتجارية، والصناعية، ازداد الاهتمام العلمي والتنظيمي بدراسة مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في هذه المواد، وتقييم إسهامها في الجرعات الإشعاعية التي يتعرض لها السكان. ويشمل ذلك تقييم التعرض الخارجي الناتج عن أشعة جاما المنبعثة من مواد البناء، والتعرض الداخلي المرتبط بغاز الرادون ونواتج تحلله المنبعثة من بعض المواد أو من التربة أسفل المساكن والمباني العامة.

وتشير تقارير المنظمات الدولية، ومنها اللجنة العلمية للأمم المتحدة المعنية بآثار الإشعاع الذري (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation - UNSCEAR) والوكالة الدولية للطاقة الذرية (International Atomic Energy Agency - IAEA)، إلى أن التعرض للإشعاع الطبيعي يمثل الجزء الأكبر من الجرعة الإشعاعية التي يتلقاها الإنسان من جميع مصادر الإشعاع. وعلى الرغم من أن إسهام مواد البناء في هذه الجرعة يكون محدودًا في معظم الحالات، فإن تقييم مستويات النشاط الإشعاعي فيها يُعد من الممارسات المُهمة لضمان توافقها مع المعايير الوطنية والدولية وحماية الصحة العامة.

ولأهمية هذا الموضوع، وضعت العديد من الدول والمنظمات الدولية منهجيات ومعايير فنية لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، بما يشمل قياس تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية، وحساب مؤشرات النشاط الإشعاعي، وتقدير الجرعات الإشعاعية المتوقعة للسكان. وتُستخدم نتائج هذه التقييمات لدعم اتخاذ القرارات المتعلقة باستخدام مواد البناء والتشييد، بما يضمن بقاء مستويات التعرض الإشعاعي ضمن الحدود المرجعية الوطنية.

وتتولى هيئة الرقابة النووية والإشعاعية مسؤولية حماية الإنسان والبيئة من الآثار الضارة للإشعاعات المؤينة، بما في ذلك المواد المُشعّة طبيعية المنشأ، من خلال إعداد اللوائح الفنية، والرقابة على الأنشطة ذات العلاقة، وتنفيذ أعمال الرصد والتقييم الإشعاعي، والتحقق من الالتزام بمتطلبات الأمان الإشعاعي وفق الأنظمة الوطنية مع مراعاة أفضل الممارسات الدولية.

وانطلاقًا من مسؤوليات الهيئة الرقابية والتنظيمية، أصدرت الهيئة اللائحة الفنية الخاصة (NRRC-R-01-SR08) "المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد"، بهدف وضع متطلبات رقابية تضمن أن يكون استخدام مواد البناء والتشييد داخل المملكة متوافقًا مع متطلبات الأمان الإشعاعي والمستويات المرجعية المعتمدة. تحتوي بعض مواد البناء والتشييد بطبيعتها على كميات متفاوتة من النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ، مثل نظائر سلسلتي اليورانيوم–238، والثوريوم–232، ونظير البوتاسيوم–40. وتمثل هذه النظائر المشعة جزءًا من مكونات الإشعاع الطبيعي الموجود في البيئة، ولا يعني وجودها في بعض مواد البناء وجود خطر إشعاعي منها، إذ تعتمد مستويات التعرض على نوع النظير المشع وتركيزه، وطبيعته الفيزيائية، وموقع استخدامها في المباني.

تهدف هذه الوثيقة إلى التعريف بالعلاقة بين مواد البناء والتشييد والنشاط الإشعاعي للنظائر المشعة الطبيعية، وبيان مصادرها، والعوامل المؤثرة فيه، ومسارات التعرض الإشعاعي المرتبطة به، ولا سيما التعرض الخارجي لأشعة جاما، والتعرض الداخلي الناتج عن انبعاث نظائر غاز الرادون المشعة ونواتج تحلله في الهواء الداخلي للمباني. كما يستعرض المبادئ العلمية بشكل مبسط لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، بما يشمل النظائر المُشعّة المستهدفة، وتقنيات القياس الإشعاعي، ومؤشر النشاط الإشعاعي، وآلية حسابه، وتفسير نتائجه، وتقييم الجرعة الإشعاعية.

يكمن دور هيئة الرقابة النووية والإشعاعية في وضع المتطلبات التنظيمية والرقابية لضمان الاستخدام الآمن لمواد البناء والتشييد داخل المملكة، استنادًا إلى اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08) . ويوضح إجراءات تقييم مواد البناء، والمستويات المرجعية المعتمدة، وجهود الهيئة في تنفيذ المسح الوطني للنشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد.

وتؤكد هذه الوثيقة أن معظم مواد البناء والتشييد المستخدمة في الظروف الاعتيادية لا تمثل أهمية رقابية خاصة عند توافقها مع المتطلبات التنظيمية والمستويات المرجعية المعتمدة، وأن تقييم النشاط الإشعاعي يُعد إجراءً وقائيًا يهدف إلى التحقق من سلامة هذه المواد، وتعزيز الثقة باستخدامها، ودعم اتخاذ القرارات المبنية على أسس علمية، بما يُسهم في حماية الإنسان والبيئة وتحقيق أعلى مستويات الأمان الإشعاعي.

يتلخص الموضوع في التأكيد على أهم الحقائق التالية:

- تحتوي بعض مواد البناء والتشييد ضمن تكوينها الطبيعي على نظائر مُشعّة طبيعية المنشأ، وتُعد جزءًا من الإشعاع الطبيعي الموجود في البيئة.
- لا تشكل مُعظم مواد البناء والتشييد أهمية رقابية، ولكن تتطلب التحقق من موافقتها للمواصفات الوطنية التي وضعتها هيئة الرقابة الوطنية في اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08).
- يتم تقييم مستوى النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد باستخدام تقنيات قياس مُعتمدة ومؤشرات إشعاعية تستند إلى المعايير والممارسات الوطنية.
- يُعد التعرض الخارجي لأشعة جاما، والتعرض الداخلي – عند دخول المواد المشعة إلى داخل الجسم عبر مسارات مختلفة منها التنفس - والناتج عن غاز الرادون المشع ونواتج تحلله داخل المباني من أهم مسارات التعرض الإشعاعي المرتبطة بمواد البناء والتشييد.
- تُسهم المتطلبات الرقابية التي تطبقها هيئة الرقابة النووية والإشعاعية في ضمان استخدام مواد بناء آمنة إشعاعيًا، بما يحقق حماية الإنسان والبيئة.

شكل (1) العلاقة بين مصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي ومواد البناء والتشييد والتعرض الإشعاعي.



تسعى هذه الوثيقة إلى تقديم مرجع علمي مبسط حول مواد البناء والتشييد وعلاقتها بالأمان الإشعاعي، من خلال التعريف بمصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء، وآليات انتقاله، ومسارات التعرض الإشعاعي المرتبطة به، واستعراض المبادئ العلمية لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، إضافةً إلى المتطلبات الرقابية والتنظيمية والمعايير الوطنية ذات العلاقة، بما يُسهم في تعزيز الوعي بالاستخدام الآمن لمواد البناء والتشييد، وحماية الإنسان والبيئة. وتركز الوثيقة على ما يلي:

- رفع مستوى الوعي بالنشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد.
- التعريف بمصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي والنظائر المُشعّة الرئيسة في مواد البناء.
- توضيح المبادئ العلمية والعوامل المؤثرة على مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء.
- استعراض المبادئ العلمية لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، بما يشمل تقنيات القياس والنظائر المستهدفة.
- التعريف بمؤشر النشاط الإشعاعي، وآلية حسابه، وتفسير نتائجه في تقييم مواد البناء.
- استعراض المتطلبات الرقابية والتنظيمية والمستويات المرجعية والمعايير الوطنية والدولية ذات العلاقة.
- التعريف بدور هيئة الرقابة النووية والإشعاعية في الرقابة على الآثار الإشعاعية الضارة بما فيها تلك التي تصدر طبيعيًا ، وما يوجد منها في مواد البناء والتشييد.

تتناول الوثيقة المبادئ العلمية لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، بما يشمل النظائر المُشعّة المُستهدفة، وتقنيات القياس الإشعاعي، ومؤشر النشاط الإشعاعي، وآلية حسابه وتفسير نتائجه، وتقييم الجرعة الإشعاعية، والمستويات المرجعية، إضافةً إلى المتطلبات الرقابية والتنظيمية الواردة في لائحة الهيئة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08)، ودورها في الرقابة على مواد البناء والتشييد، وإجراءات تقييمها، وجهودها في تنفيذ المسح الوطني للنشاط الإشعاعي الطبيعي.

ولا تتضمن الوثيقة استعراضًا تفصيليًا للآثار الصحية المرتبطة بالتعرض لغاز الرادون ونواتج تحلله داخل المباني، كما لا تتناول تقييم المواد المُشعّة الاصطناعية أو التلوث الإشعاعي الناتج عن الحوادث النووية أو الإشعاعية، إلا بالقدر الذي تقتضيه عملية تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد.

مواد البناء والتشييد

تُعرَّف مواد البناء والتشييد بأنها جميع المواد الطبيعية، أو المُصنعّة، أو المعالجة، التي تُستخدم في إنشاء المباني والمنشآت وأعمال البنية التحتية، وتشمل المواد الإنشائية والتشطيبية والمواد المساندة التي تُسهم في تحقيق متطلبات القوة والمتانة والاستقرار والوظيفة والجودة والجمال المعماري. وتتنوع هذه المواد في خصائصها الفيزيائية والكيميائية والميكانيكية تبعًا لطبيعة المواد الخام المُستخدمة وعمليات التصنيع، بما يتيح استخدامها في مختلف التطبيقات الإنشائية. وتُستخرج المواد الخام اللازمة لصناعة معظم مواد البناء من الموارد الطبيعية، مثل الصخور، والرمال، والطين، والمعادن، ثم تخضع لعمليات الاستخراج والمعالجة والتصنيع لإنتاج مواد تلبي المتطلبات الفنية والهندسية. كما تُستخدم في بعض الصناعات مواد ثانوية ناتجة عن عمليات صناعية أخرى، بعد التحقق من مطابقتها للمتطلبات الفنية والبيئية ذات العلاقة.

وتشمل مواد البناء والتشييد طيفًا واسعًا من المنتجات، مثل الأسمنت، والخرسانة، والطوب، والجبس، والحجر الطبيعي، والرخام، والجرانيت، والسيراميك، والزجاج، والركام، بالإضافة إلى عدد من المواد الحديثة المُستخدمة في قطاع التشييد.

وتختلف خصائص هذه المواد تبعًا لمصدرها وتركيبها المعدني والكيميائي، الأمر الذي قد ينعكس على مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي فيها. ولذلك، قد تتطلب بعض هذه المواد تقييمًا للنشاط الإشعاعي الطبيعي وفقًا لمتطلبات الهيئة الرقابية والتنظيمية، لضمان توافقها مع متطلبات الأمان الإشعاعي. ولا يشمل ذلك أي اعتبارات خارج إطار التعرض الإشعاعي لمواد بناء وتشييد أخرى قد لا تكون ممنوعة أو غير مناسبة لإثارها الأخرى مثل الدهانات المتضمنة لمادة الرصاص أو الأسبستوس.



وتُعد مواد البناء والتشييد من الركائز الأساسية للبيئة العمرانية، إذ تُستخدم في إنشاء المباني السكنية، والمدارس والبيئات التعليمية المختلفة، والتجارية، والصناعية، إضافةً إلى مشروعات البنية التحتية، مثل الطرق، والجسور، والمطارات، والسدود. وتؤثر خصائص هذه المواد بصورة مباشرة في سلامة المنشآت ومتانتها وعمرها الافتراضي، كما تُسهم في رفع كفاءة استخدام الموارد والطاقة، وتعزيز جودة البيئة الداخلية، وتحقيق الراحة لشاغلي المباني.

ونظرًا إلى أن الإنسان يقضي جزء كبير من وقته اليومي داخل المباني، فإن اختيار مواد بناء مناسبة وعالية الجودة، والتحقق من توافقها مع المتطلبات الفنية والبيئية ومتطلبات الأمان الإشعاعي عند الاقتضاء، يُعد من العوامل المهمة في توفير بيئة مبنية آمنة ومستدامة.

ووفقًا لتصنيف اللائحة الفنية لهيئة الرقابة النووية والإشعاعية، تُقسم مواد البناء والتشييد إلى فئتين رئيستين، هما: المواد الطبيعية، والمواد المُصنَّعة. وتشمل المواد المُصنَّعة المنتجات التقليدية المصنعة من المواد الخام الطبيعية، إضافةً إلى المنتجات التي يدخل في تصنيعها بعض المنتجات الثانوية أو المخلفات الصناعية. ويُعد هذا التصنيف أساسًا لفهم العلاقة بين مواد البناء والتشييد والنشاط الإشعاعي الطبيعي.



مواد البناء الطبيعية

المواد الطبيعية

هي المواد التي تُستخرج مباشرةً من الموارد الطبيعية، وتخضع لعمليات تجهيز أو معالجة محدودة، مثل التقطيع، أو التكسير، أو الصقل، دون إحداث تغير جوهري في تركيبها الكيميائي أو المعدني.

وتُستخدم هذه المواد على نطاق واسع في أعمال البناء والتشييد لما تتميز به من المتانة وطول العمر الافتراضي. ومن أبرز أمثلتها الحجر الجيري، والجرانيت، والرخام، والبازلت، والرمل، والحصى، وتختلف خصائصها تبعًا لتركيبها الجيولوجي ومصدرها الطبيعي.

المواد المُصنَّعة

هي المواد التي تُنتج من خلال معالجة المواد الخام الطبيعية باستخدام عمليات صناعية، مثل الطحن، والحرق، والخلط، والكبس، والمعالجة الحرارية، بهدف إكسابها خصائص إنشائية أو وظيفية محددة. وتشمل هذه الفئة الأسمنت، والخرسانة، والطوب، والسيراميك، والزجاج، والجبس، وغيرها من المواد المستخدمة في أعمال البناء والتشييد. كما تشمل هذه الفئة المنتجات التي يدخل في تصنيعها بعض المنتجات الثانوية أو المخلفات الصناعية، مثل الرماد المتطاير، وخبث الأفران، والفوسفوجبس، والطين الأحمر، والتي يُعاد استخدامها للاستفادة من خصائصها الفنية وتعزيز كفاءة استخدام الموارد. ونظرًا لاختلاف مصادر هذه المواد وخصائصها، فقد تتطلب تقييمًا فنيًا وإشعاعيًا قبل استخدامها في بعض تطبيقات البناء، وفقًا لمتطلبات الهيئة الرقابية والتنظيمية لتحقيق الأمان الإشعاعي.





كما تُصنف مواد البناء والتشييد وفقًا لاستخدامها إلى:

- مواد تُستخدم في المباني السكنية والمباني العامة، سواءً في التطبيقات الداخلية أو الخارجية.
- مواد تُستخدم في الطرق ومناطق الألعاب وغيرها من تطبيقات وأعمال الهندسة المدنية.

جدول (1) أمثلة على مواد البناء والتشييد والاستخدامات الرئيسة لها

المادة الخام	الاستخدامات الرئيسية
الحجر الجيري	صناعة الأسمنت، وأحجار البناء
الطين	صناعة الطوب، والأسمنت، والسيراميك
الجبس	ألواح الجبس، والجبس الإنشائي
الرمال	الخرسانة والمونة والزجاج
الحصى والركام	الخرسانة، والطرق
الجرانيت	الأرضيات، والواجهات، والأسطح
البازلت	الركام، والطرق، والأحجار الإنشائية
الرخام	التشطيبات الداخلية، والخارجية

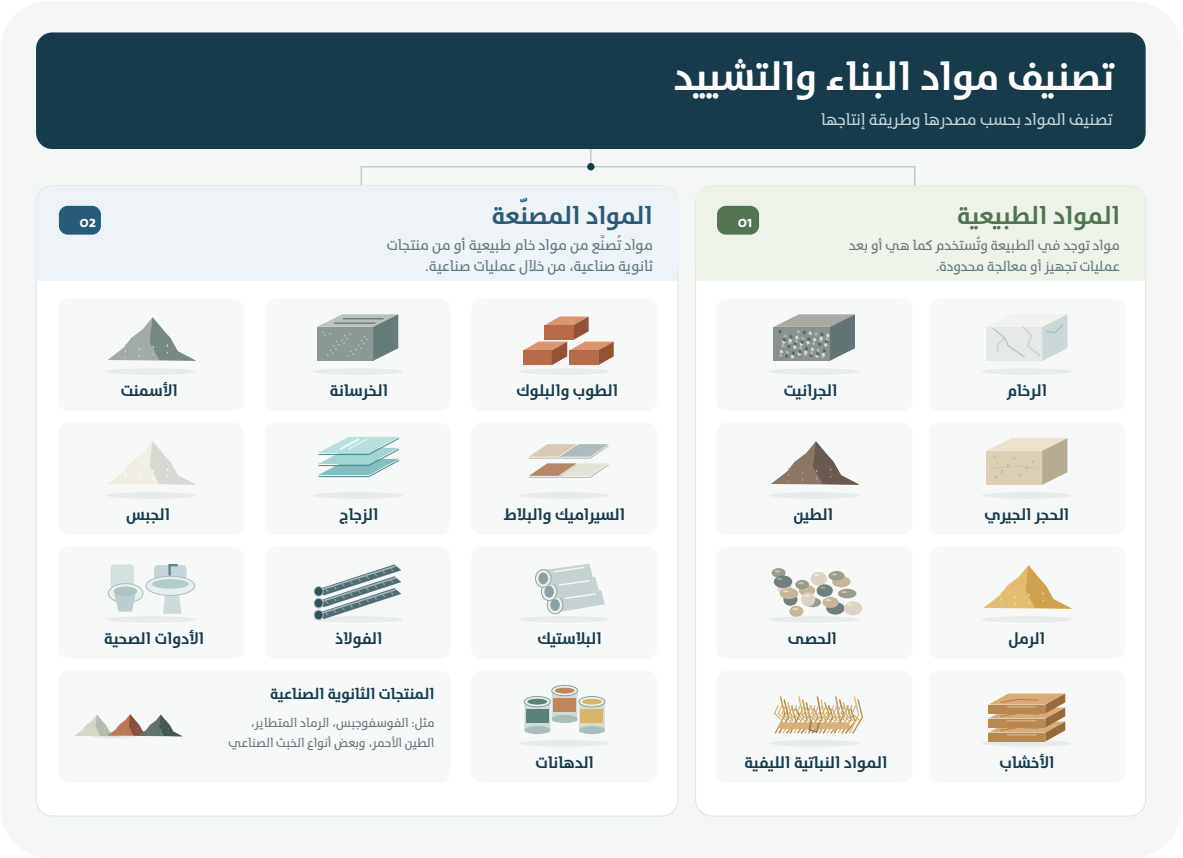
يوضح الجدول (1) أمثلة على مواد البناء والتشييد ، بينما يوضح الشكل (2) تصنيف مواد البناء والتشييد طبقًا للائحة الفنية للهيئة.

يُقاس النشاط الإشعاعي للمادة المشعة بعدد التحللات النووية التي تحدث خلال وحدة الزمن. وقد استُخدمت وحدة الكيوري (Curie, Ci) تاريخيًا للتعبير عن النشاط الإشعاعي، إلا أن الوحدة المعتمدة حاليًا في النظام الدولي للوحدات - هي البيكريل (Becquerel, Bq)، ويُعرَّف بأنه تحلل نووي واحد في الثانية. وعند مقارنة النشاط الإشعاعي بين المواد المختلفة، يُستخدم مفهوم النشاط الإشعاعي النوعي (Specific Activity)، وهو مقدار النشاط الإشعاعي لكل وحدة (كتلة) من المادة، ويُعبَّر عنه عادةً بوحدة البيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg).

ويُعد هذا المؤشر من أهم المعايير المستخدمة في تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي، ولا سيما في مواد البناء والتشييد، إذ يتيح مقارنة مستويات النشاط الإشعاعي بين المواد المختلفة، وتقييم مدى توافقها مع المتطلبات الرقابية التنظيمية والمستويات المرجعية المعتمدة.

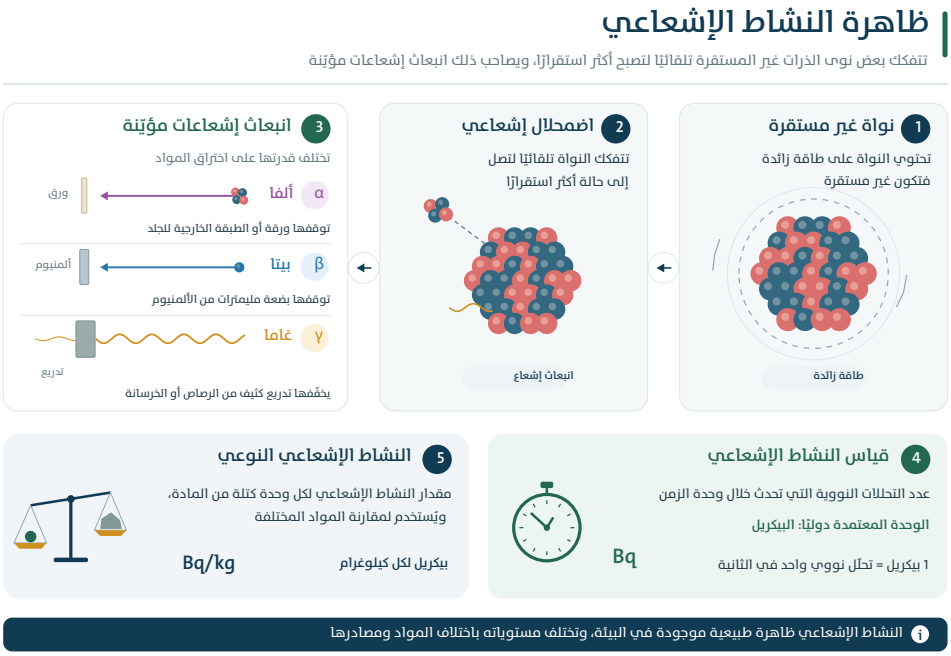
ويوضح الشكل (3) بصورة مبسطة مفهوم النشاط الإشعاعي، وآلية التحلل الإشعاعي، وأنواع الإشعاعات المؤينة المنبعثة، إضافةً إلى الفرق بين قياس النشاط الإشعاعي بوحدة البيكريل (Bq)، والنشاط الإشعاعي النوعي بوحدة البيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg).

شكل (2) تصنيف مواد البناء والتشييد.



يؤدي التحلل الإشعاعي للنظائر المُشعّة إلى انبعاث أنواع مختلفة من الإشعاعات المؤينة، تختلف في طبيعتها الفيزيائية، وقدرتها على اختراق المواد والأنسجة، وتأثيرها في المادة الحية. وتشمل هذه الإشعاعات جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وأشعة جاما، إضافةً إلى الأشعة السينية. وفي مجال تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي، ولا سيما في مواد البناء والتشييد، ينصب الاهتمام بصورة رئيسة على جسيمات ألفا، وجسيمات بيتا، وأشعة جاما، لأنها الإشعاعات الناتجة عن تحلل النظائر المُشعّة الطبيعية. أما الأشعة السينية فذُكرت لتميزها عن أشعة جاما، على الرغم من أنها لا تنبعث طبيعيًا من مواد البناء، وإنما تُنتج باستخدام أجهزة الأشعة السينية.

وفيما يلي عرض موجز لأهم خصائص هذه الإشعاعات المؤينة. وجسيمات ألفا هي نوى ذرات الهيليوم، وتتكون من بروتونين ونيوترونين، وتحمل شحنة كهربائية موجبة. وتتميز بقدرة اختراق منخفضة جدًا، إذ يمكن إيقافها بواسطة ورقة رقيقة أو الطبقة الخارجية من جلد الإنسان. وعلى الرغم من محدودية تأثيرها عند التعرض الخارجي، فإنها قد تُشكل خطرًا صحيًا عند استنشاق أو ابتلاع المواد المُشعّة الباعثة لها، أو نواتج تحلل غاز الرادون، مما يؤدي إلى التعرض الإشعاعي الداخلي. في حين أن جسيمات بيتا هي إلكترونات أو بوزيترونات عالية السرعة تنبعث من نواة الذرة أثناء بعض أنواع التحلل الإشعاعي. وتمتلك قدرة اختراق أكبر من جسيمات ألفا، ويمكنها اختراق الجلد لمسافات محدودة داخل الأنسجة. ويمكن الحد من تأثيرها باستخدام حواجز خفيفة نسبيًا، مثل البلاستيك أو صفائح الألومنيوم الرقيقة. وفي مجال تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد، تُعد مساهمة جسيمات بيتا في التعرض الإشعاعي محدودة مقارنة بأشعة جاما.

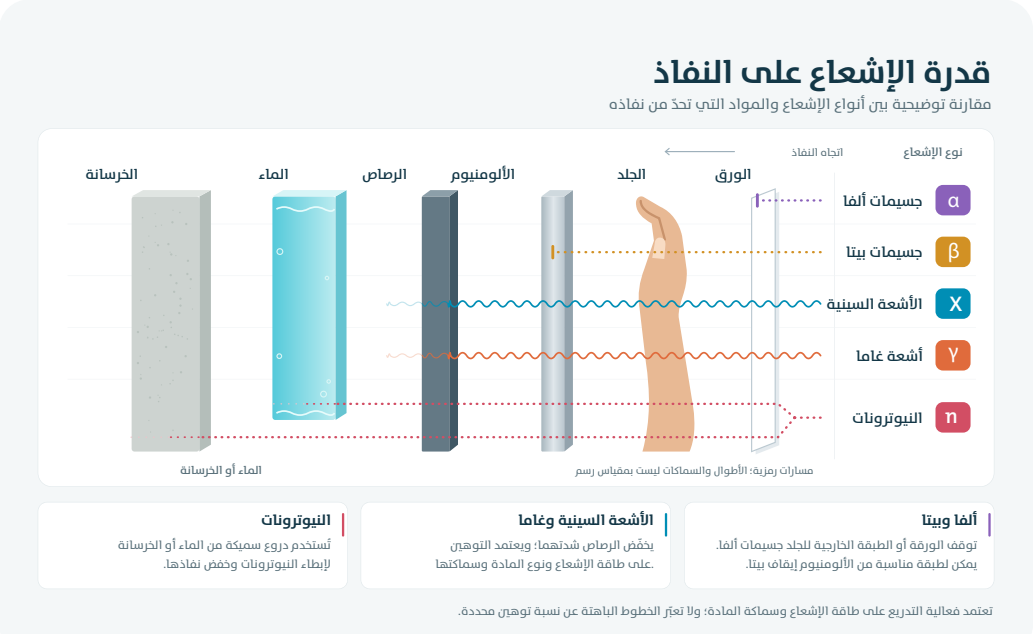


شكل (3) آلية حدوث النشاط الإشعاعي وانبعاث الإشعاعات المؤينة.

وأشعة جاما هي إشعاعات كهرومغناطيسية عالية الطاقة تنبعث من نواة الذرة المُشعّة أثناء التحلل الإشعاعي. ولا تمتلك كتلة أو شحنة كهربائية، إلا أنها تتميز بقدرة عالية على اختراق المواد والأنسجة، ولذلك تُعد المصدر الرئيس للتعرض الإشعاعي الخارجي الناتج عن مواد البناء والتشييد. ولهذا السبب، تعتمد معظم عمليات تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء على قياس إشعاع جاما باستخدام أجهزة القياس الإشعاعي.

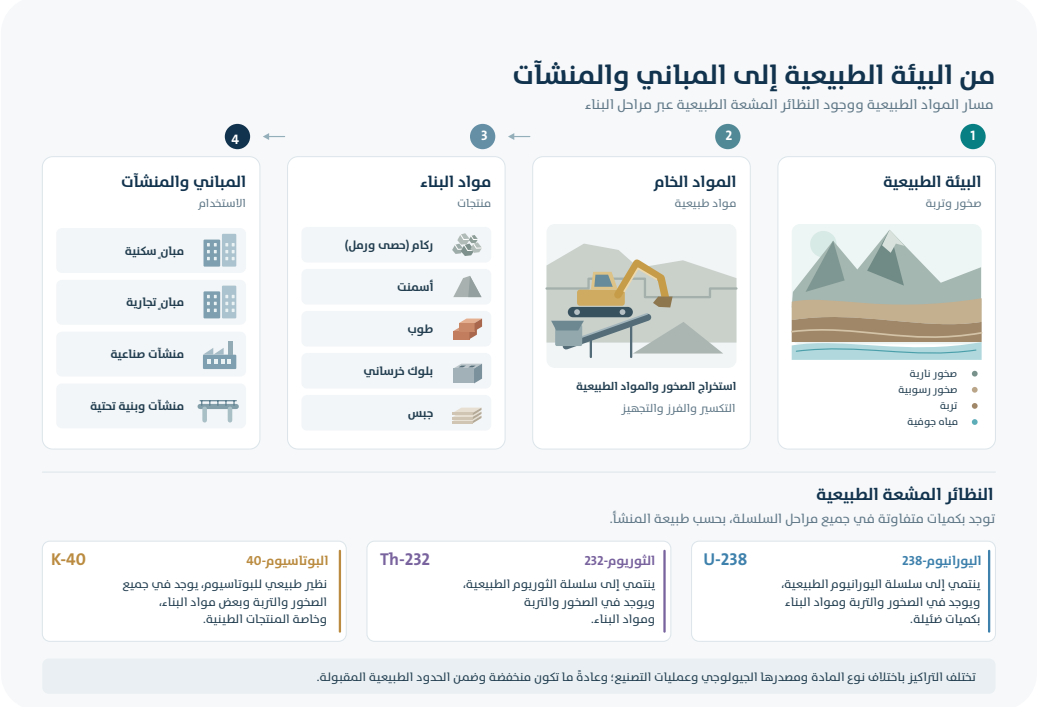
ويوضح الشكل (4) مقارنة مبسطة بين أنواع الإشعاعات المؤينة الرئيسة من حيث طبيعتها وقدرتها النسبية على اختراق المواد. وتزداد قدرة الاختراق من جسيمات ألفا إلى جسيمات بيتا ثم أشعة جاما، في حين تتشابه الأشعة السينية مع أشعة جاما في خصائصها وقدرتها العالية على الاختراق، مع اختلاف مصدر كل منهما.

تعتمد معظم مواد البناء والتشييد على مواد خام مُستخرجة من القشرة الأرضية، مثل الصخور، والمعادن، والطين، والرمال، والحصى، والحجر الجيري، والجبس. ونظرًا إلى أن هذه المواد تكّونت في بيئات جيولوجية طبيعية، فإنها تحتوي بدرجات متفاوتة على كميات ضئيلة من النظائر المُشعّة الطبيعية، وعلى رأسها سلاسل تحلل اليورانيوم–238، والثوريوم–232، إضافةً إلى البوتاسيوم–40. وتنتقل هذه النظائر المُشعّة الطبيعية إلى مواد البناء والتشييد خلال مراحل استخراج المواد الخام ومعالجتها وتصنيعها، وقد تختلف تراكيزها تبعًا لنوع المادة الخام، وخصائصها الجيولوجية، وعمليات التصنيع المستخدمة في إنتاجها. ويوضح الشكل (5) المراحل الرئيسة لانتقال هذه النظائر من البيئة الجيولوجية إلى المواد الخام، ثم إلى منتجات البناء والتشييد المختلفة، وصولًا إلى استخدامها في المباني والمنشآت. وتُعد سلاسل تحلل اليورانيوم–238، والثوريوم–232، ونواتج تحللهما، إضافةً إلى البوتاسيوم–40، من أهم النظائر المُشعّة الطبيعية المستخدمة في تقييم النشاط الإشعاعي لمواد البناء والتشييد.



شكل (4) مقارنة بين أنواع الإشعاعات المؤينة وقدرتها النسبية على اختراق المواد.
المصدر: الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)

شكل (5) انتقال النظائر المُشعّة الطبيعية من البيئة الجيولوجية إلى مواد البناء والتشييد.

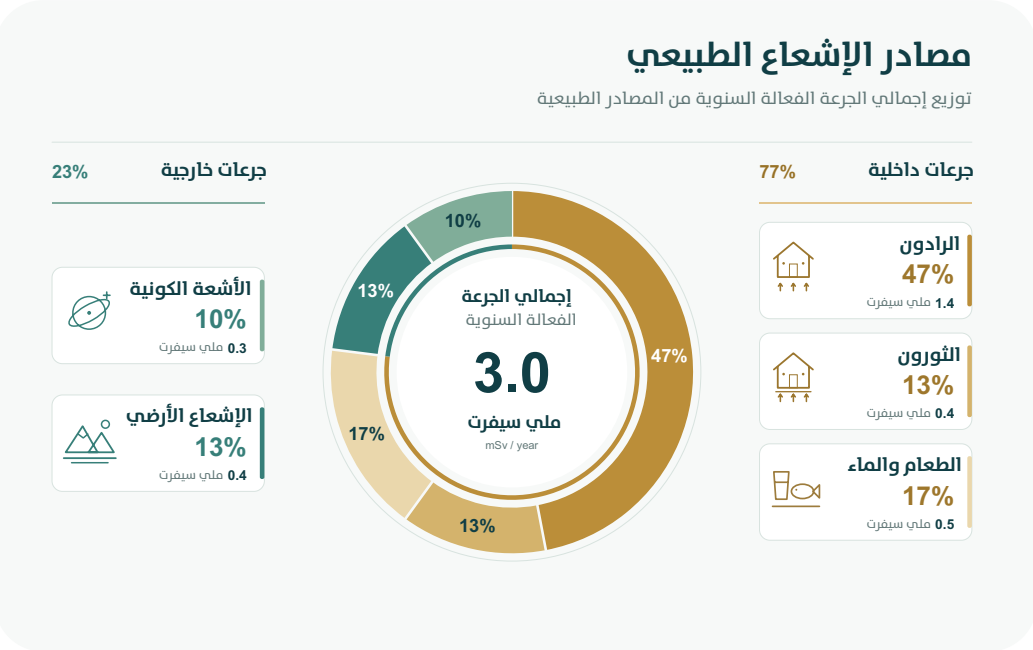


ويوضح هذا الشكل أن وجود النظائر المُشعّة في مواد البناء يُعد نتيجة مباشرة لانتقالها من المواد الخام ذات المنشأ الجيولوجي، وهو ما يجعلها جزءًا من مصادر الإشعاع الطبيعي التي يتعرض لها الإنسان بصورة مستمرة.

وتُعد هذه الظاهرة جزءًا من الخلفية الإشعاعية الطبيعية، ولا تعني بالضرورة وجود خطر إشعاعي، إذ أن معظم مواد البناء والتشييد المستخدمة تحتوي على مستويات منخفضة من النشاط الإشعاعي الطبيعي تقع ضمن الحدود الطبيعية المعروفة. وتشير تقارير لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR)، إلى أن الإشعاع الطبيعي يمثل المصدر الرئيس للجرعة الإشعاعية التي يتلقاها الإنسان.

ويُظهر الشكل (6) أن الاشعاع الطبيعي يتكون من عدة مصادر، ويُسهم التعرض داخل المباني، بما في ذلك الإشعاع الصادر من مواد البناء والرادون، بجزء من هذه الجرعة الفعّالة السنوية التي يتلقاها الإنسان.

شكل (6) المتوسط العالمي لإسهام مصادر الإشعاع الطبيعي في الجرعة الفعّالة السنوية.



ومع ذلك، قد تستدعي بعض المواد، ولا سيما المُصنَّعة من خامات ذات نشاط إشعاعي طبيعي مرتفع، أو التي يدخل في تصنيعها بعض المنتجات الثانوية الصناعية المحتوية على مواد مُشعّة طبيعية المنشأ، إجراء تقييم إشعاعي للتحقق من توافقها مع المتطلبات الرقابية والتنظيمية والمستويات المرجعية المعتمدة.

ولذلك، تحظى مواد البناء والتشييد باهتمام كبير من الهيئات الرقابية والمنظمات الدولية، التي وضعت منهجيات ومؤشرات علمية لتقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في هذه المواد، بهدف ضمان سلامة استخدامها، والحد من التعرض غير المبرر للإشعاع، وحماية الإنسان والبيئة. ويُعد فهم العلاقة بين مواد البناء والتشييد والنشاط الإشعاعي الطبيعي أساسًا لفهم آلية انتقال النظائر المُشعّة، وتفسير اختلاف مستويات النشاط الإشعاعي بين المواد، وتقييم الجرعات الإشعاعية المرتبطة بها، وسيتم في الأقسام التالية توضيح ظاهرة النشاط الإشعاعي، وآلية تحلل النظائر المُشعّة الطبيعية، وأنواع الإشعاعات المؤينة المرتبطة بها.

مصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد

يُعزى النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد إلى وجود نظائر مُشعّة طبيعية في المواد الخام التي تدخل في تصنيعها. وتُعد سلاسل تحلل اليورانيوم–238، والثوريوم–232، إضافةً إلى البوتاسيوم– 40، المصادر الرئيسة لهذا النشاط الإشعاعي، إذ تنتشر هذه النظائر بصورة طبيعية في الصخور والمعادن التي تُستخرج منها معظم مواد البناء. كما يوجد اليورانيوم–235، بوصفه أحد مكونات اليورانيوم الطبيعي، إلا أن انخفاض وفرته الطبيعية يجعل إسهامه في النشاط الإشعاعي لمواد البناء محدودًا مقارنةً باليورانيوم– 238.

وتنبعث من هذه النظائر المُشعّة أنواع مختلفة من الإشعاعات المؤينة نتيجة تحللها الإشعاعي، ويُعد إشعاع جاما المصدر الرئيس للتعرض الإشعاعي الخارجي المرتبط بمواد البناء والتشييد. كما يؤدي تحلل الراديوم–226، وهو أحد أفراد سلسلة اليورانيوم–238، إلى انبعاث غاز الرادون، الذي قد يتراكم داخل المباني عند عدم كفاية التهوية، مما يجعله أحد أهم مصادر التعرض الإشعاعي الطبيعي في الأماكن المغلقة.

ويختلف تراكيز هذه النظائر المُشعّة بين أنواع مواد البناء تبعًا لعدة عوامل، من أهمها طبيعة الصخور التي استُخرجت منها المواد الخام، وتركيبها المعدني، والبيئة الجيولوجية التي تكوّنت فيها، إضافةً إلى عمليات التصنيع وإمكانية استخدام بعض المواد الطبيعية أو المنتجات الثانوية الصناعية في إنتاج مواد البناء. ولذلك قد تختلف مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي بين مادة وأخرى، بل وحتى بين منتجات تنتمي إلى النوع نفسه، تبعًا لاختلاف مصدر المواد الخام.

ورغم هذا التفاوت، فإن معظم مواد البناء المتداولة تحتوي على تراكيز منخفضة من هذه النظائر، وتُعد آمنة للاستخدام عند توافقها مع المستويات المرجعية ومتطلبات الهيئة الرقابية والتنظيمية المُعتمدة. ولهذا تُجرى القياسات الإشعاعية لتحديد تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء، وتقييم الجرعات الإشعاعية المُحتملة، والتحقق من استيفائها لمتطلبات الحماية من الإشعاع.

ويُعد التعرف على مصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء خطوةً أساسية لفهم سلوك هذه النظائر وآلية انتقالها إلى مواد البناء، وتفسير أسباب اختلاف مستويات النشاط الإشعاعي بين المواد المختلفة، كما يُمثل الأساس العلمي لتقييم التعرض الإشعاعي داخل المباني، واتخاذ القرارات التنظيمية المتعلقة باستخدام مواد البناء. وتستعرض الأقسام التالية أهم مصادر النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد، من خلال التعريف بسلسلتي تحلل اليورانيوم–238، والثوريوم–232، إضافةً إلى البوتاسيوم–40، وأهم خصائصها الإشعاعية وعلاقتها بمواد البناء.

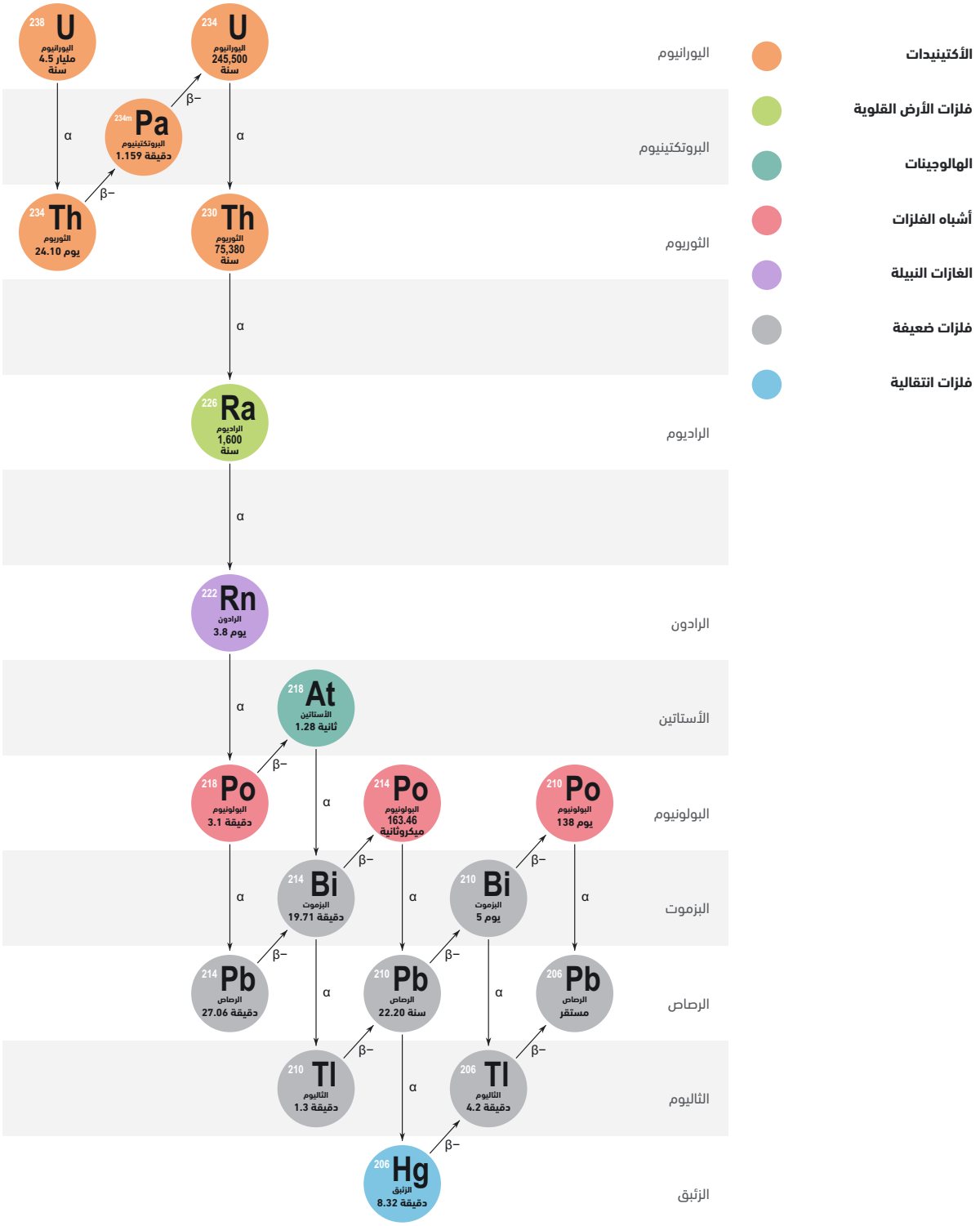
اليورانيوم وسلسلة تحلله

اليورانيوم عنصر ثقيل جميع نظائره مشعة، وهو يوجد بصورة طبيعية في التكوينات الجيولوجية للأرض من صخور، وتربة، وفي المياه بتراكيز متفاوتة، ويُعد من أهم مصادر الإشعاع الطبيعي في البيئة. ونظرًا لأن معظم مواد البناء والتشييد تُصنّع من الصخور والمعادن الطبيعية، فقد تحتوي على كميات متفاوتة من اليورانيوم ونواتج تحلله، تبعًا لطبيعة المواد الخام ومصدرها الجيولوجي. ويتكون اليورانيوم الطبيعي أساسًا من ثلاث نظائر مُشعّة، هي اليورانيوم–238، واليورانيوم–235، واليورانيوم–234. ويُعد اليورانيوم–238 الأكثر وفرة، إذ يشكل أكثر من 99% من اليورانيوم الطبيعي، بينما يوجد اليورانيوم–235بنسبة أقل بكثير. ويتميز كل من اليورانيوم–238، واليورانيوم–235 بعمر نصف طويل، مما يجعلهما من المصادر المستمرة للنشاط الإشعاعي الطبيعي في القشرة الأرضية.

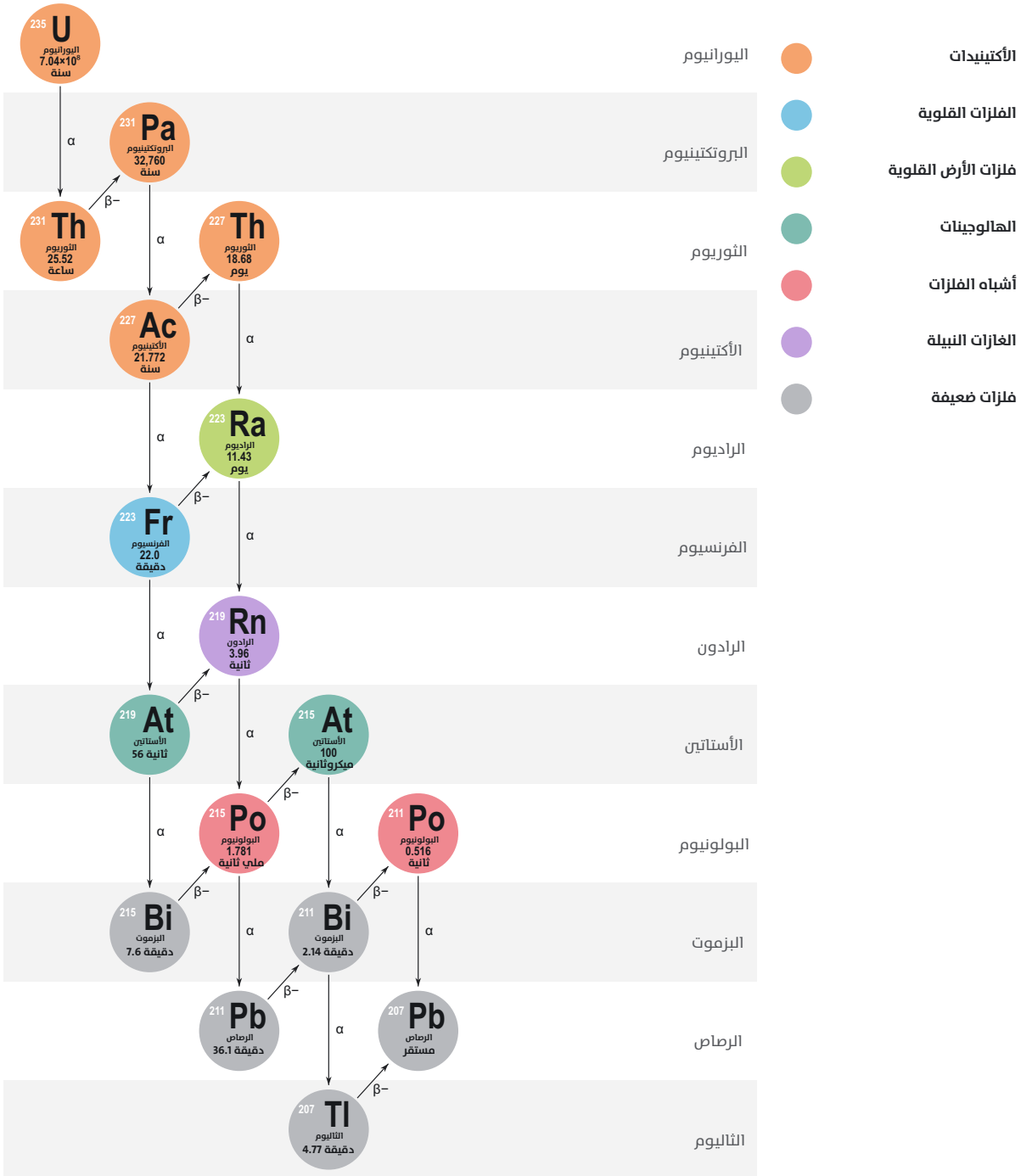


ويضمحل كل من اليورانيوم–238، واليورانيوم–235، بصورة طبيعية عبر سلسلتي تحولات إشعاعية مستقلتين، تُعرفان بسلسلتي تحلل اليورانيوم–238 واليورانيوم–235، حيث تتحول أنوية اليورانيوم تدريجيًا إلى عدد من النظائر المُشعّة الأخرى، مثل الثوريوم، والراديوم، والرادون، والبولونيوم، والبيزموث، والرصاص، قبل أن تنتهي بالنظيرين المستقرين غير المشعين الرصاص–206، والرصاص–207، على التوالي، كما هو موضح في الشكلين (7) و (8). وتختلف تراكيز اليورانيوم ونواتج تحلله من منطقة إلى أخرى تبعًا لطبيعة التكوينات الجيولوجية، لذلك قد تختلف تراكيزه أيضًا بين أنواع مواد البناء والتشييد، بل وحتى بين منتجات المادة نفسها، تبعًا لاختلاف مصدر المواد الخام. ويُعد الراديوم–226 أحد أهم نواتج تحلل سلسلة اليورانيوم–238، إذ يؤدي تحلله إلى انبعاث غاز الرادون–222، الذي قد يتراكم داخل هواء المباني. ولذلك يُعد قياس تراكيز اليورانيوم ونواتج تحلله، ولا سيما الراديوم–226 والرادون–222، من العناصر الأساسية في تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء والتشييد، والتحقق من توافقها مع متطلبات هيئة الرقابة النووية والإشعاعية بما يتفق مع متطلبات الحماية من الإشعاع، وبما يُسهم في حماية صحة الإنسان.





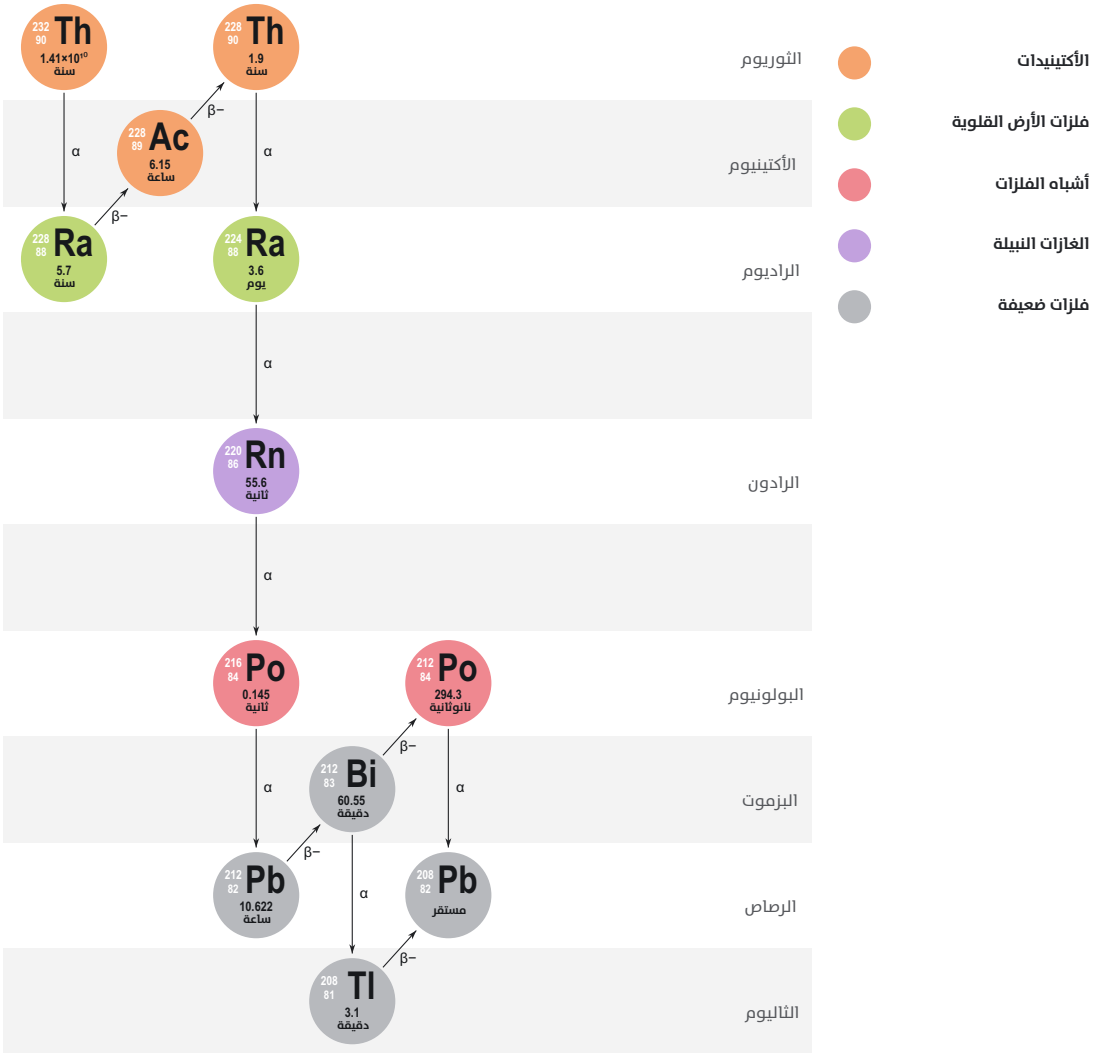
شكل (7) سلسلة تحلل اليورانيوم–238.



شكل (8) سلسلة تحلل اليورانيوم–235.

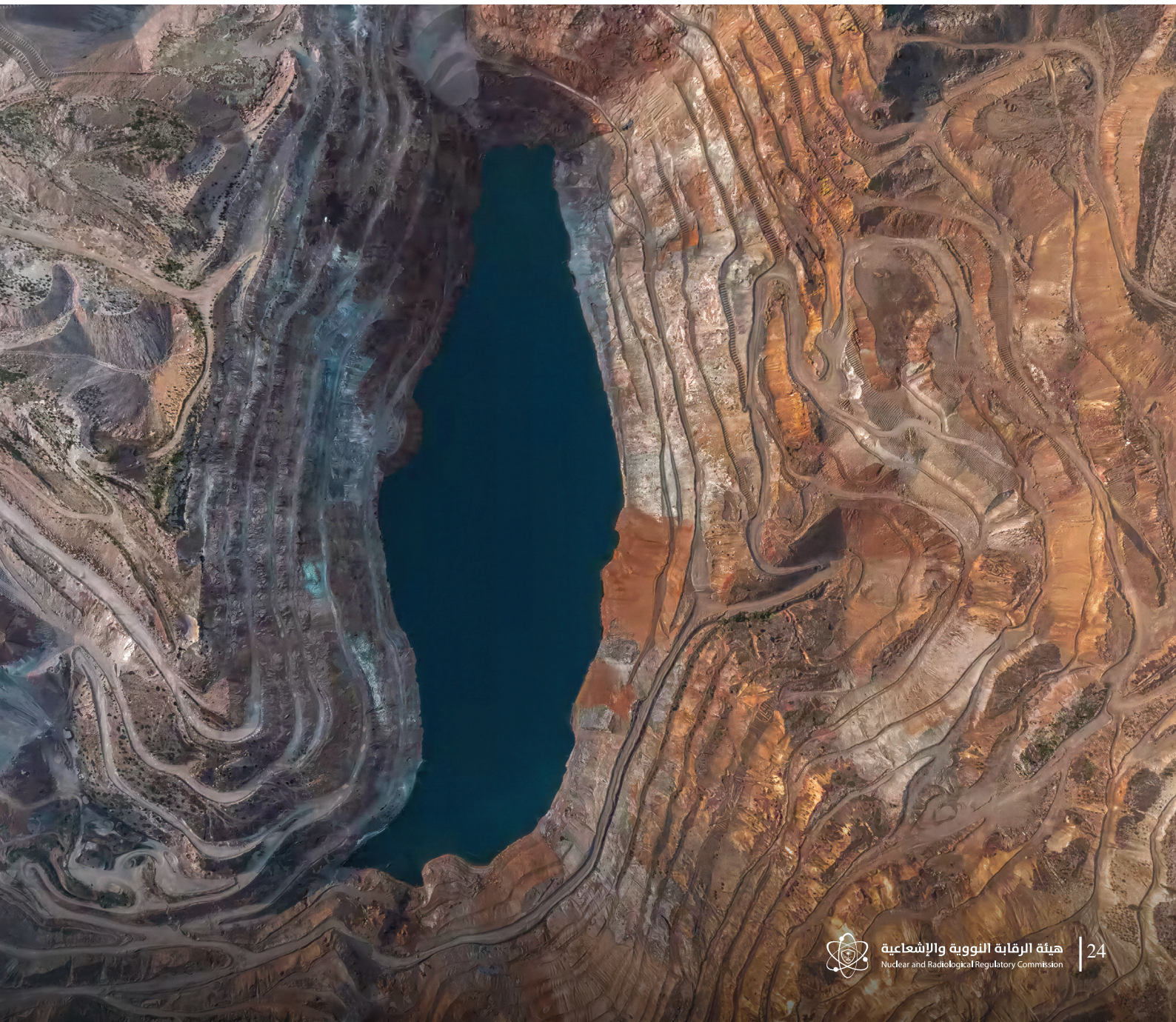
الثوريوم وسلسلة تحلله

الثوريوم عنصر ثقيل له نظائر جميعها مُشعَّة، ويوجد بصورة طبيعية في التكوينات الجيولوجية من صخور وتربة، ويُعد أحد المصادر الرئيسة للنشاط الإشعاعي الطبيعي في البيئة. ونظرًا إلى أن معظم مواد البناء والتشييد تُصنع من الصخور والمعادن الطبيعية، فقد تحتوي على كميات متفاوتة من الثوريوم ونواتج تحلله، تبعًا لطبيعة المواد الخام ومصدرها الجيولوجي. ويوجد الثوريوم في الطبيعة أساسًا على هيئة النظير المُشع الثوريوم–232، الذي يتميز بعمر نصف طويل جدًا، مما أدى إلى بقائه في القشرة الأرضية منذ نشأتها. ويتحلل الثوريوم–232 تدريجيًا عبر سلسلة من التحولات الإشعاعية الطبيعية، منتجًا عددًا من النظائر المُشعّة، مثل نظيرا الراديوم (228 و 224)، والرادون–220 (الثورون) والبولونيوم، والبيزموث، والرصاص وغيرها، حتى ينتهي بنظير الرصاص–208 المستقر (غير المشع)، كما هو موضح في الشكل (9).



شكل (9) سلسلة تحلل الثوريوم – 232.

وتختلف تراكيز الثوريوم في الصخور والمواد الخام باختلاف طبيعة التكوينات الجيولوجية، لذلك قد تختلف تراكيزه أيضًا بين أنواع مواد البناء والتشييد، بل وحتى بين منتجات المادة نفسها، تبعًا لاختلاف مصدر المواد الخام. ويُلاحظ ارتفاع تراكيز الثوريوم في بعض الصخور والمعادن، مثل بعض أنواع الجرانيت، ورمال المونازيت، مما قد يؤدي إلى ارتفاع النشاط الإشعاعي الطبيعي في المواد المُصنّعة منها. ويتميز الثوريوم بانخفاض حركته وانتقاله في البيئة مقارنةً باليورانيوم، إذ يبقى مرتبطًا بالصخور والمعادن لفترات طويلة، مما يجعله أحد المصادر الطبيعية المستمرة للنشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد. ولذلك تُعد دراسة تراكيز الثوريوم ونواتج تحلله جزءًا أساسيًا من تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء، والتحقق من توافقها مع المتطلبات الرقابية ومتطلبات هيئة الرقابة النووية والإشعاعية بما يتفق مع متطلبات الحماية من الإشعاع، بما يُسهم في حماية صحة الإنسان.



نظير البوتاسيوم – 40

يُعد البوتاسيوم من العناصر الطبيعية واسعة الانتشار في الصخور والتربة، كما يدخل في تركيب العديد من المعادن المكوِّنة للصخور، مثل الفلسبار والميكا، والتي تُستخدم في إنتاج مواد البناء والتشييد. ويتكون البوتاسيوم الطبيعي من ثلاثة نظائر، ويُعد البوتاسيوم–40، النظير المُشع الوحيد بينها، إلا أنه يوجد بنسب ضئيلة جدًا لا تتجاوز 0.0117% من إجمالي البوتاسيوم الطبيعي. ويتميز البوتاسيوم–40 بعمر نصف طويل يبلغ نحو (1,25) مليار سنة، ولذلك لا يزال موجودًا في القشرة الأرضية منذ نشأتها. ويضمحل هذا النظير طبيعيًا باعثًا جسيمات بيتا وأشعة جاما، مما يجعله أحد أهم النظائر المُشعّة الطبيعية المُسهمة في النشاط الإشعاعي الطبيعي، إلى جانب اليورانيوم والثوريوم ونواتج تحللهما. وتختلف تراكيز البوتاسيوم–40 في الصخور والمواد الخام باختلاف طبيعتها الجيولوجية، لذلك قد تختلف تراكيزه أيضًا بين أنواع مواد البناء والتشييد، بل وحتى بين منتجات المادة نفسها، تبعًا لاختلاف مصدر المواد الخام المستخدمة في تصنيعها. ويُلاحظ ارتفاع تراكيزه في بعض المواد، مثل الجرانيت، والطوب، والإسمنت، والسيراميك، نتيجة احتوائها على معادن غنية بالبوتاسيوم. ويُسهم البوتاسيوم–40 في النشاط الإشعاعي الطبيعي لمواد البناء والتشييد، ويُعد وجوده جزءًا من الإشعاع الطبيعي الذي يتعرض له الإنسان بصورة مستمرة. ولهذا السبب، يُعد قياس تركيز البوتاسيوم–40، إلى جانب الراديوم–226، والثوريوم–232، من المؤشرات الأساسية المستخدمة في تقييم النشاط الإشعاعي الطبيعي لمواد البناء والتشييد، والتحقق من توافقها مع متطلبات هيئة الرقابة النووية والإشعاعية بما يتفق مع متطلبات الحماية من الإشعاع، بما يُسهم في حماية صحة الإنسان. ويوضح الشكل (10) أبرز مصادر البوتاسيوم–40 في البيئة الطبيعية.



شكل (10) مصادر البوتاسيوم–40 الطبيعية في البيئة ومسارات وجوده في مكونات البيئة المختلفة.

العوامل المؤثرة في النشاط الإشعاعي لمواد البناء والتشييد

لا تتشابه جميع مواد البناء والتشييد في مستويات النشاط الإشعاعي الطبيعي، إذ تختلف تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية من مادة إلى أخرى تبعًا لعدد من العوامل الجيولوجية والصناعية. ويُعد فهم هذه العوامل أمرًا أساسيًا لتفسير اختلاف نتائج القياسات الإشعاعية، وتحديد المواد التي قد تستوجب التقييم الإشعاعي وفقًا لمتطلبات الحماية من الإشعاع.

ويُعد الأصل الجيولوجي للمواد الخام من أهم العوامل المؤثرة في النشاط الإشعاعي لمواد البناء، إذ يرتبط بطبيعة مادة الأصل (Parent Material)، وهي المادة التي تتكون منها التربة والصخور وتُعد المصدر الرئيس لمكوناتها المعدنية والكيميائية. وتختلف تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في الصخور والمعادن باختلاف نوعها وبيئة تكوينها؛ فعلى سبيل المثال، قد تحتوي بعض الصخور النارية، مثل الجرانيت، على تراكيز أعلى من اليورانيوم والثوريوم مقارنةً ببعض الصخور الرسوبية أو الكربوناتية. كما تؤثر عمليات التصنيع في مستويات النشاط الإشعاعي لبعض مواد البناء والتشييد، ولا سيما عند استخدام المنتجات الثانوية أو المخلفات الصناعية الناتجة عن الصناعات التي تتعامل مع المواد المُشعّة طبيعية المنشأ (NORM)، مثل الفوسفوجبس، والرماد المتطاير، والطين الأحمر، وبعض أنواع الخبث الصناعي، إذ قد يؤدي استخدامها إلى زيادة تراكيز بعض النظائر المُشعّة في المنتج النهائي مقارنةً بالمواد الخام التقليدية.

ومن العوامل الأخرى المؤثرة مصدر المادة الخام وبلد المنشأ، إذ قد تختلف الخصائص الجيولوجية والإشعاعية للمواد المتشابهة باختلاف مناطق استخراجها، سواء كانت منتجة محليًا أو مستوردة. كما قد تؤثر نسبة المواد المعاد استخدامها أو المعاد تدويرها في بعض منتجات البناء في مستويات النشاط الإشعاعي، تبعًا لنوع هذه المواد ومصدرها.

ونظرًا لتأثير هذه العوامل في النشاط الإشعاعي لمواد البناء والتشييد، تعتمد لائحة الهيئة الفنية «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08) على قياس تراكيز عدد من النظائر المُشعّة الرئيسة قبل تقييم مدى ملاءمة المادة للاستخدام في مواد البناء، وفق منهجية علمية تضمن حماية أفراد الجمهور والبيئة من التعرض غير المبرر للإشعاعات المؤينة.



التعرض الإشعاعي الناتج عن مواد البناء والتشييد

في العموم لا يُعد وجود النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء والتشييد مؤشرًا على وجود خطر إشعاعي بحد ذاته، وإنما يعتمد تقييم الأثر الإشعاعي على مقدار التعرض الذي قد ينتج عنها أثناء الاستخدام الاعتيادي للمساكن والمباني العامة. ويختلف هذا التعرض باختلاف تراكيز النظائر المُشعّة في مواد البناء، وخصائصها الإشعاعية، وطبيعة استخدام المبنى، ومدة بقاء الأفراد داخله، إضافةً إلى عوامل أخرى، مثل مستوى التهوية، ونوع المادة المستخدمة، وطريقة استخدامها في عناصر المبنى المختلفة.

وتُعد الجرعة الإشعاعية الناتجة عن مواد البناء جزءًا من الجرعة الإشعاعية الطبيعية التي يتعرض لها الإنسان في حياته اليومية، إلا أنها تختلف من مبنى إلى آخر تبعًا لاختلاف خصائص مواد البناء المستخدمة ومصادرها الجيولوجية.

ولذلك تعتمد متطلبات الرقابة على تقييم التعرض الإشعاعي الناتج عن هذه المواد للتحقق من توافقها مع المستويات المرجعية ومتطلبات الحماية من الإشعاع، بما يضمن سلامة استخدامها وحماية الإنسان. ويتمثل التعرض الإشعاعي المرتبط بمواد البناء والتشييد في مسارين رئيسين:

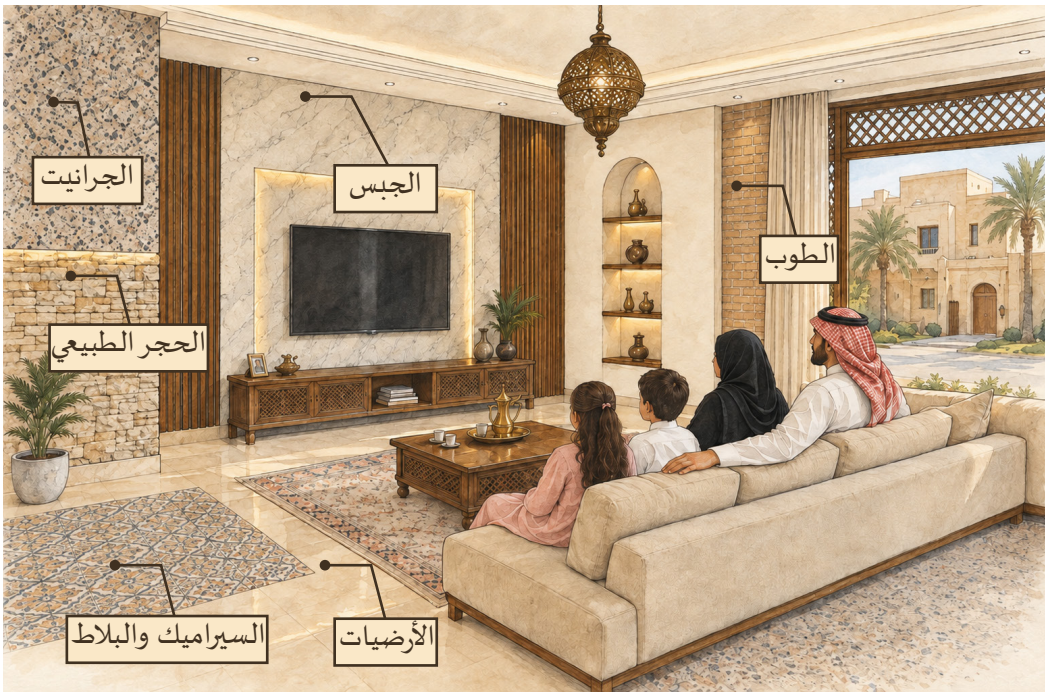
- **التعرض الخارجي** الناتج عن إشعاعات جاما المنبعثة من النظائر المُشعّة الطبيعية الموجودة في مواد البناء والتشييد.
- **التعرض الداخلي** الناتج عن استنشاق غاز الرادون (والثورون) ونواتج تحللهما. ويُعد فهم هذين المسارين أساسًا لتقييم الجرعات الإشعاعية، وتقدير مستوى التعرض، ووضع المستويات المرجعية، والتحقق من توافق مواد البناء مع متطلبات الحماية من الإشعاع.



التعرض الإشعاعي الخارجي لأشعة جاما

يُعد التعرض الخارجي لأشعة جاما أحد أهم مسارات التعرض الإشعاعي المرتبط بمواد البناء والتشييد، وينتج عن انبعاث أشعة جاما من النظائر المُشعّة الطبيعية الموجودة في المواد المستخدمة في تشييد المباني، مثل الخرسانة، والطوب، والجرانيت، وبعض أنواع الأحجار الطبيعية. ونظرًا لقدرة أشعة جاما العالية على اختراق المواد، فإنها تستطيع النفاذ خارج مواد البناء والوصول إلى الأشخاص الموجودين داخل المبنى، مما يؤدي إلى تعرضهم للإشعاع الخارجي. ويعتمد مقدار هذا التعرض الإشعاعي على عدة عوامل، من أهمها تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء، ولا سيما الراديوم–226، والثوريوم–232، والبوتاسيوم–40، إضافةً إلى كمية مواد البناء المستخدمة، وسماكة الجدران والأسقف، وتصميم المبنى، ومدة بقاء الأفراد داخله. كما قد تختلف مستويات التعرض بين المباني تبعًا لاختلاف نوع مواد البناء ومصادرها الجيولوجية.

في الظروف الطبيعية؛ يُمثل التعرض الخارجي الناتج عن مواد البناء جزءًا من التعرض للإشعاع الطبيعي الذي يتلقاه الإنسان يوميًا، ولا يُعد مصدرًا للقلق ما دامت تراكيز النظائر المُشعّة ضمن المستويات المرجعية المعتمدة. ولهذا تُجرى القياسات الإشعاعية لتحديد تراكيز هذه النظائر، وتقدير الجرعات الإشعاعية الناتجة عن إشعاع جاما، للتحقق من توافق مواد البناء مع متطلبات الحماية من الإشعاع.

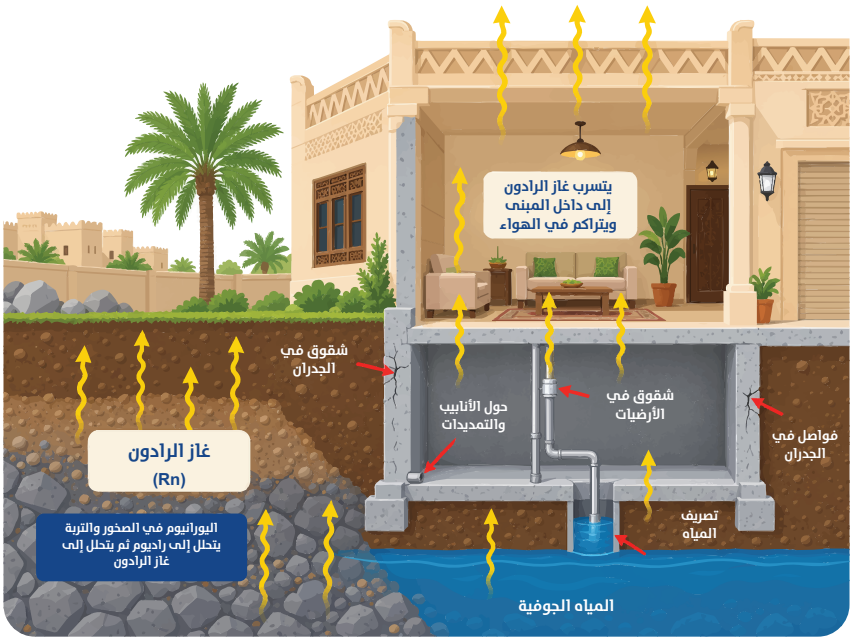


شكل (11) التعرض الخارجي لإشعاعات جاما.

التعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله

يُعد التعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله، أحد أهم مسارات التعرض الإشعاعي الطبيعي داخل المباني. وينشأ هذا التعرض نتيجة انبعاث غاز الرادون من بعض مواد البناء التي تحتوي على الراديوم–226، ثم انتقاله إلى الهواء الداخلي، حيث قد يتراكم داخل المباني ويساعد على تراكمه عدم كفاية (قلة) التهوية وتجدد الهواء. وعند استنشاق الهواء المحتوي على غاز الرادون، يدخل الغاز إلى الجهاز التنفسي، إلا أن الجزء الأكبر من الجرعة الإشعاعية لا ينتج عن غاز الرادون نفسه، وإنما عن نواتج تحلله الصلبة التي تلتصق بجسيمات الغبار العالقة في الهواء وغيرها من عوالق الهواء، ثم يترسب بعض هذه العوالق داخل الجهاز التنفسي عند استنشاقها ونفاذها، مما يؤدي إلى تعريض أنسجة الرئة للإشعاع. يعتمد مقدار التعرض الإشعاعي الداخلي على عدة عوامل، من أهمها تركيز غاز الرادون داخل المبنى، ومعدل التهوية، وتراكيز الراديوم–226 في مواد البناء، وطبيعة تصميم المبنى، ومدة بقاء الأفراد داخله. كما قد يسهم دخول الرادون من التربة أسفل المبنى إلى جانب الرادون المنبعث من بعض مواد البناء، في زيادة تركيزه داخل الأماكن المغلقة، ولا سيما في المباني ذات التهوية المحدودة. ولذلك تُولي هيئة الرقابة النووية والإشعاعية اهتمامًا بقياس تراكيز غاز الرادون داخل المباني، وتقييم الجرعات الإشعاعية الناتجة عنه، والتحقق من توافقها مع المستويات المرجعية المعتمدة، بما يسهم في الحد من التعرض الإشعاعي الداخلي، وتعزيز سلامة البيئة الداخلية للمباني، وحماية صحة الإنسان. اقتصر هذا القسم على بيان دور غاز الرادون بوصفه أحد مصادر التعرض الإشعاعي الداخلي المرتبط بمواد البناء والتشييد، في حين سيتم تناوله بصورة أكثر تفصيلا في وثيقة أخرى من إصدار الهيئة بعنوان غاز الرادون المشع وآثاره الصحية وسبل الوقاية منه بالرقم (NRRC-PP-13).

شكل (12) مصادر التعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله.



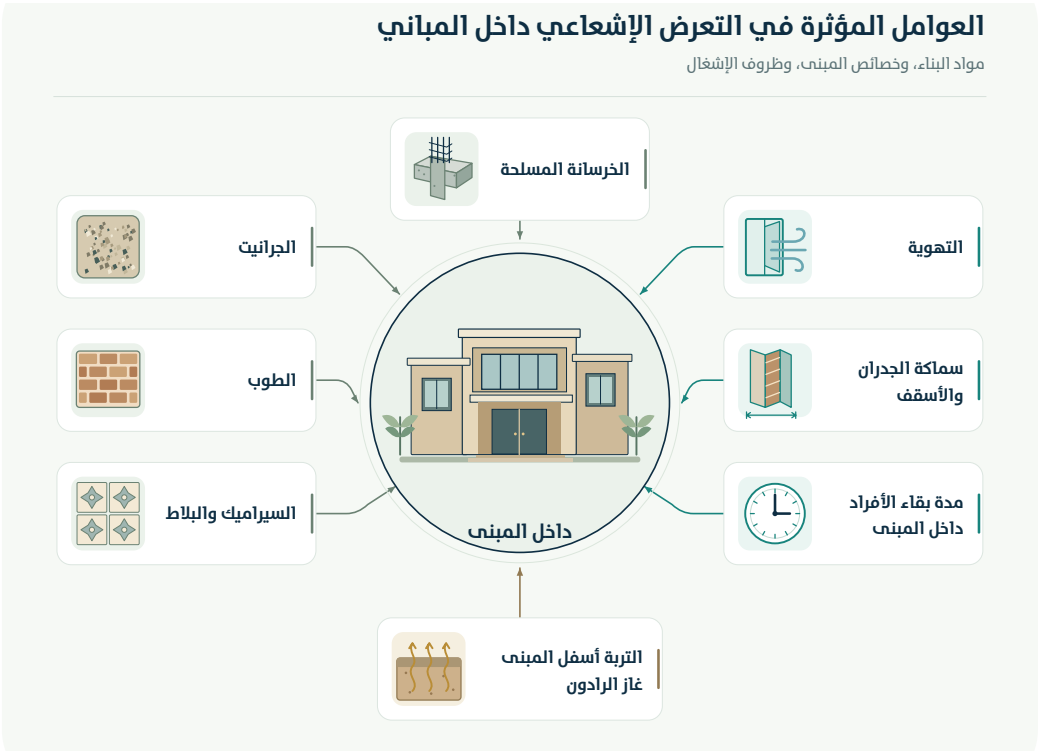
العوامل المؤثرة في التعرض الإشعاعي الناتج عن مواد البناء والتشييد

لا يعتمد مقدار التعرض الإشعاعي الناتج عن مواد البناء والتشييد على وجود النظائر المُشعّة الطبيعية فحسب، وإنما يتأثر بمجموعة من العوامل التي تحدد كمية الإشعاع التي قد تصل إلى الإنسان أثناء استخدام المباني. وتؤثر هذه العوامل في كل من التعرض الخارجي الناتج عن أشعة جاما، والتعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله، وإن اختلفت درجة تأثيرها باختلاف طبيعة كل مسار من مسارات التعرض.

من أهم هذه العوامل تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء، ولا سيما الراديوم–226، والثوريوم– 232، والبوتاسيوم–40، إضافةً إلى نوع المادة الخام ومصدرها الجيولوجي، وكمية المواد المستخدمة في المبنى، وسماكة الجدران والأسقف، وطريقة توزيع مواد البناء داخل المبنى. كما تؤثر خصائص المبنى، مثل حجمه، وتصميمه، ومعدل التهوية، في مستويات التعرض، ولا سيما فيما يتعلق بتراكيز غاز الرادون داخل الأماكن المغلقة.

يُعد زمن بقاء الأفراد داخل المباني من العوامل المهمة أيضًا، إذ تزداد الجرعة الإشعاعية بزيادة مدة التعرض. كما قد تختلف مستويات التعرض بين المباني باختلاف طبيعة استخدامها، سواء كانت سكنية أو تجارية أو صناعية، وباختلاف الظروف البيئية المحيطة بها. ولذلك، لا يعتمد تقييم التعرض الإشعاعي على قياس تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء والتشييد وحدها، وإنما يشمل دراسة العوامل المؤثرة في انتقال الإشعاع إلى الإنسان، بما يُسهم في تقدير الجرعات الإشعاعية بدقة، والتحقق من توافق مواد البناء مع متطلبات الحماية من الإشعاع.

شكل (13) مصادر التعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله.



الجرعة الإشعاعية الناتجة عن مواد البناء والتشييد

تُعد الجرعة الإشعاعية المقياس الذي يُستخدم لتقدير مقدار التعرض للإشعاع المؤين وبالتالي آثاره الضارة المُحتملة على الإنسان. والجرعة الإشعاعية تُعبّر عن كمية الإشعاع التي يمتصها الجسم مع الأخذ في الاعتبار نوع الإشعاع وحساسية الأنسجة المختلفة. وتُقاس الجرعة الفعّالة بوحدة السيفرت (Sievert, Sv)، ويُستخدم عادةً جزء الألف منها، وهو المللي سيفرت (mSv)، عند تقييم التعرض للإشعاع الطبيعي الناتج عن مواد البناء والتشييد.

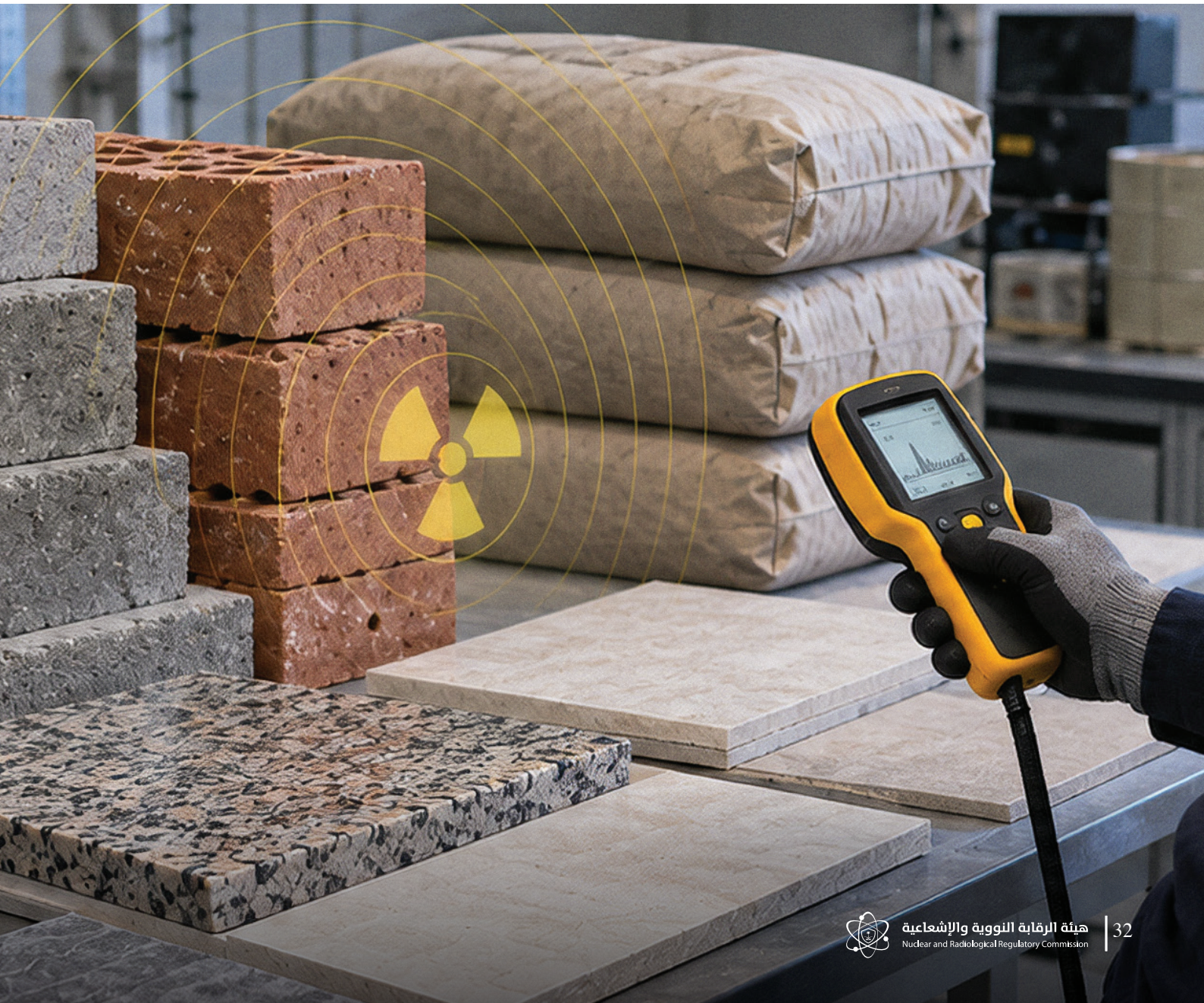
ولا يعتمد تقدير الجرعة الإشعاعية على تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية في مواد البناء وحدها، بل يتطلب الأخذ في الاعتبار مجموعة من العوامل المؤثرة، مثل نوع المادة الخام، وخصائص المبنى، ومعدل التهوية، ومدة بقاء الأفراد داخل المبنى، بالإضافة إلى مسارات التعرض المختلفة، سواء التعرض الخارجي الناتج عن أشعة جاما أو التعرض الداخلي الناتج عن غاز الرادون ونواتج تحلله. ولذلك، فإن وجود نشاط إشعاعي طبيعي في مادة البناء لا يعني بالضرورة وجود خطر صحي، وإنما يعتمد ذلك على الجرعة الإشعاعية التي قد يتعرض لها شاغلو المبنى.

في الظروف الاعتيادية، تكون الجرعات الإشعاعية الناتجة عن معظم مواد البناء والتشييد المستخدمة في إنشاء المباني منخفضة، وتمثل جزءًا من التعرض للإشعاع الطبيعي الذي يتعرض له الإنسان في حياته اليومية، ولا تُشكل خطرًا على الصحة العامة عند استخدام مواد البناء المطابقة للمتطلبات واللوائح التنظيمية المعتمدة. وتشير الدراسات والتقارير الصادرة عن المنظمات الدولية، ومنها الوكالة الدولية للطاقة الذرية (IAEA)، ولجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR)، والهيئة الدولية للوقاية من الإشعاع (ICRP)، تشير إلى أن معظم مواد البناء التقليدية لا تؤدي إلى مستويات تعرض تستدعي القلق، مع استمرار أهمية التقييم الرقابي للمواد التي قد تحتوي على تراكيز مرتفعة نسبيًا من النظائر المُشعّة الطبيعية

وتوصي هذه المنظمات الدولية بتقييم الجرعة الإشعاعية الناتجة عن مواد البناء والتشييد باستخدام منهجيات ومعايير علمية معتمدة، تأخذ في الاعتبار جميع مسارات التعرض والعوامل المؤثرة في تقدير الجرعة، بما يضمن حماية صحة الإنسان وتحقيق مبادئ الوقاية من الإشعاع.

وفي هذا الإطار، وضعت الجهات الدولية والرقابية مجموعة من المتطلبات والمستويات المرجعية والأدوات الفنية التي تُستخدم لتقييم مواد البناء والتشييد من الناحية الإشعاعية، والتحقق من ملاءمتها للاستخدام.

ويستعرض القسم التالي من هذه الوثيقة أبرز هذه المتطلبات، بما في ذلك المستويات المرجعية ومؤشر النشاط الإشعاعي، وفقًا للوائح الرقابية والتنظيمية الوطنية ذات الصلة.



الإطار التنظيمي والرقابي الوطني للهيئة في تحقيق الأمان الإشعاعي في مواد البناء والتشييد

تتولى هيئة الرقابة النووية والإشعاعية مسؤولية التنظيم والرقابة على الاستخدامات السلمية للطاقة النووية والإشعاعات المؤينة، بما في ذلك الرقابة على المواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد، وذلك بهدف حماية الإنسان والبيئة وضمان بقاء تعرض أفراد الجمهور للإشعاع ضمن المستويات المرجعية المعتمدة. وفي هذا الإطار، أصدرت الهيئة اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08)، التي تحدد المتطلبات الرقابية المتعلقة بتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، شاملة المستويات المرجعية، والنظائر المطلوب قياسها، ومؤشر النشاط الإشعاعي، ومنهجية تقييم الجرعات الإشعاعية، بما يتوافق مع الإطار التنظيمي الوطني. وتهدف هذه اللائحة إلى ضمان ألا يؤدي استخدام مواد البناء والتشييد إلى تعرض إشعاعي غير مبرر لأفراد الجمهور، من خلال تطبيق متطلبات رقابية تستند إلى معايير قائمة على أُسس علمية، بما يُسهم في تعزيز الحماية من الإشعاع وضمان سلامة استخدام مواد البناء والحفاظ على صحة الإنسان. كما أصدرت الهيئة اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية لغاز الرادون في المساكن والمباني العامة» (NRRC-R-01-SR10)، والتي تكمل منظومة الحماية الإشعاعية داخل المباني من خلال تنظيم التعرض لغاز الرادون.

شكل (14): اللائحتان الفنيتان الصادرتان عن الهيئة والمتعلقتان بالحماية الإشعاعية في مواد البناء والتشييد والمباني



الهدف من تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد

يهدف تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد إلى التحقق من أن استخدام هذه المواد لا يؤدي إلى تعرض أفراد الجمهور للإشعاعات المؤينة بمستويات تتجاوز المستويات المرجعية والمعايير المعتمدة، وذلك من خلال قياس تراكيز النظائر المُشعّة الطبيعية الموجودة فيها وتقدير الجرعات الإشعاعية المُحتملة الناتجة عن استخدامها داخل المباني والمنشآت.

ويُعد هذا التقييم أحد الركائز الأساسية في منظومة الحماية من الإشعاع، إذ يُسهم في تحديد مدى ملاءمة مواد البناء للاستخدام، ويدعم اتخاذ القرارات التنظيمية المتعلقة باستيرادها، أو إنتاجها، أو استخدامها، أو إعادة استخدامها، أو تدويرها، وفقًا لمتطلبات الهيئة.

لا يقتصر الهدف من التقييم على الكشف عن المواد التي قد تحتوي على مستويات مرتفعة من النشاط الإشعاعي الطبيعي، بل يشمل أيضًا توفير بيانات علمية موثوقة تدعم بناء قاعدة بيانات وطنية لمستويات النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد، وتمكّن من متابعة التغيرات الناتجة عن اختلاف مصادر المواد الخام أو التطورات الصناعية، بما يعزز الرقابة الإشعاعية ويدعم اتخاذ القرارات المبنية على الأدلة العلمية. كما يُسهم التقييم في تعزيز الثقة بسلامة مواد البناء والتشييد المستخدمة داخل المملكة، من خلال التحقق من توافقها مع المستويات المرجعية الوطنية، بما يضمن الاستخدام الآمن لهذه المواد ويحافظ على صحة الإنسان والبيئة.

وانطلاقًا من هذه الأهداف، تعتمد اللائحة الفنية «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08) على تقييم عدد من النظائر المُشعّة الطبيعية التي تمثل المصدر الرئيس للإشعاع المنبعث من مواد البناء والتشييد، والتي سيتم استعراضها في القسم التالي.



الهدف من تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد

يعتمد تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد على قياس تراكيز عدد من النظائر المُشعّة التي تمثل المصدر الرئيس للإشعاع المنبعث من هذه المواد. وتشمل هذه النظائر بصورة رئيسة النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ الموجودة في الصخور، والمعادن، والمواد الخام المستخدمة في صناعة مواد البناء، إضافةً إلى السيزيوم–137، بوصفه نظيرًا مُشعًا صناعيًا قد يوجد في البيئة نتيجة الترسب الإشعاعي العالمي (Global Fallout). وقد اختيرت هذه النظائر نظرًا لأهميتها في تقدير الجرعات الإشعاعية الناتجة عن استخدام مواد البناء داخل المباني، وارتباطها بمتطلبات التقييم والرقابة الإشعاعية.

وتتمثل النظائر المُشعّة الطبيعية المُستهدفة في التقييم ما يلي:

^{226}Ra
الراديوم–226

أحد أهم النظائر المُشعّة في سلسلة تحلل اليورانيوم–238، ويُستخدم مؤشرًا على النشاط الإشعاعي الطبيعي في مواد البناء، كما يُعد المصدر الرئيس لغاز الرادون، الذي قد يُسهم في زيادة التعرض الإشعاعي داخل المباني.

^{232}Th
الثوريوم–232

يوجد بصورة طبيعية في العديد من الصخور والمعادن، ويُعد من المصادر الرئيسة للإشعاع الخارجي المنبعث من مواد البناء، لذلك يُدرج ضمن النظائر الأساسية في تقييم النشاط الإشعاعي.

^{40}K
البوتاسيوم–40

نظير مُشع طبيعي للبوتاسيوم يوجد في معظم المواد الجيولوجية، ويُسهم في الإشعاع الخارجي المنبعث من مواد البناء، مما يجعله أحد النظائر الرئيسة التي تُقاس عند تقييم النشاط الإشعاعي.

^{137}Cs
السيزيوم–137

نظير مُشع صناعي ينتج عن عمليات الانشطار النووي، وقد يوجد في البيئة نتيجة الترسب الإشعاعي العالمي الناجم عن تجارب الأسلحة النووية وبعض الحوادث النووية. ويُقاس للتحقق من عدم وجود تلوث إشعاعي في مواد البناء والتشييد، والتأكد من توافقها مع متطلبات الحماية من الإشعاع.

وتُستخدم نتائج قياس تراكيز هذه النظائر في حساب مؤشرات النشاط الإشعاعي المنصوص عليها في اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-08)، وتقدير الجرعات الإشعاعية المُحتملة لأفراد الجمهور، والتحقق من توافق مواد البناء والتشييد مع المستويات المرجعية الوطنية ومتطلبات الحماية من الإشعاع. ويوضح الشكل (15) النظائر المُشعّة المُستهدفة في تقييم مواد البناء والتشييد، إلى جانب المراحل الرئيسة لعملية التقييم، بدءًا من قياس تراكيز النشاط الإشعاعي باستخدام التحليل الطيفي لأشعة جاما، مرورًا بحساب مؤشر النشاط الإشعاعي، وانتهاءً بمقارنة النتائج بالمستويات المرجعية واتخاذ القرار التنظيمي المناسب.

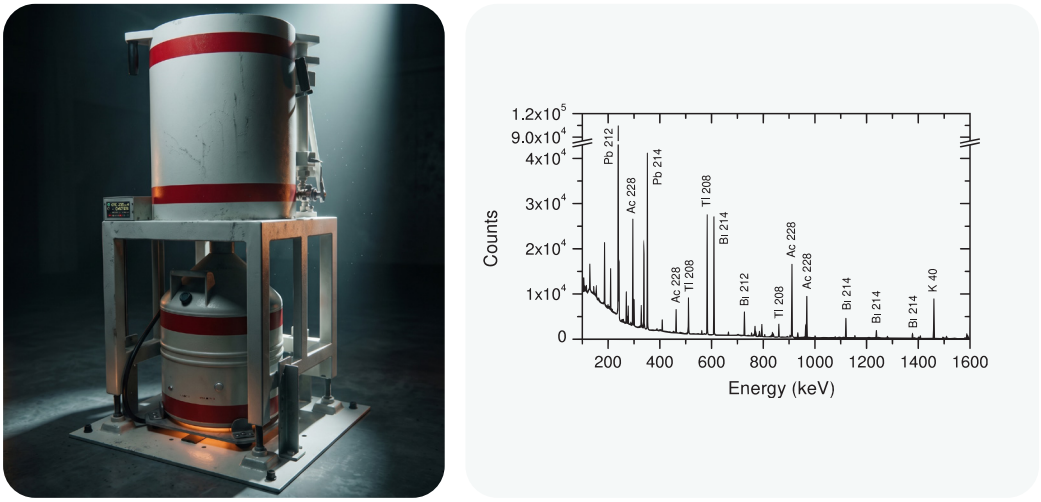


شكل (15) النظائر المُشعّة المُستهدفة في تقييم مواد البناء والتشييد، إلى جانب المراحل الرئيسة لعملية التقييم

الهدف من تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد

يعتمد تقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد على قياس تراكيز النشاط الإشعاعي للنظائر المُشعّة المُستهدفة باستخدام تقنيات قياس إشعاعي مُعتمدة تتميز بالدقة والموثوقية. واستنادًا إلى اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08)، أوصت الهيئة بتقنية التحليل الطيفي لأشعة جاما (Gamma-Ray Spectrometry)، بواسطة كاشف الجرمانيوم فائق النقاوة (High Purity Germanium Detector, HPGe)، بوصفه التقنية المُفَضَّلَة والأكثر استخدامًا في هذا المجال، نظرًا لقدرتها العالية على التعرف على النظائر المُشعّة الطبيعية وقياس تراكيزها بدقة في عينة واحدة.

وتتيح هذه التقنية قياس تراكيز النشاط الإشعاعي لكل من الراديوم–226، والثوريوم–232، والبوتاسيوم–40، إضافةً إلى السيزيوم–137، دون الحاجة إلى إجراء أي معالجة أو فصل كيميائي للعينة، مع الحفاظ على سلامتها، ولذلك تُصنَّف ضمن تقنيات التحليل اللاإتلافي (Non-destructive Analysis). ويتم القياس من خلال تحليل أطياف أشعة جاما المنبعثة من النظائر المُشعّة ومقارنتها بمعايير معايرة معتمدة. وتُعبر النتائج بوحدة بيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg)، وتُستخدم هذه النتائج في حساب مؤشر النشاط الإشعاعي، وتقدير الجرعات الإشعاعية، والتحقق من مدى توافق مواد البناء والتشييد مع المتطلبات الواردة في اللائحة الفنية الخاصة. ويوضح الشكل (16) أحد أجهزة التحليل الطيفي لأشعة جاما باستخدام كاشف الجرمانيوم فائق النقاوة (HPGe)، والذي يُعد المرجع القياسي لقياس النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد.



شكل (16) جهاز التحليل الطيفي لأشعة جاما باستخدام كاشف الجرمانيوم فائق النقاوة (HPGe) المستخدم لقياس النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد.

مؤشر النشاط الإشعاعي (Radioactivity Concentration Index In)

يُعد مؤشر النشاط الإشعاعي (Radioactivity Concentration Index, In) هو المؤشر المعتمد ضمن اللائحة الفنية الخاصة (NRRC-R-01-SR08) لهيئة الرقابة النووية والإشعاعية، بوصفه الأداة التنظيمية الرئيسة لتقييم مدى ملاءمة استخدام مواد البناء والتشييد من منظور الحماية من الإشعاع. ويعتمد هذا المؤشر على دمج تراكيز النشاط الإشعاعي للنظائر ذات الاهتمام، والتي تشمل الراديوم–226، والثوريوم–232، والبوتاسيوم–40، كما يؤخذ السيزيوم–137 في الاعتبار في الحالات المحددة وفقًا لطبيعة استخدام مادة البناء، وذلك في قيمة عددية واحدة تعكس المستوى الإشعاعي للمادة. ويُستخدم هذا المؤشر بوصفه أداة أولية عملية للتقييم (Screening Tool)، لتقدير مدى احتمال أن يؤدي استخدام مواد البناء إلى تجاوز المستوى المرجعي للجرعة الإشعاعية السنوية، دون الحاجة إلى إجراء حسابات تفصيلية للجرعة في المرحلة الأولية من التقييم. ولا يمثل مؤشر النشاط الإشعاعي الجرعة الإشعاعية بصورة مباشرة، وإنما يُعد وسيلة مبسطة وموحدة لمقارنة مواد البناء بالمتطلبات التنظيمية، مما يدعم القرارات المتعلقة باستيراد مواد البناء، أو تصنيعها، أو استخدامها، أو إعادة استخدامها، أو تدويرها، ويضمن اتساق عمليات التقييم.

ولحساب مؤشر النشاط الإشعاعي، يجب أولًا قياس تراكيز النشاط الإشعاعي للنظائر ذات الاهتمام وفقًا للغرض من استخدام مادة البناء، كما هو موضح في جدول (2)، ثم تُستخدم هذه التراكيز في تطبيق معادلات حساب المؤشر.



جدول (2) النظائر المُشعّة ذات الاهتمام الواجب قياسها لحساب مؤشر النشاط الإشعاعي (I_n)

نوع الاستخدام	النظائر المُشعّة المطلوب قياسها			
المنازل والمباني العامة	K-40 بوتاسيوم - 40	Th-232 ثوريوم - 232	Ra-226 راديوم - 226	
الطرق، والشوارع وأعمال التشييد ذات الصلة	Cs-137 سيزيوم - 137	K-40 بوتاسيوم - 40	Th-232 ثوريوم - 232	Ra-226 راديوم - 226

ملاحظة: يُؤخذ في الاعتبار السيزيوم–137 فقط، وهو نظير مُشع صناعي قد يوجد نتيجة ترسبه العالمي الناجم عن تجارب الأسلحة النووية أو الحوادث النووية التي وقعت. ولا يُقبل وجوده في مواد البناء المستخدمة في المباني السكنية أو المباني العامة.

ويُحسب مؤشر النشاط الإشعاعي من خلال استخدام تراكيز النشاط الإشعاعي المقاسة بوحدة بيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg)، مع تطبيق معاملات ترجيح تعكس إسهام كل نظير مُشعّة في الجرعة الإشعاعية المتوقعة. وقد استندت هذه المعاملات إلى نماذج معتمدة لتقدير التعرض للإشعاع داخل المباني، بما يوفر منهجية موحدة لتقييم مواد البناء والتشييد، والتحقق من توافقها مع المستويات المرجعية ومتطلبات الحماية من الإشعاع.



حساب مؤشر النشاط الإشعاعي (Radioactivity Concentration Index In)

بعد قياس تراكيز النشاط الإشعاعي للنظائر المُشعّة المُستهدفة، يُحسب مؤشر النشاط الإشعاعي للتحقق من مدى توافق مواد البناء والتشييد مع متطلبات اللائحة الفنية الخاصة «المستويات المرجعية للمواد المُشعّة طبيعية المنشأ في مواد البناء والتشييد» (NRRC-R-01-SR08). وتُعبر تراكيز النشاط الإشعاعي بوحدة بيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg). وتعتمد اللائحة الفنية معادلتين لحساب مؤشر النشاط الإشعاعي، وفقًا لطبيعة الاستخدام المقصود لمادة البناء، إذ تختلف متطلبات التقييم بين المواد المستخدمة في المباني السكنية والمباني العامة، والمواد المستخدمة في الطرق والشوارع والساحات وغيرها من تطبيقات وأعمال الهندسة المدنية.

حساب مؤشر النشاط الإشعاعي للمواد المستخدمة في المباني السكنية والعامة

يُحسب مؤشر النشاط الإشعاعي لمواد البناء النهائية المخصصة للاستخدام في المباني طبقًا المعادلة الآتية:

$$I_1 = \frac{C_{Ra-226}}{300} + \frac{C_{Th-232}}{200} + \frac{C_{K-40}}{3000}$$

حيث أن:

- C_{Ra-226}: تركيز النشاط الإشعاعي للراديوم–226.
- C_{Th-232}: تركيز النشاط الإشعاعي الثوريوم–232.
- C_{K-40}: تركيز النشاط الإشعاعي البوتاسيوم–40.

وجميع تراكيز النشاط الإشعاعي معبر عنها بوحدة بيكريل لكل كيلوجرام(Bq/kg). ويُطبق هذا المؤشر على المنتج النهائي لمواد البناء المستخدم في المباني السكنية والعامة، ولا تُطبق على المكونات الفردية إلا إذا كانت تُقيَّم بوصفها مواد بناء مستقلة.

$I_1 \leq 1$: يشير إلى الامتثال لمعيار الجرعة السنوية المتحفظ البالغ 1 ميللي سيفرت/سنة، بالنسبة لمواد البناء السائبة (مثل الخرسانة أو الطوب)، مما يعني أن خطر التعرض للإشعاع لا يكاد يذكر ويمكن استخدام مواد البناء هذه بأمان.

مع ملاحظة أن المعادلة السابقة أعلاه تُستخدم لتقييم مواد البناء المستخدمة في المباني السكنية والعامة. في حين تُستخدم معادلة مختلفة للمواد المستخدمة في الطرق والشوارع وأعمال التشييد، نظرًا لاختلاف طبيعة الاستخدام وسيناريوهات التعرض الإشعاعي.

حساب مؤشر النشاط الإشعاعي للمواد المستخدمة في الطرق والشوارع وأعمال التشييد

يُحسب مؤشر النشاط الإشعاعي في الطرق والشوارع وأعمال التشييد طبقًا للمعادلة الآتية:

$$I_2 = \frac{C_{Ra-226}}{700} + \frac{C_{Th-232}}{500} + \frac{C_{K-40}}{8000} + \frac{C_{Cs-137}}{2000}$$

حيث أن:

- C_{Cs-137}: تركيز النشاط الإشعاعي لنظير السيزيوم–137.

جميع تراكيز النشاط الإشعاعي معبر عنها بوحدة بيكريل لكل كيلوجرام (Bq/kg). ويُطبق هذا المؤشر على المنتج النهائي للمواد المستخدمة في الطرق والشوارع وأعمال التشييد ذات الصلة. وعند استخدام منتجات ثانوية صناعية أو مواد معاد تدويرها، ينبغي أن يعتمد الحساب على تراكيز النشاط الإشعاعي في المنتج النهائي، أو على تقدير موثوق يستند إلى تراكيز جميع المواد الداخلة في تصنيعه.

أُدرج السيزيوم–137 في معادلة تقييم المواد المستخدمة في الطرق والشوارع وأعمال التشييد الخارجية، لأنه يمثل نظيرًا مشعًا صناعيًا قد يوجد نتيجة الترسب الإشعاعي العالمي، وخاصة في التربة أو المواد المعاد استخدامها أو تدويرها. أما مواد البناء المستخدمة في المباني السكنية والعامة، فيقتصر التقييم على النظائر المُشعّة الطبيعية، ولا يُقبل وجود السيزيوم–137فيها وفقًا لمتطلبات اللائحة الفنية الخاصة (NRRC-R-01-SR08).

$I_2 \leq 1$: يشير إلى الامتثال لمعيار الجرعة السنوية المتحفظ البالغ 1 ميللي سيفرت/سنة، بالنسبة لمواد البناء السائبة (مثل الخرسانة أو الطوب) التي تستخدم في الطرق والشوارع وأعمال التشييد الخارجية، مما يعني أن خطر التعرض للإشعاع لا يكاد يذكر ويمكن استخدام مواد البناء هذه. بالنسبة للمواد المستخدمة في الطرق والشوارع والساحات وغيرها من تطبيقات وأعمال الهندسة المدنية، إذا كانت قيمة مؤشر النشاط الإشعاعي $I_2 \leq 1$، فيجوز استخدامها دون قيود عند الاستخدامات الكتلية (Bulk Use)، وفي حالة الاستخدامات السطحية (Superficial Use)، مثل أحجار الرصف والبلاط، فيجوز استخدام المادة إذا كانت قيمة المؤشر $I_2 \leq 1.5$:، دون الحاجة إلى تقييم إضافي للجرعة الإشعاعية.

ويُعد مؤشر النشاط الإشعاعي أداة أولية عملية للتحري (Screening Tool)، ولا يمثل الجرعة الإشعاعية بصورة مباشرة، وإنما يُستخدم لتحديد ما إذا كانت المادة تستوفي المتطلبات الإشعاعية الواردة في اللائحة الفنية الخاصة (NRRC-R-01-SR08)، أو تستلزم الانتقال إلى مرحلة تقييم الجرعة الإشعاعية قبل اتخاذ القرار التنظيمي. ولتسهيل تفسير نتائج مؤشر النشاط الإشعاعي، يوضح الجدول (3) آلية اتخاذ القرار الأولي وفقًا لقيمة المؤشر ونوع استخدام مواد البناء والتشييد، وما إذا كانت المادة تستوفي المتطلبات الإشعاعية أو تستلزم إجراء تقييم للجرعة الإشعاعية.

م	نوع الاستخدام	قيمة المؤشر	الإجراء
1	المباني السكنية والعامة	$I_1 \leq 1.0$	يسمح باستخدام المادة دون قيود
2	صناعة الطوب، والأسمنت، والسيراميك	$I_1 > 1.0$	لا تستخدم، وقد يلزم إجراء تقييم للجرعة الإشعاعية قبل اتخاذ قرار تنظيمي آخر
3	ألواح الجبس، والجبس الإنشائي	$I_2 \leq 1.0$	يسمح باستخدام المادة دون قيود
4	الخرسانة والمونة والزجاج	$I_2 \leq 1.5$	يسمح باستخدام المادة دون تقييم إضافي للجرعة
5	الخرسانة، والطرق	-	لا تستخدم المواد، وقد يلزم إجراء تقييم الجرعة الإشعاعية قبل اتخاذ قرار تنظيمي آخر

جدول (3) تفسير نتائج مؤشر النشاط الإشعاعي وآلية التحقق من ملاءمة مواد البناء والتشييد للاستخدام

تشير بيانات لجنة الأمم المتحدة العلمية المعنية بآثار الإشعاع الذري (UNSCEAR, 2008) إلى أن متوسط الجرعة الفعّالة السنوية الناتجة عن التعرض الخارجي للإشعاع داخل المباني، باستثناء إسهام غازّي الرادون والثورون، يبلغ نحو (0.40) ملي سيفرت سنويًا على المستوى العالمي. كما تشير الدراسات إلى أن معظم مواد البناء لا تؤدي إلى تعرض يتجاوز المستوى المرجعي البالغ (1) ملي سيفرت سنويًا، إلا أن بعض المواد قد تحتوي على تراكيز مرتفعة من النظائر المُشعّة الطبيعية تستدعي إجراء تقييم إشعاعي واتخاذ الإجراءات الرقابية المناسبة عند الحاجة.

ويوضح الشكل (17) أمثلةً لأبرز مواد البناء التي قد تحتوي على كميات متفاوتة من النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ داخل المباني، وذلك تبعًا لمصدر المواد الخام وطبيعتها الجيولوجية وعمليات تصنيعها. ويوضح الشكل (18) أمثلة على مواد التشييد التي قد تحتوي على النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ داخل المباني. والشكل (19) أمثلة على مواد التشييد في الأعمال الهندسية المدنية. ولا يعني وجود هذه النظائر أن المادة تمثل خطرًا إشعاعيًا، وإنما يوضح أن جميع مواد البناء قد تحتوي بدرجات متفاوتة على نشاط إشعاعي طبيعي يستدعي التقييم عند الحاجة وفقًا للمتطلبات الرقابية المعتمدة.

شكل (17) أمثلة على مواد البناء التي قد تحتوي على النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ داخل المباني.

المواد المشعة الطبيعية في المباني

مواضع محتملة في مواد البناء والتشطيب والتربة المحيطة



1 مواد الخرسانة

قد تحتوي مكوّنات الخرسانة على كميات ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم الطبيعيين، وآثار من البوتاسيوم-40.

2 الأحجار الطبيعية

مثل الجرانيت والرخام والحجر الجيري؛ قد تحتوي على كميات ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم-40.

3 التربة والصخور

أسفل الأساسات: قد تحتوي على تراكيز ضئيلة من النظائر المشعة الطبيعية، مثل سلسلة اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم-40.

4 مواد الجبس

قد تحتوي بعض منتجات الجبس والألواح على كميات من اليورانيوم والثوريوم.

6 السيراميك والبلاط

قد تحتوي بعض أنواع السيراميك والبلاط على آثار من اليورانيوم والثوريوم في المواد الخام.

6 الطوب

قد يحتوي الطوب المستخدم في الجدران على كميات ضئيلة من اليورانيوم والثوريوم.

7 الزجاج

قد تحتوي بعض أنواع الزجاج على كميات ضئيلة من المواد المشعة الطبيعية.

8 العزل وأسطح الأسقف

قد تحتوي بعض مواد العزل والأسقف على كميات ضئيلة من المواد المشعة الطبيعية.



شكل (18) أمثلة على مواد التشييد التي قد تحتوي على النظائر المُشعّة طبيعية المنشأ داخل المباني.



شكل (19) أمثلة على مواد التشييد في الأعمال الهندسية المدنية.

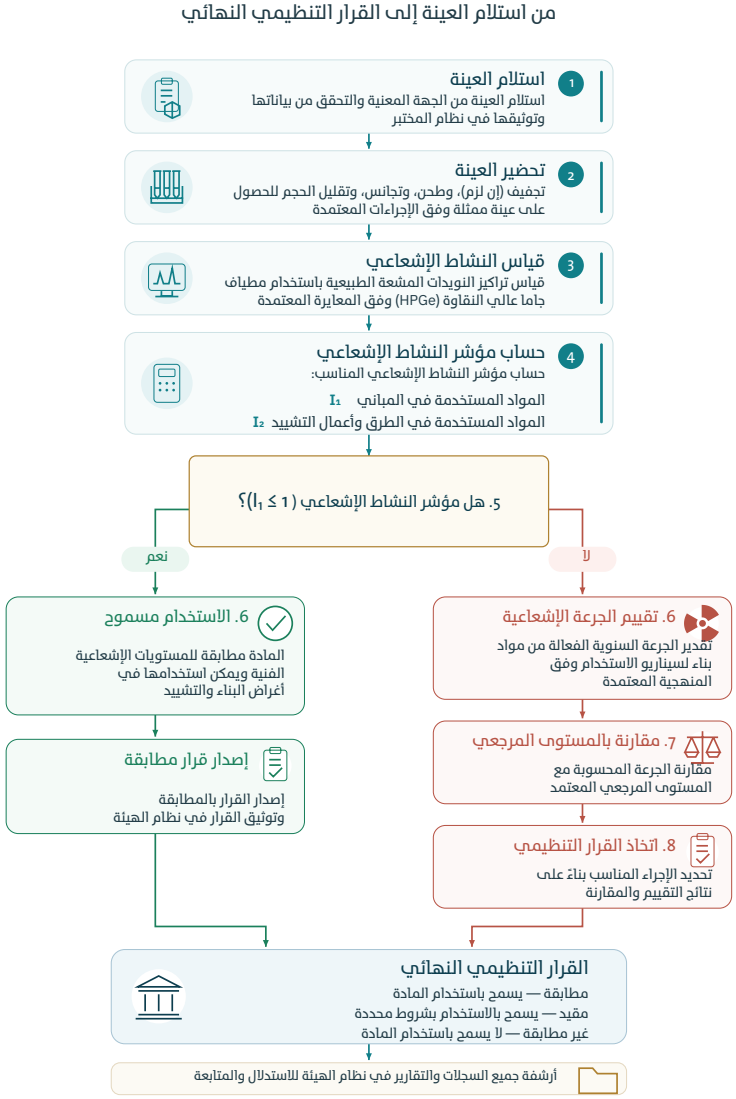
الإجراءات الفنية لتقييم مواد البناء والتشييد

يمثل شكل (20) التسلسل العام للإجراءات االفنية المتبعة، لتقييم مواد البناء والتشييد من الناحية الإشعاعية، بدءًا من استلام العينة وتحضيرها، وقياس تراكيز النشاط الإشعاعي للنظائر المُشعّة المُستهدفة، ثم حساب مؤشر النشاط الإشعاعي وفقًا للائحة الفنية الخاصة.

فإذا كانت قيمة المؤشر ضمن الحدود المرجعية المعتمدة، عُدَّت المادة مستوفية لمتطلبات الحماية من الإشعاع، وجاز استخدامها للغرض المخصص لها.

أما إذا تجاوزت قيمة المؤشر الحد المرجعي، فيُجرى تقييم للجرعة الإشعاعية، وتُقارن نتائجها بالمستويات المرجعية المعتمدة، قبل اتخاذ القرار التنظيمي المناسب وفقًا لمتطلبات اللائحة الفنية الخاصة (NRRC-R-01-SR08).

شكل (20) إجراءات الهيئة لتقييم النشاط الإشعاعي في مواد البناء والتشييد.



ⓒ هيئة الرقابة النووية والإشعاعية ، ١٤٤٨ هـ
هيئة الرقابة النووية والإشعاعية
مواد البناء والتشييد وعلاقتها بالأمان السلامة الإشعاعية./
هيئة الرقابة النووية والإشعاعية -. الرياض ، ١٤٤٨هـ
ص ؛ ..سم..
رقم الإيداع:١٤٤٨/٧٧٢٢
ردمك: ٩٧٨-٦٠٣-٨٤٩٢-٦٥-٩

هيئة الرقابة النووية والإشعاعية

Nuclear and Radiological Regulatory Commission

Kingdom of Saudi Arabia

@saudinrrc

nrrc.gov.sa