تقييم النشاط الاشعاعي للسمنت والمواد الأولية الداخلة في صناعته في معمل سمنت كركوك

علاء فاضل هاشم[1] عمر محمود مربط[1] زكي عبدالجبار منصور[1] علي حسين عبيد نصيف[1] منير انور بكر علي[1]
hashimalaa75@gmail.com m1956@yahoo.com zeki_alqaisy@yahoo.com altmimy57@yahoo.com omer.m1956@yahoo.com
[1] وزارة العلوم والتكنولوجيا/معمل سمنت كركوك

الخلاصة

هذا البحث لتقييم النشاط الاشعاعي للاسمنت والمواد الأولية الداخلة في صناعته في معمل سمنت كركوك من خلال اخذ نماذج لمراحل انتاج السمنت وتم قياس النشاط الاشعاعي النوعي للراديوم Ra^{226} ، والثوريوم Th^{232} و والبوتاسيوم K^{40} فيها ، تم قياس العينات وحساب تراكيز النشاط الاشعاعي للنظائر بمنظومة تحليل اطياف كاما عالي النقاوة (HPGE) بأستخدام برنامج (Genie 2000) المتطور وكانت تراكيز النظائر كما يلي :

(10.16±0.66−14.81±0.73) Bq/Kg for Ra^{226} , (4.88±0.72 − 53.48±6.49)Bq/Kg for Th^{232}

(128.20±9.18 − 289.55±12.15) Bq/Kg for K^{40}

وكذلك تم حساب مكافيء الراديوم Ra_{eq} ومؤشر كاما Iγ ومؤشر الخطورة الخارجي Hex والداخلي Hin ومعدل الجرعة الممتصة في الأماكن المغلقة في الهواء D ومؤشر الفا Iα في عينات الأسمنت والمواد الاولية لتقييم المخاطر الإشعاعية المحتملة على صحة الانسان ، هذه البيانات ذات قيمة في تحديد محتوى النشاط الإشعاعي للمباني والمخاطر الإشعاعية المرتبطة بهذه الأبنية .

أظهرت نتائج البحث المقدمة أن تركيز النشاط الاشعاعي النوعي للراديوم Ra^{226} ، والثوريوم Th^{232} و البوتاسيوم K^{40} حيث كانت تراكيز النظائر المشعة في السمنت الناتج والمواد الاولية ضمن المدى المسموح به حسب توصيات العلمية اللجنة العلمية في الأمم المتحدة (UNSCEAR) (1) والمؤشرات الاشعاعية مثل مكافيء الراديومRaeq في جميع العينات في نطاق القيم المحددة عالميا .و يتراوح معدل قيم Raeq للعينات المقاسة من Bq/kg(117 − 31)، وهي أقل من القيم المسموحة دوليًا (370 Bq kg−1) و ومؤشر كاما Iγ اقل من 1 ومؤشري الخطورة الداخلية والخارجية اقل من 1 ومعدل الجرعة الممتصة في الأماكن المغلقة في الهواء مقبول نسبيا ومؤشر الفا Iα اقل من 1 .[2].

وتظهر الدراسة أن الأسمنت لا يشكل أي مصدر خطر للاشعاع وهو آمن للاستخدام في بناء المساكن. وعند مقارنة هذه التراكيز مع تراكيز السمنت في بعض الدول العالم تبين انها اقل او قريبة من النشاطات الاشعاعية لانتاج تلك الدول.

ومن خلال ملاحظة تراكيز النويدات المشعة الموجودة في المواد الأولية والمواد المضافة والناتج النهائي يتبين ان اغلب النويدات المشعة تخرج مع المواد القلوية وهي ناتج عرضي يتم التخلص منها على شكل نفايات .

الكلمات المفتاحية : السمنت ، النشاط الاشعاعي ، مواد طبيعية المنشأ

Evaluation of the Radioactivity of Cement and Raw Materials used in its Manufacture in the Kirkuk Cement Company

Alaa Fadhil Hashim[1] Omar Mahmood Murbat[1] Zaki Abdul Jabbar[1] Ali Hussein obaid[1] Munir Anwar bakir [1]
[1] Ministry of Science and Technology \ Kirkuk Cement Factory

Abstract

This research was conducted to evaluate the radiation activity of cement and raw materials used in the Kirkuk cement plant by taking samples of cement production stages. The qualitative radiation activity of Ra^{226}, Thorium Th^{232} and Potassium K^{40} were measured. The concentration of the gamma spectrometry(HPGE) using the sophisticated Genie 2000 software.

The concentration of isotopes was as follows: (0.16 ± 0.88 ± 0.73) Bq / Kg for Ra^{226}, (4.88

± 0.72 - 53.48 ± 6.49) Bq / Kg for Th^{232}, (128.20 ± 9.18 - 289.55 ± 12.15) Bq / Kg for K^{40}

The Raeq, I gamma, Hex, Hin, indoor D intake and Iα in cement samples and raw materials to assess potential radiological risks to human health were also calculated to determine the radioactivity content of the buildings and radiological hazards associated with these buildings.

The results of the research presented showed that the concentration of the specific radiological activity of Ra^{226}, Th^{332} and K^{40} thorium was the concentration of radioisotopes in the resulting cement and raw materials within the permissible range according to scientific recommendations of UNSCEAR 1 and radiation indicators such as Raeq All samples are in the range of globally determined values. The average of Raeq values for the measured samples from Bq / kg (117 - 31), which is below the internationally permissible values (370 Bq kg-1), the I gamma index is less than 1, Of 1 and the dose rate absorbed in indoor air intake Alpha index is relatively Iα less than 1.

The study shows that cement is not a dangerous source of radiation and is safe for use in housing construction. When compared with concentrations of cement in some countries, it is found to be less or close to the radiation activity of those countries.

By observing the concentration of radionuclides in the raw materials, additives and final output, most radionuclides are released with alkali materials, which are an accidental product, disposed of as waste.

Keywords: Cement, Radioactive activity, Natural Occurring radiation materials.

المقدمة

يتعرض الانسان و بشكل مستمر الى الاشعاع من المواد المشعة طبيعية المنشأ الموجودة بتراكيز متفاوتة في البيئة حيث يسهم الاشعاع الصادر من هذه المواد الموجودة في الصخور والتربة في معدلات الخلفية الاشعاعية التي يتعرض لها الانسان ومن هذه المواد التي تدخل في صناعة الاسمنت .

ان قيمة الجرعة التي يتلقاها الانسان من المصادر الطبيعية خلال سنة هي تقريبا (2,4 ملي سيفرت /سنة) وتختلف هذه المعدلات من منطقة لاخرى حسب معدلات الخلفية الاشعاعية لهذه المناطق.

تعد صناعة الاسمنت احدى الصناعات الحيوية لارتباطها المباشر والفعال بعملية التنمية لكونها من الأساسيات التي تقوم عليها المشاريع التنموية الاقتصادية والخدمية العمرانية .

المواد الأولية الداخلة في صناعة الاسمنت تحتوي نسب وتراكيز نويدات مشعة مختلفة ومتنوعة حسب سلاسل ا لانحلال التي تحتويها هذه المواد .

ومن اهم النظائر الطبيعية التي تسبب وبشكل كبير في معدلات الجرعة الاشعاعية التي يتعرض لها الجسم البشري هي ما موجود في سلاسل انحلال اليورانيومU^{238} و الثوريوم Th^{232} ونظير البوتاسيوم k^{40} [3] ، التراكيز العالية من النويدات المشعة الطبيعية في مواد البناء والتربة تؤدي الى ارتفاع معدل الجرعة الداخلية نتيجة لوجود هذه السلاسل ، ونتيجة لتفككها فانه ينتج نظائر مشعة عديدة من اهم هذه النواتج هو الراديوم Ra^{226} في سلسلة U^{238} الذي بدوره ينتج الرادونRn^{222} وهو اكبر مصدرمشع طبيعي يعرض جسم الانسان داخليا عن طريق الاستنشاق والجهاز الهضمي الذي هوغاز مشع عديم اللون والرائحة والطعم واثقل من الهواء بسبع مرات ونصف وعمر النصف له 3.8 يوم وينحل باطلاق جسيمة الفا واحدة ، ان التعرض له واستنشاقه لفترة طويلة يؤدي الى اضرار صحية في الرئة .[4].

تعتبر نواتج الرادونRn^{222} المتمثلة البولونيوم Po^{218} والبزموث Bi^{214} والرصاص Pb^{214} اخطر على جسم

الانسان لان نواتجه تترسب في مختلف أجزاء الجهاز الهضمي وبذلك تؤدي الى زيادة الجرعةالداخلية.[5]

الاسمنت هو احد مواد البناء المستخدمة على نحو واسع في بلدنا ، فالمواد الاولية تحتوي على هذه النويدات المشعة التي تقوم بشكل وباخر بزيادة الجرعة الاشعاعية الداخلية وهذا قد يؤدي الى حدوث الامراض السرطانية وحدوث التشوهات الخلقية والعيوب الوراثية.

الخليط الأساسي لصناعة الاسمنت يتكون غالباً من الحجر الجيري Limestone والطَفل Clay والذي يسخن في درجة حرارة كافية لإحداث التفاعل بينهما لانتاج سيليكا الكالسيوم Calcium Silicate ، المواد الخام

الأولية في صناعة الاسمنت :

– (الحجر الجيري ، رمل السيليكا ،الطَفلة ، الاتربة السطحية).

– طفلة وأتربة البوكسيت: (جسيمات متوسطة الحجم منالطبقات الرسوبية مثل الطَفلة، ولها محتوى منخفض من الماء)[6]

ان الهدف من هذا البحث هو لتقييم وتحديد تراكيز المواد المشعة الموجودة في الاسمنت والموادالاولية الداخلة في صناعته لتقييم الاثر الاشعاعي المحتمل .

تقييم التعرض السكاني للاشعاع في الاماكن المغلقة مهم جدا وذلك من خلال معرفة تراكيز النويدات المشعة الطبيعية في مواد البناء،تحتوي المواد الخام ومواد البناءعلى كميات مختلفة ومتنوعة من النويدات المشعة طبيعيا، وبالتالي فان معرفة تركيز النشاط الاشعاعي في موادالبناء مهمة لتقدير المخاطر الاشعاعية الناتجة عن الجرع الممتصة للجسم واهم هذه المواد المشعة طبيعية المنشأ الموجودة في الاسمنت الثوريوم Th232 والراديوم Ra226 والبوتاسيوم 40K .

يقيَم التعرض المحتمل للاشعاع لدى السكان لان معظم الناس يقضي معظمهم حوالي 80% من حياتهم داخل المنازل والمكاتب ، هذه المعرفة ضرورية ايضا لوضع المعايير والمباديء والتوجيهات لاستخدام هذه المواد[7] ،ان تراكيز النويدات المشعة(ثوريوم والراديوم والبوتاسيوم) في المواد الخام تختلف اختلافا كبيرا اعتمادا على التركيب الكيميائي وكذلك فيما يتعلق بالمصدر الجيولوجي والخصائص الجيوكيميائية .[8]

الصخور والتربة تعتبران من مصادر الطبيعية للاشعاع لاحتوائها على النويدات المشعة طبيعية المنشأ ومن اجل حماية الانسان والبيئة من التعرض لهذه المواد المشعة الطبيعية المنشأ المتواجدة في مواد البناء بشكل عام وبتراكيز مختلفة ولضمان حماية الناس والعاملين والبيئة من التعرض لهذه الاشعة تم اخذ عينات للمواد الأولية الداخلة في صناعة الاسمنت والناتج النهائي للاسمنت لتقييم النشاط الاشعاعي لهذه المواد ، تم البحث في معمل سمنت كركوك حيث اخذت النماذج من المواد الأولية مثل حجر الكلس التي يتم جلبها من مقلعين بازيان وقرة جوغ في السليمانية و مواد الطفلة (الطينية) يتم جلبها من مناطق قريبة من المعمل و تراب الحديد يكون مستورد.

المواد وطريقة العمل

النمذجة

جمعت عينات من معمل سمنت كركوك عدد6 ووضعت النماذج في اكياس نايلون ملائمة وتم كتابة رقم النموذج وتاريخة .

(النماذج: نموذج خليط مواد قبل الحرق (حجر كلس وتربة طينية وحديد) نموذج الناتج النهائي(الكلنكر وحجر كلس وطحن) ونموذج ثالث تراب من خارج المعمل لحساب الخلفية الاشعاعية)ونموذج مواد قلوية (ناتج عرضي) نموذج تراب وحديد ونماذج تراب ومن ثم وضعت العينات في وعاء مارنيلي بيكر وتترك لفترة 21 يوما.

القياس

استخدمت في هذا العمل منظومة التحليل الطيفي لاشعة كاما بأستخدام كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة بأستخدام برنامج (Genie 2000) المتطور ، وهي مبنية على قاعدة اساسية تتمثل في تفاعل الإشعاع مع مادة الكاشف.

تتكون هذه المنظومة من بلورة كاشف الجرمانيوم عالي النقاوة (HPGE) وهي من اشباه الموصلات النتروجين السائل لتبريدها وبدرجة حرارة C° 196- ولها طاقة فصل مقدارها 2kev عند الطاقة 1332.5 kev لنظير الكوبلت Co^{60} كفاءة الكاشف 40% .

ويوضع داخل حاجز وقائي (درع الرصاص) الذي يتكون من ثلاث طبقات هي : الرصاص ، الالمنيوم والنحاس على التوالي ، الفولتية المطلوبة للتشغيل 2500V [9]. جدول (1) يبين نتائج قياس النماذج بوحدة Bq/kg

جدول (1) نتائج قياس النماذج بوحدة Bq/kg

ت	اسم النموذج	K^{40}	Th^{232}		U^{238}	
			Pb^{212}	Ac^{228}	Pb^{214}	Ra^{226}
1	**نموذج (1) الناتج النهائي سمنت معمل سمنت كركوك**	177±10.11	6.77±0.57	53.48±6.49	26.07±0.93	10.16±0.66
2	نموذج (2)خليط المواد (حجرالكلس+الطَفلة)–معمل سمنت كركوك	128.20±9.18	4.06±0.45	B.D.L	15.81±0.69	B.D.L
3	نموذج (3)مواد قلوية	1439.14±40.38	8.75±0.59	4.88±0.72	1.94±0.44	B.D.L
4	نموذج (4) تراب حديد	153.65±7.77	24.58±0.88	33.75±0.90	21.56±0.89	B.D.L
5	نموذج (5) معمل سمنت كركوك المجمع السكني (تراب) *	289.55±12.15	9.81±0.54	B.D.L	13.03±0.61	14.81±0.73
6	نموذج (6) معمل سمنت كركوك* المجمع السكني(تراب)	255.89±10.72	8.07±0.50	B.D.L	11.79±0.58	12.87±0.62

وحجمها (3×3) انج ، حيث تحتاج هذه البلورة الى

مؤشرات الاشعاع (Radiation indices) : الخطر الاشعاعي المصاحب لمواد البناء غالبا ما يتم تقييمه على أساس الموءشرات الاشعاعية والجرعة الاشعاعية التي تحتسب باستخدام تراكيز النشاط الاشعاعي التي تم قياسها لل Th^{232}, Ra^{226} و K^{40} .

– المؤشر الأكثر استخداما هو مؤشر مكافيء الراديوم Ra_{eq} (Bq/kg) [10].

النظائر المشعة Ra^{226}, Th^{232}وK^{40} توزيعها غير منتظم في نماذج الاسمنت لذلك تم ادخال مؤشر اشعاعي لتمثيل النشاط الاشعاعي النوعي :

$$Ra_{eq} = ARa + 1.34ATh + 0.077AK$$

حيث ARa, ATh and AK النشاط الاشعاعي النوعي للRa^{226}, Th^{232} and K^{40} بوحدة البكرل \كغم ، قيمة الحد الأعلى لمكافيء الراديوم Ra_{eq} للمساكن هو 370 Bq/kg .

والمؤشرات الأخرى التي هي مؤشر **الخطورة الخارجي (Hex)والداخلي (Hin)** وكما في الصيغتان : [2]

$$Hex = ARa/370 + ATh/259 + AK/4810$$

$$Hin = ARa/185 + ATh/259 + AK/4810$$

يتوافق المؤشر الخارجي مع جرعة كاما والمؤشر الداخلي مع استنشاق الرادون ونواتجه قصيرة عمر النصف . الحد الأعلى الموصى بها للمؤشرين هو 1.

مؤشر كاما (مؤشر النشاط الاشعاعي للتركيز)($I\gamma$) :

لتقييم متطلبات الأمان لمواد البناء نحسب مؤشر كاما كما مقترح من قبل المنظمة الاوربية [2]

$$I\gamma = ARa/300 + ATh/200 + AK/3000$$

الحد الأعلى لهذا المؤشر هو1، $I\gamma \leq 1$والذي يقابل معدل الجرعة لاشعة كاما الممتصة اقل او يساوي 1 ملي سيفرت \ سنة. [2] [11]

معدل الجرعة الممتصة في الأماكن المغلقة في الهواء D: [11]

هناك تخوف من احتمالية زيادة معدلات الجرعة الممتصة للجسم بسبب انبعاث اشعة كاما من ^{214}Pb, Bi وهي نواتج سلاسل انحلال Ra^{226} وTh^{232} وكذلك K^{40} يساهم في جرعة اشعاع الجسم الكلية نتيجة استخدام بعض مواد البناء ، معدل الجرعة الممتصة في الهواء في الأماكن المغلقة بسبب اشعة كاما المنبعثة من التراكيز الاشعاعية ل , Ra226 Th232 & K40 تعطى في المعادلة التالية* التي فيها معامل تحويل الجرعة تم حسابها في وسط غرفة قياسية ابعادها (4m × 5 m × 2.8 m) ، سمك الجدار والسقف والارضية 20 Cm وكثافة البناء 2.35كغم\ م3 ، معامل التحويل المستخدم لحساب معدل الجرعة الممتصة لاشعة كاما

$$*D = 0.92ARa + 1.1ATh + 0.08AK$$

مؤشر الفا $I\alpha$

يتطلب حساب مؤشر ألفا أو مؤشر المخاطر الداخلية الناشئة عن نشاط ألفا لمواد البناء تم اقتراح مؤشر ألفا لتقييم مستوى التعرض بسبب استنشاق الرادون الناشئ عن مواد البناء تم تحديد المؤشر بالصيغة التالية: [2]

$$I\alpha = A_{Ra}/200$$

حيث ان A_{Ra} تركيز النشاط الاشعاعي لل Ra^{226} يقاس بوحدة Bq/kg فرض انه في حالة توازن مع اليورانيوم U^{238} ، الاستخدام الامن لمود البناء يتطلب ان يكون مؤشر الفا $I\alpha$ اقل من 1 . المؤشرات الاشعاعية للاسنت والمواد الاولية موضحة في جدول (2).

جدول (2) قيم المؤشرات الاشعاعية للاسمنت والمواد الأولية

ت	النماذج	Raeq Bq/Kg	Dose $nGyh^{-1}$	Iγ	Iα	Hex	H in
1	سمنت	97.6	81	0.36	0.05	0.08	0.295
2	مواد اولية	31.3	10	0.04	0	0.026	0.027
3	نفايات (ناتج عرضي)	117.2	120	0.5	0	0.32	0.3
4	تربة وحديد	80.6	49	0.22	0	0.16	0.16
5	تربة	51	36.8	0.15	0.07	0.1	0.14
6	تربة	43.7	32.3	0.13	0.06	0.087	0.12

جدول (3) تراكيز النشاط الاشعاعي (K40, Th232, Ra226) في سمنت بعض دول العالم وكذلك المؤشرات الاشعاعية [12]

Country	Ra^{226} (Bq/kg)	Th^{232} (Bq/kg)	K^{40} (Bq/kg)	Raeq (Bq/kg)	Hex	Hin	I	D (nGy/h)
Egypt	78	33.3	37	129	0.35	0.56	0.44	111
Turkey	40	28	248	99.2	0.27	0.38	0.36	87.5
Finland	40	20	251	87.9	0.24	0.35	0.32	78.9
Algeria	41	27	422	112	0.30	0.41	0.41	101
Pakistan	26.7	28.6	273	88.6	0.24	0.31	0.32	77.9
Tunisia	21.5	10.1	176	49.5	0.13	0.19	0.18	44.9
India	37	24.1	432	105	0.28	0.38	0.39	95.1
Italy	41	63	357	159	0.43	0.54	0.31	76.6

النتائج والمناقشة

تراكيز النشاط الاشعاعي تقاس بوحدة (بكرل \ كغم) ، وحسب النتائج في جدول (3) (4.88±0.72 - 53.48±6.49)Bq/Kg , and (10.16±0.66-14.81±0.73) Bq/Kg (128.20±9.18 - 289.55±12.15) Bq/Kg for Th^{232} , Ra^{226}, K^{40}على التوالي

وتراكيز النشاط الاشعاعي للنظائر المشعة لـ(Ra^{226}, Th^{232}وK^{40}) المسموح بها حسب توصيات الوكالة الدولية للطاقة الذرية [1] (K^{40}= 400Bq/Kg) و (35 Bq/Kg = Th^{232}),(Ra^{226} =370Bq/Kg)

وعند مقارنة هذه النتائج بنتائج الموصى بها تبين انها ضمن الحدود المسموح بها. وأيضا ومن خلال ملاحظة تراكيز النويدات المشعة للاسمنت ، ومقارنتها مع النشاط الاشعاعي للناتج العرضي الذي هو عبارة عن مواد قلوية نجد ان النشاط الاشعاعي للنويدات المشعة في الاسمنت الناتج اقل ، وتركز النويدات المشعة في المواد القلوية التي هي في النهاية سيتم التخلص منه كنفايات .

الاستنتاج

النشاط الاشعاعي النوعي لل Ra226 ، Th232 و الK40 ومكافيء الراديومRaeq ومؤشر كاما ، وبقية المؤشرات ، من خلال هذه القيم يتم تقييم احتمالية المخاطر الاشعاعية للسمنت ومواد البناءهذه النتائج تحدد المحتوى الاشعاعي للابنية والمخاطر الاشعاعية المصاحبة .

تم تقييم واحتساب النشاط النوعي لل Ra226 ، Th232 و الK40 و المؤشرات لتقييم المخاطر المصاحبة للاسمنت والمواد الأولية وكانت النتائج ضمن الحدود المسموح بها حسب توصيات العلمية اللجنة العلمية في الأمم المتحدة(UNSCEAR) (1) وعند مقارنتها مع بعض الدول العالم تبين انها اقل او مساوية لبعض التراكيز هذه الدول وكانت القيم لل Raeq Bq/Kg (31–117) وهي اقل من الحد المسموح(370Bq/Kg) .

المصادر

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR-2000). “Sources and Effects of Ionizing Radiation”, UNSCEAR Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. United Nations, New York>
2. EC (European Commission). Radiological Protection Principles Concerning the Natural Radioactivity of Building Materials; Radiation Protection 112; Directorate-General Environment, Nuclear Safety and

Civil Protection: Luxembourg, Belgium, 2000.

3. E. Kunz, J. Svec, V. Placek and J. Horaceck, "Lung Cancer in Man in Relation to Different Time Distribution of Radiation Exposure", Health Physics, Vol. 36 pp 669-706, (1979).
4. النشاط الاشعاعي الطبيعي في مدينة تدمر ومحيطها ، المصري ، محمد سعيد ، رياض الشوكاني واخرون ، " تقرير عن دراسة علمية ميدانية ، قسم الوقاية الاشعاعية " الجمهورية العربية السورية ، هيئة الطاقة الذرية السورية، 2006 .
5. Dyson, N. A., 1981. Nuclear Physics with Applications in Medicine and Biology, Ellis Horwood Limited, 162 P.
6. Aloyce Isaya Amasi, Kelvin Mark Mtei, Ijumba Jasper Nathan, Pawel Jod wski and Chau Nguyen Dinh " Natural Radioactivity in Tanzania Cements and their Raw Materials "Research Journal of Environmental and Earth Sciences 6(10): 469-474, 2014 .
7. Damla D., Cevik U., Kobya A.I., Celik A., Celik N., van Grieken R. Radiation dose estimation and mass attenuation coefficients of cement samples used in Turkey. J. Hazard. Mater. 2010;176:644–649. doi: 10.1016/j.jhazmat.2009.11.080.
8. Tahir Sofiliæ , Delko Barišiæ , Una Sofiliæ , Marija Đurokoviæ "Radioactivity of some building and raw materials used in Croatia" Polish Journal of Chemical Technology, 13, 3, 23 — 27, 2011, 10.2478/v10026-011-0032-7 Pol. J. Chem. Tech., Vol. 13, No. 3, 2011 23 .
9. Genie – 2000, (2005), Operation Tools Manual, Canberra Industries, Inc, USA.
10. Beretka, J. and P.J. Mathew, 1985. Natural radioactivity of austrian building materials. Ind. Waste By-Prod. Health Phys., 48: 87-95.
11. UNSCEAR, 2008. Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, With Annexes, United Nations, New York.
12. Khan, K. and H.M. Khan, 2001. Natural gamma-emiting radionuclides in Pakistani Portland cement. Appl. Radiat. Isotopes, 54: 861-865.