مقاله کنفرانسی

مجله سنجش و ایمنی پرتو، جلد ۱۱، شمارهٔ ٤، زمستان (ویژه‌نامه) ۱٤۰۱، صفحه ۲۵-۳۲
ششمین کنفرانس سنجش و ایمنی پرتوهای یون‌ساز و غیریون‌ساز (مردادماه ۱٤۰۰)
تاریخ دریافت مقاله: ۱٤۰۰/۰۷/۱۰، تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۱/۰۵/۰۹

برآورد مخاطرات تابشی ناشی از سنگ گرانیت موجود در روستاهای ده‌سیاهان، خنامان و مانی شهرستان رفسنجان استان کرمان

ندا زارعی و محمدرضا رضایی‌راینی‌نژاد*

گروه مهندسی هسته‌ای، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران.
*کرمان، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه مهندسی هسته‌ای، کدپستی: ۷٦۳۱۸۱۸۳۵٦
پست‌الکترونیکی: mr.rezaie@kgut.ac.ir

چکیده

انسان در طول سال از منابع تابش مختلفی مثل تابش‌های کیهانی،تابش محیطی، گاز رادن و دستگاه‌های پرتودرمانی در معرض تابش خارجی و داخلی قرار می‌گیرد. حد مجاز دز سالانه که توسط گزارش ICRU برای افراد معمولی درنظر گرفته شده ۰/۰۵ SV است. میزان تابش‌های محیطی بستگی به جنس خاک، مصالح ساختمانی، سنگ گرانیت و محیط پیرامون دارد که می‌توان با تغییر این مواد میزان خطرات ناشی از تابش‌های محیطی را کاهش داد. متاسفانه روستاهایی در کرمان وجود دارند که بر بستر سنگ گرانیت رادیواکتیو قرار دارند. در این تحقیق میزان خطرات ناشی از این سنگ‌ها برای ساکنین روستاهای مانی، خنامان و ده‌سیاهان بررسی شده است. جهت این امر اکتیویته ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs در سنگ‌های گرانیت این سه روستا محاسبه و با استفاده از آن‌ها کمیت‌های مربوط به خطرات تابشی برآورده شده است.نتایج تحقیق نشان می‌دهد که اکتیویته معادل عناصر رادیواکتیو ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs و کمیت‌های Ra_{eq}، D_r، D_{out}، D_{in}، D_{tot}، H_{ex}، H_{in}، I_y، ELCR این سه روستا بالاتر از مقادیر مجاز اعلام شده توسط ICRU می‌باشد.هم‌چنین کمیت‌های فوق برای روستای مانی خیلی بیش‌تر از دو روستای خنامان و ده‌سیاهان است. بنابراین سکونت در روستای مانی و ده‌سیاهان به‌علت بالا بودن خطرات تابشی نسبت به روستای خنامان توصیه نمی‌شود.

کلیدواژگان: سنگ گرانیت، اکتیویته، ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs، ده‌سیاهان، مانی، خنامان، خطرات تابشی.

۱. مقدمه

گرانیت یکی از سنگ‌های آذرین است که عمدتاً از کوارتز، میکا و فلدسپات تشکیل شده است و برای تزئینات داخلی و خارجی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. در ترکیبات بعضی از سنگ‌های گرانیت برخی ازعناصر رادیواکتیو سری ^{232}Th،^{238}U، ^{40}K و ^{137}Cs وجود دارد. این عناصر و دختران سری واپاشی آن‌ها تابش گاما، ذرات آلفا و بتا گسیل می‌کنند. در سری واپاشی اورانیوم گاز رادون نیز که گازی رادیواکتیو است دیده می‌شود. به‌دلیل استنشاق گاز رادون، محصولات ناشی از سری واپاشی آن‌ها و دختران رادون در ریه و دستگاه تنفسی رسوب کرده و به‌علت رادیواکتیو بودن آن‌ها باعث ایجاد دز در بدن می‌شوند [۳-۱]. در صورتی که از سنگ‌های گرانیت رادیو اکتیو در تزئینات ساختمان استفاده نشود می‌توان میزان دز سالیانه افراد را کاهش داد. در استان کرمان متاسفانه روستاهایی مانند ده‌سیاهان، خنامان و مانی وجود دارد که بر بستر سنگ گرانیت رادیواکتیو با اکتیویته بالا بنا شده است. در این مقاله سعی می‌شود که غلظت عناصر رادیواکتیو ^{232}Th، ^{238}U، ^{40}K و

^{137}Cs در سنگ گرانیت موجود در این روستاها اندازه‌گیری نموده و با استفاده از آن‌ها کمیت‌های خطر رادیولوژیکی، میزان دز گامای جذب شده در هوا، میزان دز مؤثر سالیانه، فعالیت-های معادل رادیوم، شاخص خطر خارجی و شاخص خطر داخلی [۷-٤] و میزان ریسک ابتلا به سرطان برای افراد ساکن در این روستاها محاسبه شود. در ادامه به ذکر چگونگی انجام محاسبات پرداخته می‌شود.

۲. روش انجام تحقیق

۱.۲. جمع‌آوری نمونه

جهت انجام محاسبات مربوط به خطرات تابشی ساکنین روستاهای ده‌سیاهان، خنامان و مانی استان کرمان، ابتدا مختصات جغرافیایی این نقاط با استفاده از گوگل مپ استخراج شده و با مراجعه به این مراکز(شکل ۱-۳) میزان تابش زمینه با استفاده از دستگاه FFG-۲L ۰۸۰۸۰۱ اندازه-گیری شده است. جهت اطمینان از رادیواکتیو بودن سنگ‌های گرانیت روستاهای ده‌سیاهان و مانی ۱۰ نمونه از سنگ‌های گرانیت قسمت‌های مختلف روستاها جمع‌آوری و میزان اکتیویته و طیف گامای ساطع شده توسط ۵۵۰ گرم از هر یک از این نمونه‌ها با استفاده از دستگاه نوین طیف CSI(TL)MCA در آزمایشگاه دانشگاه فناوری و صنعتی پیشرفته کرمان در مدت ۹۰۰ ثانیه استخراج شده است.

شکل (۱): منطقه ده‌سیاهان.

شکل (۲): منطقه مانی.

شکل (۳): منطقه خنامان.

۲.۲. کالیبراسیون با استفاده از دستگاه CSI(Tl)

معمولاً خروجی دستگاه CSI(Tl) در کانال‌های ۱۰۲۱،۵۱۲ و ۲۰٤۸ تایی دستگاه ثبت می‌شود. دستگاه در حالت ۵۱۲ کانال تنظیم شد. جهت تبدیل شماره کانال به انرژی از قسمت برازش دستگاه می‌توان یک معادله خطی چند ضریبی بر داده‌ها برازش کرد. هم‌چنین فرآیند برازش را می‌توان توسط نرم‌افزارهای دیگر نیز انجام داد. نتیجه تبدیل کانال به انرژی در فرمول ۱ آورده شده است.

$$E(MeV)=۱۲۳۷۰۱۱/۲(-(۱ + ۳/۸\times۱۰^{-۱۰}Ch^{۱٫۳٦٥})^{-۱}) \quad (۱)$$

جهت کالیبراسیون دستگاه و استخراج معادله ۱ از مشخصات چشمه کبالت ٦۰ استفاده شده است. چشمه کبالت ٦۰ دارای سه فوتوپیک در انرژی‌هایMeV ۱/۱۷ ، ۱/۳۳ و ۲/۵ لبه کامپتون در انرژیMeV ۰/۸٥٤ و قله ایکس در انرژی MeV ۰/۰٦۷ می‌باشد [۸].

۳.۲. نحوه محاسبه اکتیویته ویژه عناصر رادیواکتیو موجود در نمونه‌های سنگ گرانیت

میزان اکتیویته ویژه هر یک از عناصر رادیواکتیو موجود در سنگ‌های گرانیت با استفاده از فرمول ۲ محاسبه می‌شود [۹-۱۴].

$$A_S = \frac{N}{\varepsilon . I_\gamma . m . t} \qquad (۲)$$

N میزان شمارش فوتون‌های دریافت شده در انرژی مربوطه توسط آشکارساز CSI(TL)، t زمان برحسب ثانیه، m جرم نمونه برحسب کیلوگرم ، ε بازده شمارشی کل گاما، Iγ احتمال گسیل گامای آشکارساز CSI(Tl) در انرژی تابش گامای مربوط به تابش هر یک از عناصر ^{۲۳۲}Th، ^{۲۳۸}U، ^{۴۰}K و ^{۱۳۷}Cs در جدول ۱ آورده شده است.

جدول (۱): بازده شمارشی کل پرتوهای گاما و شدت گسیل گاما برای هر رادیوایزوتوپ در انرژی مربوطه.

element	E(keV)	Iγ	ε
^{۲۳۲}Th	۲۳۸/۶۳	۴۳/۵۰	۰/۸۷ ۵
^{۲۳۸}U	۲۹۵/۲۱	۱۹/۲۰	۰/۶۷۵
^{۲۳۸}U	۳۵۱/۹۲	۳۵/۱۰	۰/۵۴۵
^{۲۳۲}Th	۵۸۳/۱۹	۳۰/۵۸	۰/۲۹۵
^{۲۳۸}U	۶۰۹/۳۲	۴۴/۶۰	۰/۲۷۹
^{۱۳۷}Cs	۶۶۱/۶۱	۸۷/۵۰	۰/۲۵۳
^{۲۳۲}Th	۹۱۱/۱۶	۲۶/۶۰	۰/۱۷۱

۴.۲. معادلات خطرات تابشی ناشی از سنگ‌های گرانیت در روستاهای ده‌سیاهان، خنامان و مانی فعالیت معادل رادیوم

فعالیت معادل رادیوم، Ra_{eq}، برحسب $Bq\ kg^{-1}$ ، برای شناسایی یکنواختی در معرض تابش معرفی شد. مقادیر محاسبه شده Ra_{eq} به‌طور کلی برای مقایسه فعالیت خاص مواد حاوی مقادیر مختلف ^{۲۳۸}U، ^{۲۳۲}Th و ^{۴۰}K استفاده می‌شود. علاوه‌براین داده‌های Ra_{eq} می‌تواند برای ارزیابی خطرات تابش برای سلامتی ناشی از غلظت فعالیت ^{۲۳۸}U، ^{۲۳۲}Th و ^{۴۰}K موجود در سنگ گرانیت استفاده شود. مقادیر اندازه‌گیری شده Ra_{eq} با استفاده از معادله ۳ به‌دست آمده است [۱۵].

$$R_{aeq} = A_U + ۱/۴۳ \times A_{Th} + ۰/۰۷۷ \times A_k \qquad (۳)$$

در معادله ۳، A_U اکتیویته اورانیوم، A_{Th} اکتیویته توریوم و A_k اکتیویته پتاسیم برحسب $Bq\ kg^{-1}$ است.

۱.۴.۲. میزان دز جذبی در هوا

اثرات تشعشعات گاما که از منابع رادیواکتیو در محیط نشأت می‌گیرند، به‌طور کلی با توجه به میزان کل دز جذب شده اشعه گاما در هوا D_r بیان می‌شود. مقادیر D_r در هوا و ۱ متر بالاتر از سطح زمین از طریق غلظت فعالیت اندازه‌گیری شده ^{۲۳۲}Th، ^{۲۳۸}U، ^{۴۰}K و ^{۱۳۷}Cs و تابش زمینه کیهانی رادیونوکلیدها با استفاده از فرمول نیمه تجربی ٤ محاسبه می‌شود [۱۶،۱۷].

$$Dr(nGyh^{-1}) = ۰/۴۲۷ \times A_U + ۰/۶۶۲ + \text{در ساعت} \times ۰/۰۴۳ \times A_K \qquad (٤)$$

$$D\gamma\ (nGyh^{-1}) = ۰/۴۲۷ \times A_U + ۰/۶۶۲ + \text{در ساعت} \times ۰/۰۴۳ \times A_K + ۰/۰۳ \times A_C + ۳۴ \qquad (۵)$$

ضرایب ۰/۴۲۷، ۰/۶۶۲ و ۰/۰۴۳ فاکتور های تبدیل نرخ دز برای تبدیل غلظت فعالیت رادیونوکلیدهای ^{۴۰}K,^{۲۳۸}U,^{۲۳۲}Th و ^{۱۳۷}Cs به میزان دز جذب شده است که توسط UNSCEAR پیشنهاد شده است [۱۸]. اساساً این فاکتورها نشان‌دهنده میزان دز جذب شده در هوا در یک ساعت $nGy\ h^{-1}$ در واحد فعالیت در واحد جرم سنگ گرانیت $Bq\ kg^{-1}$ است.

۲.۴.۲. دز معادل مؤثر سالانه

دز معادل مؤثر سالانه (AEDE) دریافت شده توسط افراد با استفاده از ضریب تبدیل نرخ دز $۰/۷\ Sv\ Gy^{-1}$ و فاکتورهای اشغال داخلی و خارجی به‌ترتیب ۰/۲ و ۰/۸ از مقادیر محاسبه شده Dr محاسبه می‌شود [۱۹]. دز مؤثر سالانه خارجی; D_{out} و دزهای داخلی سالانه مؤثر; D_{in} و کل دزهای مؤثر سالانه; D_{tot} با توجه به معادلات زیر محاسبه می‌شود [۲۰].

$$D_{out}\ (mSvy^{-1}) = Dr\ (mGyh^{-1}) \times ۲٤h \times ۳٦۵/۲۵d \times ۰.۲ \times ۰.۷SvGy^{-1} \times ۱۰^{-٦} \qquad (٦)$$

$$D_{in}\ (mSvy^{-1}) = D\ r\ (mGyh^{-1}) \times ٢٤h \times ٣٦٥/٢٥d \times ١.٤ \times ٠.٨ \times ٠.٧\ mSvy^{-1} \times ١٠^{-٦} \quad (٧)$$

$$D_{tot}\ (mSvy^{-1}) = D_{out} + D_{in} \quad (٨)$$

۳.٤.۲. شاخص های خطر تشعشع خارجی

شاخص‌های خطر تشعشع خارجی و داخلی به‌ترتیب با استفاده از معادلات ۹ و ۱۰ به‌دست می‌آید [۲۲-۲۰].

$$H_{ex} = A_U / ٣٧٠Bqkg^{-1} + A_{Th} / ٢٥٩Bqkg^{-1} + A_K / ٤٨١٠\ Bqkg^{-1} \quad (٩)$$

$$H_{in} = A_u / ١٨٥\ Bqkg^{-1} + A_{Th} / ٢٥٩\ Bqkg^{-1} + A_k / ٤٨١٠\ Bqkg^{-1} \quad (١٠)$$

شاخص خطر تشعشع خارجی، H_{ex} ، مربوط به رادیونوکلئیدهای طبیعی $^{٢٣٢}Th,^{٢٣٨}U,^{٤٠}K$ و در حالت کم خطر باید کم‌تر یا برابر با واحد باشد. سطح خطر ناشی از استنشاق ذرات آلفا ساطع شده از رادیونوکلئیدهای کوتاه مدت رادون مانند ^{٢٣٢}Th (محصول دختر ^{٢٢٦}Ra)و ^{٢٢٠}Rn (محصول دختر ^{٢٢٤}Ra) را می‌توان با استفاده از شاخص خطر داخلی، H_{in} فرمول نیمه تجربی به‌دست می‌آید محاسبه کرد [۲۳]. مقادیر اندازه‌گیری شده H_{in} نیز در حالت کم خطر باید کم‌تر از یا برابر با واحد باشد که نشان‌دهنده سطح پایین غلظت رادون و دختران آن برای اندام‌های تنفسی انسآن‌های ساکن در خانه‌ها کم‌تر از $٤٠\ Bq\ m^{-٣}$ می‌باشد [۲٤].

٤.٤.۲. شاخص سطح رادیواکتیویته

شاخص سطح رادیواکتیویته، I_γ، به‌طور کلی برای ارزیابی سطح خطر رادیونوکلئیدها در بدن انسان هنگامی که در معرض مقدار دز مؤثر سالانه خارجی (داخلی یا خارجی) ناشی از پرتوهای گامای نوکلیدهای رادیواکتیو در طبیعت قرار می‌گیرد استفاده می‌شود.این شاخص برای کنترل کیفیت دز مؤثرسالانه و نظارت بر تابش گاما داخل بدن انسان مهم است و نشان می‌دهد که میزان دز دریافتی از دز مجاز جهانی فراتر نمی‌رود [۲۵]. مقادیر I_γ را می‌توان طبق فرمول نیمه تجربی ۱۱ محاسبه کرد [۲۰،۹].

$$I_\gamma = Au / ١٥٠\ Bqkg^{-1} + A_{Th} / ١٠٠\ Bqkg^{-1} + A_k / ١٥٠٠\ Bqkg^{-1} \quad (١١)$$

مقادیر ارزیابی شده I_γ باید کم‌تر یا مساوی ۱ باشد تا اطمینان حاصل شود که محیط سنگ گرانیت به‌طور کلی ایمن یا بدون خطر است.

۵.٤.۲. حد خطر ابتلا به سرطان

خطر ابتلا به سرطان در طول زندگی با کمیت حد خطر ابتلا به سرطان (ELCR) و با استفاده از معادله ۱۲ محاسبه می شود [۲٦].

$$ELCR = D_{tot} \times D_L \times R_F \quad (١٢)$$

در معادله ۱۲، D_L طول عمر (تقریباً ۷۰ سال) است و R_F عامل خطر (Sv^{-1}) نشان‌دهنده خطر سرطان کشنده در هر غربال است. برای اثرات تصادفی طبق گزارش ICRP ٦٠ این مقدار در حد ۰/۰۵ می‌باشد [۲۷].

۳. نتایج

میانگین اکتیویته ویژه سنگ گرانیت روستای ده‌سیاهان، خنامان و مانی با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده ۱۰ نمونه از دستگاه‌های گرانیت با جرم ۰/۵۵۰ کیلوگرم توسط دستگاه آشکارساز CSI(Tl) در مدت ۹۰۰ ثانیه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول(۲): اکتیویته ویژه سنگ‌های گرانیت مناطق ده‌سیاهان، خنامان و مانی.

	Granite specific activity(Bq/kg)		
	Mani	Khanaman	Deh Siahan
میانگین	٥٤٥٤	٦٨٢٠	٧٢٧٠

باتوجه به نتایج جدول اکتیویته سنگ گرانیت روستای ده‌سیاهان با اکتیویته ویژه ۷/۲۷ Bq/kg بیش‌تر از روستاهای مانی و خنامان است. با استفاده ازمعادله ۲ و داده‌های جدول ۱ میزان اکتیویته ^{238}U و ^{137}Cs محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

جدول(۳): میزان اکتیویته ^{40}k، ^{232}Th، ^{238}U و ^{137}Cs سنگ‌های گرانیت روستاهای ده‌سیاهان و خنامان و مانی.

	Activity(Bq/kg)			
Location	^{40}K	^{232}Th	^{238}U	^{137}Cs
mani	۸۸٤	۲۵۳۱	۷۱۵.۲	۱۲۰
khanaman	۳۷۹	۲۰۲	۳۷.۱	۵۰
dehsiahan	۹۲٦	۱٦۸۱	۳۰۵	۲٦

داده‌های جدول ۳ نشان می‌دهد که اکتیویته پتاسیم روستای ده‌سیاهان با مقدار۰/۹۲٦ Bq/kg، اکتیویته ^{232}Th روستای مانی با مقدار ۲/۵۳۱ Bq/kg و اکتیویته ^{238}U روستای مانی با مقدار ۰/۷۱۵ Bq/kg و اکتیویته ^{137}Cs روستای مانی با مقدار ۰/۱۲۰ Bq/kg بیش‌تر از روستاهای دیگر است. کمیت‌های مربوط به مخاطرات تابشی نیز با توجه به معادلات و داده‌های جدول ۲ محاسبه و نتایج آن در جدول ٤ آورده شده است. در جدول ٤ کمیت‌های R_{eq}، D_r، D_{out}، D_{in}، D_{tot}، H_{ex}، H_{in}، Iy، ELCR مربوط به روستاهای مانی، خنامان و ده‌سیاهان می‌باشند. داده‌های جدول ٤ نشان می‌دهد که در روستای مانی مقدار

R_{eq} (٤/٦۹Bq/kg),
D_r (۲/۱۹mGy/h^{-1}),
D_{in} (۱۵/۰٤nGyh^{-1}),
D_{out}(nGyh^{-1}),
H_{ex}(۱۲/٦٦),
D_{tot}(۱۷/۷۳nGyh^{-1}),
H_{in}(۱٤/٦۰),
Iy(۳۲/٦۸),
و ELCR(۵/٤٤E-٤) بیش‌تر از روستاهای ده‌سیاهان و مانی است.

جدول(٤): نتایج مربوط به کمیت‌های خطرات تابشی.

Type	Radium equivalent Activity Ra_{eq} (Bq/kg)	Absorbed dose Rate in air Dr (mGy.h^{-1})	Annual effective dose equivalent(out) D_{out}(nGyh^{-1})	Annual effective dose equivalent (in) D_{in}(nGyh^{-1})	Total D_{tot}(nGyh^{-1})	External radiation hazard indices H_{ex}	internal radiation hazard indices H_{in}	Radioactivity level index Iγ	Excess lifetime cancer risk ELCR
mani	٤٦۸۹/۵۹۸	۲/۱۹	۲/٦۹	۱۵/۰٤	۱۷/۷۳	۱۲.٦٦	۱٤/٦۰	۳۲/٦۸	۵/٤٤E-٤
khanaman	۳۵۵/۱٤۳	۰/۲۰	۰/۲۵	۱/۳۸	۱/٦۳	۰/۹٦	۱/۰٦	۲/۵۲	۵/۰۰E-۰۵
dehsiahan	۲۷۸۰/۱۳۲	۱/۳۲	۱/٦۲	۹/۰۵	۱۰/٦۷	۷/۵۱	۸/۳۳	۱۹/٤٦	۳/۲۷E-٤

٤ بحث و نتیجه‌گیری

همان‌طور که از جدول ۱ دیده می‌شود، دامنه فعالیت اندازه‌گیری شده ^{238}U از حدود ۲۹۵ تا ٦۰۹ Bq/kg متفاوت است. حداقل مقدار غلظت فعالیت رادیونوکلئید ^{238}U در سنگ گرانیت از روستای ده‌سیاهان گزارش می‌شود. در حالی که حداقل مقدار غلظت در سنگ گرانیت مربوط به روستای خنامان اندازه‌گیری شد. این تفاوت قابل ملاحظه‌ای مربوط به ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌ها می‌باشد.حدود فعالیت اندازه‌گیری شده از ^{232}Th از ۲۲/٦۰ تا ٤٦/۵۰ Bq/kg به‌طور متوسط می‌باشد. تفاوت‌های گزارش شده نیز مربوط به ترکیب ژئوشیمیایی سنگ‌هاست.نتایج نشان می‌دهد که غلظت فعالیت ^{232}Th بالاتر از ^{238}U در تمام روستاهاست. سطح فعالیت ^{232}Th درسنگ گرانیت روستای مانی۳/۵٤ برابر بیش‌تر از ^{238}U در سنگ گرانیت روستای مانی است. سطح فعالیت ^{232}Th درسنگ گرانیت روستای خنامان ۰/۰۲ برابر بیش‌تر از ^{238}U است. سطح

فعالیت ^{232}Th درسنگ گرانیت روستای ده‌سیاهان ۵/۵۱ برابر بیش‌تر از ^{238}U است. مقادیر فعالیت ^{232}Th روستاهای مانی،خنامان و ده‌سیاهان بالاتر از میزان گزارش شده رادیواکتیو بین‌المللی ^{232}Th ۳۰ Bq/kg می‌باشد. با توجه به جدول ٤ مقادیر R_{eq} برای سنگ‌های گرانیت این سه روستا Bq/kg ۳۵۵.۱٤۳ و ۵۸۹.۵۹۸ و۲۷۸۰.۱۳۲ می‌باشد. روستاهای ده‌سیاهان و مانی مقادیر R_{eq} بالاتر از حد مجاز بین‌المللی که برابراست با Bq/kg ۳۷۰ می‌باشد. مقادیر محاسبه شده H_{ex} این سه روستا از ۱۲/٦٦ ،۰/۹٦ و ۷/۵۱ متغیر بود که بیش‌تر از حد مجاز است. مقادیر محاسبه شده H_{in} این سه روستا از ۱٤/٦۰، ۱/۰٦ و ۸/۳۳ متغیر بود که بیش‌تر از حد مجاز است. مقادیر به‌دست آمده بیش‌تر از ۱ است که برای مصالح ساختمانی توصیه نمی‌شود. مقادیر محاسبه شده I_γ از ۳۲/٦۸ ،۲/۵۲ و ۱۹/٤٦ است. در سنگ‌های گرانیت این سه روستا، مقادیر محاسبه شده I_γ بیش‌تر از ۱ بود و به دز مؤثر سالانه بیش‌تر از mSv ۰/۳ در سال [۲۸] بود. غلظت فعالیت رادیونوکلئید مصنوعی ^{137}Cs برای سنگ‌های گرانیت جمع‌آوری شده به‌منظور ارزیابی مقدار رادیونوکلئید در این مکآن‌ها اندازه‌گیری شد که جدول ۳ داده شده است. مقادیر غلظت فعالیت به‌دست آمده از ^{137}Cs در نمونه‌های سنگ‌های گرانیت این سه روستا جمع‌آوری شده از۱۲۰ ،۵۰ و Bq/kg ۲٦ یافت شد. حداقل مقدار غلظت فعالیت ^{137}Cs برای نمونه سنگ‌های گرانیت جمع‌آوری شده از روستاهای مانی،خنامان و ده‌سیاهان به‌دست آمد، در حالی که حداکثر مقدار در مربوط به روستای مانی اندازه‌گیری شد. بنابراین تأثیر رادیونوکلئید ^{137}Cs و قرار گرفتن در معرض تابش خارجی اضافی قابل توجه است. میانگین دز جذب شده در هوا و مقدار متوسط اندازه‌گیری شده شاخص سطح نماینده اندازه‌گیری شده بیش‌تر از سطح بین‌المللی توصیه شده ۵۵ نانوگری در ساعت است [۳۰،۲۹]. مقادیر اندازه‌گیری شده D_γ این سه روستا $nGy\ h^{-1}$ ۰/۲۰ ،۲/۱۹ و ۱/٦۲ است. مشخص شد تابش زمینه‌ای در هر سه روستا بالاتر از میانگین جهانی توصیه شده $55\ nGy\ h^{-1}$ است. بنابراین این روستاها برای سکونت انسان مناسب نیستند. مقادیر محاسبه شده برای میانگین‌های D_{out} وبه‌ترتیب $nGyh^{-1}$ ۰/۲۵، ۲/٦۹ و ۱/۳۲، D_{in} به‌ترتیب $nGy\ h^{-1}$ ۱۵/۰٤، ۱/۳۸ و ۹/۰۵ و D_{tot} به‌ترتیب $nGy\ h^{-1}$ ۱۷/۷۳، ۱/٦۳ و ۱۰/٦۷ در روستای مانی، خنامان و ده‌سیاهان است. در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده جهانی، این مقادیر بیش‌تر از مقادیر تعیین شده جهانی ۰/۰۸، ۰/٤۲ و ۰/۵۰ نانوگری بر ساعت بود [۲۹]. بنابراین سه روستا را نمی‌توان بدون خطر طبقه‌بندی کرد [۳۱]. بر این اساس، از این مکآن‌ها می‌توان به‌عنوان زمین‌های کشاورزی استفاده کرد. مقادیر محاسبه شده خطر ابتلا به سرطان در طول عمر اضافی (ELCR) برای همه نمونه‌ها در جدول ٤ ارائه شـده است. همان‌طور که از جدول ٤ دیده می‌شود، دامنه تمام مقادیر ELCR ۵-E۵.۰۰, ٤-E۵.٤٤و ٤-E۳.۲۷ است. مقدار میانگین محـاسبه شده ELCR برای همـه نمـونه‌ها از میانگین جهانی ۰/۲۹ بالاتر است. بنابراین احتمـال ایجـاد موارد سرطـانی در میان افـراد قابل چشم‌پوشی نیست. غلظت فعالیت متـوسط اندازه‌گیـری شـده برای ^{238}U، ^{232}Th، ^{40}K و ^{137}Cs در جدول ۳ نشان داده شـده است. فعالیت‌های اورانیـوم ۲۳۸، تـوریوم ۲۳۲ و پتـاسیم ٤۰ بیش از حد مجاز $Bqkg^{-1}$ ۳۵، ۳۰و ٤۰۰ است. از سوی دیگر، غلظت متوسط فعالیت ^{232}Th بالاتر از میانگین جهان مربوط به Bq kg^{-1} ۳۰ است. میانگین در سال بیش‌تر از mSv ۰/۵ در سال دز توصیه شده برای کنترل تابش عمومی است [۲۹]. تأثیـر ^{137}Cs و قرار گرفتن در معـرض تابش خارجی اضافی نسبت به جمعیت قابل توجه است. میزان تابش ^{137}Cs سنگ‌های گرانیت این سه روستا بالاتر از تابش طبیعی است. بنابراین به‌علت اکتیویته بالای توریوم (^{232}Th(۳۰Bq/kg روستاهای مانی، خنـامان و ده‌سیاهان برای کاهش آلودگی رادیـواکتیو با توجه به مقررات حفاظت از محیط زیست و حفظ سطح فعالیت تحت نظر باشند.

۵.مراجع

1. N. Ahmad, M. S. Jaafar, M. Bakhash, M. Rahim. An overview on measurements of natural
2. A. Papadopoulos , G. Christofides, A. Koroneos, L. Papadopoulou, C. Papastefanou, S. Stoulos. Natural radioactivity and radiation index of the major plutonic bodies in Greece. *J. Environ. Radioact*. 124 (2013) 227-238.
3. Ministry of Energy, British Columbia, Common Rock Types, 2014.
4. T. Santawamaitre, D. Malain, H. A. Al-Sulaiti, M. Matthews, D. A. Bradley, P. H. Regan. Study of natural radioactivity in riverbank soils along the Chao Phraya river basin in Thailand. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.* 652 (1) (2011) 920-924.
5. A. Abbady, N. K. Ahmed, A. M. El-arabi, R. Michel, A. H. El-kamel, A. G. E. Abbady. Estimation of radiation hazard indices from natural radioactivity some rocks. Nucl. Sci. Techniques 17 (2) (2006) 118–122.
6. A. M. El-Arabi, N. K. Ahmed, A. H. El-Kamel. Gamma spectroscopic analysis of powdered granite samples in some Eastern desert's areas. *Arab J. Nucl. Sci. Appl.* 34 (2001) 245-255.
7. A. I. Abd El-mageed, A. H. El-Kamel, A. Abbady, S. Harb, A. M. M. Youssef, I. I. Saleh. Assessment of natural and anthropogenic radioactivity levels in rocks and soils in the environments of Juban town in Yemen. *Radiat. Phys. Chem.* 80 (6) (2011) 710-715.
8. C. Papastefanou. Measurement Of Naturally Occurring Radionuclides With Several Detectors: Advantages And Disadvantages. In: Aycik, G.A. (eds) New Techniques for the Detection of Nuclear and Radioactive Agents. NATO Science for Peace and Security Series B: Physics and Biophysics. Springer, Dordrecht, 2009.
9. K. Dabayneh, L. Mashal, F. Hasan. Radioactivity concentration in soil samples in the southern part of the West Bank, Palestine. *Radiat. Prot. Dos*. 131 (2008) 265-271.
10. K. Thabayneh, M. Jazzar. Natural radioactivity levels and estimation of radiation exposure in environmental soil samples from Tulkarem Province –Palestine. *Open J. Soil Sci*. 2 (2012) 7-16.
11. E. Faweya, A. Babalola. Radiological safety assessment and occurrence of heavy metals in soil from designated waste dumpsites used for building and composting in Southwestern Nigeria. *Arab J. Sci. Eng.* 35 (2010) 220.
12. W. E. Meyerhof. *Elements of Nuclear Physics*. McGraw-Hill, New York,1967.
radioactivity in Malaysia. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 8 (2015) 136-141.
13. N. Huy, T. Luyen. Study on external exposure doses from terrestrial radioactivity in Southern Vietnam. *Radiat. Prot. Dos*. 118 (2005) 331–336.
14. H. Abdel-Ghany. Natural activities of 238 U, 232 Th and 40 K in manganese ore. *Am. Env. Sci*. 6 (2010) 90-94.
15. W. Alharbi, J. AlZahrani, A. Abbady. Assessment of radiation hazard indices from granite rocks of the South-Eastern Arabian Shield. Kingdom of Saudi Arabia. Austr. J. Basic Appl. Sci. 5 (2011) 672-682.
16. A. El-Shershaby, S. El-Bahi, N. Walley El-Din, K. Dabayneh. Assessment of natural and man-made radioactivity levels of the plant leaves samples as bio-indicators of pollution in Hebron district-Palestine. *Arab J. Nucl. Sci. Appl*. 39 (2006) 232-242.
17. I. Fatima, J. Zaidi, M. Arif, M. Daud, S. Ahmad, S. Tahir. Measurement of natural radioactivity and dose rate assessment of terrestrial gamma radiation in the soil of southern Punjab, Pakistan. *Radiat. Prot. Dosim* 128 (2008) 206–212.
18. UNSCEAR. Report to the General Assembly. New York, NY, USA: UNSCEAR, 1993.
19. R. Veiga, N. Sanches, R. M. Anjos, K. Macario, J. Bastos, M. Iguatemy, J. G. Aguiar, A. M. Santos, B. Mosquera, C. Carvalho, M. Baptista Filho, N.K. Umisedo. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Rad. Meas.* 41 (2006) 189-196.
20. I. Shams, U. Mohamed, E. Reda. Gamma radioactivity measurements in Nile River sediment samples. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* 37 (2013) 109-122.
21. N. Huy, T. Luyen. Study on external exposure doses from terrestrial radioactivity in Southern Vietnam. *Radiat. Prot. Dos.* 118 (2005) 331-336.
22. A. Mahur, R. Kumar, M. Mishra, S. Ali, R. Sonkawade, B. Singh, V. Bhardwaj, R. Prasad. Study of radon exhalation rate and natural radioactivity in soil samples collected from east Singhbhum Shear zone in Jaduguda U-Mines Area, Jharkhand, India and its radiological implications. *Ind. J. Pure Appl. Phys.* 48 (2010) 486-492.
23. J. Beretka, P. Mathew. Natural radioactivity in Australian building materials, industrial waste and by-products. *Health Phys*. 1 (1985) 87-95.
24. UNSCEAR. Report to the General Assembly. New York, NY, USA: UNSCEAR, 2000.

25. F. Al-Saleh, B. Al-Berzan. Measurements of natural radioactivity in some kinds of marble and granite used in Riyadh Region. *J. Nucl. Rad. Phys*. 2 (2007) 25-36.
26. V. Ramasamy, G. Suresh, V. Meenakshisundaram, V. Gajendran. Evaluation of natural radionuclide content in river sediments and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity. *Res. J. Env. Earth Sci.* 1 (2009) 6-10.
27. H. Taskin, M. Karavus, P. Ay, A. Topuzoglu, S. Hindiroglu, G. Karahan. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to the gamma radioactivity in Kirklareli, *Turkey. J. Env. Radiat.* 100 (2009) 49-53.
28. K. Thabayneh, M. Jazzar. Natural radioactivity levels and estimation of radiation exposure in environmental soilsamples from Tulkarem Province Palestine. *Open J. Soil Sci*. 2 (2012) 7-16.
29. UNSCEAR. Report to the General Assembly. NewYork, NY, USA: UNSCEAR, 2000.
30. UNSCEAR. Report to the General Assembly. NewYork, NY, USA: UNSCEAR, 1993.
31. European Commission, Directorate-General for Environment, Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials, Publications Office, 2000.