

Determination of Specific Activities of Radionuclides in Soil and Their Transfer Factor from Soil to Bean and Calculation of Cancer Risk for Bean Consumption in Iran

Reza Pourimani^{1*}, Fariba Asadpour²

1- Assistant Professor, Department of Physics, Arak University, Arak, Iran.

2- MSc, Department of Physics, Arak University, Arak, Iran.

Received: 20 Dec 2015, Accepted: 16 Feb 2016

Abstract

Background: Nuclear radiation emission by radionuclides causes the diseases, such as cancer or genetic anomalies. Therefore, the study of radioactivity in soil and food as well as calculating the risk of cancer seems essential for foods consumption.

Materials and Methods: In this research, nine different varieties of beans containing the grain of beans, areal part and their soil cultivated were collected. The specific activity of ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K and ¹³⁷Cs was determined for each sample employing gamma ray spectrometry method using high purity germanium detector with 30% relative efficiency.

Results: The absorbed dose rate in the air in one meter above the ground surface varied from 77.23 to 112.78 in nGy/h. The annual effective dose rate absorbed by adult person from the beans consumption in Iran is in the range of 122.14 to 905.86 in μSv/y. The cancer risk for the different varieties of beans varied from of 1.87×10^{-5} to 1.59×10^{-4} which is less than acceptable value as 10^{-3} .

Conclusion: The specific activities of radionuclides in soils samples are more than average of world wide range. The absorbed dose rate from bean consumption for the most of Varieties is more than of world average. Cancer risk resulted from bean consumption is less than acceptable value and consumption of bean has no risk for population health.

Keywords: ²²⁶Ra, ²³²Th, ⁴⁰K, ¹³⁷Cs, Radionuclides, Cancer risk

*Corresponding Author:

Address: Department of Physics, Arak University, Arak, Iran.

Email: r-pourimani@araku.ac.ir

تعیین ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در خاک و ضریب انتقال آن‌ها از خاک به لوبیا و محاسبه ریسک ابتلا به سرطان در اثر مصرف لوبیا در ایران

رضا پورایمانی^{۱*}، فریبا اسدپور^۲

۱- استادیار، گروه فیزیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

۲- کارشناسی ارشد، گروه فیزیک، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۲۸

چکیده

زمینه و هدف: عناصر پرتوزا با گسیل تابش‌های هسته‌ای باعث بروز بیماری‌هایی نظیر سرطان یا ناهنجاری‌های ژنتیکی می‌گردند. بنابراین مطالعه پرتوزایی خاک و مواد غذایی و همچنین محاسبه ریسک بروز سرطان برای مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، ۹ رقم مختلف لوبیا شامل دانه‌های لوبیا، قسمت‌های هوایی آن و خاک زراعی آن‌ها جمع‌آوری شدند. با استفاده از روش طیف سنجی گاما و آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی با بازدهی نسبی ۳۰ درصد، ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا ^{137}Cs و ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{226}Ra در خاک و دانه‌ی لوبیا و قسمت‌های هوایی آن تعیین گردید.

یافته‌ها: مقدار آهنگ دوز جذبی در هوا در ارتفاع یک متری از سطح خاک در محدوده ۷۷/۲۳ تا ۱۱۲/۷۸ بر حسب نانوگری بر ساعت محاسبه گردید. مقدار دوز موثر جذبی سالیانه ناشی از مصرف لوبیا در کشور برای هر فرد بالغ در محدوده ۱۲۲/۱۴ تا ۹۰۵/۸۶ برحسب میکروسیورت در سال به دست آمد. ضریب ریسک ابتلا به سرطان برای ارقام مختلف لوبیا در محدوده $۱۰^{-۵}$ تا $۱/۵۹ \times ۱۰^{-۴}$ تغییر نشان داد که کمتر از حد اکثر مقدار مجاز یعنی $۱۰^{-۳}$ است.

نتیجه‌گیری: ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های خاک بیشتر از میانگین جهانی می‌باشد. مقدار دوز جذبی ناشی از مصرف لوبیا برای بیشتر ارقام آن از مقدار متوسط جهانی بیشتر است. ضریب ریسک ابتلا به سرطان ناشی از مصرف لوبیا کمتر از حداکثر مقدار مجاز می‌باشد و مصرف لوبیا خطری برای سلامتی افراد ندارد.

واژگان کلیدی: ^{137}Cs ، ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{226}Ra ، هسته‌های پرتوزا، ریسک سرطان

* نویسنده مسئول: ایران، اراک، دانشگاه اراک، گروه فیزیک

Email: r-pourimani@araku.ac.ir

مقدمه

بشر همواره در معرض تابش های یونساز حاصل از چشمه های طبیعی مانند عناصر پرتوزای موجود در آب آشامیدنی، خاک و گیاهان و یا پرتوهای کیهانی می باشد. امروزه به دلیل فرآیندهای بشری، عناصر پرتوزای مصنوعی ساخت بشر نیز به چشمه های پرتوزای طبیعی اضافه شده است. دوز دریافتی ناشی از تابش های هسته ای طبیعی حدود چهار برابر بیشتر از مجموع دوزهای جذبی ناشی از چشمه های مصنوعی است (۱). این مطلب نشان دهنده اهمیت پرتوزایی طبیعی است که بیشتر به واپاشی پتاسیم و سری های واپاشان ^{238}U (اورانیوم ۲۳۸)، ^{235}U (اورانیوم ۲۳۵) و ^{232}Th (توریوم ۲۳۲) مربوط می باشد. میانگین غلظت پتاسیم، اورانیوم و توریوم در پوسته زمین به ترتیب ۲۷ گرم، $۲/۷$ میلی گرم و $۹/۶$ میلی گرم بر کیلوگرم در خاک است. مقدار پتاسیم در آب اقیانوس ها ۳۸۰ میلی گرم بر لیتر و در گیاهان و جانوران نیز قابل توجه است. برای مثال میانگین غلظت آن در بدن انسان $۱/۷$ گرم بر کیلوگرم می باشد (۲).

عناصری مانند کربن، هیدروژن، اکسیژن، نیتروژن، روی، فسفر، گوگرد، پتاسیم، کلسیم، آهن، منگنز، مس و کلر از جمله مواد لازم برای رشد و نمو گیاهان هستند که در خاک وجود دارند، علاوه بر این، تعدادی از عناصر پرتوزای طبیعی مثل توریوم، اورانیوم ۲۳۵ و اورانیوم ۲۳۸ و دختران شان، پتاسیم و بریلیوم و عناصر پرتوزای مصنوعی مانند سزیم و استرانسیم هم در خاک هستند و با این که برای متابولیسم گیاه ضروری نیستند ولی از خاک به گیاه منتقل می شوند (۳). جذب و توزیع عناصر پرتوزا در گیاهان به چندین عامل بستگی دارد که از جمله آن ها می توان به PH خاک، نوع خاک، میزان کلسیم و پتاسیم خاک، خواص شیمیایی و فیزیکی هسته های پرتوزا، نوع و گونه محصول، وضعیت کود دهی، آبیاری، شخم زدن، میزان آهک و شرایط اقلیمی اشاره کرد (۳).

هسته های پرتوزا بعد از جذب توسط ریشه همراه سایر مواد معدنی از طریق آوندها به سمت دیگر اعضای

گیاه می روند و در قسمت های مختلف گیاه ذخیره می شوند. استفاده مستقیم از گیاه و یا محصولات دامی باعث می گردد تا عناصر پرتوزا از طریق زنجیره ی غذایی به بدن انسان منتقل گردند (۴). تمامی سلول هایی که در معرض تابش اشعه قرار می گیرند آسیب نمی بینند، ولی در بعضی از آن ها ممکن است کروموزوم ها شکسته شده و یا آسیب های جدی به هسته سلول وارد شود و منجر به بروز سلول های سرطانی شوند (۵). با توجه به گسترش و شیوع سرطان، مطالعه ی پرتوزایی طبیعی و تعیین مقادیر آن ها در خاک و انتقال آن به گیاه و مواد خوراکی ضروری به نظر می رسد (۵، ۶). در این تحقیق، ویژه فعالیت هسته های پرتوزای موجود در خاک زراعی، قسمت های هوایی و دانه لوبیا با استفاده از روش بیناب نگاری گاما تعیین گردید و ضریب انتقال مواد پرتوزا از خاک به ارقام مختلف لوبیا، دوز جذبی ناشی از مصرف لوبیا و احتمال ریسک ابتلا به سرطان برای ارقام مختلف محاسبه شده است.

مواد و روش ها

به منظور اندازه گیری و بررسی انتقال مواد پرتوزا از خاک به گیاه لوبیا، هشت رقم مختلف لوبیا از مرکز تحقیقات کشاورزی اراک و یک نمونه از مزرعه ای واقع در روستای شهباز شهرستان سرپند واقع در استان مرکزی جمع آوری شد. مرکز تحقیقات کشاورزی اراک به ترتیب در عرض و طول جغرافیایی $۴۹^{\circ} E$ و $۵۸^{\circ} ۶' N$ قرار گرفته است که موقعیت آن نسبت به شهر اراک در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از جمع آوری لوبیا به صورت بوته، خاک همراه همان بوته ها از عمق پنج تا سی سانتی متری برداشته و در دمای اتاق خشک گردید. بعد از خشک کردن و جداسازی لوبیا از غلاف، نمونه های گیاهی از طریق آسیاب برقی مرکز تحقیقات کشاورزی و نمونه های خاکی از طریق آسیاب گلوله ای موجود در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اراک کاملاً آسیاب و سپس طبق جدول ۱ کد گذاری شدند.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مرکز تحقیقات کشاورزی استان مرکزی (+)

جدول ۱. نام ارقام مختلف لوبیا و کد گذاری نمونه‌ها برای طیف نگاری

نوع لوبیا	نام گونه رقم لوبیا	نام علمی رقم لوبیا	کد دانه لوبیا	کد قسمت هوایی لوبیا شامل ساقه و برگ	کد خاک زراعی مورد استفاده در کشت لوبیا
لوبیای سفید	شکופا	<i>Navy bean</i>	B1	A1	S1
لوبیای قرمز	گلی	<i>kidney bean</i>	B2	A2	S2
لوبیای قرمز	اختر	<i>kidney bean</i>	B3	A3	S3
لوبیای سفید	درخشان	<i>Navy bean</i>	B4	A4	S4
لوبیای قرمز	n-n	<i>kidney bean</i>	B5	A5	S5
لوبیای قرمز	درسا	<i>kidney bean</i>	B6	A6	S6
لوبیای چیتی	صدری	<i>pinto bean</i>	B7	A7	S7
لوبیای قرمز	۱۶۹	<i>kidney bean</i>	B8	A8	S8
لوبیای چیتی	درختی	<i>pinto bean</i>	B9	A9	S9

شدند و حداقل به مدت ۵۰ روز جهت برقراری تعادل بین هسته مادر ^{226}Ra و هسته دختر ^{222}Rn نگهداری شدند (۷). طیف‌گیری از نمونه‌ها با استفاده از آشکارساز فوق خالص ژرمانیومی از نوع هم‌محور نوع p مدل $30195\ GCD\ BSI$ با قدرت تفکیک انرژی ۱/۹۵ کیلو الکترون ولت برای خط گامای کبالت ۶۰ با انرژی ۱۳۳۲/۵۲ کیلو الکترون ولت و بازدهی نسبی ۳۰ درصد و ولتاژ کاری ۳۰۰۰ ولت انجام گرفت. طیف‌ها با استفاده از نرم‌افزار $Lsrmbsi$ محصول شرکت $Baltic\ Science\ Instrument$ جمع‌آوری شد. برای کاهش تابش‌های زمینه، آشکارساز و ظرف‌های نمونه در یک حفاظ شامل یک لایه حفاظ سربی به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و یک لایه مسی به ضخامت ۲ میلی‌متر قرار گرفتند. اجزای پرتوهای نرم کیهانی شامل الکترون‌ها و

به منظور ایجاد نمونه یکنواخت، نمونه‌های پودر شده از مش شماره ۵۰ عبور داده شدند تا نمونه به دست آمده کاملاً ریزدانه و یکنواخت شده و از نظر پیکربندی شبیه نمونه استاندارد کالیبراسیون بازدهی گردد و نیازی به اعمال تصحیحات ضریب جذب در نمونه نباشد. نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در کوره‌ای با دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند تا وجود هرگونه رطوبت احتمالی حذف و تغییر وزن آن‌ها در طول فرآیند اندازه‌گیری به حداقل برسد. مقدار ۳۳۰ گرم از نمونه‌های لوبیا و ۳۳۰ گرم غلاف و ساقه(قسمت‌های هوایی) و ۹۵۰ گرم از نمونه‌های خاک آماده شده در ظروف استاندارد مارینلی بیکر بسته‌بندی گردیدند. به منظور جلوگیری از خروج گاز رادون حاصل از واپاشی زنجیره اورانیوم و توریم نمونه‌ها آب‌بندی

فوتون های کم انرژی به وسیله حفاظ سربی به ضخامت ۱۰۰ میلی متر به سطح بسیار پایینی کاهش می یابند. وجود لایه مسی باعث توقف اشعه $X(73/9keV)$ گسیل شده از سرب می گردد که در اثر فعل و انفعالات و تأثیرات متقابل آن با تابش خارجی تولید می شود (۸). به منظور کاهش اثر پراکندگی تابش از حفاظ، آشکارساز در مرکز حفاظ و نمونه بر روی آشکارساز قرار داده شد. ظرف استاندارد مارینلی بیکر به صورت کلاهک بر روی کریستال آشکارساز قرار می گیرد. از هر کدام از نمونه ها به مدت ۸۶۴۰۰ ثانیه طیف گیری به عمل آمد. به منظور انجام تصحیح مربوط به تابش های زمینه طیف گامای ظرف خالی مارینلی در شرایط و مدت زمان یکسان ثبت و از طیف نمونه ها کسر گردید.

$$Act = \frac{Net\ Area}{\epsilon \cdot BR(\%) \cdot t \cdot m} \times 100 \quad (2)$$

طیف های به دست آمده به کمک نرم افزار *Gamma Vision* نسخه ۳۲ محصول شرکت *EG&G Ortec* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و فعالیت ویژه هر یک از هسته های پرتوزا موجود در نمونه ها محاسبه شد. مقیاس بندی انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از چشمه استاندارد حاوی ویژه هسته های پرتوزای ^{241}Am ، ^{137}Cs و ^{152}Eu با فعالیت مشخص انجام گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاد از طیف اشعه گامای ثبت شده از رابطه ۱ محاسبه شده است.

طیف های به دست آمده به کمک نرم افزار *Gamma Vision* نسخه ۳۲ محصول شرکت *EG&G Ortec* مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و فعالیت ویژه هر یک از هسته های پرتوزا موجود در نمونه ها محاسبه شد. مقیاس بندی انرژی و بازدهی سیستم با استفاده از چشمه استاندارد حاوی ویژه هسته های پرتوزای ^{241}Am ، ^{137}Cs و ^{152}Eu با فعالیت مشخص انجام گردید. بازدهی مطلق آشکارساز با استفاد از طیف اشعه گامای ثبت شده از رابطه ۱ محاسبه شده است.

$$\epsilon(\%) = \frac{N_i}{Act \cdot P_n(E_i) \cdot t} \cdot 100 \quad (1)$$

که در آن A_{Ra} ، A_{Th} و A_K به ترتیب ویژه فعالیت ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K بر حسب بکرل بر کیلوگرم هستند. حداکثر مقدار مجاز Ra_{eq} برای خاک و سنگ برابر ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم می باشد (۱۱).

در این رابطه ϵ بازدهی آشکارساز انرژی گامای مربوطه، N_i شمارش خالص زیر پیک تمام انرژی متناظر با انرژی E_i ، فعالیت نمونه بر حسب Bq ، $P_n(E_i)$ نشان دهنده احتمال انتشار فوتون با انرژی E_i و t زمان طیف گیری از نمونه بر حسب ثانیه است (۹).

برای تعیین فعالیت ویژه ^{226}Ra در نمونه ها از پرتو گاما با انرژی $351/93 keV$ برای خط گامای ^{214}Pb و انرژی $609/31 keV$ برای خط گامای ^{214}Bi استفاده شده است. فعالیت ویژه ^{232}Th از خط گامای ^{228}Ac با انرژی

$$D(nGy/h) = 0.462A_{Ra} + 0.604A_{Th} + 0.0417A_K \quad (4)$$

مصرف ماده غذایی است که مقدار آن برای پتاسیم، توریم و رادیوم به ترتیب $5/89 \times 10^{-10}$ و $2/45 \times 10^{-9}$ و $9/56 \times 10^{-9}$ است (۱۶).

یافته‌ها

برای تمامی نمونه‌ها طیف‌های گاما با استفاده از نرم افزار *lsrmbasi* ثبت گردید. به عنوان نمونه، شکل ۲ طیف مربوط به نمونه خاکی با کد *SI* را نشان می‌دهد. بر مبنای طیف‌های به دست آمده، ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در نمونه‌های خاک، لویا و قسمت‌های هوایی محاسبه گردید که نتایج آن در جداول ۲ و ۳ درج شده است. برای مقادیر کمتر از حداقل قابلیت تشخیص دستگاه مقدار *MDA* با علامت < در جداول نشان داده شده است. با توجه به محاسبات انجام شده، مقادیر ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای ^{137}Cs و ^{40}K ، ^{232}Th ، ^{226}Ra محدودده $51/94 \pm 0/80$ تا $39/60 \pm 0/79$ ، $73/41 \pm 1/16$ تا $50/9 \pm 0/98$ ، $1018/8 \pm 6/41$ تا $676/09 \pm 5/67$ و $7/5 \pm 0/21$ تا $5/65 \pm 0/21$ برحسب بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. در دانه‌ی لویا، ویژه فعالیت هسته‌های ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K به ترتیب در محدوده $1/65 <$ تا $14/47 \pm 1/08$ ، $2/97 <$ تا $14/31 \pm 2/10$ و $124/64 \pm 8/84$ تا $924/35 \pm 11/93$ برحسب بکرل بر کیلوگرم تغییر می‌کند. مقدار سزیم ^{137}Cs برای تمام نمونه‌ها کمتر از حداقل قابلیت تشخیص دستگاه است. در قسمت‌های هوایی، ویژه فعالیت هسته‌های مذکور به ترتیب در محدوده $0/67 <$ تا $14/10 \pm 0/91$ ، $4/02 <$ تا $19/97 \pm 1/80$ و $128/35 \pm 9/53$ تا $4/32 \pm 2/12$ از ^{137}Cs در مورد ^{137}Cs از $0/38 <$ تا $0/70$ و $817/22 \pm 10/70$ در مورد ^{137}Cs از $0/38 <$ تا $0/70$ بر حسب بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. مقادیر ضریب انتقال برای ^{40}K از خاک به دانه‌ی لویا و قسمت‌های هوایی در جدول ۴ درج شده است. این ضریب برای دانه لویا و قسمت هوایی به ترتیب در محدوده $0/13$ تا $0/91$ و $0/17$ تا $0/80$ تغییر می‌کند. به عنوان نمونه، طبق پژوهش‌های انجام شده در ایران و کشور مالزی، این ضریب برای برنج به ترتیب در محدوده $0/09$ تا $0/13$ و $0/52$ تا $1/21$ به دست

که در آن A_{Th} ، A_{Ra} و A_K به ترتیب ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزای رادیوم، توریم و پتاسیم بر حسب بکرل بر کیلوگرم می‌باشند. حداکثر مقدار این دوز در طول یک سال نباید از ۴۶۰ میکروسیورت بیشتر باشد (۱۳). ضریب انتقال مواد پرتوزا از خاک به گیاه (*TF*) طبق رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود (۱۴):

$$\frac{Bq}{kg} \text{ گیاه} / \frac{Bq}{kg} \text{ خاک}$$

$$TF = \frac{Bq}{kg} \text{ گیاه} / \frac{Bq}{kg} \text{ خاک} \quad (5)$$

که نشان می‌دهد مواد پرتوزای موجود در خاک به چه اندازه جذب گیاهان می‌شوند. این ضریب برای گیاهان و گونه‌های مختلف آن‌ها متفاوت است. دوز موثر سالیانه‌ی دریافتی برای هر فرد ناشی از مصرف یک ماده‌ی غذایی با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌گردد:

$$H = A_f \cdot F \cdot C_F \quad (6)$$

که در آن A_f فعالیت ویژه برحسب (بکرل بر کیلوگرم)، F آهنگ مصرف سالانه لویا ($3/5$ کیلوگرم بر سال برای ایرانیان) و C_F فاکتور تبدیل دوز مصرفی برحسب (سیورت بر بکرل) برای رادیونوکلئیدهای ^{226}Ra ، ^{232}Th و ^{40}K است که به ترتیب برابر با مقادیر $2/8 \times 10^{-7}$ ، $2/3 \times 10^{-9}$ و $6/2 \times 10^{-9}$ می‌باشد. متوسط دوز جهانی موثر ناشی از بلع ^{232}Th ، 120 میکروسیورت در سال و برای ^{232}Th میکروسیورت در سال گزارش شده است (۱۳).

تحقیقات نشان داده‌اند که تابش‌های یون ساز با انرژی بالا یکی از عوامل ایجاد سرطان می‌باشند (۱۵). برای ارزیابی ریسک بروز سرطان ناشی از مصرف مواد غذایی حاوی ویژه هسته‌های پرتوزا از رابطه ۷ استفاده می‌شود:

$$R_c \cdot A_l \cdot ELCR = A_{ing} \quad (7)$$

که در آن A_{ing} دریافت سالانه ویژه هسته‌های پرتوزا بر حسب بکرل و A_l میانگین طول عمر بر حسب سال و R_c ضریب ریسک ابتلا به سرطان بر حسب Bq^{-1} برای

سرطان برای دریافت هسته‌های پرتوزا در محدوده 10^{-4} و 10^{-5} برای ارقام مختلف تغییر می‌کند که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

آمده است (۶). بر این مبنا مقادیر دوز موثر سالیانه ناشی از مصرف لوبیا برای هر فرد بالغ (H) محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۵ درج شده است. ضریب ریسک ابتلا به

جدول ۲. ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا و کمیت Ra_{eq} در نمونه‌های خاک و آهنک دوز جذبی در هوا

کد نمونه	ویژه فعالیت بر حسب بکرل بر کیلوگرم				Ra_{eq} بر حسب بکرل	آهنک دوز جذبی بر حسب نانوگری بر ساعت
	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra		
S1	$45/87 \pm 0/82$	$982/12 \pm 5/98$	$71/85 \pm 1/14$	$224/23$	$112/78$	
S2	$48/20 \pm 0/77$	$937/55 \pm 7/50$	$70/76 \pm 1/16$	$221/57$	$104/10$	
S3	$51/94 \pm 0/80$	$973/93 \pm 7/10$	$68/64 \pm 1/36$	$225/08$	$109/76$	
S4	$47/52 \pm 1/23$	$905/00 \pm 6/20$	$69/65 \pm 1/16$	$216/80$	$101/76$	
S5	$47/87 \pm 0/94$	$1018/8 \pm 6/41$	$73/41 \pm 1/16$	$231/29$	$108/93$	
S6	$45/88 \pm 0/68$	$996/19 \pm 7/03$	$71/07 \pm 1/21$	$224/21$	$105/66$	
S7	$44/45 \pm 0/75$	$944/23 \pm 6/79$	$70/19 \pm 1/09$	$217/50$	$102/30$	
S8	$40/49 \pm 0/85$	$686/57 \pm 7/75$	$70/27 \pm 1/19$	$193/79$	$89/77$	
S9	$39/60 \pm 0/79$	$676/09 \pm 5/67$	$50/90 \pm 0/98$	$164/43$	$77/23$	

جدول ۳. مقدار ویژه فعالیت هسته‌های پرتوزا در قسمت‌های

جدول ۴. ضریب انتقال ویژه هسته‌های پرتوزا برای قسمت‌های

هوایی و دانه ارقام مختلف دانه لوبیا

کد نمونه	ضریب انتقال ویژه هسته‌های پرتوزا			
	^{137}Cs	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra
A1	-	$0/22$	-	$0/08$
A2	$0/11$	$0/21$	$0/10$	-
A3	$0/26$	$0/21$	$0/29$	$0/26$
A4	$0/74$	$0/31$	-	-
A5	$0/17$	$0/80$	$0/20$	$0/11$
A6	-	$0/19$	-	-
A7	-	$0/17$	-	-
A8	$0/13$	$0/27$	-	-
A9	-	$0/18$	$0/06$	-
B1	-	$0/83$	-	-
B2	-	$0/31$	-	-
B3	-	$0/85$	$0/12$	-
B4	-	$0/91$	-	$0/30$
B5	-	$0/90$	-	-
B6	-	$0/82$	-	-
B7	-	$0/13$	$0/20$	-
B8	-	$0/42$	-	-
B9	-	$0/18$	-	-

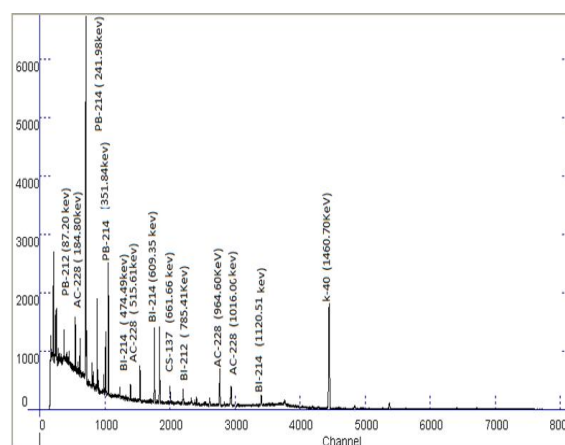
هوایی و دانه لوبیا بر حسب بکرل بر کیلوگرم

کد نمونه	^{137}Cs			
	^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra	
A1	$223/99 \pm 11/44$	$< 4/49$	$3/96 \pm 1/26$	$< 0/79$
A2	$201/14 \pm 9/58$	$7/72 \pm 1/22$	$< 1/87$	$0/67 \pm 0/21$
A3	$206/15 \pm 10/91$	$9/7 \pm 1/80$	$14/10 \pm 0/91$	$1/60 \pm 0/35$
A4	$282/73 \pm 11/82$	$< 1/44$	$< 0/67$	۱۹
A5	$817/22 \pm 10/70$	$156 \pm 1/77$	$5/34 \pm 0/93$	$1/23 \pm 0/22$
A6	$195/90 \pm 11/00$	$< 5/03$	$< 2/14$	۱۴
A7	$167/92 \pm 10/35$	$< 4/78$	$< 2/15$	$< 0/76$
A8	$188/59 \pm 10/52$	$< 4/02$	$< 1/93$	$< 0/38$
A9	$128/35 \pm 9/53$	$4/91 \pm 0/96$	$< 2/99$	$0/84 \pm 0/02$
B1	$822/29 \pm 8/22$	$< 4/63$	$< 2/23$	$< 0/67$
B2	$295/33 \pm 9/51$	$< 4/31$	$< 2/09$	----
B3	$836/42 \pm 10/69$	$8/52 \pm 1/69$	$< 2/16$	----
B4	$825/12 \pm 11/90$	$< 3/80$	$14/47 \pm 1/08$	----
B5	$924/35 \pm 11/93$	$4/35$	$< 1/65$	----
B6	$821/96 \pm 11/60$	$< 3/89$	$< 2/21$	----
B7	$132/05 \pm 10/02$	$14/31 \pm 2/10$	$< 2/14$	----
B8	$289/59 \pm 9/51$	$< 3/15$	$< 1/75$	----
B9	$124/64 \pm 8/84$	$< 2/97$	$< 2/06$	----

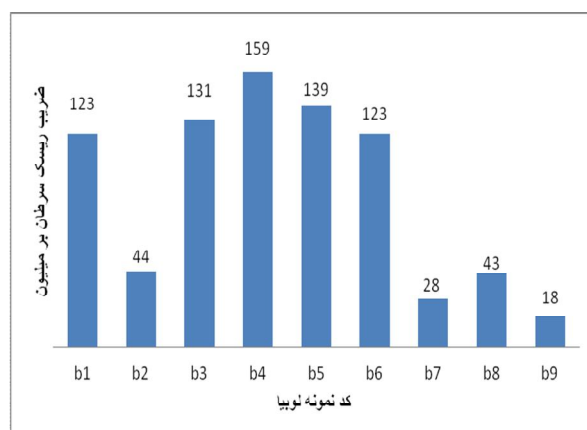
و $51/94 \pm 0/80$ بر حسب بکرل بر کیلوگرم مشاهده شد. در مورد توریم و پتاسیم کمترین و بیشترین میزان ویژه فعالیت به ترتیب $50/90 \pm 0/98$ و $50/90 \pm 0/98$ و $676/09 \pm 5/67$ در نمونه S9 و $1018/8 \pm 6/41$ و $73/41 \pm 1/16$ در نمونه S5 بر حسب بکرل بر کیلوگرم به دست آمد. در مورد سزیم، کمترین و بیشترین مقدار در نمونه های خاک S1 و S9 به ترتیب برابر $7/5 \pm 0/21$ و $5/59 \pm 0/21$ بر حسب بکرل بر کیلوگرم تعیین گردید. ویژه فعالیت رادیوم، توریم و پتاسیم در ایران به ترتیب ۸ تا ۵۵، ۵ تا ۴۲ و ۲۸۰ تا ۹۸۰ بر حسب بکرل بر کیلوگرم گزارش شده است (۱۷). مقدار متوسط جهانی برای ویژه هسته های مذکور بر حسب بکرل بر کیلوگرم به ترتیب ۳۵، ۴۰ و ۴۰۰ می باشد که مقادیر به دست آمده در این تحقیق بیش از مقدار متوسط جهانی است (۱۱). به نظر می رسد که دلیل این افزایش استفاده از کودهای شیمیایی است. در خاک نمونه S9 که از کود شیمیایی کمتر و از کود ارگانیک استفاده شده است این مقادیر کمتر می باشند. در کلیه نمونه های خاک مورد مطالعه سزیم پرتوزا یافت شد که نشان دهنده تأثیر آلودگی های حادثه ای چرنوبیل و یا تست سلاح های هسته ای بر این ناحیه می باشد (۱۸، ۱۹). از آن جایی که بارندگی های این منطقه از غرب به شرق کاهش می یابند و غبار پرتوزا به همراه جریانات جوی از سمت غرب به کشور وارد شده و همراه با ریزش باران در خاک های منطقه نشست پیدا کرده است، از این رو مقدار سزیم در خاک S9 بیشتر است (۲۰). سزیم دارای نیم عمر نسبتاً کوتاهی است، بنابراین مقادیر کم آن نیز باعث پرتوگیری انسان می شود، ولی خوشبختانه در دانه های خوراکی لوبیا سزیم یافت نشد، اما در چند نمونه از قسمت های هوایی سزیم مشاهده گردید. این مطلب آنجا اهمیت دارد که ساقه و برگ لوبیا در ایران به مصرف دام می رسد و امکان دارد که از طریق چرخه ای غذایی وارد بدن انسان شود. با توجه به داده های جدول ۱، میزان فعالیت ویژه هسته های پرتوزا به جز پتاسیم در اندام های هوایی بیشتر از دانه ای گیاه است که تحقیقات جهانی نیز بر این مطلب صحه می گذارد (۲۱).

جدول ۵. میانگین دوز موثر جذبی سالیانه ناشی از مصرف لوبیا برای هر فرد بالغ در ایران

کد نمونه	دوز موثر جذبی سالیانه به تفکیک ویژه هسته (میکروسیورت در سال)	دوز مجموع (میکروسیورت در سال)		
		^{40}K	^{232}Th	^{226}Ra
B ₁	---	۸۰۴/۸۵	---	---
B ₂	---	۲۸۹/۴۲	---	---
b ₃	---	۸۱۹/۶۹	۶/۸۵	---
b ₄	۰/۲۷	۸۰۸/۶۱	---	---
b ₅	---	۹۰۵/۸۶	---	---
b ₆	---	۸۰۵/۵۲	---	---
b ₇	---	۱۲۰/۴۰	۱۱/۵۶	---
b ₈	---	۲۸۳/۷۹	---	---
b ₉	---	۱۲۲/۱۴	---	---



شکل ۲. طیف جمع آوری شده توسط نرم افزار Lsrmbsi برای نمونه خاک مربوط به لوبیای شکوفا با کد S1



شکل ۳. نمودار ضریب ریسک سرطان برای ارقام مختلف لوبیا

بحث

کمترین و بیشترین ویژه فعالیت رادیوم به ترتیب در نمونه های خاک با کد S9 و S3 به مقدار $39/60 \pm 0/79$

نتیجه گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که پرتوزایی خاک زراعی به دلیل استفاده از کود شیمیایی بیشتر از میانگین جهانی است و استفاده از کودهای ارگانیک باعث کاهش مقدار مواد پرتوزا در لویا می‌گردد. مقدار دوز جذبی در اثر مصرف لویا برای بیشتر ارقام آن از مقدار متوسط جهانی بیشتر است. مقدار میانگین ضریب ریسک ابتلا به سرطان ناشی از مصرف لویا برای یک فرد بالغ ایرانی ۸۹۸ برابر کمتر از حداکثر مقدار مجاز به دست آمد و به طور کلی از این نظر مصرف لویا خطری برای سلامتی افراد ندارد.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد فیزیک هسته‌ای است و توسط بخش پژوهش دانشگاه اراک تامین مالی گردیده است. از این رو، نویسندگان از همکاری آقای مهندس دری ریاست محترم مرکز تحقیقات کشاورزی استان مرکزی صمیمانه تقدیر به عمل آورند.

منابع

1. Rasti- kerdar MH. Fundamentals of radiation protection. Iran: Eshahan University. 2005. p.56-7. [Persian]
2. Cember H. Introduction to health physics. Introduction to health physics. 2008.
3. Mheemeed AK, Najam LA, Hussein AK. Transfer factors of ^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th from soil to different types of local vegetables, radiation hazard indices and their annual doses. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2014; 302(1):87-96.
4. Dupré A, Boyer-Chatenet L, Sattler RM, Modi AP, Lee J-H, Nicolette ML, et al. A forward chemical genetic screen reveals an inhibitor of the Mre11-Rad50-Nbs1 complex. Nature chemical biology. 2008; 4(2):119-25.
5. Protection ICoR. ICRP Publication 60: 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: Elsevier Health Sciences; 1991.
6. Pourimani R, Anooosheh F. A Study on Transfer Factors of Environmental Radionuclides: Radionuclide Transfer from Soil

حداکثر مقدار مجاز برای Ra_{eq} در خاک و سنگ برابر ۳۷۰ بکرل بر کیلوگرم است که مقادیر به دست آمده در این تحقیق کمتر از آن می‌باشد (۱۱). نرخ دوز جذب شده در هوا در ارتفاع یک متری سطح زمین در محدوده ۷۷/۲۳ تا ۱۱۲/۷۸ بر حسب نانوگری بر ساعت تغییر می‌کند که بیشتر از مقدار متوسط جهانی (۵۹ نانوگری بر ساعت) است (۱۱، ۱۷). دلیل اصلی آن وجود مقدار زیاد پتاسیم در خاک است که برای بالا بردن مقدار برداشت محصول به صورت کود پتاس به خاک اضافه می‌شود. نتایج تحقیقات نشان داده است که استفاده از کودهای فسفاته در مراحل کشت باعث افزایش مقدار رادیوم و توریم در خاک می‌گردد (۲۲). میزان کوددهی بالای پتاسیم در دوره کشت لویا که در مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی و منطقه شهباز این مقادیر به ترتیب برابر ۱۰۰ کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم در هکتار بود باعث شده است تا این گیاه پتاسیم زیادی جذب کند. دوز موثر جذبی سالیانه ناشی از مصرف لویا برای هر انسان بالغ در محدوده ۱۲۲/۱۴ تا ۹۰۵/۸۶ بر حسب میکروسیورت در سال به دست آمد که در اکثر موارد از مقدار میانگین جهانی (۲۹۰ میکروسیورت در سال) بیشتر می‌باشد (۱۱). دو رقم $n.n$ و درخشان بیشترین میزان دوز موثر جذبی سالیانه را دارند که این نشان‌دهنده استعداد جذب مواد پرتوزا از خاک توسط این ارقام می‌باشد.

با داشتن مصرف سرانه لویا و عمر متوسط یک ایرانی می‌توان ضریب ریسک سرطان در اثر مصرف لویا را پیدا کرد. برای ارقام مختلف لویا این ضریب محاسبه و در شکل ۳ نشان داده شده است. دو رقم درخشان و درختی به ترتیب با $1/59 \times 10^{-4}$ و $1/87 \times 10^{-5}$ بیشترین و کمترین میزان را دارند. مقدار میانگین ضریب ریسک سرطان برای ارقام مختلف برابر $8/98 \times 10^{-5}$ به دست آمد که ۸۹۸ برابر کمتر از حداکثر میزان مجاز (10^{-3}) بود (۲۳). بنابراین ضریب ریسک سرطان در حد نرم جهانی می‌باشد و مصرف لویا خطری برای سلامتی مصرف کنندگان ندارد. استفاده از کود شیمیایی کمتر و کود ارگانیک بیشتر در بهبود شاخص‌های آن بسیار موثر است.

- to Different Varieties of Rice in Gorgan, Iran. Iranian Journal of Medical Physics. 2015; 12(3): 189-99.
7. Saeed M, Wahab N, Hossain I, Ahmed R, Abdullah H, Ramli A, et al. Measuring radioactivity level in various types of rice using hyper pure germanium (HPGe) detector. International Journal of Physical Sciences. 2011; 6(32):7335-40.
 8. Aziz A. Methods of low-level counting and spectrometry symposium. Berlin; 1981.
 9. Gilmore G, Hemingway J. Practical gamma-ray spectrometry, John Willey and Sons. Inc, Chichester, West Sussex, UK. 2008.
 10. Knoll GF. Radiation detection and measurement: John Wiley & Sons; 2010.
 11. Radiation UNSCotEoA. Exposures from natural sources of radiation. Sources, effects and risks of ionizing radiation 1988.
 12. Khandaker MU, Wahib NB, Amin YM, Bradley D. Committed effective dose from naturally occurring radionuclides in shellfish. Radiation Physics and Chemistry. 2013; 88:1-6.
 13. Khandaker M, Jojo P, Kassim H, Amin Y. Radiometric analysis of construction materials using HPGe gamma-ray spectrometry. Radiation protection dosimetry. 2012; 152 (1-3):33- 7.
 14. Chakraborty SR, Azim R, Rahman A, Sarker R. Radioactivity concentrations in soil and transfer factors of radionuclides from soil to grass and plants in the Chittagong city of Bangladesh. J Phys Sci. 2013; 24(1):95-113.
 15. Thompson DE, Mabuchi K, Ron E, Soda M, Tokunaga M, Ochikubo S, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part II: Solid tumors, 1958-1987. Radiation research. 1994; 137(2s):S17-S67.
 16. Taskin H, Karavus M, Ay P, Topuzoglu A, Hidiroglu S, Karahan G. Radionuclide concentrations in soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Kirklareli, Turkey. Journal of environmental radioactivity. 2009; 100(1):49-53.
 17. Ziqiang P, Binglin X. United nations scientific committee on the effects of atomic radiation (UNSCEAR) and its forty-ninth session. 2000.
 18. Dupre de Boulois, H, Joner EJ, Leyva C. Role and influence mycorrhizal fungi on radiocesium accumulation by plant, Journal of Environmental Radioactivity. 2008; 99: 785-800.
 19. Kalač P. A review of edible mushroom radioactivity. Food Chemistry. 2001; 75(1):29-35.
 20. Puorimani R, Shahraki MM. Influence of different soil's parameters on the penetration of ¹³⁷Cs. Iranian Journal of Physics Research. 2013; 13(3):213-7.
 21. International Atomic Energy Agency (IAEA). Quantification of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments for radiological assessments, IAEA-TECDOC-1360. 2009.
 22. Jankovic M, Nikolic J, Pantelic G, Rajacic M, Sarap N, Todorovic D. Radioactivity in Chemical Fertilizers. 2013.
 23. Patra A, Mohapatra S, Sahoo S, Lenka P, Dubey J, Tripathi R, et al. Age-dependent dose and health risk due to intake of uranium in drinking water from Jaduguda, India. Radiation protection dosimetry. 2013: ncs328.