



## میزان پرتوزایی $^{210}\text{Po}$ در توتون و سیگارهای مورد استفاده در ایران

بهناز قنبرمقدم\*<sup>۱</sup>، مسعود وهایی مقدم<sup>۱</sup>، علی اصغر فتحی‌وند<sup>۲</sup>

۱. دانشکده علوم، دانشگاه گیلان، صندوق پستی: ۳۴۸۹، رشت- ایران

۲. پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵، تهران- ایران

**چکیده:** پولونیم-۲۱۰ ( $^{210}\text{Po}$ ) یکی از اعضای زنجیره‌ی واپاشی اورانیم-۲۳۸ ( $^{238}\text{U}$ ) است که در پی فروپاشی گاز رادون ( $^{222}\text{Rn}$ ) موجود در اتمسفر، به همراه سایر دختران رادون از طریق نهشت اتمسفری و یا جذب ریشه‌ای به گیاهان مختلف از جمله توتون راه می‌یابد. در حین مصرف سیگار  $^{210}\text{Po}$  به همراه مادر- هسته‌اش  $^{210}\text{Pb}$  وارد دود شده و از این طریق وارد ریه فرد سیگاری و افراد پیرامون وی می‌شود. آلفای گسیل شده در فروپاشی  $^{210}\text{Po}$  به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل ابتلا به سرطان به ویژه در بین افراد سیگاری شناخته شده است. در این مقاله میزان پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در گستره‌ی وسیعی از سیگارهای داخلی و خارجی به کمک طیف تابش آلفای گسیل شده از آن بررسی و ریشه‌های آن، به طور خاص، در توتون محصول استان گیلان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. مقدار  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی به طور متوسط  $38.4 \pm 0.8$  میلی بکرل بر گرم و در سیگارهای خارجی موجود  $20.0 \pm 0.6$  میلی بکرل بر گرم برآورد شده است، که نشان می‌دهد میزان  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی بیش‌تر از گونه‌های خارجی می‌باشد. یافته‌های مطالعه‌ی حاضر نشان می‌دهد که خشک کردن برگ‌های توتون در محیط بسته‌ی گرم‌خانه‌ها و تماس مستقیم آن‌ها با گازهای حاصل از سوخت‌های فسیلی و نیز مصرف کودهای شیمیایی مهم‌ترین دلایل این فزونی در توتون محصول استان گیلان می‌باشند.

**کلید واژه‌ها:** پولونیم-۲۱۰، سیگار، توتون، طیف‌سنجی آلفا، استان گیلان

## Activity Levels of Polonium-210 in Tobacco and Cigarette in Iran

B. Ghanbar Moghaddam<sup>\*1,2</sup>, M. Vahabi Moghaddam<sup>1</sup>, A.A. Fathi Vand<sup>2</sup>

1. Department of Science, Guilan University, P.O.Box: 3489, Rasht-Iran

2. Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 14155-1339, Tehran- Iran

**Abstract:** Polonium-210 ( $^{210}\text{Po}$ ) is a natural contaminant of tobacco and its products. Due to its volatility and inherent adsorption properties,  $^{210}\text{Po}$  is one of the major potential sources of human exposure through smoking. This paper reports measurements on  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$  levels in domestic as well as imported tobacco to Iran through  $\alpha$ -spectrometry technique. The fate of  $^{210}\text{Po}$  radionuclide has been also followed from tobacco farm through curing procedure in factory. The activity levels of  $^{210}\text{Po}$  in Iranian domestic and imported cigarettes is found to be on the average as  $38.4 \pm 0.8$  mBq/g with a range of 30.3-51.3 mBq/g and  $20.0 \pm 0.6$  mBq/g with a range of 18.6-21.7 mBq/g, respectively. These levels are considerably higher than those reported in many other parts of the world. In the case of tobacco produced in Iranian northern province of Guilan, drying in closed compartments by fossil fuel and elevated inventories of  $^{210}\text{Po}$  in soil due to over application of phosphate-rich fertilizers seems to be the main causes of these elevated activity levels.

**Keywords:** Polonium-210, Cigarette, tobacco,  $\alpha$ -Spectrometry, Guilan

\*email: b\_moghaddam@guilan.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۶/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۲/۷



## ۱. مقدمه

برگ‌های توتون با سطحی وسیع، پوشیده از زایده‌های مو مانند و تراوشات چسبناک، بستر مناسبی را برای جذب سطحی ذرات معلق در هوا و به تبع آن دختران آلفازای رادون فراهم می‌کنند [۱]. مطالعات نشان می‌دهند که قریب ۸۴ درصد از پرتوزایی آلفا در گیاه توتون به  $^{210}\text{Po}$  مربوط می‌شود [۲]. برگ‌های توتون در حالی که تنها ۵۰ درصد از وزن گیاه را تشکیل می‌دهند، ۸۷٫۱ درصد از  $^{210}\text{Po}$  موجود در آن را در خود جای داده‌اند [۳]. هنگام سوختن توتون در حین مصرف سیگار، ذرات نامحلول غنی از  $^{210}\text{Pb}$  به ریه‌ی فرد سیگاری راه یافته و در آن‌جا نهشت می‌یابند. تجمع موضعی این ذرات، فروپاشی آن‌ها به  $^{210}\text{Po}$  و تابش آلفای ناشی از  $^{210}\text{Po}$  یکی از عمده‌ترین عوامل ابتلا به سرطان به ویژه در میان افراد سیگاری به شمار می‌رود [۴ و ۵]. در حال حاضر ده میلیون نفر از ایرانیان سیگاری هستند و روزانه ۱۴٫۵ میلیون نخ و سالانه ۵۵ میلیارد نخ سیگار در ایران مصرف می‌شود. ۰٫۲۳ درصد از کل تنباکوی جهان در ایران تولید می‌شود [۶]. ۸۴ درصد از توتون ایران در مناطق شمالی (گلستان، مازندران و گیلان) به دست می‌آید [۷] که از نظر وضعیت اقلیمی و جغرافیایی بسیار مشابه می‌باشند. برطبق بررسی اولیه انجام شده توسط علی‌آبادی و همکاران میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی ۲۶۰ میلی بکرل در هر سیگار برآورد شده است که در مقایسه با مقادیر گزارش شده، بیان‌گر فزونی مقدار  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی نسبت به گونه‌های خارجی است [۸]. هدف این مقاله مطالعه‌ی تکمیلی پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای موجود و بررسی ریشه‌های این فزونی به طور خاص در توتون محصول استان گیلان می‌باشد. شیوع انواع سرطان به ویژه سرطان ریه اهمیت بررسی موضوع را آشکارتر می‌نماید.

## ۲. روش کار

در این مطالعه در مجموع ۱۳ نمونه از سیگارهای متداول، مشتمل بر ۸ نوع سیگار تولید داخل و ۵ نوع سیگار خارجی مورد سنجش قرار گرفته است. برای به دست آوردن نمونه‌ای یکنواخت از هر بسته، توتون تمام سیگارهای موجود در آن تخلیه و با هم مخلوط شدند. به علاوه ۱۸ نمونه از توتون در مراحل مختلف تولید از مرزعه تا کارخانه و نیز خاک سطحی مزارع توتون (۳ تا ۵ سانتی‌متر فوقانی)، با در نظر گرفتن فراوانی مزارع در منطقه، جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفتند. در هر منطقه چندین نمونه جمع‌آوری شده و سپس با هم مخلوط شدند تا نمونه‌ای

یکنواخت به دست آید. نمونه‌های سنجش شده مشتمل بر برگ‌های تازه (۴ نمونه) برگ‌های خشک شده در هوا (۵ نمونه) برگ‌های گرم‌خانه‌ای (۵ نمونه) و خاک سطحی مزارع (۴ نمونه) بوده است. لازم به ذکر است که فرآوری توتون شامل ۳ مرحله است که طی آن پس از ۲ مرحله خشک کردن برگ‌های سبز، ابتدا در هوای آزاد و سپس در گرم‌خانه‌ها، برای دست‌یابی به کیفیت مطلوب، برگ‌ها بین ۱ تا ۲ سال در انبارها نگهداری می‌شوند.

برای طیف‌سنجی آلفا نخست  $^{210}\text{Po}$  موجود در نمونه‌ها به روش نهشت خود به خودی روی دیسک‌های مسی قرار داده شد. برای این منظور مقدار ۳ الی ۴ گرم از هر نمونه پس از افزودن حدود ۵۰۰ میلی بکرل  $^{208}\text{Po}$  به عنوان ردیاب، در مرحله‌ی اول با استفاده از ۴۰ میلی‌لیتر نیتریک اسید ۶۵٪ و ۱ تا ۲ میلی‌لیتر  $\text{H}_2\text{O}_2$  حل شد. پس از تغلیظ، هر نمونه با افزودن دوبار هر بار ۲۰ میلی‌لیتر هیدروکلریک اسید ۳۲٪ به طور کامل در محیط اسیدی حل شد. ترکیب نهایی بعد از رقیق شدن با هیدروکلریک اسید ۰٫۵ مول بر لیتر از کاغذ صافی واتمن-۴۱ عبور داده شد. برای حذف یون‌های آهن مقدار اندکی اسید آسکوربیک به آن اضافه شد. در نهایت پولونیم موجود در محلول به روش نهشت خود به خودی در مدت ۳ ساعت در دمای بین ۴۵ تا ۶۵ درجه‌ی سانتی‌گراد روی دیسک مسی قرار داده شد. بهره‌ی شیمیایی استخراج  $^{210}\text{Po}$  به طور متوسط (۶۸ تا ۸۵) ۷۶ درصد بوده است. برای سنجش  $^{210}\text{Po}$  ( $E_\alpha=5,304\text{ MeV}$ ) از یک آشکارساز سد سطحی سیلیسیم مدل کانبرا (با سطح مؤثر  $450\text{ mm}^2$ ، و قدرت تفکیک  $25\text{ keV}$ ) استفاده شد. کالیبراسیون انرژی با استفاده از چشمه‌های  $^{239}\text{Pu}$  و  $^{241}\text{Am}$  انجام شد. زمان شمارش ۶۰۰۰۰ ثانیه، بازده شمارش سیستم ۲۷ درصد و حداقل فعالیت پرتوزایی قابل آشکارسازی ۲ بکرل بر کیلوگرم بوده است. کنترل کیفی فرایند با استفاده از نمونه‌های تهیه شده از نمونه‌ی استاندارد IAEA-326 صورت گرفت که مؤید صحت نتایج حاصل بود. به علاوه نمونه‌ها با استفاده از یک سیستم طیف‌سنجی گاما متشکل از آشکارساز فوق‌خالص ژرمانیم (HPGe) (Canberra) با بازده نسبی ۲۵٪، توان تفکیک  $2\text{ keV}$  برای انرژی  $1332\text{ keV}$  کبالت-۶۰ و حداقل فعالیت پرتوزایی قابل آشکارسازی ۷ بکرل بر کیلوگرم) مورد بررسی قرار گرفتند که به جز در مورد نمونه‌های خاک در مورد سایر نمونه‌ها نتیجه‌ی خاصی حاصل نشد.

**۳. یافته‌ها و بحث**

گزارش کرده‌اند [۳]. تسو و همکارانش در شرایط تعادلی، پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  را  $۱۲٫۷$  میلی بکرل بر گرم برآورد کرده‌اند [۱۲]. میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در برگ‌های خشک شده در هوا  $۱۰٫۶ \pm ۰٫۴$  و در برگ‌های ورودی کارخانه  $۵۰٫۸ \pm ۱٫۲$  میلی بکرل بر گرم اندازه‌گیری شد.

**جدول ۱.** مقادیر سنجش شده‌ی پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در نمونه‌های سیگار

پرتوزایی (mBq/gr)	نوع سیگار	پرتوزایی (mBq/gr)	نوع سیگار
	خارجی		ایرانی
$۲۰٫۰ \pm ۱٫۵$	S11	$۵۱٫۳ \pm ۲٫۷$	S1D
$۲۰٫۴ \pm ۱٫۵$	S21	$۳۷٫۳ \pm ۲٫۳$	S2D
$۱۸٫۶ \pm ۱٫۵$	S31	$۳۰٫۳ \pm ۲٫۰$	S3D
$۲۱٫۷ \pm ۱٫۵$	S41	$۳۸٫۳ \pm ۲٫۳$	S4D
$۲۰٫۷ \pm ۱٫۵$	S51	$۳۶٫۷ \pm ۲٫۲$	S5D
		$۴۲٫۵ \pm ۲٫۲$	S6D
		$۳۲٫۵ \pm ۲٫۱$	S7D
		$۱۸٫۹ \pm ۱٫۳$	S8D*
$۲۰٫۰ \pm ۰٫۶$	میانگین	$۳۸٫۴ \pm ۰٫۸$	میانگین

\* طبق اظهارات شرکت دخانیات ۹۳٫۶ درصد از توتون به کار رفته در نمونه‌ی سیگار S8D از توتون وارداتی بوده است. از این رو در محاسبه‌ی میانگین، نمونه‌ی سیگار S8D به عنوان سیگار خارجی در نظر گرفته شده است.

**جدول ۲.** مقادیر سنجش شده‌ی پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در نمونه‌های سیگار

کشور	$^{210}\text{Po}$ (mBq/gr)	$^{210}\text{Po}$ (mBq/cigarette)	مرجع
آرژانتین	۱۰-۸۰		۱۵
برزیل	$۲۱٫۲(۱۰٫۹-۲۷٫۴)$	۱۵٫۵	۹
بلغارستان		۱۳٫۹۸	۲
کانادا	۹٫۴	۷٫۹	۲
چک و اسلواکی		$۷٫۰-۱۶٫۶$	۲
مصر		$۱۶٫۳(۹٫۷-۲۲٫۵)$	۱۶
فنلاند	$۲٫۶-۵٫۳$	$۳٫۷-۱۷٫۷$	۱۷
فرانسه	۲۰٫۷	۲۳٫۱	۲
آلمان	۲۰٫۸	۱۹٫۱	۲
هند	$۲٫۶-۳٫۷$		۱۸
ایتالیا	$۱۳٫۷-۱۹٫۶$		۲
ژاپن	$۱۵٫۴(۱۳٫۰-۲۰٫۱)$		۱۵
پاکستان	$۱۳(۷-۲۰)$		۱۹
سوریه	$۱٫۵(۰٫۵-۲٫۹)$		۲۰
ترکیه	$۱۶٫۱۰-۱۹٫۷۶$	$۱۲٫۵۸-۱۵٫۹۵$	۲۱
آمریکا	$۱۸٫۸(۱۴٫۰-۲۴٫۰)$		۲۲

داده‌های حاصل از سنجش مقدار  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی  $۳۸٫۴ \pm ۰٫۸$  میلی بکرل بر گرم و در سیگارهای خارجی  $۲۰٫۰ \pm ۰٫۶$  میلی بکرل بر گرم برآورد شده است. وزن توتون به کار رفته در هر نخ سیگار ایرانی بررسی شده به طور متوسط  $۰٫۷۴۰$  گرم بود. بنابراین میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در هر سیگار ایرانی  $۲۸٫۴$  میلی بکرل برآورد شد. برخی مقادیر گزارش شده برای پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در سیگار در مناطق مختلف جهان در جدول ۲ گزارش شده است [۱۵ تا ۲۲]. براساس اطلاعات این جداول، میزان  $^{210}\text{Po}$  در سیگارهای ایرانی بیش‌تر از گونه‌های خارجی است و این امر با نتایج بررسی قبلی در این زمینه سازگاری کامل دارد [۸]. فراوری توتون برای تولید سیگار در مجموع حدود دو سال به طول می‌انجامد. در این مدت طی فرورپاشی  $^{210}\text{Pb}$  به  $^{210}\text{Po}$ ، این دو رادیونوکلید با هم به تعادل می‌رسند [۱ و ۲]. با در نظر گرفتن شرایط تعادلی بین  $^{210}\text{Po}$  و  $^{210}\text{Pb}$  و با فرض این که ۱۰ درصد از  $^{210}\text{Pb}$  و ۲۰ درصد از  $^{210}\text{Po}$  موجود در توتون وارد دود شود، و نیز با به کارگیری ثابت‌های  $۵٫۶ \mu\text{Sv/Bq}$  برای  $^{210}\text{Pb}$  و  $۴٫۳ \mu\text{Sv/Bq}$  برای  $^{210}\text{Po}$  [۹]، دُز داخلی مؤثر سالیانه‌ی ناشی از مصرف سیگارهای ایرانی برای کسی که به طور مستمر روزانه ۲ پاکت سیگار ایرانی مصرف می‌کند  $۵۸۸٫۸ \mu\text{Sv/yr}$  خواهد بود. طبق گزارش UNSCEAR 2000 دُز داخلی مؤثر افراد ساکن عرض‌های میانه در نیم کره‌ی شمالی  $۲۴ \mu\text{Sv/yr}$  است [۱۰]. به این ترتیب دُز داخلی دریافتی یک فرد سیگاری با مصرف روزانه ۲ پاکت سیگار ایرانی حدود ۲۴ بار بیش‌تر از افراد عادی است.

برای بررسی منابع  $^{210}\text{Po}$  در محصول توتون استان گیلان، نمونه‌هایی از توتون در مراحل مختلف تولید و نیز خاک سطحی (۳ تا ۵ سانتی متر فوقانی) مزارع توتون منطقه جمع‌آوری و مورد ارزیابی قرار گرفتند. استان گیلان با آب و هوایی معتدل و مرطوب و با تولید ۱۳٪ از محصول توتون کل کشور بعد از استان‌های گلستان (۴۳٪) و مازندران (۲۸٪)، سومین تولیدکننده‌ی عمده‌ی توتون در ایران به شمار می‌رود [۱۱]. داده‌های حاصل از این بررسی در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در برگ‌های سبز  $۷٫۴ \pm ۰٫۳$  میلی بکرل بر گرم و حداکثر فاصله‌ی زمانی بین جمع‌آوری نمونه‌ها و سنجش آن‌ها ۱ ماه بوده است. اسکوارزک و همکارانش مقدار  $۴۹٫۱۸$  میلی بکرل بر گرم را

جدول ۳. مقدار  $^{210}\text{Po}$  در توتون در مراحل مختلف تولید

نمونه	پرتوزایی (mBq/gr)	نمونه	پرتوزایی	نمونه	پرتوزایی (mBq/gr)
برگ سبز		ورودی کارخانه		برگ‌های خشک شده در آفتاب <sup>(۱)</sup>	
A <sub>1</sub>	۸,۵±۰,۸	C <sub>1</sub> <sup>(۲)</sup>	۹,۹±۰,۹	B <sub>1</sub>	۴۵,۷±۲,۴
A <sub>2</sub>	۷,۳±۰,۷	C <sub>2</sub> <sup>(۲)</sup>	۸,۷±۰,۸	B <sub>2</sub>	۹۶,۳±۳,۸
A <sub>3</sub>	۷,۴±۰,۶	C <sub>3</sub> <sup>(۲)</sup>	۱۰,۳±۰,۹	B <sub>3</sub>	۶۲,۷±۳,۱
A <sub>4</sub>	۶,۳±۰,۶	C <sub>4</sub>	۱۱,۹±۱,۱	B <sub>4</sub>	۲۹,۲±۱,۷
		C <sub>5</sub> <sup>(۲)</sup>	۱۲,۱±۱,۱		۲۰,۲±۱,۴
میانگین	۷,۴±۰,۳	میانگین	۱۰,۶±۰,۴	میانگین	۵۰,۸±۱,۲

(۱) محصولات به مدت چند ماه نگهداری شده‌اند.

(۲) برگ‌های گرم‌خانه‌ای که حدود ۲ سال در انبارها نگهداری شده‌اند.

(۳) برگ‌های گرم‌خانه‌ای محصول سال.

آن حاصل نشده است. سایر منابع قابل پیش‌بینی برای  $^{210}\text{Po}$  در خاک عبارت‌اند از: نهشت‌های اتمسفری و کودهای شیمیایی. نهشت اتمسفری  $^{210}\text{Po}$  طبیعی تحت تأثیر موجودی  $^{222}\text{Rn}$  در هوا قرار دارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی استان گیلان که از یک سو با رشته کوه‌های البرز و از سوی دیگر با دریای مازندران احاطه شده است، احتمال عبور جریان‌های هوایی غنی از رادون از فراز آن بسیار ناچیز است. زیرا  $^{222}\text{Rn}$  از خاک متصاعد می‌شود و مقدار آن در سطح دریاها معمولاً کم‌تر است. البته اظهار نظر قطعی مستلزم سنجش غلظت  $^{210}\text{Pb}$  در هوای منطقه است. از طرفی سطح بالای رطوبت و بارش مستمر در منطقه، رطوبت دائمی ایجاد می‌کند. طبق مطالعات تسو و همکارانش، رطوبت، فرایند آزادسازی رادون از خاک را بسیار کند می‌سازد [۱۲]. از سوی دیگر طبق گزارش غلامزاده میزان  $^{210}\text{Po}$  در کودهای سوپر فسفات مورد استفاده در گیلان تا ۵۷۷/۵ میلی بکرل بر گرم برآورد شده است که در مقام مقایسه بسیار زیاد است [۱۴]. مصرف زیاد این کودها در منطقه نیز می‌تواند افزایش مقدار  $^{210}\text{Pb}$  و  $^{210}\text{Po}$  در خاک و گیاه توتون را در پی داشته باشد.

جدول ۴. رادیونوکلیدهای اندازه‌یابی شده در خاک

نمونه	پرتوزایی $^{210}\text{Po}$ (mBq/gr)	پرتوزایی $^{226}\text{Ra}$ (mBq/gr)	pH
S <sub>1</sub>	۳۲,۲±۲,۱	۷,۲±۰,۱	۵,۳
S <sub>2</sub>	۳۳,۱±۲,۳	۵,۸±۰,۱	۵,۶
S <sub>3</sub>	۵۰,۹±۳,۰	۳۵,۱±۰,۱	۵,۳
S <sub>4</sub>	۵۱,۳±۳,۰	۳۳,۶±۰,۵	۵,۵
میانگین	۴۱,۹±۱,۳	۲۰,۴±۰,۳	۵,۴

همان‌طور که داده‌ها نشان می‌دهند، فرآوری برگ‌ها، به ویژه به روش گرم‌خانه‌ای و نیز نگهداری طولانی مدت آن‌ها در انبار که برای افزایش کیفیت سیگار تولیدی صورت می‌گیرد، افزایش مقدار  $^{210}\text{Po}$  در برگ‌های توتون را به همراه داشته است. مصرف سوخت‌های فسیلی نظیر نفت، گاز طبیعی و گازوئیل در محیط بسته‌ی گرم‌خانه‌ها که طی آن برگ‌های توتون در تماس مستقیم با گازهای ناشی از این سوخت‌ها (که معمولاً حاوی رادون بیش‌تری هستند) قرار می‌گیرند، را می‌توان علاوه بر فروپاشی  $^{210}\text{Pb}$  به  $^{210}\text{Po}$  طی انبارمانی از دیگر عوامل چنین افزایشی دانست.

داده‌های حاصل از بررسی نمونه‌های خاک در جدول ۴ ارایه شده است. میانگین پرتوزایی  $^{210}\text{Po}$  در خاک سطحی مزارع ۴۱/۹ میلی بکرل بر گرم به دست آمده است. تسو در اکوسیستم و در شرایط متفاوت این میزان را ۱۷/۰۲ میلی بکرل بر گرم [۱۲] و سینگ و نیلکانی آن را ۱۱/۱ میلی بکرل بر گرم برآورد کرده‌اند [۱۳]. میزان انتقال  $^{210}\text{Po}$  از خاک به گیاه ۳۳٪ برآورد شده که با یافته‌های پیشین سازگاری خوبی دارد [۲]. به این ترتیب، مقدار  $^{210}\text{Po}$  در خاک‌های بررسی شده در مقام مقایسه مقدار بیش‌تری را نشان می‌دهد. با بهره‌گیری از طیف گامای حاصل از نمونه‌های خاک، میانگین پرتوزایی  $^{226}\text{Ra}$  در خاک منطقه ۲۰/۴ میلی بکرل بر گرم برآورد شد که در مقایسه با متوسط جهانی ۳۵ میلی بکرل بر گرم [۱۰]، مقدار غیرعادی را نشان نمی‌دهد. برآورد نسبت  $^{226}\text{Ra}$  به  $^{210}\text{Po}$  در خاک‌های بررسی شده نشان می‌دهد که این دو رادیونوکلید با هم در تعادل نیستند. این امر کاملاً قابل انتظار بوده و با نتایج مطالعات پیشین سازگار است [۲ و ۱۲]. بنابراین  $^{210}\text{Po}$  اندازه‌گیری شده در خاک از فروپاشی  $^{226}\text{Ra}$  موجود در



## References:

1. A. Savidou, K. Kehagia, K. Eleftheriadis, "Concentration levels of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in dry tobacco leaves in Greece," *Journal of Environmental Radioactivity*, 85, 94-102 (2006).
2. Y.D. Parfenov, "Polonium-210 in the environment and in the human organism," *Atomic Energy Review*, 12, 75-143 (1974).
3. B. Skwarzec, D.I. Struminska, J. Ulatowski, M. Golebiowski, "Determination and distribution of  $^{210}\text{Po}$  in tobacco plants from Poland," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 250, No. 2, 319-322 (2001).
4. E.A. Martell, "Radioactivity of tobacco trichomes and insoluble cigarette smoke particles," *Nature*, 249, 215-217 (1974).
5. R.L. Fleischer, "Aerosol particles on tobacco trichomes," *Nature*, 250, 158-159 (1974).
6. Farsnews, [www.farsnews.com](http://www.farsnews.com) (2007).
7. "کارنامه‌ی آماری کشت توتون و خرید محصولات کشاورزی داخلی،" شرکت دخانیات ایران، اداره‌ی کل امور کشاورزی (۱۳۸۰).
8. M. Aliabadi, et.al, "Determination of polonium-210 in Iranian cigarettes, 2<sup>nd</sup> Int," Conference on Nuclear Science and Technology, Shiraz University, Iran (2004).
9. A.C. Peres and G. Hiromoto, "Evaluation of  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$  in cigarette tobacco produced in Brazil," *J. Environmental Radioactivity* 62, 115-119 (2002).
10. UNSCEAR 2000, Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Report to the General Assembly, United Nations, New York (2000).
11. "سالنامه آماری گیلان،" سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان گیلان (۱۳۸۰).
12. T.C. Tso, N.A. Mallden, L.T. Aexander, "Radium-226 and polonium-210 in leaf tobacco and tobacco soil," *Science*, 146, 1043-1045 (1964).
13. D.R. Singh and S.R. Nikelani, "Measurement of polonium activity in Indian tobacco," *Health Physics*, 31, 393-394 (1976).
14. ل. غلامزاده کلیشمی، "سنجش موجودی  $^{210}\text{Po}$  در کودهای شیمیایی مورد استفاده در گیلان،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان (۱۳۸۶).
15. C. Papastefanou, "Radiation dose from cigarette tobacco," *Radiation Protection Dosimetry*, Vol. 123, No. 1, 68-73 (2007).
16. A.E.M. Khater, "Polonium-210 budgets in cigarette," *Journal of Environmental Radioactivity*, 71, 33-41 (2004).
17. Mussalo-Rauhamaa and H. Jaakkola, "T. Plutonium-239, Pu and Po contents of tobacco and cigarette smoke," *Health Physics*, 49(2), 269-301 (1985).
18. D.R. Singh, S.R. Nilekani, "Measurement of Polonium activity in Indian tobacco," *Health Physics*, 31, 393-394 (1976).
19. S.N.A. Tahir and A.S. Alaamer, "Pb-210 concentrations in cigarettes tobaccos and radiation dose to the smokers," *Radiation Protection Dosimetry*, 130(3), 389-391 (2008).
20. Batarekh, K. Teherani and D.K. "Determination of Polonium-210 in cigarettes from Syria," *J. Radioanal, Nucl. Chem.* 117( 2), 75-80 (1987).
21. T. Karali, S. Olmez, G. Yener, "Study of spontaneous deposition of  $^{210}\text{Po}$  on various metals and application for activity assessment in cigarette smoke," *Appl. Radiat. Isot.* 47(4), 409-411 (1996).
22. C.R. Hill, "Polonium-210 in man," *Nature*, 208(5009), 423-428 (1965).