

## ارزیابی پرتوگیری های محیطی در هوا و دز جذب شده در بافت های نرم در اثر تابش های القایی رادیوایزوتوپ های تولید شده در نمونه های خاک

قاسم سوری<sup>۱\*</sup>، مسعود عبدالله زاده<sup>۲</sup>، محسن شایسته<sup>۲</sup>، اردشیر باقری<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۲. دانشیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۳. استادیار، دانشگاه جامع امام حسین (ع)

### چکیده

یکی از مهمترین شاخص های دزیمتری در محیط های آلوده به ریزش های رادیواکتیو نتایج آنالیز فعال سازی نوترونی عناصر موجود در نمونه های خاک است، نتایج این تحقیق نشان می دهد که سهم قابل توجهی از دز جذب شده در افراد در محیط هایی آلوده ناشی از تابش هایی القایی رادیوایزوتوپ هایی تولید شده در نمونه های خاک در اثر فرایند فعال سازی نوترونی است. بیشترین مقدار رادیوایزوتوپ تولید شده به میزان  $4/8e+9$  بر سانتی متر مکعب از خاک در واکنش  $Al^{27}(n,\gamma)Al^{28}$  می باشد. بیشترین آهنگ پرتوگیری در هوا در زمانهایی ابتدایی ناشی از رادیوایزوتوپ های  $Al-28$  و  $Mn-56$  با مقادیر  $0/96 Gy/h$  و  $0/84 Gy/h$  و در زمانهای طولانی با افزایش عمر سهم رادیوایزوتوپ های  $Fe-56$  و  $24Na$  در دز جذب شده غالب تر می شود. رادیوایزوتوپ های  $Al-28$  و  $Mn-55$  بدلیل گاماها ی پر انرژی در زمانهایی ابتدایی بیش از ۸۰ درصد سهم دز جذب شده و پرتوگیری افراد را شامل می شوند. در دقایق ابتدایی پرتوگیری، بیشترین دز جذبی ناشی از تابش بتای رادیوایزوتوپ های تولید شده در بافت های نرم از جمله پوست ناشی از  $Al-28$  به میزان  $0/32 Gy$  می باشد. بیشترین دز جذب شده تابش بتا در پوست  $0/59 Gy$  که از حد مجاز ICRP کمتر است.

کلید واژه ها: فعال سازی نوترونی، رادیوایزوتوپ های القایی، دز جذبی، کد MCNPX

## Evaluation of environmental radiation and absorbed dose in soft tissues due to induced radiation in contaminated soils in neutron activation process

G.H. Soori\*, M. Abdollahzadeh, M. Shayesteh, I. Bagheri

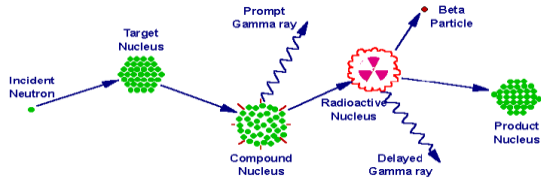
Imam Hossein University

### Abstract

One of the most important dosimetry indicators in environments contaminated with radioactive decay is the results of active analysis of elements in soil samples. Produced in soil samples is due to neutron activation process. The highest amount of radioisotope produced is related to the element Na-23 in the reaction  $Na^{23}(n,\gamma)Na^{24}$  with a concentration of  $1/865e^4 \pm 11/6\%$  (ppm) / and the element Al-27 with a concentration of  $6/465e^4 \pm 0/75\%$  (ppm) in the reaction  $Al^{27}(n,\gamma)Al^{28}$ . The highest radiation rate in Air in the early stages of the accident caused by Al-28 and Mn-56 radioisotopes with values of  $0.96 Gy / h$  and  $0.84 Gy / h$  and in long times with increasing half-life, the share of Na-24 and Fe-56 radioisotopes in the predominantly absorbed dose. The Mn-55 and  $8Al-2$  radioisotopes absorb more than 80% of the dose due to high-energy gammas in the early stages and include radiation exposure. In the first few minutes of irradiation, the maximum absorbed dose due to beta radiation of radioisotopes produced in soft tissues, including Al-28-induced skin, is  $0.32 Gy$ . The highest absorbed dose of beta radiation in the skin is  $0.59 Gy$ , which is lower than the ICRP limit.

**Keywords:** Neutron Activation, Induction Radioisotopes, Adsorbed Dose, MCNPX Code

## ۱. مقدمه



شکل ۱. زنجیره های واپاشی های هسته مرکب در فرایند فعال سازی نوترونی [۶-۷].

در این تحقیق مقدار دز جذب شده در بافت های نرم (پوست) براساس استانداردهای ICRP [۸-۱۱]، تحت پرتوگیری تابش های گاما و بتای رادیوایزوتوپ های القایی تولید شده در فرایند فعال سازی نوترونی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد بخشی مهمی از پرتوگیری افراد و بدنیا آن افزایش دز دریافتی در اندام های سطحی و بافت های نرم از جمله پوست، ناشی از تابش های القایی در خاک اکتیو شده با چشمه های نوترونی در حوادث پرتویی است که قابل چشم پوشی نیست و برآورد این میزان دز جذب شده می تواند در کاهش مصدومین پرتویی و اقدامات حفاظت پرتویی افراد در محیط های آلوده به ریزش های پرتوزا نقش بسزایی داشته باشد.

## ۲. مواد و روش ها

### ۲.۱ نمونه برداری از خاک مناطق پرتو دیده

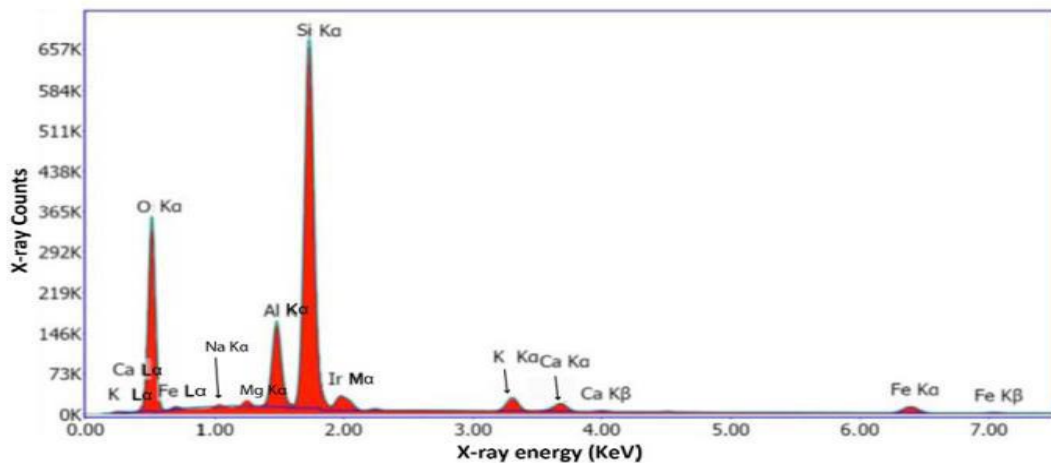
در این تحقیق چندین نمونه از خاک و سنگ های از منطقه مورد مطالعه شکل (۴) تهیه گردید. نمونه ها را کاملاً خرد کرده و از هر نمونه به مقدار مساوی با هم مخلوط می کنیم سپس مخلوط نمونه ها را آسیاب کرده و به صورت پودر در می آوریم. نمونه پودر شده را تحت آزمایش  $XRF$  قرار می دهیم و نتایج تجزیه آن را ثبت می کنیم [۱۲]. طیف فلورسانس بدست آمده از ۱۰ گرم نمونه خاک در آزمایشگاه طیف سنجی دانشگاه بوعلی سینای همدان نشان داده شده است.

بسیاری از مواد در اثر جذب نوترون، فعال شده و در یک دوره زمانی طولانی، ذرات بتا که در بیشتر موارد با تابش گاما نیز همراه است، از خود گسیل می کنند. که در اغلب موارد با تابش گاما نیز همراه است ذرات بتا از خود گسیل می نمایند. حدود ۶۰٪ از تابش هسته های ثانویه، از فعالیت القاء شده نوترون در عناصر خاک ناشی می شود [۱-۲]. گستره این پرتو زایی بسیار متغیر است، و دامنه ای از فعالیت های بسیار پایین تا مقادیر بالای فعالیت رادیوایزوتوپ های القایی را در برمی گیرد. تا آنجا که فعالیت های القاء شده محیطی تلقی می گردد. قسمت عمده ای از خاک را ماده سلیس تشکیل می دهد، جذب نوترون در این ماده منجر به تشکیل  $^{31}\text{Si}$  با نیمه عمر ۲/۶ ساعت ذرات بتا گسیل می کند. عناصر دیگر مانند (۲/۳ دقیقه)  $^{27}\text{Al}$ ، (۱۵ ساعت)  $^{24}\text{Na}$  و (۲/۶ ساعت)  $^{56}\text{Mn}$  از منابع مهم فعالیت القاء شده در خاک هستند که با گسیل چندین گامای پرانرژی و بتا واپاشی می کنند. شکل (۱). بدلیل داشتن نیمه عمر کوتاه رادیوایزوتوپ های  $^{27}\text{Al}$ ،  $^{24}\text{Na}$  کاهش فعالیت آنها سریع است و در چند ساعت اول بعد از انفجار مقدار کمی از آنها باقی می ماند [۳-۵].

روش آنالیز فعال سازی به عنوان یک روش قدرتمند برای آنالیز نمونه ها و تعیین کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه ها بکار می رود. اساس این روش بر پایه تبدیل عناصر مختلف موجود در نمونه به ایزو توپ های رادیو اکتیو در اثر تابش دهی با ذرات نوترون که از شکافت هسته اورانیوم در راکتور های هسته ای به وجود آمده اند استوار است. این روش برای تعیین همزمان ۳۰-۲۵ عنصر با دقت ppm-ppb در نمونه های مختلف از جمله نمونه های خاک و گیاهی بکار می رود. از مشخصه های فعال سازی نوترونی می توان به قدرت تفکیک خوب حساسیت بالا اشاره کرد. روش آنالیز فعال سازی نوترونی نسبت به زمان طیف نگاری به دو گروه تقسیم می شود، روش آنالیز فعال سازی نوترونی گامای آنی که در آن طیف نگاری در حین تابش دهی صورت می گیرد و روش آنالیز فعال سازی نوترونی گامای تاخیری که طیف نگاری بعد از واپاشی رادیو اکتیو صورت می گیرد.



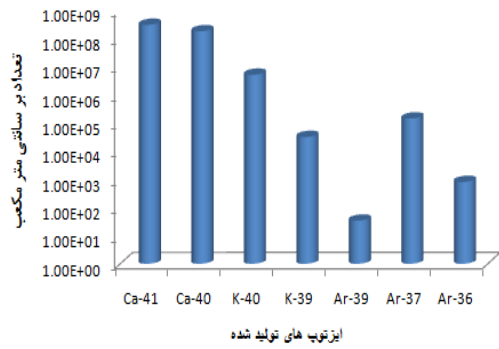
شکل ۲. نقاط اصلی نمونه برداری شده خاک منطقه فرضی پرتو دیده با نرم افزار Google Earth



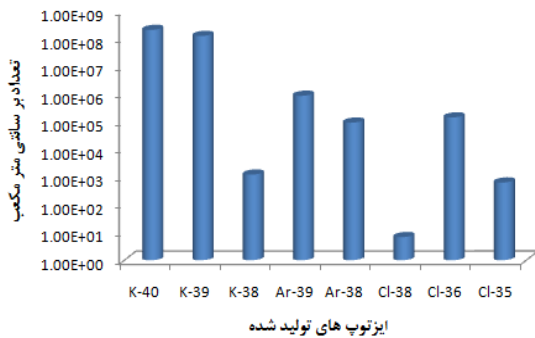
شکل ۳. طیف فلورسانس تولید شده از نمونه خاک به روش XRF.

در شکل های (۹-۶) سطح مقطع های تولید ایزوتوپ های عناصر  $Na-23$ ،  $Al-27$ ،  $Mg-24$ ،  $Ca-40$ ،  $k-39$  در کانالهای مختلف واپاشی  $(n, \gamma)$ ،  $(n, n)$ ،  $(n, p)$ ،  $(n, 2p)$ ،  $(n, d)$  و  $(n, \alpha)$  در بازه طیف انرژی نوترونیهای برخوردی با عناصر خاک نشان داده شده است.

۲.۲ نتایج آنالیز فعال سازی عناصر موجود در نمونه های خاک بر اساس آنالیز فعال سازی نوترونی ایزوتوپ های تولید شده در فرایند فعال سازی نوترونیهای گیراندازی شده شناسایی و مقدار آنها بر حسب تعداد بر سانتی متر مکعب محاسبه می گردد. بیشترین مقدار ایزوتوپ های تولید شده در هسته های اتم های تولید می شوند که در واکنش های  $(n, \gamma)$  تولید شده اند. برای نوترونیهای با انرژی پایینتر  $(n, \gamma)$  محتملترین واکنش است. در انرژیهای حرارتی سطح مقطع واکنش  $(n, \gamma)$  برای اکثر عناصر بالا بوده و بصورت تابعی از عکس سرعت نوترون تغییر می کند. در شکل های (۴) و (۵) سطح مقطع تولید ذرات گاما و پروتون را نشان داده شده است.



شکل ۸. نوع و تعداد ایزوتوپ‌های تولید شده در  $Ca-40$  موجود در خاک.



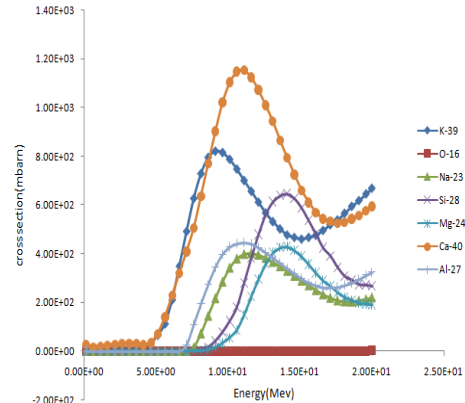
شکل ۹. نوع و تعداد ایزوتوپ‌های تولید شده در  $K-39$  موجود در خاک.

### ۳.۲ پرتوگیری در هوا

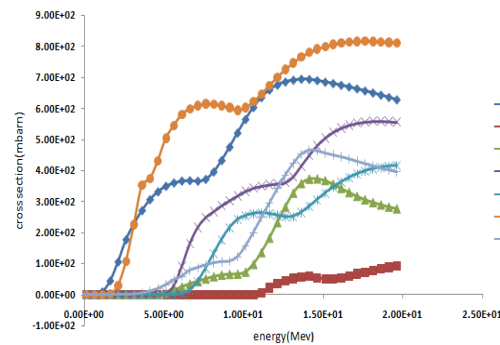
آهنگ پرتوگیری از چشمه گسیلنده گاما بصورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$\dot{X} = \dot{t} \frac{C}{r^2} \quad (3)$$

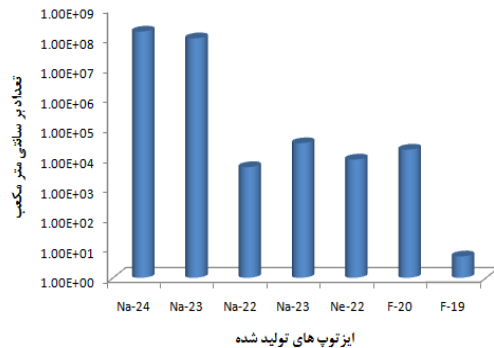
در رابطه بالا  $\dot{X}$  آهنگ پرتوگیری بر حسب راد بر ساعت،  $\dot{t}$  ثابت ویژه گاما،  $C$  قدرت چشمه گاما و  $r$  فاصله از چشمه می‌باشد. آهنگ پرتوگیری با یک تبدیل واحد به آهنگ دز جذب شده بر حسب گری بر ثانیه تغییر می‌کند. دز جذب شده در پوست بر اساس ضرایب تبدیل دز محاسبه می‌گردد. میزان پرتوگیری در هوا به عنوان دز جذب شده در بافت نرم بدن می‌تواند معیاری از میزان تغییراتی که تابش در بافت زنده ایجاد می‌کند در نظر گرفته شود. مهمترین واکنش‌های که بازده پرتو گامای بیشتری دارند شامل  $Al^{27}(n, \gamma)Al^{28}$  و  $Na^{23}(n, \gamma)Na^{24}$  با بازدهی گامای ۱۰۰٪ می‌باشند. فعالسازی  $Na^{23}$  دارای دو پرتو گامای واپاشی با انرژیهای ۲/۷۵ و ۱/۳۷ مگا الکترون ولت است که نقش زیادی در سنجش دز افراد در حوادث بحرانی و پرتوگیری‌های حاد دارد.



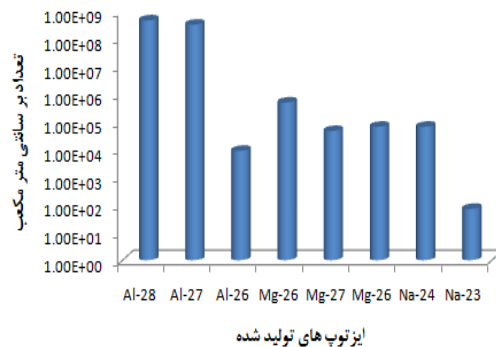
شکل ۴. سطح مقطع تولید  $(n, \gamma)$  در عناصر موجود در نمونه‌های خاک.



شکل ۵. سطح مقطع تولید  $(n, p)$  در عناصر موجود در نمونه‌های خاک.



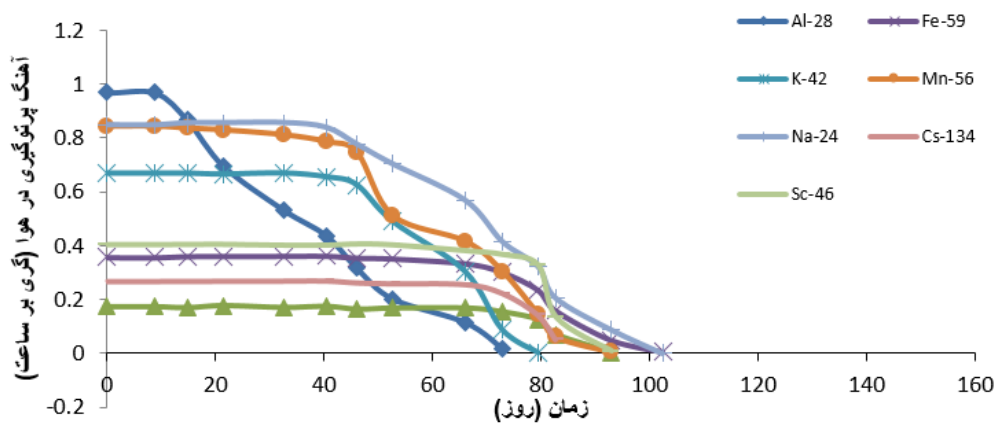
شکل ۶. نوع و تعداد ایزوتوپ‌های تولید شده در  $Na-23$  موجود در خاک.



شکل ۷. نوع و تعداد ایزوتوپ‌های تولید شده در  $Al-27$  موجود در خاک.

مربوط به رادیوایزوتوپ های  $Na^{24}$  و  $Al^{28}$  است که حدود ۸۰ درصد کل پرتوگیری های رادیوایزوتوپ هایی القایی را شامل می شود. بعد از گذشت دو ماه آهنگ پرتوگیری در هوا ناشی از  $Al^{28}$  به  $0.16 \text{ Gy/h}$  یعنی  $\frac{1}{6}$  مقدار اولیه ( $0.96 \text{ Gy/h}$ ) می رسد.

بیشترین میانگین انرژی گاما در هر واپاشی رادیوایزوتوپ تولید شده مربوط به  $Na^{24}$  با مقدار  $1.4$  و  $Al^{28}$  با مقدار  $1.8$  مگا الکترون ولت می باشد. در شکل (۱۰) آهنگ پرتوگیری در هوا ناشی از تابش های  $\beta$  و  $\gamma$  موجود در ایزوتوپ های که در اثر فرایند فعال سازی نوترونی در خاک تولید شده اند در فاصله  $1.5$  متری از سطح خاک را نشان می دهند. در ساعت ابتدائی بیشترین آهنگ پرتوگیری

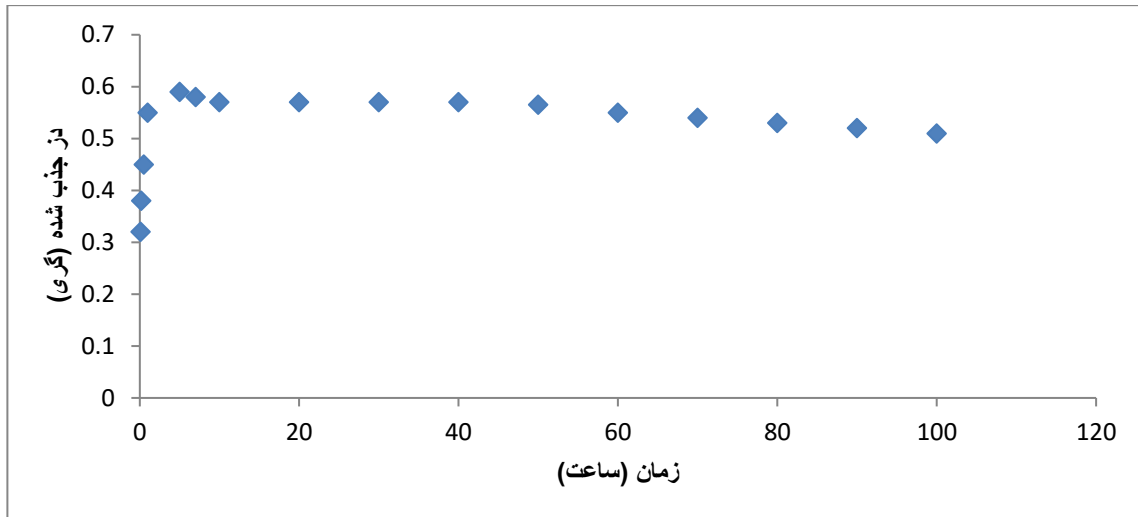


شکل ۱۰. آهنگ پرتوگیری در هوا ناشی از تابش های  $\beta$  و  $\gamma$  رادیوایزوتوپ های القایی در فاصله  $1.5$  متری از سطح خاک

گرفته شده است. دز جذب شده در پوست ناشی تابش ذرات بتا در چند دقیقه اول پس از پرتوگیری ناشی از  $Al^{28}$  و در ساعت اول ناشی از  $^{56}\text{Mn}$  و پس از یک هفته به سرعت کاهش می یابد و بیشتر ناشی از  $Na^{24}$  می باشد. مطابق شکل (۱۱) بیشترین دز جذبی در جمله پوست حدودا  $0.59 \text{ Gy}$  می باشد که از حد مجاز استاندارد ICRP یعنی  $2 \text{ Gy}$  کمتر می باشد.

۴.۲ دز جذبی نسبی تابش بتا در بافت های نرم آهنگ دز جذب شده در بافت های نرم از جمله پوست بر اساس نتایج پرتوگیری ها در هوا بر حسب گری در سطح ناشی از تابش  $\beta$  با استفاده از کد MCNP محاسبه گردید. دز جذب شده در پوست با استفاده شبیه سازی محیط و خاک و بر اساس ضرایب تبدیل دز محاسبه می گردد. داده های شبیه سازی، ضخامت لایه خاک  $25$  سانتی متر، شعاع خاک  $100$  سانتی متر، ارتفاع از سطح خاک متغیر، می باشد که در این تحقیق متوسط قد یک انسان  $1.5$  متری در نظر





شکل ۱۱. دز جذبی تابش بتا در پوست در زمانهای مختلف پس از پرتوگیری در هوا در فاصله ۱/۵ متری از سطح خاک اکتیو شده.

### ۳. نتیجه گیری

- ✓ سه رادیوایزوتوپ تولید شده  $Na^{24}$  و  $Mn^{56}$  و  $Al^{28}$  سهم زیادی در پرتوگیری در هوا و افزایش دز محیطی دارند که در دقایق اولیه آهنگل دز جذب شده در اثر پرتوگیری به مقدار  $1\text{ Gy/h}$  می رسد که سهم  $Mn^{56}$  و  $Al^{28}$  حدوداً ۸۰ درصد می باشد در زمانهای بعدی (در حد روز) سهم  $Na^{24}$  و  $Fe^{59}$  غالب تر می شود. در زمانهای در حد سال رادیوایزوتوپ  $CS^{134}$  بیشترین تاثیر بر آهنگ دز جذب شده در هوا را دارد.
- ✓ نتایج شبیه سازی نشان می دهد دز جذب شده ناشی از ذرات بتا در پوست برای یک لایه خاک ۲۵ سانتی متری و شعاع آلودگی در خاک ۱۰۰ سانتی متری، میزان دز جذبی برای یک انسان با ارتفاع ۱/۵ متری در طول زمان تغییر می کند و بیشترین دز جذبی در پوست ۰/۵۹ گری می باشد که از حد مجاز  $2\text{ Gy}$  طبق استانداردهای ICRP کمتر است.
- ✓ میزان دز جذبی بیشتر ناشی از ذرات بتا سه رادیوایزوتوپ  $Al^{28}$  و  $Mn^{56}$  و  $Na^{24}$  می باشد که بعد از حدوداً ۱۰ روز دز جذبی در پوست نسبت به کل بدن به ۰/۱٪ می رسد.
- ✓ از نتایج این تحقیق می توان در بحث فوریت های پرتویی و کاهش آسیب به مصدومین پرتویی استفاده کرد.

- ✓ بخشی مهمی از پرتوگیری افراد در محیط هایی که در معرض تابش های یونساز از جمله فوتون ها و نوترونها هستند ناشی از فرایند فعال سازی مواد از جمله خاک می باشد. میزان پرتوگیری تابعی از دز جذب شده و تعداد اندرکنش هایی نوترونها با عناصر تشکیل دهنده خاک می باشد که میزان فعال شدن خاک بستگی به شار چشمه رادیواکتیو دارد. در این تحقیق بیشتر به بررسی واکنش های  $(n, \gamma)$  که پرتوهای گاما تولید شده با مشخصه انرژی بالایی دارند پرداخته شده است. ۷۵٪ دز جذبی در بافت های نرم از جمله پوست ناشی از پرتوگیری گاما است. میزان آسپیدیری بافت نرم تابعی از دز جذب شده می باشد که در این تحقیق در زمانهایی ابتدایی این دز جذب شده قابل ملاحظه است و در زمان یک هفته بعد از حادثه به میزان زیادی کاهش می یابد.
- ✓ بیشترین رادیوایزوتوپ تولید شده در واکنش های تولید پرتو گاما بوجود آمده است. مهمترین واکنش های که بازده پرتو گامای بیشتری دارند  $Al^{27}(n, \gamma)Al^{28}$  و  $Na^{23}(n, \gamma)Na^{24}$  با بازدهی گامای ۱۰۰٪ می باشند. این رادیوایزوتوپ ها نقش زیادی در اکتیو تیه القایی به محیط دارند که در ابتدایی زمان پس از حادثه پرتویی اکتیویته محیط به  $1e+08$  بکرل می رسد که سهم زیادی در پرتوگیری های افراد دارد (حدوداً ۶۰ درصد).

## مراجع

1. Hevese G., Levi H., The Action of Neutrons on the Rare Earth Elements, Det. Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, Matematisk-fysiske Meddelelser XIV, 5, 1936
2. TecKucera J., Randa Z., The Present Role of Neutron and Photon Activation Analysis in Determination of Trace Elements, 3rd Symp, on Nuclear Chemistry, Halifax, NS, Canada, 11-14 June, 2001. hnology, Delft (1996)
3. Nasrabadi, M.N., Mohammadi, A., Jalali, M., 2009. Gamma self- shielding correct ion factors calculat ion for aqueous bulk samp le analysis by P GNAA t echnique. Applied Radiat ion and Isotopes. 67, 1208-1212
4. Chichester, D.L., Empey, E., 2004. Measurement of Nitrogen in the body using a commercial P GNAA system-phantom experim e n t s. Applied Radiat ion and Isotopes. 60, 55-61.
5. Santoro R.T., Egbert S.D., Barnes J.M., Kerr G.D., Pace III J.V., Roberts J.A., & Slater C.O., Radiation transport calculations for Hiroshima and Nagasaki, Reassessment of the atomic bomb radiation dosimetry for Hiroshima and Nagasaki—dosimetry system 2, pp 139-201, 2002
6. Shapiro, Jacob. 1925- "Radiation Protection: a guide for scientists, regulators, and physicians." fourth edition, 2002.
7. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation(2000). "Annex C: Exposures to the public from manmade sources of radiation"; Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York, NY: United Nations Publications. pp. 157-291. ISBN 978-92-1-142238-2.
8. International Commission on Radiological Protection. Conversion coefficients for radiological protection quantities for external radiation exposures. Oxford: ICRP; Publication; 116; 2010
9. ICRP, 2007d. The Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP37 (2-4)
10. Kryshev I.I., Sazykina T.G. "Previous comments on methodology of ranking radionuclides in terms of environmental impact and human radiation risk for innovative nuclear system (Agiven fuel reactor inventory)." IAEA, 2009.
11. Macdonald, C.R. and Loverlock, M; "External ICRP 60 dose conversion factors for air and water immersion, groundshine and soil"; Technical Report TR-739, COG-96-106. Atomic Energy of Canada Limited, Pinawa, MB, 1996.
12. Potts, P. J., West, M. "Portable X-ray Fluorescence Spectrometry Capabilities for In Situ Analysis", UK, Royal Society of Chemistry (2008).