



Investigation of the Source of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K Radiation of in the Neyshabour Turquoise Mine and its Environmental Impacts

Alireza Mazloumi Bajestani^{1*}, Akram Fahim²

¹ Assistant professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

² M.Sc., Department of Geology, Faculty of Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article History

Received: 09 March 2021

Revised: 10 May 2021

Accepted: 24 May 2021

Keywords

Turquoise
Neyshabour
Environmental Impacts
Radioactivity

*Corresponding author

Alireza Mazloumi Bajestani

✉ alr.mazloumi@pnu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Neyshabour Turquoise Mine is located at 55 km North West of Neyshabour in latitude of E58°, 23" and longitude of N36°, 23". This area is situated at the Cenozoic continental magmatic arc in the north of Sabzevar ophiolite sequence and extends to Binalood Mountains (Spies et al., 1983; Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2013). Rock units consist of Eocene intermediate volcanic and intrusive bodies and breccia's which are the country rock of ore deposits in the Firouzeh area (Mohammad Nejad et al., 2011a). The Turquoise Mine was suggested as the first Iron Oxide Cu-Au-U-LREE mineralized system in Iran (Karimpour et al., 2012). The turquoise was formed on the oxidation zone of this deposit. The mining procedure operates as underground mining and mine wastes that were recycled for extraction of turquoise were released in the vicinity of the mine area and the surrounding Madan village. High radiometric anomaly of Uranium and Thorium has been reported in the Firouzeh area (Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2013). The aim of this study is to study the gamma radioactivity of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in different parts of this area (tunnels, rock units, mine waste, habitations and water resources) and to determine the origin of gamma radioactivity by gamma spectroscopy implement via portable gamma scintillation system (MCA) with sodium iodide NaI (TI) detector.

How to cite this article

Mazloumi Bajestani, A. and Fahim, F., 2021. Investigation of the Source of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K Radiation of in the Neyshabour Turquoise Mine and its Environmental Impacts. Journal of Economic Geology, 13(4): 697–718. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22067/ECONG.2021.69283.1010>



©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

Results

The total average natural gamma radioactivity in the mine tunnels was measured to be 98.31 cps. The average gamma radioactivity associated with ^{238}U in the tunnels was 5.2 cps. The average gamma radioactivity associated with ^{232}Th (1.4 cps) in all samples from the tunnels is less than ^{238}U . Highest natural gamma radioactivity associated with ^{40}K was measured in the mine tunnels. Trachyte rock units and the Limonitic soils had the maximum natural total gamma radioactivity and andesite unit shows the least values. The high concentration of these elements in limonitic soils was formed by adsorption of radioactive cations by Fe Oxides. The lowest gamma radioactivity was determined in andesite rock units, coarse grain alluvium and coarse grain soils. Mine wastes from the turquoise mine are explored again by villagers and this might cause exposure to additional dose in this way. The average total gamma radioactivity is 75.26 cps in mine wastes. The highest and lowest gamma radioactivity in the mine waste was associated with ^{40}K and ^{232}Th , respectively. There is a high gamma radioactivity in homes that have been made by local raw materials. Average total gamma radioactivity in rural houses is 83.73 cps. The maximum and minimum total gamma radioactivity was associated with ^{40}K and ^{232}Th , respectively. There is high natural gamma radioactivity in mine drainage waters and springs that which occur on marl unit. The mine tunnels had the most gamma radioactivity and stream sediments show the lowest gamma radioactivity in different samples in the area. ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K radio activities have strong positive relationships and they probably have a similar source. ^{40}K has the most gamma radioactivity in this region. Therefore, trachytic rocks are the source of natural gamma radioactivity in the studied area.

Based on mineralogical studies on Neyshabour turquoise mine (Mansouri Gandomani et al., 2020), there are no radioactive elements in Turquoise mineral. There are not reliable statistics on occupational diseases and cancer among miners because these patients are sent to Mashhad hospitals or migrate from this area. However, the number of people infected by lung disease such as pneumoconiosis and silicosis is growing and many pensioners and old miners are suffering from different forms of cancer such as cancer of digestive and respiratory systems. The average number of victims of cancer in the Madan village (next to the turquoise mine) is more than other habitants in the Neyshabour area. Although development of cancer is related to several factors, but exposure to radioactivity in job conditions, geological features, presence of radiogenic radon gas in water and air of the area, and presence of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in geological formations in the region suggest that radioactive emissions could be considered as the key factors contributing to cancer in this region.

Discussion

The average level of natural total gamma radioactivity associated with ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in the Neyshabour turquoise mine area was 87.78 cps. Mine tunnels, houses, mine wastes and geological outcrop have the highest natural total gamma radioactivity, respectively. Trachyte rocks unit has the highest natural gamma radioactivity and andesite coarse-grained clastic sediments display the lowest values. ^{40}K has the most total gamma radioactivity in the study area. Trachytic rocks are the source of natural gamma radioactivity in this region. The radioactivity of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in geological formations can be considered as a main factor contributing to cancer.



بررسی منشأ پرتوزایی گامای طبیعی ناشی از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در معدن فیروزه نیشابور و آثار زیست‌محیطی آن

علیرضا مظلومی بجزستانی^{۱*}، اکرم فهیم^۲

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

معدن فیروزه نیشابور در استان خراسان رضوی و ۵۵ کیلومتری شمال غرب نیشابور قرار دارد. این معدن به عنوان کانسار بزرگ مس-طلای همراه با اکسیدهای آهن از نوع مس-طلا-اورانیوم-عناصر نادر خاکی معرفی شده است. تشکیل فیروزه مربوط به زون سوپرژن معدن بوده و تا عمق حدود ۸۰ متری مشاهده شده است. واحدهای سنگی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی حدواسط است که تحت دگرسانی قرار گرفته‌اند. ارزیابی‌های زمین‌شیمیایی، وجود عناصر پرتوزا را در منطقه نشان داده است. برای تعیین منشأ و مخاطرات زیست‌محیطی مربوطه، پرتوزایی گاما و آلفای حاصل از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در ۶۹ نقطه معدن و نواحی مجاور آن تعیین شد. بیشترین پرتوزایی گامای مرتبط با عناصر ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در انتهای تونل اصلی و منطبق بر واحد سنگی تراکیت است. بیشترین پرتوزایی گاما به ترتیب در تونل‌های معدن، منازل مسکونی، باطله‌های معدنی، تشکیلات زمین‌شناسی و منابع آبی اندازه‌گیری شد. بالاترین پرتوزایی گاما در منطقه مورد بررسی از پتاسیم (^{40}K) نشأت گرفته است. سنگ‌های تراکیتی، بالاترین پرتوزایی طبیعی گامای کل را دارند و به عنوان منشأ اصلی پرتوزایی منطقه معرفی می‌شوند. بیماری‌های پنومو کونیوزیس و سیلیکوسیس در معدن کاران قدیمی گزارش شده است. در بین افراد بازنشسته سرطان‌های دستگاه گوارش و ریه فراوانی بیشتری دارد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

واژه‌های کلیدی

فیروزه
نیشابور
مخاطرات زیست‌محیطی
پرتوزایی

نویسنده مسئول

علیرضا مظلومی بجزستانی

alr.mazloumi@pnu.ac.ir ✉

استناد به این مقاله

مظلومی بجزستانی، علیرضا و فهیم، اکرم، ۱۴۰۰. بررسی منشأ پرتوزایی گامای طبیعی ناشی از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در معدن فیروزه نیشابور و آثار زیست‌محیطی آن. زمین‌شناسی اقتصادی، ۱۳(۴): ۶۹۷-۷۱۸. <https://doi.org/10.22067/ECONG.2021.69283.1010>

مقدمه

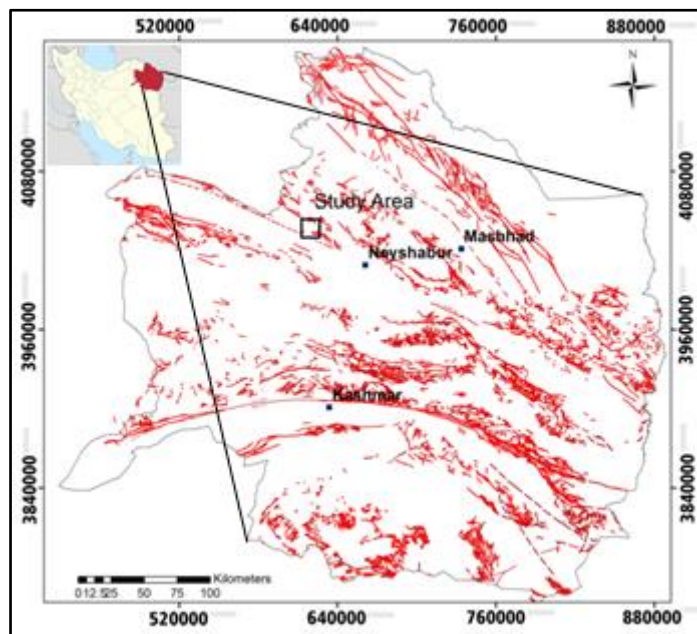
مواد پرتوزا یکی از انواع آلاینده‌های محیط زیست هستند که امروزه با توجه به مخاطرات همراه با آنها مورد توجه قرار گرفته‌اند. این عناصر در بعضی سایت‌های معدنی به عنوان عناصر فرعی یا همراه با باطله‌ها بوده و ممکن است با گذشت زمان پرتوزایی حاصل از آنها برای کارگران شاغل در معدن خطرانی به دنبال داشته باشد (Bunzl et al., 1994; Awudu et al., 2010; Wang et al., 2015; Mekongtso et al., 2016; Nguem et al., 2016; Louw, 2020). پرتوزایی ناشی از این هسته‌های طبیعی می‌تواند در زمان کوتاه و یا دراز مدت باعث ایجاد انواع بیماری‌ها و سرطان‌ها شود (Ibrahim, 1999; Abdi et al., 2008; Dragovic et al., 2010; Lottermoser, 2010; Zytoon et al., 2014; Papadopoulos et al., 2014; La Verde et al., 2020). معدن فیروزه نیشابور در ۵۵ کیلومتری شمال غرب شهر نیشابور در مختصات طول جغرافیایی 36° و $30'$ شرقی و عرض جغرافیایی 58° و $23'$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). نخستین بار در سال ۲۰۱۱ معدن فیروزه نیشابور به عنوان کانسار بزرگ مس-طلائی همراه با اکسیدهای آهن از نوع مس-طلا-اورانیوم-عناصر نادر خاکی معرفی شده است (Karimpour et al., 2012).

به دلیل اهمیت وجود یکی از مرغوب‌ترین انواع فیروزه دنیا در این معدن، همه توجه‌ها به سوی این کانی معطوف بوده و به کانی‌زایی فلزی در آن توجهی نشده است. تشکیل فیروزه از لحاظ فرایندهای زمین‌شناسی بسیار پیچیده بوده و نیازمند شرایط بسیار خاص زمین‌شناسی است (Ray et al., 2006).

این منطقه در شمال شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان‌آباد (Akrami and Askari, 2000) قرار گرفته است. بررسی‌های دورسنجی و بارزسازی زون‌های دگرسانی توسط ملکزاده شفارودی و کریم‌پور (Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour, 2010) انجام شده است. اکتشافات زمین‌شیمیایی بر اساس زمین‌شیمی رسوبات رودخانه‌ای در نواحی اطراف معدن

فیروزه انجام شده و آنومالی‌های مربوطه تعیین شده‌اند (Esfandiyarpour et al., 2011a; Esfandiyarpour et al., 2011b; Mohammad Nejad et al., 2011a; Mohammad Nejad et al., 2011b, کریم‌پور و ملکزاده شفارودی (Karimpour and Malekzadeh Shafaroudi, 2013) ناهنجاری‌های اورانیوم و توریم در منطقه را گزارش کرده‌اند. بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی، زمین‌شناسی فیزیکی و سیالات درگیر در معدن فیروزه نیشابور نشان‌دهنده حضور کانی‌سازی بزرگی از نوع اکسید آهن مس-طلا-اورانیوم-عناصر نادر خاکی سبک، مشابه با بخش هماتیت-غالب کانسار اکسید آهن و مس المپیک‌دم است (Ghiasvand et al., 2019). عملیات معدن‌کاری در معدن فیروزه نیشابور به صورت زیرزمینی بوده و باطله‌های حاصل از معدن‌کاری که دوباره برای بازیافت فیروزه مورد کاوش قرار می‌گیرد، در مجاورت معدن، محوطه روستاهای مجاور و آبراهه‌ها رها می‌شوند. پژوهش‌هایی درباره پرتوزایی رادون (^{222}Rn) در آب و هوای معدن انجام شده؛ اما در مورد منشأ این پرتوزایی بحث نشده است (Binesh and Mowlavi, 2010; Mowlavi and Binesh, 2012; Mohammad Jafari et al., 2020).

در پژوهش دیگری بیماری‌های ریوی شغلی در کارگران معدن فیروزه نیشابور بررسی شده و به مواردی از نارسایی‌ها و بیماری‌های شغلی اشاره شده است (Majdy et al., 2009). این پژوهش در قالب پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد (Fahim, 2015; Mazloumi Bajestani and Fahim, 2016) انجام شده است و پرتوزایی حاصل از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در بخش‌های مختلف منطقه معدنی (واحدهای سنگی، باطله‌ها، آب‌های سطحی و زیرزمینی و هوای بخش‌های مختلف معدنی و مسکونی) اندازه‌گیری شده و منشأ پرتوزایی و سهم هریک از بخش‌های ذکر شده در پرتوزایی کلی منطقه تعیین شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی در شمال غربی شهر نیشابور
 Fig. 1. Location of study area at north west of Neyshabour city

روش مطالعه

نحوه نمونه برداری، اندازه گیری و محاسبه پرتوهای طبیعی توسط آژانس بین المللی انرژی اتمی (International Atomic Energy Agency, 2002; International Atomic Energy Agency, 2003)، سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (Organization for Economic Co-operation and Development, 2014) و سایر منابعها (Delacroix et al., 2002; Ray et al., 2006) بیان شده است. برای اندازه گیری پرتو گاما، از دستگاه گاماسنج سوسوزن MAC، متعلق به آزمایشگاه تحقیقات زمین شناسی زیست محیطی دانشگاه پیام نور مشهد استفاده شد. این سامانه طیف سنجی، شامل یک MCA دو هزار کانالی قابل افزایش تا ۴۰۰۰ کانال، ولتاژهای از صفر تا ۱۰۰۰ ولت و قابل افزایش تا ۲۰۰۰ ولت، پری آمپلی فایر و آمپلی فایر داخلی است و توسط پورت سریال به کامپیوتر شخصی قابل حمل متصل می شود. در این دستگاه از آشکارسازهایی استفاده شده که خروجی آنها متناسب با مقدار انرژی به جای مانده پرتوی ورودی

است. در هنگام اندازه گیری پرتو گاما، آشکارساز بر روی سه پایه مستقر شده و نمونه برداری در ارتفاع یک متری از سطح زمین انجام شد. ولتاژ دستگاه ۱۰۰۰ ولت و مدت زمان انتخاب شده برای ثبت پرتو گاما در هر نقطه ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پرتو سنجی گاما به صورت تصادفی در ۶۹ نقطه شامل ۲۰ نقطه زیر سطحی در تونل اصلی و فرعی معدن و ۴۹ نقطه در سطح زمین (آبراهه ها، قنات ها، رخنمون واحدهای سنگی، باطله ها و منازل روستای معدن بالا و معدن پایین) انجام شد. طیف به دست آمده از آشکارساز، به کمک نرم افزار NT MCA (نرم افزار اختصاصی دستگاه) تجزیه و تحلیل شد و تعداد پرتو گامای نشر یافته از عناصر اورانیوم (^{238}U)، توریم (^{232}Th) و پتاسیم (^{40}K) برای هر نقطه تعیین شد.

بحث

زمین شناسی و کانی سازی

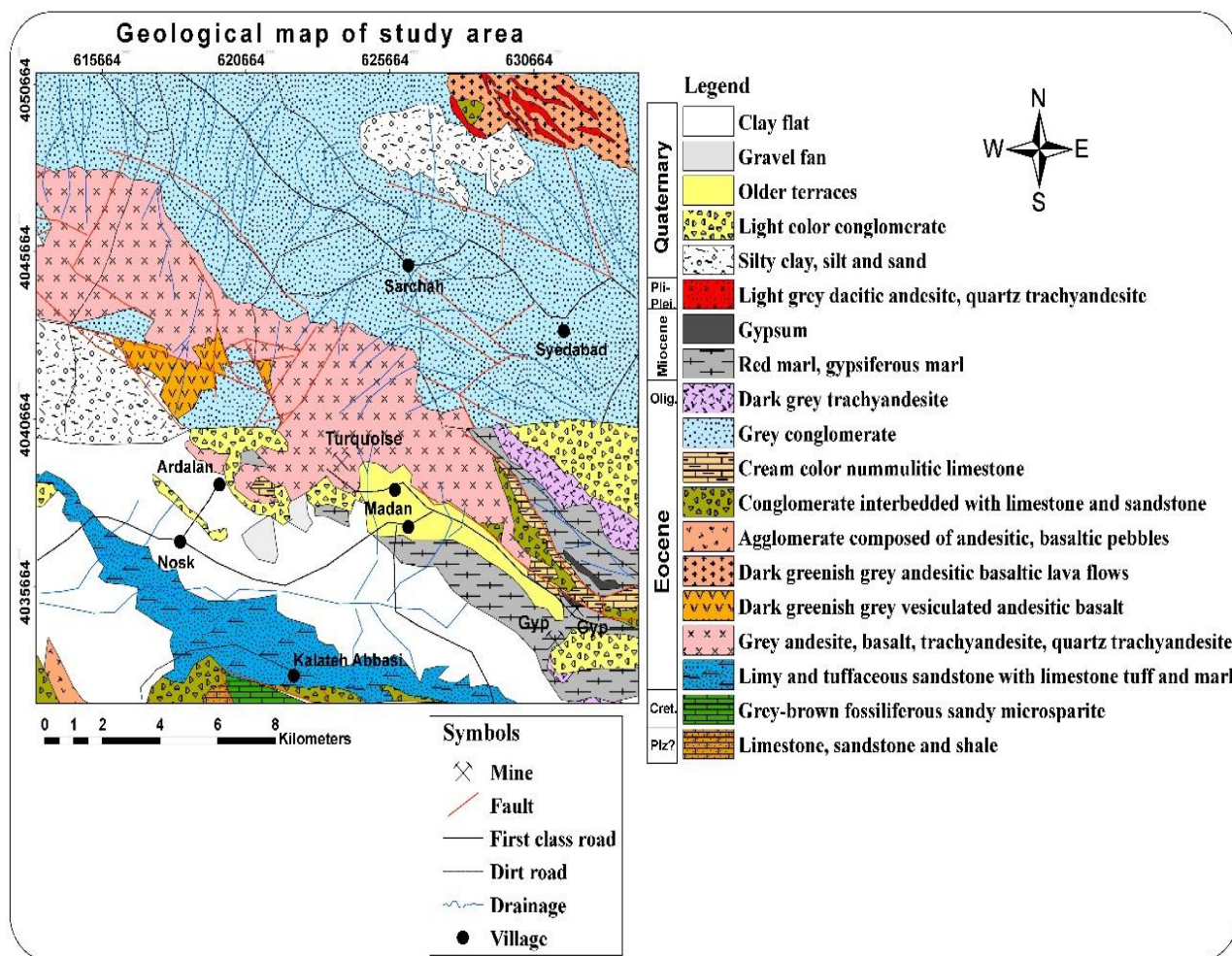
معدن فیروزه نیشابور در شمال شرقی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

بخش‌های شمال شرقی و شرقی معدن گزارش شده است که در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. این واحدها در واقع رخنمون‌هایی از توده‌های نفوذی نیمه عمیق و خاستگاه کانی‌سازی بزرگ منطقه هستند (Karimpour and Malekzadeh, 2013). برش گسلی و گرمایی نیز به وفور در منطقه مشاهده می‌شود. برش گرمایی نوعی از کانی‌سازی منطقه بوده و بخشی از کانی‌های سولفیدی و اکسیدی را به همراه دارد (Esfandiarpour et al., 2011a, Esfandiarpour et al., 2011b). به طور کلی می‌توان سنگ‌های منطقه معدن را به سه بخش تقسیم کرد (Karimpour et al., 2012): بخش زیرین که خود از پایین به بالا شامل ریوتراکیت، کوارتز تراکیت و کراتوفیر است. این سنگ‌ها از لحاظ درصد اکسیدفسفر (P_2O_5)، کمتر از یک درصد بوده و از نظر فیروزه جالب توجه نیست. واحد میانی که به شدت تحت تأثیر فرسایش هیدروترمال قرار گرفته و دارای آلونیت فراوان و فیروزه کم به شکل دانه‌های پراکنده و رگچه است. واحد بالایی شامل تراکیت است و به شدت برشی، سیلیسی و کائولینیزه شده که دارای پیریت ثانویه فراوان به صورت دانه و رگچه با مقدار کمی کالکوپیریت است. مقدار P_2O_5 در این واحد بین ۱ تا ۳ درصد است. بیشترین ذخیره فیروزه استخراج شده از این واحد بوده و محل تجمع فیروزه بیشتر در محل برخورد گسل‌های اصلی و فرعی در بخش‌های خرد شده و به شدت برشی شده، قرار دارد (Eslami et al., 2012). دگرسانی وسیعی واحدهای آتشفشانی و نفوذی منطقه را تحت تأثیر قرار داده و شامل زون‌های اصلی سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی و پروپلیتیک است. زون سیلیسی و آرژیلیک به ترتیب دگرسانی‌های اصلی منطقه هستند. کانی‌سازی فلزی به شکل‌های افشان، استوک‌ورک و برش هیدروترمالی دیده می‌شود. کانی‌های اولیه شامل پیریت، مگنتیت، اسپیکولاریت، کالکوپیریت و بورنیت است. کانی‌های ثانویه شامل فیروزه، کالکوزیت، کولیت و اکسیدهای آهن است (Karimpour et al., 2012). زون گوسان وسیعی در منطقه دیده می‌شود که بیانگر اکسایش شدید کانی‌های سولفیدی

سلطان‌آباد (Akrami and Askari, 2000) و جنوب شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشکان (Amini and Khannazar, 2000) واقع شده است (شکل ۲). این معدن در کمان ماگمایی قاره‌ای سنوزوئیک شمال منطقه افیولیتی سبزوار که روند شمال غربی- جنوب شرقی دارد، قرار گرفته است. نوار مزبور اغلب ماهیت آهکی- قلیایی داشته و سن آن از جنوب به شمال از ائوسن تا پلیستوسن تغییر می‌کند. عرض این نوار از ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلومتر از شمال سبزوار تا جنوب قوچان ادامه داشته و طول آن نیز حدود ۲۰۰ کیلومتر از فرومد تا نیشابور است و آن را دنباله رشته کوه‌های بینالود دانسته‌اند (Bauman et al., 1983; Spies et al., 1983; Karimpour, 2013 and Malekzadeh Shafaroudi, 2013). در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلطان‌آباد و مشکان نیز این منطقه بخشی از واحد ساختاری بینالود در نظر گرفته شده است (Akrami and Askari, 2000, Amini and Khannazar, 2000). در پژوهش دیگری این نوار، زون تبدیلی مشکان نام‌گذاری شده است که سرگذشت زمین‌ساختی متفاوتی نسبت به زون‌های مجاور خود دارد (Shabanian et al., 2009). بر اساس رخنمون‌های موجود در راستای گسل‌های رانده و رورانده، پی- سنگ این منطقه شامل رسوبات پالئوزوئیک است که بیشتر در نواحی جنوبی مشاهده می‌شود. آهک‌های فسیل دار کرتاسه، ماسه‌سنگ‌های توفی- آهکی و مارن اوایل ائوسن نیز از رسوبات قدیمی منطقه هستند. واحدهای سنگی محدوده معدن فیروزه را به سه بخش واحدهای آتشفشانی، توده‌های نفوذی نیمه عمیق و انواع برش تقسیم کرده‌اند (Mohammad Nejad et al., 2011a). سنگ‌های آتشفشانی بخش زیادی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و بر اساس نقشه زمین‌شناسی سلطان‌آباد، سن نسبی آنها ائوسن است. این واحدها شامل تراکیت، آندزیت، لاتیت و برش آتشفشانی است (Karimpour and Malekzadeh, 2013). در نقشه زمین‌شناسی سلطان‌آباد سنگ‌های نفوذی گزارش نشده است؛ اما رخنمون‌هایی از توده‌های نفوذی نیمه عمیق حدواسط با بافت پورفیری در

بسیار خاص زمین شناسی است. برای تشکیل فیروزه سنگ های غنی از فلدسپات و آپاتیت (فلئورو آپاتیت) و حضور کانی های سولفور (کالکوپیریت و پیریت) ضروری است.

است. ضخامت زون اکسیدان بیش از ۸۰ متر برآورد شده و تا همین عمق، کانی سازی فیروزه هم ادامه دارد. تشکیل فیروزه از لحاظ فرایندهای زمین شناسی بسیار پیچیده بوده و نیازمند شرایط



شکل ۲. نقشه زمین شناسی محدوده معدن فیروزه نیشابور (Akrami and Askari, 2000; Malekzadeh Shafaroudi et al., 2010)

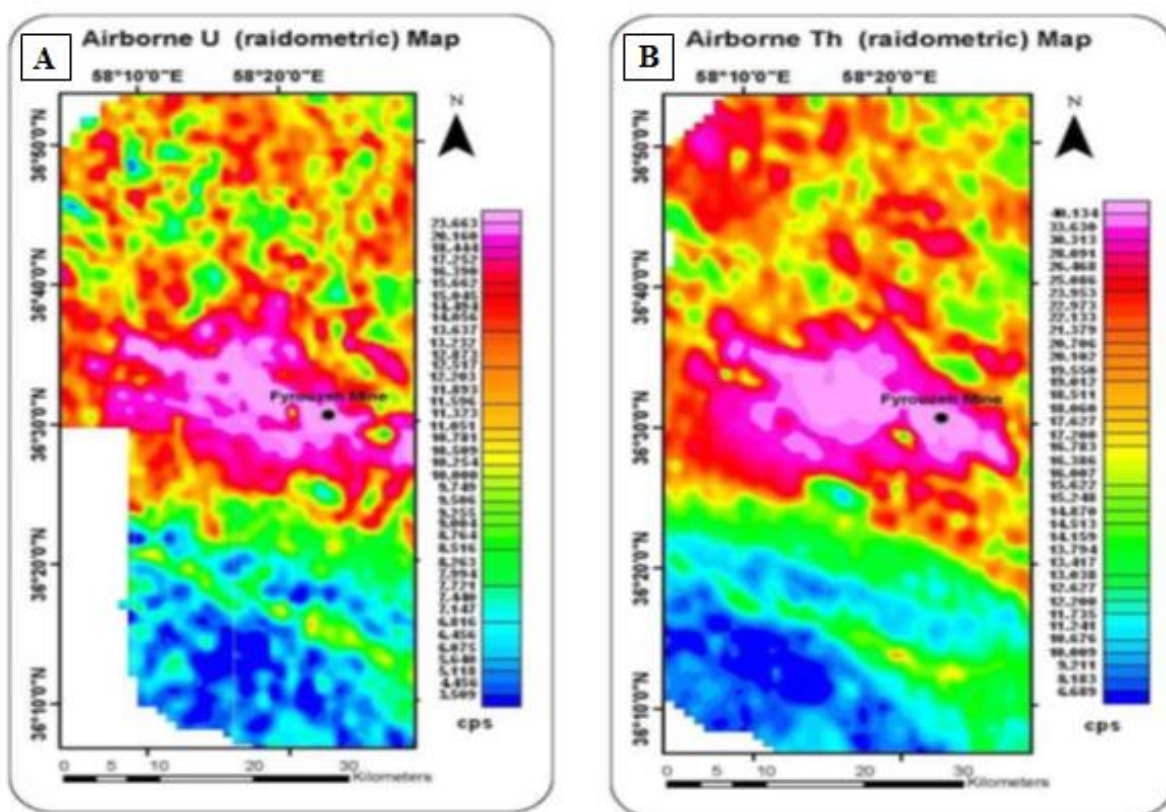
Fig. 2. Geological map of Nishapur Turquoise Mine area (Akrami and Askari, 2000; Malekzadeh Shafaroudi et al., 2010)

مشخصی بین دگرسانی کائولینیتی شدن و تشکیل فیروزه (Cu) وجود دارد. به این صورت که اسیدسولفوریک حاصل از تجزیه پیریت و کالکوپیریت که حاوی مقداری مس است، در اثر برخورد با آپاتیت های موجود در

کانی فیروزه در نتیجه عملکرد فرایندهای زمین شیمیایی زون اکسیدان کانسارهای مس که در شرایط خاص زمین شناسی قراردادشته باشند، تشکیل می شود. برای تشکیل فیروزه باید هم زمان چندین مرحله دگرسانی انجام شود. از لحاظ کانی زایی، ارتباط

بررسی های زمین شیمیایی در ناحیه معدنی، ناهنجاری های عناصر مس، طلا، روی، آرسنیک، مولیبدن، کبالت، اورانیوم، عناصر نادر خاکی سبک، نیوبوم و توریم را نشان می دهد. نتایج بررسی های ژئوفیزیک هوایی نیز ناهنجاری بالای مغناطیسی و رادیومتری (اورانیوم و توریم) را در کمربند آتشفشانی ائوسن میزبان معدن مشخص کرده است (شکل ۳-A و B) (Karimpour et al., 2012).

سنگ، تولید اسیدفسفریک و اسیدفلوئوریدریک کرده، اسیدفلوئوریدریک به دست آمده، باعث تجزیه فلدسپات های موجود شده و تولید Al_2O_3 می کند. در اثر انحلال Al_2O_3 در اسیدسولفوریک که حاوی مقداری سولفات مس و اسیدفسفریک است، محلول های حاوی فیروزه به دست می آید که در داخل حفره ها و شکاف های سطح مشترک بین سنگ رسوب کرده و یا جانشین فلدسپات ها می شود.



شکل ۳. نقشه رادیومتری A: اورانیوم و B: توریم در منطقه شمال غرب نیشابور (Karimpour et al., 2012)

Fig. 3. Radiometric maps of A: Uranium and B: thorium on northwest of Nishabour area (Karimpour et al., 2012)

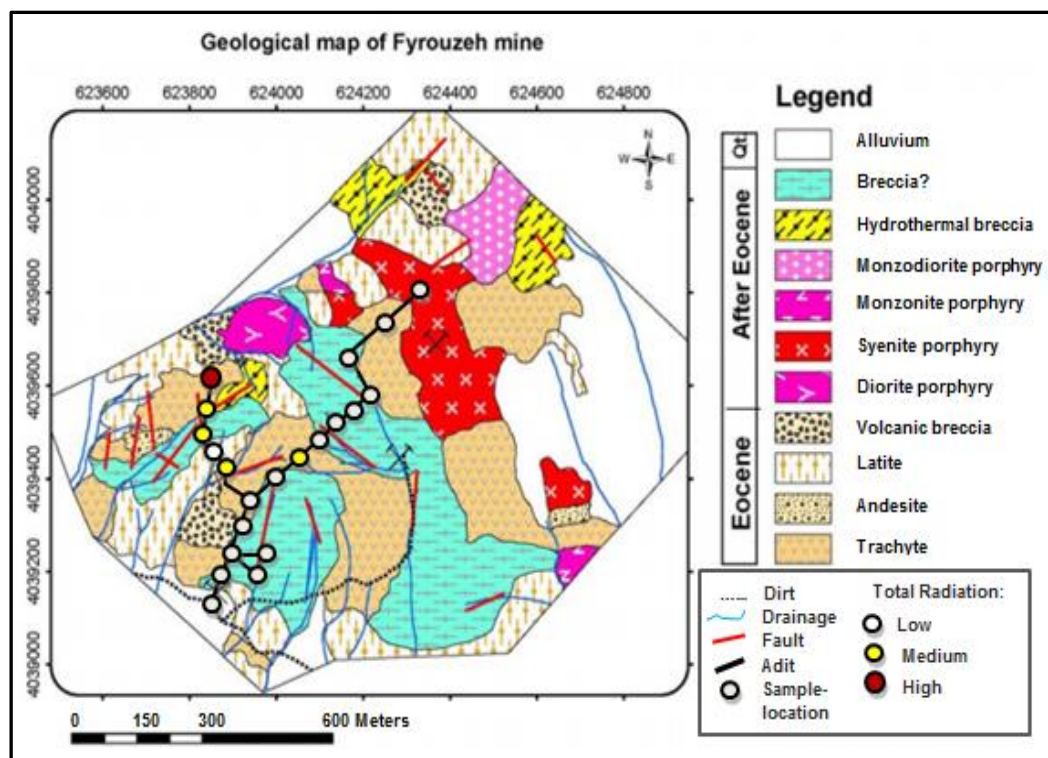
به غلظت عناصر پرتوزا در سنگ های منطقه بستگی دارد (Henriksen, 2013; Alomari et al., 2020). دو ناهنجاری بزرگ اورانیوم در شرق و غرب تونل اصلی معدن فیروزه معرفی شده است (Karimpour et al., 2012). همچنین در

پرتوزایی گاما در نمونه های زیر سطحی

پرتوهای گاما به علت قدرت نفوذ و برد بیشتر در هوا، مهم ترین نقش را در پرتوگیری خارجی انسان ایفا می کنند. میزان گامای حاصل از منابع زمینی بر حسب ساختار زمین شناسی متفاوت بوده و

برخی چاهک‌های حفرشده در این مناطق، کانی‌های اورانیوم گزارش شده است (Karimpour and Malekzadeh). لذا در ۲۰ نقطه داخل تونل‌های اصلی و فرعی معدن پرتوسنجی گاما انجام شد (شکل ۴ و جدول ۱).

برخی چاهک‌های حفرشده در این مناطق، کانی‌های اورانیوم گزارش شده است (Karimpour and Malekzadeh).



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی محدوده معدن فیروزه نیشابور (Karimpour et al., 2012) و موقعیت ایستگاه‌های پرتوسنجی در تونل‌های استخراجی

Fig. 4. Geological map of Neishabour turquoise mine (Karimpour et al., 2012) and location of radiometric stations on adit

۵-۵-۱). میانگین گامای گسیل یافته از تورنیوم (^{232}Th) در این نمونه‌ها ۱/۴cps است. بیشترین مقدار پرتوی گامای اندازه‌گیری شده مرتبط با تورنیوم، ۳/۱cps و کمترین مقدار ۱/۱cps است. بیشترین پرتوزایی مرتبط با تورنیوم نیز در انتهای تونل اصلی قرار دارد که در واحد سنگی تراکیت حفرشده است. کمترین پرتوزایی نیز در واحد آندزیت است. در خاک‌های اکسیدشده و زون‌های به شدت برشی و خردشده تونل‌ها نیز پرتوزایی مربوط به تورنیوم (^{232}Th) پایین است (جدول ۱ و شکل ۵-۵-۱). پرتوزایی تورنیوم در همه نمونه‌ها کمتر از اورانیوم است. اورانیوم در شرایط

زمین‌شناسی واحدهای سنگی در تونل‌ها بر اساس گزارش‌ها و نقشه‌های موجود در دفتر فنی معدن (Mafi and Naseriyan, 2008) مدنظر قرار گرفت. متوسط گامای گسیل یافته از اورانیوم (^{238}U) در نمونه‌ها ۵/۲cps است. بیشترین مقدار پرتوی گامای اندازه‌گیری شده مرتبط با اورانیوم، ۱۳/۲cps و کمترین مقدار ۲/۷cps است. بیشترین پرتوزایی مرتبط با اورانیوم در انتهای تونل اصلی قرار دارد که در واحد سنگی تراکیت حفرشده است. کمترین پرتوزایی مربوط به واحد آندزیت است. در برخی نمونه‌ها پرتوزایی واحد آندزیت در حد متوسط است (جدول ۱ و شکل

اکسیدان، عنصری متحرک است و از توریم که ترکیبات آن در آب نامحلول است، جدا می‌شود (Far, 1986). بنابراین، احتمالاً به مقدار بسیار کمتری به واحدهای سنگی انتقال یافته است.

جدول ۱. پرتوزایی گاما مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در واحدهای سنگی تونل‌های معدن فیروزه نیشابور

Table 1. Gama radioactivity of ^{238}U ، ^{232}Th ، and ^{40}K at rocks units of tunnels on Nyshabour Turquoise Mine

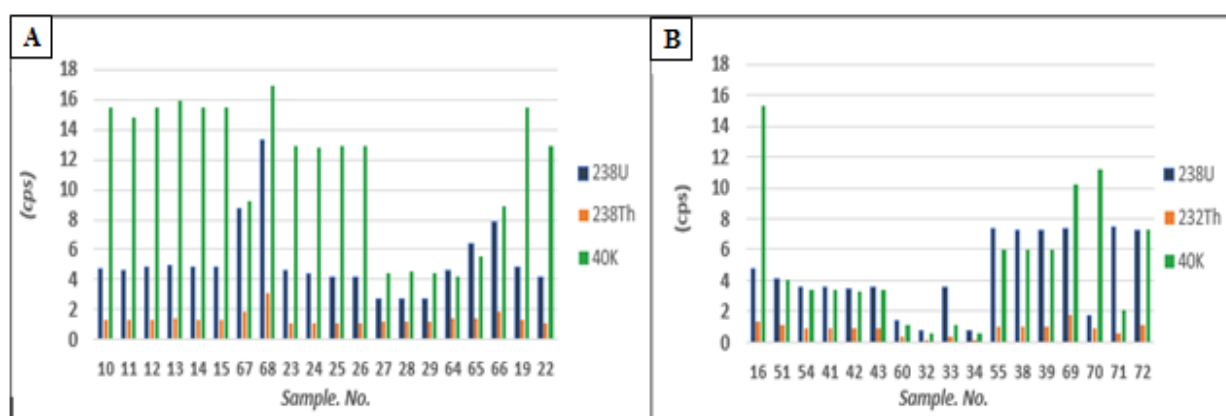
Sample No.	Local Situation	Rock type	^{238}U (CPS)	^{232}Th (CPS)	^{40}K (CPS)
10	Entrance of Main Tunnel (near the turquoise store)	Andesite	4.784	1.367	15.43
11	Main Tunnel (15 m. after entrance)	Trachyte- Andesite	4.596	1.367	14.83
12	First Intersection	Breccia	4.781	1.367	15.437
13	Stair Position	Andesite	4.932	1.409	15.914
14	First Shaft Position	Andesite	4.780	1.367	15.437
15	Main Tunnel (30 m. after entrance)	Andesite	4.780	1.368	15.450
67	Main Tunnel (173 m.) near intersection	Trachyte	8.773	1.925	9.171
68	36 m. after Second Shaft (end of tunnel No. 225)	Trachyte	13.287	3.090	16.933
23	Stair of T23 (Depth of 7.5 m.)	Trachyte- Andesite	4.583	1.101	12.855
24	Stair of T25 (Depth of 15 m.)	Trachyte	4.376	1.096	12.791
25	Depth of 20m. of water well	Breccia	4.172	1.105	12.898
26	Depth of 40m. of water well	Andesite	4.158	1.101	12.855
27	58m. after Tunnel.No.15	Andesite	2.702	1.234	4.454
28	Main Tunnel (36 m. after T.15) T18,	Andesite+ Fe- Oxides	2.720	1.234	4.572
29	Main Tunnel, near second Shaft	Breccia+ Soil	2.728	1.235	4.458
64	Main Tunnel (40m. after entrance)	Andesite+ Soil+Evaporites+ Salt	4. 611	1.448	4.255
65	Main Tunnel (83m. after entrance)	Andesite+ Soil+Evaporites + Salt	6.372	1.428	5.598
66	Main Tunnel (143m. after entrance)	Porphyritic Andesite	7.854	1.933	8.886
19	Inside of above Tunnel	Breccia	4.784	1.367	15.437
22	Entrance of Zak Tunnel	Porphyritic Syenite	4.158	1.101	12.855

کانی‌های واجد عناصر پرتوزا گزارش نشده است. تونل‌های معدن بیشترین حجم تردد و پرتوزایی را به خود اختصاص می‌دهد. بر اساس نقشه زمین‌شناسی تونل‌ها (Mafi and Naseriyan, 2008) نقاط منطبق بر واحد تراکیت، تراکی آندزیت و زون‌های خرد شده برشی پرتوزایی بالاتری دارند.

پرتوزایی گاما در رخنمون‌های سطحی

در ۱۷ نقطه پراکنده از رخنمون واحدهای سنگی منطقه پرتوسنجی گاما انجام شد. هدف این پژوهش، بررسی پرتوزایی کلی در منطقه بود؛ لذا ایستگاه‌های پرتوسنجی به صورت پراکنده انتخاب شد و اولوی به نواحی خاص نظیر زون‌های کانی‌سازی داده نشد. متوسط پرتوزایی گاما مرتبط با ^{238}U در این بخش ۴/۴ cps است. بیشترین و کمترین مقادیر پرتوزایی به ترتیب ۷/۵ cps و ۰/۷ cps است که مربوط به خاک‌های لیمونیتی شده اطراف دهانه تونل اصلی و واحد آبرفتی پوشاننده آندزیت است (جدول ۲ و شکل ۵-B). همانند تونل اصلی پرتوزایی مرتبط با توریم (^{232}Th) در رخنمون‌های سطحی نیز پایین تر است. متوسط پرتوزایی توریم در این نمونه‌ها ۰/۹ cps است.

در تونل‌های معدن فیروزه بیشترین پرتوزایی در ارتباط با پتاسیم (^{40}K) است. میانگین گامای گسیل یافته از پتاسیم (^{40}K) در نمونه‌های تونل‌ها ۱۱/۵ cps است. بیشترین مقدار پرتوی گامای اندازه‌گیری شده مرتبط با پتاسیم ۱۶/۹۳ cps و کمترین مقدار ۴/۳ است (جدول ۱ و شکل ۵-A). بیشترین پرتوزایی مرتبط با پتاسیم (^{40}K) نیز در انتهای تونل اصلی قرار دارد که در واحد سنگی تراکیت حفر شده است. همچنین در آندزیت و آندزیت پورفیری نیز، پرتوزایی ناشی از ^{40}K نسبتاً بالاست. خاک غنی از اکسید آهن (لیمونیت) و واحد بازالتی پرتوزایی کمتری دارند. مقادیر پرتوزایی پتاسیم (^{40}K) اندازه‌گیری شده در تونل‌های معدن به مراتب بیشتر از پرتوزایی پتاسیم (^{40}K) از سنگ‌های مشابه در محدوده معدن است. واحدهای سنگی معدن فیروزه دگرسانی- گرمایی شدیدی را متحمل شده‌اند و احتمالاً بالا بودن پرتوزایی پتاسیم (^{40}K) در واحدهای سنگی معدن در ارتباط با حضور هاله‌های دگرسانی گرمایی در نقاط مزبور است. با توجه به اینکه پرتوسنجی در کف تونل‌های معدن انجام شد و در مکان‌های مزبور رخنمون فیروزه موجود نبود، ارتباطی بین انواع فیروزه و پرتوزایی مشاهده نشد. در بررسی‌های کانی‌شناسی فیروزه نیشابور (Mansouri Gandomani et al., 2020)،



شکل ۵. A: نمودار پرتوزایی گاما مرتبط با ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K در نمونه‌های تونل‌های معدن فیروزه نیشابور و B: نمودار پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K در رخنمون واحدهای زمین‌شناسی منطقه معدن فیروزه نیشابور

Fig. 5. A: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K at tunnels on Nyshabour Turquoise mine, and B: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K at geological units on Nyshabour Turquoise mine area

معدن فیروزه و بر روی آبرفتی بنا شده که میزان پرتوزایی آن کمتر از سنگ‌های معدن است. اما انتقال این باطله‌ها به داخل روستا و رهاسازی آن باعث بالارفتن پرتوزایی گاما در منطقه می‌شود. از آنجایی که سنگ‌های تراکیتی میزان فیروزه، بالاترین پرتوزایی را به خود اختصاص داده‌اند، احتمالاً این باطله‌ها نیز می‌توانند به عنوان منشأ ثانویه پرتوزایی، سلامت اهالی روستا را تهدید کنند. لذا پرتوزایی این باطله‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت. متوسط پرتوزایی مرتبط با ^{238}U در باطله‌ها $5/00$ cps است. بیشترین پرتوزایی ($6/00$ cps) در باطله‌های محوطه روستای معدن بالا اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار پرتوزایی ($3/2$ cps) نیز در باطله‌های معدن دوم و معدن زاگ به دست آمد. همانند سایر بخش‌ها، پرتوزایی مرتبط با توریم (^{232}Th) در باطله‌ها نیز پایین است (شکل A-7 و جدول 2). متوسط پرتوزایی $1/00$ cps و بیشترین و کمترین مقادیر به ترتیب $0/8$ cps و $1/500$ cps است که در محوطه روستای معدن پایین و نواحی معدن دوم و معدن زاگ قرار دارند.

میانگین پرتوزایی پتاسیم (^{40}K) در این بخش $4/2$ cps است. بالاترین مقدار پرتوزایی در باطله‌های محوطه روستای معدن پایین اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار پرتوزایی مربوط به باطله‌های معدن زاگ و معدن دوم است. بیشترین مقدار پرتوزایی کل مربوط به باطله‌های روستای معدن بالا با پرتوزایی ($150/422$ cps) است. کمترین مقدار پرتوزایی گامای کل ($33/048$ cps) در باطله‌های مجاور درب تونل 2 اندازه‌گیری شد. متوسط پرتوزایی گاما در باطله‌های منطقه ($75/62$ cps) است. مقدار پرتوزایی توریم (^{232}Th) در همه نمونه کمتر از اورانیوم و پتاسیم است؛ اما مقدار پرتوزایی پتاسیم متغیر است. با توجه به این که باطله‌ها از نقاط مختلفی به روستا حمل می‌شوند و دارای جنس‌های مختلف هستند، پرتوزایی مواد تشکیل‌دهنده آن نیز متفاوت است (شکل A-7 و جدول 2).

بیشترین مقادیر مربوط به رخنمون‌های تراکیت ($1/8$ cps) و کمترین آنها در آبرفت‌های درشت‌دانه ($0/2$ cps) اندازه‌گیری شد. در خاک‌های غنی از اکسید آهن نواحی مختلف، آبرفت ریز دانه غنی از رس و رخنمون‌های تراکیت و مارن پرتوزایی بالاتر است. میانگین پرتوزایی پتاسیم (^{40}K) در این بخش $5/00$ cps است. بیشترین میزان پرتوزایی در رسوبات عهد حاضر منطقه ورودی اصلی معدن (احتمالاً دارای آغشتگی به باطله‌های استخراجی از تونل‌ها) اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار مربوط به واحد آندزیت است. در خاک‌های لیمونیتی، تراس‌های آبرفتی قدیمی اطراف روستا و واحد بازالت نیز پرتوزایی مرتبط با پتاسیم (^{40}K) پایین است (جدول 2 و شکل B-5). پرتوزایی گامای کل در یکی از آبراهه‌ها نیز نسبتاً بالا و به عنوان نقطه داغ محسوب می‌شود. در واحدهای سنگی شمال‌شرقی معدن، زون گوسان عملکرد شدیدی داشته و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن جاذب کاتیون‌های پرتوزا، طی فرسایش فیزیکی و شیمیایی در مسیر آبراهه بر جای مانده است. همچنین مقادیری از باطله‌های استخراجی نیز طی فرایندهای فرسایشی در این آبراهه پراکنده شده‌اند. سایر آبراهه‌های بررسی شده در زمین‌های آبرفتی واقع شده است و پرتوزایی اندکی دارند (جدول 2).

پرتوزایی در باطله‌های معدنی

باطله استخراجی معدن حاوی مقادیر اندکی فیروزه است. اهالی روستای معدن فیروزه برای جستجوی باقی‌مانده فیروزه، این باطله‌ها را خریداری و به نزدیک منازل خود انتقال می‌دهند (شکل A-6). بنابراین روزانه افراد زیادی که به طور مستقیم به عنوان شاغل معدن محسوب نمی‌شوند در این باطله‌ها مشغول کاوش فیروزه هستند. پس از کاوش و تفکیک فیروزه موجود در این باطله‌ها، باقی‌مانده سنگ‌ها به حال خود رها می‌شوند (شکل A-6). در محوطه روستاهای معدن بالا و پایین، دپوهای فراوان و متعددی از این باطله‌ها پراکنده شده است. روستای معدن در دشت



شکل ۶. A: موقعیت باطله‌های معدنی در محوطه روستای معدن بر روی تصویر هوایی و B: یکی از دپوهای باطله در روستای معدن

Fig. 6. A: Location of mine wastes at Madan Villages in Google earth image, and B: A mass of mine waste in the area of Madan village

است. شالوده این منازل آبرفت حاوی مارن است. ویژگی جذب سطحی رس و اکسیدهای آهن موجود در آبرفت و مارن، باعث تجمع اورانیوم، توریوم و پتاسیم شده و استفاده از آنها به عنوان مصالح ساختمانی باعث تشدید پرتوزایی توریوم در منازل مسکونی روستا شده است.

پرتوزایی در منابع آبی

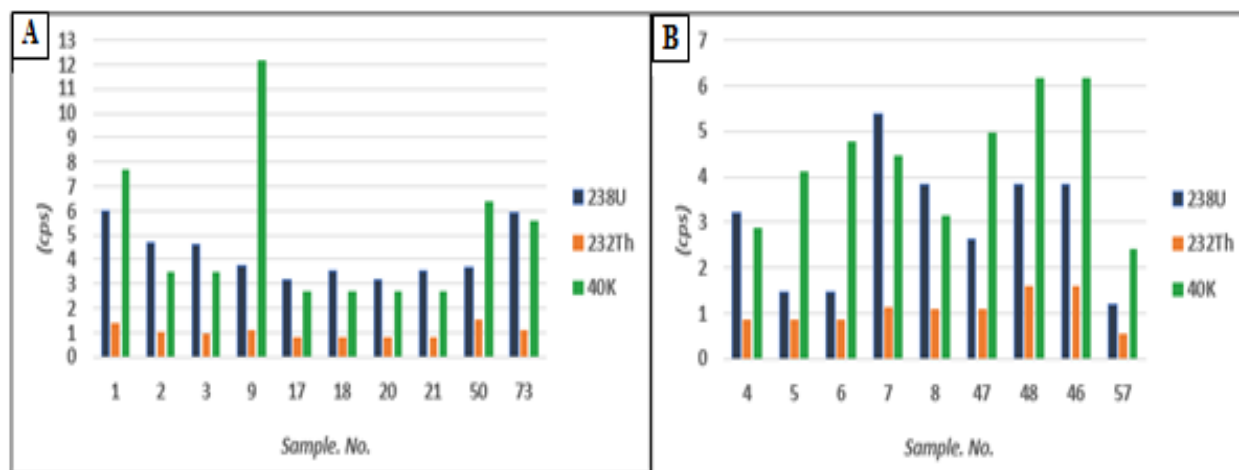
دو روستای معدن بالا و معدن پایین در جنوب معدن فیروزه قرار گرفته و تمام کارکنان معدن، ساکنان این روستاها هستند. آب آشامیدنی و کشاورزی دو روستا از زه کش تونل‌های معدن، دو رشته قنات و چند رشته چشمه تأمین می‌شود. در این آب‌ها پرتوزایی آلفای مرتبط با ^{222}Rn که خود حاصل واپاشی ^{238}U است، گزارش شده است (Binesh and Mowlavi, 2010; Mowlavi and Binesh, 2012; Fahim, 2015; Mazloumi Bajestani and Fahim, 2016). همچنین دپوهای باطله با آزادسازی عناصر زیان‌آور و سمی به درون سامانه آب‌شناختی منطقه می‌تواند آثار نامطلوبی بر محیط زیست ناحیه داشته باشد. به این منظور، در منابع مختلف آب منطقه نیز پرتوسنجی گاما انجام شد (شکل ۸-A و B). بیشترین پرتوزایی

پرتوزایی در منازل مسکونی

چنان که مشخص شد در آبرفت‌های ریزدانه غنی از رس، واحدهای مارنی و تراکیت‌ها پرتوزایی بالاتر است. ساکنان روستای معدن از این مواد به عنوان مصالح ساختمانی در ساخت و سازها استفاده می‌کنند. با توجه به اینکه بافت منازل و اماکن عمومی در روستا اغلب سنتی و بر پایه مصالح خاک رس و سنگ محلی ساخته شده است، این احتمال وجود دارد که مکان‌های مسکونی نیز به عنوان منشأ ثانویه پرتوزایی، سلامت اهالی روستا را تهدید کند. لذا عملیات پرتوسنجی در ۹ باب از این فضاها انجام شد (جدول ۲). متوسط پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U در اماکن مسکونی نسبتاً بالا $3/00$ cps است. بیشترین مقادیر در موقعیت‌های ۷ و ۸ مشاهده شد. موقعیت ۷، منزل مسکونی و جنس کف و دیواره، خاک رس و گچ و موقعیت ۸، انبار علفه ساخته شده با خاک رس است. پرتوزایی گامای مرتبط با ^{232}Th در موقعیت‌های ۴۶ و ۴۸ بیش از متوسط ^{232}Th است (شکل ۷-B و جدول ۲). پرتوزایی گامای مرتبط با ^{40}K در موقعیت ۴۶ و ۴۸ نیز بالاست. موقعیت ۴۸، منزل مسکونی و جنس دیواره و کف از خاک رس و گچ و موقعیت ۴۶، انبار منزل مسکونی ساخته شده با خاک رس

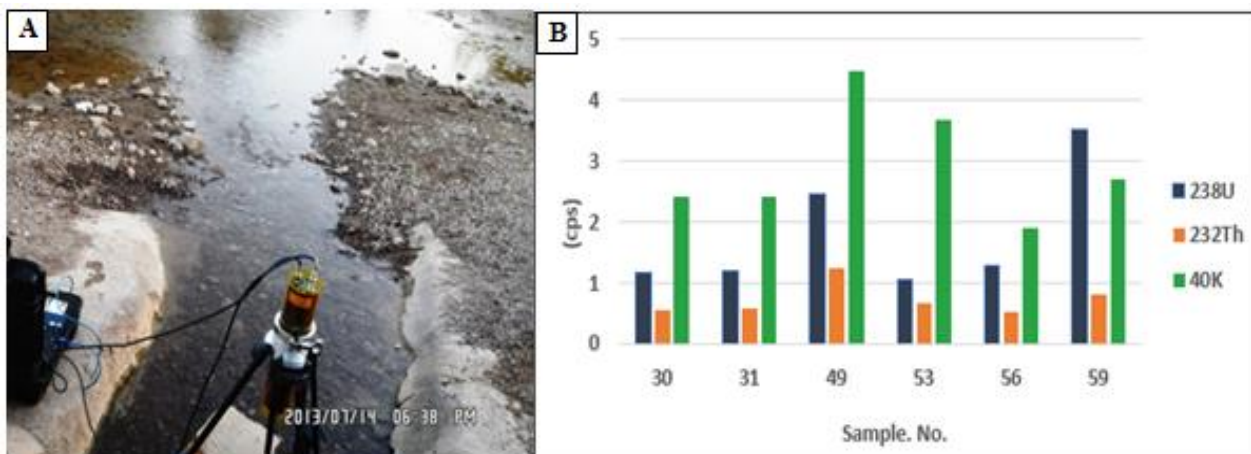
معدن پایین مشاهده شد (شکل ۸ و جدول ۲). این چشمه در واحد مارن قرار دارد و احتمالاً منشأ پرتوزایی مرتبط با پتاسیم واحد سنگی مزبور است.

گامای مرتبط با اورانیوم (^{238}U) در قنات روستای معدن بالا مشاهده شد. پرتوزایی گامای مرتبط با توریوم (^{232}Th) در تمام منابع آبی نسبتاً پایین است؛ اما پرتوزایی گامای مرتبط با پتاسیم (^{40}K) نسبتاً بالاست. بیشترین مقدار پرتوزایی در چشمه روستای



شکل ۷. A: نمودار پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در باطله‌های معدنی منطقه معدن فیروزه نیشابور و B: نمودار پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در اماکن مسکونی و عمومی روستای معدن

Fig. 7. A: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K at mine wastes on Nyshabour Turquoise mine area, and B: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K of houses at Madan village



شکل ۸. A: پرتوسنجی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در یکی از قنات‌های منطقه معدن فیروزه نیشابور و B: نمودار پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در منابع آبی منطقه معدن فیروزه نیشابور

Fig. 8. A: Gamma spectroscopy of ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K at a Qanat on Nyshabour Turquoise mine area, and B: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K at water resources of Nyshabour Turquoise mine area

جدول ۲. پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌های سطحی، منازل مسکونی و منابع آب منطقه معدن فیروزه نیشابور

Table 2. Gama radioactivity of ^{238}U ، ^{232}Th and ^{40}K in ground sample, habitation and water resources of Nyshabour Turquoise Mine area

Sample No.	Location		Rock type or type of Samples	^{238}U (CPS)	^{232}Th (CPS)	^{40}K (CPS)
	X	Y				
16	623842	4039126	Coarse grain sediments	4.75	1.3596	15.348
51	626829	4038456	Basalt- Andesite	4.124	1.0926	4.0488
54	623913	4038640	soil (Fe Oxide Rich)	3.570	0.8908	3.365
41	624520	4038624	Trachyte- Andesite	3.56	0.8894	3.3594
42	624555	4038607	Andesite (Mt. Content)	3.49	0.8712	3.291
43	625114	4038448	Soil	3.57	0.8908	3.365
60	634807	4034202	Gypsum, Halite	1.36	0.317	1.0726
32	623574	4039305	Andesite	0.714	0.1664	0.5629
33	624555	4038607	Basalt- Andesite	3.612	0.317	1.0726
34	623548	4039264	Alluvium	0.718	0.1672	0.5657
55	624699	4038730	Marl	7.325	1.0333	6.005
38	623772	4038916	Trachyte	7.232	1.0333	6.005
39	624303	4038546	soil (Fe Oxide Rich)	7.220	1.0316	5.995
69	623871	4039161	Trachyte	7.303	1.7569	10.214
70	623534	4039252	Trachyte	1.68	0.9083	11.199
71	624978	4038449	Limonite	7.51	0.6042	2.0958
72	624751	4038701	Marl, Sand Dune	7.188	1.1422	7.3188
37	636373	4039257	Stream Sediment	1.325	0.6348	2.6989
40	624266	4038638	Stream Sediment	1.188	0.5692	2.42
44	626789	4038435	Stream Sediment	1.391	0.6318	2.6864
52	626546	4038580	Stream Sediment	1.147	0.4709	1.7998
58	626054	4038696	Stream Sediment	3.605	0.9883	3.785
1	625736	4038629	Mining Waste (Rock)	5.99	1.3967	7.7
2	625694	4038629	Mining Waste (Rock)	4.673	0.9987	3.51
3	625289	4038389	Mining Waste (Rock)	4.607	0.992	3.50

ادامه جدول ۲. پرتوزایی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در نمونه‌های سطحی، منازل مسکونی و منابع آب منطقه معدن فیروزه نیشابور

Table 2 (Continued). Gama radioactivity of ^{238}U ، ^{232}Th and ^{40}K in ground sample, habitation and water resources of Nyshabour Turquoise Mine area

Sample No.	Location		Rock type or type of Samples	^{238}U (CPS)	^{232}Th (CPS)	^{40}K (CPS)
	X	Y				
9	626350	4038694	Mining Waste (Rock)	3.7671	1.0768	12.15
17	623833	4039123	Mining Waste (Rock)	3.191	0.8083	2.70
18	624296	4039453	Mining Waste (Rock)	3.5	0.8056	2.69
20	624377	4039315	Mining Waste (Rock)	3.162	0.8077	2.69
21	624564	4039663	Mining Waste (Rock)	3.5162	0.8077	2.69
50	626974	4037895	Mining Waste (Rock)	3.6558	1.5058	6.38
73	626202	4037368	Mining Waste (Rock)	5.8842	1.125	5.62
30	623863	4039149	Water (Mine Drainage)	1.1775	0.564	2.398
31	623906	4039199	Drinking water	1.1883	0.5692	2.42
49	626727	4037738	Water (Spring)	2.443	1.2422	4.4845
53	625559	4038349	Water (Aqueduct)	1.0481	0.6747	3.6855
56	626801	4038693	Water (Aqueduct)	1.2842	0.535	1.8842
59	625869	4037177	Water (Aqueduct)	3.5192	0.8083	2.7017
4	636000	4038434	Mosque (Alluvium)	3.1975	0.851	2.86
5	625887	4038188	House (Clay materials)	1.462	0.866	4.11
6	625951	4038232	House (Clay materials)	1.456	0.868	4.78
7	625906	4038472	House (Clay materials)	5.3907	1.12	4.469
8	625908	4038472	House (Clay materials)	3.8273	1.094	3.135
47	626275	4038748	House (Clay materials)	2.6158	1.085	4.962
48	626524	4037664	House (Clay materials)	3.8342	1.592	6.185
46	626335	4037488	House (Clay materials)	3.8342	1.602	6.181
57	626001	4038393	Mosque (Alluvium)	1.1864	0.568	2.412

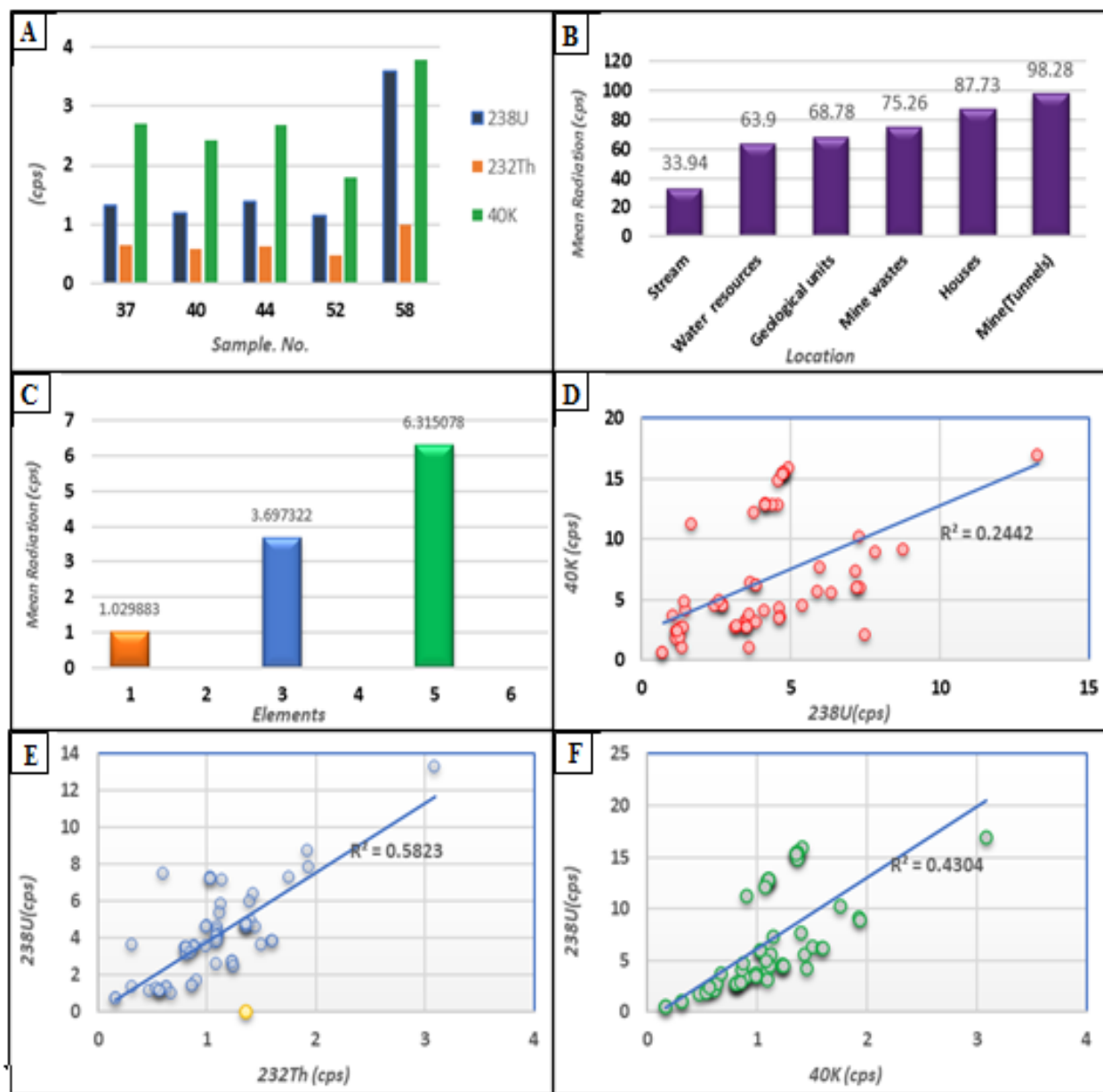
پرتوزایی گامای کل در منطقه معدن فیروزه

برای محاسبه پرتوزایی گامای کل، اطلاعات ۶۹ نمونه مورد استفاده قرار گرفت. میانگین پرتوزایی گامای کل مرتبط با سه عنصر ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در منطقه معدن فیروزه ۷۶/۷۸ cps است. بیشترین میانگین پرتوزایی گامای کل مربوط به تونل‌های معدن (۹۸/۲۸۳ cps) و کمترین مقدار مربوط به آبراهه‌های منطقه (۳۳/۹۴ cps) است (شکل ۹-A و B). عنصر پتاسیم (^{40}K) حدود ۷۵/۲۵ درصد از کل پرتوزایی طبیعی گاما را به خود اختصاص داده است (شکل ۹-C). عناصر اورانیوم (^{238}U) و توریوم (^{232}Th) به ترتیب در ۳۳/۵ و ۹/۲۵ درصد از کل پرتوزایی گامای طبیعی منطقه سهم هستند. پرتوزایی گامای کل در تونل‌های معدن معادل ۲۳ درصد، منازل و فضاهای پوشیده ۲۰/۷۵ درصد، باطله‌های معدنی رها شده ۱۸ درصد، رخنمون واحدهای زمین‌شناسی ۱۶ درصد، آب‌های سطحی و زیرزمینی ۱۴/۲۵ درصد و رسوبات آبراهه‌ای ۸ درصد از کل پرتوزایی گامای طبیعی اندازه‌گیری شده در منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین پرتوزایی گامای کل اندازه‌گیری شده در انتهای تونل اصلی معدن (۳۴۴/۷۴ cps) و کمترین گامای کل مربوط به نقطه‌ای در روستای معدن‌پایین (۱۰/۱۰ cps) است. در بین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه بیشترین پرتوزایی گامای کل در واحد سنگی تراکیت ثبت شد. بنابراین می‌توان سنگ‌های تراکیتی را مهم‌ترین منشأ پرتوزایی طبیعی منطقه دانست. همبستگی مثبت و مشخصی بین پرتوزایی عناصر مورد نظر در این پژوهش مشاهده شد (شکل ۹-D، E، F). لذا می‌توان منشأ واحدی برای آنها در نظر گرفت.

مخاطرات زیست‌محیطی

عبور پرتوهای یونی از بافت‌های بیولوژیکی باعث آسیب رساندن به آنها می‌شود؛ اما علائم آسیب ممکن است تا مدت‌ها بروز نکند. شیوع و شدت بیماری‌های ریوی بین معدن کاران به عامل‌های مختلفی از جمله نوع کار، میزان مواجهه با گرد و غبار، مدت مواجهه، بیماری‌های زمینه‌ای کارگران، عوامل محیطی و سبک

زندگی بستگی دارد (Selinus et al., 2005). نتایج بررسی در معدن کاران فیروزه نشان می‌دهد که هرچند شاغلان معدن به صورت طولانی مدت در معرض گرد و غبار سیلیس هستند؛ ولی شایع‌ترین بیماری‌های ریوی مرتبط با شغل در بین کارگران معدن، بیماری‌های انسدادی ریوی (آسم، برونشیت و ...) است. بیماری سیلیکوسیس در معدن کاران فعلی شیوع ندارد؛ اما عمده مبتلایان در شاغلان بازنشسته با میانگین سابقه کاری حدود ۳۰ سال است. شایع‌ترین علایم بالینی در شاغلان به ترتیب تنگی نفس فعالیت، سرفه، خلط و سپس ویز در سمع ریه است که می‌تواند شاهدهی بر شیوع بیشتر بیماری‌های انسدادی ریوی باشد (Majdy et al., 2009). در معدن فیروزه بررسی‌های دزیمتری صورت‌نگرفته و دوز مؤثر دریافتی ساکنان منطقه تعیین نشده است. علاوه بر این، آمار دقیقی از مبتلایان به سرطان در دست نیست؛ زیرا بیماران مبتلا به مشهد ارجاع‌داده می‌شوند. با توجه به آمار موجود تعداد مبتلایان به سرطان‌های دستگاه گوارش خیلی بالاتر از سایر سرطان‌ها ثبت شده است و پس از آن، سرطان دستگاه تنفس از نسبت بالایی برخوردار است. متوسط تعداد فوت‌شدگان سرطانی در روستای فیروزه بیش از متوسط روستاهای شهرستان نیشابور است. در ایجاد سرطان عوامل مختلفی تأثیر دارد؛ اما با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه، وجود ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در سازندهای زمین‌شناسی منطقه و گزارش حضور گاز رادون در آب و هوای منطقه (Binesh and Mowlavi, 2010; Mowlavi and Binesh, 2012; Mohammad Jafari et al., 2020)، پرتوزایی ناشی از آنها را می‌توان عامل مؤثر در ابتلا به سرطان دانست. پرتوزایی گامای کل در تونل‌های معدن بیش از سایر نقاط است. مناطق منطبق بر واحد تراکیت، تراکی آندزیت و زون‌های خرد شده گسلی، پرتوزایی بیشتری دارند. در بین مناطقی که مورد پرتوسنجی قرار گرفتند، چاه دوم تونل اصلی و نواحی مجاور آن، پرتوزایی بالاتری دارند. لذا شایسته است برای کارکنانی که مدت زمان بیشتری در تونل‌ها تردد و توقف دارند تمهیدات بهداشتی نظیر اسفاده از دزیمتر در نظر گرفته شود.



شکل ۹. A: پرتوسنجی گامای مرتبط با ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در رسوبات آبراهه‌ای منطقه معدن فیروزه نیشابور، B: میانگین پرتوزایی گامای کل ناشی از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در بخش‌های مختلف معدن فیروزه نیشابور، C: سهم هریک از عناصر مورد بررسی در پرتوزایی گامای کل منطقه معدن فیروزه نیشابور، D: همبستگی بین پرتوزایی گامای کل ^{238}U با ^{40}K در منطقه معدن فیروزه نیشابور، E: همبستگی بین پرتوزایی گامای کل ^{238}U با ^{232}Th در منطقه معدن فیروزه نیشابور، F: همبستگی بین پرتوزایی گامای کل ^{232}Th با ^{40}K در منطقه معدن فیروزه نیشابور

Fig. 9. A: Gamma radioactivity diagram associated with ^{238}U ، ^{232}Th ، ^{40}K at stream sediments of Nyshabour Turquoise mine area, B: Mean of total gamma radioactivity associated with the ^{238}U ، ^{232}Th ، and ^{40}K on different parts of study area, C: The share of each of these elements at total radioactivity on Neyshabur Turquoise Mine area, D: Correlation charts of total gamma radioactivity between ^{238}U with ^{40}K on Neyshabur Turquoise Mine area, E: Correlation charts of total gamma radioactivity between ^{238}U with ^{232}Th on Neyshabur Turquoise Mine area, and F: Correlation charts of total gamma radioactivity between ^{232}Th with ^{40}K on Neyshabur Turquoise Mine area

نتیجه گیری

در این پژوهش، پرتوزایی گاما و آلفای حاصل از ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K در منطقه معدن فیروزه نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. پرتوزایی گاما در این منطقه نسبتاً بالاست و در دراز مدت برای سلامت ساکنان منطقه خطرناک است. بیشترین پرتوزایی گاما مربوط به واحد سنگی تراکیت است. بیشترین پرتوهای گامای دریافتی کارگران و ساکنان منطقه به ترتیب در تونل‌های معدن، منازل ساخته شده با مصالح ساختمانی محلی، باطله‌های معدنی و تشکیلات زمین‌شناسی تعیین شد. در بین عناصر پرتوزای بررسی شده، پتاسیم (^{40}K) با ۵۷/۲۵ درصد، بیشترین سهم را در گسیل پرتوهای گامای کل دارد. اورانیوم (^{238}U) با ۳۳/۵ درصد و تورיום (^{232}Th) با ۹/۲۵ درصد در درجه‌های بعدی اهمیت قرار دارند. در بین واحدهای سنگ‌شناسی منطقه بالاترین پرتوزایی گامای کل مربوط به واحد سنگی تراکیت است. کمترین پرتوزایی در آندزیت‌ها و آبرفت‌های درشت‌دانه مشاهده شد.

بنابراین می‌توان سنگ‌های تراکیتی را مهم‌ترین منشأ پرتوزایی طبیعی منطقه دانست. همبستگی مثبت و مشخصی بین پرتوزایی عناصر ^{238}U ، ^{232}Th و ^{40}K مشاهده می‌شود و منشأ واحدی نیز دارند. بیماری‌های شغلی نظیر سیلیکوسیس و انواع سرطان‌ها در افراد بازنشسته و سال‌خورده فراوانی بیشتری دارد. تعداد مبتلایان به سرطان‌های دستگاه گوارش و دستگاه تنفس از مقدار نسبتاً بالایی برخوردار هستند. متوسط تعداد فوت‌شدگان سرطانی در روستای فیروزه بیش از متوسط روستاهای شهرستان نیشابور است. در ایجاد سرطان عوامل مختلفی تأثیر دارد؛ اما پرتوزایی طبیعی منطقه را نیز می‌توان عاملی مؤثر در ابتلا به سرطان دانست. استفاده کنترل‌شده از مصالح ساختمانی محلی، دور کردن باطله‌های معدنی کاوش شده از محوطه روستا، تهویه کافی در تونل‌های معدن و استفاده کارگران معدن از دزیمتر از جمله راه‌های کاهش خطرهای مرتبط با پرتوزایی گاما در منطقه معدنی است.

References

- Abdi, M.R., Kamali, M. and Vaezifar, S., 2008. Distribution of radioactive pollution of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in northwestern coasts of Persian Gulf, Iran. *Marine Pollution Bulletin*, 56(4): 751–757. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.12.010>
- Akrami, M. and Askari, A., 2000. Geological map of Soltan abad, Scale 1/100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Alomari, A.H., Saleh, M.A., Hashim, S., Alsayaheen, A., Abdeldin I. and Abukashabeh, A., 2020. ^{238}U and ^{232}Th isotopes in groundwater of Jordan: Geological influence, water chemistry, and health impact. *Radiation Physics and Chemistry*, 170: 108660. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108660>
- Amini, B. and Kannazar, N., 2000. Geological map of Shamkan Scale 1/100000. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.
- Awudu, A.R., Darko, E.O., Schandor, F.C., Hayford, E.K., Abekoe, M.K. and Ofori-Danson, P.K., 2010. Determination of Activity Concentration Levels of ^{238}U , ^{232}Th , and ^{40}K in Drinking Water in a Gold Mine in Ghana. *Health Physics*, 99(2): 149–153. <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181d580ae>
- Bauman, A., Spies, O. and Lensch, G., 1983. Strontium isotopic composition of post-ophiolitic tertiary volcanics between Kashmar, Sabzevar and Quchan NE Iran, In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, report No. 51, pp. 267–276.
- Binesh, A. and Mowlavi, A., 2010. Radon Concentration Measurement in the Some Water and Air of Mine in Nyshabour Region at Iran. *Archives of Applied Science Research*, 2(1): 143–146. Retrieved may 08, 2021 from <https://www.scholarsresearchlibrary.com/articles/radon-concentration-measurement-in-the-some-water-and-air-of-mine-in-nishabour-region-at-iran.pdf>
- Bunzl, K., Kretner, R., Szeles, M. and Winkler, R., 1994. Transect survey of ^{238}U , ^{228}Ra , ^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{137}Cs and ^{40}K in an agricultural soil near an exhaust ventilating shaft of a uranium mine. *The Science of the Total Environment*, 149(3): 225–232. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90181-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90181-3)
- Delacroix, D., Guerre, J.P., Leblanc, P. and Hickman, C., 2002. Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002. Radiation Protection Dosimetry, 98(1): 1–168. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.rpd.a006705>
- Dragovic, S., Mihailovic, N. and Gajic, B., 2010. Quantification of transfer of ^{238}U , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{137}Cs in mosses of a semi-natural ecosystem. *Journal of Environmental Radioactivity*, 101(2): 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.09.011>
- Esfandiarpour, A., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Haydariyan Shahri, M.R., 2011a. Mineralization and geochemical exploration (Stream sediment) on second tunnel prospect area at Nyshabour Turquoise mine. Second conference of Iranian Society of Economic Geology, Lorestan University, Khorram abad, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=201112>
- Esfandiarpour, A., Malekzadeh Shafaroudi A., Haydariyan Shahri, M.R., 2011b. Petrography, Altration and magnetic susceptibility of igneous units on Turquoise mine (Second tunnel prospect area) northwest of Nyshabour. Second conference of Iranian Society of Economic Geology, Lorestan University, Khorram abad, Iran, (in Persian with English abstract), Retrieved April 22, 2021 from <https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?ID=201111>
- Eslami, S., Rahimi, B. and Malekzadeh Shafaroodi, A., 2012. Linements mapping of Fyrouzeh mining area of Neyshabour using satellite imagery and their relation to mineralization. 4th conference of Iranian society of Economic Geology, Birjand University, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved April 22, 2021 from <https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=60035>
- Fahim, A., 2015. Distribution of radioactive elements of ^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K and ^{222}Rn on Nyshabur Turquoise Mine and its environmental Impacts. M.Sc. Thesies, Payame Noor University of Mashhad, Mashhad, Iran, 175 pp. (in Persian with English abstract)

- Far, G., (translated by Valizadeh, M.V., Ghasemi, H., Naraghi, N. and Sadeghian, M.) 1986. Principles of Isotope geology. Shahrood University press, Shahrood, 836 pp. (in Persian)
- Ghiasvand, A., Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A. and Haidarian Shahri, M.R., 2019. Alteration, mineralization, geochemistry and fluid inclusion study of the Firouzeh mine, NW Neyshabour. *Journal of Economic Geology*, 10(2): 325–354. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V10I2.62579>
- Henriksen, T., 2013. Radiation and Health. Taylor & Francis, New York. 301 pp.
- Ibrahim, N., 1999. Natural activities of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in building materials. *Journal of Environmental Radioactivity*, 43(3): 255–258.
[https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(98\)00033-2](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(98)00033-2)
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2002. Protection of the Environment from Ionising Radiation. International Atomic Energy Agency, Austria. 432 pp. Retrieved April 22, 2021 from <https://www.iaea.org/publications/6862/protection-of-the-environment-from-ionising-radiation>
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2003. Guidelines for Radioelement Mapping Using Gamma ray Spectrometry Data. International Atomic Energy Agency, Austria. 173 pp. Retrieved April 22, 2021 from https://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/te_1363_web.pdf
- Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2013. Geochemistry of stream sediments, waters and Uranium and Thorium anomalies on Nyshabour turquoise mine and its environmental impacts in the lives of rural areas. *Iranian Journal of Mineralogy and Crystallography*, 21(1): 3–18. (in Persian with English abstract) Retrieved April 22, 2021 from <http://ijcm.ir/article-1-326-fa.pdf>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Esphandiarpour, A. and Mohammad Nejad H., 2012. Neyshabour turquoise mine: the first Iron Oxide Cu-Au-U-LREE (IOCG) mineralized system in Iran. *Journal of Economic Geology*, 2(3): 193–216. (in Persian with English abstract)
<https://doi.org/10.22067/ECONG.V3I2.11420>
- La Verde, G., Raulo, A., Avino, V.D., Roca, V. and Pugliese M., 2020. Radioactivity content in natural stones used as building materials in Puglia region analysed by high resolution gamma-ray spectroscopy: Preliminary results. *Construction and Building Materials* 239: 117668.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117668>
- Lottermoser, B.G., 2010. Mine Wastes, characterization, Treatment, Environmental Impacts. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 304 pp.
- Louw, I., 2020. Potential radiological impact of the phosphate industry in South Africa on the public and the environment. *Journal of Environmental Radioactivity* 217: 106214.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106214>
- Mafi, A. and Naserian, Z., 2007. Characteristics of Neyshabour Turquoise mine, unpublished report of Neyshabour Firoozeh Rural Cooperative, Neyshabour, Iran 16 pp.
- Majdy, M.R., Rafii Manesh, A., Ehteshamfar, M., Fahoul, M.J. and Masoudi, S., 2009. An Investigation of Occupational lung diseases in Nyshabour Turquoise miners. *Iran Occupational Health Journal*, 6(2): 31–38. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <http://ioh.iums.ac.ir/article-1-176-fa.pdf>
- Malekzadeh Shafaroudi, A. and Karimpour, M.H., 2010. Enhancing of alteration zones in northwestern Nyshabour by using Spectral Angle Mapper method in ASTER image processing. First conference of Iranian Society of Economic Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1017232.pdf>
- Mansouri Gandomani E., Rashidnejad-Omran N., Emamjomeh A., Vignola P., Hashemzadeh T., 2020. Electron microprobe study of turquoise-group solid solutions in the Neyshabour and Meydook mines. northeast and southern Iran. *The Canadian Mineralogist*, 58(1): 71–83.
<https://doi.org/10.3749/canmin.1900004>
- Mazloumi Bajestani, A.R. and Fahim, A., 2016. Investigation of Source of Radiation of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K on Neyshabour Turquoise Mine and its environmental impacts. 8th conference of Iranian society of Economic Geology, Zanjan University, Zanjan, Iran. (in Persian with English abstract)

- Mekongtso Nguem, E.J., Moyo Ndontchueng, M., Motapon, O., 2016. Determination of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{235}U and ^{238}U activity concentration and public dose assessment in soil samples from bauxite core deposits in Western Cameroon. SpringerPlus, 5: 1253. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2895-9>
- Mohammad Jafari, F., Kardani, H. and Bahmani, J., 2020. Concentration and Annual Effective Dose of Radon in the Neyshabur Turquoise Mine. Iran South Medicine Journal; 23(1): 48–55. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <https://ismj.bpums.ac.ir/article-1-1242-en.pdf>
- Mohammad Nejad, H., Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2011a. Mineralization and geochemical exploration (Stream sediment) on Neyshabour Turquoise mine (Zak tunnel prospect area). Second conference of Iranian Society of Economic Geology, Lorestan University, Khorram abad, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1022656.html>
- Mohammad Nejad, H., Karimpour, M.H. and Malekzadeh Shafaroudi, A., 2011b. Geology, Alteration and magnetic susceptibility of intrusive bodies of Neyshabour Turquoise mine (Zak tunnel prospect area). Second conference of Iranian Society of Economic Geology, Lorestan University, Khorram abad, Iran. (in Persian with English abstract) Retrieved may 08, 2021 from <https://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1022657.html>
- Mowlavi, A. and Binesh, A., 2012. Effective dose rate evaluation from radon in the air and water samples of Neyshabur turquoise mine. Elixir Pollution 52: 11488–11489. Retrieved may 08, 2021 from [https://www.elixirpublishers.com/articles/1352982356_52%20\(2012\)%2011488-11489.pdf](https://www.elixirpublishers.com/articles/1352982356_52%20(2012)%2011488-11489.pdf)
- Nguem, E.J.M., Ndontchueng, M.M., Motapon, O., Darko, E.O. and Simo, A., 2016. Determination of ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K and ^{235}U in soil samples from bauxite core deposits in western Cameroon. Radioprotection, 51(3): 199–205. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2016029>
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2014. Managing Environmental and Health Impacts of Uranium Mining. Nuclear Energy Agency, Organization for Economic Co-operation and Development, Paris, 139 pp. <https://doi.org/10.1787/9789264216044-en>
- Papadopoulos, A., Christofides, G., Koroneos, A., Papastefanou, C. and Stoulos, S., 2014. Distribution of ^{238}U , ^{232}Th and ^{40}K in plutonic rocks of Greece, Chemie der Erde, 74(4): 749–764. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMER.2014.04.009>
- Ray, L., Frost, B., Jagannadha, R., Wayde, N., Martens, W.N. and Weier, M., 2006. The molecular structure of the phosphate mineral turquoise—a Raman spectroscopic study. Journal of Molecular Structure, 788(1–3): 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2005.12.003>
- Selinus, O., Alloway, B.J., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. and Smedley, P., 2005. Essentials of Medical Geology. Elsevier Academic Press, USA, 812 pp.
- Shabanian, E., Bellier, O., Siame, L., Arnaud, N., Abbassi, M.R., and Cocheme, J.J., 2009. New tectonic configuration in NE Iran: Active strike-slip faulting between the Kopeh Dagh and Binalud mountains. Tectonics, 28(5): 1–29. <https://doi.org/10.1029/2008TC002444>
- Spies, O., Lensch, G. and Mihem, A., 1983. Geochemistry of the postophiolitic Tertiary volcanism between Sabzevar and Quchan (NE Iran). In: Geodynamic project (geotraverse) in Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Iran, report No. 51, PP. 246–247.
- Wang, X., Feng, Q., Sun, R. and Liu, G., 2015. Radioactivity of Natural Nuclides (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. Minerals, 5(4): 637–646. <https://doi.org/10.3390/min5040513>
- Zytoon, M.A., Aburas, H.M. and Abdulsalam, M.I., 2014. Determination of ^{40}K , ^{232}Th and ^{238}U activity concentrations in ambient $\text{PM}_{2.5}$ aerosols and the associated inhalation effective dose to the public in Jeddah City, Saudi Arabia. Journal of Environmental Radioactivity, 129: 48–156. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2014.01.003>