



# فیروزه: صنعت و فرهنگ همایش یکم

۲۵ الی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۶



## بهبودی بلورهای کوارتز جنوب غرب آستانه به روش پرتوافکنی

راضیه رضایی<sup>۱</sup>، فریبرز مسعودی<sup>۲</sup>، سید امیرحسین فقهی<sup>۳</sup>، نیلوفر موسوی پاک<sup>۴</sup>

۱\_ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، [raziieh\\_zamin1370@yahoo.com](mailto:raziieh_zamin1370@yahoo.com)

۲\_ استاد دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، [f\\_masoudi@sbu.ac.ir](mailto:f_masoudi@sbu.ac.ir)

۳\_ استاد دانشکده مهندسی هسته‌ای دانشگاه شهید بهشتی، [a.feghhi@gmail.com](mailto:a.feghhi@gmail.com)

۴\_ عضو وابسته دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، [npak77@yahoo.com](mailto:npak77@yahoo.com)

### چکیده

امروزه با پیشرفت صنعت جواهرات و گسترش علم گوهرشناسی، روش‌های جدیدی نیز برای بهسازی سنگ‌های نیمه‌قیمتی معرفی شده‌است. بهسازی به سه روش کلی بهسازی حرارتی، بهسازی شیمیایی و پرتودهی انجام می‌شود. کوارتز نیز به دلیل تنوع در رنگ و ساختار یک سنگ نیمه‌قیمتی محسوب می‌شود. در این پژوهش نیز بهسازی به روش پرتودهی بر روی بلورهای شفاف و بی‌رنگ کوارتز (دُر کوهی)، در منطقه جنوب غرب آستانه انجام شده‌است. منطقه مورد مطالعه در پهنه سندج-سیرجان شمالی و در جنوب غرب توده‌ی گرانیته‌ی آستانه قرار گرفته‌است؛ تنها کانی نیمه‌قیمتی موجود در این منطقه دُر کوهی است که در زمینه‌ای از سنگ‌های ریوداسیتی دیده می‌شود. بلورهای کوارتز برداشت شده از لحاظ ویژگی‌های گوهرشناسی مورد بررسی قرار گرفتند. از آنالیز ساختاری رامان برای تعیین ساختار کوارتز و از آنالیز ICP-MS برای تعیین میزان دقیق عناصر فرعی موجود در نمونه‌ها کمک گرفته شد. به منظور بهسازی، بلورهای کوارتز تا ۳۰۰ KGy تحت تابش اشعه گاما قرار گرفتند، که در نتیجه این پرتودهی به کوارتز دودی تبدیل شدند.

**کلید واژه‌ها:** بهسازی، پرتودهی، دُر کوهی، جنوب غرب آستانه، کوارتز دودی، ویژگی‌های گوهرشناسی

## Treatment of Quartz crystals of SW-Astaneh by gamma irradiation

Razieh rezaee<sup>a</sup>, Fariborz Masoudi<sup>b</sup>, Amirhosein feghhi<sup>c</sup>, Niloofar mousavi pak<sup>d</sup>

<sup>a</sup>. MSc student, Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Science, [raziieh\\_zamin1370@yahoo.com](mailto:raziieh_zamin1370@yahoo.com)

<sup>b</sup>. Professor, Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Science, [f\\_masoudi@sbu.ac.ir](mailto:f_masoudi@sbu.ac.ir)

<sup>c</sup>. Professor, Shahid Beheshti University, Faculty of Nuclear Engineering, [a.feghhi@gmail.com](mailto:a.feghhi@gmail.com)

<sup>d</sup>. Dependent staff, Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Science, [npak77@yahoo.com](mailto:npak77@yahoo.com)

### Abstract:

Nowadays due to development of jewellery industry and gemological development, new methods presented for semi-precious stones treatment. Treatment performed in three methods as fallows: heat treatment, chemical treatment and irradiation. Variety of colors and structures of Quartz makes it considered as semi-precious stone. In this research irradiation treatment is undertaken on the colorless and clear crystal quartz (rock crystal) located in the south west of

Astaneh. This area is located in northern Sanandaj-sirjan zone in the south west of Astaneh granite. The only semi-precious mineral in this area is rock crystal observed among rhyodacite rocks. The quartz crystal in this area examined by the gemological parameters. Moreover Raman structural analyses is explored on the samples in order to determine quartz crystal's structure, also ICP-MS analysed to determine the exact amount of trace elements exist in crystal. The crystals in this area were gamma-rayed to 300K Gy. As result they were changed to smoky quartz.

**Keywords:** Treatment, Irradiation, Rock crystal, SW\_Astaneh, Smoky quartz, Gemological Parameters

## ۱\_ مقدمه

برخی از سنگ‌ها به دلیل شرایط خاص تشکیل خود از کیفیت و دوام ویژه‌ای برخوردارند و به همین دلیل به آن‌ها گوهرسنگ اطلاق می‌شود. اغلب سنگ‌های نیمه‌قیمتی یافت شده به همان صورت قابل استفاده نیستند و به دلیل کیفیت پایین رنگ یا مقاومت کم نیازمند بهسازی به روش‌های مختلف هستند. با پیشرفت علم گوهرشناسی روش‌های مختلف بهسازی نیز توسعه پیدا کرده‌اند. کوارتز نیز یک سنگ نیمه‌قیمتی محسوب می‌شود که در اشکال مختلف ریزبلور و درشت‌بلور دیده می‌شود. منطقه مورد مطالعه در جنوب غرب شهر اراک در شهرستان شازند قرار گرفته‌است. توده گرانیتی آستانه بخشی از زون سنندج-سیرجان شمالی است که در ۵ کیلومتری شهر شازند واقع شده‌است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی این توده در بین طول‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 17' 49''$  تا  $22^{\circ} 22' 49''$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $30^{\circ} 46' 33''$  تا  $33^{\circ} 54'$  شمالی قرار گرفته‌است. بلورهای درکوهی در این منطقه در زمینه‌ای از سنگ‌های ریوداسیتی قرار گرفته‌اند. در این تحقیق پس از بررسی ویژگی‌های گوهرشناسی و انجام آنالیزهای ساختاری و شیمیایی، سعی بر بهسازی بلورهای کوارتز به روش پرتودهی شده‌است.

## ۲\_ روش تحقیق و بحث

### ۲\_۱\_ زمین‌شناسی عمومی

زون سنندج-سیرجان به صورت یک نوار ماگمایی-دگرگونی با روند شمال غرب-جنوب شرق بین زاگرس و ایران مرکزی از ارومیه در شمال غرب تا اسفندقه و سیرجان در جنوب شرق امتداد دارد. در حقیقت مرز شمالی این زون توسط نوار آتشفشانی ارومیه-دختر و فروافتادگی‌های سیرجان، مرودشت، کویرمیان (شمال اراک) و دریاچه ارومیه از ایران مرکزی جدا می‌شود. مرز جنوبی آن نیز گسل راندگی زاگرس است. پهنه سنندج-سیرجان در شمال خاوری راندگی اصلی زاگرس قرار دارد و برپایه ویژگی‌های مورفولوژی جزئی از سیستم زاگرس به شمار می‌آید. رژیم رسوبگذاری و ساختار پهنه سنندج-سیرجان مشابه ایران مرکزی است (قربانی، ۱۳۹۳). در این پهنه چندین فاز آذرین درونی رخ داده است که مهم‌ترین آن‌ها در زمان‌های تریاس-میانی تریاس پسین، ژوراسیک پسین-کرتاسه پیشین، کرتاسه پسین-پالئوسن اتفاق افتاده‌اند (معین وزری، ۱۳۷۵). یکی از این توده‌ها، توده آستانه اراک است که وسعتی حدود ۳۰ کیلومتر مربع دارد و سن آن کرتاسه آغازی است (Masoudi, 1997).



## فیروزه: صنعت و فرهنگ همایش یکم

۲۵ الی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۶



توده گرانیتویدی آستانه به عنوان بخشی از پهنه سنندج\_سیرجان شمالی، در ۵ کیلومتری جنوب شهرستان شازند واقع شده است (درویش زاده، ۱۳۸۲). گرانیتوید آستانه، کم و بیش دارای وسعت زیاد با امتداد شمال غرب-جنوب شرق موازی با روند زون سنندج\_سیرجان است. اولین فاز ماگماتیسیم گرانیتی رخ داده در منطقه مربوط به قبل از کرتاسه بوده که در طی دگرگونی به گنیس چشمی تبدیل شده است. دومین فاز ماگمایی گسترده در منطقه مربوط به بعد از ژوراسیک بوده و ترکیب سنگ‌ها از گرانیت تا گرانودیوریت تغییر می‌کند (رادفر، ۱۳۶۶). در طی نفوذ توده گرانیتویدی در امتداد سطح شیبستوزیته یک مجموعه دگرگونی مجاورتی (هورنفلس) حاصل شده است (احمدی خلجی، ۱۳۸۵). شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

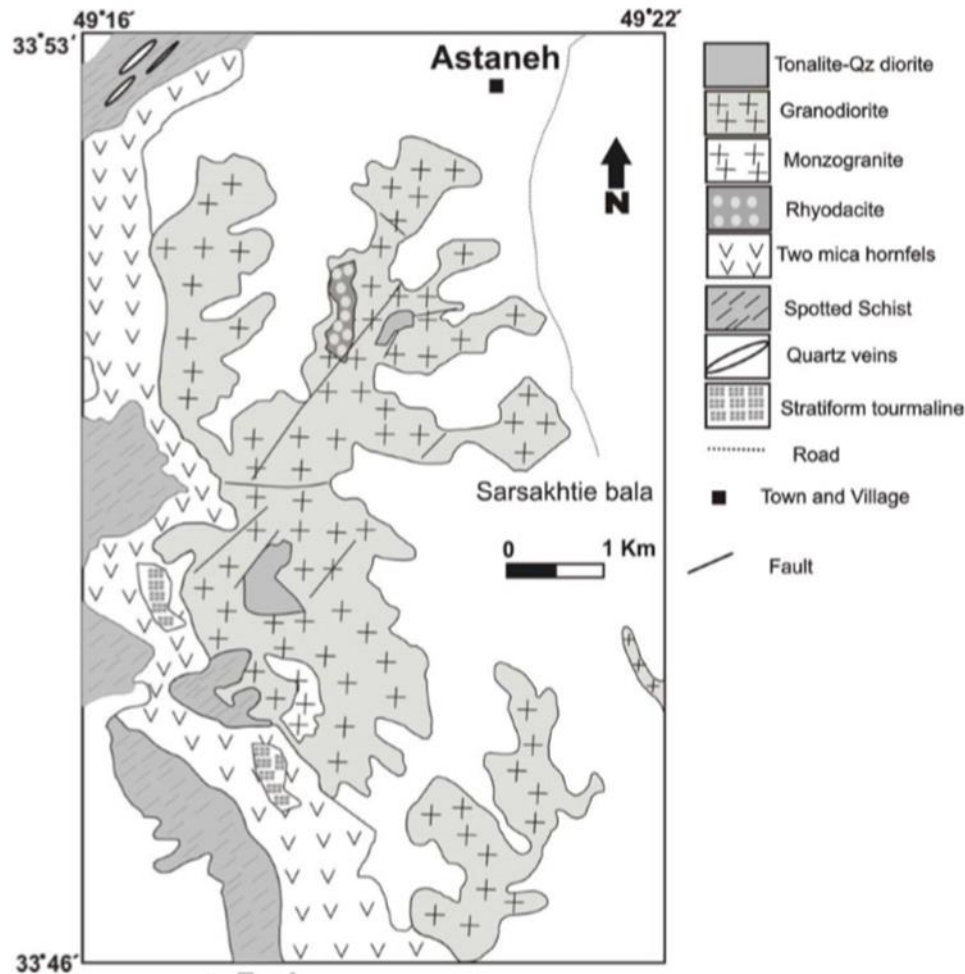
### ۲\_۲ سنگ‌شناسی منطقه

بخش اعظم توده گرانیتویدی آستانه ترکیب گرانودیوریتی دارد و به صورت یک توده نفوذی چند شاخه‌ای و کوچک نمایان می‌گردد (شکل ۱). توده نفوذی آستانه متحمل رخداد دگرسانی شده؛ این فرآیند همراه با تاثیر سیالات غنی از سیلیس بوده که به تشکیل رگه‌های سیلیسی بر روی توده نفوذی منجر شده است (میکاییلی و همکاران، ۱۳۸۹). درون این توده، ساب‌ولکانیک‌های ریوداستیتی همراه با توده‌های نفوذی کوچکی با ترکیب عمدتاً مونزوگرانیتی و تونالیتی ظاهر می‌شود. در این جا به اختصار این تنوع سنگی را معرفی می‌نماییم:

**واحد تونالیت:** این سنگ‌ها درون واحد گرانودیوریت برونزد دارند و ارتفاعات این منطقه را تشکیل داده‌اند. ترکیب سنگ‌شناسی این واحد از کوارتز دیوریت تا تونالیت تغییر می‌کند. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز، بیوتیت، آمفیبول از نوع کلسیک و به مقدار کم آلکالی‌فلدسپار و کوارتز می‌باشد. آپاتیت و زیرکن عمده کانی‌های فرعی این سنگ‌ها را تشکیل می‌دهند (طهماسبی و همکاران، ۱۳۸۹).

**واحد گرانودیوریت:** این واحد بخش اعظم توده نفوذی موجود در منطقه را تشکیل می‌دهد که به شدت هوازده و فرسوده بوده و مورفولوژی کلی آن به صورت تپه‌های فرسوده کم‌ارتفاع می‌باشد. ترکیب سنگ‌های این واحد از گرانودیوریت تا کوارتز دیوریت می‌باشد.

**سنگ‌های گرانیتی:** گرانیت‌های منطقه از تنوع کانی‌شناسی چندانی برخوردار نیستند؛ کوارتز، پلاژیوکلاز، فلدسپار آلکالن، آمفیبول و بیوتیت از کانی‌های غالب در گرانیت دگرسان نشده هستند. در سنگ‌های گرانیتی این توده نفوذی انکلاوهای میکروگرانولار به فراوانی دیده می‌شود. بر اساس مطالعات طهماسبی و همکاران (۱۳۸۸)، این انکلاوها مافیک هستند و ترکیب گابرو دیوریت، دیوریت و دیوریت کوارتزار دارند.



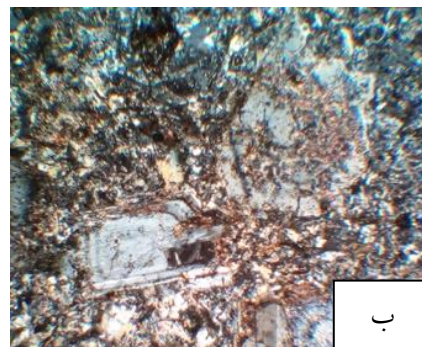
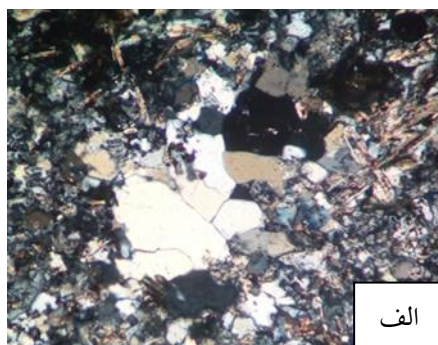
شکل (۱) نقشه ساده شده زمین‌شناسی منطقه آستانه (سهندي و همکاران، ۱۳۸۵)

سابولکانیک‌های ریوداسیتی: این سنگ‌ها به صورت یک آپوفیز مستقل و بسیار کوچک درون واحد گرانودیوریت قرار دارند سنگ‌های مذکور دانه‌ریز و با رنگ روشن هستند که بیشتر ترکیبی داسیتی دارند. این سنگ‌ها نماینده فازهای پایانی فعالیت ماگمایی در منطقه مورد مطالعه هستند. شکل ۲، یک نمونه از سنگ‌های این واحد را نشان می‌دهد. بلورهای کوارتز شفاف در زمینه‌ای از سنگ‌های ریوداسیتی رشد کرده‌اند. این واحد به عنوان سنگ مادر بلورهای کوارتز در منطقه تعیین شد.

در مقطع میکروسکوپی فنوکریست‌های موجود شامل بلورهای پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول است. به دلیل دگرسانی گسترده در منطقه اکثر بلورهای پلاژیوکلاز سریستی شده‌اند. زمینه مقطع نیز به شدت دگرسان شده‌است. کانی‌های بیوتیت و آمفیبول نیز کلریتی و سریستی شده‌اند که در برخی موارد به علت دگرسانی شدید تشخیص دقیق آن‌ها ممکن نیست. بلورهای پلاژیوکلاز نیز نسبتاً درشت و دارای منطقه‌بندی هستند (شکل ۳).



شکل ۲) سنگ داسیت موجود در منطقه آستانه

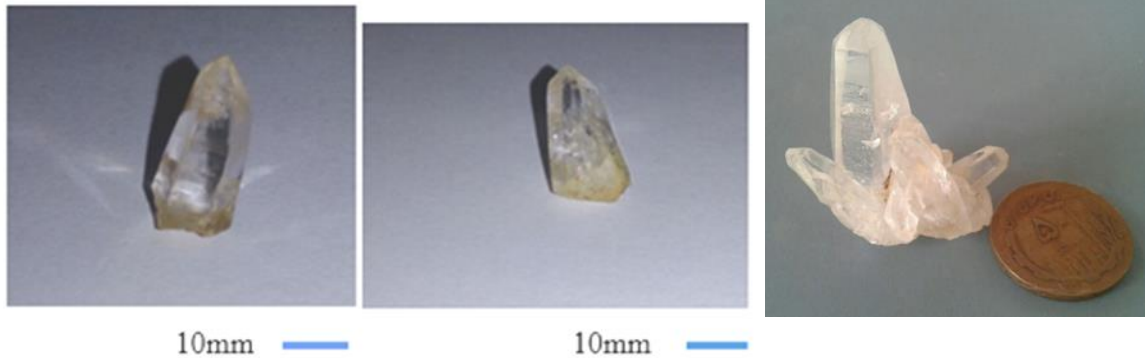


شکل ۳) الف\_ بلورهای کوارتز موجود در سنگ داسیت؛ ب\_ بلورهای پلاژیوکلاز که دارای منطقه‌بندی هستند و دگرسان شده‌اند.

## ۲\_۳\_ گوهرشناسی

تنها کانی نیمه قیمتی موجود در این منطقه دُر کوهی است، که در زمینه‌ای از سنگ‌های ریوداسیتی قرار گرفته است. بلورهای کوارتز موجود در این منطقه و به طور کامل در هابیت منشوری رشد کرده‌اند (شکل ۴). اکثر بلورهای این منطقه به دلیل آغشتگی

ماگمایی حاوی اکسیدهای آهن هستند و به همین دلیل به رنگ زرد دید می‌شوند. بلورهای کوارتز موجود قابلیت تراش خوبی دارند و به دلیل هابیت بلوری کاملاً مشخص، به صورت راف نیز قابل استفاده در صنعت جواهرات هستند.



شکل ۴) چند نمونه از بلورهای موجود در منطقه قبل از پرتودهی

کلیه بلورها از لحاظ ویژگی‌های گوهرشناسی مورد بررسی قرار گرفتند. در این بررسی ضریب شکست، وزن مخصوص و واکنش بلورها در برابر نور قطبی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. هم‌چنین بلورهای کوارتز از نظر رنگ، شفافیت و پاکی درجه‌بندی شدند. جدول ۱ ویژگی‌های گوهرشناسی بلورها را نشان می‌دهد.

جدول ۱) ویژگی‌های گوه‌شناسی بلورهای کوارتز منطقه آستانه

ویژگی گوه‌شناسی	کوارتزهای جنوب غرب آستانه
رنگ	شیری
وزن مخصوص (SG)	2.54-2.64
شفافیت	شفاف
پاکی	EC <sup>1</sup> -SI <sup>1</sup>
واکنش در برابر نور قطبی	DR
ضریب شکست (IR)	1.54_1.55
واکنش در برابر UV (LW)	None
واکنش در برابر UV (SW)	None

## ۲\_۴ بهسازی

به‌طور ساده می‌توان گفت هر فرآیندی که باعث بهبود رنگ و یا افزایش مقاومت یک سنگ قیمتی یا نیمه‌قیمتی شود، بهسازی نام دارد. بهسازی به سه روش بهسازی حرارتی، شیمیایی و پرتودهی انجام می‌شود. در گذشته بیشتر از بهسازی حرارتی و شیمیایی استفاده می‌شد؛ ولی تنها هشت سال بعد از کشف رادیواکتیویته توسط بکرل، یک دانشمند انگلیسی به نام ویلیام کروکس آن را مورد آزمایش قرار داد. او الماس‌هایی را با فرو بردن در برومید رادیم به مدت چند ماه پرتودهی کرد؛ به طوری که این سنگ‌ها با ذرات پرنرژی گسیل شده از اتم‌های رادیواکتیو بمباران شدند. با انجام این آزمایش تغییرات جالب توجهی در رنگ این سنگ‌ها اتفاق افتاد و ادامه آزمایش با سنگ‌های قیمتی دیگر دنبال شد. آنچه در آن زمان به خوبی شناخته نشده بود، خطر زیاد رادیواکتیو برای انسان بود. البته این نوع پرتودهی خیلی زود با درک مشکلات آن کنار گذاشته شد (کاوه، ۱۳۹۱). سه روش برای پرتودهی سنگ‌ها به کار می‌رود:

۱. چشمه‌های تولید پرتو گاما (اغلب کبالت ۶۰) (Pollak, 1992)؛
۲. شتاب‌دهنده‌های خطی که الکترون‌های با انرژی بالا تولید می‌کنند؛
۳. راکتورهای هسته‌ای که نوترون‌های با انرژی بالا تولید می‌کنند (Ying song, 2009).

1. Eye clean  
2. Slightly included

بیشترین بهسازی انجام شده بر روی بلورهای کوارتز با اشعه گاما، بر روی کوارتزهای برزیل صورت گرفته است. در یک پژوهش در سال ۲۰۱۰ این روش بر روی کوارتزهای ترکیه نیز انجام شد (Hatipoglu et al, 2010). در سال ۲۰۱۱ نیز تاثیر پرتوی گاما بر روی ساختار کوارتزهای طبیعی زامبیا مورد توجه قرار گرفت (Insiripong et al, 2011). در یک آزمایش که در سال ۲۰۰۹ توسط گوتلر و همکاران بر روی کوارتزهای برزیل انجام شد، کوارتزهای بی‌رنگ و شفاف که خاستگاه هیدروترمال داشتند، بعد از پرتو دهی به رنگ سبز درآمدند و در دزهای بالاتر از ۶۰۰-۴۰۰ KGy رنگ متمایل به خاکستری در نمونه‌ها ایجاد شد. در این بررسی هم‌چنین بلورهای بی‌رنگ پگماتیته معدن میناس جریس تا ۱۰۰۰ KGy تحت پرتوافکنی قرار گرفتند و برای ۱، ۲ و ۳ ساعت در دمای ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیدند. نتایج نشان دادند که کوارتزهای پگماتیته با پرتو دهی و حرارت‌دهی بعد از آن به green gold تبدیل می‌شوند (Enokihara, 2012). در یک آزمایش دیگر که در سال ۲۰۱۱ بر روی کوارتزهای زامبیا انجام شد، مشخص شد که ساختار کوارتز با دز بالای گاما تغییر نمی‌کند (Insiripong et al, 2011). برای فرآیند بهسازی بلورهای کوارتز منطقه مورد مطالعه، تعدادی از بلورهای بی‌رنگ کوارتز انتخاب شدند. فرآیند بهسازی بر روی این بلورها از دز ۱۰۰ KGy شروع شد و در دو مرحله میزان دز تابشی افزایش پیدا کرد. در نهایت حداکثر دز جذب شده توسط بلورها ۳۰۰ KGy بود. فرآیند تابش دهی به بلورها توسط آزمایشگاه پرتوی گامای سازمان انرژی اتمی انجام گرفت. بلورهای دُرکوهی تا ۳۰۰ KGy تحت تابش اشعه گاما قرار گرفتند. نتیجه این آزمایش این بود که طی این فرآیند، نمونه‌های جنوب غرب آستانه کاملاً تغییر رنگ داده و به رنگ خاکستری تیره یا دودی تبدیل شدند (شکل ۵). بلورهایی که با دز ۱۰۰ KGy تابش دهی شده بودند، رنگ روشن‌تری داشتند و با افزایش دز تابشی رنگ بلورها هم تیره‌تر شده بود.



شکل ۵) بلورهای متعلق به جنوب غرب آستانه که کاملاً به رنگ دودی تغییر رنگ داده‌اند؛ بلورها از چپ به راست ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ KGy پرتو دیده‌اند.





## فیروزه: صنعت و فرهنگ همایش یکم

۲۵ الی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۶



### ۲\_۵\_ آنالیزهای ساختاری و شیمیایی

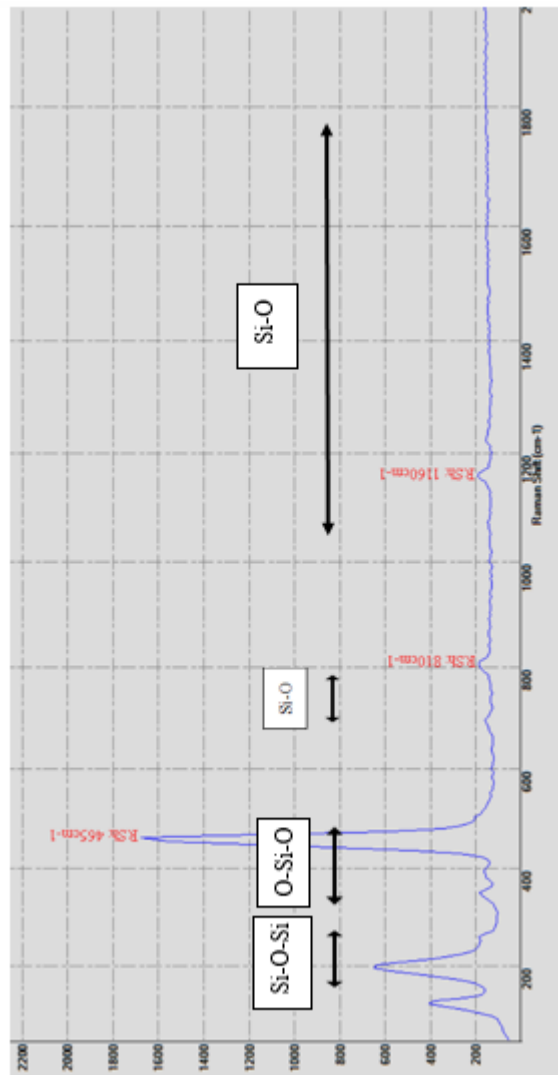
در این پژوهش از آنالیزهای رامان و ICP\_MS برای شناخت بهتر ساختار مولکولی و تعیین میزان دقیق عناصر فرعی موجود استفاده شد. آنالیز رامان در موسسه گوهرشناسی دانشکده‌ی علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی و آنالیز ICP\_MS نیز توسط شرکت زرآزما انجام شد. با استفاده از تکنیک رامان در کمتر از یک دقیقه می‌توان سنگ را شناسایی کرد و با توجه به این که طیف به دست آمده ناشی از ساختار مولکولی سنگ می‌باشد، بنابراین این روش کاملاً قابل اعتماد بوده و مهر تائیدی بر سایر آزمایش‌های گوهرشناسی است. امروزه در آزمایشگاه‌های گوهرشناسی، به منظور تشخیص نوع سنگ، نوع بهسازی و تعیین طبیعی یا مصنوعی بودن سنگ از تکنیک رامان کمک می‌گیرند. از مزایای قابل توجه این روش در گوهرشناسی عدم نیاز به آماده‌سازی نمونه است. شکل ۷ یک نمونه از طیف رامان بلورهای کوارتز را قبل از پرتودهی نشان می‌دهد. البته این آنالیز بعد از پرتودهی تکرار شد ولی هیچ‌گونه تغییری در ساختار کوارتز ایجاد نشده بود. همانگونه که در تصویر مشخص است، طیف رامان کوارتز را می‌توان به سه ناحیه تقسیم کرد:

۱\_ طول موج‌های بیشتر از  $1050$  و طول موج‌های بین  $700$  تا  $800$   $\text{cm}^{-1}$ ، که مربوط به مدهای انبساطی Si-O هستند؛

۲\_ طول موج‌های  $350$  تا  $500$   $\text{cm}^{-1}$  مدهای خمشی O-Si-O را نشان می‌دهند؛

۳\_ طول موج‌های کمتر از  $300$   $\text{cm}^{-1}$  که مربوط به مدهای خمشی و چرخشی Si-O-Si هستند (Etchepare et al, 1974).

پیک ظاهر شده در  $465$   $\text{cm}^{-1}$  برای کوارتز مانند یک اثر انگشت تلقی می‌شود و در حقیقت تشخیص کوارتز با استفاده از طیف رامان، با استناد بر این پیک صورت می‌گیرد.



شکل ۶) طیف رامان یک نمونه کوارتز قبل از پرتودهی

در این پژوهش از آنالیز ICP-MS برای تعیین میزان عناصر فرعی موجود در بلورهای کوارتز استفاده شد. طبق نتایج به دست آمده از این آنالیز، میزان Al و Fe و K به عنوان ناخالصی در نمونه‌ها زیاد بود. میزان Al در نمونه‌ها ۰/۳ درصد و مقدار Fe ۱/۴ درصد اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقدار K در نمونه‌ها ۰/۱۲ درصد بود.



## فیروزه: صنعت و فرهنگ همایش یکم

۲۵ الی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۶



### ۳\_ نتیجه گیری

به طور کلی کانی های جواهراتی با سه روش حرارتی، شیمیایی و پرتوافکنی مورد بهسازی قرار می گیرند. تابش دهی به سنگ ها نیز به سه صورت می گیرد: ۱\_ چشمه های تولید پرتو گاما؛ ۲\_ شتاب دهنده های خطی که الکترون های با انرژی بالا تولید می کنند؛ ۳\_ راکتورهای هسته ای که نوترون های با انرژی بالا تولید می کنند.

در این پژوهش بهسازی بلورهای کوارتز با استفاده از پرتوی گاما انجام شد. برای این منظور تعدادی از بلورهای کوارتز منطقه آستانه انتخاب شدند. فرآیند بهسازی بر روی این بلورها از دز ۱۰۰ Kgy شروع شد و در دو مرحله میزان دز تابشی افزایش پیدا کرد؛ در نهایت حداکثر دز جذب شده توسط بلورها ۳۰۰ Kgy بود. پس از اتمام فرآیند پرتو دهی بلورهای کوارتز کاملاً تغییر رنگ داده و به رنگ دودی تبدیل شدند. نتیجه این آزمایش نشان داد که فرآیند پرتو دهی با اشعه گاما یک روش مناسب برای بهسازی کوارتزهای بی رنگ و تبدیل آن ها به کوارتز دودی است.

### منابع

- \_ احمدی خلجی، ا.، (۱۳۸۵)، پترولوژی توده گرانیتوئیدی بروجرد، پایان نامه دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه، تهران، ایران.
- \_ درویش زاده، ع.، (۱۳۸۲)، زمین شناسی ایران، نشر امیر کبیر، تهران.
- \_ رادفر، ج.، (۱۳۶۶)، بررسی های زمین شناسی و پترولوژی سنگ های گرانیتوئیدی ناحیه آستانه\_ گوشه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ایران.
- \_ سهندی، م.، رادفر، ج.، حسینی دوست، س.، محجل، م.، (۱۳۸۵)، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ شازند، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور.
- \_ طهماسبی، ز.، خلیلی، م.، احمدی خلجی، الف.، (۱۳۸۸)، خصوصیات پتروگرافی و ژئوشیمیایی انکلاوهای منطقه آستانه (جنوب غرب اراک)، پترولوژی سال دوم، شماره ششم، تابستان ۱۳۹۰، صفحه ۴۶\_۳۱.
- \_ طهماسبی، ز.، خلیلی، م.، خلجی، الف.، مکی زاده، م.، (۱۳۸۸)، پترورنز توده گرانیتوئیدی جنوب شازند (جنوب غرب اراک)، پترولوژی، سال اول، شماره اول، بهار ۱۳۸۹، صفحه ۸۷\_۱۰۲.
- \_ کاوه، م.، (۱۳۹۱)، اندازه گیری و مطالعه اثرات پرتو دهی بر تغییر رنگ و ساختار کریستالی سنگ ها: پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
- \_ معین وزیری، ح.، (۱۳۸۸)، پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آذرین، چاپ چهارم، دانشگاه تربیت معلم، تهران.
- \_ میکائیلی، ر.، کلیمی نقره ثیان، م.، مکی زاده، م.، تقی پور، ب.، طهماسبی، ز.، (۱۳۸۹)، مطالعه سیالات در گیر و کانی شناسی در دگرسانی های گرمابی گرانیتوئید آستانه (زون سنندج - سیرجان)، پترولوژی سال اول، شماره سوم، پاییز ۱۳۸۹، ۱۰۶-۸۹.



## فیروزه: صنعت و فرهنگ همایش یکم

۲۵ الی ۲۷ مهر ماه ۱۳۹۶



### References:

- Enokihara, C.T., Guttler, R.A.S., Rela, P.R., Calvo, W.A.P., (2012). "Studies of colored varieties of Brazilian quartz produced by gamma radiation" Presented at the International Meeting on Radiation Processing - IMRP 2011, Montreal, Canada.
- Etchepare, J., Merin, M., Smetankine, L., (1974). "Vibrational normal modes of SiO<sub>2</sub>. I.  $\alpha$  and  $\beta$  quartz" J. Chem. Phys, 60, 1874-1876.
- Hatipoglu, M., Helvacı, C., Kibar, R., Çetin, A., Tuncer, Y., Can, N., (2010). "Amethyst and morion quartz gemstone raw materials from Turkey: color saturation and enhancement by gamma, neutron and beta irradiation" Radiation Effects and Defects in Solids, Vol. 165, No. 11, 876–888.
- Insiriponga, S., Kedkaewb, C., Thamaphatb, K., Chantima, N., Limsuwan, P., Kaewkhaoc, J., (2012). "Irradiation effect on natural quartz from Zambia" J. Procedia Engineering 32:83 – 89.
- Masoudi, F., (1997). Contact metamorphism and pegmatite development in the region SW of Arak, Iran, Ph.D Thesis, Leeds University, UK.
- Nassau, K., (1983), The Physics and Chemistry of Color: The Fifteen Causes of Color. John Wiley & Sons, New York.
- Pollak, RD., (1992), "Method Of Prossesin Gemstone To Inhance Their Color" United States Patent, Pat. No 5084909.
- Song, Y., (2009). "New Method For Identification Of Blue Topaz" Gemological Institute, China University Of Geosciences, Vol. 1 , No, 2.