

افزایش کیفیت ظاهری کریستالها با استفاده از تابش های هسته ای

مرتضی قریب ، امین اسماعیلی ، فرشید نقی زاده ، محمد علی موقتی، کوروش مرادی

بخش تحقیقات و کارگردانی رآکتور سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

سنگهای قیمتی یا گوهرها در اکثر نقاط جهان یافت می شوند. تنوع رنگهای آنها عبارتند از: بی رنگ، قرمز، صورتی، نارنجی، قهوه ای، زرد، آبی، بنفش، سبز و سنگهای رنگی که رنگ آنها طی میلیونها سال در معرض تابش ناشی از مواد رادیواکتیو طبیعی بوجود آمده اند، نیز یافت می شوند. در طول ۲ دهه اخیر، در برخی کشورهای جهان از تابشهای هسته ای به منظور افزایش کیفیت ظاهری (رنگ) سنگها استفاده می گردد و این روش مرسوم بوده و باعث افزایش ارزش سنگ می شود.

در این روش معمولا از تابشهای هسته ای از جمله: نوترونهای حاصل از رآکتور، گاما و پرتو الکترونی حاصل از شتابدهنده ها استفاده می گردد، که در اینجا به بررسی تأثیر تابش دهی نوترونی پرداخته شده است. از آنجا که گوهر مورد استفاده در اکثر مقالات علمی در این روش توپاز و کوارتز می باشد، اینجا نیز سعی در استفاده از این ۲ نوع کانی شده است.

کلمات کلیدی: سنگهای قیمتی، تابش نوترونی، تابش گاما، باریکه الکترونی، بلور، رنگ

مقدمه

از دلایل اصلی برای تغییر رنگ توپاز، تبدیل سیلیکون موجود در آن (توپاز همان فلورو سیلیکات آلومنیوم ($Al_2SiO_4F_2$) است) به فسفر است که این امر توسط تابش نوترون، پروتون یا دیگر ذرات هسته ای حاصل می شود. از این روش عمدتاً برای ارتقاء کیفی توپازهای بی رنگ و کم ارزش و تبدیل آنها به نمونه های رنگین و پرارزش استفاده می گردد.

در اثر تابش نوترونی یک رنگ آبی که در عین حال حاوی ناخالصیهای خاکستری رنگ است حاصل می شود. می توان این ناخالصیها را با تابش الکترون، گاما، یا با گرم کردن و یا با استفاده توأمان آنها برطرف نمود و به رنگ آبی دخواه دست یازید. در حدود ۲۰ سال پیش کشف شد که تابش گاما، در برخی از سنگها رنگ آبی پایداری بجای می گذارد [۱].

ضمناً معلوم شد که تابش با الکترونهاى پارانرژی، یک رنگ آبی کمرنگ آسمانی و جالب توجهی را بجای می گذارد که کیفیت حاصله بستگی به گستره انرژی الکترونها دارد.

۱- در انرژیهای کمتر از 5Mev نفوذ پرتو به سنگ کاملاً محدود است.

۲- در انرژیهای بزرگتر از 18Mev رادیواکتیویته القائی در سنگ بوجود می آید.

بعلاوه، دوز بهینه تابش الکترونی در این روش بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰۰ مگاراد گزارش شده است [۲].

در سال ۱۹۸۰ کشف شد که تابش دهی توپاز با تابش نوترونهاى حرارتی، رنگ آبی ثابتی برجای می گذارد که متأسفانه ماده حاصله رادیواکتیو شده و سطح اکتیویته آن از حد مجاز بیشتر می شود [۳]. رنگ آبی حاصل از تابش نوترونی کمی تیره تر از رنگ حاصل از تابش الکترونی است. تحقیقات نشان داده است که می توان میزان رادیواکتیویته را با سد کردن نوترونهاى حرارتی که مسئول ایجاد رادیواکتیویته است، کاهش داد. در اینصورت با نوترونهاى سریع با انرژی بیش از 1Mev می توان به بمباران نمونه مبادرت کرده و تغییر رنگ دخواه را انتظار داشت.

کیفیت توپاز به منشأ جغرافیایی آن نیز بستگی داشته و این خود رادیواکتیویته محصول نهایی را تحت تأثیر قرار می دهد. رنگ حاصل از تابش نوترونی را در اصطلاح آبی لندن^۱ می نامند.

از ترکیب تابش نوترونی در ابتدای کار و سپس تابش الکترونی در انتها، رنگ آبی مطلوب و بدون رگه های خاکستری بوجود می آید که البته گاهی رادیواکتیویته القائی نیز تا حدودی موجود است.

در سال ۱۹۸۶ تلاشهایی جهت پروسه بمباران منحصر با نوترون حاصل از راکتور صورت گرفت تا محصولی آماده ورود به بازار را ایجاد نماید [۴].

رنگ ایجاد شده توسط تابش نوترونی به ۲ عامل بستگی دارد :

۱- فلوئنس نوترونی، که بایستی در حدود 10^{18} cm^{-2} باشد.

۲- دمای سنگها در طول فرآیند بمباران نوترونی، که دستکم بایستی بالاتر از 200°C باشد [۵].

در صورت فقدان در یکی از این ۲ عامل رنگ آبی دخواه با رنگهای دیگر پوشیده شده که البته با فرآیند گرم کردن

^۱ - London Blue

رنگ آبی دخواه حاصل خواهد شد. اگر هر ۲ عامل بالا زیاد باشند (دوز زیاد و دما در حدود ۳۰۰ درجه باشد) رنگ آبی محو می شود [۶].

روش دیگر، تابش با پرتوهای گامای پیرانرژی حاصل از پدیده تابش ترمزی می باشد که در آن تابش باریکه الکترونی به یک هدف سنگین فلزی، انرژی اکثر الکترونها را به تابش گامای حدود 5Mev. تا 30Mev تبدیل می نماید. فوتونهای گاما، قدرت نفوذ بیشتری داشته و تکه های بزرگتری را نسبت به الکترونها می توان رنگ کرد. البته این روش خیلی پرهزینه بوده و تنها برای سنگهای بزرگ مقرون به صرفه است. بنابراین شرایط تابش و سرد کردن باید بدقت کنترل شوند. خلاصه ای از روشهای مختلف مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است [۷]:

جدول ۱: مقایسه روشهای مختلف اصلاح بلورها

نوع تابش	مدت زمان تابش	دوز مجموع	رنگ	اکتیویته القایی
بیم الکترونی	۲ روز	$\sim 10^8 \text{ Gy}$	آبی آسمانی ^۱	ندارد
تابش گاما	۹ ماه	$\sim 10^9 \text{ Gy}$	آبی آسمانی	ندارد
نوترونهای سریع	۱ روز	$\sim 10^{19} \text{ Gy}$	آبی سوئیسی ^۲	خیلی شدید
الکترون + تابش گاما	۵ ماه	$\sim 10^9 \text{ Gy}$	آبی آسمانی	ندارد

رنگهای حاصله از تابشها

مشهورترین رنگهای توپاز بعد از اصلاح تابشی عبارتند از:

۱- رنگ آبی آسمانی: این رنگ در اثر اصلاح توپاز بی رنگ با یکی از روشهای تابش گامای ناشی از کبالت ۶۰ یا الکترونهای تولید شده توسط شتابدهنده های الکترونی و سپس حرارت دادن آن بدست می آید [۸].

¹ - Sky Blue

² - Swiss Blue



شکل ۱: توپاز حاصل از تابش الکترونی

۲- رنگ آبی لندنی: این رنگ که آبی همراه با خاکستری است در نتیجه اصلاح توپاز بی رنگ توسط نوترونهاي حاصل از رآکتور و سپس گرم کردن آن حاصل می شود.



شکل ۲: توپاز حاصل از تابش نوترونهاي حاصل از رآکتور

۳- رنگ آبی سوئیدی: این رنگ که معمولترین رنگ بین رنگهای دیگر است با استفاده از ترکیبی از تابش نوترونی با یکی از تابشهای گاما یا الکترونی و متعاقباً حرارت دهی توپاز در دمای ۱۸۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی گراد، بدست می آید.



شکل ۳: توپاز حاصل از تابش نوترونهاي حاصل از رآکتور و سپس تابش دهی الکترونی

فاکتورهای رنگ شدن توپاز عبارتند از:
اکثر رنگهای توپاز بعلت مراکز رنگی موجود در سنگ
ایجاد می شوند. مورد صورتی بعضی از نمونه های نارنجی
نیز توسط ناخالصی کروم^۱ ایجاد می شوند [۹].

نتایج تجربی حاصل از تابش دهی نوترونی، در راستای تجربیات انجام شده در راکتور تحقیقاتی تهران

بلور تورمالین به مدت ۷۲ ساعت تابش دهی شد و رنگ
آن از رنگ شفاف به بنفش پررنگ تغییر پیدا کرد. لازم به
ذکر است که اکتیویته آن ۲ هفته پس از خاتمه تابش دهی
به 30mr/hr کاهش پیدا کرد. سپس جهت اصلاح و تثبیت رنگ به
کوره فرستاده شد. در این مرحله سنگ در دمای ۳۰۰
درجه به مدت ۳ ساعت حرارت دید که با این میزان حرارت
تغییری در رنگ آن حاصل نشد.



شکل‌های ۴ و ۵: نمونه تورمالین قبل از تابش بعد از ۷۲ ساعت تابش دهی در راکتور

در قدم بعدی بلور کوارتز برای تابش دهی در راکتور
انتخاب گردید و رنگ آن از رنگ شفاف به سبز دودی تغییر
پیدا کرد. (رنگ اشاره شده در مقالات دودی^۲ اشاره شده
است) [۹ و ۱۰]. لازم به ذکر است که اکتیویته آن نیز پس از
پایان تابش دهی ناچیز بود و ۲ هفته پس از خاتمه تابش
دهی به 6mr/hr رسید. سپس جهت اصلاح حرارتی به کوره
فرستاده شد و مشاهده گردید که در دمای حدودا 250°C
تغییر رنگ شروع شده و در نزدیکیهای 480°C به حالت
اولیه و شفافیت اولیه می رسد.

^۱- Chromium

^۲- Smoky Quartz



شکل‌های ۷ و ۶: نمونه کوارتز قبل از تابش نمونه کوارتز بعد از ۲۴ ساعت تابش، کوارتز دودی

بلور توپاز نیز به مدت ۲۴ ساعت در TRR تابش دهی شد و رنگ آن از رنگ شفاف به آبی تغییر پیدا کرد. (رنگ اشاره شده در مقالات آبی آسمانی^۱ است.) لازم به ذکر است که اکتیویته آن نیز پس از پایان تابش دهی ناچیز بوده و پس از ۲ هفته به 1.6mr/hr رسید.



شکل‌های ۸ و ۹: نمونه توپاز قبل از تابش نمونه توپاز بعد از تابش

در جدول ۲ خلاصه آزمایشات تابش دهی بعمل آمده با نوترونهای حاصل از رآکتور تهران آمده است:

¹ - Blue topaz

جدول ۲: خلاصه نتایج مربوط به تابش دهی کریستالها در TRR

نوع نمونه	مدت تابش نوترونی	رنگ قبل از تابش	رنگ بعد از تابش	میزان تقریبی دوز چسبیده به نمونه پس از ۱ هفته	میزان تقریبی دوز چسبیده به نمونه پس از ۲ هفته
تورمالین	۷۸ ساعت	شفاف	بنفش پررنگ	40 mr/hr	30 mr/hr
کوارتز	۳۰ ساعت	سفید شفاف	سبز دودی	30 mr/hr	6 mr/hr
توپاز	۲۴ ساعت	سفید شفاف	آبی پررنگ	5 mr/hr	1.6 mr/hr

References:

- [1]- “Electron beam enhancement of colorless Topaz”, Noomie Lewinson
- [2]- “Research on radiation-induced color change of white topaz”, Wang Ying et. al., Radiation Physics and Chemistry 63 (2002) 223–225
- [3]-“Paramagnetic radiation-induced defects in gamma-irradiated natural topazes”, E.G. Yukihiro, et. al. , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 191 (2002) 266–270
- [4]- “Process for irradiating topaz and the product resulting there from”, Patent No.4749869
- [5]-“Method of processing gemstones to enhance their color”, Patent No.5084909
- [6]- “Gemstone sorting apparatus and methods”, Patent No.5193685
- [7]- “Method of producing gemstone quality topaz”, Patent No. 5477055
- [8]- “Process for irradiating gemstones”, Patent No.5637878
- [9]- “Process for the color enhancement of gemstones”, Patent No. 6635309
- [10]- “Method of coloring cut gemstones”, Patent No.7033640