Archive of SID

کارگاه های آموزشی و ســی و چهارمین گردهمایی
و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین
۳ الی ۵ اسفنــد ۱۳۹۴ ایــران – تهــران

مقدمه ای بر تشخیص و طبقه بندی الماس های رنگی

◇◇◇◇◇◇◇

چکیده :

یک الماس حقیقی خالص که میبایست تماما از اتمهای کربن تشکیل شده باشد، بی رنگ است، اما نمونه های طبیعی معمولا یک دامنه متنوع از رنگ ها را نشان می دهند. این الماس ها با دامنه رنگی مانند زرد، قهوه ای، صورتی، قرمز، آبی و سبز، به عنوان الماس های رنگی فنسی شناخته می شوند. رنگ هایی که الماس خالص را تحت تاثیر قرار می دهند عمدتا به خاطر وجود ناخالصی ها و نقیصه های اتمی یا مولکولی ایجاد می شوند. این نقایص و ناخالصی های مولکولی متفاوت، مراکز رنگی را در الماس ایجاد می نماید. رنگ یک الماس بیشتر به فراوانی مراکز رنگی و ساختار شبکه کریستالی وابسته است. الماس هایی با رنگ های غالب و جذاب عموما جواهراتی ارزشمند هستند، اما نمونه های بسیار کمی به این گروه تعلق دارند. ادخالهایی از جنس کانی ها و یا دیگر نقیصه های مقیاس بزرگتر، مانند ترک ها، می توانند رنگ و شفافیت الماس را دگرگون سازند.

کلید واژه ها: الماس، رنگ، بلور، طبقه بندی، تیپ، ادخال، طیف جذبی، اسپکتروسکوپ

An Introduction to Identification and Classification of Colored Diamonds

Abstract:

A truly pure diamond that would be composed entirely of carbon atoms is colorless, but natural samples commonly display a wide variety of colors. These diamonds with color range such as yellow, brown, pink, red, blue, and green, are known as fancy-colored diamonds. Colors that affect the entire diamond are usually caused by the presence of atomic or molecular Impurities and imperfections. These impurities or imperfections, which form color centres .The color of a diamond depends largely on the abundance of color centers and crystal lattice structure. Diamonds with intense and attractive colors are often valuable gemstones, but very few samples belong to this group. Inclusions of minerals, or other larger scale imperfections such as fractures, can alter the color and transparency of a diamond.

Keywords: Diamond, Color, Crystal, Classification, Type, Inclusion, Absorption Spectra, Spectroscope

◇◇◇◇◇◇◇

مقدمه :

الماس از کانی های بسیار شاخص و مورد توجه در بازار جواهرات و صنعت می باشد. این کانی با توجه به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و نوری خود به شیوه های متنوعی مورد طبقه بندی قرار میگیرد. در علم کانی شناسی و جواهر شناسی نیز بر اساس خصوصیات رنگی و تیپی، کانی الماس مورد رده بندی قرار گرفته و به گروه های متنوعی تقسیم میشود، با این حال در بسیاری از

www.SID.ir

Archive of SID

جوامع، آگاهی نسبتا دقیقی در خصوص این رده بندی ها و حتی تنوع رنگ الماس وجود نداشته و این امر لزوم شناخت و معرفی تقسیم بندی این کانی گرانبها را ضروری میسازد. در این مقاله تلاش بر آن است تا بر پایه جدید ترین تحقیقات صورت گرفته و با استفاده از بررسی طیف های جذبی مرئی در روش اسپکتروسکوپی و شناخت مختصر معایب بلوری و ساختاری کانی الماس، گروه های رنگی و تیپ های طبیعی این کانی را معرفی نموده و طبقه بندی جامعی از منظر گوهرشناسی الماس ارائه گردد.

◇◇◇◇◇◇◇

بحث و روش تحقیق:

این مقاله الماس را بر اساس شاخص ترین رنگ های موجود مورد بررسی قرار داده و هر رنگ را بر اساس تیپ های معرفی شده از لحاظ کانی شناسی و بلوری، مورد ارزیابی قرار میدهید. این مجموعه از رنگ ها شامل الماس های طبیعی گروه زرد، آبی، قهوه ای، صورتی، قرمز، بنفش و سبز میباشند که از لحاظ تیپ، ساختار بلورین و منشاء بروز رنگ، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و به اختصار به برخی طیف های جذبی مرئی شاخص این تیپ ها اشاره میگردد. لازم به ذکر است که ساختار درونی و سایر عوامل مانند زون های متفاوت درونی بلور، ادخال ها و عوامل موثر در سطح و داخل الماس نیز در کیفیت رنگ تاثیر گذار خواهند بود.

رنگ در الماس ها

حجم زیادی از الماس ها در نگاه اول بدون رنگ به نظر می رسند، اما غالبا بسیاری از این الماس های به ظاهر بی رنگ، دارای رنگ های خفیفی هستند. در تجارت و طبقه بندی الماس های بی رنگ، گروه های متنوعی از سایه رنگهای خفیف شناخته شده و مد نظر کارشناسان قرار میگیرد، این عوامل می توانند تاثیر بسیاری بر روی ارزش یک الماس داشته باشند. از سوی دیگر بسیاری از الماس های بی رنگ دارای سایه ی خفیف آبی رنگی هستندکه در نتیجه ی خصوصیت فلورسنسی آبی رنگ الماس ایجاد شده است.

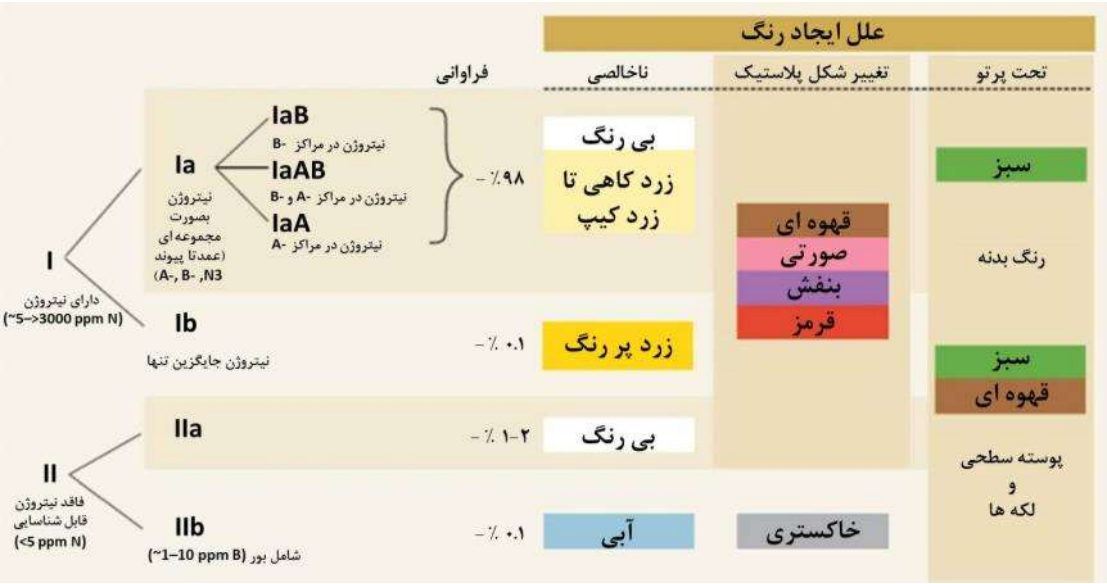
الماس های زرد

رنگ زرد، رنگ بدنه رایج در الماس ها می باشد. رنگ زرد معمولا ناشی از اتم های نیتروژنی است که در ساختار بلور، جایگزین اتم های کربن می شوند. نیتروژن رایج ترین ناخالصی عنصری در الماس هاست و غلظت آن می تواند به بیش از ۰/۳ درصد وزنی (>3000 ppm) برسد. غلظت رنگ زرد الماس به غلظت نیتروژن و آرایش اتم های نیتروژن بستگی دارد. برای تعیین غلظت و آرایش اتم های نیتروژن درون یک الماس خاص، به روش های تجزیه ای مانند طیف نگاری مادون قرمز نیاز است. نتایج این روش های تحلیلی برای طبقه بندی الماس ها به کار میرود. الماس های دارای نیتروژن به عنوان الماس های تیپ I و الماس های بدون نیتروژن قابل شناسایی (< 5 ppm)، به عنوان الماس های تیپ II دسته بندی می شوند. اکثر الماس های بدست آمده از گوشته،

www.SID.ir

Archive of SID

الماس های تیپ I هستند، در حالی که از این بین تنها در صد کمی (تقریبا ۲ در صد) به تیپ II اختصاص یافته است. الماس های تیپ II به طور قابل توجهی در بین رسوبات و بصورت بلورهایی در سایز بزرگ یافت میشوند. الماس های تیپ I بر اساس نحوه آرایش اتم های نیتروژن در ساختار کریستال تقسیم بندی می گردند. در معمول ترین آرایش، اتم های منفرد نیتروژن در خلال رشد الماس، جایگزین اتم های منفرد کربن می شوند. الماس هایی با چنین اتم های منفرد نیتروژن جایگزین شده، به عنوان الماس های نوع Ib طبقه بندی می گردند. اتم های منفرد نیتروژن جایگزین شده به عنوان مراکز رنگی موثر عمل کرده، و حتی مقادیر کمی از آن (100 ppm>) یک رنگ زرد غلیظ را ایجاد می نماید که به رنگ زرد قناری متمایل است. الماس های بسیار کمی از گوشته استخراج شده اند که شامل اتم های منفرد نیتروژن جایگزین شده باشند، در این قبیل الماس ها، نیتروژن منفرد جایگزین شده، معمولا با نیتروژن های متراکم تجمع یافته، در کنار هم قرار می گیرند. با وجود حضور نیتروژن های تجمعی ، الماس هایی که حتی دارای یک سهم کوچکی از نیتروژن منفرد جایگزین شده باشند نیز در دسته ی الماس های نوع Ib طبقه بندی میشوند. در واکنش به دمای بالای گوشته ی زمین، اتم های نیتروژن منفرد جایگزین شده، به سرعت از طریق شبکه ی بلوری برای تشکیل مجموعه های نیتروژنی پیچیده تر، مهاجرت می کنند.



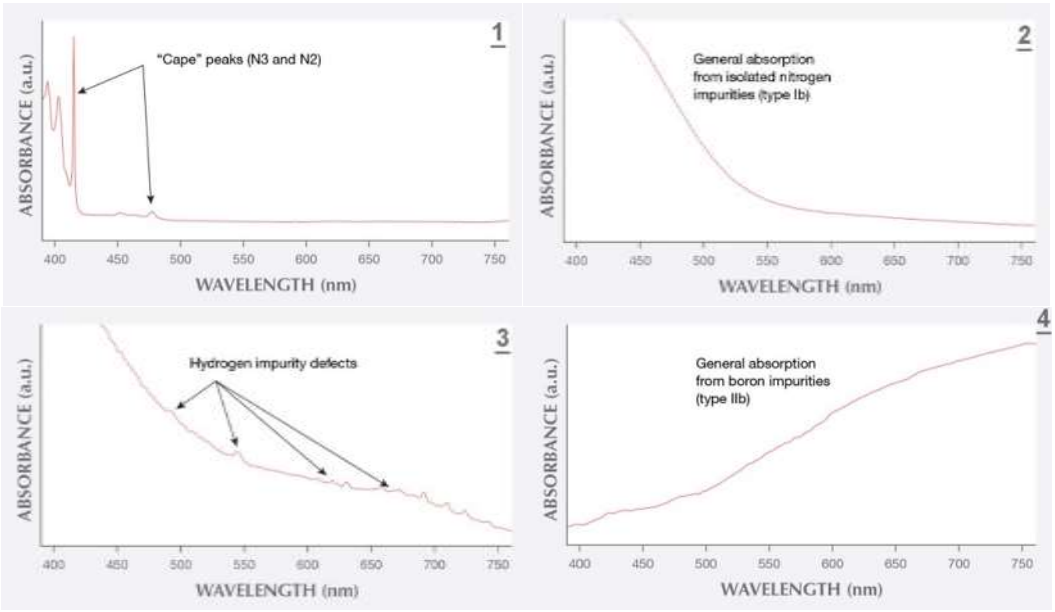
نمودار ۱ : تقسیم بندی تیپ های رایج الماس

بنابراین وجود اتم های باقی مانده ی نیتروژن منفرد جایگزین شده، در الماس های طبیعی، نشان دهنده نمونه هایی هستند که بلافاصله بعد از تشکیل به سطح زمین انتقال یافته اند. الماس های مصنوعی و دگرگونی نیز اکثرا بصورت تیپ Ib تشکیل میگردند. این الماس ها نیز رنگ زرد غلیظ الماس های طبیعی تیپ Ib را نشان می دهند. الماس های دارای نیتروژن در مجموعه های پیچیده تر به عنوان الماس های تیپ Ia دسته بندی می شوند. این مجموعه ی اصلی نیتروژن، شامل یک جفت اتم نیتروژن میباشد، که به یک مرکز A– ملحق شده است. با گذر زمان، مراکز A– به مراکز بسیار متراکم تر B– بدل می شوند که شامل چهار اتم نیتروژن و یک جای خالی

www.SID.ir

Archive of SID

می باشند. الماس های تیپ Ia براساس فراوانی نسبی مراکز –A و –B مورد طبقه بندی قرار میگیرند. الماس های تیپ IaA عمدتا شامل مراکز-A هستند، درحالی که نوع IaB عمدتا از مراکز B تشکیل شده اند. الماس های تیپ بینابینی IaAB نیز شامل آمیزه ای از مراکز –A و –B می باشند. لازم به ذکر است که مراکز –A و –B هیچ تاثیری بر روی رنگ یک الماس ندارند. نیتروژن هم چنین می تواند انواع دیگری از تجمعات، مانند مراکز –N3 را که شامل سه اتم نیتروژن هستند، تولید نماید. همچنین نیتروژن میتواند تا به عنوان یک جزء فرعی در صفحات مسطح پلیتی، ساختارهای معیوبی را به ضخامت چند لایه ی اتمی تشکیل دهد، این ساختارها می توانند در محدوده ی طول چند نانومتر تا چند میکرومتر قرار گیرند. مانند مراکز-A و –B ، این صفحات هم هیچ تاثیری بر روی رنگ الماس ندارند. عمدتا وجود مراکز-N3 در الماس های طبیعی تیپ Ia ، یک رنگ زرد کاهی (کم رنگ) را ایجاد می کند که به عنوان رنگ زرد کیپ شناخته شده است. تعداد کمی از الماس های تیپ Ia نیز ته رنگی از زرد مایل به خاکستری تا رنگ کاملا خاکستری را دارا می باشند. در این موارد، رنگ حاصله به جهت وجود ناخالصی های هیدروژن در الماس بوجود می آید.



شکل الف : طیف سنجی جذبی مرئی در الماس: ۱: طیف جذبی الماس زرد کیپ و نقاط حداکثری N3و N2، ۲: طیف مرتبط با الماس تیپ Ib تحت تاثیر نیتروژن های تنها، ۳: طیف جذبی نشاندهنده ناخالصی های هیدروژن، ۴: طیف سنجی جذبی الماس های آبی تیپ IIb تحت تاثیر ناخالصی های بور

الماس های آبی

www.SID.ir

Archive of SID

الماس های تیپ II ، که بر اساس داشتن نیتروژن غیر قابل تشخیص(ppm 5 ≤) تعریف می شوند، اغلب بدون رنگ یا به رنگ قهوه ای مشاهده می شوند. با این حال در صد کمی از الماس های تیپ II خاصیت فیزیکی غیر معمول نیمه هادی بودن را نیز دارا می باشند ، علی رغم این واقعیت که الماس ها در طبیعت به عنوان عایق الکتریکی شناخته میشوند، این الماس های تیپ II نیمه هادی در گروه الماس های تیپ IIb قرار میگیرند. رسانایی الکتریکی الماس های تیپ IIb ناشی از مقادیر ناچیز بور (Boron) می باشد. مشابه نیتروژن، بور در شبکه ی کریستالی جایگزین اتم های کربن می شود. وجود بور هم چنین باعث ایجاد رنگ بدنه ی آبی برخی از الماس های تیپ IIb می گردد. بور یک مرکز رنگ بسیار موثر است و حتی مقادیر اندک آن (~1 ppm) می تواند باعث بوجود آمدن رنگ آبی غلیظ در الماس شود. رنگ آبی تنها در صورتی می تواند بروز پیدا کند که غلظت نیتروژن بسیار کم بوده و یا اصلا (< 1 ppm) وجود نداشته باشد. اگرچه بیشتر الماس های آبی الماس های تیپ IIb هستند ، اما تعداد کمی الماس تیپ I وجود دارند که رنگ خاکستری مایل به آبی را از خود بروز میدهند. این الماس ها نارسانا بوده و رنگ آبی آنها را ناشی از ناخالصی های هیدروژنی میدانند.

الماس‌های قهوه ای، صورتی، قرمز و بنفش

یکی از رایج‌ترین رنگهای الماس، رنگ قهوه‌ای است، این رنگ از نظر شدت می‌تواند از قهوه‌ای خیلی کمرنگ تا قهوه‌ای خیلی پررنگ متغیر باشد. رنگ قهوه‌ای در الماس، نتیجه‌ی تغییر شکل پلاستیکی است که در دماها و فشارهای بالایِ گوشته زمین رخ میدهد. تغییر شکل پلاستیکی باعث جابجاییِ اتم ها و تشکیل خوشه‌های خالی در شبکه کریستالی می‌شود. این خوشه‌های خالی بخشی از نور را جذب کرده و رنگ قهوه‌ای را ایجاد می‌کنند. جابجایی اتم‌های کربن و تشکیل خوشه‌های خالی معمولا در صفحات هشت وجهی رخ می‌دهد. گاهی اوقات رنگ قهوه ای در خلال صفحات شدیدتر است و باعث ایجاد حالت لکه و تکه تکه شدن رنگ یا بوجود آمدن نوارهای رنگی در الماس می‌شود. درسطوح الماس قهوه‌ای اغلب خطوط موازی مشاهده می‌شود که نمایانگر سطوح جابجایی در سطح بلور می باشد. به این خطوط، خطوط تغییر شکل گفته می‌شود. خطوط تغییر شکل در طول جذب و رشد مجدد الماس برجسته‌تر شده و بنابراین بر روی سطوح دودکاهدرال با رشد مجدد، بسیار واضح‌تر دیده می‌شوند. به طور کلی، رنگ قهوه ای در میان الماس‌های بدون نیتروژنِ نوع II در مقایسه با الماس‌های نیتروژن دارِ نوع I رایج‌تر است. رنگ صورتی در الماس نیز مانند رنگ قهوه ای توسط تغییر شکل پلاستیک ایجاد می‌شود. الماس صورتی نیز معمولا همان علائم تغییر شکل پلاستیکی را نشان می‌دهد که در الماس قهوه ای به آن اشاره شد. رنگ‌های قهوه‌ای و صورتی متعلق به زنجیره‌ی رنگی هستند که قرمز و بنفش را نیز شامل می‌شود. علت تفاوت بین این رنگ‌های الماس هنوز مشخص نشده است. علت رنگ خاکستری نادر در برخی از الماس‌های نوع IIb نیز ممکن است بعلت تغییر شکل پلاستیک باشد. اعتقاد بر این است که در این موارد، رنگ آبیِ رایج در الماس نوع IIb در ترکیب با تغییر شکل پلاستیک، منجر به رنگ خاکستری می‌شود. الماس‌های دارای رنگ‌های صورتی، قرمز و

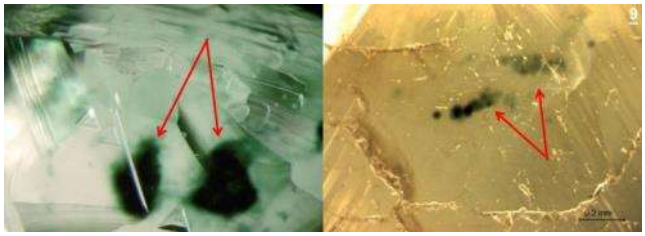
www.SID.ir

Archive of SID

یا بنفش بسیار نادر و محدود به چند محل خاص هستند. با وجود اینکه اکثر الماس های صورتی از نوع I می باشند، اما به ندرت الماس صورتی نوع II نیز مورد استخراج و شناسایی قرار گرفته است.

الماس سبز

رنگ سبز در الماس به دو صورت رنگ بدنه و یا رنگ پوسته که بصورت لکه های سبز دیده میشود، ایجاد میگردد. الماس با رنگ بدنه‌ی سبز شفاف بسیار نادر است. اگر چه غلظت بالای ناخالصی نیتروژن می‌تواند ته‌رنگی مایل به سبز در برخی از نوع الماس‌های Ib ایجاد نماید، اما رنگ بدنه‌ی سبز به طور کلی نتیجه‌ی تشعشعات طبیعی می باشد. تشعشع توسط عناصر رادیواکتیوی مانند اورانیوم و توریم که در محیط پیرامون الماس وجود دارند، ایجاد می‌گردد. فروپاشی این عناصر باعث تولید تشعشعاتی به صورت پرتوی های آلفا، بتا و گاما می‌شود. این پرتوها باعث خروج اتم‌های کربن از شبکه کریستالی الماس و به جا ماندن جای خالی در ساختار شیمیایی میگردد. این فضاهای خالی که در ابتدا به صورت ایزوله هستند، نور را جذب کرده و باعث رنگ سبز بدنه می‌شوند. فقط اشعه گاما این توانایی را دارد که به طور کامل به عمق الماس نفوذ کند. بنابراین، می‌توان پرتوی گاما را عامل اصلیِ رنگ بدنه‌ی سبز شفاف در الماس طبیعی دانست. در مقایسه با سایر رنگ‌های واضح در الماس ها، رنگ سبز بدنه در الماس پرتو دیده طبیعی، نسبتا کمرنگ می باشد. رنگ سبز شفاف الماس‌ها معمولا بیشتر به سطح آنها محدود می‌شود تا بدنه‌ی الماس. اگر رنگ سبز به طور یکنواخت بر روی تمام سطح الماس و به صورت پوسته پخش شود، حالتی مشابه رنگ بدنه‌ی سبز ایجاد می‌کند. برای تعیین اینکه آیا واقعا رنگ بدنه‌ی الماس سبز است یا پوسته‌ی آن، ممکن است لازم باشد تا لایه‌هایی از الماس برداشته شود. در برخی از الماسها نقاط سطحی سبزی وجود دارد که ممکن است به صورت تکی، خوشه‌ای و یا بشکل لکه هایی دیده شود که به طور یکنواخت بر روی تمام سطح الماس پخش شده اند. رنگ این لکه‌ها و همچنین پوسته‌ی سطحی از سبز روشن تا سبز تیره و سیاه متغیر است.



شکل ب : لکه های سبز ایجاد شده سطحی بر اثر در معرض تشعشع قرار گرفتن الماس طبیعی

رنگ سبز سطحی نیز مانند رنگ سبز بدنه، نتیجه‌ی تشعشع می باشد. در این موارد، تشعشع توسط اشعه آلفا انجام شده است. بر خلاف اشعه گاما، عمق نفوذ اشعه آلفا بسیار محدود است. بنابراین، تغییر در شبکه کریستالی به چند میکرومتر بیرونیِ سطح الماس محدود می‌شود. از آنجا که اشعه آلفا قادر به نفوذ به عمق کانی نیست، منبع تابش باید در تماس مستقیم با الماس باشد. به طور کلی

www.SID.ir

Archive of SID

رنگ سبزِ پوسته و لکه‌های سبز بعد از تشکیل بافت‌های سطحیِ مربوط به جذب مجدد و مرحله لایه سازی دوباره، ایجاد میشوند. لذا تغییر ناشی از تشعشع، پس از رسیدنِ الماس به سطح زمین رخ داده است. به طور کلی محتوای عناصر رادیواکتیو در کیمبرلیت‌ها پایین است و به همین دلیل تعداد نسبتا کمی از الماس‌های کیمبرلیتی دارای پوسته و یا لکه‌های سبز هستند اما محتوای عناصر رادیواکتیو در سنگ‌های پوسته‌ای مانند گرانیت بیشتر است. این عناصر در کانی‌های فرعی مانند زیرکن یافت می‌شوند. در برخی از موارد، علت وجود پوسته و لکه‌های سبز روی الماس کیمبرلیتی را می‌توان به حضور زنولیت‌های پوسته‌ای نسبت داد که در کیمبرلیت‌ها وجود دارند. آب‌های زیرزمینی، دیگر منبع احتمالی پرتوها هستند زیرا عناصر رادیواکتیو می‌توانند از سنگ پوسته شسته شده و در آب زیرزمینی حل شوند. عناصر رادیواکتیو پس از حل شدن می‌توانند به سنگ میزبان الماس نفوذ کنند. اگر الماس در تماس با چنین آب زیرزمینیِ غنی از عناصر رادیواکتیوی قرارگیرد، ممکن است ساختار آن تحت تشعشع، تغییر کند. آب زیرزمینی می‌تواند سطح الماس را به طور یکنواخت بپوشاند و اثر تابشی همگنی را ایجاد نماید. این نوع از تشعشع محتمل‌ترین علتِ ایجاد پوسته سبز همگن است. الماس‌های دارای پوسته‌ی سبز در قسمت بالایی برخی از کیمبرلیت‌ها که احتمال قرارگیری در معرض آبهای زیرزمینی بیشتر است، فراوان تر یافت میشوند. پوسته و لکه‌های سبز در الماس‌های نهشته های پلاسری، رایجتر از الماس‌های کیمبرلیتی هستند. نهشته‌های پلاسری نیز اغلب حاویِ کانی‌های غنی از عناصر رادیواکتیو می باشند. برخی از این کانی‌ها دارای وزن مخصوص بالا هستند و در نهشته پلاسری همراه با الماس تجمع یافته اند. قرار گرفتن الماس در معرض این کانی‌های رادیواکتیو باعث ایجاد پوسته و لکه‌های سبزی می‌شود که در الماس نهشته پلاسری بسیار فراوان است. شدت رنگ سبز به شدت تابش و مدت زمانی که الماس تحت تابش بوده بستگی دارد.کانی‌های رادیواکتیو معمولا اشعه با شدت بسیار پایین منتشر می‌کنند. لذا ممکن است ایجاد تغییر قابل توجه در ساختار الماس توسط تشعشع با این حجم، نیازمند میلیون ها سال زمان باشد. لکه‌های سطحیِ قهوه ای نیز در تعداد اندکی از الماس‌ها دیده می‌شود. آزمایشات نشان داده اند که با بازپختِ الماس در دمای بالاتر از حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، لکه‌های سبز به قهوه‌ای تغییر رنگ می‌دهند. بنابراین اعتقاد بر این است که لکه‌های سطحی قهوه‌ای در طبیعت و در طول گرمایشِ الماسِ دارای لکه‌های سبز ایجاد شده باشند. رویداد حرارتی ممکن است در مقیاس کوچک (مانند آتشفشان محلی) و یا در مقیاس بزرگ (مانند دگرگونی‌های منطقه‌ای) رخ داده باشد.

سایر عوامل تشکیل رنگ

ترک ها، ناخالصی ها و جلای سطحی به همراه ادخالها میتوانند در کیفیت رنگی، شفافیت و کیفیت شکست نور یک الماس تاثیر بگذارند. این الماسها عموما در رنگ های سفید، شیری، خاکستری و مشکی قابل مشاهده بوده و دارای ادخالهایی از جنس گرافیت، سولفیدها، مگنتیت، هماتیت و گارنت و یا دارای فیبرهای رشدی در سطح زونهای متفاوت داخل بلور می باشند.

نتیجه گیری :

www.SID.ir

Archive of SID

۱-تغییرات و نواقص ساختاری و بلورین الماس باعث شده که دامنه ای از رنگ های متنوع و تیپ های متفاوت در الماسها بوجود آید.

۲- رنگ های مشابه در الماس های گوناگون، میتوانند در نتیجه ناخالصی ها و تیپ های مختلف و بر اثر بر هم کنش این موارد ایجاد شوند که تشخیص آنها از طریق طیف های جذبی و مشاهده ساختار نوری آن امکان پذیر است.

۳- برخی رنگ های الماس مانند رنگ آبی، در نتیجه یک خصوصیت بلوری شاخص در الماس ایجاد شده و میتواند معرف شرایط خاصی باشد که به بازشناسی محیط و موقعیت تشکیل بلور، کمک نماید.

۴-طیف های جذبی در تیپ های مختلف الماس، نمایانگر نقایص مولکولی و بلورین الماس میباشند و به عنوان یکی از روش های تشخیصی معتبر در بررسی الماس ها به شمار می روند.

۵- تغییرات کوچک اتمی و اضافه یا کم شدن برخی عناصر در بین الماسهای یک تیپ واحد نیز میتواند تنالیته رنگ متفاوتی را بوجود آورد که از لحاظ ظاهری، تشخیص تیپ الماس را با مشکل مواجه میسازد. لذا بررسی های دیگری غیر از مشاهده چشمی، جهت تعیین گروه یک الماس مورد نیاز است.

۶- عوامل خارجی همچون دما و تشعشعات اتمی نیز میتوانند در تغییر ماهیت بلور و ساختارو تیپ الماس موثر بوده و بر کیفیت رنگی آن تاثیر بگذارند.

◇◇◇◇◇◇◇

References:

1- Fritsch, E. 1998. The nature of color in diamonds. In: G.E. Harlow (editor) The nature of diamonds. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 23-47.
2- C.M. Breeding, W. Wang, 2008. Occurence of the Si-V defect center in natural colorless gem diamonds. DRM 17, 1335–1344
3- Moore, A.E. 2009. Type II diamonds: Flamboyant megacrysts, South African Journal of Geology, 112: 23-38.
4- Breeding, C.M. and Shigley, J.E. 2008. The “type” classification system of diamonds and its importance in gemology. G&G, 45: 96-111.
5- King, J.M., Shigley, J.E. 2002. Characterization and grading of natural-color pink diamonds. G&G, 38: 128-147.
6- McCallum, M.E., Huntley, P.M., Falk, R.W. and Otter, M.L. 1994 Morphological, resorption and etch feature trends of diamonds from kimberlite populations within the Colorado-Wyoming state line district. In: H.O.A. Meyer and O.H. Leonardos (editors) Diamonds: Characterization, genesis and exploration. Proceedings of the 5th International Kimberlite Conference, Volume 2. Companhia de Recursos Minerais –CPRM, Special Publication 1/B Jan/94, Brasilia, pp. 32-50.
7- Emerson, W. Wang, 2010. Intresting display of the H3 defect in a colorless diamond. G&G 46,142–143 (2010).
8-Gaillou, J. Post, N. Bassim, A.M. Zaitsev, 2010. Spectroscopic and TEM characterization of color lamellae in natural pink diamonds. DRM,
9- L.S. Hounsome, R. Jones, P.M. Martineau, D. Fisher, M.J. Shaw, 2006. Origin of brown coloration in diamond. Phys. Rev. B 73, 125203
10- A.R. Lang, G.P. Bulanova, D. Fisher, S. Furkert, A. Sarua, Defects in a mixed-habit Yakutian, 2007.diamond: Studies by optical and cathodoluminescence microscopy, infrared absorption, raman scattering and photoluminescence spectroscopy. J. Crys. Growth 309, 170–180

www.SID.ir