

ارزیابی و بهسازی الماس های رنگی و بررسی موردی الماس های صورتی

مرضیه شاهوران* کارشناس ارشد مؤسسه گوهرشناسی گوهرگستران آسیا afsaneh_shahvaran@yahoo.com

دکتر بیژن اعتمادی عضو هیأت علمی دانشگاه شیراز

چکیده

الماس های رنگی تقریباً در هر رنگی وجود دارند. الماس های قرمز، سبز، ارغوانی و نارنجی کم یاب ترین بوده و پس از آن ها الماس های صورتی و آبی قرار می گیرند. زرد و قهوه ای فراوان ترین رنگ ها هستند. رنگ مهم ترین فاکتور در درجه بندی الماس های رنگی محسوب می شود. الماس ها بر اساس وجود یا عدم حضور عناصر N و B به دو تیپ I و II تقسیم بندی می شوند. تیپ الماس و نارسائی های بلوری ارتباط نزدیک با رنگ الماس و نیز بهسازی الماس برای تغییر رنگ آن دارد. روش های جدید بهسازی برای تغییر رنگ دائمی الماس شامل پرتو دهی، بهسازی دما بالا فشار بالا (HPHT) و بهسازی دما بالا فشار پایین (HTLP) است.

کلید واژه: الماس های رنگی، درجه بندی، تیپ الماس، نارسائی های بلوری، بهسازی پرتو دهی، بهسازی دما بالا فشار بالا، بهسازی دما بالا فشار پایین.

مقدمه




رنگ متداول برای الماس از بی رنگ تا زرد کم رنگ تغییر می کند که از معیار درجه بندی D-Z برای آن استفاده می شود. الماس های زرد و قهوه ای که رنگ فراتر از Z را نشان می دهند و همچنین هر الماسی که رنگ دیگری را از قسمت ریزوجه رویی نشان دهد، به عنوان الماس فانتزی در نظر گرفته می شود. الماس های بی رنگ تا زرد کم رنگ با افزایش رنگ زرد از قیمت آن ها کاسته می شود ولی در مورد الماس های فانتزی برعکس است. رنگ الماس های فانتزی در رابطه با افزایش قیمت آن در بازار به ترتیب عبارت است از: الماس های قرمز، ارغوانی شدید، سبز شدید، آبی مایل به سبز شدید، آبی شدید، صورتی شدید، نارنجی - زرد شدید، زرد شدید، خاکستری، زیتونی، قهوه ای، سیاه. الماس های سفید فانتزی نیز وجود دارد. رنگ این الماس ها سفید شیری است گاهی این الماس های سفید فانتزی پس از تراش پدیده اپالسنسی را نشان می دهند. اگر چه بطور سنتی الماس های فانتزی بخش کوچکی از تجارت جهانی الماس را در بر می گیرد اما در چند دهه اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته اند. معروف ترین ذخایر تاریخی و حال حاضر الماس های فانتزی هند، آفریقای جنوبی و استرالیا است سایر معادن در برزیل، ونزوئلا، گویان، برنئو، اندونزی، تانزانیا و روسیه واقع شده است. [۶]







منشأ رنگ در الماس

رنگ در الماس به شدت تحت تاثیر ناخالصی ها و نارسائی ساختار بلوری است. الماس ها را بر اساس جایگزینی عناصر N و B و نارسائی ساختار بلوری به ۴ نوع تقسیم بندی می کنند. الف) نوع Ia ، ب) نوع Ib ، پ) نوع IIa ، ت) نوع IIb [۱].

جدول شماره ۱. ناخالصی ها در الماس [۱]

رنگ	ناخالصی	توضیحات
	نیترژن	عامل رنگ زرد کم رنگ تا زرد فانتزی در الماس های نوع Ia و رنگ زرد، زرد- نارنجی تا قهوه ای در الماس های نوع Ib است.
	بور	عامل رنگ آبی در الماس های نوع Ib است. این الماس ها فسفرسنسی قرمز در LWUV دارند.
	هیدروژن	رنگهای زرد، آبی تا خاکستری یا بنفش را ایجاد میکند. برخی از الماس ها با محتوای هیدروژن بالا پدیده تغییر رنگ را نشان می دهند و الماس های chameleon نامیده می شود. تغییر رنگ این الماس ها از سبز زیتونی تا زرد است.





جدول شماره ۲. نارسائی های شبکه بلوری در الماس [۱]

شماره	رنگ	نارسائی رنگ ساز	طیف جذبی شاخص	توضیحات	فلورسنس ی	رنگ	نارسائی رنگ ساز	طیف جذبی شاخص	توضیحات	فلورسنس ی	
											رنگ ساز
۱		N3	۴۱۵ nm	رنگ زرد را در الماس های سری Cape ایجاد می کند. منشأ طبیعی دارد.	LWUV	۶	NV ⁻	۶۳۷ nm	عامل ایجاد رنگ صورتی در بیشتر الماس های بهسازی شده است و در برخی الماس های صورتی طبیعی نیز وجود دارد.	LWUV	
۲		N2	۴۷۷ nm	به همراه N۳ رنگ زرد را در الماسهای سری Cape ایجاد میکند.	LWUV	۷	H2	۹۸۶ nm	همراه با H3 رنگ سبز شدید را ایجاد میکند.	LWUV	



اثری ندارد.	به تنهایی تاثیری روی رنگ الماس ندارند و منشأ طبیعی دارد.	1282cm^{-1}	A center		۸		هم به طور طبیعی و هم در اثر بهسازی پرتودهی و باز پختی ایجاد می شود. رنگ زرد را در الماس ایجاد میکند.	۴۹۶ nm	H4	۳	
اثری ندارد.	به تنهایی تاثیری روی رنگ الماس ندارد و منشأ طبیعی دارد.	1175cm^{-1}	B center		۹		هم به طور طبیعی و نیز در اثر بهسازی پرتودهی و باز پختی ایجاد می شود. رنگ زرد را ایجاد میکند.	۵۰۳ nm	H3	۴	
اثری ندارد.	منشأ طبیعی دارد و نیز در اثر بهسازی HPHT و باز پختی الماس های B center A و center ایجاد می شود. رنگ زرد عمیق تا قهوه ای را ایجاد میکند.	1130cm^{-1}	C center		۱۰		عامل ایجاد رنگ صورتی در بیشتر الماس های بهسازی شده است و در برخی الماس های صورتی طبیعی نیز وجود دارد.	۵۷۵ nm	NV ^o	۵	

جدول شماره ۳. باندهای جذبی در الماس [۱]

توضیحات	باند	رنگ
رنگ زرد یا نارنجی را در الماس های Ia ایجاد میکند. فلورسنسی زرد قوی در LWUV دارند.	باند ۴۸۰	
در اثر تغییر شکل پلاستیکی ساختار بلوری ایجاد می شود و منشأ طبیعی دارد. رنگ صورتی و قرمز را در الماس های طبیعی ایجاد میکند و در الماس های قهوه ای نیز وجود دارد.	باند ۵۵۰	
به علت ناخالصی نیتروژن ایجاد می شود. بیشتر در الماس های بهسازی شده با پرتودهی و باز پختی رنگ سبز، زرد یا صورتی ایجاد می کند و در بسیاری از الماس های طبیعی سبز یا زرد نیز وجود دارد.	باند ۵۹۵	
یک جفت خط جذبی ۷۴۰ nm و ۷۴۴ nm دارد. هم در اثر پرتودهی طبیعی و هم بهسازی پرتودهی الماس های Ia و IIa ایجاد می شود و عامل رنگ سبز یا آبی است.	GR1 ۷۴۴ nm و ۷۴۰ nm	

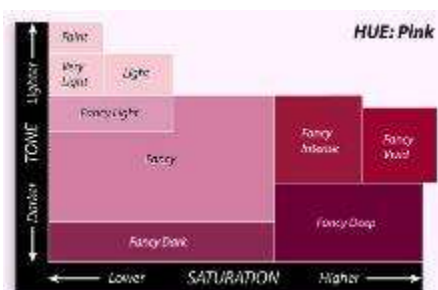


درجه بندی رنگ الماس

اولین معیار درجه بندی رنگ الماس به قرن ششم میلادی در هند بر می گردد که این معیار بر اساس ساختار طبقاتی کشور بنا شده بود و الماس به عنوان نشانی از شأن و منزلت و موقعیت اجتماعی بکار برده می شده اما معیار درجه بندی رنگ الماس از آن زمان تاکنون تغییر زیادی کرده است و امروزه روش های مناسبی برای درجه بندی الماس بکار گرفته می شود که براساس کیفیت الماس است. [۶] با توجه به روند افزایشی چشمگیر در تقاضا و قیمت الماس های صورتی، در این قسمت به بررسی درجه بندی این الماس ها پرداخته شده است.

درجه بندی رنگ الماس های صورتی و قرمز

می توان الماس های صورتی را به دو گروه طبقه بندی کرد type I الماس های صورتی که محتوای نیتروژن بالایی دارند و type II الماس های صورتی بدون نیتروژن، در این الماس ها رنگ کلی گوهر صورتی است اگر چه می توانند رنگ های قهوه ای، ارغوانی و نارنجی را نیز به عنوان رنگ ثانویه داشته باشند. استفاده از واژه صورتی برای ترکیب خاصی از tone و saturation است که به محدوده خاصی از یک hue مرتبط است. بنابراین رنگ صورتی همیشه بطور مستقل و مجزا از رنگ قرمز بیان می شود در درجه بندی الماس های صورتی از واژه ای مانند reddish Pink و pinkish Red استفاده نمی شود. الماس های قرمز به دلیل شدت رنگ و کم یاب بودن آنها ارزش بسیار زیادی دارند معمولاً الماس های قرمز تراش نخورده مستقیماً به بازار عرضه نمی شوند زیرا مشخص نیست بعد از تراش رنگ آنها تا چه حدی تغییر می کند. الماس های قرمز یا مایل به قرمز دامنه tone و saturation محدودی دارند بنابراین برای الماس های قرمز فقط از واژه fancy استفاده می شود. مرز بین محدوده Fancy deep Pink، Fancy vivid Pink و Fancy Red در برخی موارد بسیار نزدیک است. قرار دادن گوهر در محدوده ی Fancy Red نیاز به تجربه و تخصص دارد زیرا تعداد الماس های قرمز بسیار کم است و باید توجه داشت الماس های قرمز مشابه سایر گوهرهای رنگی قرمز نیستند، الماس های قرمز مایل به ارغوانی ممکن است قرمز متمایل به قهوه ای بنظر برسند در واقع باید الماس های قرمز را با الماس های قرمز مقایسه کرد نه با سایر گوهر های قرمز رنگ. در مورد الماس های رنگی، رنگ مهمترین فاکتور در درجه بندی الماس محسوب شود حتی الماس هایی با میانبار زیاد و درجه پاکی پایین وقتی رنگ جذابی را از قسمت سطح رویی گوهر نشان می دهند ارزشمند هستند، البته اگر میانبارها روی مقاومت گوهر اثر منفی داشته باشد ارزش گوهر را بطور چشمگیری کاهش می دهند. [۲]



شکل شماره ۱. درجه بندی رنگ الماس صورتی و قرمز بر اساس ترکیب tone و saturation [۲]



بهسازی الماس:

جدیدترین و با دوام‌ترین بهسازی‌ها در الماس شامل موارد زیر است:

۱- پرتو دهی (Irradiation): در اوایل دهه ۱۹۳۰ پروفیسور ارنست لارنس در دانشگاه کالیفرنیا سیکلوترون را طوری طراحی کرد که بتواند شارژ الکترونی را تسریع کند پس از آن الماس‌ها در سیکلوترون عمدتاً در معرض پرتو آلفا، دوترون (^2H) و پروتون قرار گرفتند و رنگ‌های سبز - آبی، آبی، سبز، زرد و قهوه‌ای در آنها ایجاد شد. این الماس‌ها رادیواکتیو شدند ولی نیمه عمر عناصر رادیواکتیو آنها کوتاه بود. عمق رنگ در این الماس‌ها سطحی بود ولی بیشتر از عمق رنگ در الماس‌های بهسازی شده به روش برمید رادیوم بود و تجمع رنگ در آنها زیاد دیده می‌شد. شتاب دهنده‌های خطی اولیه با بمباران الکترونی رنگ سطحی را در الماس ایجاد می‌کردند. با استفاده از راکتورهای هسته‌ای که در دهه ۱۹۵۰ متداول شدند با پرتو دهی نوترونی رنگ یکدست‌تری در الماس ایجاد شد و در دهه‌های ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ با استفاده از شتابدهنده‌های خطی با الکترون‌های با انرژی بالا الماس‌هایی با رنگ یکنواخت به بازار عرضه شد. [۴]



شکل شماره ۳. مشخصه بارز در اطراف کیولت الماس پرتو دیده را

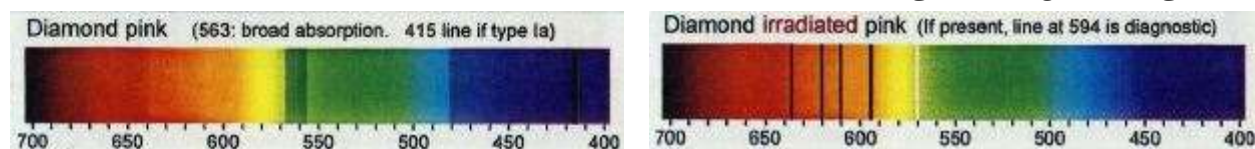


شکل شماره ۲. پرتو دهی با الکترون‌های کم انرژی در سیکلوترون

که تجمع رنگ را در کیولت الماس نشان می‌دهد. [۴]

Umbrella effect می‌نامند. [۴]

الماس‌ها را می‌توان با پرتو گاما نیز بهسازی کرد این پرتو از طریق مواد رادیو اکتیوی مانند ^{60}Co ایجاد می‌شود. تغییر رنگ الماس در اثر پرتو دهی ناشی از ایجاد نارسائی بلوری در الماس است این فضاهای خالی طیف جذبی را چه در نور مرئی و چه در نور مادون قرمز ایجاد می‌کند. الماس‌های پرتو دیده صورتی و قرمز فلورسنس نارنجی قوی به ویژه در LWUV نشان می‌دهند. انواع این نارسائی‌ها و باندها در جدول شماره ۲ و ۳ ذکر شده است.



شکل شماره ۴. مقایسه طیف جذبی الماس صورتی طبیعی و الماس صورتی پرتو دهی شده

رنگی که در اثر پرتو دهی ایجاد می‌شود عمدتاً آبی تا سبز است اگر گوهر بین 50.0°C تا 1310.0°C حرارت داده شود رنگ آبی تا سبز به رنگ قهوه‌ای، زرد مایل به نارنجی، زرد و به ندرت ارغوانی، صورتی تا قرمز تبدیل می‌شود. [۵]





شکل شماره ۶. بهسازی الماس آبی+زرد (پرتودهی + بهسازی دما بالا)

شکل شماره ۵. بهسازی الماس ارغوانی (پرتودهی + بهسازی دما بالا)

۲- بهسازی فشار بالا، دما بالا با سرد شدن تدریجی (HPHT annealing): در حال حاضر مهم ترین بهسازی الماس بهسازی HPHT است، از این بهسازی برای ایجاد رنگ های فانتزی مشخص در الماس استفاده می شود. فشار بالا در این بهسازی برای جلوگیری از تبدیل الماس به CO₂ یا گرافیت ضروری است. فشار لازم برای این بهسازی بیشتر از ۵ GPa و دمای لازم بین ۲۵۰۰°C تا ۱۸۰۰°C است. یکی از انواع بهسازی HPHT در الماس تغییر مراکز رنگ (Transformation of color center) است. با بهسازی HPHT می توان رنگ صورتی عمیق تا قرمز را در سه مرحله بهسازی در الماس های Ia ایجاد کرد. الماس های صورتی تا قرمز یا ارغوانی را که به این روش تولید می شود را Imperial red diamond می نامند. این الماس ها طی چند مرحله بهسازی ایجاد می شوند شامل: ۱- بهسازی دما بالا فشار بالا (HPHT Annealing)؛ پس از این مرحله گوهر رنگ زرد مایل به سبز پیدا می کند. ۲- بهسازی پرتودهی با الکترون ها؛ پس از این مرحله گوهر سبز تیره می شود. ۳- بهسازی فشار پایین و دمای نسبتاً پایین (۱۰۰۰°C)؛ در این مرحله گوهر به رنگ صورتی در می آید. این رنگ در ابتدا در اثر H₂، N₃ و H₃ و سپس تحت تأثیر (NV)⁻ و (NV)^o ایجاد می شود و طیف های جذبی (H1a) (۱۴۵۰ cm⁻¹)، H1b (۲۰۲۴ nm) و H1c (۱۹۳۴ nm) که شاخص الماس های پرتو دیده هستند و نیز طیف جذبی ۶۱۷۰ cm⁻¹ و باند ۵۹۵ nm را نشان می دهد. این الماس ها در LWUV فلورسنسی ترکیب نارنجی و زرد-سبز گچی را نشان می دهند و در SWUV فلورسنسی نارنجی و زرد را نشان می دهند. [۳]



شکل شماره ۷. لومینوسانس سبز در نور مرئی به علت H3center. شکل شماره ۸. ناحیه بندی رنگ واضح صورتی تا قرمز در برخی از این الماس ها. [۳]

۳- بهسازی دما بالا فشار پایین (LPHT annealing): در بهسازی LPHT الماس های سیاه تولید می شود. در نوعی از این بهسازی الماس های ساختگی قهوه ای به روش CVD به صورتی مایل به قهوه ای تبدیل می شوند. [۷]

نتیجه گیری

با وجود اینکه الماس های رنگی بسیار کمیاب هستند و از هر صد تن سنگ معدن معمولاً کمتر از ۶ قیراط الماس رنگی بدست می آید، ولی به دلیل افزایش رویکرد افراد به خرید و سرمایه گذاری روی این الماس ها، در تجارت جهانی مورد توجه زیادی است و مطالعات زیادی در باره نحوه درجه بندی رنگ این الماس ها صورت گرفته است و روش های متعددی



نیز برای بهسازی آنها وجود دارد که بتوان حداکثر زیبایی را در الماس هایی حتی با کیفیت رنگ کم تر ایجاد کرد. البته در روش های بهسازی جدید دوام رنگ بیشتر است و رنگ یکدست تری در گوهر ایجاد می شود. الماس های پرتو دهی شده اغلب طیف جذبی مشخصی را در طول موج های مرئی و مادون قرمز نشان می دهند.

References

- 1) Breeding. C.M., Shigley J.E., (2009) The type classification system of diamond and its importance in gemology. Gem and Gemology, vol.45, No.2, pp96-111.
- 2) King.J.M., Shigley.J.E., Guhin. S.S., Gelb.T.H., Hall.M., (2002) Characterization and grading of Natural-color pink diamonds. Gem and Gemology, vol.38. No. 2, pp 128-147.
- 3) Wang.W., Smith.C.P., Hall.M.S., Breeding.C.M., Moses. T.M. (2005) Treated color pink to red diamonds from Lucent diamonds. Gem and Gemology, vol.41, No.1, pp 6-19.
- 4) Overton.T.W., Shigley.J.E (2008) A History of diamond treatment. Gem and Gemology, vol.144, No.1, pp.32-55.
- 5) Hainschwang.T., (2016) The natural and artificial color origin of gems. GGTL Laboratories, Balzers, Liechtenstein.
- 6) Fancy color diamond description., GIA Gem Encyclopedia.
- 7) Moe. K.S., Johansson. U.H., Wang. w., (2015) LPHT- Annealed pink CVD synthetic diamonds. Gem and Gemology, vol 51, No.2.

