

گزارش شناسایی گوه‌رشناسی میدانی و پیمایش میدانی کانسار دمانتوئید کوه بلقیس (تخت سلیمان)

پوریا سیروس پور^{۱*}، زهرا مختاری^۲، بهاره شیردم^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد گوه‌رشناسی کاربردی و کانی‌های صنعتی، گروه فناوری فرآورده‌های طبیعی و فراوری مواد معدنی، دانشکده فناوری‌های نوین بین‌رشته‌ای، دانشگاه نیشابور

۲. استادیار گروه فناوری فرآورده‌های طبیعی و فراوری مواد معدنی، دانشکده فناوری‌های نوین بین‌رشته‌ای، دانشگاه نیشابور

۳. انستیتو گوه‌رشناسی، دانشگاه علوم زمین چین، ووهان، چین

* Pouria.sp@gmail.com

چکیده

این مطالعه به بررسی ویژگی‌های زمین‌شناختی و کانی‌شناسی رخداد دمانتوئید (واریته سبز آندرادایت) در دامنه جنوب‌غربی کوه بلقیس، واقع در مجتمع دگرگونی تکاب در شمال‌غرب ایران می‌پردازد. طی یک پیمایش میدانی سیستماتیک در پاییز ۱۴۰۴، کانی‌سازی در دو ایستگاه اصلی در ارتفاع ۳۰۰۰ متری مورد بررسی قرار گرفت و تعداد ۳۰ نمونه شامل دمانتوئید و واریته تیره آن (ملانایت) برداشت گردید. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که این رخداد یک سیستم اسکارن توده‌ای است که در مرز تماس واحدهای کربناته (مرمر) و سنگ‌های سیلیکاتی (میکاشیست و گنایس) تحت کنترل مستقیم ساختاری گسل بنیادی چهارطاق شکل گرفته است. بررسی‌های میکروسکوپی و لوپ دستی (10x) بر روی بلورها، فرم هندسی کامل (یوهدرال) با رخساره‌های رومبیک دودکاه‌درون و تراپزوه‌درون را تایید می‌کند. طیف رنگی نمونه‌ها از سبز روشن تا تیره متغیر بوده و در برخی زون‌ها به قهوه‌ای سوخته و سیاه (ملانایت) میل می‌کند که نشان‌دهنده نوسانات شیمیایی سیال در زمان رشد است. اگرچه استرس‌های تکتونیکی پس از تبلور ناشی از عملکرد گسل چهارطاق منجر به ایجاد شکستگی‌های داخلی فراوان و کاهش شفافیت جواهری در نمونه‌های سطحی شده است، اما کنتراست بصری جذاب بلورهای سبز بر متن مرمر سفید، این منطقه را به عنوان یک منبع جدید و ارزشمند برای بازار سنگ‌های کلکسیونی، مجموعه‌داری و مطالعات آموزشی معرفی می‌کند.

کلیدواژه‌ها: دمانتوئید کوه بلقیس، دمانتوئید کلکسیونی، گوه‌رشناسی میدانی، دمانتوئید اسکارنی، دمانتوئید ایران

Field gemological identification report and field survey of the demantoid deposit of Mount Belqeys (Takht -e- Soleyman)

Pouria Sirouspour^{1*}, Zahra Mokhtari², Bahareh Shirdam³

1. Master's student in Applied Gemology and Industrial Minerals, Department of Natural Products and Mineral Processing Technology, Faculty of Novel Interdisciplinary Technologies, University of Neyshabour, Neyshabour, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Natural Products and Mineral Processing Technology, Faculty of Novel Interdisciplinary Technologies, University of Neyshabour, Neyshabour, Iran.

3. Gemmological Institute, China University of Geosciences, Wuhan, 430074, China.

Abstract: This study examines the geological and mineralogical characteristics of a demantoid (green andradite variety) occurrence on the southwestern slope of Mount Belqeys, situated within the Takab metamorphic complex of northwestern Iran. During a systematic field survey in Autumn 2025, mineralization was investigated at two primary stations at an elevation of 3,000 meters, where 30 samples of demantoid and its dark variety (melanite) were collected. Field observations indicate that the occurrence is a massive skarn system formed at the contact between carbonate units (marble) and silicate rocks (micaschist and gneiss), structurally controlled by the

Chahartaq master fault. Macroscopic and 10x loupe examination of the crystals confirms a well-developed euhedral geometry, characterized by rhombic dodecahedron and trapezohedron habits. The color ranges from light to dark green, with certain zones grading into dark brown and black (melanite), reflecting chemical fluctuations in the hydrothermal fluids during crystal growth. Although post-crystallization tectonic stress associated with the Chahartaq fault has resulted in extensive internal fracturing and diminished gem-quality transparency in surface samples, the striking visual contrast of green crystals against a white marble matrix identifies this site as a significant new source for the mineral specimen, educational, and collector markets.

Keywords: Demantoid of Mount Belqeys, collectible demantoid, field gemology, skarn demantoid, Iranian demantoid

۱. معرفی

کانی‌های گروه گارنت با فرمول عمومی $X_3Y_2(SiO_4)_3$ به عنوان شاخص‌های کلیدی در پترولوژی مدرن برای درک تکامل شیمیایی سیالات در سیستم‌های دگرگونی و اسکارنی شناخته می‌شوند (Grew, 2018). در این میان، دمانتوئید، به عنوان واریته سبز رنگ آندرادایت، به دلیل ویژگی‌های اپتیکی استثنایی از جمله ضریب شکست بالا و پاشندگی نوری (۰.۵۷)، ارزشمندترین عضو این گروه در بازار سنگ‌های قیمتی است (Hainschwang et al., 2021). منشأ اصلی رنگ سبز در دمانتوئید به حضور عنصر کروم (Cr^{3+}) نسبت داده می‌شود که با جانشینی در جایگاه هشت‌وجهی آهن (Fe^{3+})، طیف‌های جذبی مشخصی را ایجاد کرده و عامل اصلی درخشندگی و اشباع رنگ در این کانی محسوب می‌گردد (Smet et al., 2021). رخدادهای دمانتوئید در ایران به‌طور سنتی در زون‌های افیولیتی سرپانتینیتی مطالعه شده‌اند (Ahadnejad et al., 2022). با این حال، منطقه بلقیس در تکاب، به دلیل قرارگیری در یک گره تکتونیکی حساس حاصل از تلاقی زون‌های ساندج-سیرجان، ایران مرکزی و البرز-آذربایجان، واجد پیچیدگی‌های ژئودینامیکی منحصر به فردی است (Shafaii Moghadam et al., 2020). بر اساس گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور)، این منطقه میزبان توالی‌های دگرگونی است که پتانسیل بالایی برای تشکیل کانی‌سازی‌های نوع اسکارن فراهم می‌کند. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در متدولوژی گوه‌رشناسی میدانی و ضرورت مستندسازی علمی ذخایر جدید، این مطالعه به دنبال مستندسازی ویژگی‌های زمین‌شناختی و توصیف خصوصیات ماکروسکوپی دمانتوئیدهای منطقه بلقیس است (Hsu et al., 2022). هدف نهایی این پژوهش، ارائه یک گزارش نظام‌مند از وضعیت کانی‌سازی و بررسی ارتباط صحرایی آن با ساختارهای تکتونیکی محلی است که می‌تواند به عنوان مرجعی برای مطالعات اکتشافی آتی در پهنه‌های برخوردی شمال غرب ایران مورد استفاده قرار گیرد.

۲. محیط زمین‌شناسی

۲.۱. چارچوب زمین‌ساختی و ساختاری منطقه

محدوده مورد مطالعه در بخش میانی برکه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ تخت‌سلیمان (شیت ۵۴۶۳) واقع شده است. کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۰ متر به عنوان بلندترین عارضه توپوگرافی در مرکز این نقشه، بخشی از مجتمع دگرگونی تکاب را تشکیل می‌دهد. طبق تحلیل‌های ساختاری بیرالوند و همکاران (۱۳۹۸)، تکامل زمین‌ساختی این پهنه به شدت تحت تأثیر گسل بنیادی چهارطاق با روند NW-SE است. مشاهدات میدانی این پژوهش نشان می‌دهد که رخداد دمانتوئید بلقیس در دامنه جنوب‌غربی این کوه و در بخش فرودپواره گسل مذکور واقع شده است. در این پهنه، عملکرد ساختارهای کششی موضعی در امتداد گسل چهارطاق، منجر به ایجاد شکاف‌هایی در پوسته شده که به عنوان مجاری اصلی برای صعود محلول‌های گرمایی عمل کرده‌اند. وجود

مخروط‌های تراورتنی عظیم نظیر کوه زندان در منطقه، گواهی بر عملکرد یک سیستم هیدروترمال فعال در این زون ساختاری است. طبق یافته‌های بیرالوند و همکاران (۱۳۹۸)، گرادیان زمین‌گرایی بالا ناشی از ماگماتیسم جوان منطقه، موتور محرک چرخش این سیالات بوده و این منبع حرارتی باعث انتقال کاتیون‌ها به زون‌های واکنشی در مرز واحدهای کربناته دامنه بلقیس شده است.

۲.۲. لیتو-استراتیگرافی و واحدهای میزبان

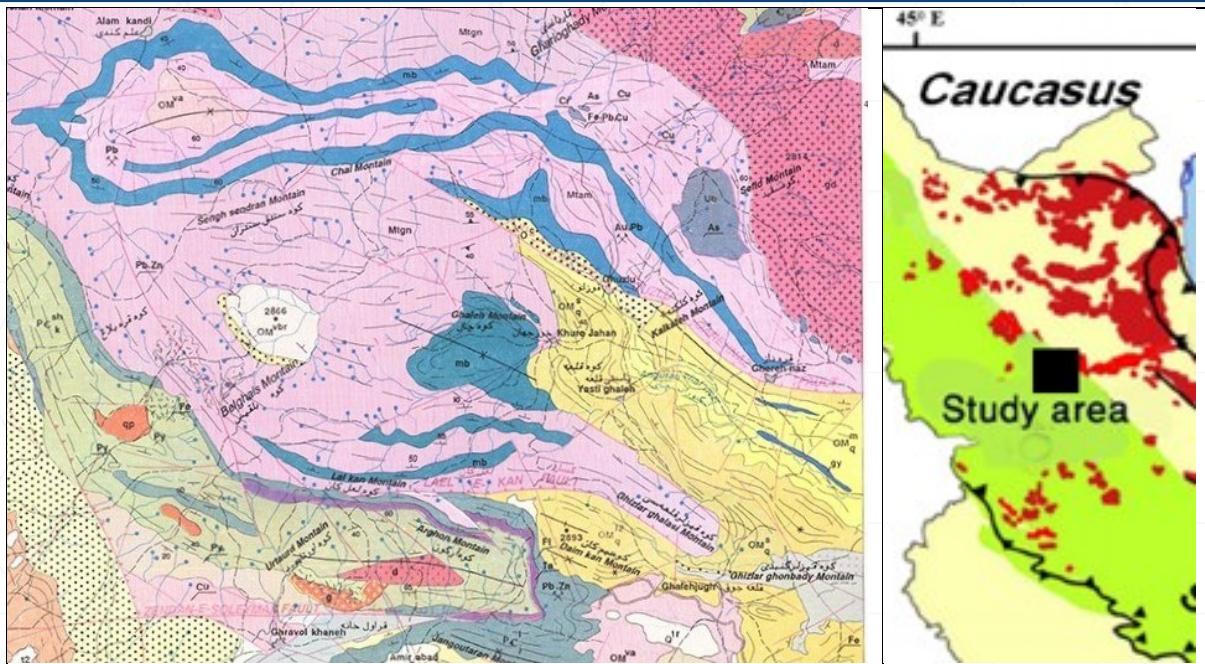
بر اساس گزارش سازمان زمین‌شناسی (برگه تخت‌سلیمان) و مشاهدات میدانی این پژوهش، توالی سنگی در محل کانی‌سازی شامل بخش‌های زیر است:

۱. واحد مرمر (کلسیت‌دار): این واحد که سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی است، شامل مرمرها و توده‌های غنی از کلسیت با بافت درشت‌بلور و توپوگرافی خشن می‌باشد. شناسایی کلسیت در صحرا با استفاده از واکنش با اسید کلریدریک رقیق (جوهرنمک) انجام شد که منجر به انحلال سریع کلسیت و تمایز آن از کوارتز گردید. دمانتوئیدها و سایر گارنت‌ها در این واحد و در امتداد رگه‌های متاسوماتیک ناشی از نفوذ سیالات در شکستگی‌های دامنه جنوب‌غربی تبلور یافته‌اند.

۲. میکاشیست‌ها و گنایس‌ها: این واحدها که به‌طور گسترده در محدوده پیمایش مشاهده شدند، شامل سنگ‌های دگرگونی غنی از میکا و فلدسپار بوده و در تناوب ساختاری با مرمرها قرار دارند. این سنگ‌ها به عنوان منبع بالقوه آهن، منیزیم و آلومینیوم برای واکنش‌های متاسوماتیک و تشکیل کانی‌های گارنتی در محیط اسکارنی نقش داشته‌اند.

۳. واحدهای تاملین‌کننده کربنات: بر اساس مطالعات بیرالوند و همکاران (۱۳۹۸)، کربنات‌های مورد نیاز در این سیستم هیدروترمال عمدتاً از واحد جانگوتاران (در پی سنگ دگرگونی) و سازند قم (به عنوان پوشش رسوبی منطقه) تأمین شده‌اند. محلول‌های گرمایی با عبور از این سازندها در اعماق، کلسیم لازم را شسته و در برخورد با کانی‌های سیلیکاتی سنگ‌های دگرگونی بلقیس، شرایط تبلور آندرادایت سبز (دمانتوئید) را فراهم کرده‌اند.

۴. شواهد فعالیت‌های گرمایی: گستردگی رسوبات تراورتن در منطقه که در فرودپارچه گسل چهارطاقی متمرکز شده‌اند، نشان‌دهنده استمرار جریان‌های هیدروترمال حاوی کربنات کلسیم است که از واحدهای جانگوتاران و قم منشأ گرفته‌اند. در شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی محل مورد مطالعه آمده است.



شکل ۱. تصویر سمت راست موقعیت محل مورد مطالعه را در نقشه ایران نشان می‌دهد و تصویر سمت چپ نقشه زمین‌شناسی کوه بلقیس (کانسار دمانتوئید) آمده است.

۳. مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر بر پایه پیمایش میدانی سیستماتیک در دامنه جنوب غربی کوه بلقیس انجام شده است. مراحل اجرای تحقیق به شرح زیر است:

۳.۱. پیمایش میدانی و نمونه‌برداری

عملیات صحرایی در پاییز ۱۴۰۴ با هدف شناسایی رخنمون‌های کانی‌سازی انجام شد. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰,۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای، زون‌های خردشده مرتبط با گسل چهارطاق پایش گردید. در این پیمایش:

- دو ایستگاه اصلی در ارتفاع ۳۰۰۰ متری به عنوان زون‌های کانی‌سازی با تمرکز بالا شناسایی شد.
- موقعیت جغرافیایی ثبت شده توسط دستگاه GPS در مرکز محدوده کانی‌سازی برابر با $36^{\circ}38'36''$ شمالی و $47^{\circ}17'08''$ شرقی می‌باشد.
- تعداد ۳۰ نمونه سنگی شامل بلورهای دمانتوئید سبز رنگ و همچنین گارنت‌هایی با رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای سوخته و سیاه، هم به صورت درجا در سنگ بستر و هم به صورت همراه با سنگ میزبان برداشت گردید.
- نمونه‌برداری از واریته‌های قهوه‌ای رنگ به منظور توصیف تغییرات ظاهری، بررسی روابط هم‌رشدی بلورها و مطالعه مورفولوژیک آن‌ها در مقایسه با آندرادایت‌های سبز (دمانتوئید) انجام شد.

۳.۲. پروتکل نمونه‌برداری

جهت اطمینان از صحت نتایج آزمایشگاهی، پروتکل زیر در جمع‌آوری نمونه‌ها رعایت شد:

- **نمونه‌برداری انتخابی:** نمونه‌ها از زون‌های واکنشی بین مرمر و رگه‌های سیلیسی-کربناتی که بیشترین تمرکز بلورهای مشهود را داشتند، انتخاب شدند.
- **جداسازی فیزیکی:** بلورهایی که کمترین میزان هوازدگی سطحی را داشتند همراه با بخشی از سنگ میزبان به منظور حفظ روابط پتروگرافیک برداشت شدند.
- **بسته‌بندی و کدگذاری:** هر نمونه پس از پاکسازی اولیه، بر اساس موقعیت یافت و ویژگی‌های ظاهری در کیسه‌های مخصوص قرار گرفته و با کدهای اختصاصی از BM01 تا BM30 کدگذاری گردید. این کدگذاری جهت تفکیک نمونه‌های برداشت شده از سنگ بستر و نمونه‌های همراه با سنگ میزبان انجام شد.

۳.۳. مطالعات ماکروسکوپی و کانی‌شناسی اولیه

نمونه‌های برداشت شده در آزمایشگاه صحرایی مورد بررسی قرار گرفتند. این بررسی‌ها شامل ثبت مورفولوژی بلورها، تعیین سیستم تبلور و تحلیل کیفیت رنگ با استفاده از لوپ دستی $10\times$ بود. ارزیابی‌های ظاهری نشان داد که به دلیل تعدد شکستگی‌های داخلی و ناخالصی‌های فراوان در نمونه‌های سطحی، عبور نور به سختی صورت گرفته و پاشندگی نوری در این مرحله مشاهده نمی‌شود. همچنین روابط پاراژنتیک بین بلورها و سنگ میزبان به صورت عینی مستند گردید.

۴. بحث و نتیجه

بر اساس پیمایش‌های انجام شده در ارتفاع ۳۰۰۰ متری دامنه بلقیس، ویژگی‌های کانی‌سازی و پاراژنز سنگی به شرح زیر تحلیل می‌گردد:

۴.۱. تحلیل رخنمون و کنترل‌کننده‌های ساختاری

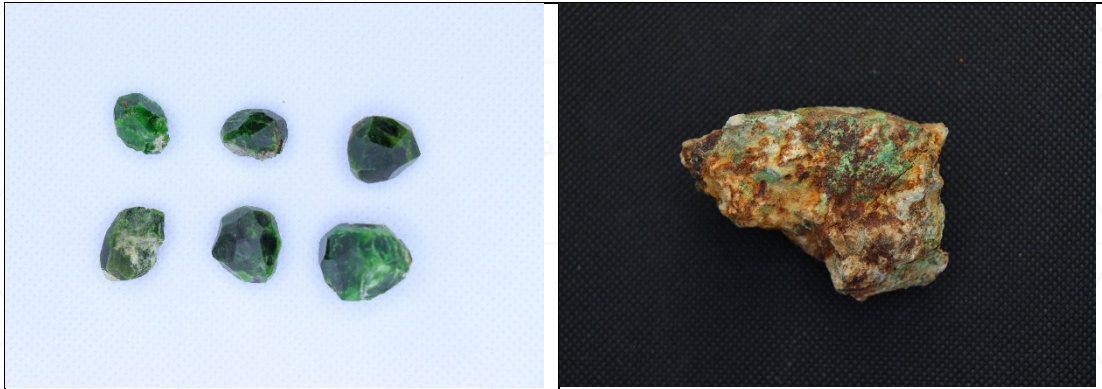
کانی‌سازی دمانتوئید در بلقیس تحت کنترل مستقیم ساختارهای تکتونیکی و در مجاورت زون‌های خردشده گسل چهارطاق رخ داده است. برخلاف سیستم‌های رگه‌ای، این رخداد یک سیستم جانشینی متاسوماتیک توده‌ای است که در آن بلورها در متنی متراکم رشد کرده‌اند. ماهیت اسکارنی این توده‌ها بر پایه سه مشاهده عینی تبیین می‌گردد: ۱. تمرکز کانی‌سازی در نوار تماسی مرمرها و سنگ‌های سیلیکاتی؛ ۲. بافت جانشینی متراکم گارنت به جای سنگ میزبان؛ و ۳. حضور هاله‌های دگرسانی اپیدوتی در حاشیه کانی‌سازی که نشان‌دهنده واکنش شیمیایی سیالات با سنگ میزبان است.

۴.۲. ویژگی‌های ماکروسکوپی بلورها

بلورهای گارنت در این منطقه عمدتاً کدر تا نیمه‌شفاف و واجد شکستگی‌های متراکم داخلی مشاهده شد. حفظ فرم هندسی یوهدرال در کنار این دگرشکلی‌های مکانیکی، نشان‌دهنده فعالیت‌های تکتونیکی گسل چهارطاق پس از مرحله تبلور است. به همین دلیل، این نمونه‌های برداشت‌شده به جای کاربرد جواهری، دارای ارزش علمی و مجموعه‌داری هستند. کنتراست رنگی بلورهای سبز بر زمینه مرمر سفید، جذابیت زیباشناختی و ارزش کلکسیونی نمونه‌های این منطقه را دوچندان کرده است.

کانی‌سازی در دو گروه اصلی مشاهده شد:

- دمانتوئیدهای سبز: بلورهای یوهدرال با فرم‌های رومبیک دودکاهدرون و تراپزوهدرون که طیف رنگی سبز روشن تا تیره را در بر می‌گیرند (شکل ۲).



شکل ۲. تصویر سمت راست نمونه سنگ بستر دمانتوئید کوه بلقیس را نشان می‌دهد. تصویر سمت چپ بلورهای دمانتوئید کوه بلقیس را نشان می‌دهد که به صورت Euhedral و در فرم‌های رومبیک دودکاهدرون و تراپزوهدرون متبلور شده‌اند. / عکس از پوریا سیروس پور

- گارنت‌های تیره (ملانایت): بلورهایی با ریخت‌شناسی مشابه که تغییر رنگ آن‌ها به قهوه‌ای سوخته و سیاه، نشان‌دهنده نوسانات شیمیایی سیال (نظیر ورود آهن و تیتانیوم) در طی مراحل رشد در سامانه اسکارنی است. ابعاد قابل توجه و سطوح بلوری مشخص، این رخداد را به عنوانی منبعی جدید و مستعد برای عرضه در بازار سنگ‌های مجموعه‌داری و آموزشی شمال غرب ایران معرفی می‌کند.

۴.۳. زون‌بندی متاسوماتیک

در حاشیه توده‌های دمانتوئید، زون‌های واکنشی باریکی (در ابعاد سانتی‌متر) در سنگ میزبان مرمر مشاهده شد. حضور کانی‌های سیلیکاتی نظیر اپیدوت و کلریت در این زون‌ها، تاییدکننده ماهیت اسکارنی-هیدروترمال کانی‌سازی در بلقیس است. مشاهدات صحرایی نشان می‌دهد که سنگ‌های همراه شامل میکاشیست، گنایس و واحدهای غنی از کلسیت (مرمرهای جانگوتاران)، نقش اصلی را در تأمین کاتیون‌های لازم برای واکنش‌های متاسوماتیک ایفا کرده‌اند. شواهد بصری از این زون‌بندی و عملیات پیمایش در شکل ۳ ارائه شده است.



شکل ۳. تصویر A: کارگاه استخراج دمانتوئیدهای کوه بلقیس به صورت تونل‌های تجربی یا تصادفی با عمق کم را نشان می‌دهد. تصویر B: سنگ میزبان دمانتوئید کوه بلقیس که با بررسی میدانی، گنایس به نظر می‌رسد. و تصویر C: سنگ میزبان دمانتوئیدهای کوه بلقیس که با بررسی میدانی، میکاشیست، مرمر به نظر می‌رسند.

۵. نتیجه‌گیری کلی

۱. الگوی کانی‌سازی: رخداد دمانتوئید در منطقه بلقیس از نوع اسکارن توده‌ای است که در مرز بین واحدهای کربناته دگرگون و سنگ‌های سیلیکاتی تشکیل شده است.
۲. کنترل ساختاری: تمرکز کانی‌سازی در زون‌های برشی و خردشده فرودپواره گسل چهارطاق، نقش کلیدی این ساختار را به عنوان مجرای اصلی صعود و به تله افتادن سیالات هیدروترمال تایید می‌کند.
۳. ویژگی‌های کیفی: بلورها علیرغم دارا بودن فرم هندسی کامل (یوهدرال)، به دلیل استرس‌های تکتونیکی پس از تبلور، واجد شکستگی‌های فراوان بوده و در نمونه‌های سطحی فاقد شفافیت جواهری هستند.
۴. پتانسیل اقتصادی: کنتراست رنگی جذاب بلورهای سبز بر روی ماتریکس مرمر سفید، این رخداد را به عنوان یک منبع جدید و باارزش برای عرضه در بازار سنگ‌های کلکسیونی و مجموعه‌داری معرفی می‌کند. (شکل ۴)



شکل ۴. دمانتوئید کلکسیون بلقیس / عکس از سایت لاما جمز

۶. منابع و مآخذ (References)

- Ahadnejad, V., et al. (2022). Demantoid from Iran: A Review. *Journal of Gemmology*.
- بیرالوند، م.، محجل، م.، و قاسمی، م.ر. (۱۳۹۸). نقش زمین‌ساخت و ماگماتیسم در تکامل تراورتن‌های تخت‌سلیمان. فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۱۲.
- Grew, E. S. (2018). *Garnets: Great Indicators of Metamorphic Processes*. Elements.
- Hainschwang, T., et al. (2021). *The Science of Gemology: Advanced Analytical Methods*. Reviews in Mineralogy and Geochemistry.
- Hsu, T., et al. (2022). *Field Gemology and Trace Element Fingerprinting of Demantoid Garnets*. Gems & Gemology.
- Rezaei-Kahkhaei, S., et al. (2020). *Geochemistry and Tectonic Setting of the Takab Metamorphic Complex*. Journal of Geosciences.
- Shafaii Moghadam, H., et al. (2020). *Tectonic Evolution of the Tethyan Region in Iran*. Earth-Science Reviews.
- Smet, I., et al. (2021). Color Origins in Andradite Garnets. *Gems & Gemology*.
- گزارش نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تخت‌سلیمان (برگه ۵۴۶۳)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور