

هورستیل (Horsetail): اینکلوژنی ارزشمند در گارنت دمانتوئید - از اورال روسیه تا کرمان ایران

مصطفی رضایی سیستانی^{۱*}، سیده فروه موسوی زارع^۱، عاطفه رضی^۱

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

mostafa.rezaeisistani@mail.um.ac.ir

چکیده

اینکلوژن‌های هورستیل (horsetail inclusions) از مهم‌ترین ویژگی‌های تشخیصی گارنت دمانتوئید (demantoid garnet) محسوب می‌شوند. این اینکلوژن‌ها که عمدتاً از کریزوتیل (chrysotile) تشکیل شده‌اند، در دمانتوئیدهای استخراج شده از سنگ‌های سرپانتینیتی (serpentine-hosted) مانند ذخایر اورال روسیه و کرمان ایران مشاهده می‌شوند. در این مقاله، با بهره‌گیری از مطالعات موردی ویژگی‌های اینکلوژنی، ترکیب شیمیایی و خواص گوهرشناسی دمانتوئیدهای این دو منطقه مقایسه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که دمانتوئیدهای کرمان از نظر کیفیت رنگ، شفافیت و دارا بودن اینکلوژن‌های خاص، هم‌تراز با نمونه‌های روسی هستند و حتی از نظر غلظت برخی عناصر کمیاب مانند کروم (Cr)، ژرمانیوم (Ge)، نیکل (Ni) و کبالت (Co) متمایز می‌باشند. این مقاله بر اهمیت دمانتوئید کرمان به عنوان یک منبع گوهرشناسی با ارزش و پتانسیل تجاری بالا تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها: دمانتوئید، اینکلوژن، هورستیل

Horsetail: A Valuable Inclusion in Demantoid Garnet – From the Ural Mountains of Russia to Kerman, Iran

Mostafa Rezaei Sistani^{1*}, and Seyyede Farveh Mousavi Zare¹, Atefeh Razi¹

¹ Department of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad

mostafa.rezaeisistani@mail.um.ac.ir

Abstract

Horsetail inclusions are among the most important diagnostic features of demantoid garnet. These inclusions, primarily composed of chrysotile, are observed in demantoids extracted from serpentine-hosted deposits such as those in the Ural Mountains of Russia and Kerman Province, Iran. Utilizing case studies, this article compares the inclusion characteristics, chemical composition, and gemological properties of demantoids from these two regions. The results indicate that Kerman demantoids are comparable to their Russian counterparts in terms of color quality, transparency, and the presence of characteristic inclusions, while also being distinguished by higher concentrations of certain trace elements such as chromium (Cr), germanium (Ge), nickel (Ni), and cobalt (Co). This paper emphasizes the importance of Kerman demantoid as a valuable gemological resource with high commercial potential.

Keywords: Demantoid, Inclusion, Horsetail

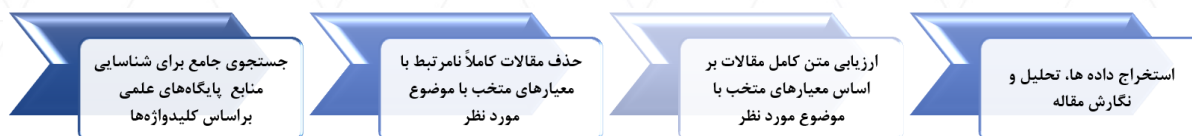
۱- مقدمه

گارنت دمانتوئید، گونه سبز رنگ آندرادیت^{۲۱} از گروه گارنت‌های اوگراندیت^{۲۲}، به دلیل درخشش استثنایی و پراش یا پراکندگی نوری^{۲۳} بالا، از گران‌بهاترین گارنت‌های گوهرشناسی محسوب می‌شود. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های تشخیصی دمانتوئید، حضور اینکلوزن‌های سوزنی‌شکل و خمیده‌ای است که به دلیل شباهت به دم اسب، با نام «هورستیل» شناخته می‌شوند (Phillips & Talantsev, 1996). این اینکلوزن‌ها عمدتاً از کریزوتیل تشکیل شده و معمولاً از یک ذره مرکزی کرومیت تابش می‌کنند (Laur, 2002; Adamo et al., 2011).

برای دهه‌ها، دمانتوئیدهای باکیفیت عمدتاً از اورال روسیه استخراج می‌شدند. با این حال، در سال‌های اخیر، منابع جدیدی از جمله در استان کرمان ایران شناسایی شده‌اند (Milisenda et al., 2001; Ahadnejad et al., 2022). دمانتوئیدهای کرمان نیز در سنگ میزبان سرپانتینیته تشکیل شده و حاوی اینکلوزن‌های هورستیل هستند، اما تفاوت‌های ترکیبی و برخی ویژگی‌های اینکلوزنی می‌توانند در تمایز آن‌ها از نمونه‌های روسی مؤثر باشند. هدف این مقاله، بررسی تطبیقی اینکلوزن‌های هورستیل و ویژگی‌های گوهرشناسی دمانتوئیدهای دو منطقه اورال روسیه و کرمان ایران با استناد به مطالعات منتشر شده است.

۲- مواد و روش‌ها

این مقاله با هدف یکپارچه‌سازی و تحلیل انتقادی دانش موجود در مورد دمانتوئید-هورستیل‌دار از نظر کانی‌شناسی، گوهرشناسی به ویژه مطالعه گسترده بر روی دمانتوئیدهای کرمان ایران و اینکلوزن در دمانتوئیدهای اورال روسیه است. روش کار مطابق با دستورالعمل‌های استاندارد مرور نظام‌مند، تحلیل داده‌ها و تصویربرداری نمونه‌ها طراحی و اجرا گردید. و سپس، نتایج حاصل از این استخراج داده‌ها، با تمرکز بر ویژگی‌های اینکلوزنی (به ویژه هورستیل)، ترکیب شیمیایی، و خواص نوری مقایسه و تحلیل شده‌اند.



شکل ۱- فرآیند انجام مطالعه

۳- بحث

۳-۱. ویژگی‌های اینکلوزن‌های هورستیل:

- در دمانتوئیدهای سرپانتینیته اورال روسیه و کرمان ایران، اینکلوزن‌های هورستیل (رشته‌های خمیده کریزوتیل) یک ویژگی تشخیصی کلیدی هستند (Ahadnejad et al., 2022; Phillips & Talantsev, 1996).

- در دمانتوئیدهای اورال، علاوه بر هورستیل، اینکلوزن‌های سوزنی مستقیم و بی‌رنگ دیگری نیز مشاهده شده که با روش رمان به عنوان دیوپسید شناسایی شده‌اند (Krzemnicki, 1999). این اینکلوزن‌های دیوپسیدی دارای مقطع لوزی و خطوطی موازی با محور طولی هستند.

²¹ andradite

²² ugrandite

²³ dispersion

- در دمانتوئیدهای کرمان- ایران، اگرچه اینکلوژن‌های سوزنی کریزوتیل فراوان هستند، اما اینکلوژن‌های دیوپسید گزارش نشده‌اند. همچنین، در نمونه‌های کرمانی- ایران، الگوی تابشی هورستیل از یک ذره مرکزی کرومیت به وضوح مشاهده نمی‌شود (Ahadnejad et al., 2022).

- دمانتوئیدهای کرمان- ایران همچنین اغلب دارای ناحیه‌بندی رنگی^{۲۴} مشخص، الگوی ترک‌های ریز^{۲۵} و حجاب‌ها^{۲۶} یا پرده‌های نازک و ابریشمی از اینکلوژیون‌های ریز جزئی هستند (شکل ۱).



شکل ۲- بخشی از طیف های رنگی دمانتوئید کرمان- ایران

۲-۳. ترکیب شیمیایی و خواص نوری:

- رنگ سبز در هر دو گروه عمدتاً ناشی از وجود کروم (Cr^{3+}) است. با این حال، دمانتوئیدهای کرمان- ایران دارای غلظت بسیار بالاتری از Cr_2O_3 (تا ۴.۰۹ wt.%) نسبت به میانگین نمونه‌های روسی هستند (Ahadnejad et al., 2022; Pei et al., 2019) (جدول ۱- شکل ۳).

- عناصر کمیاب (trace elements) مانند ژرمانیوم (Ge)، نیکل (Ni) و کبالت (Co) در دمانتوئیدهای کرمان به میزان نسبتاً بالایی وجود دارند که می‌تواند یک نشانگر زمین‌شیمیایی متمایز باشد (Ahadnejad et al., 2022).

- طیف جذب نوری هر دو گروه، باندهای جذب قوی مربوط به Cr^{3+} در ۶۲۵ و ۶۴۰ نانومتر را نشان می‌دهند. در برخی نمونه‌های کرمان، باند جذب Fe^{3+} در حدود ۴۴۰ نانومتر نیز دیده می‌شود (Ahadnejad et al., 2022).

- طیف‌های رامان نمونه‌های کرمان- ایران کاملاً منطبق بر آندرادیت است و تفاوت معناداری با نمونه‌های روسی نشان نمی‌دهد (Ahadnejad et al., 2022).

²⁴ colour zoning

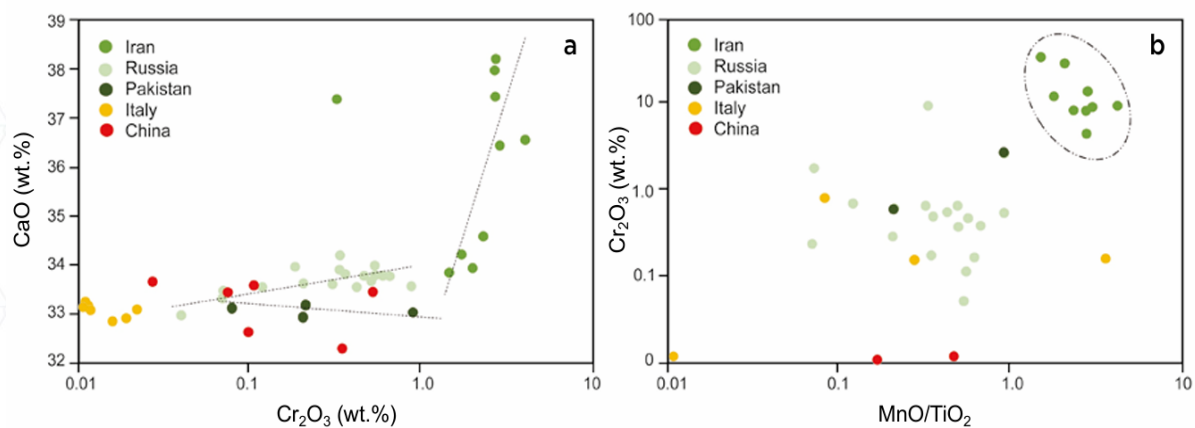
²⁵ micro-cracks

²⁶ veils

جدول ۱: مقایسه میانگین ترکیب شیمیایی عمده (برحسب wt.%) دمانتوئیدهای کرمان (Ahadnejad et al., 2022) و اورال روسیه (Pei et al., 2019).

اکسید	دمانتوئید کرمان	دمانتوئید اورال روسیه
SiO ₂	۲۷.۸	۳۵.۶
CaO	۳۵.۸	۳۳.۵
Fe ₂ O ₃	۳۲.۲	۲۲.۱
Cr ₂ O ₃	۲.۳	۰.۸
MgO	۱.۲	۰.۵

Chemical Composition



شکل ۳- نمودار مقایسه‌ای غلظت Cr₂O₃ در دمانتوئیدهای سرپانتینیتی ایران، روسیه و پاکستان. (بر اساس داده‌های Ahadnejad et al., 2022; Pei et al., 2019; Adamo et al., 2015)

۳-۳. حساسیت مغناطیسی:

- دمانتوئید به دلیل محتوای آهن (Fe) دارای خاصیت پارامغناطیس است. میانگین حساسیت مغناطیسی جرمی^{۲۷} دمانتوئیدهای کرمان-ایران در محدوده ۶.۰۰-۶.۵۴ × ۱۰^{-۷} m³/kg اندازه‌گیری شده که با مقدار گزارش شده برای یک نمونه آندرادیت توسط Frost (۱۹۶۰) مطابقت دارد (Ahadnejad et al., 2022).

۳-۴. اهمیت گوهرشناسی و کیفیت دمانتوئید کرمان:

- دمانتوئیدهای کرمان-ایران از نظر شفافیت^{۲۸} و طیف رنگ (از سبز زردگون تا سبز زنده و عمیق) کیفیت بالایی دارند (Ahadnejad et al., 2022). (شکل ۳)

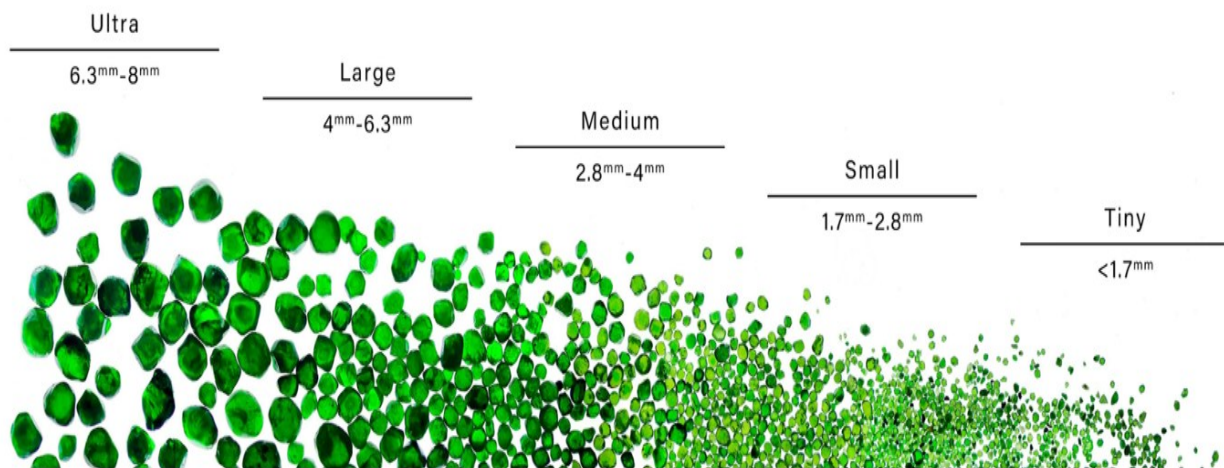
²⁷ mass magnetic susceptibility

²⁸ transparency

- اگرچه کریستال‌های درشت (تا چند ده گرم) به ندرت یافت می‌شوند، اما کیفیت ماده خام^{۲۹} برای تراش سنگ‌هایی با جوه تراش خوردگی کوچک تا متوسط مناسب است (شکل ۵).



شکل ۴ - نمونه‌هایی از کریستال‌های تراش خورده دمانتوئید کرمان-ایران



شکل ۵ - بازه‌ای از اندازه دمانتوئیدهای کرمان-ایران

- حضور اینکلوژن‌های هورستیل در دمانتوئید کرمان-ایران، نه تنها به عنوان یک ویژگی تشخیصی، بلکه به عنوان بخشی از هویت و زیبایی طبیعی این گوهر محسوب می‌شود. در صورت تراش به صورت کابوشن^{۳۰}، این اینکلوژن‌های موازی می‌توانند اثر چاتویانسی^{۳۱} یا چشم‌گربه‌ای ایجاد کنند (Karampelas et al., 2007).



شکل ۶ - اینکلوژن‌های دمانتوئیدهای کرمان-ایران و تأثیر آنها پس از تراش

²⁹ rough material
³⁰ Cabochon Stone
³¹ chatoyancy

۴- نتیجه‌گیری

اینکلوژن‌های هورستیل، به عنوان شاه‌علامت دمانتوئیدهای سرپانتینیتی، پیوند ژنتیکی و زمین‌شناسی مشترکی بین ذخایر معروفی مانند اورال روسیه و کرمان ایران ایجاد می‌کنند. اگرچه از نظر ریخت اینکلوژن‌ها (مانند حضور همزمان دیوپسید در برخی نمونه‌های روسی) و برخی نسبت‌های عنصری (مانند Cr_2O_3 و MnO/TiO_2) تفاوت‌های تشخیصی بین دو منطقه وجود دارد، اما دمانتوئید کرمان-ایران از نظر کیفی با دارا بودن رنگ‌های غنی، شفافیت خوب و اینکلوژن‌های خاص کاملاً با استانداردهای گوهرشناسی جهانی مطابقت دارد.

وجود ذخایر قابل توجه در منطقه باغ برج کرمان و ویژگی‌های منحصر به فرد ترکیبی (جدول ۱)، دمانتوئید ایران را نه تنها به عنوان یک گوهر تشخیص‌پذیر در آزمایشگاه‌های گوهرشناسی، بلکه به عنوان یک منبع با ارزش در بازار گوهرهای رنگی مطرح می‌سازد. شناخت بهتر این ویژگی‌ها می‌تواند به افزایش شناخت بازار و ارزش‌گذاری مناسب این گوهر ملی کمک شایانی نماید.

۵- مراجع

- [1] Adamo, I., Gatta, G.D., Rotiroti, N., Diella, V. & Pavese, A. (2011). Green andradite stones: Gemmological and mineralogical characterisation. *European Journal of Mineralogy*, 23(1), 91–100.
- [2] Ahadnejad, V., Krzemnicki, M.S., & Hirt, A.M. (2022). Demantoid from Kerman Province, South-east Iran: A Mineralogical and Gemmological Overview. *The Journal of Gemmology*, 38(4), 329–347.
- [3] Frost, M.J. (1960). Magnetic susceptibility of garnet. *Mineralogical Magazine*, 32(250), 573–576.
- [4] Karampelas, S., Gaillou, E., Fritsch, E. & Douman, M. (2007). Les grenats andradites-demantoides d'Iran : Zonage de couleur et inclusions. *Revue de Gemmologie A.F.G.*, No. 160, 14–20.
- [5] Kissin, A.Y., Murzin, V.V. & Karaseva, E.S. (2021). "Horsetail" inclusions in the Urals demantoids: Growth formations. *Minerals*, 11(8), 825.
- [6] Krzemnicki, M.S. (1999). Diopside needles as inclusions in demantoid garnet from Russia: A Raman microspectrometric study. *Gems & Gemology*, 35(4), 192–195.
- [7] Laur, B.M. (Ed.) (2002). *Gem News International: Demantoid garnet from Iran*. *Gems & Gemology*, 38(1), 96.
- [8] Milisenda, C., Henn, U. & Henn, J. (2001). Demantoides aus Pakistan. *Gemmologie: Zeitschrift der Deutschen Gemmologischen Gesellschaft*, 50(1), 51–56.
- [9] Pei, J., Huang, W., Zhang, Q. & Zhai, S. (2019). Chemical constituents and spectra characterization of demantoid from Russia. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 39(12), 3849–3854.
- [10] Phillips, W.R. & Talantsev, A.S. (1996). Russian demantoid, czar of the garnet family. *Gems & Gemology*, 32(2), 100–111.