

## مطالعه میکروسکوپی و طیف سنجی فیروزه کرمان و معرفی آن به عنوان فیروزه گوهری

بهاره شیردم\*، کارشناس اکتشاف معدن، GD,AJP(GIA) shirdam@ut.ac.ir  
 سهیلا اصلانی، عضو هیئت علمی دانشکده معدن دانشگاه تهران، saslani@ut.ac.ir

### چکیده

یکی از ذخایر جدید فیروزه که از نظر کیفیت می تواند به عنوان یک فیروزه با کیفیت گوهری شناخته شود، فیروزه کرمان است که در منطقه غرب این استان شناسایی شده است. در این مقاله تعداد ۲۵ نمونه راف و تراش خورده با روش های استاندارد گوهرشناسی و طیف سنجی (آنالیز میکرو-XRF) مورد مطالعه واقع شده است.

فیروزه کرمان که به صورت ذخایر توده ای و لایه ای شناسایی شده اند، دارای رگه های فلزی (پیریت) و لکه های سفیدی هستند که گاهی به صورت بی شکل در سطح فیروزه پراکنده شده اند. مطالعات میکروسکوپی بافتی میکرو کریستالین و اسفرولیتی را نشان می دهد. به طور کلی مطالعات انجام شده گویای این است که ذخایر فیروزه کرمان، کلیه شاخص های یک فیروزه گوهری را داشته و علیرغم بافت متفاوتش از فیروزه نیشابور می تواند کیفیت فیروزه گوهری را به خود اختصاص دهد.

کلیدواژه: فیروزه کرمان، میکرو XRF، فیروزه گوهری، ذخایر جدید

### مقدمه

ایران همواره یکی از ذخایر اصلی تامین فیروزه در جهان بوده است. فیروزه نیشابور که در صده گذشته با داشتن بالاترین کیفیت و رنگ منحصر به فردش، بالاترین قیمت فیروزه را در بازار های جهانی به خود اختصاص داده، ذخایری رو به اتمام دارد. رگه های باقی مانده در معدن فیروزه نیشابور غالباً بسیار باریک بوده و تمایل بیشتری به رنگ سبز آبی دارند. این در حالی است که در ۵۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان، در سنگ های رسوبی و آذرین دوران ترشیری، اکتشافات گسترده مس به اکتشافات فیروزه در بسیاری از نقاط استخراج مس انجامیده است، مانند: کوه پنج، سرچشمه و میدوک.

در این مقاله تلاش شده است تا با مطالعه ویژگی های کانی شناسی، گوهرشناسی و بررسی ساختار شیمیایی فیروزه کرمان و عوامل تاثیر گذار بر بافت و رنگ آن، به معرفی فیروزه این ذخایر جدید به صورت تخصصی پرداخته شود.

### روش مطالعه

در این مقاله ۲۵ نمونه از کرمان مورد مطالعه قرار گرفت که به ترتیب ۱۸ نمونه تراش خورده و ۷ نمونه دیگر راف می باشند. نمونه های مورد استفاده در این تحقیق مستقیماً از معدن تهیه شده و فاقد هر گونه بهسازی ثانویه می



باشند. ویژگی‌های گوهرشناسی کلیه نمونه‌ها نظیر چگالی و ضریب شکست با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و مطابق با استاندارد‌های گوهرشناسی اندازه‌گیری شده است. ۸ نمونه راف برای اندازه‌گیری سختی موس با استفاده از سوزن و میخ فولادی آزمایش شده، به منظور مطالعات مینرالوژی و بررسی بافت، زیر میکروسکوپ پلاریزه و انعکاسی از آن‌ها تیغه نازک تهیه شد.

در راستای مطالعات تخصصی و بررسی ترکیب شیمیایی فیروزه کرمان، مقادیر کلیه عناصر موجود در ۲۵ نمونه با استفاده از دستگاه میکرو-XRF (میکروپروب) مدل Horiba-XGT7200، شدت تابش 50 Kv و در محیط خلا مورد آزمایش قرار گرفت. از آنجایی که دستگاه Horiba-XGT7200 قادر به اندازه‌گیری عناصر Na تا U از جدول تناوبی با دقت اندازه‌گیری ۱۰ میکرون است، به منظور مطالعه عناصر کمیاب و عوامل رنگزا در فیروزه کرمان نیازی به استفاده از دستگاه‌هایی نظیر ICP مشاهده نشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

### • ویژگی‌های گوهرشناسی و کانی‌شناسی

به منظور اندازه‌گیری سختی فیروزه کرمان، نمونه‌ها با سوزن معمولی (سختی کمتر از ۵) و میخ استیل (سختی موس ۶,۵) مورد آزمایش قرار گرفتند. همانطور که در تصاویر میکروسکوپی مشاهده می‌شود، سوزن معمولی قادر به ایجاد هیچ اثری بر روی نمونه نبوده، این در حالی است که می‌توان آثار به جا مانده از میخ استیل را به وضوح در استریومیکروسکوپ مشاهده کرد. لازم به ذکر است که فیروزه کرمان در برخی نمونه‌ها بر روی شیشه نیز خط می‌اندازد که نشانگر سختی بالاتر از ۵,۵ در مقیاس موس است.



تصویر شماره ۱- آثار به جا مانده از سوزن معمولی (سمت راست بالا) و میخ استیل (سمت چپ پایین) را نشان می‌دهد.

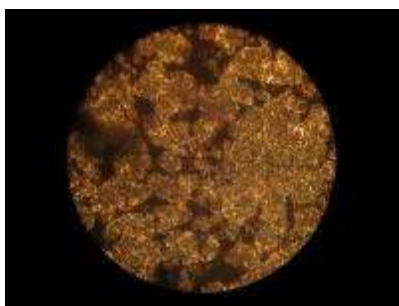
ضریب شکست ۱۰ نمونه با دستگاه رفراکتومتر و چگالی آن‌ها به روش ارشمیدس مورد اندازه‌گیری قرار گرفت که میانگین نتایج آن‌ها در جدول شماره ۱ آمده است.



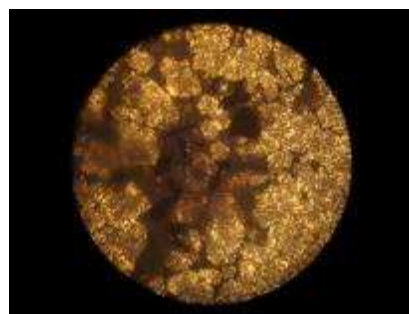
جدول شماره ۱- ویژگی های گوهرشناسی ۲۵ نمونه فیروزه مطالعه شده از کرمان

سختی موس	وزن مخصوص	ضریب شکست	ویژگی های گوهرشناسی
غالباً ۶ و در برخی نمونه ها بیشتر از ۶	2.63	1.63-1.65	میانگین ۲۵ نمونه فیروزه مطالعه شده از کرمان

در مطالعه کانی شناسی میکروسکوپی نمونه کرمان (نور عبوری) بافت شبه برشی به همراه قطعات میکروبرش آنیزیتروپ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که ناخالصیهایی با اشکال واگرا با رنگهای پلاریزاسیون ۲ و ۳ دیده می شود .

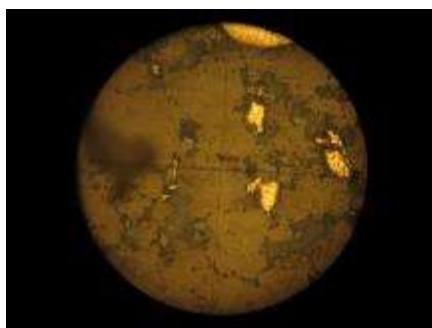


تصویر شماره ۳- بافت شبه برشی در نور عادی

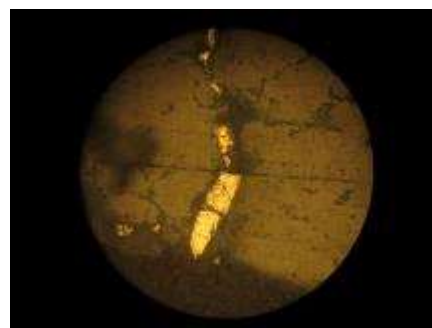


تصویر شماره ۲- رنگ های پرده ۱ و بافت میکروکریستالین در نور پلاریزه

نتایج حاصل از مطالعه فیروزه کرمان با میکروسکوپ انعکاسی بیانگر آن است که قطعاتی با اندازه های مختلف ، نیمه شکل دار تا بی شکل به رنگ زرد پریده دیده می شود که مشخصات آن با پیریت برابری می کند. در برخی موارد در حاشیه قطعات پیریتی شکل گیری گوتیت قابل تشخیص و مشاهده است.



تصویر شماره ۵- قطعات پیریت و جانشینی حاشیه ای توسط گوتیت



تصویر شماره ۴- قطعات نیمه شکل دار پیریت که در فضای شکستگی



حضور پیریت و لکه های حباب مانند سفید رنگ پراکنده در اکثر نمونه های کرمان، این دو را به شاخص های چشمی اصلی برای شناسایی فیروزه کرمان از نیشابور مبدل ساخته است. جنس این رگه های سفید رنگ پخش شده در سطح آبی فیروزه  $SiO_2$  و هیدروکسید آلومینیم می باشد.



تصویر شماره ۶- لکه های سفید رنگ  $SiO_2$  و هیدروکسید آلومینیم و رگه های تیره رنگ پیریت

• مطالعه ترکیب شیمیایی با میکرو-XRF

فیروزه با فرمول شیمیایی  $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$  فسفات آبدار آلومینیم و مس است. درصد آهن در غالب نمونه های کرمان کمتر از ۱ بوده و در خانواده فیروزه قرار می گیرد، اما نمونه های معدودی نیز یا درصد بالای (ماکزیمم ۱،۵۱) مشاهده شد که در خانواده فیروزه-کالکوسیدریت قرار می گیرند. این مقدار همچنان در مقایسه با درصد اکسید آهن در فیروزه نیشابور از مقدار کمتری برخوردار است (اکسید آهن در فیروزه نیشابور میانگینی بالاتر از ۲،۵ دارد). عناصر کمیاب مس، آهن و کرم سه عامل اصلی رنگ در فیروزه است و همانطور که در جدول نتایج حاصل از آنالیز میکرو-XRF مشاهده می شود، هر چه تمرکز مس بیشتر و حضور آهن و کرم کمتر باشد، رنگ نمونه بیشتر به آبی متمایل می شود.

۷ نمونه شاخص XRF جدول شماره ۲- نتایج حاصل از آنالیز میکرو

	$Na_2O$	$Al_2O_3$	$SiO_2$	$P_2O_5$	$SO_3$	$K_2O$	$CaO$	$TiO_2$	$V_2O_5$	$Cr_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CuO$	$ZnO$	$As_2O_5$	$SrO$	$H_2O$
BSH4	0.01	31.74	0.29	40.49	0.59	0.08	0.04	0.04	0.01	0.03	0.95	9.06	0.12	0.17	0.01	16.37
BSH6	0.10	32.03	0.49	41.17	0.73	0.12	0.10	0.10	0.01	0.02	1.14	8.56	0.12	-	-	15.31
BSH7	0.01	34.55	0.43	43.31	0.51	0.02	0.31	0.06	0.01	-	0.31	7.24	0.16	0.03	0.04	13.01
BSH12	0.01	33.04	0.47	41.51	0.50	0.03	0.15	0.05	0.01	0.02	0.91	8.18	0.16	0.10	0.01	14.85
BSH13	0.01	33.61	0.06	41.56	0.34	0.05	0.08	0.06	0.01	0.02	0.79	8.27	0.13	0.01	-	15.00



BSH1 5	0.01	34.41	0.04	44.68	0.28	0.06	0.05	0.06	0.01	0.01	1.51	6.61	0.16	-	-	<b>12.11</b>
BSH1 6	0.01	32.19	0.34	40.91	0.57	0.05	0.04	0.02	0.01	0.04	0.74	8.90	0.05	0.08	-	<b>16.05</b>

جدول شماره ۳- تصویر و رنگ نمونه های شاخص معرفی شده در جدول ۲

نام نمونه	BSH4	BSH6	BSH7	BSH12	BSH13	BSH15	BSH16
رنگ نمونه	آبی فیروزه ای روشن	آبی فیروزه ای تیره	آبی تیره	آبی فیروزه ای	سبز آبی تیره	آبی فیروزه ای تیره	آبی فیروزه ای روشن
تصویر							

• نتیجه گیری

حضور عناصر کمیاب (Trace Elements) نظیر Na, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Fe, As, Sr و بویژه Zn نه تنها تنوع رنگی بالایی در فیروزه کرمان ایجاد کرده است، بلکه نحوه پراکنش رنگ را نیز دستخوش تغییر کرده است. لازم به ذکر است که علیرغم تنوع رنگی بالای فیروزه کرمان، درصد پایین Cr، رنگی متمایل به رنگ آبی به فیروزه این منطقه داده است. مطالعات میکروسکوپی تیغه نازک، ساخت اسفرولیتی در اکثر نمونه ها و بافت شبه برشی میکروکریستالینی را نشان می دهد. بررسی ویژگی های گهرشناسی (رنگ، بافت، ضریب شکست، سختی بالا در مقایسه با فیروزه سایر مناطق) و مطالعه طیف های حاصل از ساختار شیمیایی فیروزه کرمان نشان می دهد که این فیروزه از کیفیت بالایی برخوردار بوده و می تواند به عنوان یک فیروزه گوهری (قیمتی) معرفی شود.

References

- 1- Bariand.P, Poirot J.P., (1985). "Larousse des pierres précieuses", Larousse. p.261-268.
- 2- Nassau.K, (1981). "Heat treating Ruby and Sapphire: Technical aspects", Gem & Gemology. p.121-131.
- 3- Harley S., Christy, AG, (1995) "Titanium-bearing sapphirine in a partially melted aluminous granulite xenolith", Vestfold Hills, Antarctica: geological and mineralogical implications. European Journal of Mineralogy 7, p.637-653.
- 4- Nassau.K, (1984). "Gemstone Enhancement, Butterworths. p.258-262.
- 5- Jack S. D. Abraham, (1982). Heat Treating Corundum: The Bangkok Operation, Gem & Gemology. p.79-82



- 6- McClure.F, P. Smith.C, Wang.W, Hall.M, (2006).dentification and Durability of Lead Glass–Filled Rubies, Gem & Gemology, p.22-34
- 7- Nassau K. (1994), "Gemstone Enhancement:History, Science andthe StateoftheArt",2nded. Butterworth/Heinemann Ltd.,Oxford, p.186-195.
- 8- Henn U., Milisenda C.C., (2005)."Tuquoise - porperties and occurrences, imitations and treatments", Z.Dt Gemmol.Ges. 54/2-3, p. 97-110.
- 9- Moe K.S., Moses T.M., Johnson P., (2007). "Polymer-Impregnated Turquoise", Gems & Gemology. Summer 2007. p. 149-151.
- 10- Hoyos M., Casas J., Medina J., (1980)."Etude des turquoises au microscope électronique à balayage", Revue de Gemmologie a.f.g , N° 65, p.12-15.
- 11- Bariand.P, Poirot J.P. , (1985)."Larousse des pierres précieuses", Larousse. p.261-268.
- 12- Dontenville S., Calas G., Cervelle B., (1985). "Etude spectroscopique des turquoises naturelles et traitées lère partie", Revue de Gemmologie a.f.g , No.85. pp 8-10.
- 13- Dontenville S., Calas G., Cervelle B., (1986)."Etude spectroscopique des turquoises naturelles et traitées 2ème partie", Revue de Gemmologie a.f.g . No.86. pp 3-4.
- 14- Dubois J. , (1985). "La spectrométrie infrarouge appliquée à l'étude de la turquoise et de sesimitations", Revue de Gemmologie a.f.g . No.83 , pp 5-6.
- 15- Gem Trade Lab Notes, (1983)." Turquoise Imitation", Gems & Gemology. Vol.19. No.2. p 117.

