

سنگ شناسی و زمین شیمی سنگ کل شهاب سنگ های شهداد

شهریار محمودی*، مریم بوئینی

گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران.

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۴/۱۵، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۶/۲۷)

چکیده: در این پژوهش، ۹ قطعه از نمونه های شهاب سنگی در مجموع به جرم ۳۵۹۰ گرم بررسی شدند که در خبرنامه جهانی ثبت شهاب سنگ ها درج و رده بندی نشده اند. برای رده بندی این نمونه ها، پس از تهیه مقاطع میکروسکوپی و انجام سنگ نگاری دقیق، برپایه داده های زمین شیمیایی ترکیبات عناصر اصلی و کمیاب سنگ کل برآمده از طیف سنجی های فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) و جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS) در نخست نمونه های با ویژگی های کامل شهاب سنگ ها تفکیک گردیده و سپس براساس یافته های سنگ نگاری و زمین شیمیایی رده بندی شدند. نتایج بدست آمده نشان می دهد که این قطعه های شهاب سنگی دسته شهاب سنگ های کندریتی، نوع سنگ شناسی H_4 هستند و از نظر ویژگی های ثانویه چون دگرگونی و هوازدگی فضایی نیز در گروه شهاب سنگ های دارای هوازدگی و دگرگونی W_2 و S_2 قرار دارند.

واژه های کلیدی: شهاب سنگ؛ کندریت؛ نوع سنگ شناسی H_4 هوازدگی فضایی.

مقدمه

شهاب سنگ ها در مطالعات مربوط به نحوه پیدایش و تکوین کرات و خورشید و تاریخچه تحول منظومه شمسی اهمیت دارند؛ بنابراین در پژوهش های علمی سنگ شناسی طبقه بندی آن ها ضروری است [۱-۶]. شهاب سنگ ها از نظر خصوصیات شیمیایی (پراکندگی عناصر اصلی و کمیاب) نیز طبقه بندی می شوند [۷-۱۳]. خصوصیات شیمیایی یک شهاب سنگ، نحوه تبلور و روند تفریق سیارک مادر و پدیده های ثانویه (به عنوان مثال ذوب حاصل از عبور شهاب سنگ از جو زمین) و تغییرات حاصل از دگرگونی و هوازدگی نیز به صورت تحولات شیمیایی در شهاب سنگ حفظ می شود [۲، ۱۴-۱۶]، بنابراین محدوده وسیعی از فرایندهای فیزیکی و شیمیایی سحابی خورشیدی و محیط سیارکی موجب بروز و ایجاد بافت ها و ساختارهای میکروسکوپی و تغییرات شیمیایی در یک شهاب سنگ می شود که رمزگشایی این اطلاعات علاوه بر طبقه بندی شهاب سنگ ها، از دیگر اهداف مطالعه شهاب سنگ ها است. در این پژوهش نمونه های یافت شده در محدوده جنوبی دست لوت و شهرستان شهداد که توسط گروه های اکتشافی موسسه گوهرشناسی کپای

خوارزمی از منطقه عمومی شهداد مورد شناسایی و برداشت قرا گرفته استفاده شده است. و در گروه شهاب سنگ های یافت شده قرار می گیرد.

روش بررسی

در این پژوهش، نخست نمونه ها در حمام فراصوتی به مدت ۲ ساعت قرار گرفتند تا همه آثار زمینی و مربوط به پس از برخورد و یا ناشی از قرار گرفتن در محیط طبیعی زدوده شود. سپس نمونه ها برای ۴۸ ساعت در کوره با دمای ۱۱۰ درجه سانتی گراد خشک شدند. در مرحله بعد، عکس برداری و چگالی سنجی آنها انجام شد. سپس از هر نمونه یک مقطع میکروسکوپی نازک صیقلی تهیه گردید بررسی های میکروسکوپی با میکروسکوپ تحقیقاتی قطبشی زایس در آزمایشگاه دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد. از همه نمونه ها بسته به اندازه آن ها، ۱۰ تا ۲۰ گرم پودر بدون استفاده از سنگ شکن و به صورت دستی در هاون عقیق تهیه شد. پودر نمونه ها برای تجزیه ذوب قلیایی و طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS) به شرکت زرآرما ارسال گردید.

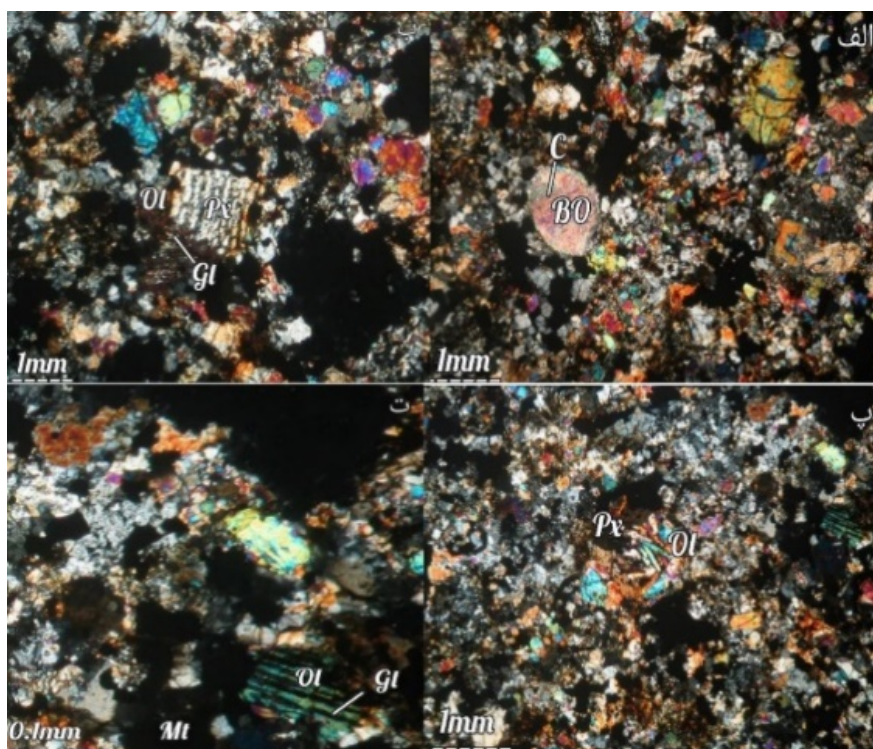
بحث و بررسی

سنگ نگاری شهابسنگ‌های شهداد

۹ قطعه شهابسنگ به جرم ۳۵۹۰ گرم، که توسط گروه کاوشگران شهابسنگ موسسه گوه‌رشناسی کیپای خوارزمی از مختصات $۵۷^{\circ}۵۰'$ تا $۴۸^{\circ}۲۵'$ غربی و $۳۰^{\circ}۰۱'$ تا $۳۰^{\circ}۲۵'$ شمالی واقع در جنوب و شرق شهرستان شهداد و شرق کرمان کشف شده هنوز در خبرنامه جهانی ثبت شهابسنگ‌ها درج و رده‌بندی نشده‌اند.

در بررسی با میکروسکوپ قطبشی در نور عبوری با شبکه‌های موازی و متقاطع، نمونه‌های مورد بررسی در مقطع میکروسکوپی KM97001 دارای کانی‌های الیوین (۳۰٪) و پیروکسن از نوع اوژیت و دیوپسید (۲۵٪) به عنوان کانی اصلی هستند. این بلورها بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و هر یک در نور قطبیده و عادی ویژگی‌های نوری خود را بروز می‌دهند. بقیه فضای سنگ را زمینه ریزبلور اشغال کرده است. الیوین به دلیل شرایط ترمودینامیکی زمان تشکیل (دما و فشار) بافت‌های ویژه شهابسنگی از جمله بافت علفی و شکل‌های تیغه‌ای و سوزنی دارد و دارای کانی‌های کدر (به احتمال بسیار کرومیت)

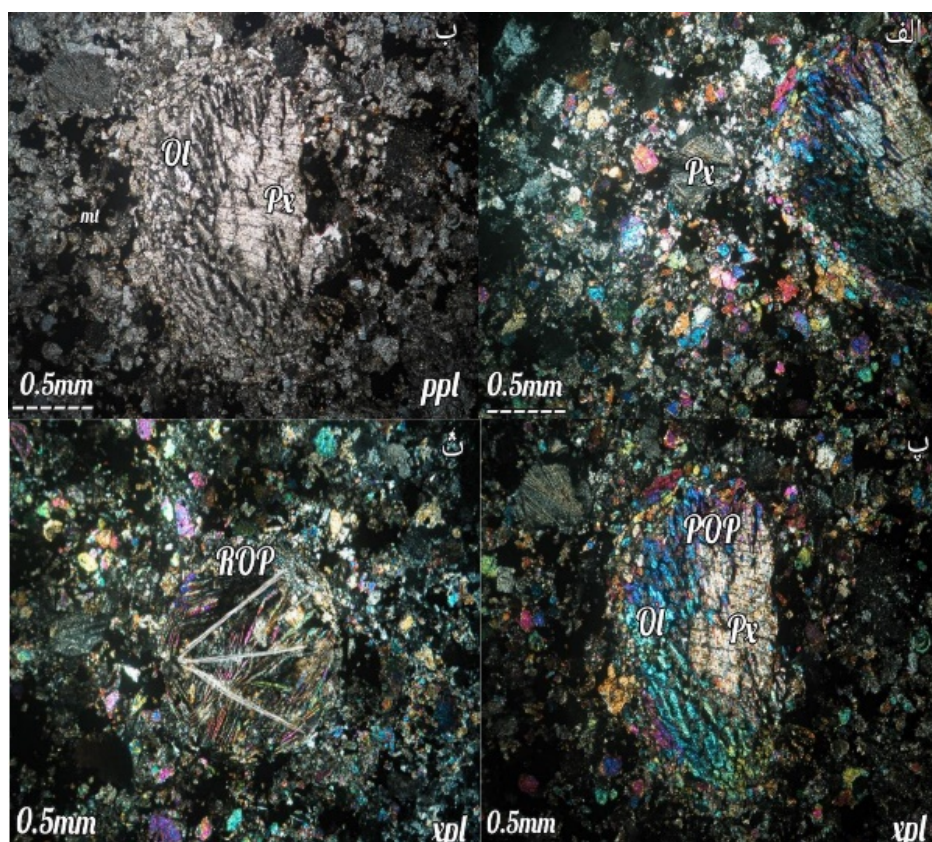
است (شکل ۱). گاهی بلورهای پیروکسن و کلینو پیروکسن نیز دارای میانبارهای کرومیت و تیغه‌های الیوین به صورت هم‌رشدی هستند؛ گوشه‌های بلور پیروکسن حفظ شده و در برخی نقاط دارای رخ دووجهی و خاموشی موجی است (شکل ۱). در برخی موارد، کانی الیوین در قالب‌های شکل‌دار پیروکسن متبلور شده که شکل‌های دروغین را تشکیل داده و گاهی بافت فرعی اسکلتی در برخی بخش‌های شهابسنگ ایجاد می‌کند. در برخی نقاط دیگر، کندرولی با الیوین علفی دیده می‌شود که دارای بافت اسفرولیتی با مرز مشخص کندرولی بوده و با ذرات کرومیت پوشیده شده است (شکل ۱). در برخی نمونه‌ها، کندرول‌ها ۶۰٪ حجم نمونه را پر می‌کنند و در آن‌ها، بلورهای الیوین تمیز تا غبارآلود و همچنین پیروکسن‌های اوژیتی و گاهی ترکیبی از این دو کانی هستند. میانگین قطر کندرول‌ها ۰/۲ میلی‌متر بوده و تراکم اجسام کندرولی در هر ۲ سانتی‌متر مربع حدود یک کندرول است و با مرزی مشخص در خمیره زمینه فلزی با حجم ۷٪ قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱ نمونه KM97001: الف) بلورهای پیروکسن و الیوین دربرگرفته شده (BO و BP) به صورت هم‌رشدی با پرشدگی فضای خالی توسط مواد مخفی‌بلور، ب) الیوین علفی در کنار پیروکسن، که فضای خالی با شیشه پر شده است. پ) الیوین با بافت شعاعی (RO) در زمینه خمیره فلزی، ت) الیوین علفی که شیشه در فضای خالی آن است [۷].

(BP) علفی بوده (ذرات پر کننده فضای خالی کانی در این بافت کانی کدر هستند)، که در کنار بافت کندرول در کندرول یا کندرول مرکب جای گرفته است (شکل ۲). کندرول‌های اصلی دارای قطر ۰/۵ میلی‌متر هستند. در کل، مقطع سه کندرول دارای مرز مشخصی است و در کل ۶۰٪ سطح نمونه را پر می‌کنند. خمیره مخفی‌بلور ۳٪ از حجم شهاب‌سنگ را شامل می‌شود. در بیشتر کانی‌های کدر این نمونه یک بخش فلزی خالص تیتان-نیکل با حجم تقریبی ۱۰٪ از کانی کدر وجود دارد. این گروه از کانی‌های کدر به صورت پراکنده در نمونه میکروسکوپی دیده می‌شوند. بخش اصلی زمینه ریزبلور پیرامون کندرول‌ها به صورت حلقه‌ای تشکیل شده است (شکل ۲). شواهد دگرگونی برخوردی وجود دارد که دگرگونی این نمونه با توجه به شکستگی‌های صفحه‌ای کلینوپیروکسن و شکستگی‌های نامنظم الیوین مربوط به دگرگونی S_2 است (شکل ۲) [۱۵، ۱۶].

فازهای کانیایی تشخیص داده شده در نمونه KM97002 عبارتند از الیوین و پیروکسن هستند. در این نمونه، کانی‌های الیوین ۳۰٪ و پیروکسن ۳۵٪ حجم شهاب‌سنگ را شامل می‌شوند و از کانی‌های اصلی و اغلب خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و بقیه حجم سنگ را زمینه ریزبلور اشغال کرده است. نمونه KM97002 شامل اجسام کندرولی، بخش بلوری و خمیره است. بخش خمیره شامل انباشته‌های خرده‌های شهاب‌سنگی ریزبلور بوده که فضای بین کندرول و قطعه‌های بلوری را پر کرده است. در هر سانتی‌متر مربع از نمونه میکروسکوپی، یک کندرول وجود دارد که از دیدگاه سنگ-نگاری دو نوع است؛ در برخی کندرول‌ها، کانی الیوین در مرکز کندرول قرار دارد و توسط کانی پیروکسن اوژیته تا دیوپسیدی دربرگرفته شده است در برخی دیگر، کلینوپیروکسن در مرکز بوده و کانی الیوین آن را در بر گرفته است (POP) گاهی نیز ترکیبی از بافت شعاعی الیوین و پیروکسن دیده می‌شود (ROP)، در حالی که بافت اصلی پیروکسن در برگرفته شده

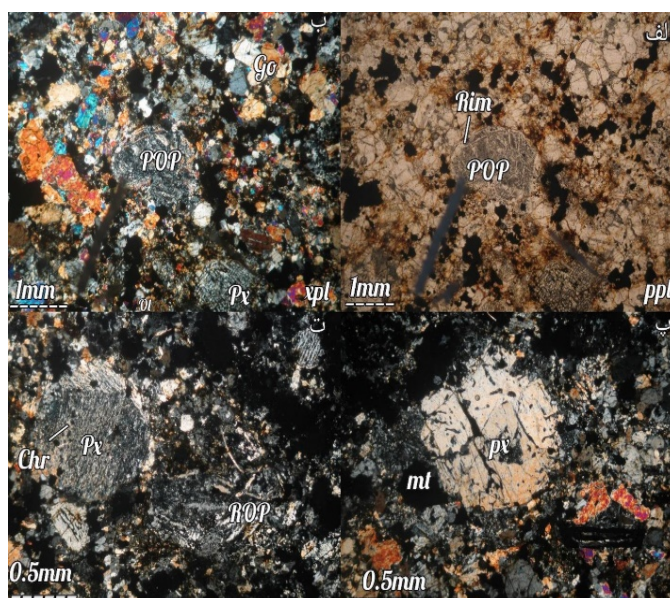


شکل ۲ نمونه KM97002: الف) پیروکسن علفی دربرگرفته شده (BP) با کانی کدر به صورت تیغه‌ای و شکستگی‌های صفحه‌ای در کانی پیروکسن، ب و پ) هم‌رشدی الیوین و پیروکسنی که و نشانگر بافت پورفیری الیوین و پیروکسن است (در دو نور عادی و قطبیده). ت) کندرول با مرز کاملاً مشخص و بسته که بافت شعاعی پیروکسن و الیوین (ROP) دارد و انباشت ذرات مخفی‌بلور که تشکیل لبه داده‌اند.

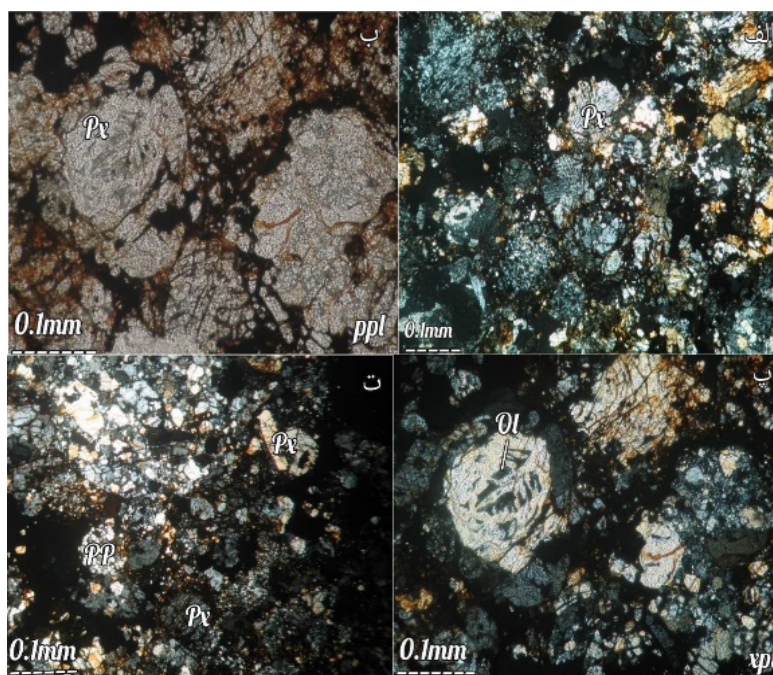
فلزی همراه شده است.

در نمونه KM97007 الیوین با حجم ۲۰٪ و پیروکسن اوژیت با حجم ۴۰٪ کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند و در برخی نقاط الیوین به صورت جانشینی قالب کانی پیروکسن را اشغال کرده و بافت دروغین ایجاد می‌کند (شکل ۴). ماکل ساعت‌شنی در مقطع میکروسکوپی این شهاب‌سنگ در کانی پیروکسن اوژیت تا دیوپسید دیده می‌شود. این امر گویای دمای بالای محیط در زمان خود است (شکل ۴) [۱۷]. برخی دیگر از کانی‌های پیروکسن اوژیتی نیز با بافت غربالی در کندرول جای دارند. بیشتر کندرول‌های این مقطع (۳) کندرول در هر سانتی‌متر مربع به صورت کندرول درون کندرول هستند که با مرزی مشخص از هم جدا شده‌اند (شکل ۴). این کانی‌ها از بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند و قطر کندرول‌های شهاب‌سنگ با حجم ۶۰٪ برابر با ۱ میلی‌متر و قطر کندرول‌های درونی ۰/۱ است. در برخی کندرول‌ها، الیوین و پیروکسن بافت اسکلتی را شکل داده‌اند (شکل ۴). مرز کندرول‌ها مشخص است و در خمیره فلزی آهن، تیتان و نیکل با حجم ۱۸٪ جای دارند. بافت علفی موجود در این نمونه در کانی پیروکسن دیده می‌شود. با توجه به شکستگی‌های نامنظم در سطح الیوین و شکستگی‌های صفحه‌ای کانی پیروکسن، دگرگونی S_2 (دگرگونی بسیار ضعیف) در نمونه دیده می‌شود [۱۵، ۱۶].

در نمونه KM97003 الیوین با حجم ۲۵٪ و کلینوپیروکسن اوژیت و دیوپسید با حجم ۳۰٪ کانی‌های اصلی هستند و گاهی بلورها به صورت انبوهه‌ای به هم پیوسته شده‌اند. این همراهی به صورت دربر گرفتن پیروکسن توسط الیوین است و بقیه حجم سنگ را زمینه ریزبلور پر کرده (شکل ۳) که نشانگر بالا رفتن دمای محیط بدنه سیارک مادر است [۱۷]. این کانی‌ها از بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده آن‌ها که کندرول‌های شهاب‌سنگ را نیز شامل می‌شوند، دارای قطر ۰/۳ میلی‌متر و حجم ۶۸٪ هستند. به راحتی کندرول الیوین و پیروکسن پورفیری (POP) با تعدادی دانه که به مرور محو می‌شوند، دیده می‌شود (شکل ۳). برخی از آن‌ها یک بافت معمول پورفیری با نام POP (کندرول پورفیری تشکیل شده از الیوین و پیروکسن) را نشان می‌دهند. الیوین‌های پیرامون پیروکسن دارای بافت علفی همراه با خمیره مخفی‌بلور هستند و گاهی به صورت پورفیری بخشی از کندرول‌های شهاب‌سنگ را تشکیل می‌دهند (شکل ۳). برخی از این الیوین‌های تیغه‌ای در کنار دانه‌های کروی کدر از فلز خالص هستند که آلیاژ آهن، نیکل و تیتان به شکل بافت دانه‌تسبیحی دیده می‌شود و برخی دیگر با بافت غالب اسفرولیتی همراه هستند (شکل ۳). در هر سانتی‌متر مربع از این مقطع میکروسکوپی ۲ کندرول وجود دارد که از الیوین علفی، یا پیروکسن بلوری و یا ترکیبی از این دو کانی مرز تدریجی و گاهی مشخص بوده و با ۱۴٪ خمیره



شکل ۳ نمونه KM97003 : الف و ب) کندریت که مرزهای به نسبت مشخصی از کندرول‌ها با ترکیب پیروکسن و الیوین پورفیری (POP) را نشان می‌دهد (در نور عادی و قطبیده). پ) کانی پیروکسن در زمینه خمیره فلزی، ت) بافت دانه‌تسبیحی در کندرول و کانی پیروکسن با مرز نیمه مشخص در کنار کندرول با الیوین و پیروکسن که بافت اسفرولیتی دارند (ROP). در پائین این کندرول بافت علفی پیروکسن و الیوین دیده می‌شود.



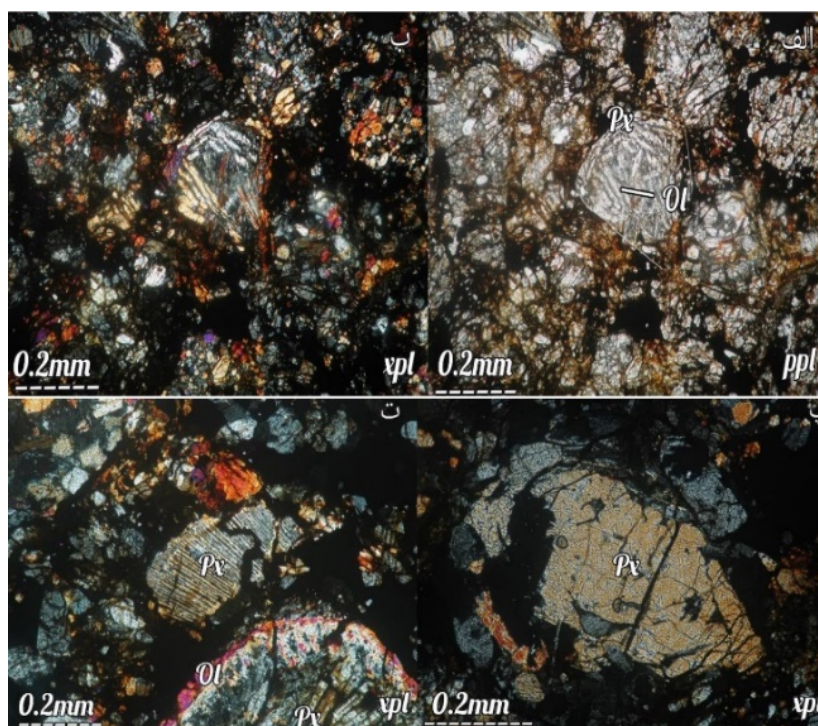
شکل ۴ نمونه KM97007: الف) پیروکسن با منطقه‌بندی ساعت‌شنی در زمینه خمیره فلزی (MT)، ب) بافت دروغین کانی الیوین در زمینه کانی پیروکسن (در نور عادی)، پ) کانی الیوین جانشین شده با بافت اسکلتی (در نور قطبیده)، ت) کندرول با کانی پیروکسن پورفیری (PP).

سانتی‌مترمربع) و کندرول‌های درونی با اندازه ۰/۱ میلی‌متر در زمینه خمیره فلزی با حجم ۱۳٪ شامل کانی‌های پیروکسن و الیوین هستند (شکل ۶). الیوین در کندرول با بافت علفی و به حالت تیغه‌ای-سوزنی است و یا همراه با پیروکسن به صورت نیمه یا به طور کامل جانشین کانی پیروکسن می‌شود و یا چسبیده به کانی پیروکسن می‌چسبد و با همراهی بافت علفی، بافت دروغین را می‌سازد (شکل ۶).

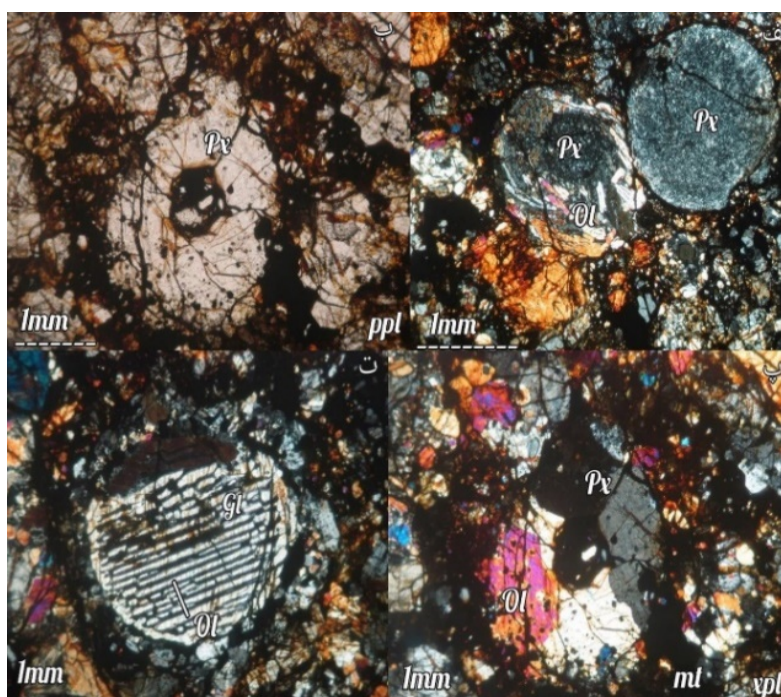
در نمونه میکروسکوپی KM970010، الیوین و پیروکسن به ترتیب با حجم ۴۵-۴۰٪ و ۳۰٪، از کانی‌های اصلی و بی‌شکل تا خودشکل بوده و کانی‌های کدر این شهاب‌سنگ ۲۰٪ هستند. حجم کندرول‌های معمولی و مرکب در این نمونه ۸۰٪ است و کندرول این مقطع با مرزی کاملاً مشخص (۵) کندرول در هر سانتی‌متر مربع) که با هاله‌ای از مخفی‌بلور دربرگرفته شده است (لبه) با اندازه ۰/۱ میلی‌متر، در زمینه خمیره فلزی کامل با فراوانی ۱۱٪ قرار دارد (شکل ۷). کندرول مرکب با قطر ۰/۲ mm در این نمونه شامل الیوین در کندرولی با کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) است. برخی از الیوین‌های دانه‌ای در کندرول‌ها بافت علفی دارند و هر یک از تیغه‌ها جهت‌گیری ویژه خود را دارند (شکل ۷).

در نمونه KM97008، الیوین با حجم ۲۰٪ و پیروکسن اورژیت و دیوپسیدی با حجم ۳۰٪ کانی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند که خودشکل تا بی‌شکل هستند. در برخی نقاط نمونه میکروسکوپی، الیوین در بر گرفته شده به صورت جانشینی کانی پیروکسن را اشغال کرده و بافت دروغین را شکل می‌دهد، در حالی که خود دارای بافت علفی است (شکل ۵). برخی از الیوین‌های با بافت علفی گاهی با بافت اسفرولیتی همراه می‌شوند (شکل ۵). قطر این کانی‌ها که از کندرول‌های شهاب‌سنگ هستند، ۰/۳ میلی‌متر است. بیشتر کندرول‌های این مقطع به صورت کندرول درون کندرول در زمینه خمیره فلزی با ۱۲٪ فراوانی هستند (۴ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) و ۶۵٪ سطح نمونه را پر کرده‌اند. در این نمونه میکروسکوپی، کندرول با مرز نیمه‌مشخص دیده می‌شود.

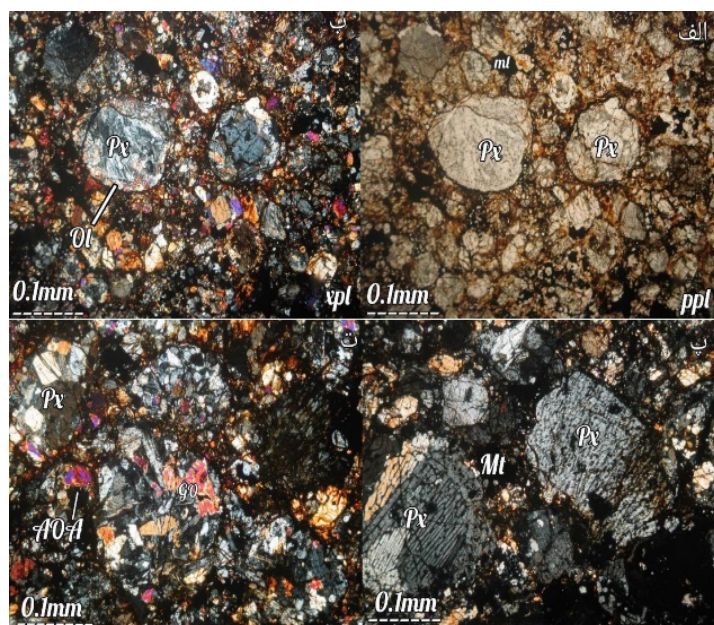
در مقطع میکروسکوپی KM97009، الیوین ۴۵٪ و پیروکسن اورژیتی (۳۰٪) از کانی‌های اصلی و پلاژیوکلاز کلسیمی (۱٪) کانی فرعی است. کانی‌های اصلی در این نمونه نیمه‌شکل‌دار تا خودشکل هستند و بقیه فضای نمونه با کانی‌های کدر پر شده است. کندرول‌های نمونه را می‌توان از دو نوع کلی معمولی و مرکب در نظر گرفت که کندرول‌های معمولی با اندازه ۰/۳ میلی‌متر و فراوانی ۷۰٪ (۵ کندرول در هر



شکل ۵ نمونه KM97008 : الف) کندرول الیوین دربرگرفته (BO) با بافت اسفرولیتی در قالب پیروکسن (بافت دروغین) (در نور عادی) ب) بافت دروغین پیروکسن که با کانی الیوین پر شده و بین بلورهای الیوین را شیشه پر کرده است، پ) کندرول که با کانی پیروکسن پر شده است، ت) کانی پیروکسن درون کندرول و با بافت علفی در کنار کندرول با کانی پیروکسن که با الیوین دربرگرفته شده است.



شکل ۶ نمونه KM97009 : الف) دو کندرول کنار هم که یکی از آنها، کندرول در کندرول است و کانی پیروکسن و الیوین که با توجه به ترتیب تبلورشان دیده می‌شوند و هر دو دربرگرفته شده هستند (BP و BO)؛ ب) کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) همراه با کانی الیوین (در نور عادی)، پ) کندرول این نمونه شهاب سنگ در زمینه خمیره فلزی (Mt) (در نور قطبیده) و ت) کندرول کانی الیوین دربرگرفته شده (BO) با بافت علفی.



شکل ۷ نمونه KM970010 : الف) کندرول با کانی پیروکسن دربرگرفته شده (BP) در زمینه خمیره شهابسنگ (در نور عادی)، ب) پیرامون کندرول با کانی پیروکسن، لبه دیده می‌شود (در نور قطبیده)، پ) دو کندرول از پیروکسن‌های علفی در خمیره فلزی، ت) کندرول دارای کانی الیوین دانه‌ای (GO) در کنار الیوین آمیبی شکل (AOA) و در گوشه‌ای دیگر، کندرول کانی الیوین که درون آن کانی پیروکسن جای گرفته و دارای شکستگی‌های صفحه‌ای است.

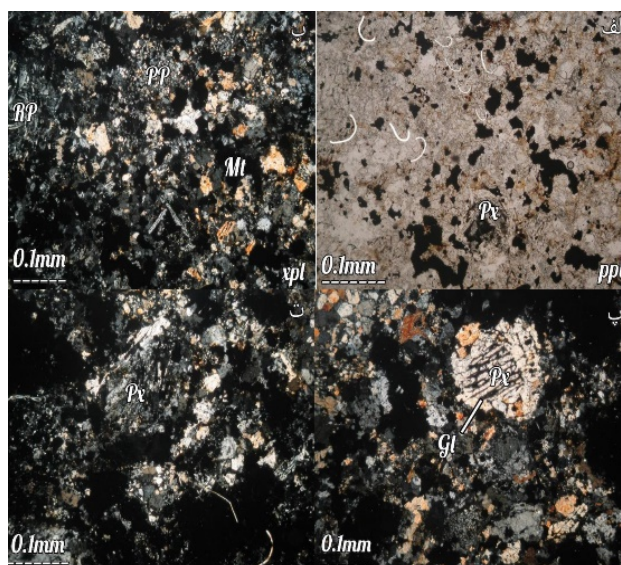
فلزی با حجم ۱۵٪ قرار دارند. کندرول‌ها گاهی از الیوین تمیز تا غبارآلود و همچنین پیروکسن‌ها و گاهی ترکیبی از این دو کانی تشکیل شده‌اند. گاهی الیوین‌ها دارای مرز بسته و دربرگرفته شده بوده و گاهی دارای بافت پورفیری هستند. در برخی نقاط دیگر، کندرولی با الیوین علفی دیده می‌شود که دارای بافت اسفرولیتی است (شکل ۹). همه قطعه‌های شهابسنگ‌ها دارای ترکیب‌های پیروکسن و الیوین وابسته گروه کندریت H هستند. ترکیب‌های سیلیکات‌ها و مرزهای کندرول‌ها به خوبی مشخص کننده سنگ‌شناسی نوع ۴ شهابسنگ‌هاست. به دلیل وجود بخش فلزی خالص و نبود اکسایش بالای فلز یا سولفید و وجود طیفی از رنگ لیمویی که بیانگر درجه هوازدگی W_2 است، بر اساس رده‌بندی ولترکا مربوط به کندریت‌های معمولی است [۱۴].

رده‌بندی شهابسنگ‌های شهداد به روش تجزیه شیمیایی

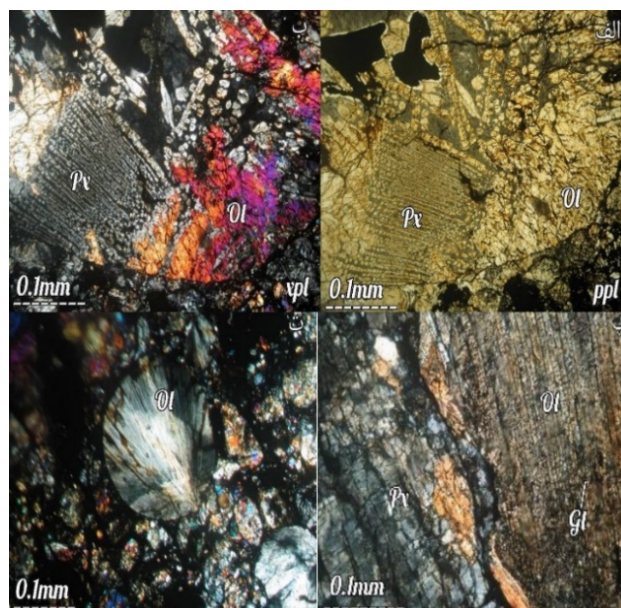
با پیشرفت روش‌های تجزیه شیمیایی، سنگ‌ها را می‌توان براساس ترکیب شیمیایی آن‌ها رده‌بندی کرد. برای نام‌گذاری شیمیایی شهابسنگ‌ها، نمودارهای کمی وجود دارند، زیرا فرازمینی بودن این نوع از سنگ‌ها، موجب محدودیت پژوهش پیرامون آنها می‌شود.

مقطع میکروسکوپی KM970016 دارای کانی‌های اصلی الیوین (۲۰٪) و پیروکسن (۲۵-۲۰٪)، به صورت و بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و پلاژیوکلاز با فراوانی ۱٪ کانی فرعی این نمونه است. بقیه فضای شهابسنگ از کانی‌های کدر تشکیل شده است (شکل ۸). در کندرول‌ها با فراوانی ۱ در هر سانتی‌متر مربع، الیوین و پیروکسن با بافت علفی و الیوین دربرگرفته شده (BO) ممکن است تنها با مقادیر بسیار کم دانه‌های فلزی Ni و Fe ترکیب شده و در سراسر کندرول توزیع شده باشند و حتی در برخی کندرول‌ها کانی پیروکسن با بافت پورفیری ظاهر شده است (PP). این کندرول‌ها با اندازه ۰/۲ میلی‌متر و حجم ۶۰٪ در زمینه فلزی با حجم ۱۵٪ قرار دارند (شکل ۸). در این نمونه میکروسکوپی، شکستگی‌های صفحه‌ای دیده می‌شود که بیانگر دگرگونی S_2 شهابسنگ است (شکل ۸) [۱۸].

کانی‌های اصلی نمونه KM970019 الیوین با حجم ۳۵-۳۰٪ و پیروکسن حجم ۲۰٪ به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار هستند. در این نمونه، الیوین دربرگرفته شده (BO) و پیروکسن با بافت علفی، اسفرولیتی و بافت دروغین دیده می‌شوند که درون کندرول (۱ کندرول در هر سانتی‌متر مربع) را پر کرده و با قطر ۰/۱ میلی‌متر و حجم ۶۰٪ در زمینه خمیره



شکل ۸. مقطع میکروسکوپی KM970016 : الف) کانی پیروکسن در کندرول، ب) انواع پیروکسن‌های شعاعی (RP) و پورفیری (PP) در همسایگی الیوین علفی، پ) کندرول پیروکسن علفی که فضای بین آن از شیشه پر شده است و ت) کانی پیروکسن پورفیری (PP) در کندرول که دارای شکستگی‌های صفحه‌ای است.



شکل ۹. نمونه KM970019 : الف) و ب) یک کندرول با نیمی از کانی الیوین و نیمی از کانی پیروکسن علفی که از مواد مخفی‌بلور پر شده و با نوار باریکی از انستاتیت خمیره (در نور های عادی و قطبیده). این کندریت دارای فلز است. پ) کندرول‌هایی با همسایگی کانی الیوین و کانی پیروکسن که با مرز مشخصی از هم جدا شده‌اند. ت) کندرول کانی الیوین دربرگرفته شده (BO) با بافت اسفروولیتی.

شیمی سنگ کل شهاب‌سنگ‌ها به روش ICPMS

در آماده‌سازی نمونه‌ها برای ICPMS، نخست ۰/۱ گرم از پودر نمونه با دانه‌بندی حدود ۲۰۰ میکرومتر در ظرف‌های هاضم از جنس تفلون PFA (بمب) ریخته شد و مخلوطی از ۵ میلی‌لیتر HF، ۱ میلی‌لیتر HNO₃ و ۰/۵ میلی‌لیتر اسید HCL به آن اضافه شد. نمونه‌ها به آرامی و طی یک شب در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در بمب در بسته گرم و سپس سرد شدند. این

چرخه گرم و سرد شدن دست کم دوبار تکرار شد سپس، درپوش بمب‌ها برداشته شد و بخارهای HCL خارج شدند. سپس ۲ میلی‌لیتر HNO₃ برای شستن دیواره‌های بمب اضافه شد. نمونه‌ها درون بمب در باز تا دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تا شروع خشک‌شدگی گرم شدند. برای اطمینان از انحلال کامل رسوب‌های باقی‌مانده ۲ میلی‌لیتر HNO₃ و ۵ میلی‌لیتر آب غیریونیده ۱۸ امگا هم به آن اضافه شد و در ظرف در بسته

مقداری از همان نمونه‌ها (پس از مرحله خردایش و پودر کردن) به روش‌های انحلال اسیدی حل شده (چنان که توضیح داده شد) و نمونه‌های مایع تهیه گردید. عناصر کمیاب (از جمله عناصر خاکی نادر) به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) اندازه‌گیری شده و نتایج در جدول ۱ آورده شده‌اند. نمودارهای شیمیایی با نرم‌افزار GCDkit نسخه ۳/۶، اکسل، فتوشاپ و Premiere رسم و تصحیح شدند.

دوباره تا دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد به مدت یک ساعت گرم شدند. پس از سرد نمودن نهایی، مواد درون بمب‌ها به یک فلاسک ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل و تا مرحله آب غیریونیده ۱۸ امگا اهمی رقیق شد. مقادیر مناسبی از این محلول برای رقیق‌سازی نهایی برداشته شد. نمونه‌ها، استانداردها و ظروف خالی با ایندیم به غلظت ۵۰ نانوگرم در میلی‌لیتر آلوده شدند تا از آن به عنوان یک استاندارد داخلی استفاده شود. برای اندازه‌گیری عناصر کمیاب با غلظت کمتر از یک درصد وزنی،

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های کندریتی شهداد به روش ICP-MS (بر حسب ppm).

عنصر	KM97001	KM97002	KM97003	KM97007	KM97008	KM97009	KM97010	KM97016
Ag	۰.۷	۰.۸	۰.۸	۰.۸	۰.۷	۰.۹	۰.۶	۰.۸
As	۱۰.۷	۱۹.۲	۱۳.۹	۱۲.۳	۹.۷	۱۰.۷	۶.۲	۹.۴
Ba	۲	۳	۲۵	۶۵	۷۹	۲۵	۱۹	۱۰
Be	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
Bi	۰.۱	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۴	۰.۱۰	۰.۲	۰.۱۰
Cd	۰.۱۰	۰.۵	۰.۱	۰.۱	۰.۳	۰.۱	۰.۳	۰.۱
Ce	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
Co	۸۲۸	۷۹۹	۵۸۱	۳۸۵	۴۳۲	۶۲۰	۳۹۲	۷۱۷
Cr	۴۰۲۴	۳۹۰۰	۴۵۷۳	۳۷۵۳	۴۱۹۱	۴۱۷۸	۴۰۳۳	۴۱۳۷
Cs	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
Cu	۱۲۹	۱۶۰	۲۲۱	۲۱۳	۹۵	۱۵۴	۷۶۷	۱۲۹
Dy	۰.۲۶	۰.۳	۰.۳۶	۰.۳۱	۰.۳۶	۰.۲۹	۰.۴	۰.۲۷
Er	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰
Eu	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
Gd	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰
Hf	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
In	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
K	۱۷۲	۲۰.۳	۳۳۹	۴۹۲	۵۹۵	۲۸۰	۸۳۷	۱۸۱
La	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
Li	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۳	۱
Lu	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
Mn	۲۰۵۲	۲۱۴۷	۲۳۷۰	۲۲۵۷	۲۳۰۲	۲۲۴۶	۲۳۰۹	۲۲۲۶
Mo	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
Na	۵۴۹۸	۵۹۳۱	۶۲۱۴	۷۲۳۸	۸۴۷۱	۶۴۵۶	۵۷۷۷	۵۸۵۶
Nb	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
Nd	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
Ni	۱۶۵۵۲	۱۶۵۳۵	۱۲۳۵۷	۸۱۷۵	۹۶۱۴	۱۳۱۵۲	۷۷۷۸	۱۵۵۴۲
P	۸۵۷	۹۶۱	۱۱۱۵	۷۸۳	۸۲۶	۸۹۱	۷۶۶	۹۲۵
Pb	۱۹	۲۲	۲۰	۲۷	۱۵	۱۹	۴۱	۲۲
Pr	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰	۰.۰۵۰
Rb	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
S	۱۶۵۱۶	۱۶۸۷۴	۱۳۱۶۵	۱۸۸۵۴	۱۹۸۷۰	۱۸۶۵۳	۲۱۲۱۴	۱۶۲۰۴
Sb	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰	۰.۵۰
Sc	۶.۹	۷.۴	۷.۷	۷.۵	۷.۶	۷.۷	۷.۹	۷.۹
Se	۷.۱۷	۱۴.۳۴	۷.۷۲	۱۴.۶۶	۱۲.۱۴	۱۱.۴۸	۲۲.۱۹	۱۵.۵۱
Sm	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰	۰.۰۲۰
Sn	۰.۵	۰.۱۰	۲	۱.۸	۰.۱۰	۰.۱۰	۹.۸	۰.۱۰
Sr	۸.۱	۹.۳	۴۱.۴	۴۱.۰	۱۹۵	۹۹	۷۱.۹	۸.۹
Ta	۰.۲	۰.۲	۰.۲۸	۰.۲۸	۰.۲۳	۰.۲۱	۰.۲۵	۰.۲
Tb	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
Te	۰.۲۸	۰.۱۸	۰.۲۱	۰.۲۶	۰.۱۸	۰.۱۶	۰.۲۹	۰.۱۶
Th	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
Ti	۳۸۵	۴۰.۷	۴۸۴	۴۴۳	۴۵۸	۴۴۰	۵۱۴	۴۱۹
Tm	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰
U	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰.۱	۰
V	۶۴	۶۷	۷۴	۶۸	۶۹	۶۸	۶۹	۶۷
W	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
Y	۱.۴	۱.۵	۱.۹	۱.۷	۱.۸	۱.۷	۲.۳	۱.۶
Yb	۱.۲	۱.۲	۱	۰.۹	۰.۹	۱.۱	۰.۹	۱.۲
Zn	۳۶	۸۱	۸۰	۷۵	۲۸	۴۳	۲۶۰	۳۱

شیمی سنگ کل شهابسنگ‌ها به روش XRF

در آماده سازی نمونه‌ها برای اندازه‌گیری اکسید عناصر اصلی، قرص‌های شیشه‌ای از نمونه ذوب شده، تهیه شدند. برای این کار، ۵ بخش از یک کمک ذوب آماده به نام Spectroflux105 و یک بخش از پودر نمونه سنگ در بوته پلاتینی (۹۵٪ Pt و ۵٪ Au) در دمای حدود ۹۵۰-۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد برای ۱۰ تا ۱۵ دقیقه گداخته شدند تا یک مذاب همگن بدست آید. سپس مذاب‌ها در قالب‌های از پیش گرم شده، ریخته و در یک ظرف در بسته خشک (دارای رطوبت‌گیر) به آرامی تا دمای اتاق سرد شدند تا قرص‌های شیشه‌ای ضخیم به دست آمدند. نمونه‌هایی که به صورت دستی خرد و پودر شد با طیف سنج فلئورسانس پرتوی ایکس (XRF) مدل Rigaku3070 تجزیه شدند در هر نمونه از منحنی‌های واسنجی استاندارد براساس استانداردهای سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) استفاده شد. چکیده نتایج تجزیه‌شیمیایی عناصر اصلی در جدول ۲ آورده شده‌اند. با توجه به مقادیر مواد فرار (LOI) می‌توان گفت که نمونه‌ها دارای هوازدگی ناچیزی هستند.

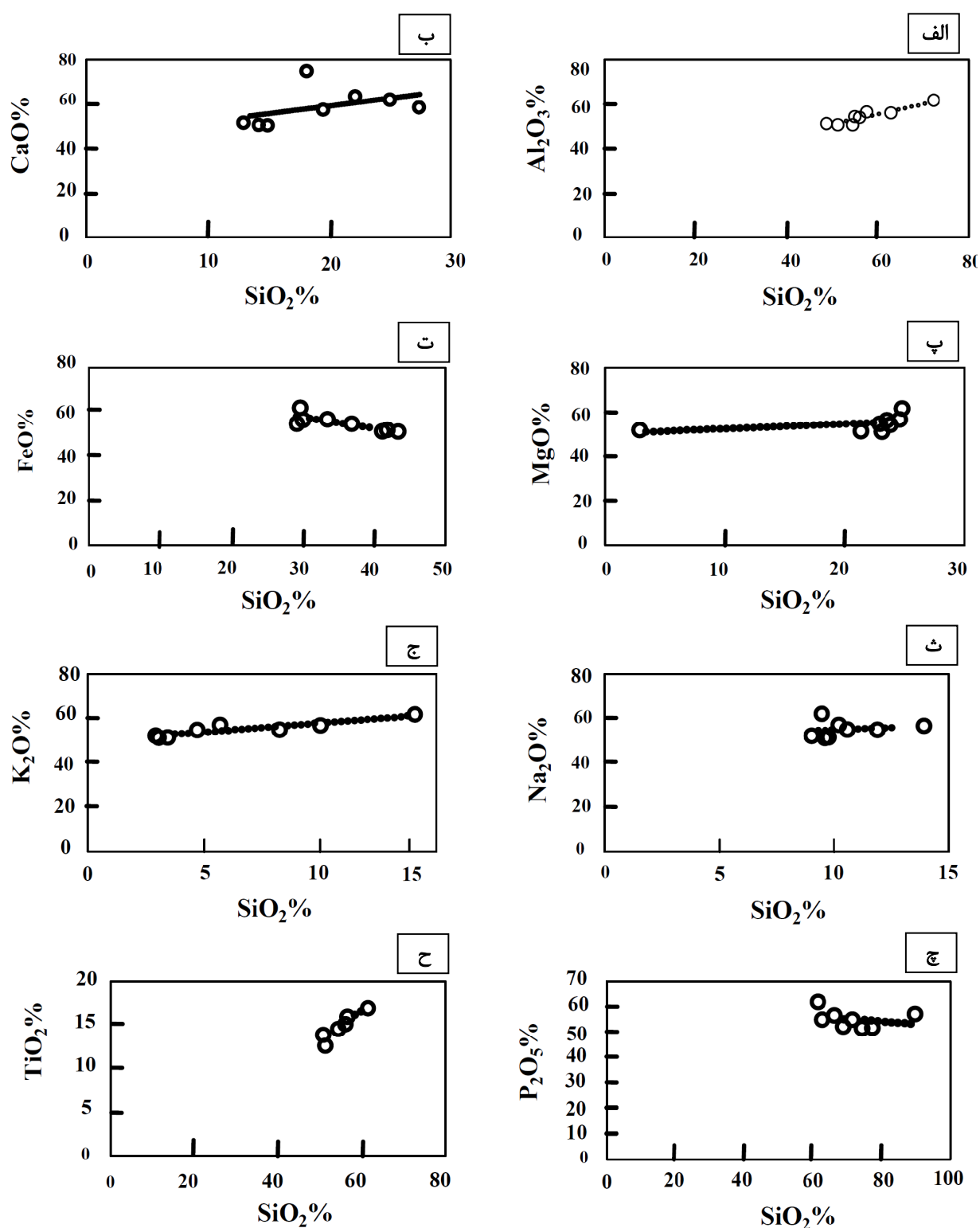
نمودارهای هارکر

نمودارهای هارکر یا نمودارهای اکسیدی یا اکسید-اکسید در

بررسی سنگ‌شناسی مجموعه‌های شهابسنگی که روندهای تغییرات ماگمایی چون تفریق و آرایش را طی کرده باشند مفید هستند. البته، این نمودارها برای نمونه‌های شهابسنگی به دلیل نبود تفریق ماگمایی به کاربرده نمی‌شود، ولی برای بررسی پیوستگی قطعه‌های شهابسنگی در یک منطقه استفاده شدند با این نمودارها، پیوستگی و یا ارتباط نداشتن واحدهای شهابسنگی قابل تحلیل و بررسی است. در این پژوهش، براساس نمودارهای هارکر رسم شده، هیچ جداسدگی بین نمونه‌ها، بجز K_2O وجود ندارد که بیان‌گر مشترک بودن بدنه سیارک مادر شهابسنگ‌های شهاد است. بر پایه نمودارها روند تبلور بیشتر عناصر با همبستگی مثبت نسبت به SiO_2 همراه بوده و تنها همبستگی FeO و P_2O_5 با همبستگی منفی همراه است که در ادامه بررسی می‌شود (شکل ۱۰). برای Al_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 و CaO نمودار اکسید آلومینیوم از قلیایی‌ها به سمت اسیدی‌ها روند مثبت را نشان می‌دهد، زیرا شهابسنگ‌های مورد بررسی از نوع کندریت دارای سیلیکاتی‌های الیون و پیروکسن هستند که در شبکه بلوری آنها عناصر یاد شده وجود ندارند (شکل ۱۰ الف).

جدول ۲ نتایج تجزیه‌شیمیایی به روش XRF نمونه‌های شهابسنگی شهاد (بر حسب درصد)

اکسید	KM97001	KM97002	KM97003	KM97007	KM97008	KM97009	KM970010	KM970016
SiO_2	۳۶۸۱	۳۸۶۲	۳۹۳۱	۳۷۷۵	۳۸۰۲	۳۷۳۸	۳۹۷۱	۳۸۸۵
TiO_2	۱٫۹۵	۱٫۲۹	۱٫۴۸	۱٫۲۱	۱٫۲۶	۱٫۸	۱٫۵۸	۱٫۹۳
Al_2O_3	۲٫۰۵	۲٫۱۳	۲٫۲۶	۲٫۱۷	۲٫۴۵	۲٫۱۶	۲٫۷۸	۲٫۱۷
FeO	۲۷٫۸۴	۲۵٫۲۹	۲۱٫۶۵	۲۱٫۸۵	۱۸٫۸۴	۲۳٫۶۵	۱۸٫۴۵	۲۲٫۳
MgO	۲۴٫۲۱	۲۵٫۴۹	۲۵٫۱۴	۲۳٫۸۸	۲۳٫۵۷	۲۴٫۲۲	۲۳٫۴۸	۲۵٫۱۵
MnO	۰٫۳۵	۰٫۳۶	۰٫۳۶	۰٫۳۵	۰٫۳۵	۰٫۳۴	۰٫۳۶	۰٫۳۷
CaO	۱٫۶۶	۱٫۷۱	۲٫۰۹	۲٫۲۴	۲٫۳۲	۲٫۰۸	۱٫۸۸	۱٫۸۹
K_2O	۰٫۱	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۱۲	۰٫۱۵	۰٫۱۱	۰٫۱۹	۰٫۱۱
Na_2O	۰٫۸۵	۰٫۸۸	۰٫۹۱	۱٫۰۱	۱٫۲۵	۰٫۹۵	۰٫۸۳	۰٫۸۹
BaO	<	<	<	<	<	<	<	<
P_2O_5	۰٫۰۹	۰٫۱	۰٫۱۲	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۹	۰٫۰۸	۰٫۰۹
Cr_2O_3	۰٫۵۸	۰٫۶	۰٫۶۴	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۵۸	۰٫۵۵	۰٫۶
Ni	۱٫۲۵	۱٫۰۶	۰٫۹۷	۰٫۹۴	۱٫۰۴	۰٫۹۹	۰٫۸۹	۰٫۸۴
LOI	۰٫۹	۰٫۳۸	۰٫۰۵	۰٫۴۹	۳٫۱۵	۰٫۸۶	۲٫۴۴	۰٫۰۲
مجموع	۹۹٫۸۶	۹۹٫۹۱	۹۶٫۴۸	۹۴٫۴۴	۹۴٫۸۹	۹۷٫۱۱	۹۴٫۷۸	۹۶٫۵۵



شکل ۱۰ نمودارهای تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به سیلیس (نمودارهای هارکر): (الف) نمودار تغییرات اکسید آلومینیوم در مقابل سیلیس، (ب) نمودار تغییرات اکسید کلسیم نسبت به سیلیس (پ) نمودار تغییرات اکسید منیزیم نسبت به سیلیس، (ت) نمودار تغییرات اکسید آهن نسبت به سیلیس، (ث) نمودار تغییرات اکسید سدیم نسبت به سیلیس. (ج) نمودار تغییرات اکسید پتاسیم نسبت به سیلیس، (چ) نمودار تغییرات اکسید فسفر نسبت به سیلیس و (ح) نمودار تغییرات اکسید تیتانیوم نسبت به سیلیس.

شکل‌های ۱۰ الف- ب- پ- ث- ج- ح). در نمودار هارکر FeO به دلیل وجود مقدار قابل توجه فازهای آهن‌دار شهاب‌سنگ کندریتی (کندریت معمولی H از ۲۵ تا ۳۱٪ آلیاژهای آهن خالص تشکیل شده است که به صورت کانی‌های تائیت، ۶۰٪ Fe و ۴۰٪ Ni، و کاماسیت، ۹۵٪ Fe و ۵٪ Ni، متبلور می‌شود)، در بخش قلیایی نمودار، مقدار آهن زیاد بوده و در بخش غنی‌تر از سیلیس، مقدار اکسید آهن کم می‌شود و همبستگی منفی نمودار با شیب تندی نسبت به اکسیدهای دیگر همراه است (شکل ۱۰ ت). مقدار P_2O_5 در شهاب‌سنگ کندریتی شهادت توسط کانی‌های تتراتائیت که دارای فازهایی از آپاتیت و کلرآپاتیت است، کنترل می‌شود. کاهش این اکسید نشان می‌دهد که در همان مراحل اولیه تکامل، این اکسید در اثر تفریق آپاتیت از ماگما خارج شده و منجر به همبستگی منفی این اکسید گردیده است (شکل ۱۰ چ).

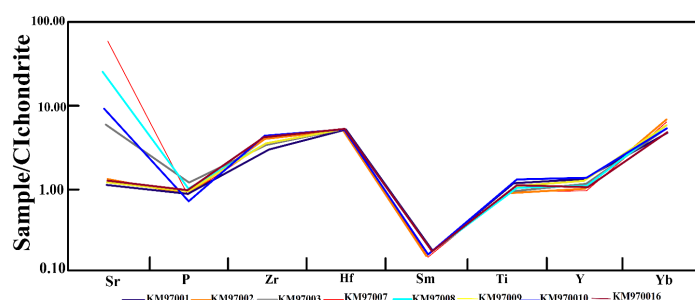
تغییرات عناصر اصلی و کمیاب شهاب‌سنگ‌های کندریتی شهادت

عناصر کمیاب در ۸ نمونه شهاب‌سنگ‌های شهادت به روش ICPMS تجزیه شیمیایی شدند که فراوانی آنها در جدول ۱ آمده است. نتایج تقریباً شبیه داده‌های گزارش شده برای شهاب‌سنگ‌های کندریتی H_4 کازیک مکزیک است [۱۹]. بیش‌ترین و کم‌ترین تهی‌شدگی در نمودار الگوی رفتاری عناصر کمیاب به ترتیب مربوط به Sm و P است (کانی‌های دربردارنده عناصری چون فسفر و یا گوگرد به شدت دستخوش هوازدگی جو منظومه شمسی می‌شوند) (شکل ۱۱) [۲۱، ۲۰]. Sr و Yb دارای بیش‌ترین غنی‌شدگی در این نمودار هستند. عنصر Sr در شهاب‌سنگ‌های KM97003، KM97007، KM97008، KM970010 دارای غنی‌شدگی کم‌تری نسبت به نمونه‌های دیگر شهاب‌سنگ‌ها بوده که اغلب این تفاوت مربوط به ویژگی‌های سیارک مادر است. این در حالی است که Yb در همه نمونه‌های شهاب‌سنگی غنی‌شدگی بالایی دارد. عناصر دیگری چون Zr و Hf که دارای شعاع و بار الکتریکی تقریباً یکسانی هستند غنی‌شدگی یکسانی در این نمودار از خود نشان می‌دهند. این امر بیانگر نبود تفریق اولیه در نمونه‌هاست (شکل ۱۱). عناصر Ti و Y به دلیل حضور در فازهای کانایی فلزی شهاب‌سنگ‌ها غنی‌شدگی دارند. عناصر سنگ دوست Y، Yb،

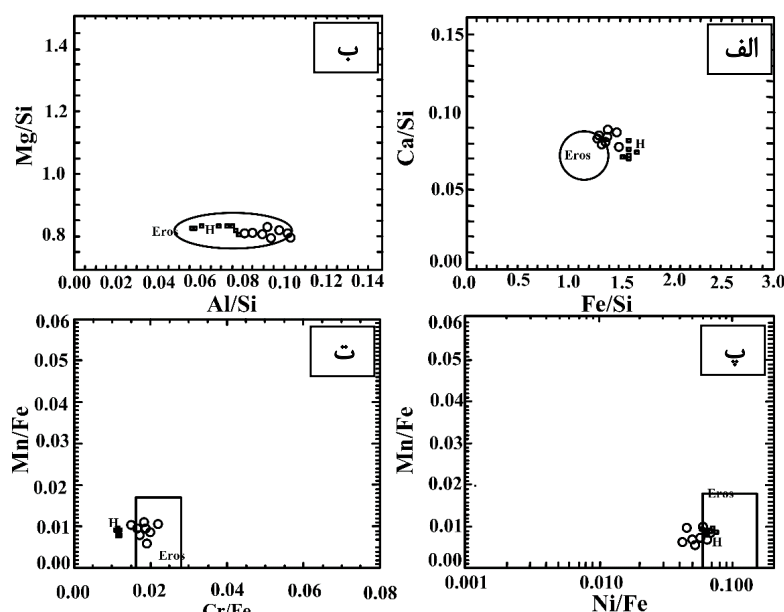
Ti، Zr، Hf و Sr همه کمابیش غنی‌شدگی نشان می‌دهند. عنصر Yb (از عناصر خاکی نادر سنگین، HREE) در نمودار عنکبوتی دارای غنی‌شدگی بالایی است (شکل ۱۱). Hf به عنوان عنصری با شدت میدان بالا (HFSE) و با دارا بودن ویژگی‌های چون ناسازگاری بسیار کم و بی‌حرکی در نمودار تهی‌شدگی ندارد (شکل ۱۱). Sr عنصر سنگ دوست بزرگ یون (LILE) با ناسازگاری بالا و متحرک بوده و غنی‌شدگی آن در نمودار عنکبوتی آشکار است. با توجه به این شواهد، می‌توان گفت که روند عناصر گویای اولیه بودن شهاب‌سنگ‌های شهادت است. با توجه به شیب تند نمودار در بخش غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر، می‌توان گفت که ترکیب اولیه شهاب‌سنگ روند سردشدگی آهسته‌ای، بدون تفریق زیاد را تجربه کرده است [۶]. نمودار همه نمونه‌های شهاب‌سنگ کندریتی شهادت شبیه به هم بوده که این گویای هم‌خاستگاه بودن آنهاست. همچنین فراوانی غالب عناصر نزدیک به ۱ است و به بیان دیگر، ترکیب شهاب‌سنگ شهادت اولیه بوده و بدنه سیارک مادر همه نمونه‌های شهاب‌سنگ کندریتی شهادت یکی است (شکل ۱۱).

خاستگاه شهاب‌سنگ‌های شهادت

شهاب‌سنگ‌های اولیه بهترین ابزار برای برآورد ترکیب سحابی خورشیدی هستند، زیرا آنها به عنوان سنگ مادر دارای عناصر تشکیل دهنده این دسته از شهاب‌سنگ‌ها هستند. برای درک شرایط تشکیل شهاب‌سنگ‌ها، ارتباط با مناطقی که منبع اصلی در کمر بند سیارک‌ها هستند، مهم است، زیرا بدنه مادر آنها در آنجا تشکیل شده است [۲۲]. کندریت‌های معمولی در مجموع فراوان‌ترین طبقه شهاب‌سنگ‌های روی زمین هستند؛ از این رو، بررسی بدنه سیارک مادر این دسته از شهاب‌سنگ‌ها بسیار مهم است. برخی از سیارک‌ها (خانواده‌های نوع S) به عنوان منابعی برای سه نوع مختلف کندریت‌های معمولی (H، L، LL) پیشنهاد شده‌اند [۲۵، ۲۴]. با این حال، با توجه به شکل ۱۲ تمایل شهاب‌سنگ‌های بررسی شده از نوع کندریت معمولی، مربوط به سیارک بزرگ کمر بند اصلی سیارک‌ها، مربوط به سیارک نوع S با نام اروس است. براساس این شکل، شهاب‌سنگ‌های کندریتی نوع H_4 شهادت وابسته به بدنه سیارک اروس هستند [۲۳، ۲۱].



شکل ۱۱ نمودار عنکبوتی عناصر برآمده از تجزیه شیمیایی کندریت‌های شهاد بهنجار شده با مقادیر کندریت CI.



شکل ۱۲ نمودارهای درصد وزنی (الف) Ca/Si نسبت به Fe/Si (ب) Mg/Si نسبت به Al/Si (پ) Mn/Fe نسبت به Ni/Fe و (ت) Mn/Fe نسبت به Cr/Fe . فراوانی این عناصر از سطح سیارک اُروس با کندریت‌های معمولی مقایسه شد و داده‌های کندریت‌های شهاد در تصویر با دایره نمایش داده شده‌اند.

برداشت

۹ قطعه شهابسنگ با جرم کل ۳۵۹۰ گرم شدند و در آن‌ها شواهدی از کندرول و همچنین کندرول مرکب دیده شد که دارای کانی‌های الیوین و پیروکسن به صورت در برگرفته شده و با مرزی کاملاً مشخص تا نیمه مشخص هستند. با بررسی‌های اولیه، این شهابسنگ‌ها از کندریت‌های نوع H با سنگ شناسی ۴ کندریت‌های شهاد رده‌بندی شدند. نبود اکسایش بالای فلز یا سولفید و وجود طیفی از رنگ لیمویی که بیان‌گر درجه W_2 از هوازدگی است، بر اساس رده‌بندی ولترکا، مربوط به کندریت‌های معمولی است. رده‌بندی قطعی این نمونه‌ها با تجزیه ترکیب شیمیایی کانی‌های مختلف حاضر در این شهابسنگ‌ها و درج آن‌ها در خبرنامه جهانی ثبت شهابسنگ‌ها تکمیل می‌شود. با توجه به آزمایش‌های ICP-MS و XRF انجام شده، و روند نمودار عنکبوتی عناصر، نرخ خنک‌شدگی شهابسنگ‌ها آهسته بوده است [۲۶].

براساس نمودارهای هارکر که نشان دهنده روند تبلور کانی‌هاست، طی تبلور کانی‌های الیوین و پیروکسن، همبستگی اکسیدهایی چون FeO و P_2O_5 منفی بوده است.

قدردانی

از راهنمایی‌های ارزنده و علمی دکتر پورخرسندی از آزمایشگاه جی-تایم دانشگاه بروکسل که در این پژوهش نقش اساسی و ویژه‌ای داشته‌اند کمال تشکر را داریم.

مراجع

- [1] Rubin A. E., Kallemeyn G. W., "Pecora Escarpment 91002: A member of the Rumuruti (R) chondrite group", *Meteoritics* (1994) 29, 255–264.
- [2] Weisberg M. K., McCoy T. J., Krot A. N. "Systematics and evaluation of meteorite classification". In: Lauretta, D.S. Jr., McSween, H.Y. (Eds.), *Meteorites and the Early Solar System II*, University of Arizona Press, Tucson, (2006) 943 pp., p.19-52.

- [15] Stoffler D., Keil K., Scott E. R. D., "Shock metamorphism in ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55 (1991) 3845–3867.
- [16] Rubin A. E., Scott E. R. D., "Abee and related EH chondrite impact-melt breccias", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61 (1997) 425–435.
- [17] Gattacceca J., Boovier A., Grossman J., Metzler K., Uehara M., "Meteoritics", *The Meteoritical Bulletin* (2018) 25: 59–63.
- [18] Keil K., "Composition and origin of chondritic breccias. In *Workshop on Lunar Breccias and Soils and their Meteoritic Analogs*", LPI Technical Report 82-02 (eds. G. J. Taylor and L. L. Wilkening). The Lunar and Planetary Institute, Houston (1982) pp. 65–83.
- [19] Ozdin D., Plavcan J., Horn A., Uher P., Porub V., Rakovsk J., "Mineralogy, petrography, geochemistry, and classification of the Kosice meteorite", *Meteoritics & Planetary Science* 50, Nr 5 (2015) 864–879.
- [20] Russell S., Grady M., "Meteorites, Meteoritics and Planetary Science", (2002) 37: 157- 184.
- [21] Foley C. N., Nittler L. R., McCoyb T. J., Limc L. F., Brown R. M., Starr R. D., Trombka J. I., "Minor element evidence that Asteroid 433 Eros is a space-weathered ordinary chondrite parent body", (2006) 338–343.
- [22] Noonan A. F., Olsen E., Bunch T. E., Jarosewich E., Huss G. I., "Happy Canyon: A new type of enstatite chondrite", *Meteoritics* 12 (2019) 109–123.
- [23] Nittler L.R., McCoy T.J., Clark P.E., Murphy M.E., Trombka J.I., Jarosewich E., "Bulk element compositions of meteorites: A guide for interpreting remote-sensing geochemical measurements of planets and asteroids", *Antarct. Meteorite Res* (2004) 17, 233–253.
- [24] Gattacceca J., Valenzuela M., Uehara M., Jull A. J. T., Giscards M., Rochette P., Braucher R., Suavet C., Gounelle M., Morata D., Munayco P., Bourot-Denis N., Bourles D., Demory F., "The densest meteorite collection area in hot deserts: The San Juan meteorite field (Atacama Desert, Chile)", *Meteoritics and Planet. Sci* (2011) 46, 1276- 1287.
- [25] Weisberg M. K., "Sahara 00182, the first CR3 chondrite and formation of multi-layered chondrules", *Meteorit. Planet. Sci.* 36 (2015) A222–A223.
- [26] Terada K., Sano Y., Takahata N. "Thermal and impact histories of 25143 Itokawa recorded in Hayabusa particles scientific reports". (2018) 8:11806.
- [3] Bischoff A. "Meteorite classification and the definition of new chondrite classes as a result of successful meteorite searchin hot and cold deserts". *Planetary and Space Science* (201) 49, 769–776.
- [4] Van Schmus W. R., Wood J. A., "A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites", *Geochimica et Cosmochimica Acta* (1967) 31(5), 747–765.
- [5] Sears D. W. G., Dodd R. T., "Overview and classification of meteorites. In *Meteorites and Early Solar System* (eds. J. F. Kerridge and M. S. Matthews)", University of Arizona Press, Tucson, (1988) 3–31.
- [6] Brearley A. J., Jones R. H., "Chondritic meteorites. In *Planetary Materials, Reviews in Mineralogy* (ed. J. J. Papike)", Mineralogical Society of America, Washington, DC, vol. 36, chap. 3, pp (1998) 3-1–3-398.
- [7] Kallemeyn G. W., Wasson J. T., "The compositional classification of chondrites: I. The carbonaceous chondrite groups", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45 (1981) 1217–1230.
- [8] Kallemeyn G. W., Wasson J. T., "The compositional classification of chondrites: III. Ungrouped carbonaceous chondrites", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46 (1982) 2217–2228.
- [9] Kallemeyn G. W., Boynton W. V., Willis J., Wasson J. T., "Formation of the Bencubbin polymict meteoritic breccia", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42 (1978) 507–515.
- [10] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wang D., Wasson J. T., "Ordinary chondrites: bulk compositions, classification, lithophile-element fractionations, and composition-petrographic type relationships", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53 (1989) 2747–2767.
- [11] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wasson J. T., "The compositional classification of chondrites: V. The Karoonda (CK) group of carbonaceous chondrites", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55 (1991) 881–892.
- [12] Kallemeyn G. W., Rubin A. E., Wasson J. T., "The compositional classification of chondrites: VI. The CR carbonaceous chondrite group", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 58 (1994) 2873–2888.
- [13] Kallemeyn G. W., "The classificational wanderings of the Ningqiang chondrite. In *Lunar Planet. Sci. XXVII*", The Lunar and Planetary Institute, Houston, (1996) 635–636.
- [14] Wlotzka F., "A weathering scale for the ordinary chondrites", *Meteoritics* 28 (1993) 460.