



سنگ شناسی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان (شمال شرق استان اصفهان) و ماهیت انتقالی آن‌ها

زهرا گلی*، قدرت ترابی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان

(دریافت مقاله: ۹۱/۱۰/۲۳، نسخه نهایی: ۹۲/۳/۱۲)

چکیده: سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به صورت گدازه با ترکیب داسیت، آندریت و تراکی آندزیت و سنگ‌های پیروکلاستیک در جنوب غرب چوپانان و در راستای گسل چوپانان رخنمون دارند. این منطقه در زون ساختاری ایران مرکزی (بلوک یزد) واقع شده است. آندزیت‌ها سنگ غالب این منطقه بوده و کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها عبارتند از فلدسپار (آندزین، الیگوکلاز و سانیدین)، آمفیبول (هاستینگسیت منیزیم دار، مگنزیوهاستینگسیت، فروپارگازیت)، میکا (بیوتیت، فلوگوپیت)، کلینوپیروکسن (دیوپسید، اوزیت)، کوارتز، مگنتیت، تیتانومگنتیت، ایلمنیت، تیتانیت، زیرکن و آپاتیت. کانی‌های ثانویه و حاصل دگرسانی نیز عبارتند از کلسیت، کلریت (دیابانتیت) و پرنیت. مقدار SiO_2 در این سنگ‌ها ۵۵٫۱ تا ۶۲٫۱ درصد بوده و از نظر عناصر نادر خاکی سبک (LREE) بسیار غنی هستند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غربی چوپانان دارای ماهیت انتقالی (آهکی - قلیایی متمایل به شوشونیتی) بوده و شبیه سنگ‌های موجود در کمان‌های آتشفشانی هستند. بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی نشان از تشکیل این سنگ‌ها طی فرایندهای سنگ‌زایی یکسان بوده و در روند شکل‌گیری آن‌ها آرایش و اختلاط ماگمایی نقش داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: سنگ‌های آتشفشانی ائوسن؛ ماهیت انتقالی؛ آندزیت؛ چوپانان؛ ایران مرکزی.

مقدمه

فعالیت آتشفشانی ائوسن یکی از مهم‌ترین پدیده‌های زمین‌شناسی ایران در سنوزوئیک است که آثار آن در بیشتر نقاط ایران به جز زاگرس و کپه داغ دیده می‌شوند. محصول این فعالیت ایجاد سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری فراوان در بخش‌های مرکزی ایران از جمله جنوب غرب چوپانان است. بخشی مهمی از سنگ‌های آهکی - قلیایی و شوشونیتی این مناطق نیز مربوط به این زمان است [۱].

فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن در بلوک شرق - ایران مرکزی و نبود داده‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناختی در مورد سنگ‌های جنوب غرب چوپانان دلیل بررسی این سنگ‌ها از دیدگاه سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی است.

روش بررسی

به منظور دسترسی به هدف‌های این پژوهش، پس از بررسی صحرایی و نمونه‌برداری از واحدهای مختلف سنگ‌شناسی، ۳۹ مقطع نازک تهیه شدند و بررسی‌های سنگ‌نگاری صورت گرفت. در مرحله‌ی بعد با استفاده از ریز پردازنده‌ی Jeol مدل JXA-8800 در دانشگاه کاناواوا، کانی‌های مختلف در ۴ مقطع نازک صیقلی در شرایط ولتاژ شتاب‌دهنده 15KV، شدت جریان 15nA و زمان شمارش ۴۰ ثانیه مورد آنالیز نقطه‌ای قرار گرفتند. برای بررسی‌های ژئوشیمیایی، ۱۱ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی جنوب غرب چوپانان با کمترین میزان دگرسانی و بیشترین تنوع ترکیبی در ACM Lab کانادا به روش

جدول ۴ نتایج آنالیز شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان (شمال شرق استان اصفهان).

Analysis	G2	G6	G7-2	G11	G12-2	G13	G15-1	G20-3	G21-3	G23	REPG23
SiO ₂	۵۷,۸۰	۵۵,۱۰	۶۲,۵۰	۵۷,۷۰	۶۲,۱۰	۵۶,۵۰	۶۱,۳۰	۵۷,۴۰	۵۷,۹۰	۶۱,۲۰	۵۹,۶۰
TiO ₂	۰,۶۹	۰,۷۲	۰,۵۵	۰,۶۲	۰,۵۸	۰,۶۱	۰,۵۷	۰,۶۶	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۶
Al ₂ O ₃	۱۵,۲	۱۴,۳	۱۵,۴	۱۶,۴	۱۵,۱	۱۶,۷	۱۵,۶	۱۵,۰	۱۴,۶	۱۵,۶	۱۵,۲
Cr ₂ O ₃	۰,۰۲	۰,۰۳	>۰,۰۱	>۰,۰۱	>۰,۰۱	>۰,۰۱	>۰,۰۱	>۰,۰۱	۰,۱۰	>۰,۰۱	>۰,۰۱
Fe ₂ O ₃ *	۵,۶۲	۶,۳۶	۴,۱۴	۴,۵۸	۴,۸۸	۴,۷۰	۴,۸۵	۵,۵۴	۵,۰۴	۴,۸۷	۴,۷۳
MnO	۰,۰۹	۰,۱۲	۰,۰۵	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۱۱	۰,۰۷	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۰	۰,۱۰
MgO	۳,۷۶	۴,۲۳	۱,۲۱	۱,۱۵	۰,۸۷	۰,۸۲	۲,۰۱	۲,۹۱	۲,۰۷	۱,۵۳	۱,۴۷
CaO	۵,۱۸	۶,۹۹	۳,۳۵	۴,۹۷	۳,۳۹	۴,۳۳	۳,۴۶	۴,۷۷	۴,۴۶	۴,۴۰	۴,۲۷
Na ₂ O	۳,۸۰	۳,۴۰	۴,۲۰	۵,۷۰	۵,۲۰	۵,۷۰	۴,۵۰	۳,۶۰	۳,۴۰	۳,۸۰	۳,۷۰
K ₂ O	۳,۶	۳,۵	۴,۰	۳,۸	۲,۹	۴,۷	۳,۵	۳,۲	۴,۷	۴,۸	۴,۸
P ₂ O ₅	۰,۳۲	۰,۴۰	۰,۲۲	۰,۲۷	۰,۲۶	۰,۲۶	۰,۲۶	۰,۳۳	۰,۲۹	۰,۲۶	۰,۲۷
LOI	۳,۳۸	۳,۷۸	۲,۸۴	۴,۴۵	۱,۶۱	۴,۰۳	۲,۱۸	۴,۵۴	۳,۰۰	۳,۲۷	۳,۲۰
Sum	۹۹,۴۰	۹۸,۹۰	۹۸,۵۰	۹۹,۷۰	۹۷,۰۰	۹۸,۵۰	۹۸,۳۰	۹۸,۰۰	۹۶,۲۰	۱۰۰,۳۰	۹۷,۸۰
Ni	۴۵	۵۰	۲۵	۲۱	۱۷	۱۴	۱۸	۲۶	۳۹	۲۶	۲۷
Co	۱۷,۵۰	۲۳,۴۰	۱۱,۱۰	۱۲,۸۰	۸,۸۰	۷,۰۰	۱۱,۴۰	۱۵,۷۰	۱۵,۰۰	۱۲,۶۰	۱۳,۳۰
V	۱۱۷	۱۴۵	۹۰	۱۱۳	۷۷	۹۸	۸۸	۱۲۰	۹۸	۹۱	۹۵
Cu	۵۰	۷۲	۶۰	۶۷	۴۳	۵۱	۳۸	۵۱	۴۴	۴۵	۴۵
Zn	۶۸	۷۵	۷۱	۱۷۱	۶۹	۱۳۱	۶۶	۷۲	۶۳	۶۵	۱۰۵
Sn	۴	۴	۲	۳	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۲
W	۱>	۱	۳	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۳
Mo	۲>	۲	۲	۲	۲>	۲>	۲	۳	۳	۳	۳
Ag	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>	۱>
Rb	۵,۸۹	۶,۹۰	۱۱۲	۲,۹۴	۸,۷۲	۱۱۹	۶,۹۶	۹۵	۱۵۴	۱۵۶	۱۵۶
Cs	۶۳	۵,۴	۸,۵	۸,۲	۶,۲	۵,۲	۵,۳	۵	۵,۱۰	۴,۸	۴,۸
Ba	۸۲۰	۷۲۰	۶۸۰	۶۶۰	۷۴۰	۹۰۰	۸۰۰	۸۷۰	۸۵۰	۷۹۰	۷۷۰
Sr	۱۰۰۰	۱۳۹۰	۱۴۱۰	۱۰۲۰	۱۰۹۰	۸۳۰	۱۳۷۰	۱۵۸۰	۱۱۴۰	۱۰۷۰	۱۰۶۰
Ga	۱۸	۱۸	۲۰	۱۹	۱۶	۱۷	۲۰	۲۰	۱۹	۲۰	۱۹
Ta	۰,۵۰	۰,۹۰	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۸۰	۰,۸۰	۰,۶۰	۰,۸۰	۰,۷۰	۰,۷۰	۰,۷۰
Hf	۵	۵	۵	۶	۶	۶	۵	۶	۵	۵	۵
Zr	۱۵۸	۱۸۵	۱۸۳	۲۱۰	۲۰۰	۲۱۳	۱۹۷	۲۲۱	۱۸۹	۱۹۲	۱۸۹
Th	۶,۷	۸,۹	۹,۴	۱۰,۴	۱۰,۶	۱۱,۵	۱۱,۰	۱۰,۴	۹,۸	۱۰,۸	۱۰,۴
U	۲,۷,۲	۲,۳,۱	۳,۳,۱	۳,۲,۳	۲,۰,۷	۲,۷,۶	۳,۲,۰	۲,۷,۴	۲,۹,۱	۲,۹,۸	۲,۸,۴
Nb	۱۰	۱۳	۱۱	۱۳	۱۳	۱۳	۱۱	۱۳	۱۲	۱۱	۱۱
La	۲۹,۷۰	۴۰,۷۰	۳۰,۷۰	۳۵,۳۰	۳۶,۶۰	۳۹,۵۰	۳۹,۸۰	۴۰,۹۰	۳۶,۶۰	۳۵,۸۰	۳۶,۷۰
Ce	۵۷,۵۰	۸۲,۱۰	۵۷,۳۰	۷۲,۶۰	۷۲,۹۰	۷۶,۳۰	۷۵,۹۰	۷۹,۸۰	۷۱,۰۰	۶۸,۷۰	۶۹,۴۰
Pr	۷,۱۷	۱۰,۲۰	۶,۷۴	۸,۸۷	۸,۷۴	۸,۶۳	۸,۹۷	۹,۵۳	۸,۳۴	۸,۱۰	۸,۱۴
Nd	۲۷,۳۰	۴۰,۸۰	۲۵,۱۰	۳۴,۳۰	۳۳,۲۰	۳۲,۴۰	۳۳,۵۰	۳۶,۸۰	۳۱,۹۰	۳۱,۱۰	۳۰,۶۰
Sm	۱,۵	۷,۶	۴,۲	۶,۲	۶,۳	۶,۱	۶,۱	۶,۸	۵,۵	۵,۵	۵,۳
Eu	۱,۳۲	۱,۸۹	۱,۱۶	۱,۵۶	۱,۲۹	۱,۴۱	۱,۵۲	۱,۶۸	۱,۴۳	۱,۲۸	۱,۳۹
Gd	۴,۲۶	۶,۰۶	۳,۵۰	۵,۱۳	۵,۰۱	۵,۲۸	۴,۶۶	۵,۸۰	۴,۷۲	۴,۴۸	۴,۷۶
Tb	۰,۵۸	۰,۷۹	۰,۴۹	۰,۷۴	۰,۷	۰,۸	۰,۶۴	۰,۷۸	۰,۶۴	۰,۶۶	۰,۶۴
Dy	۳,۱۲	۴,۰۱	۲,۸۵	۳,۷۱	۳,۷۷	۳,۸	۳,۶۲	۴,۰۲	۳,۴۶	۳,۲۵	۳,۴۹
Ho	۰,۶۳	۰,۷۹	۰,۶	۰,۷۸	۰,۷۳	۰,۸۹	۰,۷۲	۰,۸۶	۰,۷۳	۰,۷۲	۰,۶۹
Er	۱,۷۳	۲,۰۷	۱,۶۱	۲,۰۶	۹,۱	۲,۱۵	۱,۸۷	۲,۱۸	۱,۹۴	۱,۷۶	۱,۹۶
Tm	۰,۲۷	۰,۳۱	۰,۲۴	۰,۳	۰,۲۹	۰,۴	۰,۳۲	۰,۳۴	۰,۲۸	۰,۳۲	۰,۳۱
Yb	۱,۷	۱,۹	۱,۶	۲	۱,۸	۲	۲	۳,۲	۱,۸	۱,۹	۱,۸
Lu	۰,۲۸	۰,۳۱	۰,۲۴	۰,۳۲	۰,۲۹	۰,۴۱	۰,۳۳	۰,۳۵	۰,۲۹	۰,۳	۰,۳۱

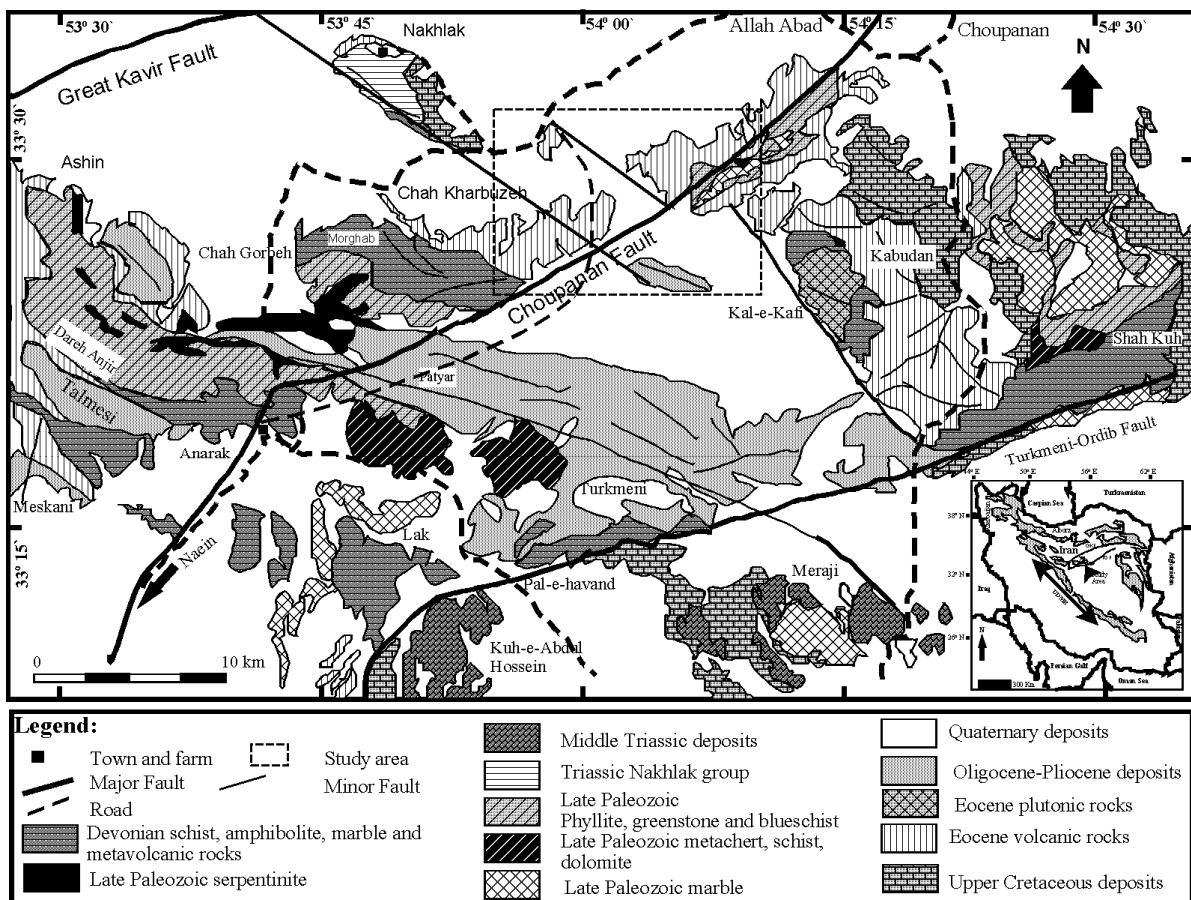
زمین‌شناسی عمومی منطقه

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در شمال شرق انارک و جنوب غرب چوپانان (بخش‌های شمال شرقی استان اصفهان) بین طول‌های جغرافیایی ۵۴° الی ۵۴° ۳۰' شمالی و عرض‌های جغرافیایی ۳۳° الی ۳۳° ۲۳' شرقی رخمون خوبی دارند. در تقسیمات زمین‌شناسی ایران، این منطقه در زون ساختاری ایران مرکزی قرار دارد [۳،۲]. علوی [۴] در پهنه بندی دقیق ایران مرکزی، منطقه‌ی یاد شده را بخشی از بلوک یزد می‌داند و زمین‌شناسان روسی در طرح تکنواکسپورت [۵] در بررسی-های ناحیه‌ای خود این منطقه را جزئی از ماسیف انارک [گرانکوه]- خور به حساب آورده‌اند.

منطقه‌ی مورد بررسی از نظر ساختاری بین دو گسل راستا لغز بزرگ، گسل کویر بزرگ (گسل درونه) در شمال و گسل ترکمنی- اوردیب (گسل بیابانک) در جنوب قرار دارد. گسل چوپانان که از گسل‌های اصلی و بسیار مهم ایران مرکزی است از منطقه‌ی مورد بررسی عبور می‌کند. از گسل‌های فرعی مهم در منطقه می‌توان به گسل‌های کالکافی، شمال انارک و خونی

با روند شمال شرقی- جنوب غربی اشاره کرد [۶]. رخمون سنگ‌های آتشفشانی منطقه بیشتر از روند این گسل‌ها پیروی می‌کند. موقعیت این منطقه بر روی نقشه‌ی ایران و موقعیت گسل‌ها در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

تعیین سن سنگ‌های آتشفشانی مورد بررسی به روش K-Ar ۵۳ میلیون سال (ائوسن زیرین - میانی) را به دست داده است [۷]. این سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در شمال غرب توده‌ی نفوذی کالکافی و کوه خونی قرار دارند. مجموعه‌ی نفوذی کالکافی نیز از شمال غرب به مجموعه‌ی دگرگونی انارک محدود می‌شود که توسط زمین‌شناسان روسی و ریر و محافظ [۸] (براساس تعیین سن شیبست‌ها با روش Rb-Sr، ۸۴۵ میلیون سال) به پرکامبرین نسبت داده شده‌اند. سنگ‌های افیولیتی انارک که به وسیله‌ی مجموعه‌ی دگرگونی‌های انارک پوشانده شده‌اند، قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه محسوب می‌شوند. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن روی سازندهای کرتاسه و در مواردی دگرگونی‌های انارک قرار دارند (شکل ۱).



شکل ۱ نقشه‌ی زمین‌شناسی ساده شده‌ی منطقه‌ی جنوب غرب چوپانان (شمال شرق استان اصفهان).

زمین‌شناسی منطقه‌ی انارک تا جندق توسط افراد مختلفی بررسی شده است. احمدیان و همکاران [۹] مجموعه سنگ‌های پلوتونیک کالکافی واقع در شمال شرق انارک را یکی از پدیده‌های ماگمایی وابسته به کوهزایی پیرنه در زون ساختاری ایران مرکزی دانسته و زمان رخداد این پلوتونیسیم را به ائوسن میانی نسبت می‌دهند. همچنین بهادران [۱۰] موقعیت زمین‌شناسی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن منطقه‌ی عروسان کبودان در ایران مرکزی را نسبت به کمان ماگمایی ارومیه- دختر در یک محیط پشت قوس در نظر گرفته است. سیاری [۱۱] علت آتشفشانی ائوسن شمال انارک را به فرورانش نئوتتیس و ادامه‌ی برخورد قاره‌ای در زمان ائوسن نسبت داده است.

سنگ‌نگاری و شیمی کانی‌ها

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در جنوب غرب چوپانان که طی چند فاز فوران کرده‌اند به صورت گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری بروزند دارند. براساس بررسی‌های سنگ‌نگاشتی، این سنگ‌های آتشفشانی از نظر ترکیب شیمیایی در طیف نسبتاً اسیدی تا حد واسط قرار می‌گیرند. سنگ‌های آتشفشانی تا نیمه آتشفشانی منطقه شامل آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت بوده که برخی حاوی زئولیت‌هایی از گدازه و توف هستند. آندزیت‌ها بیشترین فراوانی را به خود اختصاص داده‌اند. سنگ‌های آذرآواری منطقه نیز شامل توف سنگی، توفیت و برش توفی متمایل به سرخند. بافت‌هایی نظیر پورفیری، پوئی کیلیتیک، گلومروپورفیری، غربالی و جریان‌ی در سنگ‌های این منطقه رایج است.

از نظر کانی‌شناسی، سنگ‌های منطقه شامل کوارتز، فلدسپار پتاسیم، پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک همچون بیوتیت، کلینوپیکروکسن و آمفیبول تشکیل می‌دهد. کانی‌های فرعی این سنگ‌ها عبارتند از زیرکن، آپاتیت، اسفن و مگنتیت. در عین حال مقادیر ناچیزی از کلریت، کلسیت، کوارتز و در مواردی پرهنیت به عنوان کانی‌های ثانویه در این سنگ‌ها به چشم می‌خورد.

نتایج آنالیز ریز پردازشی بر روی کانی‌های پلاژیوکلاز، آمفیبول و بیوتیت بیانگر همخوانی نتایج حاصل از ترکیب کانی‌شناسی با ژئوشیمی سنگ است. بر اساس نمودار [۱۲]

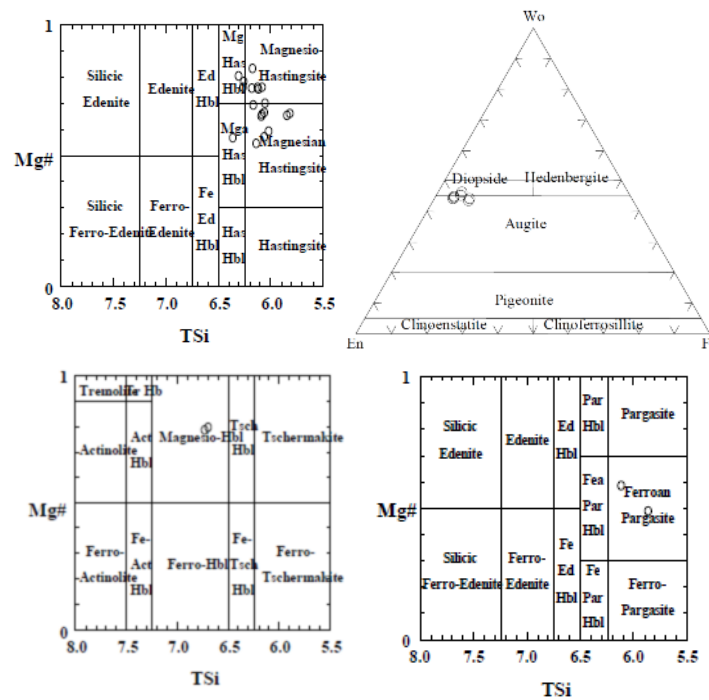
پیروکسن‌ها از نوع کلینوپیکروکسن بوده و ترکیب آن‌ها از دیوپسید تا اوژیت ($Mg\# 0.84-0.94$) در نوسان است. این کانی بر اثر دگرسانی در اغلب موارد کربناتی شده و تنها بخش‌هایی از آن‌ها قابل رویت‌اند (شکل ۲).

بنابر رده‌بندی [۱۳] آمفیبول‌های این مجموعه کلسیم‌دار بوده و ترکیب آن‌ها از مگنزیوهایستینگسیت ($Mg\# 0.54$) تا مگنزین هایستینگسیت ($Mg\# 0.80$) و فروپارگازیت در تغییر است (شکل ۲). این کانی به صورت شکل‌دار و به رنگ سبز در این سنگ‌ها دیده می‌شود. همچنین در برخی از آن‌ها منطقه‌بندی با کاهش آهن و افزایش منیزیم از مرکز به حاشیه، خوردگی خلیجی حاشیه و بافت غربالی قابل رویت‌اند.

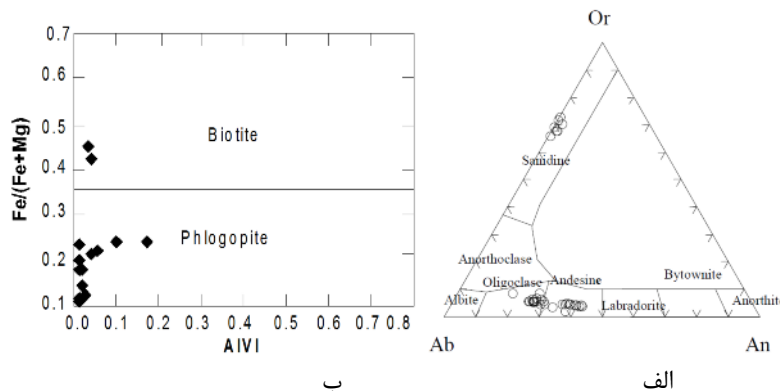
براساس نمودار [۱۴] ترکیب پلاژیوکلازها از آندزین تا الیگوکلاز ($An 18-39\%$) در نوسان بوده و در برخی موارد منطقه‌بندی نوسانی و گاهی وارون از خود نشان می‌دهند. همچنین در درون پلاژیوکلازها انحلال و خوردگی صورت گرفته و بافت غربالی و آنتی راپاکیوی قابل رویت است. این کانی بر اثر دگرسانی به کلریت، کلسیت، پرهنیت و کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۳ الف).

فلدسپار پتاسیم در این سنگ‌ها اکثراً در گستره‌ی سانیدین ($Or 65-69\%$) بوده و بیشتر به زمینه محدود می‌شوند. گاهی درشت بلورهای آن‌ها دارای حاشیه‌ی مات و غبار آلودند (شکل ۳ الف).

میکاهای موجود در این سنگ‌ها بنابر رده‌بندی [۱۵] از نوع بیوتیت ($Mg\# 0.54-0.58$) تا فلوگوپیت ($Mg\# 0.75-0.90$) هستند. این کانی به صورت سالم و با حاشیه‌ی سوخته در سنگ‌هایی وجود دارد که در اثر دگرسانی به کلریت تبدیل شده‌اند (شکل ۳ ب). کوارتز به دو صورت ریز بلور و درشت بلور در مقاطع دیده می‌شود که درشت بلورهای آن اغلب با حاشیه‌های بریده‌اند. کانی‌های تیره در این سنگ‌ها به صورت ادخال در بلورهای درشت کانی‌های فرومنیزین و یا در خمیره دیده می‌شوند که ترکیب آن‌ها شامل هماتیت، مگنتیت، تیتانومگنتیت و ایلمنیت است. علاوه بر کانی‌های تیره، زیرکن، اسفن و آپاتیت نیز در این سنگ‌ها به عنوان کانی فرعی قابل رویت‌اند.



شکل ۲ نمودارهای تقسیم بندی آمفیبول‌ها [۱۳] و ترکیب شیمیایی کلینوپیروکسن‌های [۱۲] سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان در نمودار مثلثی Wo-En-Fs.



شکل ۳ الف. نمایش ترکیب فلدسپارهای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان بر روی نمودار مثلثی An-Alb-Or [۱۴] ب. نمودار تقسیم‌بندی میکاهای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان [۱۵].

ژئوشیمی سنگ‌ها

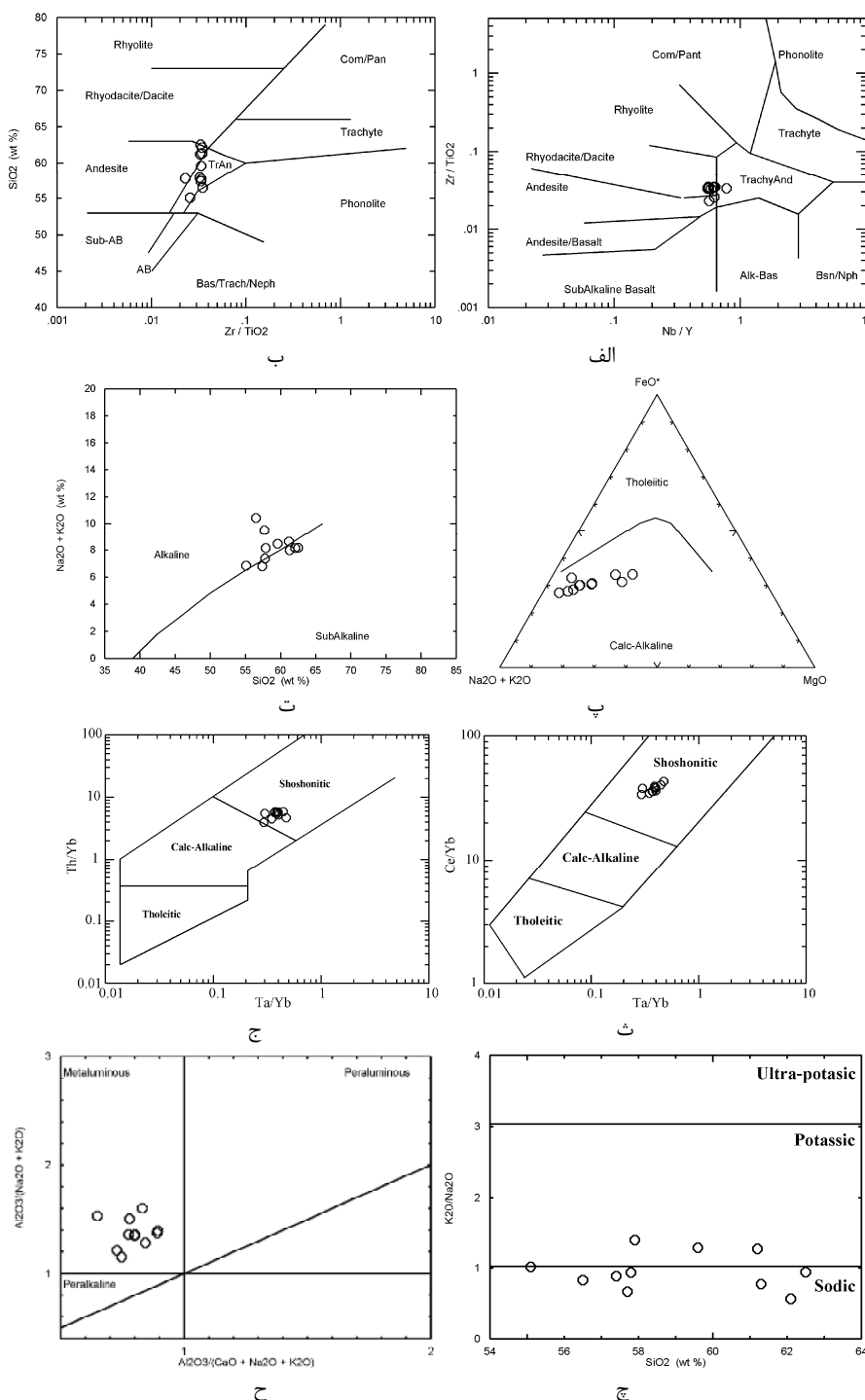
در شکل ۴ (الف و ب) رده‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌های مورد بررسی بر اساس روش [۱۶] نشان می‌دهد که بیشتر ترکیب نمونه‌ها در گستره‌ی آندزیت، تراکی آندزیت، داسیت و ریولیت قرار می‌گیرد.

بررسی‌های ژئوشیمیایی و استفاده از نمودارهای مربوط به تعیین سری ماگمایی [۱۷] نیز نشان می‌دهد که این سنگ‌ها به دو سری ماگمایی قلیایی تا شبه قلیایی وابسته‌اند می‌باشند (شکل ۴ ت). در نمودارهای [۱۸، ۱۹] نیز نمونه‌ها به سری

نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی این سنگ‌ها نشان می‌دهد که مقدار SiO_2 این سنگ‌ها ۵۵٫۱ تا ۶۲٫۱ درصد است که نشان دهنده‌ی حدواسط بودن این سنگ‌هاست. Al_2O_3 در این سنگ‌ها از ۱۴٫۳ تا ۱۶٫۷ درصد و نزدیک به سنگ‌های سری ماگمایی شوشونیتی و آهکی-قلیایی است. TiO_2 این سنگ‌ها از ۰٫۷۵ تا ۰٫۷۲ متغیر بوده که به سبب کمتر بودن مقدار آن‌ها از عدد ۱ بیانگر ماهیت شوشونیتی تا آهکی-قلیایی این سنگ‌هاست.

بررسی و رسم نمودار بر اساس SiO_2 در نسبت به $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ نشان می‌دهد که این سنگ‌ها دارای ماهیت سدی متمایل به پتاسی هستند [۲۲] (شکل ۴ چ).

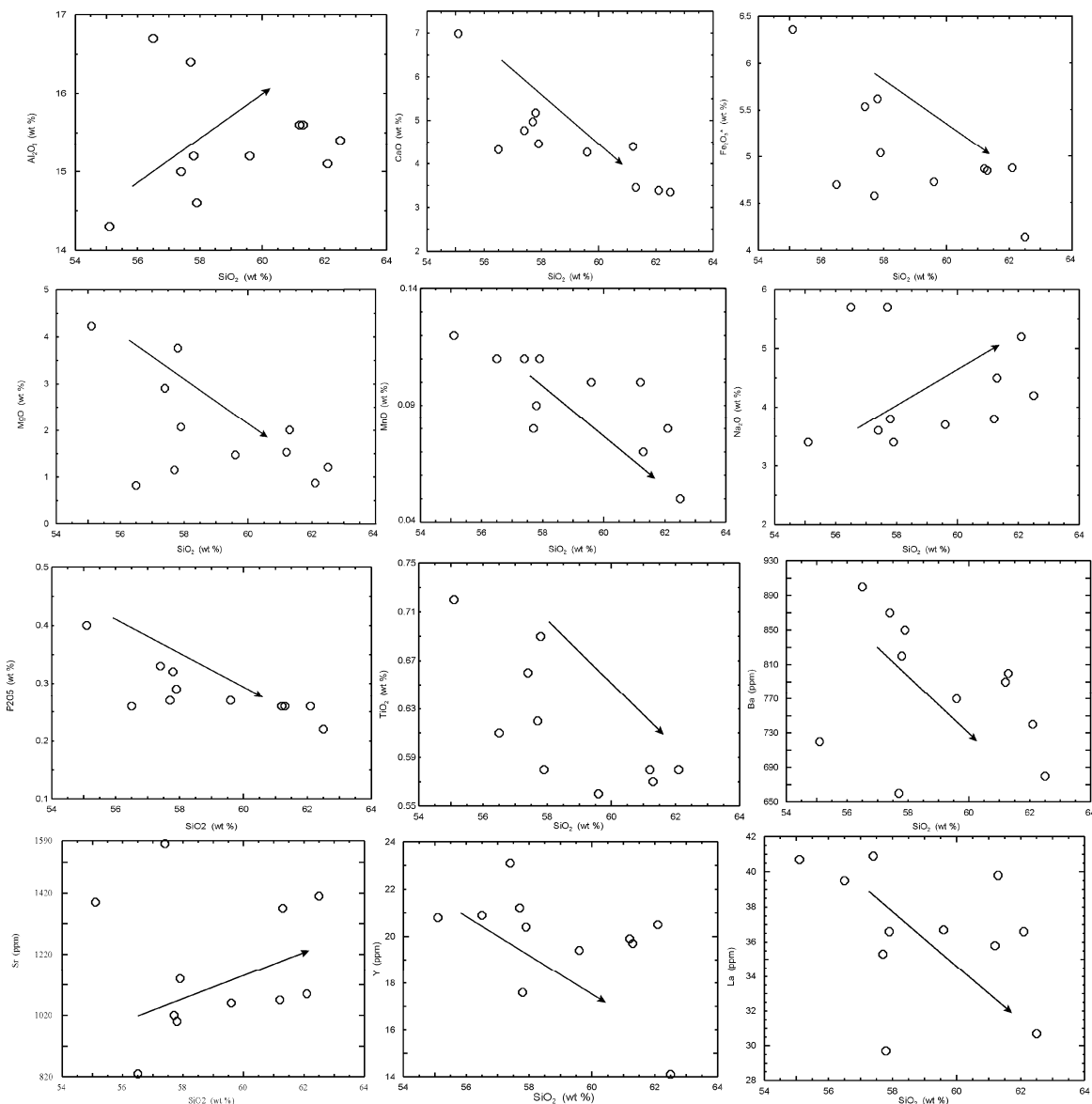
شوشونیتی تمایل نشان می‌دهند (شکل ۴ ث و ج). این سنگ‌ها از نظر چگونگی آلومینیوم، شبه رخشانند [۲۰] (شکل ۴ ح). نمونه‌ها در نمودار AFM [۲۱] به آهکی-قلیایی تمایل دارند (شکل ۴ پ). استفاده از ترکیب شیمیایی سنگ‌های مورد



شکل ۴ نمودارهای الف و ب تعیین کننده نام سنگ [۱۶]، پ، ت، ث و ج تعیین کننده سری ماگمایی [۱۷-۲۱]، چ میزان پتاسیم [۲۳]، ح وضعیت آلومینیوم [۲۰] در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان.

کاهش نسبت حجمی کانی‌های فرومنزین (پیروکسن، آمفیبول، کلینوپیروکسن) و کدر اولیه (ایلمنیت) است. محتوای P_2O_5 موجود در نمونه‌ها زیر کنترل نسبت حجمی آپاتیت در نمونه‌هاست. افزایش نسبت حجمی پلاژیوکلاز تأیید کننده‌ی چگونگی افزایشی Al_2O_3 و روندی با شیب مثبت نسبت به SiO_2 دارد. کاهش مقادیر Co, Cr, V, Ti, Nb نسبت به SiO_2 نشانه‌های پیشرفت جدایش بلوری و کانی‌های آهن و منیزیم و تیتان دارند.

با توجه به تغییرات مقادیر عناصر اصلی و کمیاب روی نمودارهای هارکر [۲۳] معلوم شد که اکسیدهای اصلی Na_2O, Al_2O_3 از فراوانی بالایی برخوردارند و روند تغییرات این عناصر نسبت به SiO_2 خطی و صعودی است. در حالی که اکسیدهای $Ti_2O, CaO, MgO, MnO, Fe_2O_3, P_2O_5$ از میزان کمتری برخوردارند و روند آن‌ها نسبت به SiO_2 روندی نزولی است (شکل ۵). کاهش مقادیر MgO, CaO, Fe_2O_3, MnO و TiO_2 با افزایش مقدار SiO_2 نشانه‌ی پیشرفت جدایش ماگمایی و

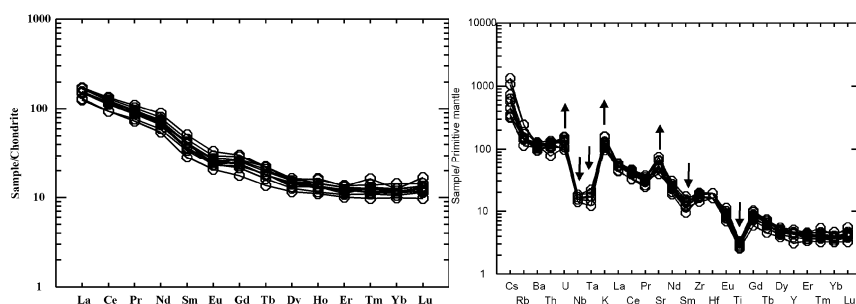


شکل ۵ نمودارهای هارکر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان.

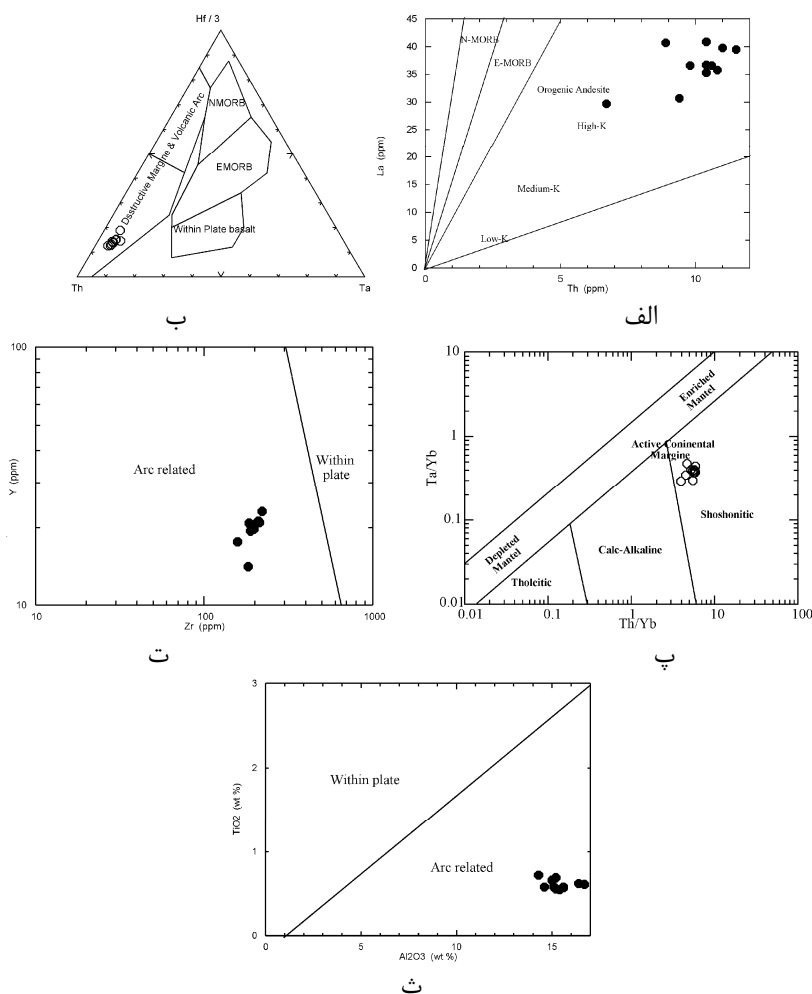
عناصر Ta, Nb, Ti و Sm و مثبت عناصر LILE شامل Rb, U, K, Sr را نشان می‌دهند (شکل ۶).

به منظور تعیین موقعیت زمین‌ساختی از نمودارهای [۲۵]-[۲۸] استفاده شد. این نمودارها ماهیت کوهزایی و ارتباط آن‌ها با یک قوس آتشفشانی را برای نمونه‌ها نشان می‌دهند (شکل ۷).

این سنگ‌ها در نمودار بهنجارسازی نسبت به کندریت [۲۴]، میزان عناصر نادر خاکی سنگین کمتری داشته و غنی‌شدگی مشخصی از عناصر نادر خاکی سبک را نشان می‌دهند (شکل ۵). نمونه‌های مورد بررسی در نمودار عنکبوتی بهنجارسازی نسبت به گوشته‌ی اولیه [۲۴] بیهنجاری منفی



شکل ۶ نمودار بهنجار شده عناصر نادر خاکی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان نسبت به کندریت [۲۴] و نمودار چند عنصری بهنجار شده نسبت به گوشته‌ی اولیه [۲۴].



شکل ۷ نمودارهای مختلف بیانگر موقعیت زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان الف [۲۵]، ب [۲۶]، پ [۱۸]، ت [۲۷]، ج [۲۸].

بحث و بررسی

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان در گستره‌ی آندزیت بازالتی تا داسیت قرار می‌گیرند. بنابر نمودارهای عنکبوتی به هنجار شده با گوشته‌ی اولیه‌ی، سنگ‌های منطقه از LILE غنی شده و از عناصر HFS تهی شده‌اند که این شاخص سنگ‌های آتشفشانی وابسته به قوس آتشفشانی است [۲۹]. از طرفی بی‌هنجاری منفی عناصر Nb, Ti, Ta و غنی‌شدگی از عناصر گروه LILE می‌تواند نشانگر شکل‌گیری سنگ‌ها در منطقه‌ی فرورانش بوده و دلیلی بر ریشه گرفتن ماگمای به وجود آورنده‌ی این سنگ‌ها از یک گوشته‌ی غنی شده در بالای یک زون فرورانش باشند [۳۰]. مقدار کم Nb, Zr, TiO₂ و غنی‌شدگی از عناصر LREE نسبت به عناصر HREE وابستگی این سنگ‌ها به سری ماگمایی آهکی-قلیایی را نشان می‌دهد. همچنین می‌تواند نشانگر این باشد که سنگ مادر ماگما دارای اسپینل و پیروکسن بوده و عناصر نادر خاکی سنگین را در خود نگه داشته و موجب تهی‌شدگی نمونه‌های مورد بررسی از این عناصر شده است.

علاوه بر تأثیر عملکرد فرآیند ذوب بخشی گوشته‌ی غنی شده طی فرآیند دگرنهادی تحت تأثیر شارهای با گدازه‌های حاصل از ورقه‌ی فرورونده در بالا بودن نسبت LREE به HREE بوده و فرآیند آلودگی پوسته‌ای نیز می‌تواند تا حدودی در آن مؤثر باشد. به ویژه این که این ماگما از ضخامت حدود ۴۵ کیلومتری ایران مرکزی عبور کرده‌اند [۳۱]. آرایش با مواد پوسته‌ای در سنگ‌ها تأثیر بسیاری در فراوانی عناصر فرعی (به خصوص عناصر ناسازگار) دارد [۳۲]. از شواهد این آرایش و اختلاط می‌توان به وجود مقادیر بالای La/Nb (۲/۷ تا ۳/۶) در سنگ‌های مورد بررسی و بی‌هنجاری‌های منفی Nb, Ti در نمودارهای عنکبوتی، افزایش میزان Ba, K, Rb و از طرفی فقدان و تحلیل Nb, Zr, Ti, Y می‌شود.

شیمی کانی‌ها و ویژگی‌های سنگ‌نگاری آن‌ها بیانگر شواهدی از شرایط غیر تعادلی و تأثیر پدیده‌ی اختلاط ماگمایی نظیر وجود منطقه‌بندی وارون در پلاژیوکلازها، وجود منطقه‌بندی با تغییرات نسبت آهن به منیزیم در آمفیبول‌ها، وجود بافت غربالی در پلاژیوکلازها و آمفیبول، بافت آنتی راپاکی وی در پلاژیوکلازها، بافت پوئی کیلیتیک، حاشیه‌ی غبار آلود اطراف سانیدین و وجود بیوتیت و فلوگوپیت بر سنگ‌های این منطقه است. همچنین وجود زنولیت و برونوم‌هایی با ترکیبی متنوع در گدازه‌های منطقه را می‌توان به آرایش ماگمایی نسبت داد.

سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان در نزدیکی دو رخنمون دیگر از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن (معلی و عروسان کبودان) واقع شده‌اند. از نظر سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن معلی دارای ماهیت آهکی-قلیایی و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن عروسان کبودان دارای ماهیت شوشونیتی هستند. قرارگیری سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان با ماهیت آهکی-قلیایی متمایل به شوشونیتی در میان دو منطقه‌ی یاد شده نشانگر آن است که این سنگ‌ها از یک ماگمای واحد متبلور نشده و در تشکیل آن‌ها اختلاط دو ماگما با ترکیب حد واسط و آرایش ماگمایی سهم به سزایی داشته‌اند. این ادعا در همخوانی با بررسی‌های انجام شده در منطقه اوردیب (جنوب خور) نیز همخوانی دارد [۳۳].

با توجه به شواهد زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی منطقه، محیط زمین‌ساختی این سنگ‌ها یک محیط کششی در زمان ائوسن بوده است که می‌تواند حاصل فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی نئوتتیس در راستای تراست زاگرس و یا فرورانش پوسته اقیانوسی اطراف بلوک - شرق ایران مرکزی باشد. از آنجا که باقی مانده‌ی پوسته اقیانوسی اطراف بلوک شرق -

[۲] نبوی، م.ح.، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، (۱۳۵۵) ص ۱۰۹.

[3] Shtöcklin J., "Structural and history and tectonics of Iran: a review.", AAPG Bulletin 52 (1968).

[4] Aistov L., Melnikov B., Krivyakin B., Morozov L., "Geology of Khur aera (Central Iran)", Explanatory text of khur quadrangle map 1:25000 (1984).

[5] Alavi M., "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo – Tethys remnants in northeastern", Geological society of America Bulletin 103 (1991) 983 – 992.

[۶] آقاناتی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی، (۱۳۵۵) ص ۱۰۹.

[7] Yakovenko V., Chinakov I., Kokorin Yu., Krivyakin B., "Report on detailed geological prospecting in Anarak Area (Kal-e Kafi-Khoni Locality)", V/O <<Technoexport>>, Rep. No.13, Moscow, (1981) 293.

[8] Rayre D., Mohafez S., "A first contribution of the NICO-ERAP", agreement to the knowledge of Iranian geology, edition Technips Paris (1972) 58.

[9] Ahmadian J., Haschke M., Mc Donald I., Regelous M., Ghorbani M. R., Emami M. H., Murata M., "High magmatic flux during Alpine-Himalayan collision Constraints from the Kal-e-Kafi complex, central Iran", Geological Society of America Bulletin 121 (2009) 857-868.

[۱۰] بهادران ن.، "پترولوژی و ژئوشیمی سنگ‌های ولکانیک منطقه‌ی عروسان کبودان (شمال شرق اصفهان)"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، (1386) ص ۱۳۰.

[۱۱] سیاری م.، "پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در شمال منطقه‌ی انارک (شمال شرق استان اصفهان)"، پایان

ایران مرکزی (همچون افیولیت‌های نایین و عشین) به این منطقه بسیار نزدیک‌تر است، بنابراین احتمال تأثیر این فرورانش بیشتر از فرورانش در راستای تراست زاگرس است.

برداشت

مجموعه‌ی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن واقع در جنوب غرب چوپانان که در زون ایران مرکزی دیده می‌شود، از نظر سنگ‌شناسی طیفی از سنگ‌های از سنگ‌های اسیدی (داسیت و ریولیت) تا حدواسط (آندزیت و تراکی آندزیت) را در بر می‌گیرند. بر مبنای نتایج به‌دست آمده از بررسی‌های صحرایی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمی سنگ کل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جنوب غرب چوپانان، دارای ویژگی‌های ماهیت انتقالی (سرشت آهکی-قلیایی متمایل به شوشونیتی) هستند؛ که این ناهماهنگی و تغییرات زیاد در غلظت برخی عناصر، نقش آرایش و اختلاط ماگمایی در تکامل آتشفشانی ائوسن در این منطقه را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفته سن سنگ‌های مورد بررسی، موقعیت زمین‌شناسی آن‌ها و اطلاعات به‌دست آمده از نمودارهای تعیین محیط زمین‌ساختی، رخداد آتشفشانی ائوسن در این منطقه را می‌توان به رخداد فرورانش در اطراف خرد قاره‌ی شرق - ایران مرکزی نسبت داد. همچنین بررسی‌های صورت گرفته بیانگر آن است که سنگ‌های آتشفشانی منطقه‌ی مورد بررسی در یک قوس ماگمایی وابسته به فرورانش تشکیل شده‌اند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مالی دانشگاه اصفهان تشکر می‌نمایند.

مراجع

[۱] عطاپور ح.، "زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های شوشونیتی ایران زمین"، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش داخلی، (۱۳۷۳) ص ۱۴۱.

- settings, a pilot study*", Contributions to Mineralogy and Petrology 46 (1992) 259-289.
- [20] Maniar P.D., Piccoli P.M., "Tectonic discrimination of granitoids", Geological Society of America Bulletin, 5 (1989) 635-643.
- [21] Wernick E., Carmo Menezes A., "The Late Precambrian K-alkaline magmatism in the Ribeira Fol. Belt: a case study of the Piracaia Pluton, State of Sao Paulo, SE Brazil, and its Potential mineralization (Cu, Zn, Gd) ", Journal of Asian Earth Sciences, 19 (2001) 347-373.
- [22] Harker A., "The natural history of igneous rocks", Methneu, London (1909) 344.
- [23] Jaques A. L., Creaser R. A., Ferguson J., Smith C. B., "A review of the alkaline rocks of Australia". South African Journal of Geology, 88(2) (1985) 311-334.
- [24] Sun S. S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes.", The Geological Society Special Publication, London, (1989) 313-345.
- [25] Gill J., "Orogenic Andesites and Plate Tectonics, Springer Verlag", Berlin, (1981) 390.
- [26] Wood D.A., "The application of a Th-Hf-Ta Diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province", Earth Planet Sci. Letts 50 (1980) 11-30
- [27] Le Maitre R.W., "A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms (IUGS): Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks", Blackwell, Oxford (1989) 193.
- [28] Muller D., Groves D.I., "Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization", lecture Notes in Earth Sciences, 56 (1997) 238.
- [29] Foley S.F., Wheller G.E., "Parallels in the origin of the geochemical signature of island arc volcanic rocks and continental potassic igneous settings, a pilot study", Contributions to Mineralogy and Petrology 46 (1992) 259-289.
- نامه‌ی کارشناسی ارشد پترولوژی، گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، (۱۳۸۵) ص ۱۲۰.
- [12] Morimoto N., "Nomenclature of Pyroxenes", The Canadian Mineralogist 27 (1989) 143-156.
- [13] Leake B.E., Wolley A. R., Arps C. E. S., Birch W. D., Gilbert M. C., Grice J. D., Hawthorne F. C., Kato A., Kisch H. J., Krivovichev V. G., Linthout K., Laird J., Mandarino J., Maresch W. V., Nickel E. H., Rock N. M. S., Schumacher J.C., Smith D. C., Stephenson N. C. N., Ungaretti L., Whittaker E. J. W., Youzhi G. "Nomenclature of Amphiboles", Report of the subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association commission on new minerals and mineral names , European Journal of Mineralogy 9 (1997) 623-651.
- [14] Deer W.A, Howie R.A., Zussman J., "An Introduction to the rock forming minerals", London, Longman (1991) 528.
- [15] Guidotti S., "Micas in metamorphic rocks", Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy 13 (1984) 357-467.
- [16] Winchester J.A., Floyd P.A, "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements". Chemistry and Geology 20 (1977) 325-343.
- [17] Irvine T. N., Baragar W.R. A, "A guide to the classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Science 8 (1971) 235 – 458.
- [18] Pearce J A, Harris N B W, Tindie A G, "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks", Journal of Petrology 25 (1984) 956-983.
- [19] Muller D., Rock N.M.S., Groves D. I., "Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks from different tectonic

[32] Reichow M.K., Saunders A.D., White R.V., Al MUKhamedov A.I., "Geochemistry and Petrogenesis of Basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo-Triassic Siberian Traps", Russia, Lithos, 79 (2004) 425-452.

[۳۳] ترابی ق. شیردشت زاده ن.، "سنگ آتشفشانی ائوسن شمال غرب اوردیب (شمال شرق استان اصفهان)"، مجله‌ی بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۱۷، شماره‌ی ۴ (۱۳۸۸) ۵۱۹-۵۳۴.

rocks, the role of titanites", Chemical Geology, 85 (1990) 1-18.

[30] Saunders A.D., Tarney J., Weaver S.D., "Transverse geochemical variations across the Antarctic Peninsula, implications for the genesis of calc-alkaline magmas", Earth and Planetary Science Letters, 6 (1980) 344-360.

[31] Dehghani G.A., Makris J, "The gravity field and crustal structure of Iran", Geological Survey of Iran, 51 (1983) 51-68.