

بررسی فرایندهای تأثیر گذار در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی نشوه، شمال باختر ساوه

مهدی رضائی کهخانی^۱، داریوش اسماعیلی^۲ و هانیه صحرایی^۲

^۱استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

^۲استاد، دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳کارشناسی ارشد، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران (IMPASCO)، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۰۴

چکیده

سنگ‌های آتشفشانی نشوه در شمال باختر ساوه واقع شده و بخشی از کمربند ماگمایی ارومیه- دختر محسوب می‌شوند. این سنگ‌ها عمدتاً از نوع بازالت، آندزیت بازالت، آندزیت تا تراکی آندزیت هستند. در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها شواهدی از عدم تعادل بلور با ماگما نیز دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به بافت غربالی، وجود دو نسل سالم و دگرسان شده پلاژیوکلاز، حاشیه واکنشی، خوردگی و گردش‌گی فنوکریست‌ها اشاره کرد. بررسی‌های ژئوشیمیایی مربوط به نمودارهای عناصر اصلی و کمیاب نشان می‌دهد که اگر چه تبلور تفریقی در تکامل سنگ‌های آتشفشانی منطقه مؤثر بوده است؛ اما در برخی از نمودارها نوعی پراکندگی و روندهای غیر عادی نسبت به روند تفریق به چشم می‌خورد، که این حالت می‌تواند بیان کننده اختلاط و آلودگی ماگمایی باشد. ناهماهنگی و تغییرات زیاد در غلظت برخی عناصر نظیر Sr و همچنین نمودارهای دوتایی Zr/Rb-Rb و Nb-Nb/Y نقش اختلاط ماگمایی را در شکل‌گیری سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه نشان می‌دهد. با توجه به موارد ذکر شده می‌توان گفت که مهم‌ترین فرایند تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه تفریق و اختلاط ماگمایی است. همچنین اختلاط پالس یا پالس‌های ماگمایی جدید با ماگمای تفریق یافته مؤثرترین مکانیزم برای تحول ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه است.

کلیدواژه‌ها: تبلور تفریقی، اختلاط ماگمایی، سنگ‌های آتشفشانی، نشوه، کمان ماگمایی ارومیه- دختر.

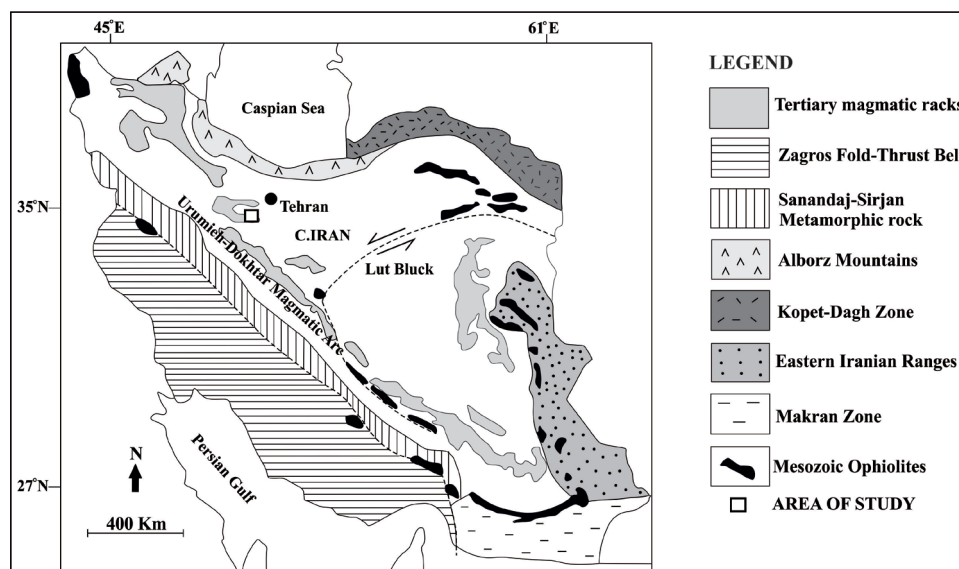
*نویسنده مسئول: مهدی رضائی کهخانی

E-mail: Rezaei@shahroodut.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

به ورده و از خاور به روستای خلخاب محدود می‌شود. منطقه مورد مطالعه بخشی از زون ساختاری ایران مرکزی بوده و عمدتاً دارای سنگ‌های آذرین سنوزویک است. شکل ۱ زون‌های ساختاری ایران، کمان ماگمایی ارومیه- دختر و موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

منطقه نشوه در ۲۵ کیلومتری شمال باختر ساوه قرار دارد و بخشی از ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ چهار گوش این شهرستان است. این منطقه در بین طول‌های جغرافیایی ۵۰° ۰۰' تا ۵۰° ۰۴' خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۱۱' ۳۵° تا ۱۷' ۳۵° شمالی قرار دارد که از شمال به دشت قزوین، از جنوب به ارتفاعات شاه‌پسند و کوه زرو، از باختر



شکل ۱- موقعیت زون‌های ساختاری ایران (اقتباس از Berberian, 1983 با اندکی تغییرات). موقعیت سنگ‌های آتشفشانی نشوه با مربع نشان داده شده است

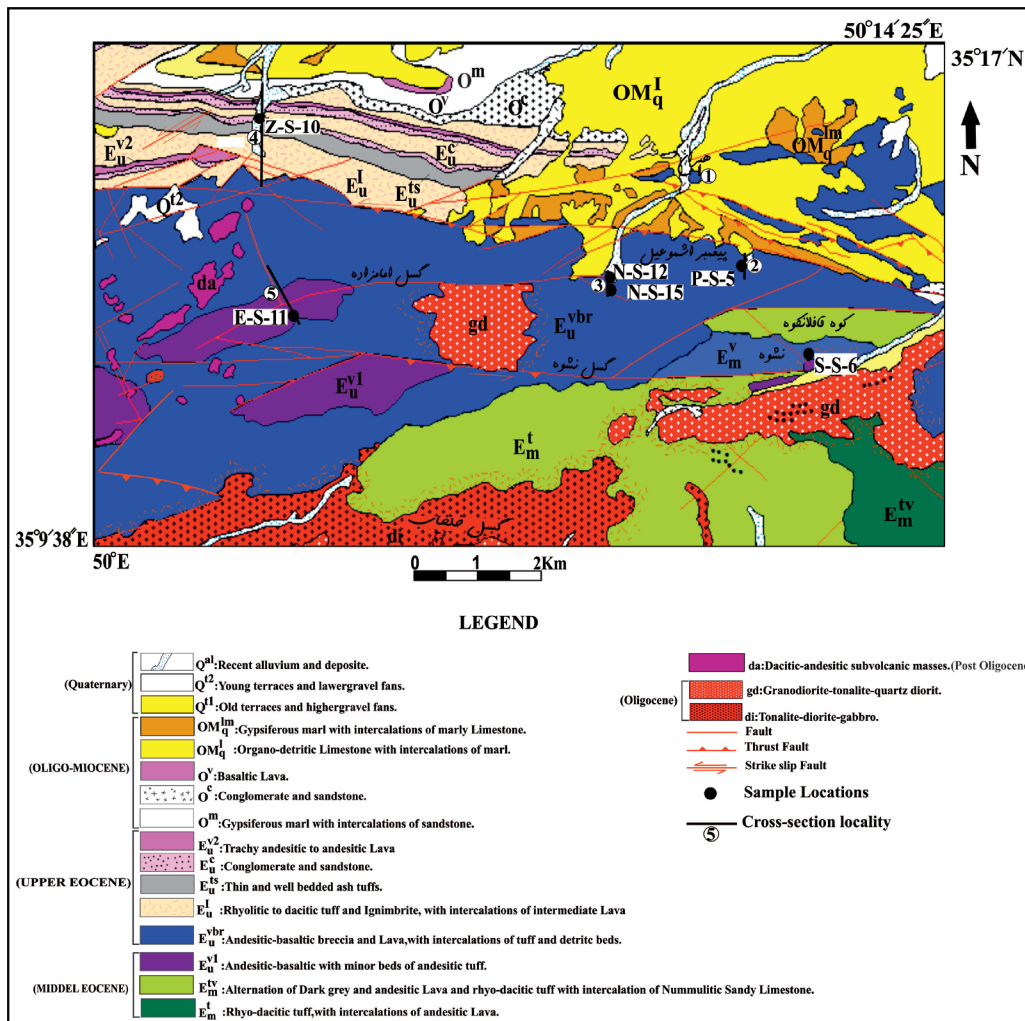
کرد. با این حال تاکنون اطلاعات چندانی از مشخصات سنگ‌شناسی و ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه به دست نیامده، بنابراین هدف اصلی از این پژوهش بررسی فرایندهایی است که در تشکیل و تکون سنگ‌های آتشفشانی نشوه مؤثر بوده‌اند. همچنین در نهایت به تعیین محیط زمین‌ساختی تشکیل این سنگ‌های آتشفشانی پرداخته خواهد شد.

به‌طور کلی، چهار گوش منطقه ساوه به لحاظ وجود فازهای ولکانیکی و توده‌های نفوذی متعدد مورد توجه بسیاری از زمین‌شناسان بوده و محققان مختلفی به بررسی سنگ‌های آذرین و رسوبی موجود در این منطقه پرداخته‌اند. از جمله این پژوهشگران می‌توان به Gansser (1955)، Ghasemi and Talbot (2006) و Caillat et al. (1978) و غیره اشاره

۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

ریخته‌اند، به طوری که تفکیک واحدهای سنگی به سختی امکان‌پذیر است. بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ساوه (Ghalamghash and Fenodi, 1998)؛ شکل ۲)، پیکره‌های اصلی سنگ‌های منطقه را دو پیکره رسوبی و آذرین تشکیل می‌دهند. این پیکره‌ها همگی به پالئوسن- ائوسن و بعد از آن تعلق دارند. سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از نوع بازیک، حدواسط و اسیدی هستند که توسط سنگ‌های آهک ماسه‌ای فسیل‌دار الیگو- میوسن (معادل سازند قم) پوشیده شده‌اند (شکل ۳- الف).

همان‌طور که گفته شد منطقه نشوه قسمتی از زون ساختاری ایران مرکزی و بخش کوچکی از کمان ماگمایی ارومیه- دختر را تشکیل می‌دهد و اساساً شامل سنگ‌های آذرین (خروجی- نفوذی) سنوزوییک است. در منطقه نشوه واحدهای سنگی ائوسن، عمدتاً شامل واحدهای آتشفشانی هستند که بخش وسیعی از این منطقه را تشکیل می‌دهد. در واقع به نظر می‌رسد که بیشترین فعالیت ماگمایی منطقه نیز در زمان ائوسن رخ داده باشد. در این محدوده واحدهای آتشفشانی ائوسن به دلیل هجوم توده‌های نفوذی و جابه‌جایی زیاد توسط گسلش برشی- فشارشی به‌طور کامل به هم



شکل ۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی شمال باختر ساوه. اقتباس از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ساوه (Ghalamghash and Fenodi, 1998) با اندکی تغییرات.

۳- روش انجام پژوهش

آتشفشانی منطقه پرداخته شد. از میان نمونه‌های آتشفشانی، ۱۳ نمونه که فاقد دگرسانی بودند و تجزیه کمتری داشتند جهت آنالیز انتخاب و برای انجام آنالیز شیمیایی سنگ کل عناصر اصلی و نادر به روش‌های ICP-OES و ICP-MS به آزمایشگاه Activation کشور کانادا ارسال شدند (جدول ۱). سپس با استفاده از تلفیق اطلاعات‌های به دست آمده از مشاهدات صحرائی، مطالعات میکروسکوپی و آنالیز عناصر اصلی و کمیاب با استفاده از نرم‌افزارهای Icpet، CoreLDROW X5، ArcGIS، و GCDkit 3.00 به بررسی پتروژنز و نحوه تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه پرداخته شده است.

به منظور بررسی فرایندهای مؤثر در تشکیل و تکوین سنگ‌های آتشفشانی نشوه پس از مشخص شدن موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه به کمک نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و همچنین تهیه عکس‌های هوایی، از سنگ‌های آتشفشانی منطقه مزبور نمونه‌برداری صورت گرفت. این نمونه‌برداری تنوع کاملی از سنگ‌های آتشفشانی موجود در منطقه را در بر دارد. تعداد ۶۰ نمونه از مجموعه سنگ‌های آتشفشانی بر اساس تنوع سنگ‌شناسی برداشت شد. به منظور مطالعه سنگ‌نگاری از ۶۰ نمونه برداشت شده مقاطع نازک تهیه و سپس با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان به مطالعه سنگ‌های

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه ژئوشیمیایی عناصر اصلی (بر حسب درصد وزنی) و کمیاب (بر حسب ppm) سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشو.

Petrology	Basalt	Basaltic andesite and Basaltic trachyandesite					Andesite and Trachyandesite					Dacite and Trachyandesite	
		E-S-11	E-S-42	E-S-18	P-S-5	E-S-5	S-S-6	N-S-11	N-S-15	N-S-66	N-S-12	N-S-15	N-S-44
SiO ₂	۵۰/۱	۵۲/۲	۵۳/۲	۵۳/۹	۵۴/۷	۵۷/۶	۵۹/۶	۶۰/۲	۶۰/۸	۵۹/۴	۶۲/۷	۶۵/۱	۶۶/۳
TiO ₂	۱	۱/۰۱	۰/۸۲	۰/۹	۰/۸۷	۰/۹	۰/۷۱	۰/۶	۰/۷۱	۰/۷	۰/۵۷	۰/۴۹	۰/۴
Al ₂ O ₃	۱۹/۱	۱۴/۹	۱۶/۲۵	۱۹/۴	۱۷/۸۵	۱۷/۷	۱۶/۷	۱۷/۸	۱۵/۷	۱۷/۴	۱۶/۱۵	۱۴/۸	۱۵/۶
Fe ₂ O ₃	۱۱/۱	۱۲/۸۵	۱۰/۳	۹/۱	۸/۹۶	۸/۵	۷/۶۶	۶	۷/۶۶	۶/۶	۶/۰۳	۳/۸۹	۳/۸
MnO	۰/۲	۰/۲۹	۰/۳	۰/۲	۰/۲۲	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۱۴	۰/۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱
MgO	۴/۷	۴/۱۱	۴/۴۳	۳/۱	۲/۳۲	۲/۲	۲/۴۸	۲/۷	۲/۴۱	۳/۸	۱/۷۸	۱/۵۲	۰/۲
CaO	۱۰/۳	۷/۷۱	۶/۳۳	۴/۷	۶/۸۳	۷/۳	۵/۸۹	۶/۱	۵/۱۹	۴/۲	۴/۸۱	۴/۸۴	۵/۷
Na ₂ O	۲/۸	۲/۴۲	۳/۱	۵/۲	۴/۰۹	۲/۷	۳/۵۹	۳/۶	۳/۴۴	۵/۳	۳/۴۹	۳/۴۷	۴/۶
K ₂ O	۰/۶	۱/۸۸	۲/۱	۳	۱/۶۲	۲/۴	۲/۳۱	۲/۵	۲/۳۸	۱/۹	۲/۷۳	۲/۹	۳
P ₂ O ₅	۰/۱	۰/۲۶	۰/۱۵	۰/۲	۰/۴۳	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۲۲	۰/۲	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۱
Total	۱۰۰	۹۷/۶۳	۹۶/۹۸	۹۹/۷	۹۷/۸۹	۹۹/۶	۹۹/۲۸	۹۹/۷	۹۸/۶۵	۹۹/۶	۹۸/۶	۹۷/۲۱	۹۹/۸
Ba	۱۴۰	۴۲۲	۵۵۴	۵۹۰	۳۶۱	۶۰۰	۵۴۸	۴۴۰	۶۰۵	۵۴۰	۶۷۵	۷۵۹	۷۰۰
Rb	۱۶/۲	۳۸/۶	۴۶/۱	۸۸/۶	۴۰/۴	۵۱/۸	۶۰/۹	۶۱/۲	۵۶	۶۴/۷	۷۱/۴	۳۸/۱	۴۱
Sr	۳۵۰	۳۳۶	۳۶۹	۵۴۰	۴۰۳	۳۶۰	۴۲۴	۴۲۰	۳۹۴	۳۲۰	۴۴۹	۳۵۳	۲۶۰
Zr	۲۷/۹	۸۱	۷۹	۱۱۵	۱۲۱	۱۲۱	۱۱۹	۱۳۲	۱۴۵	۱۶۴	۱۲۱	۱۴۵	۱۵۲
Nb	۲	۵/۵	۴/۳	۷	۶/۱	۷	۶/۶	۱۱	۶/۶	۱۶	۶/۶	۷/۴	۱۱
Ni	۵	۱۳	۱۴	۵	۶	۶	۸	۲۱	۸	۲۹	۸	۵	۵
Co	۳۵/۶	۳۲/۴	۲۹/۸	۲۴/۷	۱۵/۸	۱۹/۵	۱۷/۴	۲۰/۷	۱۶/۶	۲۰/۷	۱۲/۸	۵	۷/۹
Zn	۱۱۸	۱۲۰	۱۶۹	۱۹۶	۶۶	۸۰	۷۵	۱۰۱	۶۵	۵۴	۷۶	۲۳	۵۳
La	۴/۲	۱۲/۹	۹/۶	۱۷/۶	۱۴/۱	۱۵/۸	۱۵/۳	۱۷/۶	۱۶/۵	۲۵/۱	۲۴/۲	۱۶	۲۲/۵
Ce	۹/۱	۲۶/۴	۲۰	۳۵/۶	۲۸/۵	۳۳/۱	۳۰/۸	۳۲/۲	۳۳/۳	۴۶/۲	۴۵/۷	۳۱/۶	۴۴
Pr	۱/۳۳	۳/۵۷	۲/۶۲	۴/۵۱	۳/۷۳	۴/۱۵	۳/۸۵	۳/۷۲	۴/۱۶	۵/۲۱	۵/۲۴	۳/۸۵	۵/۲۴
Nd	۶/۴	۱۴/۵	۱۱/۲	۱۸/۲	۱۵/۹	۱۷/۹	۱۵/۴	۱۳/۶	۱۶/۸	۱۹/۲	۱۹/۳	۱۴/۹	۲۰/۵
Sm	۲/۱	۳/۶۸	۲/۸۵	۴	۳/۹۱	۴/۵	۳/۵۳	۲/۸	۴/۰۲	۳/۸	۳/۷۶	۳/۲۱	۴/۶
Eu	۰/۷۵	۱/۰۶	۰/۹۳	۱/۱۵	۱/۲	۱/۱۷	۰/۹۴	۰/۸	۱/۰۴	۰/۸۸	۰/۹۵	۰/۸۸	۱/۱۴
Gd	۲/۶۵	۴/۲۱	۳/۴۲	۳/۶۹	۴/۶۲	۴/۸۲	۳/۸۷	۲/۵۳	۴/۴	۳/۵۹	۳/۹۱	۳/۶۵	۴/۳
Tb	۰/۴۷	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۷	۰/۷۵	۰/۶۱	۰/۶۲	۰/۴	۰/۶۹	۰/۴۱	۰/۵۶	۰/۵۵	۰/۶۶
Dy	۲/۷۷	۴/۶۲	۳/۸۳	۴/۰۸	۴/۸۵	۴/۷۵	۴	۲/۴۳	۴/۴۴	۳	۳/۴۸	۳/۲۶	۴/۳۹
Ho	۰/۵۷	۰/۹۴	۰/۸۱	۰/۸	۰/۹۸	۱	۰/۸	۰/۴۹	۰/۹۴	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۹۲
Er	۱/۶۸	۲/۷۴	۲/۴۸	۲/۴۸	۲/۹۹	۲/۹۳	۲/۴۵	۱/۶۶	۲/۷۶	۱/۸۹	۲/۱۲	۲/۱۲	۲/۷۹
Tm	۰/۲۶	۰/۴۱	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۳۴	۰/۲۱	۰/۴۲	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۴۳
Yb	۱/۸	۲/۵۶	۲/۳۴	۲/۳	۲/۶۵	۲/۸	۲/۳۹	۱/۶	۲/۶۸	۱/۸	۲/۱۴	۲/۱۶	۳
Lu	۰/۲۶	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۴۳	۰/۴۵	۰/۴	۰/۱۹	۰/۴۷	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۴۸
Y	۱۷/۵	۲۵/۳	۲۱/۳	۲۳/۶	۲۷/۷	۲۷/۸	۲۳	۱۵/۱	۲۵/۷	۱۸/۸	۲۰/۴	۱۸/۴	۲۸/۲
Cs	۰/۷	۰/۶۷	۰/۸۷	۲/۱	۰/۶۸	۱/۵	۲/۳۴	۲/۱	۱/۸۸	۱/۴	۱/۲۲	۰/۴	۰/۶
Ta	۰/۵	۰/۴	۰/۳	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۵	۰/۸	۰/۴	۱/۱	۰/۵	۰/۵	۰/۷
Hf	۱	۲/۸	۲/۴	۳	۳/۶	۴	۳/۵	۳	۴/۲	۴	۳/۶	۴/۱	۵
Cu	۱۶۹	۱۲۱	۴۵۱	۵	۳۶	۱۳	۴۸	۵	۲۹	۵	۴۷	۵	۷۴
Ga	۲۰	۱۶/۹	۱۷/۳	۲۳	۱۸	۱۹	۱۷/۷	۱۹	۱۶/۳	۱۹	۱۶/۲	۱۴/۴	۱۷
Mo	<۲	<۲	۳	<۲	<۲	۳	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲
Th	۰/۶	۵/۶۹	۳/۳۹	۵/۸	۵/۴۱	۵/۶	۵/۱۱	۷	۴/۶۲	۹/۶	۵/۵۵	۵/۹۱	۵/۶
Tl	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵
U	۰/۰۷	۱/۳۸	۱/۰۲	۱/۱۲	۱/۶۴	۱/۶۵	۱/۲۳	۲/۳۵	۱/۴۷	۳	۱/۴۳	۱/۵۶	۱/۶۳
V	۳۸۵	۴۲۶	۳۳۸	۲۳۳	۲۰۸	۲۶۷	۱۹۴	۱۵۰	۱۸۸	۱۴۷	۱۲۸	۷۶	۵۷

۴- سنگ‌نگاری

کلسیت‌ها از دیواره به طرف مرکز افزایش می‌یابد. ساخت حفره‌ای معرف مقدار قابل توجهی سیال در ماگمای سازنده سنگ‌هاست (Lockwood and Hazlett, 2010) و تصور می‌شود هنگامی که ماگما از گاز اشباع بوده، سبب تشکیل گدازه‌های حفره دار می‌شده و زمانی که فقیر از گاز بوده بخش‌های متراکم خاکستری تیره تا سیاه بدون حفره را ایجاد کرده است. بر روی گدازه‌های مذکور، سنگ‌های آهکی ماسه‌ای به سن الیگو-میوسن (معادل سازند قم) قرار گرفته است (شکل ۳- الف).

پلاژیوکلاز فراون‌ترین کانی در سنگ‌های آتشفشانی منطقه است و تقریباً بیش از ۶۰ درصد حجمی این سنگ‌ها را شامل می‌شود. از مهم‌ترین کانی‌های دیگر در سنگ‌های آتشفشانی منطقه می‌توان به کلینوپیروکسن (شکل ۳- پ)، کوارتز، فلدسپار پتاسیک، آمفیبول و الیوین اشاره کرد. بافت عمده سنگ‌های در منطقه مورد مطالعه پورفیری، میکرولیتیک پورفیریک، میکرولیتی، هیالوپورفیریک و بعضاً سرئیت و گلومروپورفیریک است.

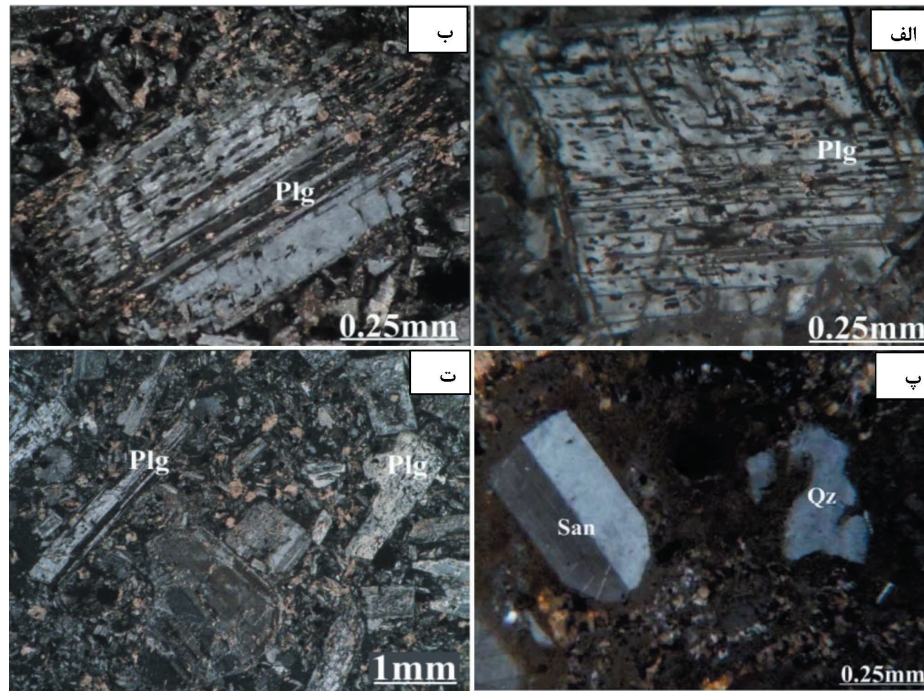
بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش ساوه واحد آتشفشانی موجود در شمال روستای نشوه شامل سنگ‌های آندزیتی سبز روشن به همراه میان‌لایه‌هایی از توف‌های وابسته است، در حالی که بررسی‌های سنگ‌نگاری و ژئوشیمی در این پژوهش نشان می‌دهد ترکیب سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از بازالت، الیوین‌بازالت (بازیک)، آندزیت‌بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت (حدواسط) و تعداد معدودی نیز داسیت و تراکی داسیت (اسیدی) است. در این بین سنگ‌های حدواسط فراوان‌تر هستند. این سنگ‌ها سطحی سیاه رنگ دارند و در نمونه‌های دستی به رنگ سبز تیره تا خاکستری تیره دیده می‌شوند. واحد آتشفشانی منطقه عمدتاً دارای کانی‌های مگاکریست پلاژیوکلاز است (شکل ۳- ب) که از قسمت پایین روانه‌ها به سمت بالا، اندازه بلورهای پلاژیوکلاز کاهش می‌یابد. به طوری که در حوالی روستای هبران (قسمت‌های فوقانی گدازه) کانی‌های پلاژیوکلاز با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند و عمدتاً دارای ساخت حفره‌ای هستند. این حفرات توسط کلسیت پر شده است که اندازه این



شکل ۳- الف) نمایی از رخنمون سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه که در زیر آهک‌های میوسن واقع شده‌اند. این عکس از قسمت شمال منطقه مورد مطالعه تهیه شده و در این رخنمون شیب لایه‌ها به سمت شمال است؛ ب) تصویری از سنگ‌های بازالتی-آندزیتی با مگاکریست‌های پلاژیوکلاز؛ پ) تصویری از سنگ‌های بازالتی موجود در منطقه که دارای فنوکریست‌های پیروکسن هستند.

در حین صعود ماگما و تزریق پالس‌های جدید و گرم به مخزن ماگمایی ایجاد می‌شود. با توجه به این شواهد، می‌توان عنوان کرد که اختلاط ماگمایی احتمالاً در پیدایش سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه نقش مهمی داشته است. مجموعه ویژگی‌های ذکر شده حاصل رویدادهای مختلف از هنگام تشکیل ماگما تا صعود و فوران آنها در سطح زمین و تغییرات بعد از آن است که سبب ایجاد مجموعه کانی شناسی فوق شده است. همچنین در بررسی‌های میکروسکوپی بافت گلومروپورفیریک ناشی از تجمع بلورهای کلینوپیروکسن و پلاژیوکلاز نیز در تعدادی از مقاطع دیده شده است که می‌تواند نشان‌دهنده اختلاط ماگمایی و اغتشاش در مخزن ماگمایی باشد (Gill, 2010). در بررسی‌های میکروسکوپی زینولیت‌های رسوبی دیده نمی‌شود.

در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها شواهدی از عدم تعادل بلور با ماگما نیز دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به بافت غربالی (شکل ۴- الف)، حاشیه واکنشی (شکل ۴- ب) و وجود دو نسل سالم و دگرسان شده پلاژیوکلاز (شکل ۴- پ) اشاره کرد. همچنین در برخی از کانی‌های کوارتز نیز خوردگی خلیجی دیده می‌شود (شکل ۴- ت)، حالت خوردگی در کانی‌های مختلف می‌تواند نشان‌دهنده عدم تعادل فیزیکوشیمیایی بلور با ماگما و احتمالاً نتیجه آلودگی و اختلاط ماگمایی باشد. به عقیده (Suzaño et al. 2017) وجود کوارتز با خوردگی خلیجی در سنگ‌ها می‌تواند نشان‌دهنده اختلاط ماگمایی باشد. (Shelly 1993) نیز معتقد است که بافت خوردگی خلیجی در کانی کوارتز در اثر تأثیرات انحلال ناشی از کاهش فشار



شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی از سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نور پلازیران؛ الف) پلاژیوکلازهایی با میانبره‌هایی از شیشه؛ ب) پلاژیوکلاز با حاشیه واکنشی؛ پ) همزیستی پلاژیوکلازهایی با بافت غربالی (نسل اول) در مجاورت پلاژیوکلازهای سالم (نسل دوم)؛ ت) درشت بلور کوارتز با خوردگی خلیجی. علائم اختصاری عبارتند از: Plg = پلاژیوکلاز و Qz = کوارتز.

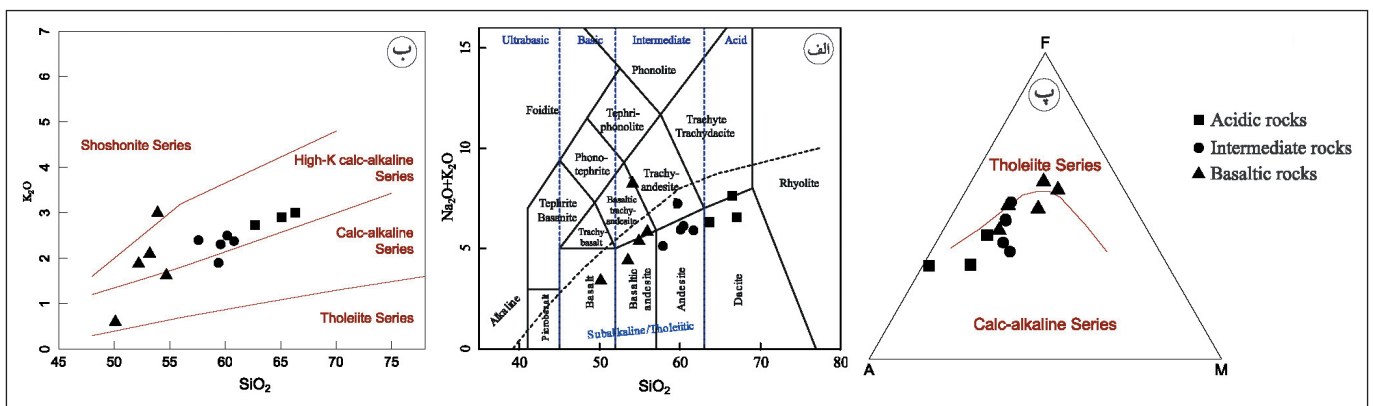
استفاده شد (جدول ۱). همانطور که در شکل ۵- الف دیده می‌شود سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در محدوده بازالت، آندزیت، آندزیت، تراکی-آندزیت، آندزیت، تراکی-آندزیت، داسیت و تراکی داسیت قرار می‌گیرند. همچنین در این نمودار نمونه‌های مورد بررسی عمدتاً در قلمرو مجموعه ماگمایی ساب آلكالن و در ۳ محدوده اسیدی (تراکی داسیت)، حدواسط (آندزیت، تراکی آندزیت و تراکی-آندزیت) و بازالت قرار گرفته‌اند. برای تفکیک سری تولیتی از سری کالک آلكالن می‌توان از نمودار معرفی شده توسط Peccerillo and Taylor (1971) (شکل ۵- ب) و نمودار معرفی شده توسط Irvine and Baragar (1976) (شکل ۵- پ) استفاده کرد. در نمودارهای مذکور سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه عمدتاً روند سری کالک آلكالن را دنبال می‌کنند.

بنابراین می‌توان گفت که آلودگی با پوسته بالایی در تکوین سنگ‌های آتشفشانی منطقه نقش کمی داشته است. علاوه بر آن Pearce (1983) اظهار می‌کند که ماگماهای بازالتی سریع صعود می‌کنند و خودشان را به سطح زمین می‌رسانند و به مقدار کم دچار آرایش با سنگ‌های تشکیل دهنده پوسته زمین در طی صعود می‌شوند.

۵- بحث

۵-۱. رده بندی شیمیایی، سری ماگمایی و فرایندهای مؤثر در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی مورد مطالعه

بخش قابل توجهی از سنگ‌های منطقه دارای خمیره ریزدانه هستند. بنابراین تعیین نوع و نسبت کانی‌ها تا حد زیادی غیر ممکن است؛ لذا به منظور نام‌گذاری دقیق و کمک به مطالعات سنگ‌نگاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه، از داده‌های ژئوشیمیایی

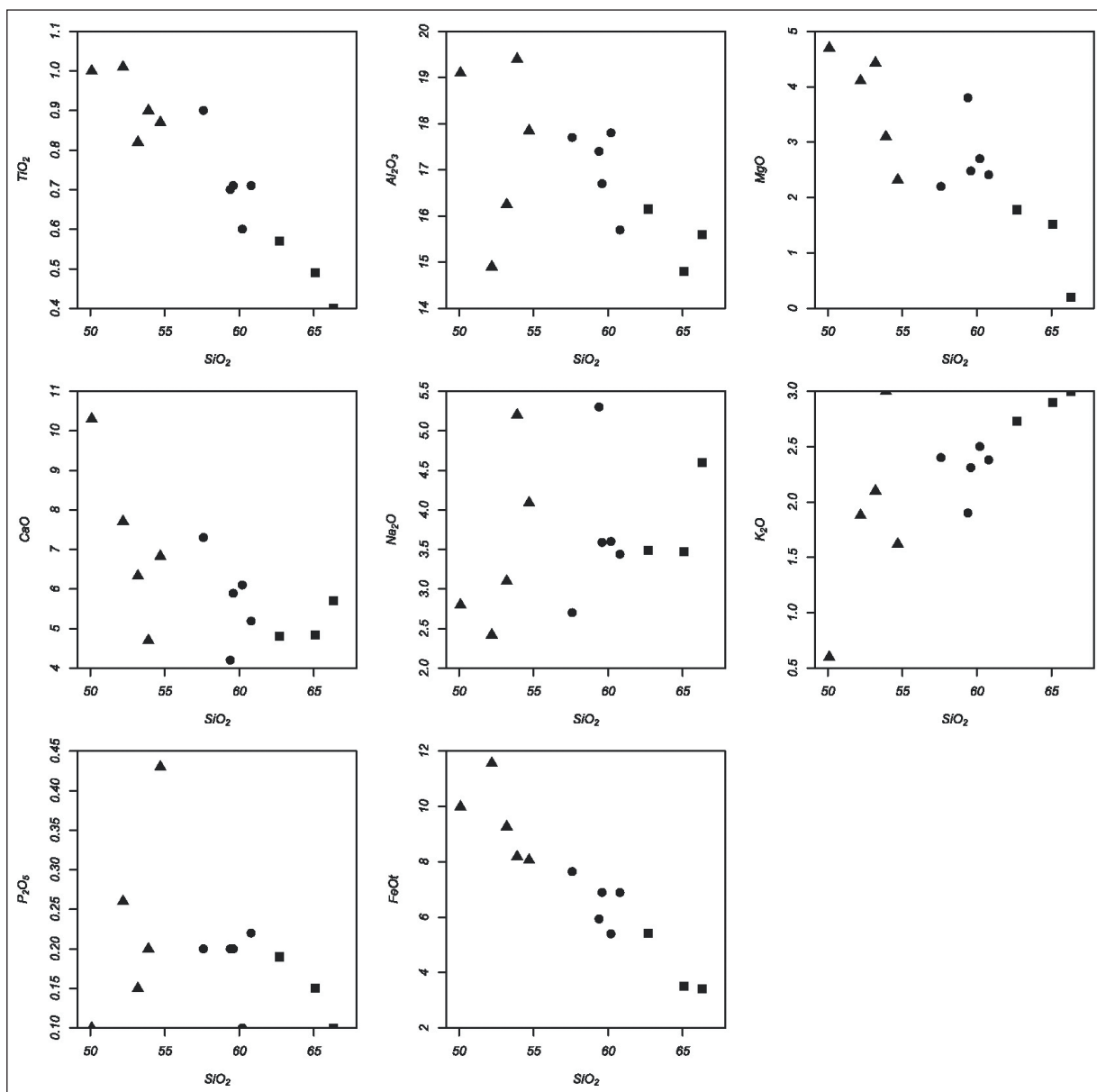


شکل ۵- الف) نمودار مجموع آلكالن نسبت به سیلیس (Le Bas et al., 1986). همانطور که مشاهده می‌شود سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه دارای دامنه ترکیبی گسترده‌ای از بازالت تا تراکی داسیت هستند؛ ب) در نمودار K_2O در برابر SiO_2 (اقتباس از Peccerillo and Taylor, 1971) (نمودار (پ) نموده می‌شوند)؛ در این نمودار نیز اکثر سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده کالک آلكالن قرار می‌گیرند.

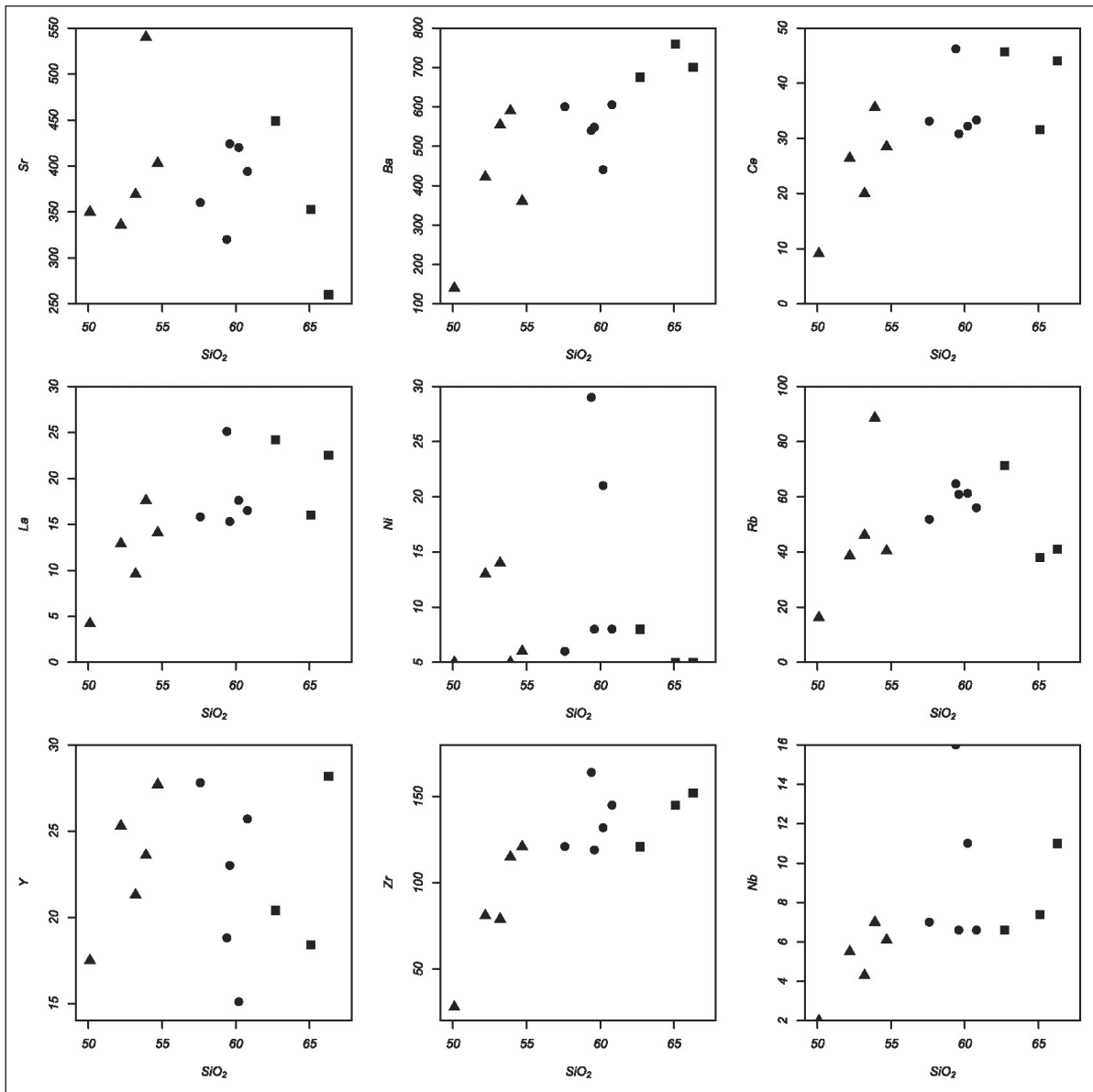
و یا تمرکزهای بلوری (میزان درصد فنوکریست) ایجاد شود (Wilson, 2007). نمودارهای مختلفی که بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی عناصر فرعی و کمیاب در مقابل SiO_2 ترسیم شده‌اند، پراکندگی زیادی دارند (شکل‌های ۶ و ۷). این پراکندگی‌ها بازگو کننده تغییرات ژئوشیمیایی در حین تشکیل، صعود، فوران و انجماد ماگمایی هستند. علی‌رغم وجود پراکندگی‌ها، برخی نمودارها روند صعودی و یا نزولی مشخصی نشان می‌دهند. برای مثال La، Ce، Zr و تا حدودی K_2O دارای روند صعودی هستند؛ در حالی که MgO ، TiO_2 ، Fe_2O_3 و تا حدودی Sr روند نزولی نشان می‌دهند. کاهش MgO ، TiO_2 و Fe_2O_3 بیانگر تبلور کانی‌های فرومنزین و سهم تفریق بلوری در ایجاد سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشو با طیف گسترده سنگ‌شناسی است. روند نزولی Sr نشان‌دهنده تفریق پلاژیوکلاز از ماگماست (شکل ۷ و جدول ۱).

نمودار AFM علاوه بر اینکه سری ماگمایی سنگ‌های آذرین خروجی منطقه را مشخص می‌کند، بازگو کننده تفریق ماگمایی نیز است. زیرا نمونه‌ها طوری در نمودار قرار گرفته‌اند که به اعتقاد بسیاری از محققین روند تفریق ماگمایی را مشخص می‌کند که از جمله این پژوهشگران می‌توان به (Wilson, 2007)، (Rollinson (1993) و (Shelly (1993) اشاره کرد.

ارزش زیاد نمودار تغییرات (Harker (1909) در بررسی داده‌های زمین‌شیمیایی به اثبات رسیده است، این گونه نمودارها ارتباط ژئوشیمیایی منطقی را آشکار می‌سازند ولی پراکندگی‌هایی را نیز به همراه دارند. به‌طور کلی روندهایی که دارای ارتباط خطی مثبت و یا منفی هستند تحت کنترل تبلور بخشی، اختلاط ماگمایی یا آلاش هستند؛ اما پراکندگی‌ها می‌تواند در اثر تحولاتی از نوع آلاش ماگما با پوسته بالایی، دگرسانی



شکل ۶- نمودارهای Harker (1909) نشان‌دهنده روند تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به سیلیس. علائم مشابه شکل ۵ است.



شکل ۷- نمودارهای Harker (1909) نشان‌دهنده روند تغییرات برخی از عناصر کمیاب نسبت به سیلیس. علائم مشابه شکل ۵ است.

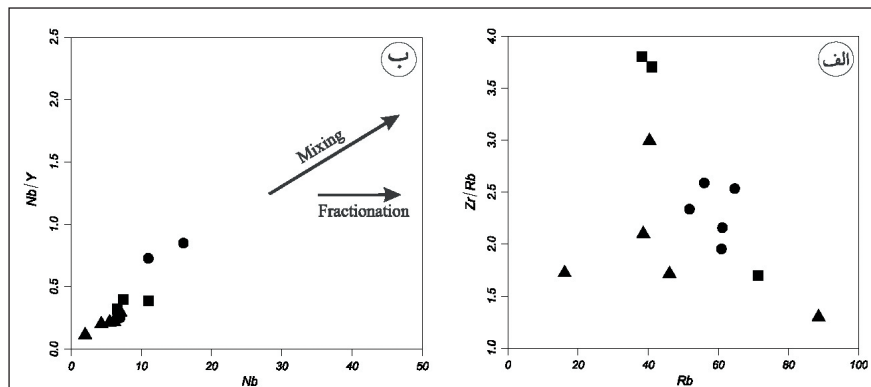
سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه ممکن است از ماگماهایی با منشأهای متفاوت مشتق شده باشند. برای بررسی این مسئله که آیا ماگماهای مزبور از منشأ گوشته‌ای واحدی هستند یا اینکه منابع گوشته- پوسته‌ای در تولید آنها نقش داشته‌اند، می‌توان از نسبت‌های بین برخی از عناصر ناسازگار با ضرایب جدایش مشابه استفاده کرد. به‌طور کلی نسبت‌های عناصر به شدت ناسازگار در هنگام ذوب بخشی یا تبلور بخشی تغییر نمی‌کند. در حالی که نسبت‌های عناصر سازگار در هنگام ذوب بخشی به شدت تغییر می‌کند و بازتاب دهنده نسبت‌های سنگ منشأ نیستند (Rollinson, 1993). این ویژگی‌ها باعث شده که با مطالعه اختلاف در نحوه رفتار عناصر سازگار و عناصر ناسازگار حتی بتوان نوع آمیختگی (آمیختگی ماگمایی و ناهمگنی منشأ) را از یکدیگر تفکیک کرد. به کمک این ویژگی‌ها، در زیر به بررسی برخی فرایندهای مهم سنگ‌شناسی برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

در نهایت با توجه به پراکندگی نقاط در برخی از نمودارهای عناصر فرعی و کمیاب نسبت به SiO_2 و بررسی روند تفریقی نمونه‌ها در این نمودارها می‌توان نتیجه گرفت که فرایند تفریق در ماگما انجام شده است ولی عواملی مانند اختلاط، آلاش ماگمایی و دگرسانی روند تفریق ماگما را تحت تأثیر قرار داده‌اند.

به‌طور کلی مجموعه عناصر لیتوفیل درشت‌یون با افزایش SiO_2 در طی تفریق ماگمایی افزایش می‌یابند، اما در این پژوهش روند تغییرات عناصر مزبور کمی متفاوت است. Ba و Rb دارای روندهای افزایشی همراه با پراکندگی هستند (شکل ۷). افزایش این عناصر به خاطر عدم تفریق فلدسپار پتاسیک از ماگمای والد این سنگ‌هاست. در میان عناصر کمیاب، عناصر سازگاری مانند Co و V با افزایش SiO_2 روند کاهشی نشان می‌دهند، که این مسئله می‌تواند در ارتباط با تفریق کانی‌های فرومنیزین مانند الیون، پیروکسن و مگنتیت باشد (جدول ۱). روند تغییرات برخی از عناصر ناسازگار مانند Zr و تقریباً Nb با افزایش SiO_2 روند افزایشی نشان می‌دهند (شکل ۷). زیرکیم دارای بار زیاد و شعاع یونی نسبتاً بالا (0.7 \AA) است و در ماگماهای حدواسط و بازیگ روند صعودی، مشابه روند مشاهده شده در سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه نشان می‌دهند (شکل ۷). نئوبیم اغلب جانشین تیتانیم در اکسیدهای حاوی تیتان می‌شود و گاهی در ساختمان بیوتیت و هورنبلند وارد می‌شود. در سنگ‌های مورد مطالعه بیوتیت حضور ندارد. از طرف دیگر ضریب جدایش Nb برای آمفیبول بین ۸۵ تا ۱۰ برابر پیروکسن است (Ionov and Hofmann, 1995). لذا به نظر می‌رسد افزایش این عنصر در سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه به خاطر عدم تفریق هورنبلند از ماگمای والد این سنگ‌ها باشد.

نمودار Zr/Rb نسبت به Rb مشاهده می‌شود (شکل ۸-الف) همبستگی مشخصی بین سنگ‌های آتشفشانی وجود ندارد و با پراکندگی زیادی همراه هستند. این حالت می‌تواند به دلیل تزریق پالس‌های متعدد ماگما و اختلاط ماگمایی باشد. با توجه به توضیحات ذکر شده در بالا، می‌توان گفت مهم‌ترین فرایندهایی که در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه نقش داشته‌اند تفریق و اختلاط ماگمایی هستند. اما برای یافتن اینکه از بین این دو فرایند (اختلاط-تفریق ماگمایی) کدام یک نقش مؤثرتری در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارند می‌توان از نمودار Nb نسبت به Y استفاده کرد (Treuil and Varet, 1973). در این نمودار تفریق ماگمایی روندی افقی و اختلاط ماگمایی روندی مثبت نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۸-ب دیده می‌شود سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه در جهت بردار اختلاط ماگمایی قرار گرفته و روندی مثبت نشان می‌دهند. با توجه به این نمودار به نظر می‌رسد اختلاط پالس یا پالس‌های ماگمایی جدید با ماگمای تفریق یافته در مخزن ماگمایی مؤثرترین مکانیزم برای تحول ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه باشد.

نمودارهای دومتغیره مربوط به جفت عناصری که از گروه عناصر ناسازگار انتخاب می‌شوند، می‌توانند نسبت این عناصر را در منشأ ماگماها نشان دهند (Sun and McDonough, 1989). به عبارت دیگر از آنجایی که این نسبت‌ها در برابر درجه ذوب بخشی، تبلور تفریقی و تحرکات ثانویه تقریباً غیر حساس هستند، بنابراین شیب خط همبستگی روی یک نمودار دومتغیره که محور آن را این عناصر ناسازگار تشکیل می‌دهند، بیانگر نسبت این عناصر در منشأ ماگما خواهد بود. به طور کلی فرایندهای اختلاط ماگمایی و آلاینش پوسته‌ای باعث ایجاد تغییر در نسبت‌های Zr/Rb و $K/Rb+Ba/Rb$ می‌شوند. این تغییرات در آلاینش پوسته‌ای در مقایسه با اختلاط ماگمایی کمتر است (Winter, 2001). اگر یک نمودار دومتغیره Rb در برابر نسبت‌های ذکر شده رسم شود چنانچه آلاینش با پوسته زیرین انجام شود، نسبت‌ها روندی افزایشی نشان می‌دهند و اگر آلاینش با پوسته بالایی انجام شود، نسبت‌های مذکور روندی کاهش‌ی خواهند داشت. اما در صورت وجود اختلاط ماگمایی این نسبت‌ها تغییرات شدیدی در مقایسه با آلاینش نشان می‌دهد. همان‌طور که در



شکل ۸- نمودارهای مربوط به نقش اختلاط ماگمایی در تکوین سنگ‌های آتشفشانی نشوه. الف) نمودار Zr/Rb نسبت به Rb ؛ ب) نمودار Nb/Y نسبت به Nb (Treuil and Varet, 1973). علائم مشابه شکل ۵ است.

پایین و فشار پایین- حرارت بالا دیده می‌شود و این در حالی است که در زون سنندج- سیرجان دگرگونی فشار بالا- حرارت پائین وجود ندارد. از دلایل دیگری که (Amidi, 1975) برای مرتبط نبودن ماگماتیسیم دوران سوم در ایران مرکزی با نظریه فرورانش بیان می‌کند این است که در یک منطقه فرورانش، در جهت شیب صفحه بنیوف سن آتشفشان‌ها کم می‌شود. در حالی که در طول ائوسن در همه نقاط ایران (البرز، ایران مرکزی، بلوک لوت و ارومیه- دختر) ولکانیسم به‌طور تقریباً یکسان صورت می‌گیرد. این در حالی است که (Berberian and King, 1981) و (Berberian et al., 1982) معتقدند روند توده‌های نفوذی با امتداد پهنه فرورانش تیس جوان هماهنگی دارد و از طرفی در این توده نسبت استرانسیم اولیه پائین است و به نظر می‌رسد از ذوب گوشته و یا پوسته اقیانوسی حاصل شده باشد. همچنین از نظر ژئوشیمی سنگ‌های آتشفشانی دارای ترکیب آلکالن تا کالک‌آلکالن هستند که نشان‌دهنده محیط‌های قوس قاره‌ای یا فرورانش است.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، در مورد جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه دو نظریه ریفت و فرورانش وجود دارد. لذا در ادامه تلاش می‌شود تا جایگاه زمین‌ساختی این سنگ‌ها تعیین شود. با توجه به نمودارهای تعیین سری ماگمایی، ماگمای منطقه مورد مطالعه عمدتاً از نوع کالک‌آلکالن است (شکل ۵-ب)؛ این نوع ماگما در ارتباط با مناطق فرورانش است و در دو محیط زمین‌ساختی جزایر قوسی و حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل می‌شود (Wilson, 2007). به منظور تعیین محیط زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، عمدتاً از نمودارهایی استفاده شده است که عناصر کمیاب و کم‌حرکی چون زیرکنیم، وانادیم، نئوبیم و ایتریم

همان‌طور در بحث مربوط به نمودارهای هارکر ذکر شد، عنصر استرانسیم روندی غیر عادی نسبت به روند تفریق (یعنی روند کاهش) دارد، این حالت می‌تواند بیانگر اختلاط ماگمایی باشد؛ زیرا روندهای غیر عادی نشانه ورود ماگمای جدید به مخزن ماگمایی و فرایند اختلاط ماگمایی هستند (Winter, 2001). همچنین در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها نیز شواهدی از اختلاط ماگمایی دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به بافت غربالی، وجود دو نسل سالم و دگرسان شده پلاژیوکلازها، حاشیه واکنشی، خوردگی و گردشدگی فنوکریست‌ها اشاره کرد (شکل ۴). با توجه به این شواهد، می‌توان عنوان کرد اختلاط ماگمایی نقش مهمی در پیدایش سنگ‌های آتشفشانی منطقه داشته است.

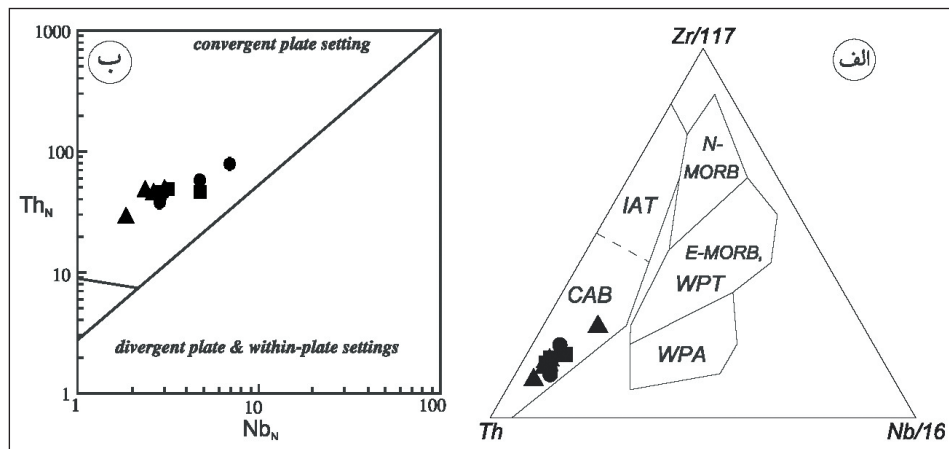
۵-۲. جایگاه زمین‌ساختی

منطقه نشوه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه- دختر است. این نوار جزو پهنه‌های آذرین موجود در ایران محسوب می‌شود که اکثر قسمت‌های آن از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی پوشیده شده است. این سنگ‌ها از نظر ترکیب سنگ‌شناسی، شیمیایی و محیط تشکیل متنوع هستند و می‌توان گفت از اسیدی تا بازیک و از محیط قاره‌ای تا دریایی کم عمق در تغییر هستند. در خصوص ماگماتیسیم منطقه نشوه و نوار ماگمایی ارومیه- دختر عقاید متفاوتی وجود دارد. عده‌ای از محققین (برای مثال Amidi, 1975) در خصوص ماگماتیسیم این دوران عقیده دارند که فرایند فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس در کرتاسه بالایی به پایان رسیده است و ماگماتیسیم حاصل از این فرورانش نمی‌تواند در زمان تشریری ادامه داشته باشد. (Amidi, 1975) همچنین بیان می‌کند که در لبه رورانه مناطق فرورانش دو نوع دگرگونی، فشار بالا- حرارت

واقع شده‌اند که در حاشیه مخرب قاره‌ای تشکیل می‌شوند. همچنین در نمودار Nb_N در برابر Th_N (Saccani, 2015) سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه در محدوده حاشیه‌های همگرا قرار می‌گیرند (شکل ۹-ب). لذا اگر چه در منطقه مورد مطالعه دو گسل مهم امامزاده و نشوه و شاخه‌های فرعی آنها وجود دارد (شکل ۲)، ولی با توجه به مطالب فوق به نظر می‌رسد که این گسل‌ها تنها مسیری را برای صعود و فوران ماگما(ها)ی والد سنگ‌های آتشفشانی نشوه به وجود آورده‌اند که در یک حاشیه مخرب (همگرا) قاره‌ای ایجاد شده است. به عبارت دیگر، ماگما(ها)ی والد سنگ‌های مورد مطالعه بر اثر فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتیس به زیر ورقه ایران مرکزی به وجود آمده و سپس در خلال شکستگی‌ها و گسل‌های مهم منطقه خود را به سطح زمین رسانده و فوران کرده و سنگ‌های آتشفشانی نشوه را ایجاد کرده‌اند.

سازنده آنها هستند. این عناصر نسبتاً نامتحرک هستند و در هنگام فرایندهایی چون هوازدگی، دگرسانی و دگرگونی (فرایندهای ثانویه) حساسیت نشان نمی‌دهند و وارد فاز مذاب نمی‌شوند (Rollinson, 1993). همچنین می‌توان آنها را حتی در غلظت‌های پایین توسط یک روش ساده و سریع تجزیه و با دقت اندازه‌گیری کرد.

در اینجا به منظور تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه از نمودار سه‌تایی $Th-Zr/117-Nb/16$ (Wood, 1979) استفاده شد. این نمودار که بر پایه عناصر HFSE ترسیم شده است، هم می‌تواند انواع مختلف MORB را مشخص کند و هم برای گدازه‌های حدواسط و بازالت‌ها به کار رود؛ به ویژه برای تشخیص بازالت‌های کمان آتشفشانی مناسب است. همان‌طور که در شکل ۹-الف مشاهده می‌شود سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محدوده بازالت‌های کالک آلکالن (CAB)



شکل ۹-الف) نمودار متمایز کننده محیط زمین‌ساختی بر اساس $Th-Zr/117-Nb/16$ (Wood, 1979). همان‌طور که در این نمودار مشاهده می‌شود، سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه در محدوده بازالت‌های کالک آلکالن (CAB) واقع می‌شوند؛ ب) در نمودار Nb_N در مقابل Th_N (Saccani, 2015) سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه در محدوده حاشیه‌های همگرا قرار می‌گیرند.

۶- نتیجه‌گیری

نسبت به روند تفریق، نشانه ورود ماگمای جدید به مخزن ماگمایی و فرایند اختلاط ماگمایی خواهد بود. علاوه بر آن داده‌های ژئوشیمیایی موجود نشان می‌دهند که ماگماتیسیم سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نوع کالک-آلکالن و مربوط به کمان آتشفشانی حاشیه فعال قاره‌ای هستند. با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی می‌توان گفت که مهم‌ترین فرایندهایی که در تشکیل سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه نقش داشته‌اند تفریق و اختلاط ماگمایی هستند و به نظر می‌رسد اختلاط پالس یا پالس‌های ماگمایی جدید با ماگمای تفریق یافته قبلی مؤثرترین مکانیزم برای تحول ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه باشد. با در نظر گرفتن موقعیت زمانی و مکانی سنگ‌های آتشفشانی منطقه نشوه، به نظر می‌رسد که این سنگ‌ها با ماگماتیسیم ناشی از فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتیس به زیر ورقه ایران مرکزی در ارتباط هستند، که این مسئله با کل ماگماتیسیم کمان ماگمایی ارومیه-دختر نیز همخوانی دارد.

منطقه نشوه در ۲۵ کیلومتری شمال باختر ساوه قرار دارد و قسمتی از زون ساختاری ایران مرکزی و بخش کوچکی از کمان ماگمایی ارومیه-دختر است. واحدهای سنگی انوسن در این منطقه، عمدتاً شامل واحدهای آتشفشانی هستند که بخش وسیعی از این منطقه را تشکیل می‌دهد و در واقع به نظر می‌رسد بیشترین فعالیت ماگمایی منطقه نیز در زمان انوسن رخ داده باشد. در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها شواهدی از عدم تعادل بلور با ماگما دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به بافت غربالی، وجود دو نسل سالم و دگرسان شده پلاژیوکلاز و حاشیه واکنشی، خوردگی و گردشگی فنوکریست‌ها اشاره کرد. در بررسی‌های ژئوشیمیایی روند تغییرات مجموعه عناصر لیتوفیل درشت‌یون با افزایش SiO_2 ماگما متفاوت است، به طوری که این عناصر در حین تبلور ماگمایی روند معمول خود را پشت سر نگذاشته‌اند. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده اختلاط ماگمایی باشد؛ زیرا وجود روندهای غیر عادی

References

- Amidi, S. M., 1975- Contribution a letude stratigraphique, petrologique et petrochimique des roches magmatiques de la region Natanz-Nain-Surk (Iran central). These univ. Grenoble, France, p. 316.
- Berberian, F., Muir, I. D., Pankhurst, R. J. and Berberian, M., 1982- Late Cretaceous and early Miocene Andean-type plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society*, V. 139, p. 605-614.
- Berberian, M. and King, G. C. P., 1981- Toward a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, V. 18, p. 210-265.
- Berberian, M., 1983- The South Caspian: a compressional depression floored by a trapped, modifiedoceanic crust, *Canadian Journal of Earth Science*, V. 20, p. 163-183.
- Caillat, C., Dehlavi, P. and Martel-Jantin, B., 1978- Geologie de la region de Saveh (Iran), contribution al etude du volcanisme et du plutonisme tertiares de la zone de Iran central, these de Doctorat de Specialities, Grenoble University.
- Gansser, A., 1955- New aspects of the geology in Central Iran. *Proceeding of the 4th world petroleum Congress Survey of Iran*, no, 32.
- Ghalamghash, J. and Fenodi, M., 1998- Geological map of Saveh Quadrangle (scale 1:100000). Geological survey of Iran (in Persian).
- Ghasemi, A. and Talbot, C. J., 2006- A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian EarthScience*, V. 26, p. 683-693.
- Gill, R., 2010- *Igneous rocks and processes a practical guide*. Wiley-Blackwell, Malaysia, p. 428.
- Harker, A., 1909- *Rhe natural history of igneous rocks*. Methuen, London, p. 348.
- Ionov, D. A. and Hofmann, A. W., 1995- Nb-Ta-rich mantle amphiboles and micas: implications for subduction-related metasomatic trace element fractionations. *Earth Planetary Science Letters*, V.131, p. 341-356.
- Irvine, T. N. and Baragar, W. R. A., 1971- A guid tochemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, V. 25, p. 523-548.
- Le Bas, M. J., Maitre, R. W., Streckeisen, A. and Zanettin, B., 1986- A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkalis-silica diagram. *Journal of Petrology*, V. 27, p. 745-750.
- Lockwood, J. P. and Hazlett, R., 2010- *Volcanoes Global Perspectives*. Wiley-Blackwell, p. 551.
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C. J. and Norry, M. J., 1983- *Continental basalts and mantle xenoliths*. Shiva Publications, p. 230-249.
- Peccerillo, A. and Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to mineralogy and petrology*, V. 58, p. 63-81.
- Rollinson, H. R., 1993- *Using Geochemical Data: evaluation, presentation, interpretation*. Longman Group UK Ltd, London, United Kingdom, p. 352.
- Saccani, E., 2015- A new method of discriminating different types of post-Archean ophiolitic basalts and their tectonic significance using Th-Nb and Ce-Dy-Yb systematics. *Geoscience Frontiers* V. 6, p. 481-501.
- Shelly, D., 1993- *Microscopic study of Igneous and Metamorphic rocks*. Champan & Hall, London, p. 184.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989- Chmical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In Saunders, A. D. and Norry, M. J., (eds.) *Magmatic in ocean basins*. Geological Society Special Publication, London, V. 42, p. 313-345.
- Suzaño, N., Becchio, R., Sola, A., Ortiz, A., Nieves, A., Quiroga, M. and Fuentes, G., 2017- The role of magma mixing in the evolution of the Early Paleozoic calc-alkaline granitoid suites, Eastern magmatic belt, Puna, NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, doi: 10.1016/j.jsames.2017.02.008.
- Treuil, M. and Varet, J., 1973- Criteres volcanologiques, petrologiques et geochimique de la genese et de la differenciation des magma basaltque: exemple de I Afar. *Geology*, V. 15, p. 401-644.
- Wilson, M., 2007- *Igneous petrogenesis, a global tectonic approach*. London, p. 466.
- Winter, J. D., 2001- *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. Prentice-Hall Inc, p. 796.
- Wood, D. A., 1979- A variably veined suboceanic upper mantle: Genetic significance for mid ocean ridge basalts from geochemical evidence. *Geology*, V. 7, p. 499-503.

Evaluation of impact processes in the formation of Neshveh volcanic rocks, NW Saveh

M. Rezaei-Kahkhaei^{1*}, D. Esmacily² and H. Sahraei³

¹Assistant Professor, Faculty of Earth Sciences, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

²Professor, School of Geology, College of Science, Tehran University, Tehran, Iran

³M.Sc., Iran Minerals Production and Supply Company (IMPASCO), Tehran, Iran

Received: 2017 July 10

Accepted: 2017 September 26

Abstract

Neshveh volcanic rocks located in the NW Saveh are parts of the Uromeyeh-Dokhtar magmatic arc. The rocks are mainly basalt, basaltic andesite, andesite and trachyandesite in composition. Petrographical studies represent some evidences for the lack of equilibrium between crystals and magma, such as sieve texture, two generation of fresh and altered plagioclase, reaction rim, corrosion and rounding of phenocrysts. Major and trace element diagrams show, although crystal differentiation was effective in the evolution of the study rocks, the scatter and unusual trends, which are observed in some diagrams in comparing with fractionation trend, reflect magma mixing and contamination were also important during magma generation. Inconsonance and high variations in Sr concentrations together with binary diagrams of Nb/Y-Nb and Rb-Zr/Rb reveal magma mixing role in the evolution of Neshveh volcanic rocks. Considering the above facts, we can conclude that magma mixing and magmatic differentiation were the important processes in formation of the Neshveh volcanic rocks. As well as, the incorporation of new magmatic pulse(s) with differentiation magma is the most effective mechanism for the evolution of volcanic rocks from the study area.

Keywords: Fractional crystallization, Magma mixing, Volcanic rocks, Neshveh, Uromeyeh-Dokhtar Magmatic Arc

For Persian Version see pages 285 to 294

*Corresponding author: M. Rezaei-Kahkhaei; E-mail: Rezaei@shahroodut.ac.ir