ژئوشیمی و محیط تکتونیکی سنگ‌های آتش‌فشانی پالئوزوئیک زیرین در دره جهق (جنوب کاشان)

سید محسن طباطبایی‌منش، اکرم‌السادات میرلوحی، همایون صفایی، قدرت ترابی:
گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

تاقدیس جهق در جنوب کاشان میزبان سنگ‌های آتش‌فشانی سیلورین در قاعدهٔ سازند ماسه سنگی نیور است. این منطقه در لبهٔ غربی ایران مرکزی واقع است. سنگ‌های آتش‌فشانی بررسی شده شامل بازالت تا تراکی بازالت بوده و دارای پلاژیوکلاز فراوانند. طبقه‌بندی ژئوشیمیایی این سنگ‌ها معرف بازالت‌های ساب آلکالن تا آلکالن است. بررسی عناصر نادر خاکی نشان دهندهٔ درجهٔ ذوب بخشی کم و وجود گارنت در فاز باقی‌مانده است. فراوانی میزان عناصر Ti و Zr ماهیت آلکالن تا انتقالی را برای ماگمای تشکیل دهندهٔ سنگ‌های آتش‌فشانی جهق نشان می‌دهد. محیط تکتونیکی تشکیل این سنگ‌ها ریفت درون قاره‌ای در نظر گرفته می‌شود که به دنبال شکستگی‌های پوسته کراتونی ایران پس از رخداد فاز کوه‌زایی کالدونین و فازهای کششی پس از آن ایجاد شده است. به احتمال زیاد عمل‌کرد گسل اصفهان که یکی از گسل‌های پی سنگی و قدیمی در منطقه است، عامل برون‌ریزی و ولکانیسم سیلورین در این بخش از ایران است.

مقدمه

با توجه به آرامش نسبی در زمان پالئوزوئیك، فراوانی و گستردگی پدیده‌های ماگماتیسم و دگرگونی در این زمان در کشور ما بسیار کم‌تر از سایر زمان‌هاست. در هر حال انواع سنگ‌های ماگمایی با ترکیب اسیدی تا اولترابازیک از مناطق ضعیف پوسته و شکستگی‌های ژرف، به سطح زمین راه یافته و یا درون پوسته جای‌گیر شده‌اند که در میان آن‌ها تکاپوهای آتش‌فشانی بازالتی ناشی از ذوب بخشی گوشتهٔ بالایی سهم بیش‌تری دارند [۱]. از آن‌جا که بررسی وضعیت ساختاری و درک فعالیت‌های پوسته در زمان پالئوزوئیک بر اساس بررسی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های تشکیل شده در آن زمان امکان‌پذیر است، بررسی این سنگ‌ها اهمیت می‌یابد. از همین روی، در این پژوهش به بررسی ژئوشیمی سنگ‌های آتش‌فشانی منتسب به سیلورین در منطقهٔ جهق و تعیین محیط تکتونیکی و پتروژنز آن‌ها بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، پتروژنز، سنگ‌های آتش‌فشانی سیلورین، ریفت درون قاره ای، جهق.
دریافت ۸۷/۸/۱۵ پذیرش ۸۸/۶/۱۶

Mirlohi2007@yahoo.com

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

پس از پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای منطقه به منظور بررسی وسعت سنگ‌های آتش‌فشانی و شناسایی راه‌های دسترسی، نمونه برداری صورت گرفت. با تهیهٔ مقاطع نازک و انجام پژوهش‌های پتروگرافی، تعداد ۶ نمونه که از نظر دگرسانی سالم‌تر بودند برای انجام آنالیز سنگ کل به روشICP- MS در آزمایشگاه Amdel استرالیا انتخاب شد (جدول۱).

جدول۱. نتایج آنالیز سنگ کل که درصد اکسیدهای عناصر اصلی و مقادیر عناصر فرعی و نادر خاکی (بر حسب ppm) را نشان می‌دهد.

Sample	2J-15	2J-20	3J-14	3J-16	J-15	J-17
SiO2	48.282	50.732	49.68	54.433	46.427	50.738
TiO2	3.436	3.72	2.836	3.086	3.486	3.853
Al2O3	19.276	17.84	18.123	16.611	18.369	17.046
Fe2O3	2.662	2.361	3.039	2.578	2.868	2.94
FeO	9.762	7.419	11.144	8.102	10.515	9.241
MnO	0.13	0.179	0.172	0.376	0.207	0.139
MgO	4.808	4.062	5.156	4.095	5.471	4.941
CaO	5.093	6.912	3.26	4.645	2.868	3.596
Na2O	4.798	4.745	4.731	3.909	5.27	4.879
K2O	0.601	0.807	0.169	1.747	0.22	0.252
P2O5	0.369	0.422	0.433	0.419	0.667	0.628
LOI	2.018	1.765	2.67	1.061	4.97	2.966
Total	101.236	100.962	101.413	101.062	101.337	101.219
Cr	60	123	56	53	23	11
Ni	49	73	31	29	9	6
Pb	4.6	40.8	1.1	9.4	1.1	0
Sr	549	430	270	590	230	330
Ba	116	312	44.5	377	52.4	48.1
Be	0	0	1.4	0.5	1.2	0.2
La	26	26	25	30	39	36
Sc	24	30	26	26	22	23
Li	6.1	10.4	19.3	6.6	9	6.7
V	225	250	178	213	173	190
S	0	1350	0	80	0	0
Zr	101	98	76	127	102	172
Ag	0.07	0.1	0.05	0.16	0.09	0.24
As	1.7	9.7	1.8	5.5	4.8	4.6
Co	54	13.2	47.7	39	36.8	33.9
Cu	10.6	175	7.8	92	9.7	14.5
Mo	0.9	0.9	0.7	2.3	1.3	1.2
Sb	0.5	4.1	0.7	1.2	1.6	0.7
Zn	142	133	200	264	173	215
Sn	2	2.4	2.5	2.8	2.5	2.7
W	0.5	0.7	0.8	0.8	0.6	0.6
Cs	0.3	0.6	0.1	1.9	0	0
Nb	24.3	28.5	27.1	33.5	34.9	40.9
U	0.71	0.56	0.78	1.17	0.89	0.97
Cd	0	0.1	0	0	0	0
Rb	8.6	10.9	2.1	45.2	2	3.3
Th	2.6	1.8	2.23	3.29	2.65	3.05
Y	25.4	33.5	34.6	35.5	48.1	38.5

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

ادامه جدول ۱

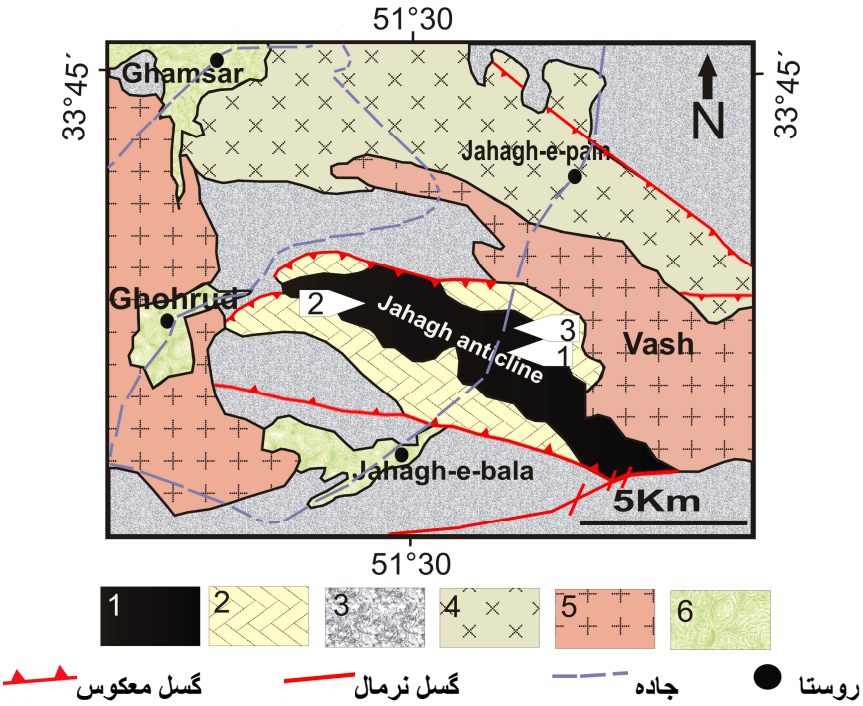
Ce	40.3	35.4	48.7	67.6	80.5	69.5
Tl	0	0	0	0.1	0	0
Dy	0.72	0.91	1.05	1.04	1.45	1.14
Er	0.32	0.39	0.45	0.47	0.58	0.5
Eu	0.35	0.3	0.65	0.47	0.84	0.55
Gd	1.09	1.37	1.58	1.54	2.33	1.71
Ge	0.9	0.5	2.4	1.3	1.4	1.3
Hf	0.6	0.5	0.5	0.8	0.6	0.9
Ho	0.16	0.2	0.23	0.23	0.31	0.25
Lu	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
Nb	19.6	23.9	23.8	29.5	31	35.7
Nd	4.66	5.15	6.3	6.77	8.54	7.37
Pr	0.91	0.99	1.18	1.32	1.63	1.4
Sm	0.95	1.16	1.4	1.37	1.92	1.53
Tb	0.16	0.2	0.23	0.22	0.33	0.25
Tm	0	0.06	0.07	0.07	0.09	0.07
Yb	0.21	0.24	0.26	0.31	0.34	0.29

زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقهٔ جهق در جنوب شهرستان کاشان بین طول جغرافیایی ′۲۶ °۵۱ تا ′۳۳ °۵۱ شرقی و عرض جغرافیایی ′۳۸ °۳۳ تا ′۴۱ °۳۳ شمالی قرار گرفته است که بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی- رسوبی ایران در لبهٔ غربی ایران مرکزی قرار دارد (شکل۱). در این منطقه سازندهای نیور و پادها در تاقدیسی به نام تاقدیس جهق برون‌زد دارند (شکل۲). بر مبنای شواهد چینه‌شناسی، هستهٔ تاقدیس جهق میزبان سنگ‌های آتش‌فشانی تیره رنگی است که به‌عنوان قاعدهٔ سازند ماسه سنگی نیور در این منطقه شناخته شده است [۳]. از ویژگی‌های این سنگ‌های آتش‌فشانی می‌توان به ستبری زیاد (شکل۳. الف)، گسترش کم این سنگ‌ها و تشکیل گدازهٔ بالشی به طور محدود و محلی، همراهی آن‌ها با سنگ‌های رسوبی قاره‌ای (شکل۳. ب) و نیز آثار معدودی از سنگ‌های ولکانوکلاستیک و محصولات ناشی از انفجار در منطقه اشاره کرد. از آن‌جایی که ماگمای بازالتی نسبت به ماگماهای پرسیلیس دارای ویسکوزیتهٔ کم‌تری است گاز خود را خیلی زود از دست می‌دهد و کم‌تر حالت انفجاری پیدا می‌کند. به دلیل عدم تشکیل گدازهٔ بالشی و ترادف ولکانیک‌ها با سنگ‌های رسوبی، احتمالاً محیط تشکیل این ولکانیک‌ها محیطی قاره‌ای و یا با عمق کمی از آب بوده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

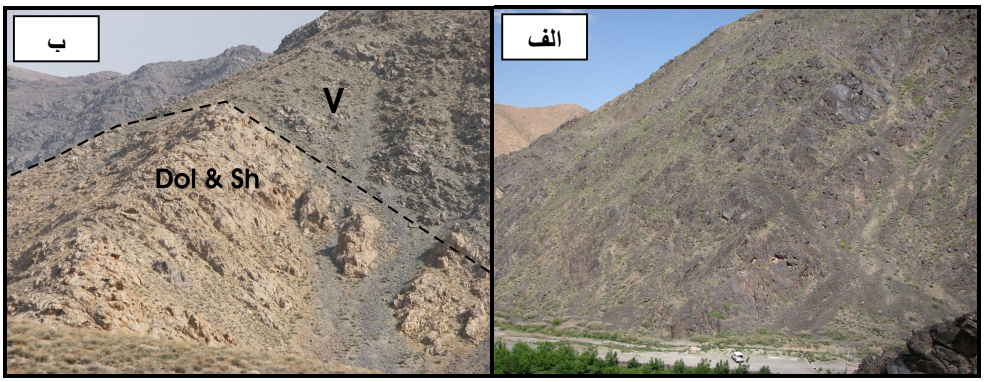
شکل۱. موقعیت منطقهٔ پژوهش به همراه مختصات جغرافیایی و راه‌های دسترسی



شکل۲. نقشهٔ زمین‌شناسی ساده شده از منطقه بر اساس [۲]

۱. سنگ‌های آتش‌فشانی پالئوزوئیک (سنگ‌های بررسی شده) ۲. سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک (دونین) ۳. سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک۴. سنگ‌های آتش‌فشانی سنوزوئیک(ائوسن) ۵. توده‌های نفوذی سنوزوئیک (الیگومیوسن و بعد از آن) ۶. رسوبات کواترنری. (فلش‌ها محل نمونه‌های به کار رفته در این نوشته را نشان می‌دهد)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

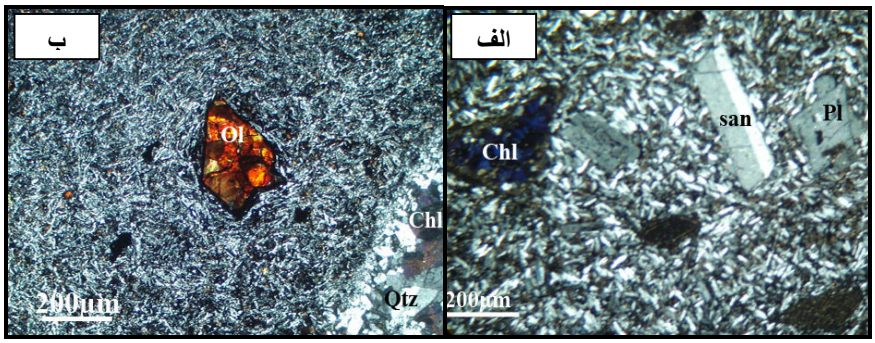


شکل۳. الف- نمایی از سنگ‌های آتش‌فشانی جهق، مختصات N33° 40´ 8.7˝ و E51° 31´ 36.9˝ ، دید به سمت شرق

شکل۳. ب- همبری هسته دولومیتی و شیلی (Dol & Sh) با ولکانیک (V)ها، دید به سمت شرق

سنگ‌شناسی

ساخت‌های پورفیری و دانه ریز غالب ترین ساخت‌ها را در نمونهٔ دستی نشان می‌دهند. پورفیرهای پلاژیوکلاز با رنگ‌های سفید و اشکال مستطیلی در زمینه‌ای دانه‌ریز با رنگ‌های سیاه تا سبز به خوبی قابل تشخیص است. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی بافت این سنگ‌ها پورفیری، میکرولیتی پورفیری، تراکیتی و به طور محلی بادامکی است. از جمله فراوان‌ترین کانی‌ها در این سنگ‌ها فلدسپات است که به صورت پورفیرهای پلاژیوکلاز، سانیدین و میکرولیت‌های زمینه دیده می‌شود (شکل۴. الف). بر اثر دگرسانی این سنگ‌ها، کلریت، اپیدوت، کلسیت و اسفن در متن و حفرهای سنگ و نیز کوارتز و زئولیت در حفرها تشکیل شده است. الیوین و پیروکسن از کانی‌های مافیک در این سنگ‌ها بوده که بر اثر دگرسانی به کانی‌های ثانویه تغییر یافته‌اند (شکل۴. ب). در جدول۲ نام و ویژگی‌های پتروگرافی سنگ‌های منطقه به طور خلاصه آورده شده است.



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی که فلدسپات‌ها (الف) و الیوین دگرسان شده (ب) را نشان می‌دهند (Pl: پلاژیوکلاز، San: سانیدین، Chl: کلریت، Ol: الیوین و Qtz: کوارتز و نور XPL)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

جدول۲. خلاصه پتروگرافی سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ پژوهش

شماره نمونه	محل نمونه بر روی نقشه	ویژگی‌های ماکروسکوپی	ویژگی‌های میکروسکوپی			نام‌گذاری بر مبنای پتروگرافی
			کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی و ثانویه	بافت	
J-15	۱	تعداد اندکی فلدسپات در زمینهٔ سیاه ریزدانه	Pl و k-fld سالم به صورت فنوکریست و میکرولیت	اسفن،اپاك و کلریت به میزان بسیار بسیار کم	میکرولیتی پورفیری و کمی جریانی	آندزی بازالت
J-17	۱	تعداد اندکی فلدسپات در زمینهٔ سیاه ریزدانه	Pl و k-fld سالم به صورت فنوکریست و میکرولیت	اپاك و کمی اپیدوت	میکرولیتی پورفیری و کمی جریانی	آندزی بازالت
2J-15	۲	فلدسپات‌های فروان در زمینهٔ سیاه ریزدانه	Pl اندکی دگرسان شده و Ol کلریتی شده	اپاك زیاد، کمی اپیدوت و کلسیت	میکرولیتی پورفیری	الیوین بازالت
2J-20	۲	فلدسپات‌های فروان در زمینهٔ سیاه مایل به سبزو ریزدانه	Pl اندکی دگرسان شده و Ol کلریتی شده	کمی کلریت، اسفن و اپاك	میکرولیتی پورفیری جریانی	الیوین بازالت
3J-14	۳	فلدسپات‌های پهن و کشیده در زمینهٔ سیاه مایل به سبز	Pl غربالی و سالم،-k fldبا ماکل کارلسباد و شکل سرنیزه‌ای	اپاك، اسفن، کلریت قهوه‌ای و آبی	میکرولیتی پورفیری جریانی	تراکی بازالت
3J-16	۳	فلدسپات در زمینهٔ تیره رنگ	Pl سوسوریتی شده	اسفن زیاد، اپاك، اپیدوت و کلریت	پورفیری میکرولیتی	آندزی بازالت

ژئوشیمی

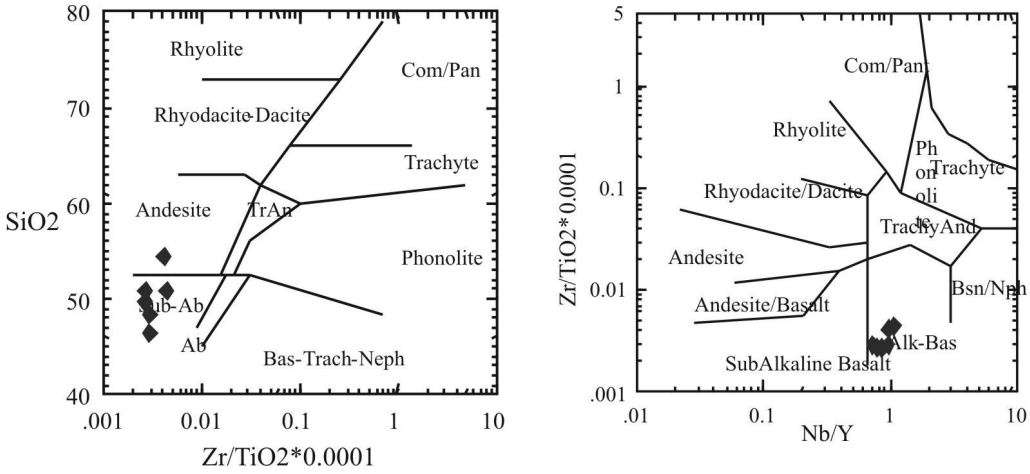
پس از بررسی‌های پتروگرافی، تعداد ۶ نمونه که دگرسانی و پورفیرهای کم‌تری داشتند، برای آنالیز سنگ کل انتخاب شدند. به منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و فرایندهای پترولوژی مربوط به سنگ‌های آتش‌فشانی تاقدیس جهق، از داده‌های عناصر اصلی، فرعی و کمیاب استفاده شده است.

قدیمی بودن این سنگ‌ها و رخداد فرایند دگرسانی کاربرد داده‌های عناصر اصلی را محدود کرده و در نتیجه استفاده و نتیجه‌گیری بر اساس داده‌های عناصر فرعی و کمیاب در این مقاله مورد تأکید بیش‌تری است.

نمودار SiO_2 در برابر Zr/TiO_2 یک سیستم نام‌گذاری شیمیایی برای سنگ‌های آتش‌فشانی است [۴] که نمونه‌های بررسی شده در این نمودار در محدودهٔ بازالت‌های ساب آلکالن تصویر شده است (شکل۵).

چنان‌که بیان شد، سنگ‌های بررسی شده مربوط به پالئوزوئیک و دگرسانی بر روی آن‌ها تأثیرگذار بوده است، بنا بر این استفاده از تجزیهٔ شیمیایی عناصر کم تحرک مانند Nb، Y، Zr، P، Ti و نسبت‌های عناصری که در طی فرایند دگرسانی تغییر چندانی نمی‌کنند برای نام‌گذاری شیمیایی قابل اعتمادتر است؛ از جمله نمودارهایی که به همین منظور استفاده شده است، نمودار Zr/TiO_2-Nb/Y است که توسط [۴] ارائه شده و نمونه‌های بررسی شده در این نمودار در محدودهٔ آلکالی بازالت و تا حدودی مایل به ساب آلکالی بازالت قرار می‌گیرند (شکل۵).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



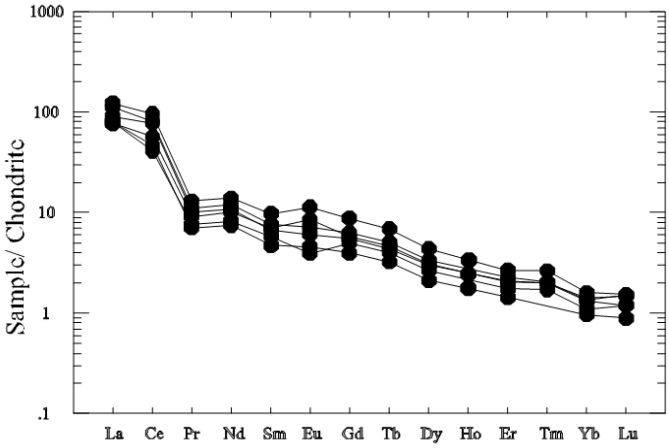
شكل۵. نمودارهاى تقسيم‌بندى سنگ‌هاى آتش‌فشانى [۴]

نمودار عناصر نادر خاكى سنگ‌هاى آتش‌فشانى جهق نسبت به كندريت نرماليز شده‌اند (شكل۶). اين نمونه‌ها نسبت به كندريت غنى‌شدگى بيش‌ترى نشان مى‌دهند. شيب نمودارهاى عنكبوتى معمولاً متأثر از نسبت عناصر سبك به سنگين مثل Ce/Yb است. نسبت اندک Ce/Yb در بازالت‌ها حاكى از درجهٔ ذوب بخشى بالا و وجود اسپينل در فاز باقى‌مانده و نسبت زياد Ce/Yb نشان دهندهٔ درجهٔ ذوب بخشى كم و وجود گارنت در فاز باقى‌مانده است [۵]. بر اساس نمودار ارائه شده، نمونه‌هاى منطقهٔ جهق داراى روندى منفى و يك غنى‌شدگى از LREE نسبت به HREE را نشان مى‌دهند كه ممكن است نشانهٔ درجهٔ ذوب بخشى كم گوشته و حضور گارنت در سنگ منشأ باشد[۵]،[۶]. در واقع با توجه به روند نمونه‌ها بر روى اين نمودار، مى‌توان دريافت كه عناصر نادر خاكى سبك نسبت به انواع سنگين تر در ماگماى مولد سنگ‌هاى آتش‌فشانى منطقه سازگارتر بوده‌اند. در حقيقت شيب منفى نمودارهاى REE كه نسبت به كندريت يا گوشته نرماليز مى‌شوند، از مشخصات ماگماهاى كالک آلكالن، آلكالن و شوشونيتى است. با توجه به شباهت روندها و آنومالى‌ها، ولكانيک‌هاى منطقهٔ جهق همگى داراى يک خاستگاه و منشأ هستند.

در نمودار عنكبوتى REE كه نسبت به كندريت نرماليز شده است (شكل۶) فراوانى بيش‌تر عناصر Ce و La ممكن است مربوط به فراوانى بيش‌تر پلاژيوكلاز در سنگ‌هاى بررسى شده باشد. ضريب توزيع Ce و La در پلاژيوكلاز كه بيش‌تر از عناصر ديگر است و نيز تشكيل اپيدوت در سنگ‌هاى منطقه كه از جمله كانى‌هاى در برگيرنده عناصر نادرى همچون Ce و La است، در اين مورد قابل تأمل است.

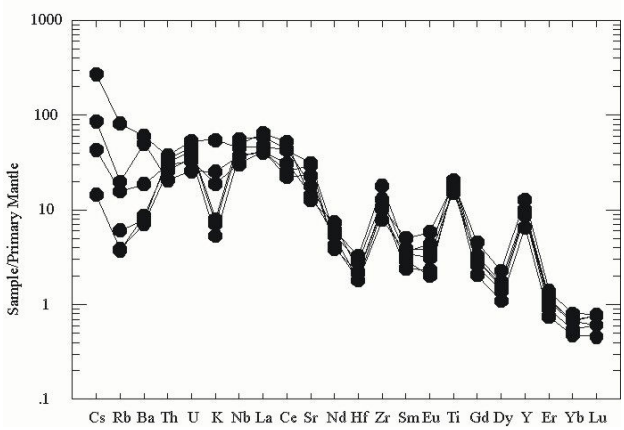
آنومالى Eu در برخى نمونه‌ها مثبت، در برخى منفى و در بقيه رفتارى همانند ساير REEها دارد كه ممكن است بيان‌گر متغير بودن فوگاسيته اكسيژن در طى تحولات ماگمايى و حضور پلاژيوكلاز در نمونه‌ها باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۶. نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده با کندریت [۷]

در شکل۷ نمودار چندعنصری سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ جهق که نسبت به گوشته نرمالیز شده‌اند، آورده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود، در حالی که عناصر HFS نسبت به LIL غنی شدگی کم‌تری دارند، عناصر Zr، Ti و Y دارای آنومالی مثبت هستند که ممکن است مربوط به ناسازگاری این عناصر در سنگ منشأ و ورود آن‌ها به ماگمای سازنده سنگ‌های آتش‌فشانی جهق طی درجهٔ ذوب بخشی کم باشد. غنی بودن ماگما از عناصر LIL نیز ممکن است به دلیل عبور ماگما از پوسته قاره‌ای و آلایش پوسته ای باشد. بین عناصر LIL دو عنصر K و Rb دارای آنومالی منفی هستند که با توجه به تحرک زیاد این عناصر، احتمالاً خروج این عناصر تحت فاز سیال سبب ایجاد آنومالی منفی شده است.



شکل۷. نمودار چندعنصری نرمالیز شده با گوشته اولیه [۷]

محیط تکتونیکی و پتروژنز

اندیشهٔ تشخیص ماگماهای متعلق به جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلف با استفاده از شیمی سنگ را احتمالاً می‌توان به [۸] و [۹] نسبت داد. این پژوهش‌گران در دو مقاله بسیار مهم نشان دادند که می‌توان از زمین‌شیمی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

برای تشخیص بازالت‌های تشکیل شده در جای‌گاه‌های زمین ساختی شناخته شده استفاده کرد. در پژوهش‌های انجام شده این دو محقق، عناصر Ti، Zr، Y، Nb و Sr مؤثرترین متمایز کننده‌ها در بازالت‌های فوران کرده در محیطهای مختلف زمین‌ساختی بوده‌اند. نمودار Ti/100-Zr-Y*3 که [۹] ارائه کرده است به شیوه‌ای بسیار کارآمد بازالت‌های درون صفحه‌ای (میدان D) را از دیگر انواع بازالت‌ها متمایز می‌سازد (شکل۸). چنان‌که مشاهده می‌شود نمونه‌های منطقهٔ جهق در محدوده بازالت‌های درون قاره‌ای یا در نزدیکی آن قرار گرفته‌اند.

در نمودار مثلثی Nb*2 -Zr/4-Y چهار محدوده اصلی بازالت‌ها نشان داده شده است [۱۰]. در این نمودار از عنصر Nb در کنار سایر عناصر با شدت میدان زیاد (HFS) استفاده شده است. نمونه‌های جهق در محدودهٔ AII که نشان دهندهٔ بازالت‌های درون صفحه‌ای است، قرار گرفته‌اند(شکل۹).

نمودار ارائه شده در شکل۱۰ نسخهٔ اصلاح شدهٔ نموداری است که پیرس و کن در سال ۱۹۷۳ ارائه کرده بودند. مزیت این نمودار در گسترده‌تر بودن دامنه ترکیبی و در برگرفتن گدازه‌های درون صفحه‌ای است. نمودار Ti-Zr به صورت لگاریتم ترسیم شده و سه محدوده برای بازالت‌ها ارائه شده است [۱۱]. با توجه به زیاد بودن میزان Ti و Zr در نمونه‌های منطقهٔ پژوهش این نمونه‌ها در محدودهٔ بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند.

نمودار Zr/117-Th-Nb/16 (شکل۱۱) نیز نموداری متمایز کننده بر اساس عناصر غیرمتحرک است [۱۲] که به منظور تفکیک محدوده‌های تکتونیکی مختلف از یکدیگر مفید است. در این نمودار نمونه‌های بررسی شده در محدودهٔ C (بازالت‌های درون صفحه‌ای) واقع می‌شوند.

نمودار Ti/Y-Nb/Y که در شکل۱۲ نمایش داده شده، گروه بازالت‌های درون صفحه‌ای را از مورب و بازالت‌های قوس آتش‌فشانی به خوبی جدا می‌کند. بازالت‌های درون صفحه‌ای دارای Ti/Y و Nb/Y بالاتری از سایر انواع بازالت‌ها هستند و این تفاوت‌ها احتمالاً منعکس کننده یک منشأ گوشته‌ای غنی شده نسبت به منشأ مورب و بازالت‌های قوس آتش‌فشانی است. تفاوت نسبت Nb/Y، به گروه بازالت‌های داخل صفحه‌ای امکان می‌دهد که به انواع تولئیتی، حدواسط و آلکالن تقسیم شوند. چنان‌که در این شکل دیده می‌شود، نمونه‌های بررسی شده در محدودهٔ بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار گرفته و اغلب از نوع انتقالی تا آلکالن هستند.

معمولاً آلکالی بازالت‌ها نسبت به بازالت‌های تولئیتی با مقادیر یکسان Zr دارای P_2O_5 بیش‌تری بوده [۱۳] و یک خط مستقیم می‌تواند این دو محدوده را از هم جدا کند، در نمودار P_2O_5- Zr نمونه‌های بررسی شده در محدودهٔ بازالت‌های آلکالن واقع شده‌اند (شکل۱۳).

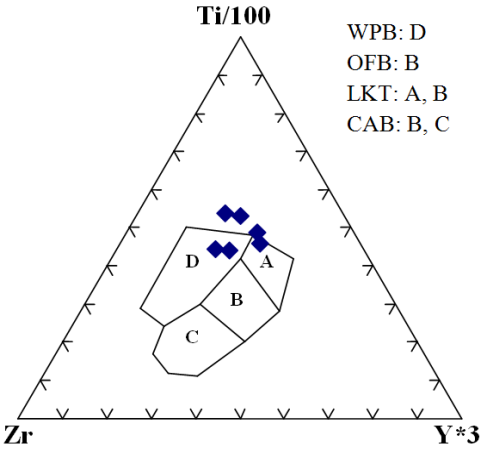
حساسیت توزیع REEها نسبت به حضور گارنت در سنگ منشأ باقی‌مانده، احتمالاً نقش مهمی در ایجاد روندهای تفریقی REE ایفا می‌کند [۱۴]. بر همین اساس نمودارهایی بر مبنای نسبت عناصر نادر برای بررسی سنگ منشأ ارائه شده است که در ادامه برای بررسی سنگ منشأ سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ جهق، یک مورد از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

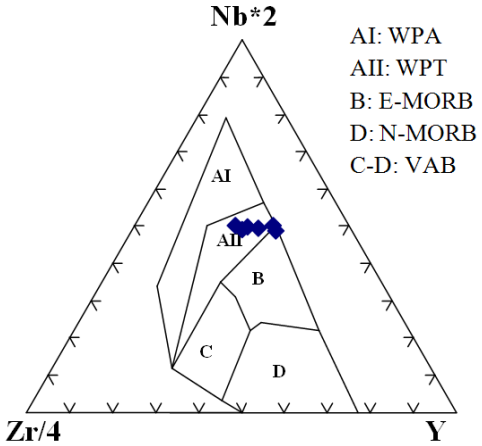
آن‌ها به کار گرفته شده است. در نموداری که از نسبت‌های عنصری Ce/Sm در برابر Sm/Yb استفاده شده است، نسبت Sm/Yb= ۲/۵ ملاک تفکیک دو محدودهٔ وجود و عدم گارنت است.

ناهمگنی‌های ناچیز در ترکیب گوشته بالایی از تغییر عناصر HFS و نسبت‌های عناصر ناسازگار دیگر و همچنین از تغییرات مشخص در زایا بودن گوشته و اثرات آلودگی سنگ دیواره معیّن می‌گردد. حساسیت توزیع REEها نسبت به گارنت در سنگ منشأ باقی‌مانده، پاسخی برای افزایش نسبت Sm/Yb است [۱۴].

با توجه به شکل۱۴ موقعیت سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ جهق در محدوده با مقدار Sm/Yb بیش از ۲/۵ قرار گرفته و منعکس کنندهٔ تعادل مذاب با گارنت پریدوتیت هستند.

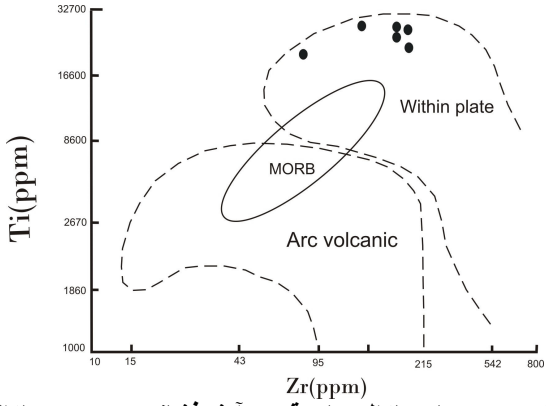


شکل۸. نمودار متمایز کننده Ti-Zr-Y برای بازالت‌ها [۹]. LKT: تولئیت‌هایی با پتاسیم کم، CAB: بازالت‌های کالك آلکالن، OFB: بازالت‌های کف اقیانوسی و WPB: بازالت‌های درون قاره‌ای.

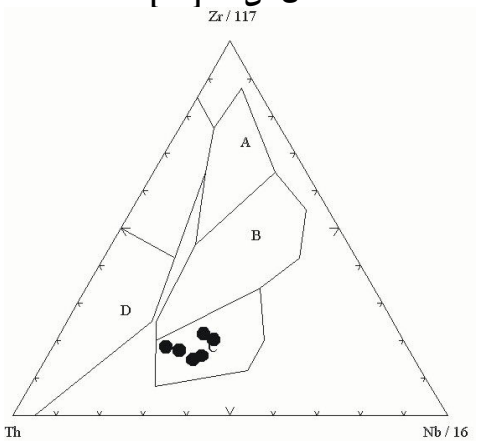


شکل۹. موقعیت سنگ‌های منطقهٔ جهق بر روی نمودار Nb*2 -Zr/4-Y [۱۰]. محدوده‌ها به این شرح است: AI: آلکالی بازالت درون صفحه‌ای، AII: آلکالی بازالت و تولئیت‌های درون صفحه‌ای، B: مورب نوع E، D: مورب نوع N، C-D: تولئیت‌های داخل صفحه‌ای و بازالت‌های قوس آتش‌فشانی

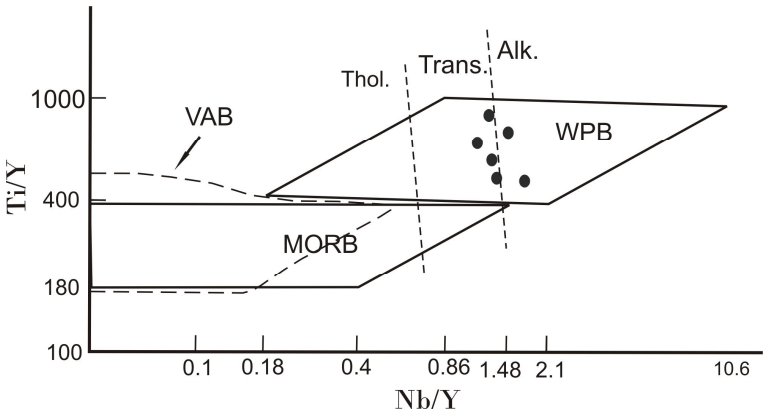
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۱۰. نمودار Ti-Zr که محدوده‌های بازالت‌های قوس آتش‌فشانی، مورب و بازالت‌های درون صفحه‌ای را نشان می‌دهد [۱۱]

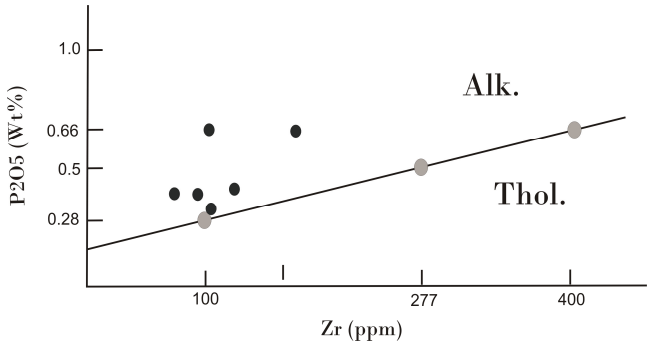


شکل۱۱. نمودار متمایز کننده محیط تکتونیکی بر اساس عناصر غیرمتحرک. محدوده‌ها نماینده A: مورب نوع N، محدودهٔ B: مورب نوع E و بازالت‌های تولئیتی درون صفحه‌ای، محدودهٔ C: بازالت‌های درون صفحه‌ای و محدودهٔ D: بازالت‌های قوس آتش‌فشانی‌اند [۱۲]

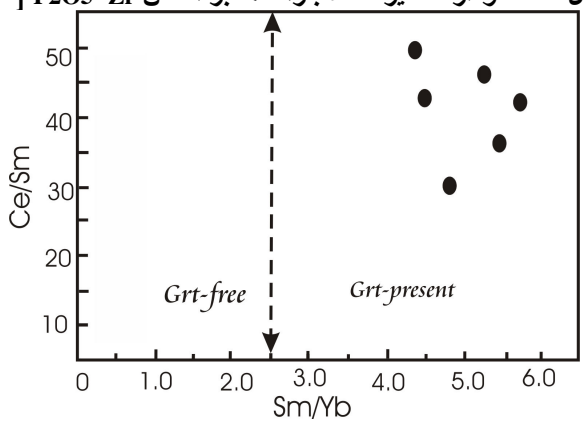


شکل۱۲- نمودار متمایز کننده بازالت‌ها بر اساس Ti/Y-Nb/Y که محدوده بازالت‌های درون صفحه‌ای (WPB)، مورب (MORB) و بازالت‌های قوس آتش‌فشانی (VAB) را نشان می‌دهد. بازالت‌های درون صفحه‌ای ممکن است به انواع بازالت‌های تولئیتی (.Thol)، انتقالی (.Trans) و آلکالن (.Alk) تقسیم شوند [۱۱]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]



شکل۱۳- نمودار متمایز کننده بازالت‌ها بر اساس P2O5- Zr [۱۳]



شکل۱۴- موقعیت سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ جهق در نمودار Ce/Sm در برابر Sm/Yb، (اقتباس از [۱۴])

نتیجه‌گیری

ترادف سنگ‌های آتش‌فشانی با سنگ‌های رسوبی، گسترش کم این سنگ‌ها و عدم تشکیل گدازهٔ بالشی در بررسی‌های صحرایی به همراه بررسی‌های کانی‌شناسی که فراوانی پلاژیوکلاز، کمبود کانی‌های فرومنیزین و حضور فلدسپات پتاسیم با بافت‌های جریانی (نشان دهنده غنی بودن ماگما از عناصر آلکالن و رقیق بودن ماگما) را نشان می‌دهد در راستای تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی قرار می‌گیرد.

بر اساس نتایج ژئوشیمیایی عناصر فرعی و کمیاب، سنگ‌های آتش‌فشانی منطقهٔ جهق جزء بازالت‌های آلکالن درون صفحه‌ای بوده و از عنصر تیتان نیز غنی هستند. این سنگ‌ها حاصل درجهٔ ذوب بخشی کم گوشته (تشکیل ماگماهای آلکالن) و آلایش با مواد پوسته‌ای (بر اثرعبور ازپوستهٔ قاره‌ای) هستند.

با توجه به زیاد بودن میزان Ti، Zr و Y در سنگ‌های منطقه، می‌توان ماهیت آلکالن تا انتقالی را برای ماگمای تشکیل دهنده آن‌ها و درجه ذوب بخشی کم تا متوسط را برای سنگ منشأ آن در نظر گرفت.

تفریق HREEها و نمودارهای Ce/Sm در برابر Sm/Yb نیز منشأ گارنت پریدوتیت را برای این سنگ‌ها نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

بر اساس نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی، ممکن است محل تشکیل سنگ‌های آتش‌فشانی جهق مربوط با ریفت درون قاره‌ای و شکستگی‌های عمیق پوسته در زمان پالئوزوئیك باشد.این شکستگی در پی عمل‌کرد سیستم گسلی اصفهان با راستای شمالی- جنوبی در آن زمان رخ داده و مربوط به فازهای کششی پس از کوهزایی کالدونین در پوسته کراتونی سکوی پالئوزوئیك ایران است.

منابع

۱. ع. آقانباتی، *زمین‌شناسی ایران*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۶.

۲. م. زاهدی و س. م. عمیدی، *نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشان*، شماره ف۷، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).

۳. م. خلعت بری جعفری و س. علائی مهابادی، س.، *نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰* ، برگه نطنز، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).

4. J.A. Winchester and P.A. Floyd, *Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements*, Chemical Geology. 20 (1977) 249-284.

5. H.B Mattsson and N. Oskarsson, *Petrogenesis of alkaline basalts of the tip of a Propagatine rift: Evidence from the Heimaey volcanic center*, south Iceland, Journal of Vol. and Geoth. Research. 147 (2005) 254-267.

6. Rollinson, H., *Using Geochemical Data: evaluation, presentation*, interpretation, Longman Group UK Ltd., London, United Kingdom (1993) 352 .

7. S.S. Sun and W.F. McDonough, *Chemical and isotopical systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes*, In: Saunders, A.D., Norry, M.J. (Eds.), Magmatism in the Ocean Basins, Geol. Soc. Londan Spec. Publ.. 42 (1989) 313-345.

8. J.A. Pearce and J.R. Cann, *Ophiolite origin investigated by discriminate analysis using Ti, Zr and Y*, Earth and Plan. Sci. Lett. 12 (1971) 339-349.

9. J.A. Pearce and J.R. Cann, *Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses*, Earth and Plan. Sci. Lett. 19 (1973) 290-300.

10. M. Meschede, *A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeites with the Nb-Zr-Y diagram, Chemical Geology*. 56 (1986) 207-218.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

11. J.A. Pearce, *Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. In*: Thorpe R. S., (ed.), Andesites Wiley Chichester. (1982) 525-548.
12. D.A. Wood, *The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectono magmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British tertiary volcanic province*, Earth and Plan. Sci. Lett. 50 (1980) 11-30.
13. J.A. Winchester and P.A. Floyd, *Geochmical magma type discrimination: application to altered and metamorphosed basic igneous rocks*, Earth and Plan. Sci. Lett. 28 (1976) 459-469.
14. H. Çoban, *Basalt magma genesis and fractionation in collision- and extension-related provinces*: A comparison between eastern, central and western Anatolia, Earth-Science Reviews. 80 (2007) 219–238.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]