

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

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

چکیده

تأقیس جهق در جنوب کاشان میزبان سنگ‌های آتشفشانی سیلورین در قاعده سازند ماسه سنگی نیور است. این منطقه در لبه 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 ساب‌آلکان تا آلکان است. بررسی عناصر نادر خاکی نشان دهنده درجه ذوب بخشی کم و وجود گارنت در فاز باقی‌مانده است. فراوانی میزان عناصر Zr و Ti ماهیت آلکان تا انتقالی را برای ماگمای تشکیل دهنده 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 پی‌سنگی و قدیمی در منطقه است، عامل برون‌ریزی و ولکانیسم سیلورین در این بخش از ایران است.

مقدمه

با توجه به آرامش نسبی در زمان پالئوزونیک، فراوانی و گسترده‌گی 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 گوشته بالایی سهم بیش‌تری دارند [۱]. از آنجا که بررسی وضعیت ساختاری و درک فعالیت‌های پوسته در زمان پالئوزونیک 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 منطقه جهق و تعیین محیط تکتونیکی و پتروژنز آن‌ها بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، پتروژنز، سنگ‌های آتشفشانی سیلورین، ریفت درون قاره‌ای، جهق.

پذیرش ۸۸/۶/۱۶

دریافت ۸۷/۸/۱۵

Mirlohi2007@yahoo.com

پس از پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای منطقه به منظور بررسی وسعت سنگ‌های آتشفشانی و شناسایی راه‌های دسترسی، نمونه برداری صورت گرفت. با تهیه مقاطع نازک و انجام پژوهش‌های پتروگرافی، تعداد ۶ نمونه که از نظر دگرسانی سالمتر بودند برای انجام آنالیز سنگ کل به روش MS-ICP در آزمایشگاه Amdel استرالیا انتخاب شد (جدول ۱).

جدول ۱. نتایج آنالیز سنگ کل که درصد اکسیدهای عناصر اصلی و مقادیر عناصر فرعی و نادر خاکی (بر حسب ppm) را نشان می‌دهد.

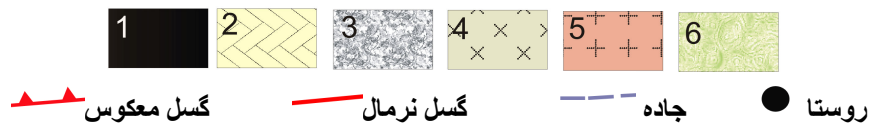
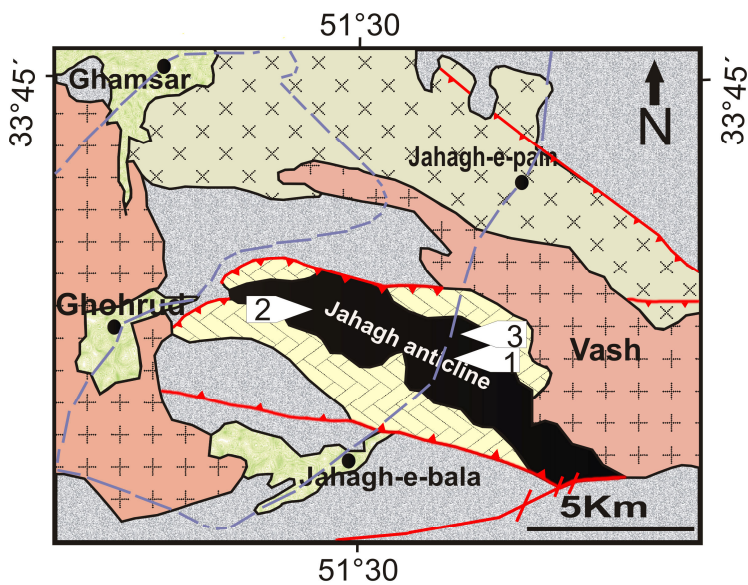
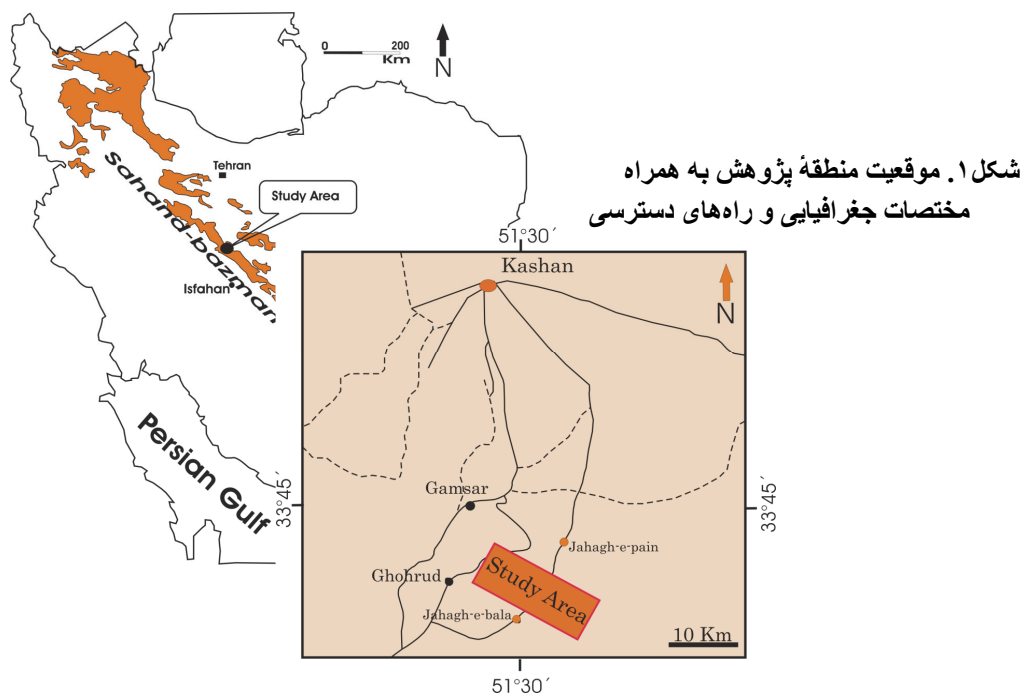
| Sample | 2J-15 | 2J-20 | 3J-14 | 3J-16 | J-15 | J-17 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| SiO ₂ | 48.282 | 50.732 | 49.68 | 54.433 | 46.427 | 50.738 |
| TiO ₂ | 3.436 | 3.72 | 2.836 | 3.086 | 3.486 | 3.853 |
| Al ₂ O ₃ | 19.276 | 17.84 | 18.123 | 16.611 | 18.369 | 17.046 |
| Fe ₂ O ₃ | 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 |
| Na ₂ O | 4.798 | 4.745 | 4.731 | 3.909 | 5.27 | 4.879 |
| K ₂ O | 0.601 | 0.807 | 0.169 | 1.747 | 0.22 | 0.252 |
| P ₂ O ₅ | 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 |

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 |

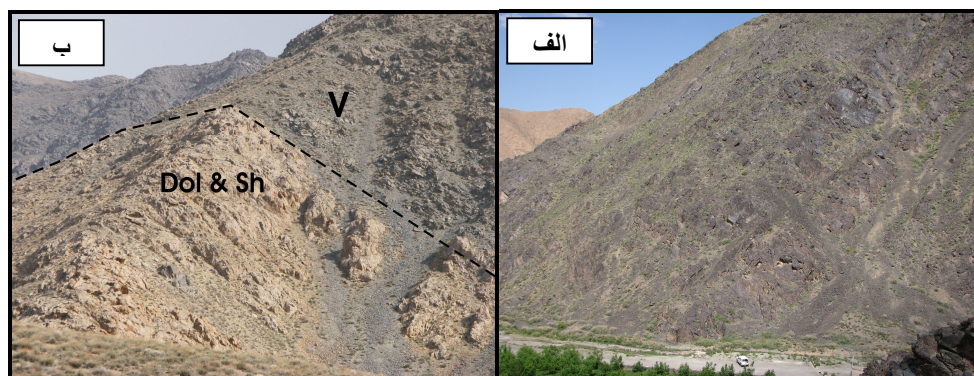
زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه 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 لبه غربی ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه سازندهای نیور و پادها در تاق‌دیس به نام تاق‌دیس جهق برون‌زد دارند (شکل ۲). بر مبنای شواهد چینه‌شناسی، هسته تاق‌دیس جهق میزبان سنگ‌های آتشفشانی تیره رنگی است که به‌عنوان قاعده سازند ماسه سنگی نیور در این منطقه شناخته شده است [۳]. از ویژگی‌های این سنگ‌های آتشفشانی می‌توان به ستبری زیاد (شکل ۳. الف)، گسترش کم این سنگ‌ها و تشکیل گدازه بالشی به طور محدود و محلی، همراهی آن‌ها با سنگ‌های رسوبی قاره‌ای (شکل ۳. 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 ویسکوزیته کم‌تری است گاز خود را خیلی زود از دست می‌دهد و کم‌تر حالت انفجاری پیدا می‌کند. به دلیل عدم تشکیل گدازه بالشی و ترادف ولکانیک‌ها با سنگ‌های رسوبی، احتمالاً محیط تشکیل این ولکانیک‌ها محیطی قاره‌ای و یا با عمق کمی از آب بوده است.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ساده شده از منطقه بر اساس [۲]

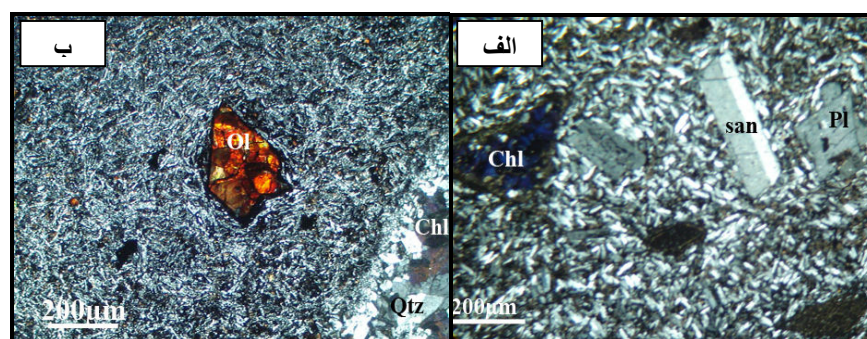
۱. سنگ‌های آتشفشانی پالئوزوئیک (سنگ‌های بررسی شده) ۲. سنگ‌های رسوبی پالئوزوئیک (دونین)
 ۳. سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک ۴. سنگ‌های آتشفشانی سنوزوئیک (انوسن) ۵. توده‌های نفوذی سنوزوئیک
 (الیگومیوسن و بعد از آن) ۶. رسوبات کواترنری. (فلش‌ها محل نمونه‌های به کار رفته در این نوشته را نشان می‌دهد)



شکل ۳. الف- نمایی از سنگ‌های آتشفشانی جهق، شکل ۳. ب- همیری هسته دولومیتی و شیلی مختصات $E51^{\circ} 31' 36.9''$ و $N33^{\circ} 40' 8.7''$ ، (Dol & Sh) با ولکانیک (V) ها، دید به سمت شرق دید به سمت شرق

سنگ‌شناسی

ساخت‌های پورفیری و دانه ریز غالب‌ترین ساخت‌ها را در نمونه دستی نشان می‌دهند. پورفیرهای پلاژیوکلاز با رنگ‌های سفید و اشکال مستطیلی در زمینه‌های دانه‌ریز با رنگ‌های سیاه تا سبز به خوبی قابل تشخیص است. بر اساس بررسی‌های پتروگرافی بافت این سنگ‌ها پورفیری، میکروولیتی پورفیری، تراکیتی و به طور محلی بادامکی است. از جمله فراوان‌ترین کانی‌ها در این سنگ‌ها فلدسپات است که به صورت پورفیرهای پلاژیوکلاز، سانیدین و میکروولیت‌های زمینه دیده می‌شود (شکل ۴. 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 (شکل ۴. ب). در جدول ۲ 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 (PI: پلاژیوکلاز، San: سانیدین، Chl: کلریت، Ol: الیوین و Qtz: کوارتز و نور XPL)

جدول ۲. خلاصه پتروگرافی سنگ‌های آتشفشانی منطقه پژوهش

| نام‌گذاری بر مبنای پتروگرافی | ویژگی‌های میکروسکوپی | | | ویژگی‌های ماکروسکوپی | محل نمونه بر روی نقشه | شماره نمونه |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|-------------|
| | بافت | کانی‌های فرعی و ثانویه | کانی‌های اصلی | | | |
| آندزی بازالت | میکروولیتی پورفیری و کمی جریان | اسفن، اپاک و کلریت به میزان بسیار بسیار کم | PI و k-fld سالم به صورت فنوکریست و میکروولیت | تعداد اندکی فلدسپات در زمینه سیاه ریزدانه | ۱ | J-15 |
| آندزی بازالت | میکروولیتی پورفیری و کمی جریان | اپاک و کمی اپیدوت | PI و k-fld سالم به صورت فنوکریست و میکروولیت | تعداد اندکی فلدسپات در زمینه سیاه ریزدانه | ۱ | J-17 |
| الیون بازالت | میکروولیتی پورفیری | اپاک زیاد، کمی اپیدوت و کلسیت | PI اندکی دگرسان شده و OI کلریتی شده | فلدسپات‌های فروان در زمینه سیاه ریزدانه | ۲ | 2J-15 |
| الیون بازالت | میکروولیتی پورفیری جریان | کمی کلریت، اسفن و اپاک | PI اندکی دگرسان شده و OI کلریتی شده | فلدسپات‌های فروان در زمینه سیاه مایل به سبز ریزدانه | ۲ | 2J-20 |
| تراکی بازالت | میکروولیتی پورفیری جریان | اپاک، اسفن، کلریت قهوه‌ای و آبی | PI غربالی و سالم، k-fld ماکل کارلسباد و شکل سرنیزه‌ای | فلدسپات‌های پهن و کشیده در زمینه سیاه مایل به سبز | ۳ | 3J-14 |
| آندزی بازالت | پورفیری میکروولیتی | اسفن زیاد، اپاک، اپیدوت و کلریت | PI سوسوریتی شده | فلدسپات در زمینه تیره رنگ | ۳ | 3J-16 |

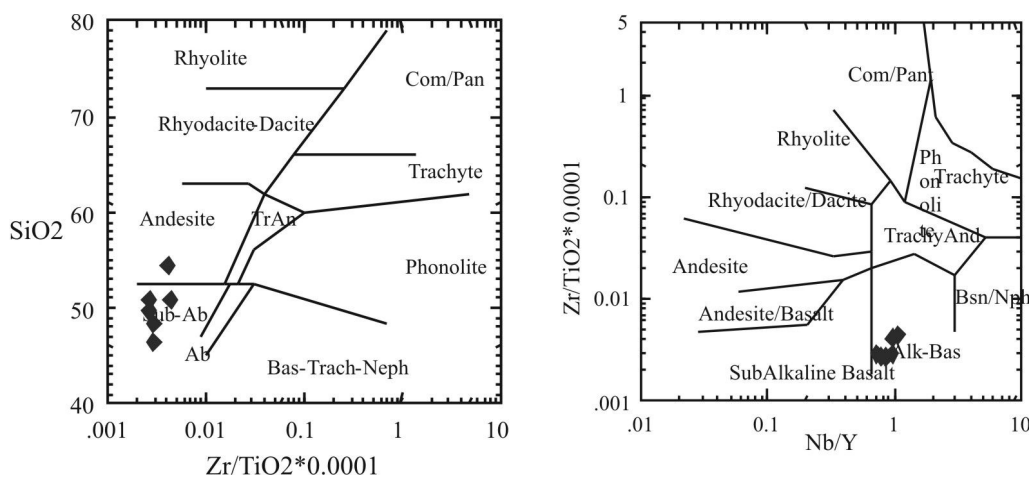
ژئوشیمی

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 پتروولوژی 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 محدوده بازالت‌های ساب آکالن تصویر شده است (شکل ۵).

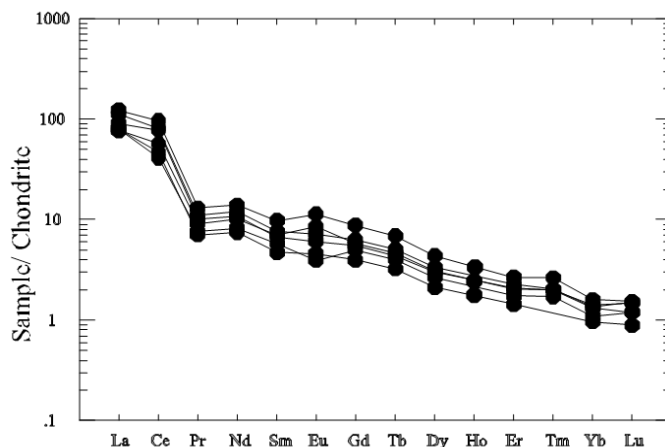
چنان‌که بیان شد، سنگ‌های بررسی شده مربوط به پالئوزوئیک و دگرسانی بر روی آن‌ها تأثیرگذار بوده است، بنا بر این استفاده از تجزیه شیمیایی عناصر کم تحرک مانند Nb، Y، Zr، P، Ti و نسبت‌های عناصری که در طی فرایند دگرسانی تغییر چندانی نمی‌کنند برای نام‌گذاری شیمیایی قابل اعتمادتر است؛ از جمله نمودارهایی که به همین منظور استفاده شده است، نمودار $\text{Zr/TiO}_2\text{-Nb/Y}$ است که توسط [۴] ارائه شده و نمونه‌های بررسی شده در این نمودار در محدوده آکالی بازالت و تا حدودی مایل به ساب آکالی بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۵).



شکل ۵. نمودارهای تقسیم‌بندی سنگ‌های آتشفشانی [۴]

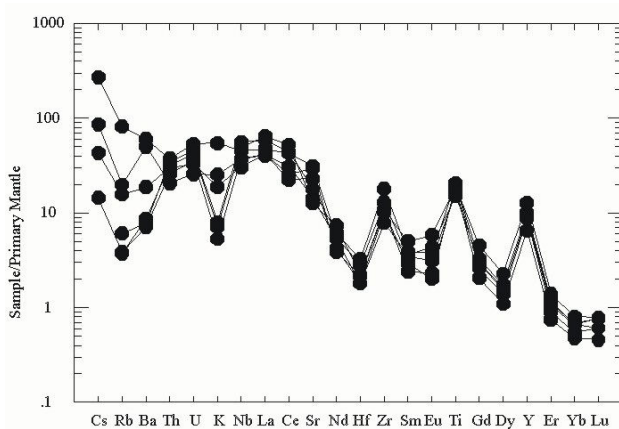
نمودار عناصر نادر خاکی سنگ‌های آتشفشانی جهق نسبت به کندریت نرمالیز شده‌اند (شکل ۶). این نمونه‌ها نسبت به کندریت غنی‌شدگی بیش‌تری نشان می‌دهند. شیب نمودارهای عنکبوتی معمولاً متأثر از نسبت عناصر سبک به سنگین مثل Ce/Yb است. نسبت اندک Ce/Yb در بازالت‌ها حاکی از درجه نوب بخشی بالا و وجود اسپینل در فاز باقی‌مانده و نسبت زیاد Ce/Yb نشان دهنده درجه نوب بخشی کم و وجود گارانت در فاز باقی‌مانده است [۵]. بر اساس نمودار ارائه شده، نمونه‌های منطقه جهق دارای روندی منفی و یک غنی‌شدگی از LREE نسبت به HREE را نشان می‌دهند که ممکن است نشانه درجه نوب بخشی کم گوشته و حضور گارانت در سنگ منشأ باشد [۵]، [۶]. در واقع با توجه به روند نمونه‌ها بر روی این نمودار، می‌توان دریافت که عناصر نادر خاکی سبک نسبت به انواع سنگین تر در ماگمای مولد سنگ‌های آتشفشانی منطقه سازگارتر بوده‌اند. در حقیقت شیب منفی نمودارهای REE که نسبت به کندریت یا گوشته نرمالیز می‌شوند، از مشخصات ماگماهای کالک آلکالن، آلکالن و شوشونیتی است. با توجه به شباهت روندها و آنومالی‌ها، ولکانیک‌های منطقه جهق همگی دارای یک خاستگاه و منشأ هستند.

در نمودار عنکبوتی REE که نسبت به کندریت نرمالیز شده است (شکل ۶) فراوانی بیش‌تر عناصر Ce و La ممکن است مربوط به فراوانی بیش‌تر پلاژیوکلاز در سنگ‌های بررسی شده باشد. ضریب توزیع Ce و La در پلاژیوکلاز که بیش‌تر از عناصر دیگر است و نیز تشکیل اپیدوت در سنگ‌های منطقه که از جمله کانی‌های در برگیرنده عناصر نادری همچون Ce و La است، در این مورد قابل تأمل است. آنومالی Eu در برخی نمونه‌ها مثبت، در برخی منفی و در بقیه رفتاری همانند سایر REE‌ها دارد که ممکن است بیانگر متغیر بودن فوگاسیته اکسیژن در طی تحولات ماگمایی و حضور پلاژیوکلاز در نمونه‌ها باشد.



شکل ۶. نمودار عنکبوتی عناصر نادر خاکی نرمالیز شده با کندریت [۷]

در شکل ۷ نمودار چندعنصری سنگ‌های آتشفشانی منطقه جهق که نسبت به گوشته نرمالیز شده‌اند، آورده شده است. چنان‌که ملاحظه می‌شود، در حالی که عناصر HFS نسبت به LIL غنی‌شدگی کمتری دارند، عناصر Ti، Zr 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 درجه‌نوب بخشی کم باشد. غنی بودن ماگما از عناصر LIL نیز ممکن است به دلیل عبور ماگما از پوسته قاره‌ای و آلیش پوسته‌ای 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.



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

محیط تکتونیکی و پتروژنز

اندیشه 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

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 (شکل ۸). چنان‌که مشاهده می‌شود نمونه‌های منطقه 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 محدوده AII که نشان دهنده بازالت‌های درون صفحه‌ای است، قرار گرفته‌اند (شکل ۹).

نمودار ارائه شده در شکل ۱۰ نسخه اصلاح شده 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 منطقه پژوهش این نمونه‌ها در محدوده بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار می‌گیرند. نمودار Zr/117-Th-Nb/16 (شکل ۱۱) 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 محدوده C (بازالت‌های درون صفحه‌ای) واقع می‌شوند.

نمودار Ti/Y-Nb/Y که در شکل ۱۲ 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 تولیتی، حدواسط و آکالن تقسیم شوند. چنان‌که در این شکل دیده می‌شود، نمونه‌های بررسی شده در محدوده بازالت‌های درون صفحه‌ای قرار گرفته و اغلب از نوع انتقالی تا آکالن هستند.

معمولاً آکالی بازالت‌ها نسبت به بازالت‌های تولیتی با مقادیر یگسان 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 محدوده بازالت‌های آکالن واقع شده‌اند (شکل ۱۳).

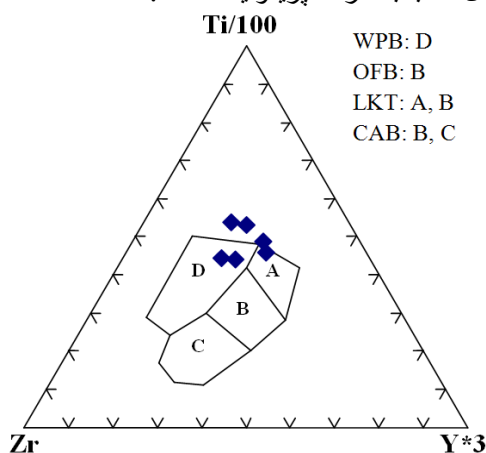
حساسیت توزیع REE‌ها نسبت به حضور گارنت در سنگ منشأ باقی‌مانده، احتمالاً نقش مهمی در ایجاد روندهای تفریقی REE ایفا می‌کند [۱۴]. بر همین اساس نمودارهایی بر مبنای نسبت عناصر نادر برای بررسی سنگ منشأ ارائه شده است که در ادامه برای بررسی سنگ منشأ سنگ‌های آتشفشانی منطقه جهق، یک مورد از

آن‌ها به کار گرفته شده است. در نموداری که از نسبت‌های عنصری Ce/Sm در برابر Sm/Yb استفاده شده است، نسبت $Sm/Yb = 2/5$ ملاک تفکیک دو محدوده وجود و عدم گارنت است.

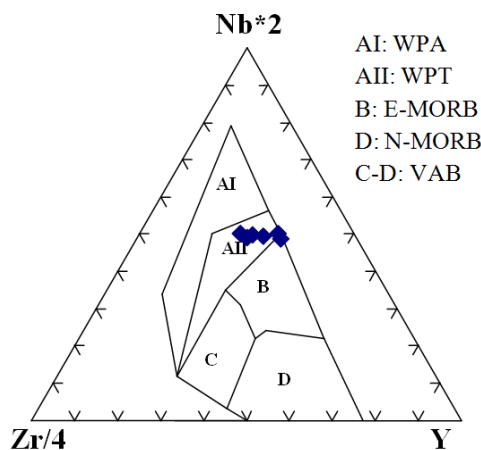
ناهمگنی‌های ناچیز در ترکیب گوشته بالایی از تغییر عناصر HFS و نسبت‌های عناصر ناسازگار دیگر و همچنین از تغییرات مشخص در زایا بودن گوشته و اثرات آلودگی سنگ دیواره معین می‌گردد. حساسیت توزیع REE نسبت به گارنت در سنگ منشأ باقی‌مانده، پاسخی برای افزایش نسبت Sm/Yb است [۱۴].

با توجه به شکل ۱۴ موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه جهق در محدوده با مقدار Sm/Yb بیش از ۲/۵

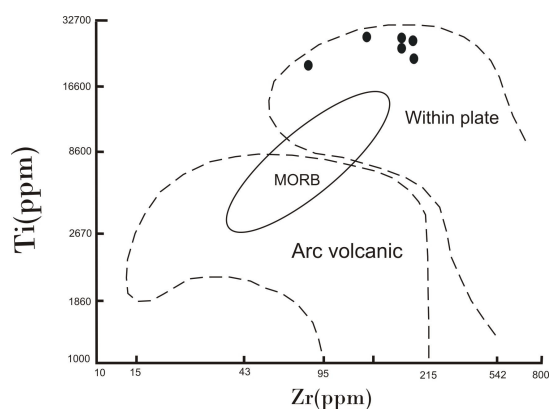
قرار گرفته و منعکس‌کننده تعادل مذاب با گارنت پریدوتیت هستند.



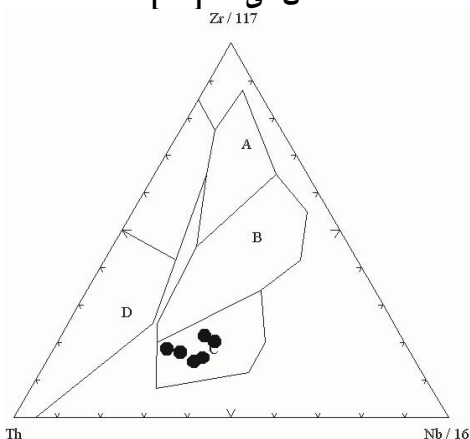
شکل ۸. نمودار متمایز کننده $Ti-Zr-Y$ برای بازالت‌ها [۹]. LKT : تولیت‌هایی با پتاسیم کم، CAB : بازالت‌های کالک آلکان، OFB : بازالت‌های کف اقیانوسی و WPB : بازالت‌های درون قاره‌ای.



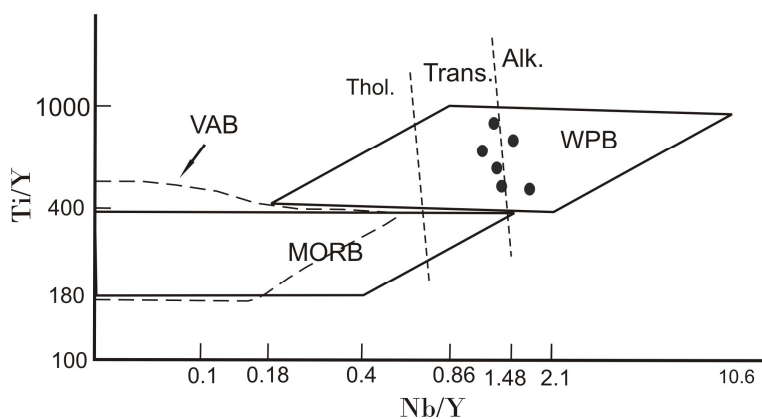
شکل ۹. موقعیت سنگ‌های منطقه جهق بر روی نمودار $Nb*2-Zr/4-Y$ [۱۰]. محدوده‌ها به این شرح است: AI : آلکالی بازالت درون صفحه‌ای، AII : آلکالی بازالت و تولیت‌های درون صفحه‌ای، B : مورب نوع E ، D : مورب نوع N ، $C-D$: تولیت‌های داخل صفحه‌ای و بازالت‌های قوس آتشفشانی



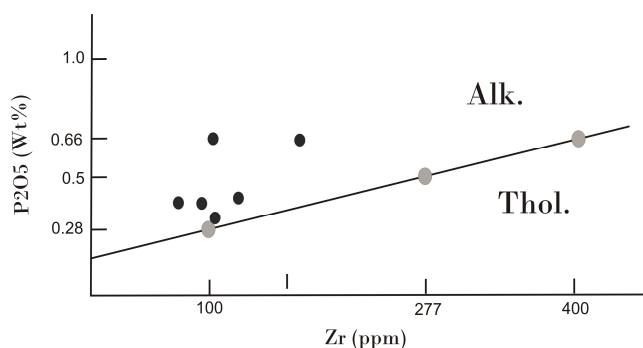
شکل ۱۰. نمودار Ti-Zr که محدوده‌های بازالت‌های قوس آتشفشانی، مورب و بازالت‌های درون صفحه‌ای را نشان می‌دهد [۱۱]



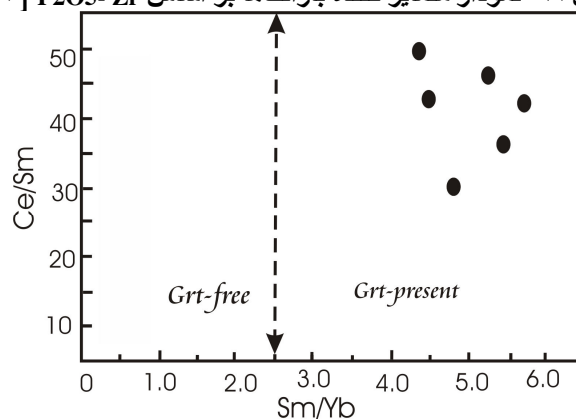
شکل ۱۱. نمودار متمایز کننده محیط تکتونیکی بر اساس عناصر غیرمتحرک. محدوده‌ها نماینده A: مورب نوع N، محدوده B: مورب نوع E و بازالت‌های تولنییتی درون صفحه‌ای، محدوده C: بازالت‌های درون صفحه‌ای و محدوده D: بازالت‌های قوس آتشفشانی‌اند [۱۲]



شکل ۱۲- 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 تولنییتی (Thol.)، انتقالی (Trans.) و آکالن (Alk.) تقسیم شوند [۱۱]



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



شکل ۱۴ - موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه 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 گدازه بالشی در بررسی‌های صحرائی به همراه بررسی‌های کانی‌شناسی که فراوانی پلاژیوکلاز، کمبود کانی‌های فرومنیزین و حضور فلدسپات پتاسیم با بافت‌های جریان (نشان دهنده غنی بودن ماگما از عناصر آلکان و رقیق بودن ماگما) را نشان می‌دهد در راستای تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی قرار می‌گیرد.

بر اساس نتایج ژئوشیمیایی عناصر فرعی و کمیاب، سنگ‌های آتشفشانی منطقه جهق جزء بازالت‌های آلکان درون صفحه‌ای بوده و از عنصر تیتان نیز غنی هستند. این سنگ‌ها حاصل درجه ذوب بخشی کم گوشته (تشکیل ماگماهای آلکان) و آلیش با مواد پوسته‌ای (بر اثر عبور از پوسته قاره‌ای) هستند.

با توجه به زیاد بودن میزان Ti، Zr و Y در سنگ‌های منطقه، می‌توان ماهیت آلکان 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.

بر اساس نمودارهای تعیین محیط تکتونیکی، ممکن است محل تشکیل سنگ‌های آتشفشانی جهق مربوط با ریفت درون قاره‌ای و شکستگی‌های عمیق پوسته در زمان پالئوزوئیک 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 پالئوزوئیک ایران است.

منابع

۱. ع. آقائاتی، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۶.
۲. م. زاهدی و س. م. عمیدی، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ کاشان، شماره ۷، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۷).
۳. م. خلعت بری جعفری و س. علانی 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 isotopic 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. London 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 tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram*, Chemical Geology. 56 (1986) 207-218.

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, *Geochemical 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.