

سنگ‌زایی، جایگاه تکتونوماگمایی و پتانسیل کانی‌سازی گرانیتوئیدهای ده‌سلم، بلوک لوت، خاور ایران

رضا ارجمندزاده^{۱*}، محمدحسن کریم‌پور^۲، سیداحمد مظاهری^۳، ژوزه فرانسیسکو سانتوز^۴، جرج مدینا^۴ و سید مسعود همام^۳

^۱ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام‌نور، ایران.

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

^۳ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

^۴ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آویرو پرتغال، پرتغال.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۵/۱۸

چکیده

گرانیتوئیدهای پورفیری ده‌سلم در کمربند آتشفشانی-نفوذی بلوک لوت در خاور ایران مرکزی قرار گرفته‌اند. توده‌های نفوذی گستره ترکیبی از دیوریت - گابرو تا گرانیت دارند و جزو گرانیت‌های کمان‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی پتاسیم بالا تا شوشونیتی هستند. در رگه‌های سیلیسی موجود در توده‌های نفوذی بیوتیت - پیروکسن - کوارتز مونزونیت و هورنبلند مونزونیت عناصر Mo, Cu, Au, Pb, Zn بی‌هنجاری‌های مشخصی دارند. روند‌های اکسید‌های اصلی بر روی نمودارهای هارکر نشان‌دهنده تبلور بخشی پلاژیوکلاز کلسیم‌دار و کانی‌های مافیک است. در نمودار عنکبوتی بهنجار شده عناصر فرعی نسبت به گوشته اولیه، عناصر (LILE) مانند Rb, Sr, Ba, Zr, Cs غنی‌شدگی شدید و عناصر با میدان پایداری بالا (HFSE) مانند Nb, P و Y تهی‌شدگی دارند. در نمودار عنکبوتی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب نسبت به کندریت، عناصر LREE دارای غنی‌شدگی و نسبت بالای ۳۱-۲۱/۵ = La/Yb هستند و نبود بی‌هنجاری Eu مشخص است. توده‌های نفوذی ده‌سلم بر پایه نسبت‌های Sr/Y و La/Yb دارای گرایش آداکیتی هستند و نسبت‌های ایزوتوپی $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ و ϵ_{Nd} به ترتیب با مقادیر ۰/۷۰۴۶۹ تا ۰/۷۰۵۰۷ و ۱/۵+ تا ۲/۵+ نشان می‌دهند که منشأ آنها در ارتباط با مذاب‌های حاصل از گوشته بوده که به مقدار کمی با پوسته آلودگی داشته است. این توده‌های نفوذی در محدوده گرانیتوئیدهای سری مگنتیتی قرار می‌گیرند که پتانسیل بالایی برای کانی‌سازی مس-مولیبدن-طلا پورفیری دارند. رخدادهای زمین‌ساختی، ماگماتیسم و فلززایی، به‌ویژه رخداد نهشته‌های پورفیری در پنجره زمانی تشریری بلوک لوت را می‌توان با مدل فرورانش دوسویه نامتقارن توضیح داد.

کلیدواژه‌ها: بلوک لوت، کلسیمی-قلیایی، عناصر کمیاب، ایزوتوپ‌های Sr و Nd، فرورانش دوسویه نامتقارن

* نویسنده مسئول: رضا ارجمندزاده

E-mail: Arjmand176@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

بیشتر پژوهشگران در مورد بلوک لوت در خاور ایران یک چرخه کامل کوهزایی شامل کافتی شدن، تشکیل یک اقیانوس کوچک، فرورانش پوسته اقیانوسی، بسته شدن اقیانوس و برخورد دو بلوک لوت و افغان را مطرح می‌کنند (افتخارنژاد، ۱۳۵۹؛ Berberian et al., 1999 و Arjmandzadeh et al., 2011). برخی نیز فرورانش را مردود دانسته و کانسارهای خاور ایران را به وجود شرایط کششی نسبت داده‌اند (سامانی و اشتری، ۱۳۷۱ و Jung et al., 1983).

Saccani et al. (2010) با مطالعه فیولیت‌های خاور ایران، بسته شدن حوضه اقیانوسی سیستان را مربوط به آلپین بالایی می‌دانند و فرورانش را به سمت خاور و به زیر بلوک افغان مطرح کرده‌اند، ولی افتخارنژاد (۱۳۵۹) فرورانش را به زیر بلوک لوت می‌داند. افرادی که فرورانش به زیر بلوک افغان را باور دارند، شواهد ساختاری کنونی را برای توجیه مدل و نظریه خود ارائه کرده‌اند اما افرادی که فرورانش را به زیر بلوک لوت می‌دانند، بیشتر بر شواهد ماگماتیسم تأکید دارند. به‌تازگی نظریه جدید فرورانش دوسویه نامتقارن توسط Arjmandzadeh et al. (2010) مطرح شده است که به طور جامع و دقیق بیشتر فرایندها و تحولات زمین‌ساختی، ماگماتیسم و فلززایی را در پنجره زمانی تشریری در پهنه خاور ایران توجیه می‌کند.

۲- روش مطالعه

پس از مطالعات صحرایی و برداشت نمونه‌های مناسب، ۱۱۰ مقطع نازک و ۴۰ مقطع صیقلی تهیه و سپس ۲۵ نمونه با کمترین دگرسانی با استفاده از دستگاه XRF دانشگاه فردوسی مشهد برای تعیین اکسید‌های اصلی و ۲۰ نمونه برای تعیین عناصر کمیاب توسط ICP-MS در آزمایشگاه ACME ونکوور کانادا تجزیه شد (جدول ۱). همچنین ۱۴ نمونه مربوط به توده‌های نفوذی و ۴ نمونه کانی پلاژیوکلاز و بیوتیت به منظور مطالعه نسبت‌های ایزوتوپی Sr-Nd در دانشگاه آویرو پرتغال، تجزیه شد. پس از آن نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ به گستردگی حدود ۱۰ کیلومتر مربع تهیه شدند. حساسیت مغناطیسی نمونه‌های مربوط به توده‌های نفوذی با استفاده از دستگاه GMS2 Sintrex در دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شد. همچنین ۱۰۹۱ نمونه خاک، ۱۸۷ نمونه خرده‌سنگی از واحدهای سنگ‌شناسی و ۴۱ نمونه خرده‌سنگی از زون‌های کانه‌دار در یک طرح اکتشافی مربوط به شرکت ملی صنایع مس ایران و با همکاری یک گروه اکتشافی از سلول‌های ۱۰۰×۱۰۰ متر برداشت و به آزمایشگاه AMDEL استرالیا فرستاده شدند. پس از استخراج عناصر موجود در نمونه‌ها با روش انحلال در ۴ اسید، محلول به‌دست آمده با دستگاه ICP - MS مدل ۷۷۰۰ برای ۴۵ عنصر تجزیه شدند. طلا نیز به روش Fire Assay

اریتروسیدریت همراه با هالیت در میان‌بارهای سیال نوع IIIb شناسایی شده‌اند. همیافتی زمانی - مکانی میان‌بارهای سیال نوع I، II و III در کنار هم که دمای همگن شدن یکسانی دارند، نشان‌دهنده فرایند جوشش است.

داده‌های ژئوترموتری میان‌بارهای سیال زون دگرسانی پتاسیک، دمای همگن شدن فاز بخار و نمک را بیشتر از 590°C نشان داده است که با مقادیر به دست آمده از دیگر نهشته‌های پورفیری مطابقت دارند (ارجمندزاده و همکاران، ۱۳۹۰). این داده‌ها همچنین نشان‌دهنده کاهش دما و شوری در زون دگرسانی سریستی - رسی است و کمترین دما به میزان 230°C اندازه‌گیری شده است. بی‌هنجاری عناصر Pb, Zn, Au, Sb, As در این زون برجسته است و بیشترین مقدار Au در منطقه ده‌سلم به میزان ۴۱۲ میلی‌گرم در تن در این زون ثبت شده است.

شواهد زمین‌شناسی، ژئوشیمیایی، دگرسانی، کانی‌سازی و تحول سیال‌های گرمابی نشان‌دهنده کانی‌سازی سیستم مس - مولیبدن پورفیری در منطقه است (ارجمندزاده و همکاران، ۱۳۹۰). روی هم‌رفته بی‌هنجاری‌های سطحی نسبت به بی‌هنجاری‌های ژرف موجود در مغزه‌های حفاری شدیدتر هستند و این عامل سبب انگیزه بیشتر شرکت ملی مس برای حفاری به منظور اکتشاف ذخیره پورفیری بوده در حالی که کانی‌سازی سطحی بیشتر به صورت رگه‌ای و همراه با کنترل ساختاری است و به نظر می‌رسد که به این مسئله توجه نشده است.

۵- ژئوشیمی توده‌های نفوذی

۵-۱. اکسیدهای اصلی

اکسیدهای اصلی سنگ‌های نفوذی مختلف ده‌سلم روندهای خطی مشخصی در نمودارهای هارکر نشان می‌دهند که بیان‌کننده فرایند تفریق ماگمایی است. اکسیدهای P_2O_5 ، CaO ، FeO ، MgO و تا حدی MnO با افزایش مقادیر SiO_2 کاهش می‌یابند که در ارتباط با تبلور بخشی پلاژیوکلاز کلسیم‌دار و کانی‌های مافیک مانند پیروکسن و هورنبلند هستند (شکل ۸). روندهای افزایشی قلیایی‌ها مانند Na و K نیز در ارتباط با چنین تفریقی است که نشان‌دهنده تبلور پیش‌رونده پلاژیوکلاز سدیم‌دار و فلدسپار پتاسیم است.

Chappell & White (1992) نشان دادند که تفاوت اصلی در ترکیب ماگما‌های I و S در طی تفریق، کاهش مقدار P نسبت به افزایش مقدار SiO_2 در ماگما‌های نوع I است در حالی که این روند در ماگما‌های نوع S برعکس است. با توجه به آن که مقادیر P_2O_5 طی تفریق کاهش می‌یابد، این توده‌ها نوع I هستند.

۵-۲. عناصر فرعی و کمیاب

نمودار عنکبوتی بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به گویشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) نشان‌دهنده غنی‌شدگی شدید عناصر LILE مانند Nb, P, Sr, Ba, Zr, Cs و تهی‌شدگی عناصر با میدان پایداری بالا (HFSE) مانند Nb, P, Y است (شکل ۹) که از ویژگی‌های اصلی ماگماتیسیم در کمرندهای فرورانش هستند (Wilson, 1989). فروافتادگی عناصر Nb, Ta, Ti و پیک عنصر Sr مربوط به حضور اکسیدهای Fe-Ti و نبود پلاژیوکلاز در منشأ است (Martin, 1999). فروافتادگی عناصر Nb, P, Ta و نیز شاخص ماگماتیسیم محیط‌های فرورانش است (Walker et al., 2001; Pearce, 1983; Gill, 1981). محیط‌های کم‌انرژی است و شدت تهی‌شدگی آن ممکن است در نتیجه تأثیر پوسته باشد (Lan et al., 1996). به‌طور کلی، نسبت‌های مولار پایین $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO} < 1.1$ و نسبت‌های پایین Rb/Sr با میانگین ۰/۱۵، شاخص گرانیتوئیدهای نوع I است که شامل توده‌های نفوذی ده‌سلم نیز هستند. مقادیر Zr و Hf این توده‌های نفوذی به ترتیب از ۱۲۶ تا ۲۹۸ گرم در تن و ۳/۷ تا ۸/۳ گرم در تن تغییر می‌کنند که کمی پایین‌تر یا برابر مقادیر گرانیت‌های پشته‌های اقیانوسی هستند، در حالی که مقادیر Nb کمی بیشتر یا برابر با مقادیر این گرانیت‌ها

تجزیه شده است. ۱۱ نمونه از زون‌های مختلف کانی‌سازی - دگرسانی نیز برای تعیین دما و شوری میان‌بارهای سیال در دانشگاه فردوسی مشهد مطالعه شدند.

۳- زمین‌شناسی و کانی‌سازی

مجموعه نفوذی ده‌سلم در ۵۵ کیلومتری باختر نهبندان در خراسان جنوبی، درون توالی‌های آتشفشانی، ماسه‌سنگ و سیلتستون ائوسن نفوذ کرده است (شکل ۲). برپایه مطالعات سنگ‌نگاری و ژئوشیمیایی، سنگ‌های نفوذی شامل پیروکسن - هورنبلندمونوزودیوریت، پیروکسن - بیوتیت مونوزونیت، بیوتیت - پیروکسن کوارتز مونوزونیت، هورنبلندمونوزونیت، پیروکسن - هورنبلندمونوزونیت، پیروکسن - بیوتیت گرانیت پورفیری هستند (ارجمندزاده و همکاران، ۱۳۸۸). سنگ‌های نفوذی دارای گستره ترکیبی دیوریت‌گابرو تا گرانیتی هستند و در نمودار Middlemost (1985) در محدوده کوارتز مونوزونیت، مونوزودیوریت، دیوریت‌گابرو، دیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند (شکل ۳). بیوتیت - پیروکسن کوارتز مونوزونیت و پیروکسن - هورنبلندمونوزودیوریت، دارای بافت پورفیری هستند و در شمال باختر و مرکز نقشه زمین‌شناسی، بیشترین رخنمون را دارند و به نظر می‌رسد که پیش از توده‌های نفوذی دیگر نفوذ کرده‌اند. واحدهای گرانیتی شامل گرانیت پورفیری و بیوتیت گرانیت در گستره نقشه زمین‌شناسی پراکنده‌اند و از جدیدترین توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه هستند که در برخی مناطق، درون هورنبلندمونوزونیت و پیروکسن - هورنبلندمونوزودیوریت نفوذ کرده‌اند. واحد پیروکسن - هورنبلندمونوزونیت از دید بافتی از هورنبلند مونوزونیت متفاوت و دارای بافت درشت‌بلور و پویی کلیتیک است. این توده‌های نفوذی در نمودارهای (Peccerillo & Taylor 1976) و (Pearce et al. 1984) جزو سری کلسیمی - قلیایی با پتاسیم بالا تا شوشونیتی و گرانیت‌های کمان آتشفشانی هستند (شکل‌های ۴ و ۵).

کانی‌سازی در منطقه ده‌سلم شامل پیریت، مگنتیت، مولیبدنیت، کالکوپیریت، بورنیت، طلا، گالن، اسفالریت، سولفوسالت‌ها، آرسنوپیریت، دیژنیت، کالکوسیت و کوولیت است که به صورت رگه - رگچه‌ای و پراکنده رخ داده است. کانی‌سازی در توده‌های نفوذی بیوتیت - پیروکسن کوارتز مونوزونیت و هورنبلندمونوزونیت با شدت بیشتری رخ داده است و شامل مگنتیت، پیریت، مولیبدنیت، کالکوپیریت، بورنیت، طلا و آرسنوپیریت است (شکل‌های ۶ و ۷). این زون منطبق با رخداد دگرسانی پتاسیک بوده که از ویژگی‌های آن وجود رگچه‌های بیوتیت ثانویه است. بی‌هنجاری‌هایی از عناصر Cu, Mo, Au نیز بر روی این توده‌های نفوذی مشخص شده است و بیشترین مقدار Mo منطقه ده‌سلم به میزان ۲۲۹۰ پی‌پی‌ام در زون دگرسانی پتاسیک قرار گرفته است.

به سمت بیرون از زون دگرسانی پتاسیک، کانی‌سازی گالن، اسفالریت، طلا و سولفوسالت نمایان می‌شود که بیشتر همراه با رگه‌های ریزبلورین کوارتز و دگرسانی سریستی - رسی هستند.

۴- زمین‌دماشنجی میان‌بارهای سیال

تغییرات فازی در ۶ نمونه از میان‌بارهای سیال زون‌های مختلف دگرسانی متاسوماتیک، پروپلیتیک، پتاسیک، سریست - رسی و سریست - کلسیت - سیلیس منطقه اکتشافی ده‌سلم، طی آزمایش گرمایش و سرمایش در دستگاه میکروسکوپی مجهز به پلاتین گرمایی - سرمایی در دانشگاه فردوسی مشهد مطالعه شد. در مجموع ۴۰ میان‌بار سیال به روش گرمایش و ۸ میان‌بار سیال نیز به روش سرمایش اندازه‌گیری شد.

بر اساس نوع و نسبت فازهای شناخته شده، میان‌بارهای سیال به سه گروه اصلی غنی از سیال (نوع I)، غنی از بخار (نوع II) و چند فازی (نوع III) تقسیم شدند. سیلویت و

۶- زمین‌شناسی ایزوتوپی

مقادیر $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ توده‌های نفوذی منطقه ده‌سلم، میان 0.70469 تا 0.70507 و مقادیر ϵNd آنها نیز از $+1/5$ تا $+2/5$ در تغییر است. نسبت‌های ایزوتوپی اولیه Sr و Nd همه نمونه‌ها بسیار مشابه است و نشان می‌دهد که این توده‌ها هم‌منشأ هستند و از مذاب‌های مادر یکسانی طی فرایندهای تفریق ماگمایی مانند تفریق بلوری تشکیل شده‌اند. ترکیب ایزوتوپی مشابه با بازالت‌های جزایر کماتی (IAB)، نشان می‌دهد که ماگمای مادر طی ذوب بخشی، در زون بالای فرورانش در گوه گوشه تشکیل شده است. این داده‌ها همچنین نشان می‌دهند که مذاب‌های حاصل از گوشه با پوسته پایینی آلودگی داشته‌اند، هر چند نباید تأثیر سیال‌های حاصل از صفحه فرورونده را در افزایش مقادیر پرتوزادی $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ برخی از توده‌های نفوذی نادیده گرفت. نسبت‌های ایزوتوپی اولیه Sr و Nd، همراه با ژئوشیمی اکسیدها و عناصر کمیاب نشان می‌دهند که ماگمای مادر در نتیجه ذوب بخشی گوشه تشکیل شده و گارنت فاز باقیمانده در منشأ بوده در حالی که فلوگوپیت بیشتر در تشکیل مذاب شرکت کرده است.

۷- حساسیت مغناطیسی

سنگ‌های گرانیتی توسط Ishihara (1977) به سری‌های مگنتیت و ایلمنیت تقسیم‌بندی شده‌اند. سری مگنتیت اکسیدی و سری ایلمنیت احیایی است. گرانیت‌های با حساسیت مغناطیسی $(SI) > 3 \times 10^{-3}$ جزو سری مگنتیت تقسیم‌بندی می‌شوند (Ishihara, 1981). حساسیت مغناطیسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه GMS2 Sintrex دانشگاه فردوسی مشهد اندازه‌گیری شد که دقت آن $(SI) 1 \times 10^{-5}$ است. مقادیر حساسیت مغناطیسی توده‌های نفوذی ده‌سلم $(SI) 10^{-5}$ تا 170×10^{-5} است که در محدوده گرانیتوئیدهای سری مگنتیت قرار می‌گیرند. تقسیم‌بندی گرانیتوئیدها به سری‌های مگنتیت و ایلمنیت همراه با مقادیر Rb/Sr می‌تواند به عنوان یک کلید اکتشافی مهم مورد استفاده قرار گیرد (Karimpour et al., 2010). سنگ‌های نفوذی همراه با نهشته‌های پورفیری مس - طلا، به نسبت اکسیدی هستند و نسبت Rb/Sr پایینی دارند، در حالی که نهشته‌های قلع پورفیری در ارتباط با توده‌های نفوذی احیایی با مقادیر بالای Rb/Sr هستند (Karimpour et al., 2010). با توجه به نمودار نسبت Rb/Sr در برابر حساسیت مغناطیسی، توده‌های نفوذی ده‌سلم در ارتباط با نهشته‌های مس-طلا پورفیری هستند (شکل ۱۳). این داده‌ها منطبق با شواهد کانی‌سازی و ژئوشیمی اکتشافی منطقه نیز هستند.

۸- نکتونوماگماتیسیم بلوک لوت

محیط زمین‌ساختی بلوک لوت تاکنون مورد بحث بوده و نظریات بسیاری در این زمینه مطرح شده است. یکی از موارد مورد بحث، اهمیت فرایندهای فرورانش برای توضیح ویژگی‌های زمین‌شناسی بلوک لوت است. با وجود اینکه برخی مسئله فرورانش را مردود دانسته‌اند اما بیشتر پژوهشگران بر این باورند که فرورانش پوسته اقیانوسی نقش مهمی در تحولات زمین‌ساختی این منطقه داشته است. تاکنون دو مدل ژئودینامیکی مربوط به فرورانش ارائه شده است برخی فرورانش را به زیر بلوک افغان در نظر گرفته‌اند در حالی که عده‌ای بر این باورند که پوسته اقیانوسی به زیر بلوک لوت کشیده شده است.

Tirrul et al. (1983) بر پایه فسیل‌های موجود در فلیش‌های منطقه، زمان ایجاد کافت میان بلوک لوت و افغان را سنومانین و برپایه سنگ‌های دگرگونی دما و فشار بالا آغاز فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر بلوک افغان را مایستریشتین تعیین کرده‌اند. Sengor et al. (1988) حوضه اقیانوسی سیستان را یک حوضه کم عمر می‌دانند که طی کرتاسه بالایی میان بلوک‌های دورشونده لوت و افغان تشکیل و پس از فرورانش به زیر بلوک افغان بسته شده بود.

است و نشان می‌دهد که میزان مواد پوسته‌ای در آلوده کردن ماگمای بالارونده تا حدی مؤثر بوده است (Bonin et al., 1978; Miyashiro, 1977).

نمودار عنکبوتی به‌جای شده عناصر خاکی کمیاب نسبت به کندریت، غنی‌شدگی مهم LREE و درجه بالایی از تفریق عناصر خاکی کمیاب را نشان می‌دهد؛ برای نمونه $La/Yb > 31-21/5$ است (شکل ۱۰). Eu به‌طور معمول در سنگ‌های دارای پلاژیوکلاز فراوان، به ویژه نوع کلسیمی آن بی‌هنجاری مثبت دارد، ولی نبود بی‌هنجاری آن در نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به نبود پلاژیوکلاز به عنوان باقیمانده در منشأ است. لازم به یادآوری است که توده‌های نفوذی منطقه از نوع گرانیتوئیدهای نوع I هستند که fO_2 آن بالا است، از این رو Eu بیشتر به صورت Eu^{2+} و کمتر Eu^{3+} در ماگما حضور دارد و در نتیجه در مقادیر کمتری جانشین پلاژیوکلازها می‌شود (Henderson, 1984).

توده‌های نفوذی ده‌سلم بر پایه نسبت‌های Sr/Y و La/Yb دارای گرایش آداکیتی هستند. آداکیت برای اولین بار برای سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی با سیلیس بالا و مقادیر Sr/Y و La/Yb بالا در کمان‌های سنوزویک مرتبط با فرورانش سنگ‌کره اقیانوسی جوان (≤ 25 میلیون سال) معرفی شده است (Defant & Drummond, 1990). به‌تازگی مذاب‌های حاصل از تختال به عنوان منشأ آداکیت‌ها توسط Richards & Kerrich (2007) تا حد زیادی به چالش کشیده شده است و مواردی مانند ذوب بخشی گارنت آمفیبولیت پوسته پایینی، برهم‌کنش مذاب‌های سست‌کره و پوسته پایینی (MASH) و تفریق بلوری به عنوان منشأ در نظر گرفته شده‌اند.

آداکیت‌ها در ایران اولین بار توسط ارجمندزاده و علیرضایی (۱۳۸۴) برای پورفیری خاروانا معرفی و مذاب‌های حاصل از تختال به عنوان منشأ آن در نظر گرفته شد. (Shafiei et al., 2009). مطالعه پورفیری‌های آداکیتی مس‌دار منطقه کرمان، منشأ آنها را در ارتباط با ذوب گارنت آمفیبولیت پوسته پایینی می‌داند.

چنانچه کانی روتیل در منشأ حضور داشته باشد، مذاب‌های حاصل از آن مقادیر Nb/Ta و Zr/Hf بالاتری نسبت به کندریت $(Nb/Ta=19/9 \pm 0/6)$ و $(Zr/Hf=34/3 \pm 0/3)$ خواهند داشت (Liu et al., 2008; Xiong et al., 2005). از سوی دیگر حضور آمفیبول کم‌میزیم در منشأ می‌تواند مقادیر پایین Nb/Ta را توجیه کند (Foley et al., 2002). توده‌های نفوذی ده‌سلم مقادیر به نسبت پایین Nb/Ta (به ترتیب $24/5 - 11/8$) و $(30/7 - 38/2)$ Zr/Hf دارند که بیشتر نشان‌دهنده حضور آمفیبول کم‌میزیم و نبود روتیل در منشأ است. چنین بی‌هنجاری‌های منفی در توده‌های نفوذی ده‌سلم، در نمودار عنکبوتی به‌جای شده عناصر کمیاب نسبت به گوشه اولیه دیده شد. در نمودار Y-Str/Y (شکل ۱۱) شماری از نمونه‌ها در محدوده آداکیت و کمان آتشفشانی عادی قرار دارند و شماری نیز بیرون از این محدوده‌ها هستند. نمونه‌های بیرون از این محدوده‌ها مقدار Sr/Y مشابه با آداکیت‌ها دارند ولی فرایند تفریق بلوری و/یا کمی غنی‌شدگی Y توسط پوسته سبب جابه‌جایی نقاط به سمت راست نمودار شده است. این نمونه‌ها گرایش آداکیتی مشخص تری را در نمودار Yb-La/Yb نشان می‌دهند (شکل ۱۲). برخی از ویژگی‌ها مانند مقادیر Rb و K₂O بیشتر از مقادیری است که در تعریف آداکیت وجود دارد. بالاآمدگی ماگما از راه پوسته سبتر می‌تواند همراه با فرایندهای هضم و تبلور بخشی (AFC) باشد که به نسبت‌های بالای Rb/Sr و افزایش K₂O، Th، Y انجامد. شواهد فرایندهای (AFC) به وسیله غنی‌شدگی K₂O بر Na₂O یا غنی‌شدگی LILE ناسازگار مانند Rb، Ba، Th، HFSE مانند Zr مشخص می‌شود (Esperanca et al., 1992). مقادیر پایین Y و Yb و نسبت‌های بالای Sr/Y و La/Yb می‌تواند در نتیجه قرار گرفتن Y و HREE در گارنت باقیمانده یا فرایند تفریق بلورهایمانند گارنت و هورنبلند باشد (Richards & Kerrich, 2007).

Tatsumi & Eggins (1995) یک ارتباط نزدیک میان نرخ همگرایی و حجم ماگماتیسم در زون‌های فرورانش را نشان داده‌اند. تشکیل حجم بزرگی از ماگماهای محیط‌های کمانی و همچنین پوسته اقیانوسی در محیط‌های پشت کمانی مربوط به زون فرورانش به سمت باختر است.

ملک‌زاده (۱۳۸۸) با مطالعه رادیوایزوتوپ‌های Nd و Sr محیط تکتونوماگمایی از نوع جزایر کمانی را برای ذخیره مس - طلای پورفیری ماهرآباد و خویبک در بلوک لوت در نظر گرفته است. لازم به یادآوری است که در مدل فرورانش دو سویه نامتقارن، محیط تکتونوماگمایی از نوع جزایر کمانی در فرورانش به سمت باختر تشکیل می‌شود و وجود آن در بلوک لوت توجیه و اثبات می‌شود.

فرورانش دوسویه نامتقارن به طور جامع و دقیق بیشتر فرایندها و تحولات زمین‌ساختی، ماگماتیسم و فلززایی را در پنجره زمانی ترشیری در زون خاور ایران توجیه می‌کند (شکل ۱۴) و از ویژگی‌های آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد (Arjmandzadeh et al., 2010; Arjmandzadeh et al., 2011; و همکاران، ۱۳۸۹):

- رخداد ماگماتیسم ستر ترشیری در بلوک لوت با ستبرای حدود ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر توجیه می‌شود.

- چگونگی تشکیل ساختارهای زمین‌شناسی نشان‌دهنده فرورانش به زیر بلوک افغان با توجه به اینکه فرورانش دوسویه است، توجیه می‌شوند. در مراحل پایانی فرورانش دوسویه نامتقارن ممکن است شواهد ساختاری تشکیل شوند که باعث گمراهی در تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی شود و زمین‌شناسان ساختمانی به اشتباه فرورانش را یک سویه در نظر بگیرند، در حالی که این ساختارها می‌توانند در محیط‌های فرورانش دوسویه نامتقارن نیز تشکیل شوند (Arjmandzadeh et al., 2011).

- چگونگی تشکیل محیط تکتونوماگمایی از نوع جزایر کمانی در بلوک لوت توجیه و اثبات می‌شود.

- رخداد دگرگونی دما - فشار بالا در زون خاور ایران از دید زمانی و مکانی در این مدل تکتونوماگمایی قابل بررسی و توجیه است.

- نبود زون‌بندی‌های ژئوشیمیایی مربوط به سری‌های مختلف ماگمایی در بلوک لوت در این مدل تحلیل شده است.

- رخدادهای فلززایی مربوط به نهشته‌های مختلف ترشیری به‌ویژه نوع پورفیری - اپی‌ترمال مس، طلا و مولیبدن و ارتباط آنها با زمان و محیط‌های تکتونوماگمایی تا حد زیادی تشریح شده‌اند.

توده‌های نفوذی ده‌سلم بر پایه نمودار Nb در برابر Rb/Zr (Brown et al., 1984)، در حاشیه کمان قاره‌ای عادی قرار می‌گیرند و نسبت به توده‌های نفوذی مس - طلای پورفیری ماهرآباد (ملک‌زاده، ۱۳۸۸)، در محیط کمانی تحول‌یافته‌تری تشکیل شده‌اند (شکل ۱۵).

در محیط‌های کمانی با افزایش تکامل محیط زمین‌ساختی، ستبرای پوسته قاره‌ای نیز افزایش می‌یابد و در نتیجه محیط مناسب برای ذخایر مولیبدن‌دار به‌وجود می‌آید. از آنجا که نهشته‌های مس - طلای پورفیری مانند ماهرآباد مربوط به ائوسن بوده و نهشته‌های پورفیری مولیبدن‌دار نسبت به آنها جدیدتر و مربوط به الیگوسن هستند، مدل ارائه شده در شکل ۱۵، می‌تواند به عنوان یک کلید اکتشافی در بلوک لوت مورد استفاده قرار گیرد.

۸- نتیجه‌گیری

هاله‌های دگرسانی - کانی‌سازی، بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی و داده‌های زمین‌دماسنجی میانبارهای سیال در منطقه ده‌سلم شباهت‌های زیادی با کانی‌سازی‌های نوع پورفیری به‌ویژه مس - مولیبدن - طلای پورفیری دارند. گرانیتوئیدهای آداکتیتی ده‌سلم در ارتباط با کمان قاره‌ای هستند و ویژگی‌های

Saccani et al., 2010 با مطالعه افیولیت‌های خاور ایران، بسته شدن حوضه اقیانوسی سیستان را مربوط به آلبین بالایی می‌دانند و فرورانش را به سمت خاور و به زیر بلوک افغان مطرح کرده‌اند.

بیشتر پژوهشگران باور به فرورانش به سمت خاور و به زیر بلوک افغان دارند و بیشتر آنها شواهد ساختاری کنونی را برای توجیه مدل و نظریه خود ارائه کرده‌اند. برای نمونه قطبیت منشور افزایشی - حوضه پیش کمانی، همگرایی ساختارها و جوان شدن منشور افزایشی به سمت جنوب باختر منطبق با فرورانش به سمت شمال خاور به زیر بلوک افغان است (Tirral et al., 1983). از کاستی‌های این نظریه می‌توان به نادیده گرفتن مدل‌های ژئوشیمیایی، سنگ‌شناختی و ماگماتیسم بلوک لوت اشاره کرد.

افتخارنژاد (۱۳۵۹) پیدایش حوضه فلیشی خاور ایران را نتیجه یک کافت درون قاره‌ای میان دو بلوک لوت در باختر و بلوک افغان در خاور می‌داند که در کرتاسه پیشین شکل گرفته و مکان مناسبی برای جایگیری گوشه اقیانوسی و انباشت نهشته‌های فلیش گونه بوده است. در پایان پوسته اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای بلوک لوت فرورانش کرده و آمیزه‌های افیولیتی - فلیشی خاور ایران را به وجود آورده است. فعالیت‌های آتشفشانی بخش شمالی لوت، می‌تواند حاصل فرورانش بلوک افغان به زیر بلوک لوت باشد (افتخارنژاد، ۱۳۵۹).

Berberian (1983) بر این باور است که سنگ‌های آتشفشانی بلوک لوت، کلسیمی - قلیایی و نتیجه فرورانش هستند. گرانیت شاه‌کوه همراه با سنگ‌های دگرگونی ده‌سلم، وجود فرورانش با شیب به سمت باختر را دست کم در ژوراسیک - کرتاسه نشان می‌دهد و گسترش سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی پالئوژن در پهنه لوت نشانه‌ای از ادامه فرورانش در پالئوژن است (Berberian, 1983).

کانسار مس - مولیبدن پورفیری مرتبط با توده گرانودیوریتی سرخ‌کوه در جنوب بیرجند و کانسار مس پورفیری مرتبط با توده گرانودیوریتی گزو با سن کرتاسه بالایی را شاید بتوان در ارتباط با فرورانش به زیر صفحه لوت دانست (شهاب‌پور، ۱۳۸۰).

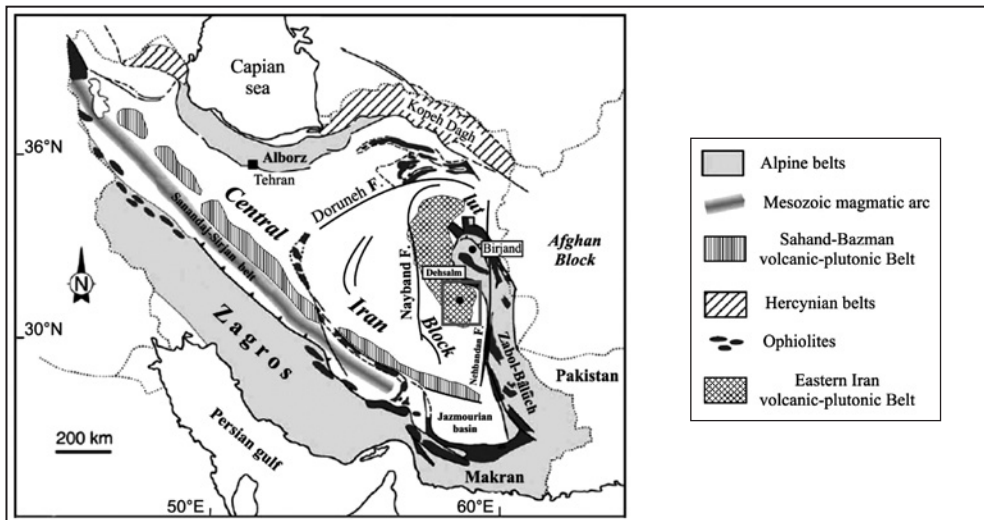
روی هم‌رفته افرادی که باور به فرورانش به زیر بلوک افغان دارند، شواهد ساختاری کنونی را برای توجیه مدل و نظریه خود ارائه کرده‌اند ولی افرادی که فرورانش را به زیر بلوک لوت می‌دانند بیشتر شواهد ماگماتیسم را ملاک قرار داده و شواهد ساختاری را نادیده گرفته‌اند.

زون‌های فرورانش به سمت باختر مانند باربادوس، آپنینز، ماریانا و تونگا و ویژگی‌های مشترکی مانند توپوگرافی ملایم، درازگودال ژرف با نرخ بالای فرورانش، شیب زیاد تختال، منشور افزایشی که بیشتر دارای سنگ‌های کم ژرفای پوسته پایینی است و حوضه پشت کمانی مختلط دارند (Bevis et al., 1995; Doglioni et al., 2007; Harabaglia & Doglioni, 1998; Doglioni et al., 2009; Lenci & Doglioni, 2007). در مقابل، زون‌های فرورانش به سمت خاور مانند آند و شمال خاور مانند هیمالایا و زاگرس ویژگی‌های متفاوتی مانند ریخت‌شناسی و ساختارهای مرتفع، نبود حوضه پشت کمانی، دراز گودال کم ژرفا با نرخ پایین فرورانش، صفحات راندگی که کل پوسته و گوشه سنگ‌کره‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد، سنگ‌های محیط‌های فشار بالا و رخنمون‌های گسترده سنگ‌های دگرگونی و تختال کم شیب دارند (Bevis et al., 1995; Doglioni et al., 2009; Doglioni et al., 2007; Harabaglia & Doglioni, 1998; Lenci & Doglioni, 2007).

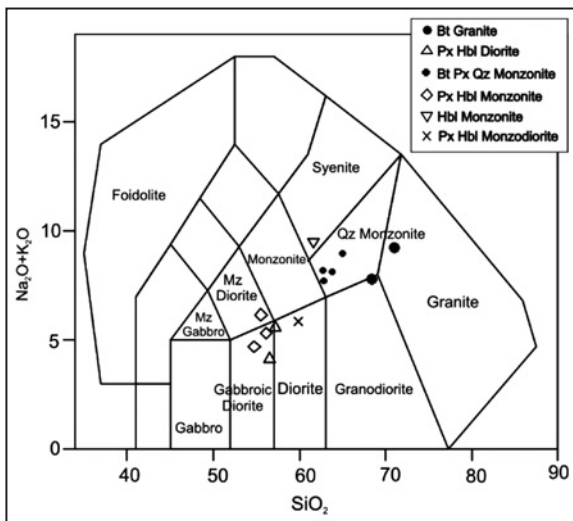
فرورانش به سمت باختر سریع‌تر از فرورانش به سمت خاور است؛ بنابراین حجم‌های بزرگ‌تری از چرخش مواد و همچنین سیال‌های آزاد شده توسط تختال در آن سمت فراهم می‌شود (Isacks & Barazangi, 1977). این اختلاف در سرعت فرورانش باعث مصرف سریع‌تر تختال در یک سمت می‌شود و در پایان سبب تشکیل ساختارهای زمین‌شناسی می‌شوند که فرورانش را تنها یک سویه نشان می‌دهد.

بیشتر در تشکیل مذاب شرکت کرده است. وجود چنین ماگماتیسمی در بلوک لوت نشان‌دهنده یک محیط فرورانش همزمان یا کمی پیش از نفوذ این توده‌ها است. فرورانش دوسویه نامتقارن به عنوان یک نظریه جدید، به‌طور جامع و دقیق بیشتر فرایندها و تحولات زمین‌ساختی، ماگماتیسم و فلززایی را در پنجره زمانی تشریحی در زون خاور ایران توجیه می‌کند. در این مدل، نهشته‌های مس - طلای پورفیری طی ائوسن و در محیط جزایر کمائی تشکیل شده‌اند و نهشته‌های پورفیری مولیبدن‌دار مربوط به محیط کمائی تکامل‌یافته‌تر در الیگوسن هستند.

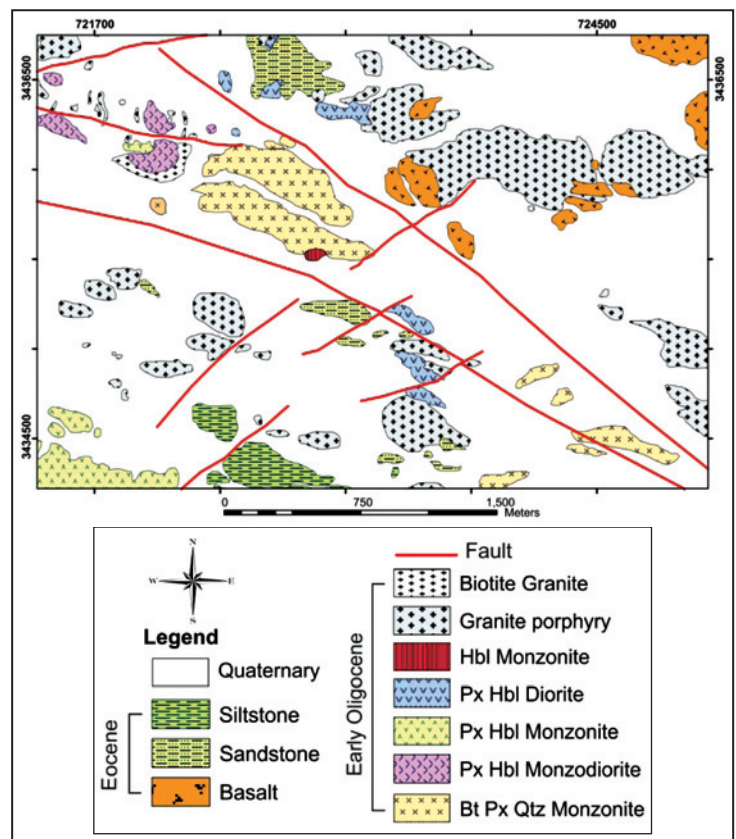
ماگماتیسم محیط‌های فرورانش توسط غنی‌شدگی LILE و تهی‌شدگی HFSE و HREE اثبات می‌شود. منشأ این آداکیت‌ها مذاب‌های حاصل از گوشته است که با پوسته پایینی آلودگی داشته است و سیال‌های حاصل از صفحه فرورونده و شرایط اکسیدی ماگما شرایط مطلوبی را برای کانی‌سازی فراهم کرده است. نسبت‌های ایزوتوپی اولیه Sr و Nd همراه با ژئوشیمی اکسیدهای و عناصر کمیاب نشان می‌دهند که ماگمای مادر در نتیجه ذوب بخشی گوشته تشکیل شده است. گارنت و آمفیبول کم منیزیم، فاز باقیمانده در منشأ هستند در حالی که فلوگوپیت



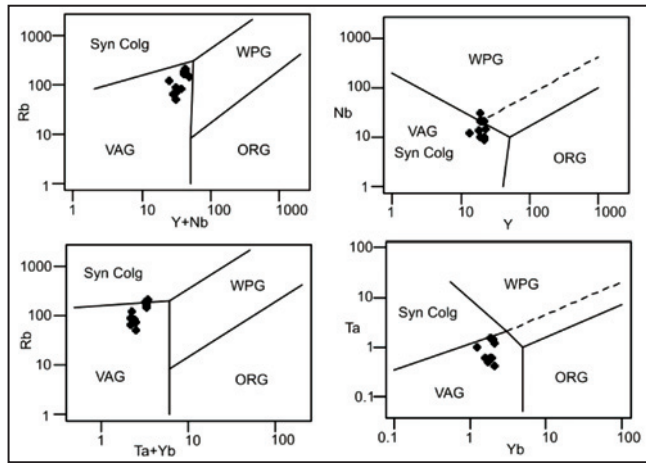
شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ایران (Berberian & King, 1981) و موقعیت توده‌های نفوذی ده‌سلم.



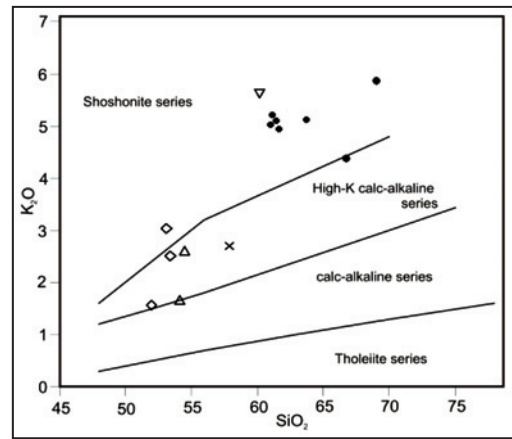
شکل ۳- نمایش توده‌های نفوذی ده‌سلم در نمودار Na_2O+K_2O در برابر SiO_2 (Middlemost, 1985).



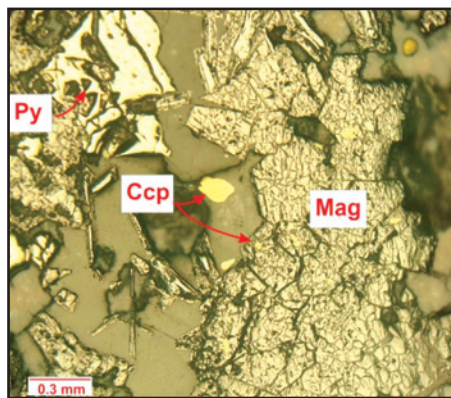
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ ده‌سلم (ارجمندزاده و همکاران، ۱۳۸۸).



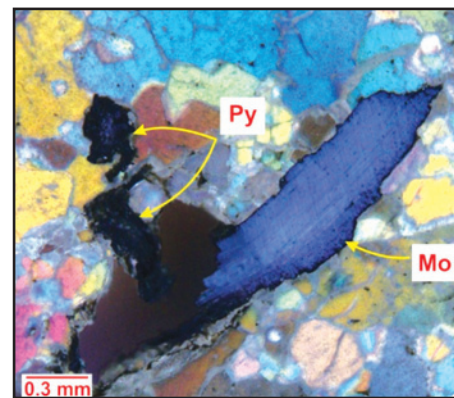
شکل ۵- نمایش توده‌های نفوذی دهسلم در نمودارهای جایگاه زمین‌ساختی WPG, within plate granites; VAG, volcanic arc granites; (Pearce et al., 1984) ORG, ocean ridge granites; syn-COLG, syn-collisional granites



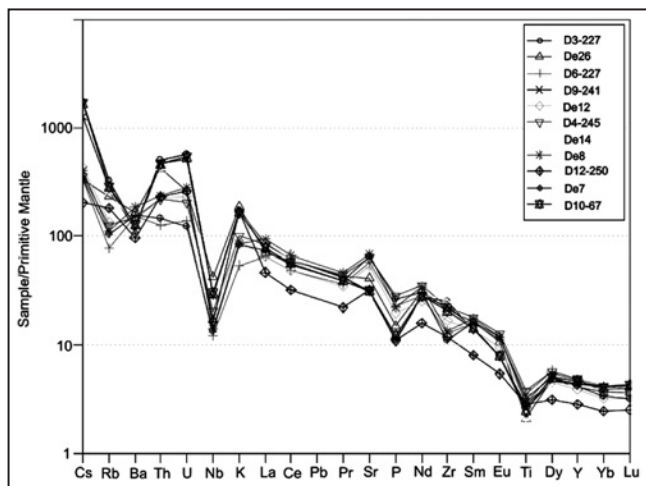
شکل ۴- نمایش توده‌های نفوذی دهسلم در نمودارهای K_2O در برابر SiO_2 (Peccerillo & Taylor, 1976)



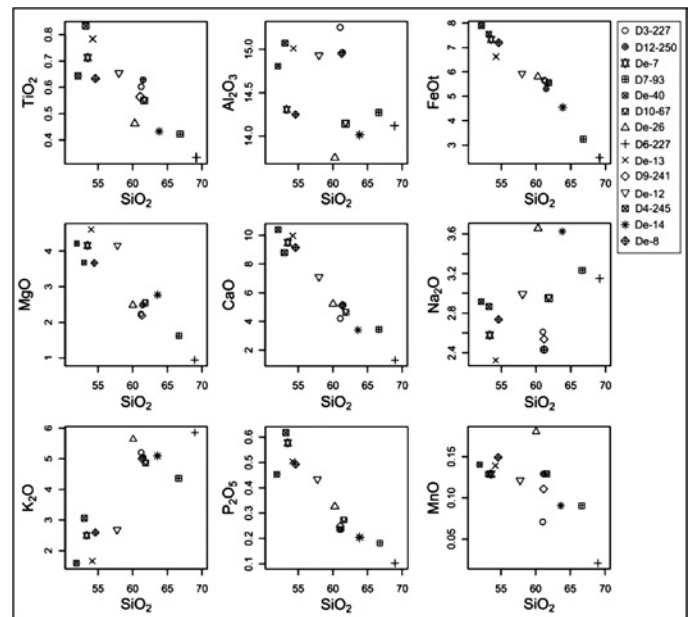
شکل ۷- مقطع صیقلی نمونه D3-236 برداشت شده از زرفای ۲۳۶ متری گمانه شماره ۳ در زون دگرسانی پتاسیک که نشان‌دهنده هم‌رشدی مگنتیت، کالکوپریت و پیریت است (PPL).



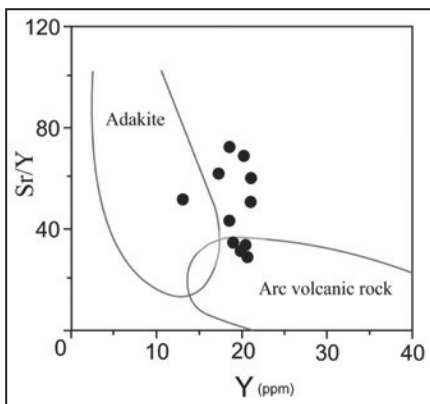
شکل ۶- مقطع صیقلی نمونه سطحی D7 برداشت شده از زون دگرسانی پتاسیک که نشان‌دهنده هم‌رشدی مولیبدنیت و پیریت است (XPL).



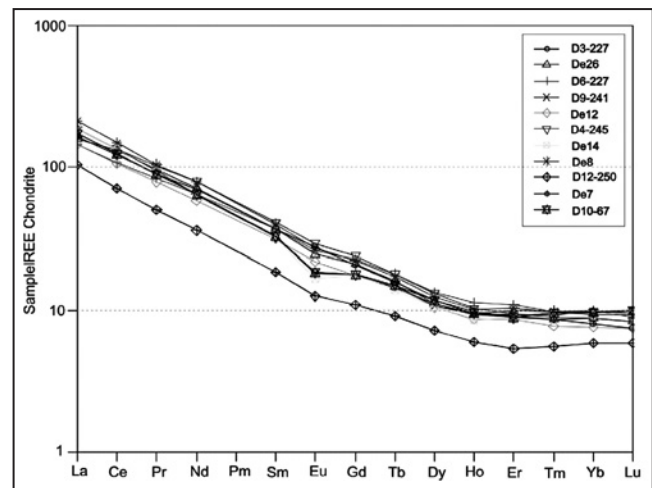
شکل ۹- نمایش توده‌های نفوذی دهسلم در نمودار عنکبوتی بهنجار شده عناصر کمیاب نسبت به گوشته اولیه



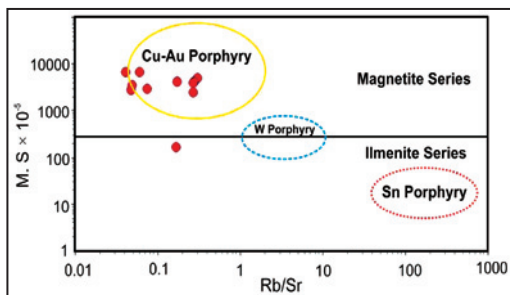
شکل ۸- نمایش توده‌های نفوذی دهسلم در نمودارهای هارکر.



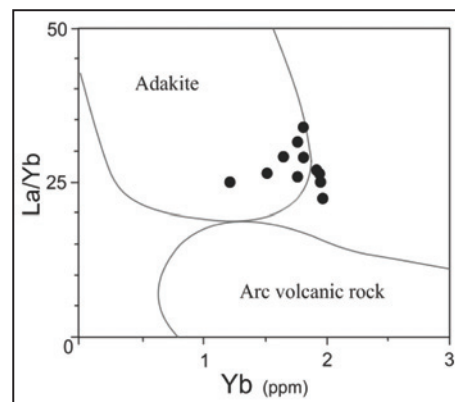
شکل ۱۱- نمایش توده‌های نفوذی ده‌سلم در نمودار Y در برابر Sr/Y برای جدایش ماگماهای کلسیمی-قلیایی و آداکیتی (Defant & Drummond, 1990).



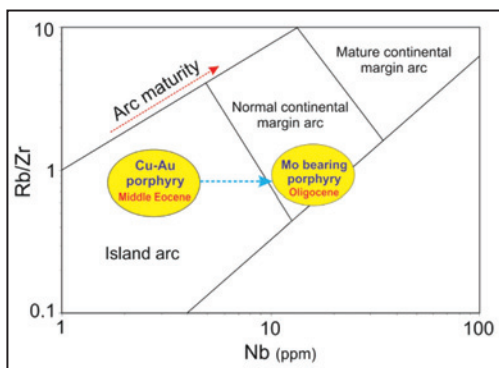
شکل ۱۰- نمایش توده‌های نفوذی ده‌سلم در نمودارهای عتکبوتی بهنجار شده عناصر خاکی کیمیا نسبت به کندریت.



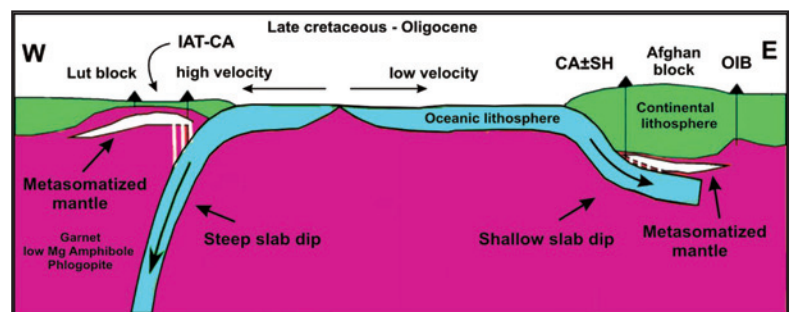
شکل ۱۳- نمایش توده‌های نفوذی ده‌سلم در نمودار Rb/Sr در برابر حساسیت مغناطیسی.



شکل ۱۲- نمایش توده‌های نفوذی ده‌سلم در نمودار Yb در برابر La/Yb برای جدایش ماگماهای کلسیمی-قلیایی و آداکیتی (Defant & Drummond, 1990).



شکل ۱۵- نمودار Rb/Zr در برابر Nb (Brown et al., 1984) نشان‌دهنده مدل اکتشافی زمانی - تکتونوماگمایی نهشته‌های مس - طلای پورفیری و نهشته‌های پورفیری مولیبدن‌دار در بلوک لوت.



شکل ۱۴- مدل تکتونوماگمایی فرورانش دوسویه نامتقارن، خاور ایران (Brown et al., 1984) IAT: island-arc tholeiites; CA, SH: calc-alkaline and shoshonitic series; OIB: basalts with ocean island or intraplate affinity.

جدول ۱- نتایج تجزیه عناصر اصلی و کمیاب توده‌های نفوذی ده‌سلم همراه با موقعیت جغرافیایی. D مربوط به نمونه‌های گمانه و d مربوط به نمونه سطحی است.

Wt%	de13	D7-93	de-40	de26	D3-227	D6-227	D9-241	de-12	D4-245	de-14	de-8	D12-250	de-7	D10-67
Rock type	Bt granite	Bt granite	Px Hlb monzonite	Hlb monzonite	Px Bt Qtz monzonite	Px Hlb Diorite	Px Bt Qtz monzonite	Px Hlb Diorite	Px Bt monzodiorite	Bt Px monzodiorite	Px Hlb Diorite	Bt Qtz monzonite	Px Hlb monzonite	Bt Qtz monzonite
SiO ₂	69.05	66.73	51.99	60.14	61.14	54.09	61.25	57.88	53.12	63.71	54.5	61.35	53.41	61.66
TiO ₂	0.33	0.42	0.64	0.46	0.6	0.78	0.56	0.65	0.83	0.43	0.63	0.62	0.71	0.55
Al ₂ O ₃	14.13	14.28	14.8	13.74	15.26	15.01	14.95	14.92	15.06	14	14.25	14.96	14.3	14.13
TFeO	2.45	3.22	7.85	5.79	5.58	6.59	5.54	5.9	7.49	4.51	7.16	5.28	7.3	5.49
MnO	0.02	0.09	0.14	0.18	0.07	0.14	0.11	0.12	0.13	0.09	0.15	0.13	0.13	0.13
MgO	0.92	1.61	4.2	2.47	2.25	4.62	2.21	4.14	3.67	2.79	3.66	2.47	4.14	2.52
CaO	1.26	3.4	10.44	5.19	4.24	10.02	4.98	7.03	8.85	3.36	9.09	5	9.54	4.59
Na ₂ O	3.14	3.24	2.91	3.65	2.59	2.32	2.53	2.98	2.86	3.62	2.73	2.42	2.57	2.94
K ₂ O	5.87	4.38	1.57	5.65	5.22	1.64	5.06	2.7	3.04	5.12	2.59	5.1	2.51	4.95
P ₂ O ₅	0.1	0.18	0.45	0.33	0.24	0.5	0.25	0.43	0.62	0.2	0.49	0.24	0.58	0.27
L.O.I	1.15	1.87	4.14	1.68	1.06	2.95	1.79	1.44	2.97	0.85	2.93	2.92	2.87	1.77
ppm														
Ba	-	-	-	1146	834	1059	806	961	1036	886	1284	679	1105	889
Be	-	-	-	3	2	1	2	1	3	3	1	2	<1	2
Co	-	-	-	11.2	12.3	10.3	9.9	18	22.7	9.2	15.5	12.6	22.5	8
Cs	-	-	-	2.6	13.5	2.6	10	3.4	2.8	4.4	3.2	1.6	2.7	13.2
Ga	-	-	-	15.1	16.1	19.2	15.3	18.1	19	15.5	17.8	15.4	17.3	15.9
Hf	-	-	-	7	8.3	4.2	7	6.1	6.9	8	4.3	4.1	3.7	6.1
Nb	-	-	-	30.5	21.5	8.7	20.6	13.1	14.7	21.4	10.2	11.8	9.6	21.5
Rb	-	-	-	146.8	204.7	49	179.3	85.7	80.2	165.9	70.4	115.6	65.6	180.3
Sn	-	-	-	3	2	2	2	2	2	1	1	<1	1	2
Sr	-	-	-	878.2	674.5	1210	647.5	1139	1339	626.2	1445	683.5	1380	674.8
Ta	-	-	-	1.5	1.4	0.4	1.2	0.6	0.6	1.4	0.6	1	0.5	1.3
Th	-	-	-	35.7	42.3	10.8	39.4	19.1	18.5	33	19.9	19.6	12.3	39.3
U	-	-	-	5.5	11.8	2.9	10.9	4.9	4.3	8	5.9	5.5	2.6	11.3
V	-	-	-	84	110	259	102	166	229	72	215	87	224	114
W	-	-	-	2.3	5.2	1.7	2.8	1.3	1.8	3.3	2.2	1.3	1.2	5.6
Zr	-	-	-	239.8	282.9	143.9	261	187.5	254.4	297.6	150.1	133.9	125.7	233.5
Y	-	-	-	18.9	20.3	22.2	20.2	17.9	22.5	19.3	21.8	13	19.1	21.3
La	-	-	-	48.9	57.9	44.7	58	44.8	57.2	57.4	65.1	32.4	50.8	53.5
Ce	-	-	-	105.8	109.2	86.8	108.9	86.2	109.1	108.1	119.9	57.3	98.4	100.5
Pr	-	-	-	11.84	11.67	10.19	11.58	9.61	12.37	11.34	12.79	6.15	10.88	10.92
Nd	-	-	-	42.7	37.9	38.6	38.1	34.7	47.9	39.8	47.1	21.6	41.8	38.6
Sm	-	-	-	7.22	6.34	7.2	6.41	6.14	8.03	6.23	7.79	3.62	7.23	6.35
Eu	-	-	-	1.81	1.35	1.93	1.33	1.61	2.16	1.21	1.99	0.92	2.02	1.34
Gd	-	-	-	5.46	4.61	5.88	4.58	4.57	6.21	4.5	5.71	2.82	5.37	4.6
Tb	-	-	-	0.76	0.68	0.85	0.7	0.69	0.85	0.65	0.82	0.43	0.75	0.71
Dy	-	-	-	3.61	3.6	4.31	3.47	3.36	4.25	3.37	4.02	2.32	3.77	3.75
Ho	-	-	-	0.67	0.68	0.81	0.68	0.62	0.74	0.61	0.73	0.43	0.7	0.68
Er	-	-	-	1.92	1.94	2.28	2.09	1.81	1.98	1.89	2.19	1.13	1.87	1.86
Tm	-	-	-	0.28	0.3	0.32	0.32	0.25	0.29	0.31	0.32	0.18	0.28	0.31
Yb	-	-	-	1.83	2.05	2.07	2.06	1.6	1.84	1.94	1.94	1.23	1.69	2.01
Lu	-	-	-	0.27	0.31	0.29	0.32	0.24	0.27	0.31	0.3	0.19	0.24	0.32

کتابنگاری

- ارجمندزاده، ر. و علیرضایی، س.، ۱۳۸۴- ماگماتیسیم آداکتیتی و نهشته‌های مس- طلای پورفیری: مثال از خاروانا، شمال غرب ایران، بیست و چهارمین همایش زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ارجمندزاده، ر.، کریم‌پور، م. ح.، سانتوز، ژ.، مظاهری، س. ا.، مدینا، ج. و همام، س. م.، ۱۳۹۰- تحول سیالات هیدروترمال در زون‌های مختلف دگرسانی - کانی‌سازی در سیستم پورفیری ده‌سلم، بلوک لوت، شرق ایران، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه لرستان.
- ارجمندزاده، ر.، کریم‌پور، م. ح.، سانتوز، ژ.، مظاهری، س. ا.، مدینا، ج. و همام، س. م.، ۱۳۸۹- فرورانش دوسویه نامتقارن، نظریه جدید در مورد محیط تکنونوماگمایی و متالوژنی بلوک لوت، شرق ایران، اولین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ارجمندزاده، ر.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، س. ا. و همام، س. م.، ۱۳۸۸- کانی‌سازی، آلتراسیون و پتروزنز گرانیتوئیدهای ده‌سلم، بلوک لوت، شرق ایران، بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین و سیزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹- تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸.
- سامانی، ب. و اشتری، ش.، ۱۳۷۱- تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- شهاب‌پور، ج.، ۱۳۸۰- زمین‌شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۰۹ ص.
- ملک‌زاده، آ.، ۱۳۸۸- زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی‌سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویبک، استان خراسان جنوبی، پایان‌نامه دوره دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد.

References

- Arjmandzadeh, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., Santos, J. F., Medina, J. & Homam, S. M., 2011- Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran). *Journal of Asian Earth Sciences* 41: 283-296.
- Arjmandzadeh, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., Santos, J. F., Medina, J. & Homam, S. M., 2010- Two-sided asymmetric subduction; implications for tectonomagmatic and metallogenic evolution of the Lut Block, eastern Iran. *Journal of economic geology* 3: 17-30.
- Berberian, M. & King, G. C., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 210-265. Middlemost E A K (1985) *Magma and Magmatic Rocks*. Longman, London.
- Berberian, M., 1983- Continental deformation on the Iranian Plateau, G.S.I., No. 52.
- Berberian, M., Jackson, J. A., Qorashi, M., Khatib, M. M., Priestley, K., Talebian, M. and Ghafuri-Ashtiani, M., 1999- The 1997 may 10 Zirkuh (Qaenat) earthquake (Mw 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran, *Geophys. J. Int.*, 136, pp. 671-694.
- Bevis, M., Taylor, F. W., Schutz, B. E., Recy, J., Isacks, B. L., Helu, S., Singh, R., Kendrick, E., Stowell, J., Taylor, B. & Calmant, S., 1995- Geodetic observations of very rapid convergence and back-arc extension at the Tonga arc. *Nature* 374, 249-251.
- Bonin, B., Grelou-Orsini, C. & Vialette, Y., 1978- Age, origin and evolution of the anorogenic complex of Evisa (Corsica): A K-Li-Rb-Sr study: *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 65, p. 425-435.
- Brown, G. C., Thorpe, R. S. & Webb, P. C., 1984- The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arcs and comments on magma sources: *Geol. Soc. London. Jour.*, v. 141, p. 413-426.
- Chappell, B. W. & White, A. J. R., 1992- I- and S-type granites in the Lachlan fold belt. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 83, 1-26.
- Defant, M. J. & Drummond, M. S., 1990- Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature* 347, 662-665.
- Doglionni, C., Carminati, E., Cuffaro, M. & Scrocca, D., 2007- Subduction kinematics and dynamic constraints. *Earth Science Reviews* 83, 125-175.
- Doglionni, C., Tonarini, S. & Innocenti, F., 2009- Mantle wedge asymmetries and geochemical signatures along W- and E-NE directed subduction zones. *Lithos* 113, 179-189.
- Esperanca, S., Crisci, M., de Rosa, R. & Mazzuli, R., 1992- The role of the crust in the magmatic evolution of the island Lipari (Aeolian Islands, Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology* 112, 450-462.
- Foley, S., Tiepolo, M. & Vannucci, R., 2002- Growth of early continental crust controlled by melting of amphibolite in subduction zones: *Nature*, v. 417, p. 837-840.
- Gill, J. B., 1981- *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer, New York.
- Harabaglia, P. & Doglionni, C., 1998- Topography and gravity across subduction zones. *Geophysical Research Letters* 25 (5), 703-706.
- Henderson, P., 1984- *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, Amsterdam. 510 pp.
- Isacks, B. L. & Barazangi, M., 1977- Talwani, M., Pitman III, W.C. (Eds.), *Geometry of Benioff Zones: Lateral Segmentation and Downwards Bending of the Subducted Lithosphere, in Island Arcs, Deep Sea Trenches and Back Arc Basins*. American Geophysical Union, Washington, DC, 1977, pp. 99-114.
- Ishihara, S., 1977- The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology* 27, 293-305.
- Ishihara, S., 1981- The Granitoid Series and Mineralization: *Economic Geology*. 75th Anniversary volume, pp. 458-484.

- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, Chr., Baumann, A. & Horn, P., 1983- Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran, Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51, pp. 285–336.
- Karimpour, M. H., Stern, C. R. & Farmer, G. L., 2010- Zircon U–Pb geochronology, Sr–Nd isotope analyses, and petrogenetic study of the Dehnow diorite and Kuhsangi granodiorite (Paleo-Tethys), NE Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 37, 384–393.
- Lan, C. Y., Jahn, B. M., Mertzman, S. A. & Wu, T. W., 1996- Subduction-related granitic rocks of Taiwan. *Journal Southeast Asian Earth Science* 14, 11–28.
- Lenci, F. & Doglioni, C., 2007- On some geometric prism asymmetries. In: Lacombe, O., Lavé, J., Roure, F., Verges, J. (Eds.), *Thrust Belts and Foreland Basins: From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems*. *Frontiers in Earth Sciences*. Springer, pp. 41–60.
- Liu, S., Hu, R. Z., Feng, C. X., Zou, H. B., Li, C., Chi, X. G., Peng, J. T., Zhong, H., Qi, L., Qi, Y. Q. & Wang, T., 2008a- Cenozoic high Sr/Y volcanic rocks in the Qiangtang terrane, northern Tibet: geochemical and isotopic evidence for the origin of delaminated lower continental melts. *Geological Magazine* 145 (4), 463–474.
- Martin, H., 1999- The adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos* 46 (3), 411–429.
- Middlemost, E. A. K., 1985- *Magmas and Magmatic Rocks*. Longman, London.
- Miyashiro, A., 1977- Subduction zone ophiolites and island arc ophiolites. In: *Energetics of geological processes* (S. K. Saxena, and S. Bhattachargi, eds.). Springer-Verlag (N. Y.).
- Pearce, J. A., 1983- Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins. In: Hawkesworth, C.J., Norry, M.J. (Eds.), *Continental Basalts and Mantle Xenoliths*. Shiva, Nantwich, pp. 230–249.
- Pearce, J. A., Harris, N. B. W. & Tindle, A. G., 1984- Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology* 25, 956–983.
- Peccerillo, A. & Taylor, S. R., 1976- Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, 63–81.
- Richards, J. P., Kerrich, R., 2007- Special Paper: Adakite-Like Rocks: Their Diverse Origins and Questionable Role in Metallogenesis. *Economic geology*, V. 102, 537-576.
- Saccani, E., Delavari, M., Beccaluva, L. & Amini, S. A., 2010- Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): Implication for the evolution of the Sistan Ocean. *Lithos* 117, 209-228.
- Sengor, A.M.C., Altner, D., Cin, A., Ustaomer, T., Hsu, K.J., 1988- Origin and assembly of the Tethyside orogenic collage at the expense of Gondwana Land. In: Audley- Charles, M. G., Hallam, A. E. (Eds.), *Gondwana and Tethys*. Geological Society of London Special Publication, Blackwell, Oxford, pp. 119–181.
- Shafiei, B., Haschke, M. & Shahabpour, J., 2009- Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Miner Deposita*, 44:265–283
- Sun, S. S. & McDonough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: *Magmatism in the oceanic basins*. The Geological Society London special publication 42.
- Tatsumi, Y. & Eggins, S., 1995- *Subduction Zone Magmatism*. Blackwell Science, Cambridge, UK. 211 pp.
- Tirrul, R., Bell, I. R., Griffiths, R. J. & Camp, V. E., 1983- The Sistan suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin* 94, 134–150.
- Walker, J. A., Patino, L. C., Carr, M. J. & Feigenson, M. D., 2001- Slab control over HFSE depletions in central Nicaragua. *Earth and Planetary Science Letters* 192, 533 – 543.
- Wilson, M., 1989- *Igneous Petrogenesis: A Global Tectonic Approach*. Harper Collins Academic, 466 p.
- Xiong, X. L., Adam, J. & Green, T. H., 2005- Rutile stability and rutile/ melt HFSE partitioning during partial melting of hydrous basalt: implications for TTG genesis. *Chem. Geol.* 218, 339–359.

Petrogenesis, Tectonomagmatic Setting and Mineralization Potential of Dehsalm Granitoids, Lut Block, Eastern Iran

R. Arjmandzadeh ^{1*}, M. H. Karimpour ², S. A. Mazaheri ³, J. F. Santos ⁴, J. M. Medina ⁴, S. M. Homam ³

¹ Assistant Professor, Department of Geology, Payame Noor University, Iran

² Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

⁴ Assistant Professor, Department of Geology, University of Aveiro, Portugal

Received: 2010 June 27

Accepted: 2011 August 09

Abstract

The dehsalm porphyritic granitoids belong to the Lut Block volcanic-plutonic belt in East - Central Iran. The intrusive rocks range in composition from gabbro - diorite to granite and can be classified as high-K calc alkaline to shoshonitic volcanic arc granites. Elevated contents of Mo, Cu, Au, Pb, Zn occur in silica veins within Bt - Px - Quartz monzonite and Hbl - monzonite. The trend of major oxides on Harker diagrams point to the crystal fractionation of Ca - plagioclase and mafic minerals. Primitive mantle - normalized trace element spider diagram display strong enrichments in LILE such as Rb, Sr, Ba, Zr, Cs and depletions in some high field strength elements (HFSE) e.g. Nb, P and Y. On chondrite - normalized plots, display significant LREE enrichments, high La/Yb = 21.5-31 and the lack of Eu. On the basis of Sr/Y and La/Yb ratios, Dehsalm intrusives cover characteristic features of adakites and (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)_i and εNd_i isotope ratios range from 0.70469 to 0.70505 and from +1.5 to +2.5 respectively, and show that the source is related to the mantle melts contaminated slightly by the crustal materials. They are classified into the magnetite series granitoids and have high mineralization potential for Cu-Mo-Au porphyry type deposits. Two-sided asymmetric subduction explains all the tectonic and magmatic occurrences and the mineralization of porphyry type deposits within the Lut Block during the Tertiary.

Keywords: Lut Block, Calc - alkaline, Trace element, Sr and Nd isotopes, Two-sided asymmetric subduction.

For Persian Version see pages 49 to 58

*Corresponding author: R. Arjmandzadeh; E-mail: Arjmand176@gmail.com