

## سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و ژئودینامیک دایکهای مرادلو (شمال باختری اردبیل)

نوشته: دکتر اکبر قاسمی برقی\*، دکتر منصور وثوقی عابدینی\*\* و دکتر سید محمد پور معافی\*\*

### Petrography, Geochemistry and Geodynamic of Moradloo Dikes, Northwest of Ardebil (NW Iran)

By: Dr. A. Ghasemi Barghi\*, Dr. M. Vosoughi Abedini\*\*  
& Dr. M. Pourma'afi\*\*

#### چکیده

در منطقه مرادلو واقع در شمال مشکین شهر و شمال باختری ایران، افزون بر ۳۰۰ دایک کوچک و بزرگ در وسعتی معادل ۱۴۰ کیلومتر مربع برنزد یافته است. این دایکها دارای یک روند غالب NNE – SSW بوده و در زمینه‌ای از برشهای آتشفشانی به سن ائوسن زیرین تزریق شده‌اند. مطالعات پیشین بدون اشاره به ژئوشیمی و ژئودینامیک آنها، تنها دو ترکیب سنگ‌شناسی پیروکسن آندزیتی و تفریتی را برای این دایکها مشخص کرده است. مطالعات سنگ‌نگاری وجود دست کم ۶ طیف سنگ‌شناسی و شواهدی از آمیختگی و آرایش ماگمایی را در این دایکها نشان می‌دهد. نمودارهای ژئوشیمیایی ضمن تأیید تفریق بلورین به عنوان عامل اساسی در تحولات ماگمایی، ماهیت پتاسیک و شوشونیتی را برای ماگمای سازنده دایکها و گداز بخشی ناچیز از یک منشأ سرشار از LILE یا گوشته متاسوماتیزه را برای تولید ماگمای آنها مشخص می‌سازند. و بالاخره در نمودارهای زمین ساختی\_ماگمایی، نمونه‌های مربوطه جایگاه کمانهای حاشیه قاره‌ای، کمانهای پس از برخورد و جزایر کمانی را برای این دایکها نشان می‌دهند. جمع‌بندی داده‌های فوق بیانگر این حقیقت است که سنگ‌زایی و ژئودینامیک دایکها از الگوی پیچیده‌ای پیروی می‌کند که در آن گداز بخشی گوشته متاسوماتیزه، ذوب پوسته فرورانشی قدیمی، تداخل رژیمهای زمین ساختی و تفریق و تحول ماگمای مادر در آشیانه و مجاری ماگمایی نقش قابل ملاحظه‌ای داشته‌اند.

**کلید واژه‌ها:** دایک، آمیختگی ماگمایی، تفریق بلورین، ویژگی شوشونیتی، ژئودینامیک، مرادلو.

#### Abstract

Over 300 small and large dikes are exposed in Moradloo district, covering an area of about 140 km<sup>2</sup> in the north of Meshkin Shahr (NW of Iran). They dominantly oriented in NNE–SSW strike and intruded into the Lower Eocene volcanic breccias. Previous studies showed that the rocks were Pyroxene andesite and tephrite, regardless of geochemistry and geodynamics. Our petrographic studies indicate that there are at least 6 different petrological groups and magma mixing and contamination have played role in their formation. Geochemical diagrams not only emphasize the fractional crystallization as a principal process of magma evolution but also indicate their potassic and shoshonitic characteristics and generation by the low degree partial melting of LILE enriched source or metasomatized mantle materials. Finally discrimination diagrams show continental, post-collisional and island arc settings for their emplacement. Analyzing all data obtained shows that the petrogenesis and geodynamics of the dikes are accompanied with complex model in which the partial melting of metasomatized mantle wedge, the melting of ancient subducted oceanic crust, the interpenetrating of tectonic regime and finally the fractionation and evolution of parent magma in chambers or conduits have had significant roles.

**Keywords:** Dike, Contamination, Fractional Crystallization, Shoshonitic characteristics, Geodynamics, Moradloo.

#### مقدمه

است. این ناحیه از نظر ریخت زمین‌شناسی قسمتی از فلات مرتفع آتشفشانی آذربایجان است که بخش شمالی آن شرایط کوهستانی و

منطقه مورد مطالعه در شمال مشکین شهر و در ۱۲۸ کیلومتری شمال باختری اردبیل واقع شده و دارای تعداد زیادی دایک با روند خاصی

زمانی قطع فعالیت‌های آتشفشانی، فرایندهای فرسایشی سبب نهشته شدن رسوبات کم ضخامت از ماسه‌سنگهای توفی، کنگلومرا و مارنهای گچ‌دار در حوضه‌های بسته میان کوهی شده است که به صورت تداخلهایی در ردیف سنگهای آتشفشانی ائوسن دیده می‌شوند. برخی از دایکهای مورد مطالعه این لایه‌ها را نیز قطع کرده‌اند.

سنگهای درونی به چند توده نیمه عمیق کوچک با ترکیب گرانودیوریتی - مونزونیتی در شمال و جنوب منطقه محدود می‌شوند که از نظر موقعیت چینه‌شناختی به الیگوسن نسبت داده شده‌اند (نقشه لاهرود، ۱۳۷۰).

## ۲- ریخت شناسی و ویژگیهای هندسی دایکها

در منطقه مورد مطالعه بیش از ۳۰۰ دایک در وسعتی حدود ۱۴۰ کیلومتر مربع رخنمون یافته است (با تراکم ۲/۱ دایک در هر کیلومتر مربع). اختلاف فرسایش پذیری، سبب گودافتادگی دایکهای الیوین بازالتی شده است در حالی که دیگر انواع آنها، ریخت برجسته‌ای دارند (شکل‌های ۲ و ۳). طول دایکها از ۵۰ متر تا ۴/۵ کیلومتر و سبب برای آنها از ۱/۵ تا ۱۰ متر در نوسان است. نم‌سودار گل سرخی یک روند غالب NNE - SSW و یک روند فرعی NW - SE را برای دایکها نشان می‌دهد (شکل ۴). دایکهای مطالعه شده شیب قائم یا نزدیک به قائم (۷۰ تا ۸۰ درجه) دارند. اغلب آنها موازی یا نیمه موازی هستند اما دایکهای متقاطع نیز قابل مشاهده‌اند (شکل‌های ۵ و ۶).

روند یک دایک منفرد در طول آن به ندرت ثابت باقی می‌ماند و این مسئله، بویژه در مورد دایکهایی که طولی افزون بر ۵۰۰ متر دارند بیشتر رخ داده است. سه عامل تغییر روند دایکها را کنترل می‌کند (Gudmund Son, 1995 به نقل از Bear & Heiman, 1995):

الف) عوامل زمین‌ساختی (عملکرد گسلها، شکل ۷). ب) هندسه شکستگیهای اولیه. ج) تغییر نوع سنگهای زمینه دایک در طول و یا در ژرفای آن.

## ۳- سنگ‌نگاری

مطالعات انجام شده وجود ۶ گروه سنگ را برای دایکهای منطقه نشان می‌دهد که شامل دایکهای: بازالتی، فوییدار، دلریتی، آندزیتی، تراکیتی و لامپروفیری است.

### ۱-۳ - دایکهای بازالتی

این دایکها از نظر سنگ‌شناسی طیفی از سنگهای بازالتی، بازالت آندزیتی و به ندرت الیوین بازالتی را شامل می‌شوند. بافت آنها پورفیریک میکروولیتیک، پورفیریک با خمیره ریزبلور و پورفیری با خمیره میان دانه‌ای و اینترسرتال است. درشت بلورهای اصلی آنها شامل

قسمتهای مرکزی و جنوبی حالت دشتگون دارند. مطالعات قبلی در این منطقه عمدتاً توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و در قالب تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاسهای ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ ناحیه‌ای انجام گرفته است. بر اساس این مطالعات، دایکهای یاد شده دارای دو ترکیب سنگ‌شناسی پیروکسن آندزیتی و تفریتی بوده و احتمالاً از نوع دایکهای تغذیه کننده آتشفشانهای ائوسن در منطقه می‌باشند (نقشه لاهرود، ۱۳۷۰) اما تاکنون پژوهش مستقلی در مورد سنگ‌شناسی، ژئوشیمی و ژئودینامیک دایکهای منطقه انجام نگرفته است. این نوشته تلاشی است برای معرفی تنوع سنگ‌شناسی، اختصاصات ژئوشیمیایی، سریهای ماگمایی و موقعیت زمین‌ساختی جایگزینی دایکها.

در انجام این پژوهش مختصات جغرافیایی ۸۶ دایک در منطقه با G.P.S تعیین و مشخصات فیزیکی آنها برداشت شد. بر روی ۵۶ مقطع نازک نیز مطالعه سنگ‌نگاری انجام شد و از ۴۶ مورد، تجزیه عناصر اصلی و کمیاب به روش XRF استفاده شد.

## ۱- زمین‌شناسی منطقه

این منطقه در تقسیم‌بندی مناطق زمین‌شناسی ایران، بخشی از زون البرز-ایران مرکزی (Berberian & King, 1981; Stocklin, 1968) و زون آتشفشانی ترشیری - کواترن (Alavi, 1996) به شمار می‌آید.

بارزترین سیمای زمین‌شناسی منطقه به فراورده‌های آتشفشانی ائوسن مربوط می‌شود که هم از نظر وسعت برونزد و هم تنوع ساختها و ترکیب سنگ‌شناسی قابل ملاحظه هستند. قدیمی‌ترین واحد چینه‌شناختی، لایه‌های آهکی به سن کرتاسه پسین (سنونین) است (نقشه لاهرود، ۱۳۷۰)، که در شمال منطقه برونزد دارند (شکل ۱).

بیش از ۸۰ درصد از وسعت منطقه توسط برشهای آتشفشانی پوشیده شده که قطعات آن ترکیب آندزیت بازالتی، تراکی آندزیتی، بازالتی و تفریتی داشته و در یک زمینه توفی و هیالوکلاستی قرار گرفته‌اند. این برشها در خارج و شمال منطقه با واسطه نهشته‌های نازک لایه نوع فلیش بر روی آهکهای کرتاسه بالایی قرار می‌گیرند و به همین جهت، سن ائوسن زیرین برای آنها در نظر گرفته شده است (نقشه لاهرود، ۱۳۷۰). رخساره سنگ‌شناسی و گسترش وسیع آنها، نشان دهنده فورانهای شدید انفجاری در محیط آبی است که در ابتدای ائوسن در منطقه به وقوع پیوسته است. دایکهای متعددی با ترکیب سنگ‌شناسی مختلف در این واحد نفوذ کرده‌اند که موضوع مورد بحث مقاله حاضر است. پس از فاز انفجاری یاد شده، آتشفشانی ائوسن در منطقه به صورت جریانهای گدازه‌ای با ترکیب آندزیت بازالتی و تفریتی و گدازه‌های تراکیتی، تراکی آندزیتی و تراکی بازالتی با اشکال گنبدی و ساخت منشوری توسعه یافته است. در فواصل

بیوتیتهایی با حاشیه مات و در بعضی از انواع درشت بلورهای پراکنده ریز پیروکسن است.

### ۳-۵- دایکهای تراکیتی

این دایکها طیفی از سنگهای تراکیت، هورنبلند بیوتیت تراکیت و تراکی آندزیت را شامل می‌شوند. بافت آنها در مقاطع میکروسکوپی تراکیتی، پیلوتاکستی، پورفیری با خمیره میکروولیتی و ریزدانه و پورفیری با خمیره هیالومیکروولیتی است. شاخص ترین درشت بلور این سنگها سائیدین است که گاهی اندازه‌های سانتی متری و بافت پوی کلیتیک (ناشی از وجود میانبرهایی از پلاژیوکلاز) دارد (شکل ۱۴). دیگر کانیها شامل میکروولیت‌های جهت یافته پلاژیوکلاز و درشت بلورهای کوچک بیوتیت و هورنبلند است.

### ۳-۶- دایکهای لامپروفیری

کمترین تعداد دایکهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه مربوط به این گروه است. بافت میکروسکوپی آنها پورفیری با خمیره ریز بلور و پورفیری با خمیره میکروولیتی و ریز بلور است. درشت بلورهای شاخص آنها شامل هورنبلندهای کشیده و سوزنی (شکل ۱۵)، بیوتیتهای تیغه‌ای نیمه شکلدار، کلینوپیروکسن نوع اوژیت و اوژیت دیوپسیدی و پلاژیوکلازهایی با ترکیب الیگوکلاز تا آندزین است. فلدسپار قلیایی به صورت میان روزنه‌ای و کانیهای تیتانومگنتیت و آپاتیت به صورت کمیاب حضور دارند. از پدیده‌های دیگر وجود بیگانه سنگهای مافیک، حفره‌های پر شده از کانیهای زولیتی و بادامکهای اشغال شده از بلورهای کلسیت و کوارتز است. نمونه‌های مطالعه شده از نوع بیوتیت لامپروفیر و هورنبلند - اوژیت لامپروفیر است. برخی از ویژگیهای سنگ شناختی دایکها که می‌تواند رهیافتی به تحولات ماگمایی و سنگ‌زایی ماگمای سازنده آنها باشد، عبارت است از:

- حضور بیگانه سنگهایی با ترکیب متفاوت در تعدادی از دایکها،  
- وجود دگرسانی انتخابی، بافت غربالی، حاشیه غبار آلود و پدیده جذب مجدد بلورین در پلاژیوکلازها (شکل ۱۶): این پدیده‌ها توسط برخی از محققان (Emami, 1981; Shelly, 1993; Wright & Helz, 1996) به آمیختگی ماگمایی نسبت داده شده است.

- وجود زون‌بندی نوسانی در پیروکسنا و آثار تحلیل رفتگی و خوردگی در حاشیه و مرزهای تماس صفحات رشد داخلی آنها (شکل ۱۷): این ویژگیها می‌تواند ناشی از پرشدگیهای متعدد (Replenishment) محفظه ماگمایی و وقوع آمیختگی بین ماگمای جدید و ماگمای تحول یافته قبلی بوده باشد (Streak et al., 2002).

کلینوپیروکسناهای خودشکل یا نیمه شکل‌دار با دوقلویی ساده یا ستاره برفی (شکل ۸)، ساخت زونه و ساعت شنی (شکل ۹) و پلاژیوکلازهایی با ترکیب  $An_{40} - An_{80}$  است که گاهی دارای حاشیه تحلیل رفته و پدیده جذب مجدد بلورین هستند. الیون به صورت درشت بلورهای ریز ایدنگستی شده در آنها حضور دارد. برخی از این دایکها حاوی بیگانه سنگهایی با ترکیب مونزوگابرو و پیروکسنیت با ابعاد ۵ تا ۱۵ سانتی متر هستند، مرز تماس بیگانه سنگهای پیروکسنیتی با سنگ درونگیر تیز است (شکل ۱۰).

### ۳-۲- دایکهای فویددار

سنگ شناسی این دایکها شامل انواع تفریتی، فنوتفریتی، تفریت فنولیتی، فویدگابرو پورفیری و فویدمونزو سینیستی است. کانی فویدی در همه آنها آنالسیم است. بافت این سنگها هیالومیکروگرانوپورفیری، پورفیری با خمیره میکروولیتی، ریزدانه و پورفیری با خمیره میان دانه‌ای است. درشت بلورهای شاخص آنها عبارتند از:

- کلینوپیروکسناهای نوع اوژیت و تیتان اوژیت با همان مشخصاتی که در سنگهای بازالتی دیده می‌شوند، گاهی بلورهای پیروکسن نقش هسته‌های تبلور را داشته و آنالسیمهای تأخیری در حاشیه آنها رشد کرده‌اند (شکل ۱۱).  
- آنالسیمهای خودشکل که گاه حاوی میانبرهای تحلیل رفته‌ای از پیروکسن و پلاژیوکلاز هستند.

- کانیهای دیگر شامل ریزبلورها و میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، بلورهای سائیدین و به ندرت الیونهای تجزیه شده است. در هیچ کدام از نمونه‌های مطالعه شده کانی هیدروکسیل دار مشاهده نشد. این دایکها نیز همانند دایکهای بازالتی، اما به طور محدود، حاوی بیگانه سنگهای مافیک (پیروکسنیتی) هستند (شکل ۱۲).

### ۳-۳- دایکهای دلریتی

کانی شناسی این دایکها مشابه دایکهای بازالتی است و عمده ترین تفاوت آنها، وجود بافت‌های میان دانه‌ای، پورفیری با خمیره میان دانه‌ای و تراکیتویدی و نبود مزوستاز شیشه‌ای در خمیره سنگهاست (شکل ۱۳).

### ۳-۴- دایکهای آندزیتی

دایکهای آندزیتی و پیروکسن آندزیتی در این گروه قرار می‌گیرند. در مقاطع میکروسکوپی بافت پورفیری با خمیره هیالومیکروولیتی، پورفیری با خمیره میکروولیتی و پیلوتاکستییک از خود نشان می‌دهند. درشت بلورهای پلاژیوکلاز با ترکیب آندزین - لابرادوریت ۵۰ تا ۶۰ درصد حجمی این سنگها را به خود اختصاص داده‌اند و کانیهای فرومینزین شامل هورنبلند و

- پراکنش موجود در موقعیت قرارگیری بعضی از اکسیدها در نمودارهای یاد شده می‌تواند معلول وجود درشت بلورهای مختلف در سنگها و یا ناشی از عوامل دیگری مانند آمیختگی و آرایش ماگمایی بوده باشد.

همچنین برای بررسی روابط سنگ‌شناختی، از نمودارهای چند عنصری عنکبوتی استفاده شد که در آنها، میانگین مقادیر عناصر فرعی و کمیاب نمونه‌ها نسبت به ماگمای گوشته اولیه، کندریت و ماگمای پشته‌های میان اقیانوسی (MORB) به‌نجار شده‌اند (شکل‌های ۲۳ تا ۲۵) که نتایج آنها چنین است:

- عناصر REE و LILE نمونه‌ها نسبت به کندریت، ماگمای گوشته نخستین و پشته‌های میان اقیانوسی غنی شدگی محسوس نشان می‌دهند که نشانگر منشأ گرفتن ماگمای آنها از ذوب بخشی ناچیز یک منبع سرشار از مواد ناسازگار یا احتمالاً گوشته متاسوماتیزه است.

- همچنین غنی شدگی عناصری مانند K، Ba، Rb، Sr و Th می‌تواند ناشی از آرایش با مواد پوسته‌ای و شاید آمیختگی ماگما بوده باشد.

- فروافتادگی‌های مشاهده شده در محل عناصر Ti و Nb احتمالاً تأثیر سیالهای فرورانشی را در تکوین ماگمایی دایکها نشان می‌دهد.

انتقال مقادیر عناصر کمیاب نمونه‌ها در نمودارهای عنکبوتی که نسبت به پوسته بالایی به‌نجار سازی شده‌اند (شکل ۲۶)، بیانگر غنی شدگی باز هم بیشتر عناصری همانند Sr، Ba و Rb (با خاصیت لیتوفیلی) نسبت به پوسته بالایی است و این پدیده تأکید دیگری بر آرایش ماگمای اولیه با مواد پوسته‌ای یا رسوبات فرورونده اقیانوسی است.

در نمودار TAS (Taylor & McLennan, 1985) که برای تعیین ماهیت ماگمایی دایکها مورد استفاده قرار گرفت، بیشتر نمونه‌ها به سری کلسیمی-قلیایی و تعداد کمتری به سری قلیایی تعلق دارند (شکل ۲۷). در نمودار Middlemost (1991) نیز بخش اعظم نمونه‌ها در قلمرو ماگمای قلیایی حد واسط قرار می‌گیرند (شکل ۲۸).

نمودار I.A در مقابل SiO<sub>2</sub> نشان می‌دهد که تعداد زیادی از دایکهای منطقه به سری پتاسیمی و تعداد کمتری از آنها به سری سدیمی تعلق دارند (شکل ۲۹). در نمودار K<sub>2</sub>O در مقابل SiO<sub>2</sub> (Muller (1997) & Groves، بیشتر نمونه‌ها ویژگی پتاسیمی و شوشونیتی و تعداد اندکی خوی کلسیمی-قلیایی سرشار از پتاسیم دارند (شکل ۳۰).

#### ۵ - موقعیت زمین‌ساختی جایگزینی دایکها

در نمودارهای سلسله مراتبی که توسط Muller & Groves (1997) برای تشخیص موقعیت زمین‌ساختی ماگمای پتاسیمی ارائه شده است، نمونه‌های مورد مطالعه سه خاستگاه PAP (کمانهای پس از برخورد)، CAP (کمانهای ماگمایی حاشیه‌ی قاره‌ای) و LOP (جزایر کمانی تأخیری) را نشان می‌دهند (شکل‌های ۳۱ تا ۳۳).

- و بالاخره وجود ساخت ساعت شنی در کلینوپیروکسنهای دایکهای بازالتی و تفریتی: چنین ساختاری ناشی از جذب انتخابی مقادیر زیادی کاتیون Ti<sup>4+</sup> در فضاهای خالی M<sub>1</sub> (با عدد هم‌ارایی ۶) و M<sub>2</sub> (با عدد هم‌ارایی ۸) در سطح (۰۰۱) بلورهای پیروکسن است (Shelly, 1993). این ساختار هنگامی گسترش می‌یابد که رشد بلور نسبتاً سریع بوده باشد (Carpenter, 1980). با توجه به رابطه معکوس بین سرعت رشد بلور و تعداد هستکهای تبلور می‌توان نتیجه گرفت که پیروکسنهای نوع تیتان اوژیت در مراحل اولیه تفریق و از یک ماگمای سرشار از تیتان (ماگمای مافیک قلیایی) متبلور شده‌اند.

#### ۳-۷ - نامگذاری شیمیایی سنگها

در نمودارهای Cox et al. (1979) بیشتر نمونه‌ها در محدوده بازالت، تراکی آندزیت بازالتی، هاوانی‌ایت، موژآریت، بنموریت و تعدادی از آنها در قلمرو تراکیت، آندزیت و فنوتفریت قرار می‌گیرند (شکل ۱۸). در نمودار قلیایی در مقابل سیلیس (Middlemost, 1994) نیز نمونه‌های مورد مطالعه در قلمرو بازالت، تراکی آندزیت بازالتی، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت، آندزیت و تراکیت و تعدادی از آنها نیز در محدوده تفریت، فنوتفریت و تفری فنولیت واقع می‌شوند (شکل ۱۹).

#### ۴-ژئوشیمی

برای تعیین قرابت ماگمایی بین نمونه‌های مورد بررسی از نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر عدد منیزیم و شاخص لارسن و نمودار تغییرات عناصر فرعی و کمیاب در برابر MgO استفاده شد (شکل‌های ۲۰ تا ۲۲). تحلیل این نمودارها نشان می‌دهد که:

- تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نمونه‌ها از روندهای معین و نسبتاً منظمی در نمودارها پیروی می‌کند که بیانگر تشکیل آنها از یک ماگما و تأثیر تفریق بلورین به عنوان عامل مهم در تکوین ماگمای دایکها است.

- وجود تعدادی از نمونه‌ها در بخش منفی شاخص لارسن، بیانگر تبلور کانیهای فرومنیزین و پلاژیوکلازهای کلسیمی در مراحل نخستین تفریق یک ماگمای بازی است. سنگهای حاصل اولترابازی یا بازی بوده و یا به گروه سنگهای قلیایی مافیک و نااشباع از سیلیس تعلق دارند. تعداد بیشتر از نمونه‌ها نیز دارای L.I > 0 هستند که پیشرفت فرایند تفریق و ورود مقادیر زیادتری از SiO<sub>2</sub> و K<sub>2</sub>O را به فازهای بلورین نشان می‌دهد. یک نتیجه چنین آرایشی در موقعیت قرارگیری نمونه‌ها این است که اغلب آنها اشباع یا تقریباً اشباع از سیلیس بوده و خوی پتاسیک دارند.

- کاهش یا افزایشی که در تغییرات عناصر فرعی و کمیاب نسبت به MgO دیده می‌شود ناشی از جانشینی سیستماتیک این عناصر در ساختمان کانیهای مختلف بوده و تأییدی بر وقوع تفریق بلورین در ماگماست.

پدیده‌های AFC (یا احتمالاً RTF)، ماهیت ماگمای تزریق شده در شکستگیهای موجود را تغییر داده است.

توالی، تداخل و یا معکوس شدگی این رژیمهای زمین‌ساختی مانند آنچه در کافت ریوگرانده دیده می‌شود (Aber, 2002) منجر به پیچیده‌تر شدن هر چه بیشتر تفریق ماگمایی، پراکندگی موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای ژئوشیمیایی و تنوع سنگ شناختی دایکهای منطقه شده است.

بدیهی است که کشش مذکور آن چنان شدید نبوده است که به کافتش کلاسیک همانند خاور آفریقا یا تشکیل گرابن (مانند گرابن راین) منجر شود، اما توانسته است هندسه شکستگیها و روند دایکها را کنترل کرده و در بعضی از موارد بیگانه سنگهایی را از نواحی عمیق یا ماگماهای مافیک و قلیایی را تا سطح هدایت کند.

### نتیجه گیری

۱- دایکهای منطقه ترکیب سنگ‌شناسی متنوعی داشته و شواهدی از آمیختگی و آرایش ماگمایی را نشان می‌دهند.

۲- شیب نسبتاً قائم دایکهای منطقه نشان می‌دهد که آنها در محیطی که از نظر سنگ‌شناسی همگن بوده‌اند، جایگزین شده‌اند این واحد در منطقه عمدتاً برشهای آتشفشانی ائوسن است.

۳- دایکها دارای یک روند چیره NNE-SSW و یک روند فرعی NW-SE هستند. در مشاهدات صحرایی نیز بیشتر آنها موازی یا نیمه موازی بوده و اندکی از آنها حالت متقاطع دارند. این شواهد دست کم دو مرحله زمانی را برای جایگزینی دایکها به اثبات می‌رساند.

۴- تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی و کمیاب در مقابل ضرایب سنگ‌شناختی نشان دهنده تأثیر تفریق بلورین به عنوان عامل مهم در تحول ماگمای سازنده دایکهاست.

۵- نمودارهای ژئوشیمیایی خوی غالب پتاسیمی و شوشونیتی را برای ماگمای سازنده دایکها نشان می‌دهند.

۶- غنی شدگی محسوس ماگمای دایکها از LILE و REE بیانگر منشأ گرفتن آنها از گداز بخشی ناچیز یک منبع سرشار از مواد ناسازگار یا گوشته متاسوماتیزه است. همچنین غنی شدگی عناصری مانند Ba، K، Sr، Rb و Th می‌تواند ناشی از آرایش ماگمای نخستین با مواد پوسته‌ای و احتمالاً آرایش و آمیختگی ماگمایی بوده باشد. فروافتادگیهایی که در محل Ti و Nb نمونه‌ها در نمودارهای عنکبوتی وجود دارد تأثیر سیالات فرورانشی را در تکوین ماگمایی دایکها نشان می‌دهند.

۷- نمودارهای تشخیصی و نمودارهای عنکبوتی سه موقعیت زمین‌ساختی، کمانهای پس از برخورد، کمانهای حاشیه قاره‌ای و جزایر کمانی را برای جایگزینی دایکها نشان می‌دهند.

با توجه به روند رو به کاهش نسبت Ti/Zr در نمودار Ti/Zr - Zr (شکل ۳۴)، مشخص می‌شود که منشأ ماگمایی سازنده دایکها از یک موقعیت کششی به موقعیت فرورانشی یا برخوردی تحول یافته است.

در نمودار Ti / Y در برابر Rb / Ba، موقعیت نمونه‌های مربوط به دایکهای منطقه در قلمرو فلات تبت و دامنه کافت ریوگرانده واقع شود (شکل ۳۵)، سنگهای پتاسیمی ناحیه اسپار تا در باختر ترکیه نیز محدوده مشابهی را در این نمودار اشغال می‌کند (Alici et al., 1998). و بالاخره نمودارهای عنکبوتی که برای دایکهای منطقه رسم شده، شباهت زیادی با ایالت‌های ماگمایی پتاسیمی نوع کمانهای حاشیه قاره‌ای، کمانهای پس از برخورد و جزایر کمانی نشان می‌دهند (شکل ۳۶).

### ۶- بحث

چگالی دایکهای موجود در منطقه (۲/۱ در هر کیلومتر مربع) آنها را در ردیف فوج دایکها قرار می‌دهد. تشکیل فوج دایکها نیازمند عملکرد رژیم زمین‌ساخت کششی در پوسته قبل از جایگزینی آنهاست (Bear et al., 1995) و در این حالت، چگالی دایکها با مقدار بیشینه کشش ارتباط مستقیم دارد.

گسستگیها و درزه‌های حاصل از چنین تنشهایی در پوسته، در صورتی که از ژرفای کافی برخوردار باشند، می‌توانند معبری برای انتقال ماگماهای قلیایی از منابع گوشته بالایی به سطح بوده باشند. داده‌های تجزیه شیمیایی نمونه‌ها در نمودارهای مختلف ژئوشیمیایی یک ماهیت شوشونیتی و پتاسیمی را برای ماگمای دایکها نشان می‌دهند. دیدگاههای موجود در مورد ژئودینامیک سنگهای شوشونیتی ایران متفاوت است و در حالی که (Innocenti et al., 1982), Berberian & King (1981, 1983), (Bauman et al., 1985), Moine-Vaziri (1985), Alavi (1996), (Spies et al., 1985)، شوشونیت‌های منطقه مورد مطالعه خود را به

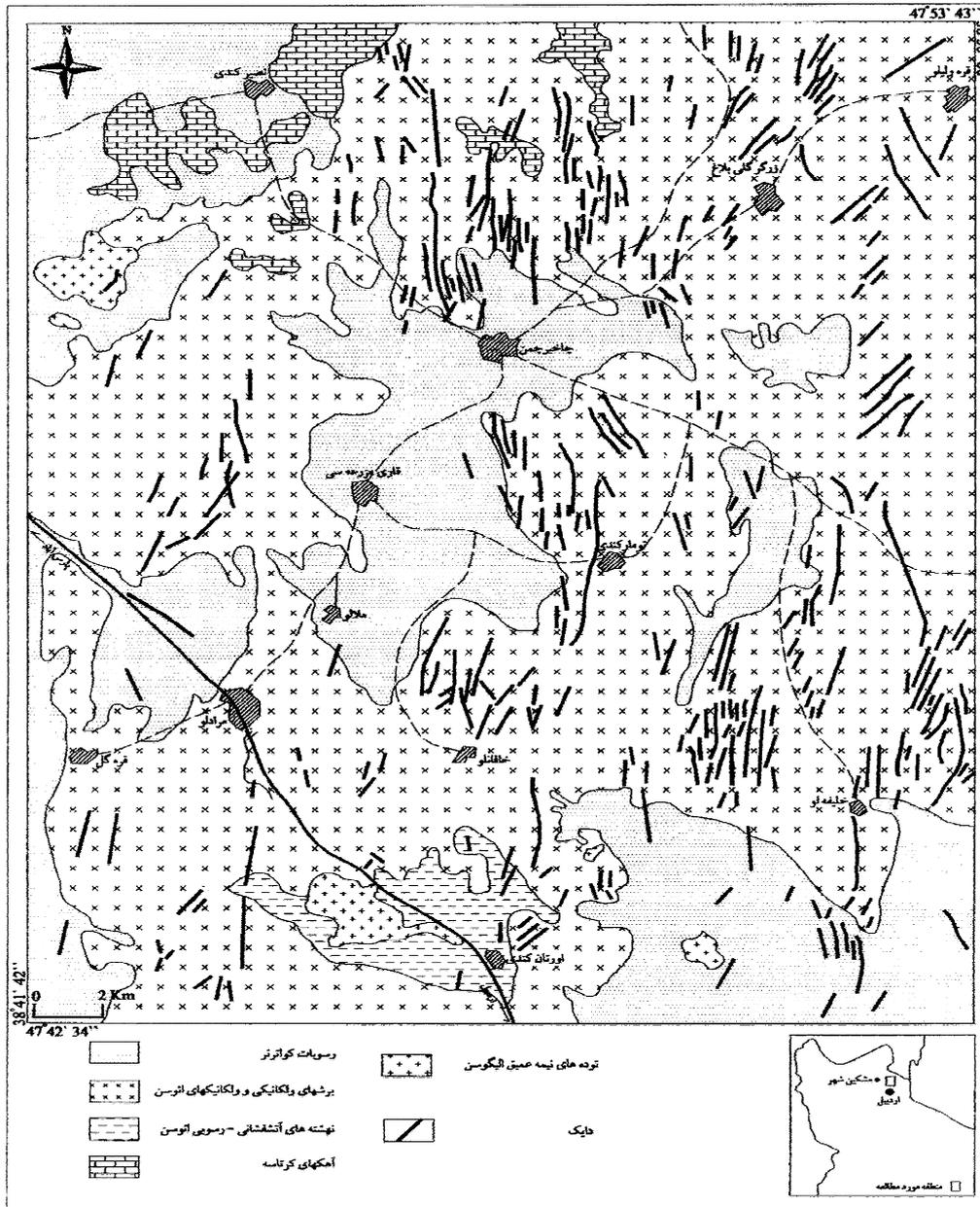
سامانه فرورانشی نسبت داده‌اند، (Lescuyer & Riou (1976), Amidi (1977), Didon & Gemaine (1976), Emami (1981), و ثوقی عابدینی و همکاران (۱۳۷۵) به موقعیت کافی تولید سنگهای شوشونیتی در مناطق مورد مطالعه خود معتقد هستند.

در مطالعه حاضر نمودارهای تشخیصی زمین‌ساختی - ماگمایی، موقعیت کمانهای پس از برخورد و کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای و جزایر کمانی را برای دایکها نشان می‌دهند.

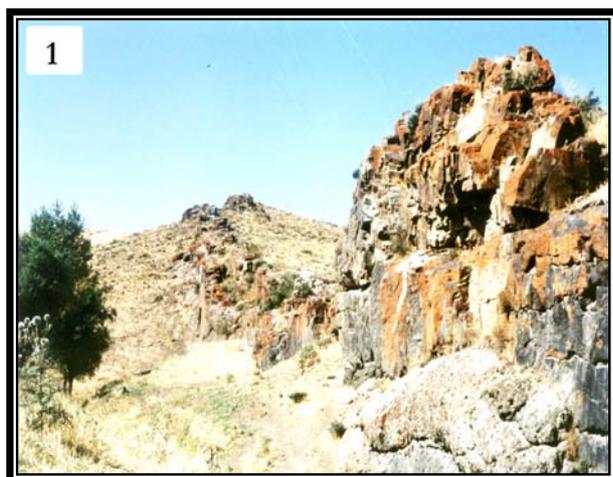
جمع بندی یافته‌های فوق این حقیقت را آشکار می‌سازد که هر چند تولید ماگمای سازنده دایکها در یک محیط کششی و از یک منشأ گوشته‌ای غنی LILE شروع می‌شود، اما تحولات بعدی یعنی آمیختگی با ماگماهایی که با یک پوسته فرورانشی قدیمی در ارتباط بوده است و

تداخل رژیمهای کشتی و فرورانشی، تفریق و تحول ماگمای نخستین در محفظه‌های ماگمایی و تأثیر متقابل و گاه همزمان این عوامل نقش داشته‌اند.

۸- به نظر می‌رسد سنگ‌زایی و ژئودینامیک دایکهای منطقه، نه از یک الگوی ساده بلکه از مدل پیچیده‌ای پیروی می‌کند که در آن گداز بخشی ناچیز گوه‌گوشه‌ای متاسوماتیزه، ذوب پوسته فرورانش قدیمی، تحول یا



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده منطقه مرادلو



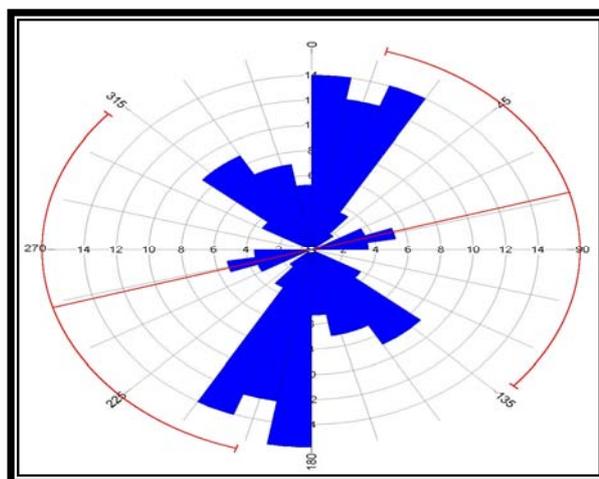
شکل ۳- درزه‌های منشوری عمود بر روند دایک



شکل ۲- برنزد یک دایک قائم در زمینه برشهای آتشفشانی



شکل ۴- نمودار گل سرخی روند - تعداد دایکهای مطالعه شده



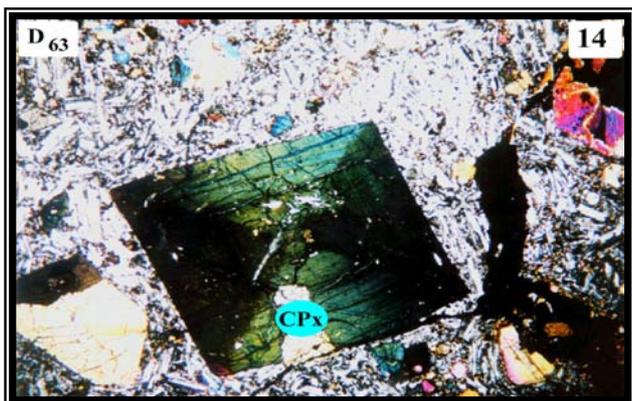
شکل ۵- دوسامانه دایک موازی، شمال باختری ارتان کندی



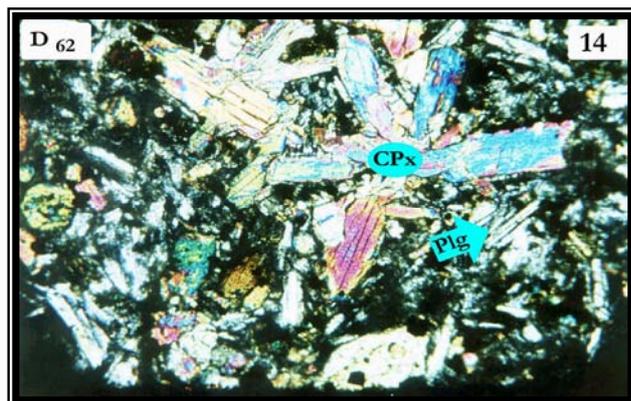
شکل ۷- تغییر روند دایک بر اثر گسلش، مرادلو



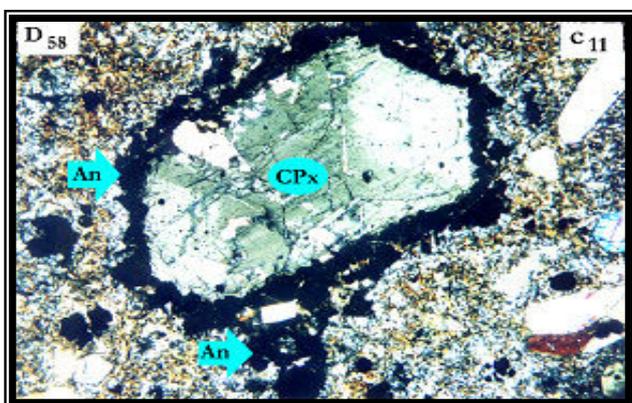
شکل ۶- دایکهای متقاطع، شمال باختری خافانلو



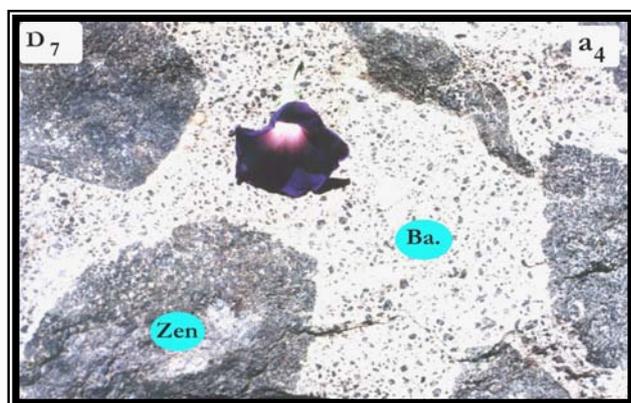
شکل ۹- زون بندی و بافت ساعت شنی در درشت بلور خودشکل پیروکسن از یک دایک بازالتی با بافت پورفیری و خمیره میان دانه‌ای. (XPL)



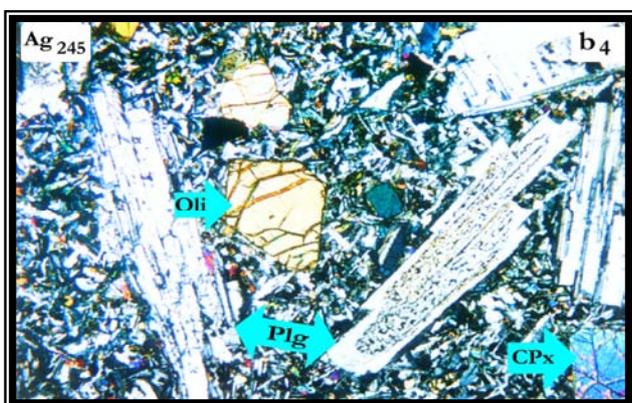
شکل ۸- دوقلوی ستاره برفی در پیروکسنهای دایک بازالتی. (XPL)



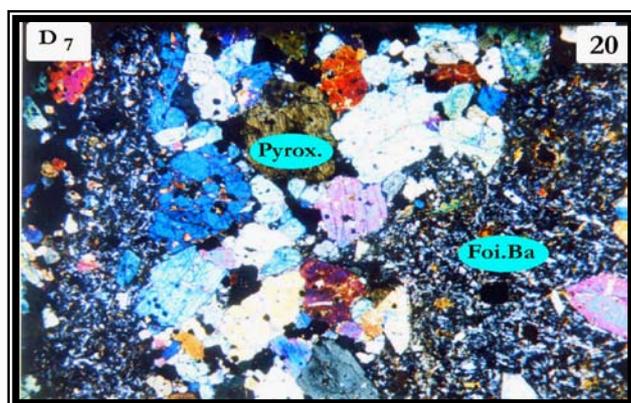
شکل ۱۱- رشد تأخیری آنالسیم در اطراف درشت بلور پیروکسن و تحلیل رفتگی سطوح بلورین آن، دایک تفریقی. (XPL)



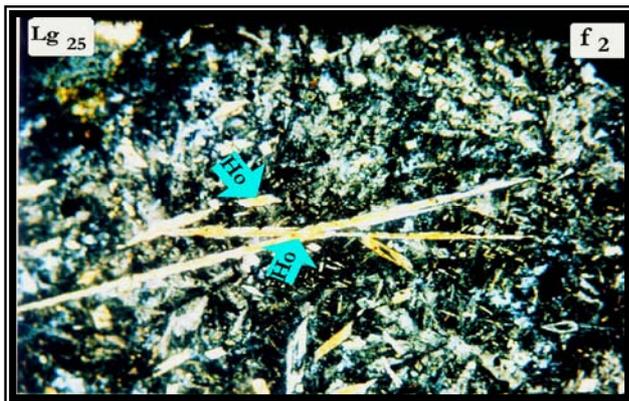
شکل ۱۰- قطعات درشت بیگانه سنگهای پیروکسنیتی با حاشیه‌های تیز در دایک بازالتی. (XPL)



شکل ۱۳- درشت بلورهای پلاژیوکلاز با بافت غربالی و حاشیه جذب مجدد و الیونهای خودشکل و ایدنگستی شده از دایک الیون دلریتی. (XPL)



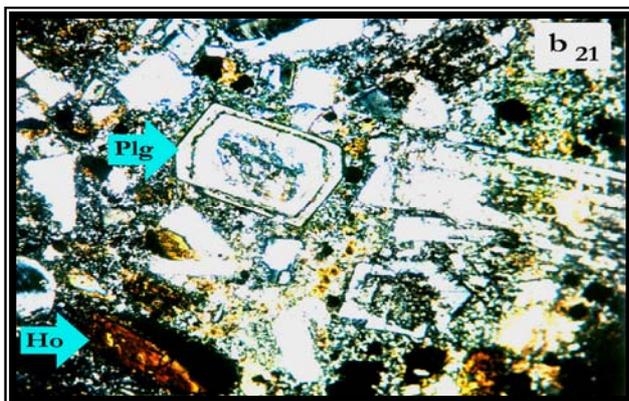
شکل ۱۲- بیگانه سنگ پیروکسنیتی (Pyrox) در فوئید بازالت. (XPL)



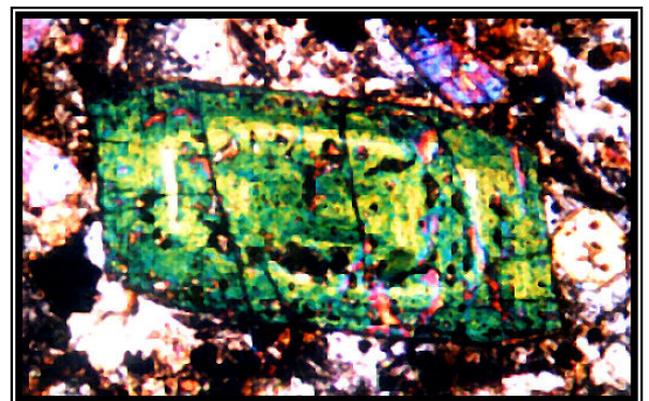
شکل ۱۵- تیغه‌های منشوری کشیده هورنبلند در هورنبلند لامپروفیر با بافت میکروگرونیوپورفیری. (XPL)



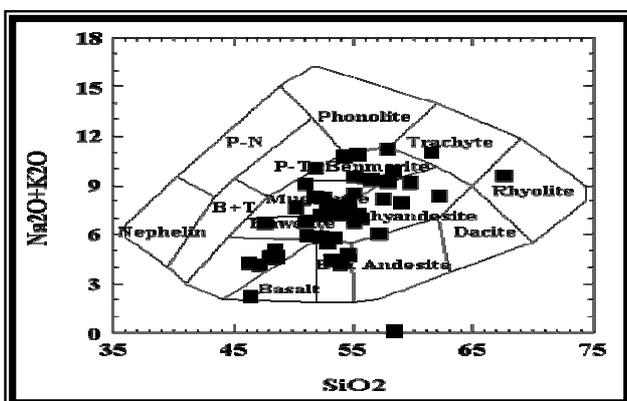
شکل ۱۴- درشت بلور سانیدین با میانبارهای متعدد پلاژیوکلاز (بافت پوی کلیتیک) و حاشیه تحلیل رفته، دایک تراکیتی. (XPL)



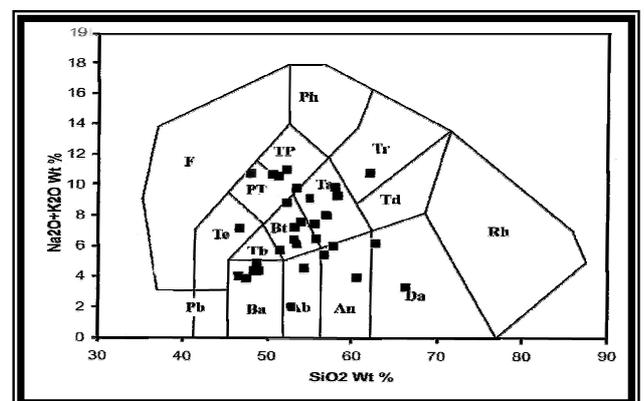
شکل ۱۷- تمرکز خطوط‌های میانبار در حد فاصل نوارهای رشد منطقه‌ای در کلینوپیروکسن. (XPL)



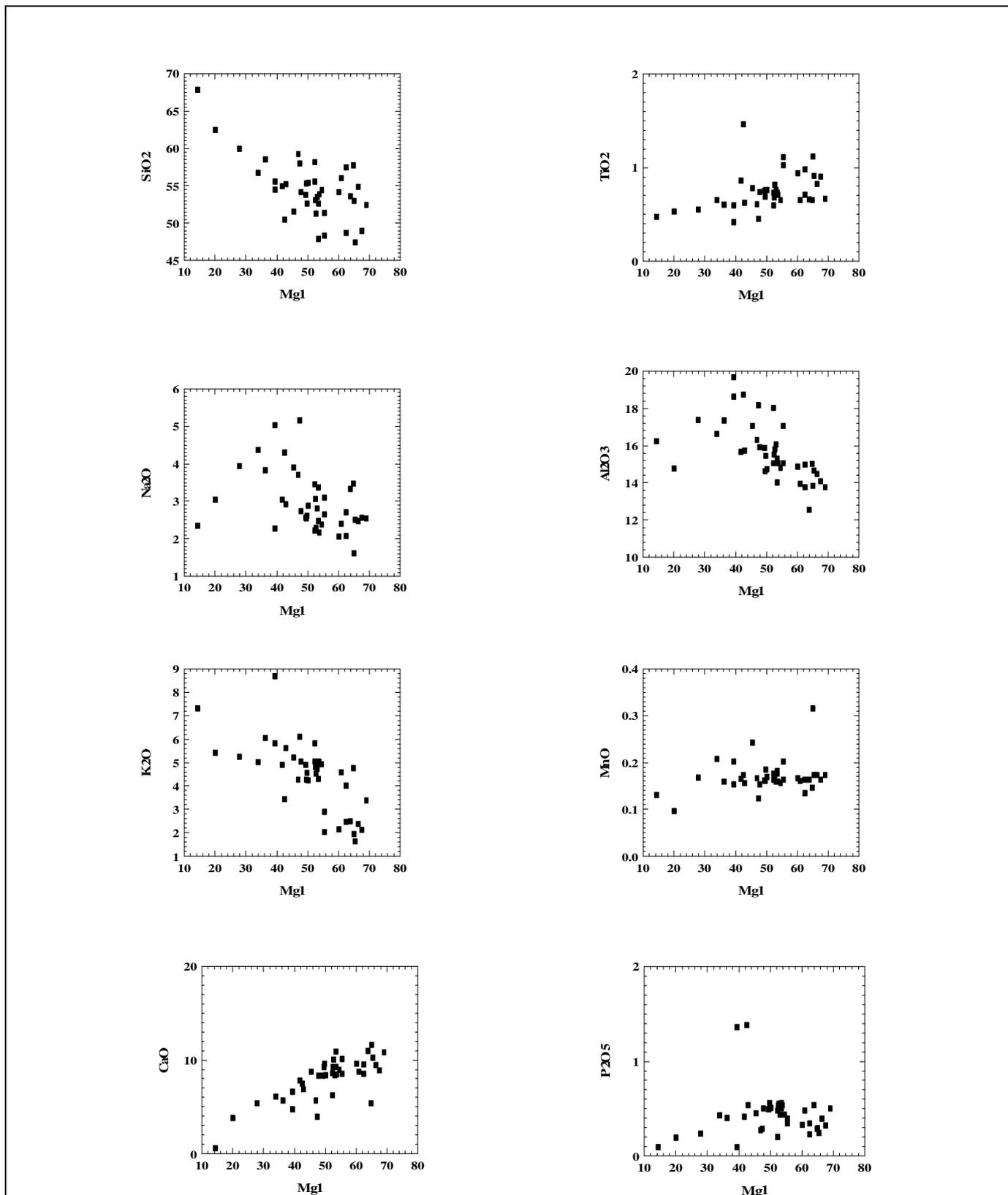
شکل ۱۶- زون بندی، حاشیه غبارآلود و جذب مجدد بلورین در درشت بلور پلاژیوکلاز، دایک آندزیتی. (XPL)



شکل ۱۹- موقعیت قرارگیری نمونه‌هایی از دایکهای مورد مطالعه در نمودار (Middlemost (1994)

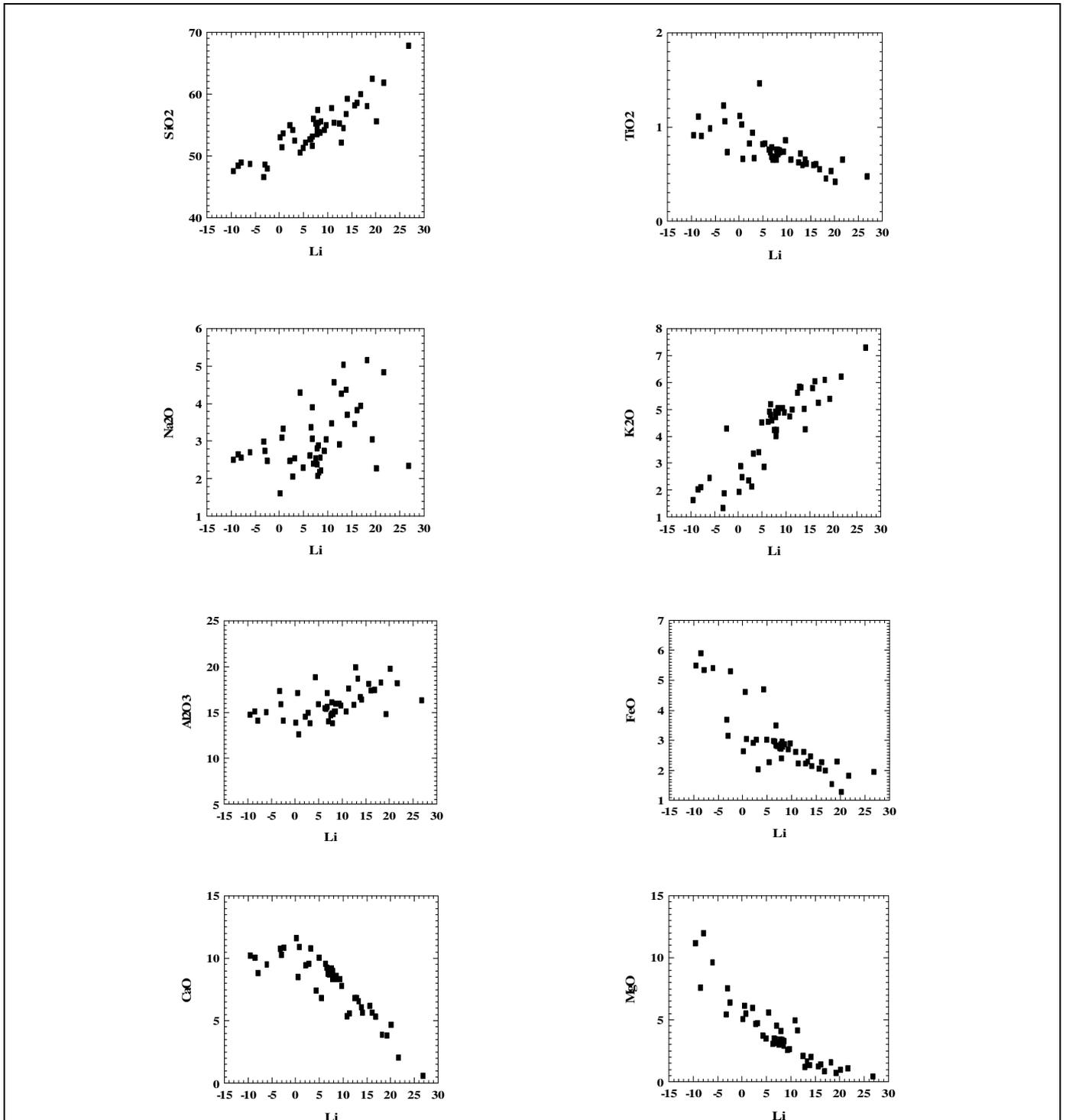


شکل ۱۸- موقعیت قرارگیری نمونه‌هایی از دایکهای مورد مطالعه در نمودار Cox et al.(1979)

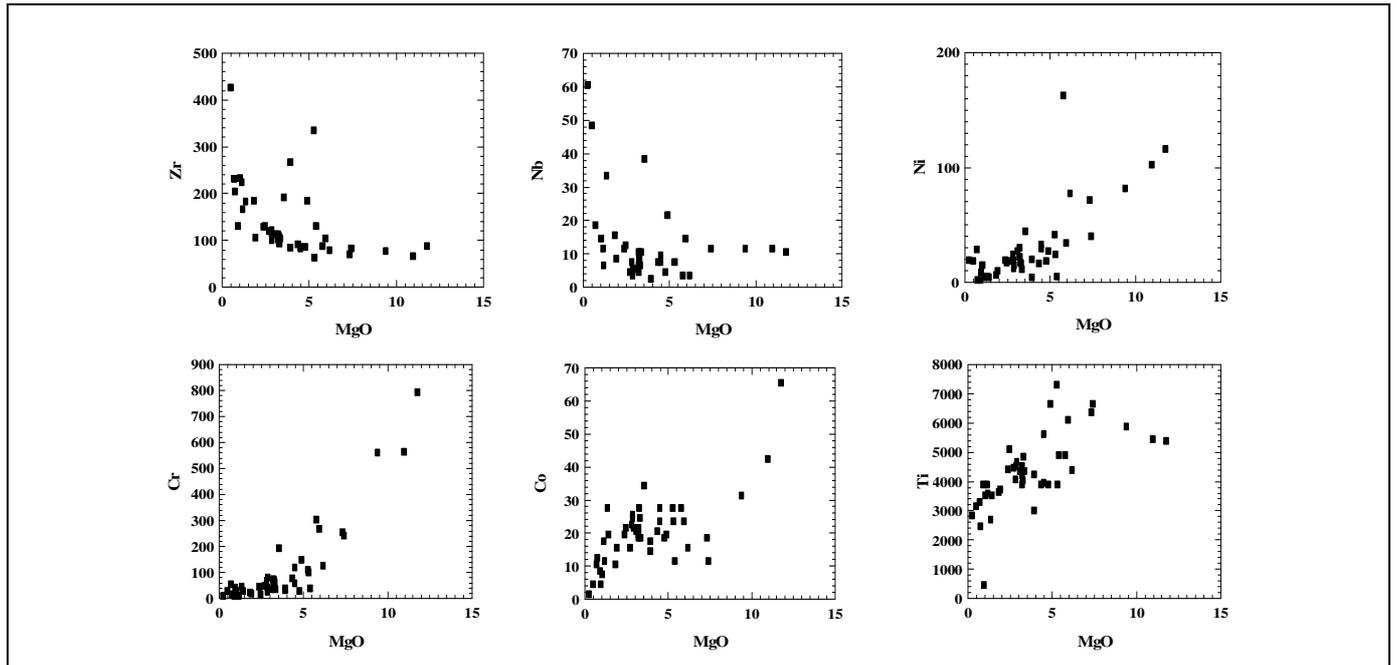


شکل ۲۰- موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه از دایکها در نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر عدد منیزیم

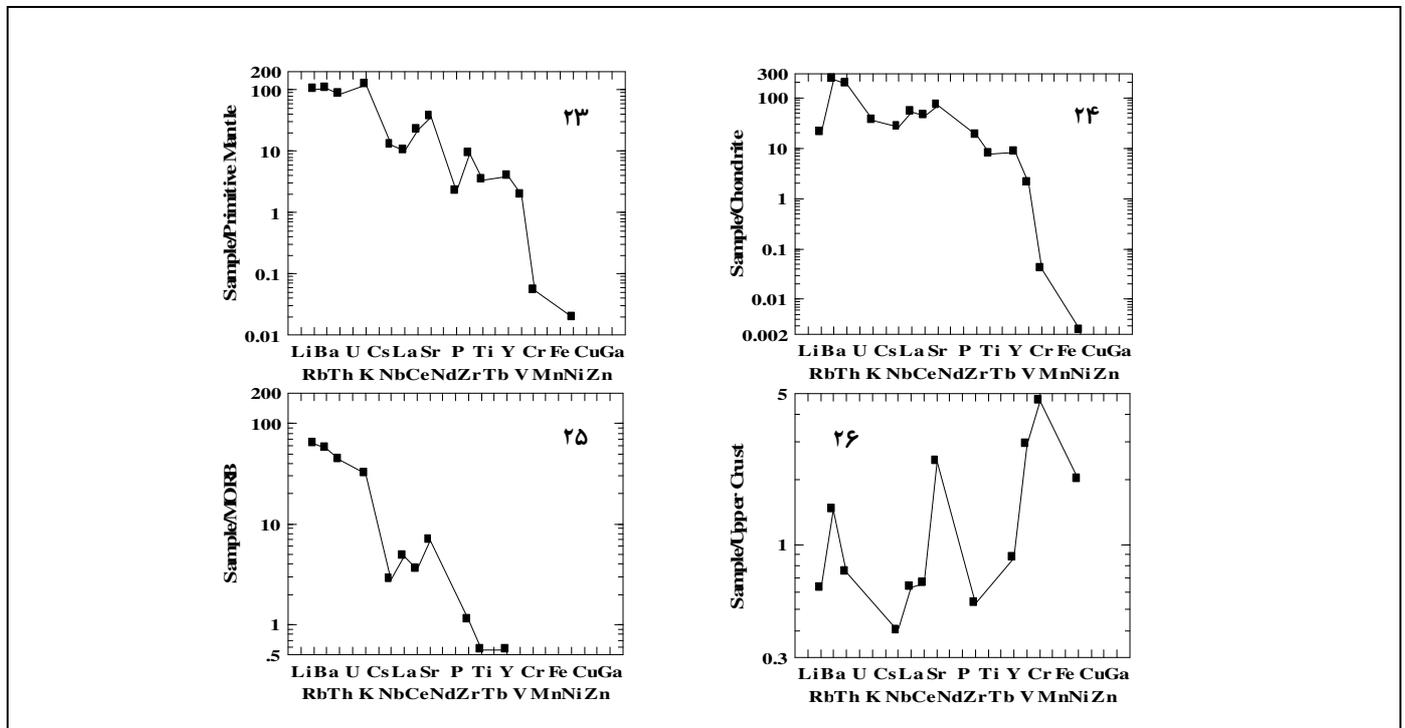
$$Mg^{\#} = Mg^{+2} / (Fe^{+2} + Mg^{+2})$$



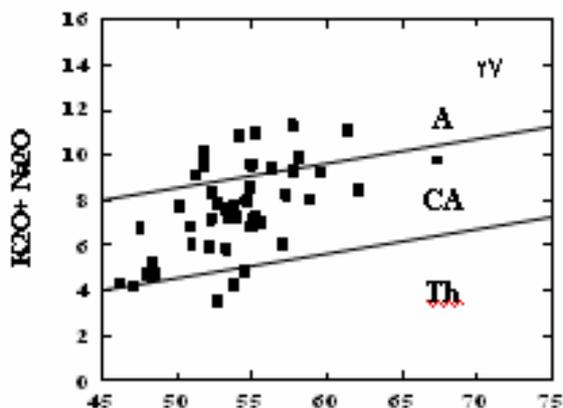
شکل ۲۱- موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه از دایکها در نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر شاخص لارسن (L.I)



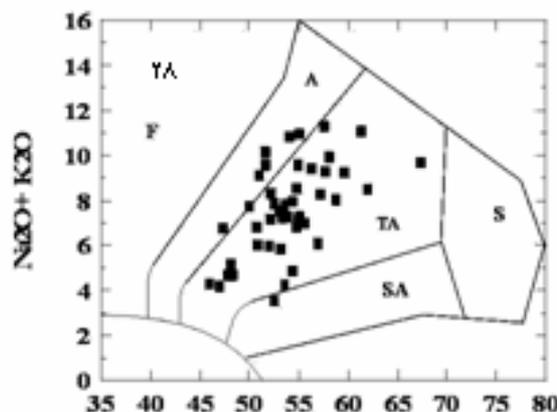
شکل ۲۲ - موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه دایکها در نمودارهای تغییرات عناصر فرعی و کمیاب در برابر MgO



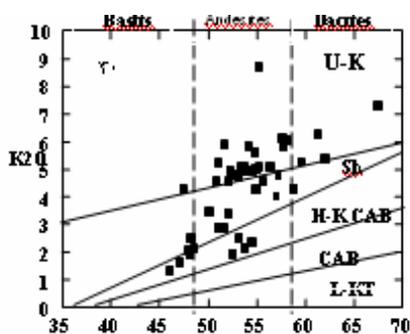
شکل‌های ۲۳ تا ۲۶ - نمودارهای عنکبوتی نشان دهنده الگوی بهنجار شده عناصر کمیاب دایکهای منطقه نسبت به MORB، کندریت، گوشته نخستین و پوسته بالایی



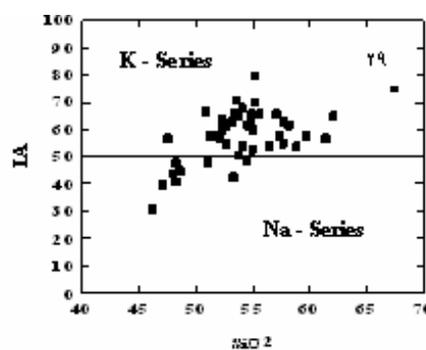
شکل ۲۷ - موقعیت قرار گیری نمونه‌های دایکها در نمودار TAS، (Taylor & McLennan, 1985) برای تعیین ماهیت ماگمایی



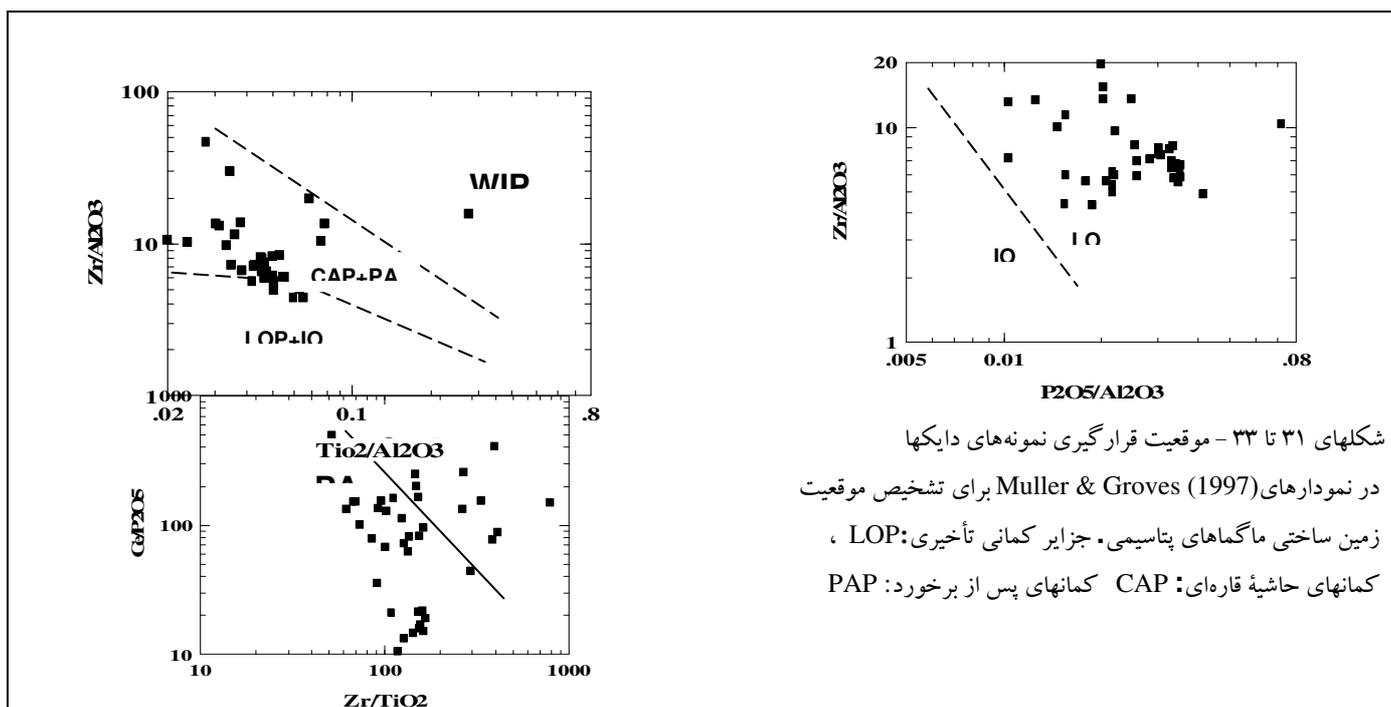
شکل ۲۸ - موقعیت قرار گیری نمونه‌های دایکها در نمودار TAS، (Middlemost (1991) برای تعیین ماهیت ماگمایی



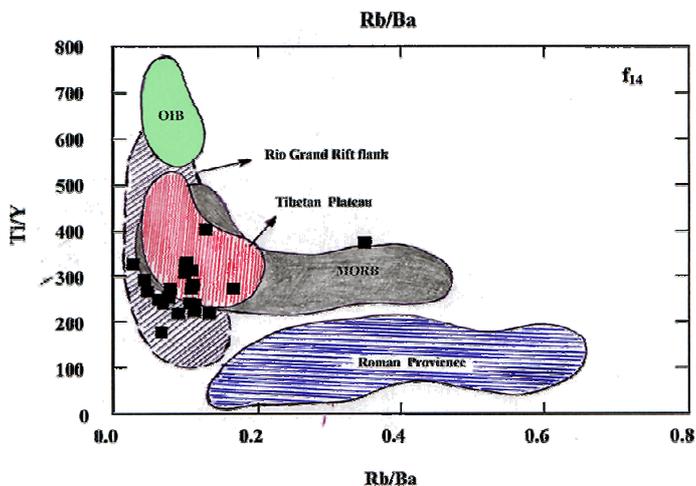
شکل ۳۰ - موقعیت قرار گیری نمونه‌های دایکها در نمودار  $K_2O - SiO_2$  (Muller & Groves, 1997) برای تعیین ویژگی پتاسیمی سنگها



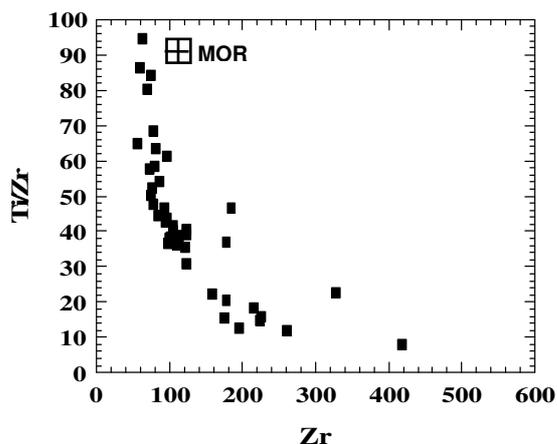
شکل ۲۹ - موقعیت قرار گیری نمونه‌های دایکها در نمودار I.A. در برابر  $SiO_2$  برای تعیین ویژگی سدیمی و پتاسیمی سنگها



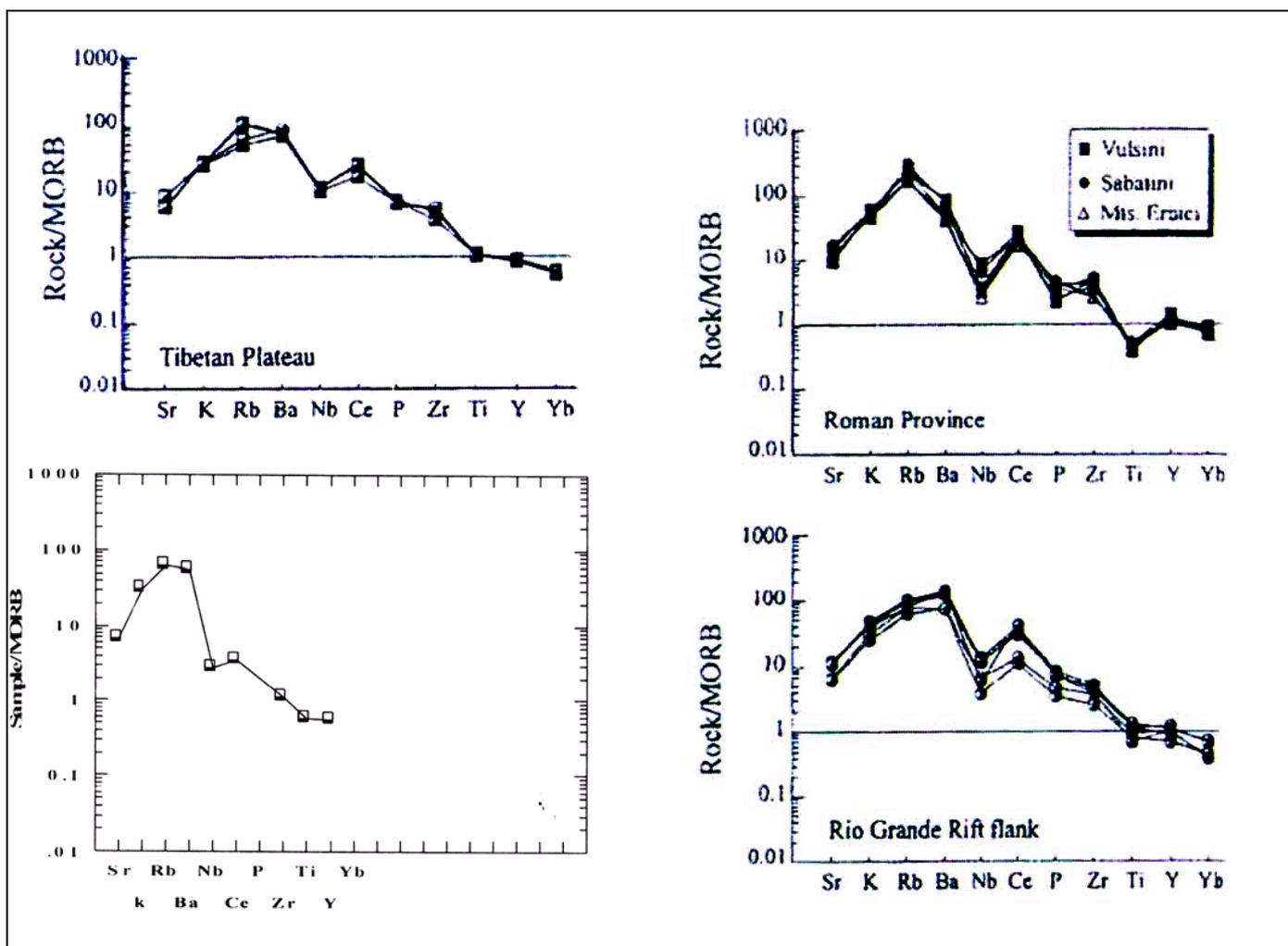
شکل‌های ۳۱ تا ۳۳ - موقعیت قرار گیری نمونه‌های دایکها در نمودارهای (Muller & Groves (1997) برای تشخیص موقعیت زمین ساختی ماگماهای پتاسیمی - جزایر کمانی تأخیری: LOP، کمانهای حاشیه قاره‌ای: CAP کمانهای پس از برخورد: PAP،



شکل ۳۵ - موقعیت قرارگیری نمونه‌های دایکها در نمودار  
Alici et al. (1998) ، Ti/Y - Rb/Ba



شکل ۳۴ - موقعیت قرارگیری نمونه‌های دایکها در نمودار  
Price et al. (1999) ، Ti/Zr - Zr



شکل ۳۶ - مقایسه الگوی نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب دایکها که نسبت به MORB بهنجار شده‌اند با نمودارهای عنکبوتی از مناطق مختلف زمین‌ساختی جهان (منابع اطلاعاتی همانند شکل ۳۵ است).

## کتابنگاری

- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش لاهرود، ۱۳۷۰ - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
- حلمی، ف.، ۱۳۷۳ - سنگهای پتاسیک و اولتراپتاسیک و موقعیت این سنگها در ایران، فصلنامه علوم زمین، شماره ۱۳، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- عطاپور، ح.، آفتابی، ع.، ۱۳۷۴ - توزیع جغرافیایی و ویژگیهای سنگ شناسی و ژئوشیمیایی سنگهای شوشونیتی ایران، فصلنامه علوم زمین شماره ۱۵ و ۱۶ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معین وزیری، ح.، ۱۳۷۵ - دیباچه‌ای بر ماگماتیسم ایران - دانشگاه تربیت معلم، ۴۴۰ ص.
- معین وزیری، ح.، ۱۳۸۲ - چند نقطه عطف در تاریخچه تکنولوژی ماگماتیسم ایران، مجله علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۴۹ و ۵۰، صفحه ۳۲-۳۹.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵ - دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران - سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص.
- وثوقی عابدینی، م. و همکاران، ۱۳۷۵ - بررسی پترولوژیکی سنگهای آذرین و پتانسیل یابی مواد معدنی شمال و خاور منطقه طالقان، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۶۷ صفحه.

## References

- Aber, J.S., 2002- Mexico 101 Go 568 Rio Grand rift system. htm.
- Alavi, M., 1996 - Tectonostratigraphic Synthesis and Structural style of Alborz Mountain System in Northern Iran, J. Geodynamic, 21, 1-33 pp.
- Alici, P., Temel, A., Gourgaud, A., Kieffer, G. and Gundogdu, M.N., 1998 - Petrology and geochemistry of Potassic Rocks in Golcuk area (Isparta), SW Turkey: Geotherm. Res. 85, 423-446 pp.
- Amidi, S.M., 1977- Etude geologique de la region de Natan 2-Surk (Iran, central), Thesis Ph.D., Grenoble 316 p.
- Bauman, A., Spies, O. & Lensch, G., 1985- Strontium isotopic composition of post ophiolitic tertiary volcanics between Kashmar-Sabzevar and Qucham (NE Iran). G.S.I. Re. No.51: 267- 276.
- Bear, G. & Heiman, A., 1995 - Physics and chemistry of dykes. Balkema, Rotterdam, Brookfield 337 pp.
- Berberian, M. & King, G.C.P., 1981- Towards a paleogeography and Tectonic Evolution of Iran, Can. J. Earth sci., 18: 210-265.
- Berberian, M., 1983a- The southern Caspian: A compression floored by a trapped modified oceanic crust, Can. J. Earth Sci., 20: 163-183.
- Best, M.G. & Christiansen, E.H., 2001- Igneous petrology. Blackwell and Science, 458 pp.
- Carpenter, M.A., 1980- Composition and cation order variation in a sector-zoned blue schist pyroxene, AM. Min. 65: 313-20.
- Cox, K.G., Bell, J.D. & Pankhurst, R.J., 1979- The interpretation of igneous rocks. London Univ. Hyman Ltd. 450 pp.
- Didon, J., Gemaine, Y.M., 1976- Le Sabalan Volcan plioquaternaire del Azerbaijan oriental (Iran), Etude geologique et petrographique del edfic et de son environmental regional thesis docteur du 3c cycle, Unv, Grenoble, France, pp.304.
- Dobosi, G. & Jenner, G.A., 1999- Petrologic implications of trace element variation in Clinopyroxene megacrysts from Nograd volcanic province, north Hungary: A study by laser ablation microprobe inductivity coupled plasma- mass spectrometry, Lithos. 46: 731-749.
- Emami, M.H., 1981- Geologie de la region de Qom- Aran (Iran). Contribution a letude dynamic at Geochemique du, Volcanism tertiaire del Iran, Central. Ph. D. These, univ. Grenoble, France, 489 p.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Villari, L., 1982 - Anatolia and North - Western Iran, Andesites, R. S. Thorpe. Jhonwiley & Sons, pp. 327-349.
- Larsen, L.S., 1938- Some new variation diagrams for groups of igneous rocks, J. Geol., 46: 505-520.
- Lescuyer, J.L., Riou, R., 1976- Geologie de la region de Mianeh (Azerbaijan). Contribution al' etude da Volcanism tertiaire de L'Iran, Thesis, Grenoble Univ. Grenoble, France, 232P.
- Middlemost, E.A.K., 1994 - Naming material in Magma/Igneous rocks system. Earth Sci. Rev. 37: 215- 224.
- Middlemost, E.A.K., 1991- Towards a comprehensive classification of igneous rocks and Magma, Earth sci. Rev. 31: 73-78.
- Moine-Vaziri, H., 1985- Volcanisme tertiaire et quaternaire en Iran.. Thesis d'Etat. Univ. Paris- Sud, OR.Say.
- Muller, D. & Groves, D., 1997 - Potassic Igneous Rocks and Associated Gold-Copper mineralization, Springer, 238 pp.
- Pognante, U., 1991- Shoshonitic and ultrapotassic post collisional dykes from northern Karakorm (Sinkiong, China). Lithos, Vol. 26, No. 3-4, pp. 305-317.
- Price, R.C., Stewart, R.B., Woodhead, J.D. & Smith, I.E., 1999- Petrogenesis of High - K Arc Magmas: Evidence from Egmont Volcano, North Island, New Zealand, J. Petrol. Vol. 40, No. 1, P. 167- 197.

- Sakhalin, M., Grapes, R., 1989- Zoned Clinopyroxens in Alkaline Basaltic Rocks, Research School of Earth Sciences, Victoria uni. Wellington, New Zeland (PDF).
- Sgarbi, P.B.A., Gaspar, J.C. & Valenca, J.G., 2000- Clinopyroxene from Brazilian Kamafugites, Lithos, 53: 101-116.
- Shelly, D., 1993- Igneous and Metamorphic rocks under the microscope, Chapman and Hall, 405 pp.
- Spies, O., Lensch, G., Mihm, A., 1958- Geochemistry of the post-ophiolitic tertiary volcanics between Sabzevar and Quchan (N E-Iran). Geol. Surv. Iran, Re. No.51, PP: 247-266
- Stocklin, J., 1968- Structural history and Tectonics of Iran. Am. Asso. of petroleum geologists Bull., 52 (7): 1229-1258.
- Strek, M.J., Dungan, M.A. & Malavassi, E., 2002- The role of Basalt replenishment in the generation of Basaltic Andesites of the ongoing activity at Arenal Volcano, Costa Rica: Evidence from Clinopyroxene and Spinel, Bull. Volcanol. 64, pp 316-327.
- Taylor, S.R. & McLennan, S.M., 1985- The continental crust: its composition and evolution. Blackwell, Oxford.
- Wright, T.L. & Helz, R.T., 1996- Differentiation and Magma mixing on Kilauea's east rift zone: Further look at the eruptions of 1955 and 1960. Bull. Volcanol. 57, 602-630.

\* دانشگاه پیام نور، مرکز اردبیل، ایران

\*\* دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

\* Payam-e-Noor University, Ardebil Branch, Iran

\*\* Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran