

## بررسی ویژگی‌های ژئوشیمی و محیط زمین ساختی آداکیت‌های کواترنری سبلان

اکرم عبدالاحدی؛ دانشجوی دکتری پترولوژی، دانشکده علوم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی،

تهران، ایران

سید جمال شیخ ذکریایی\*؛ استادیار، دانشکده علوم، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

زاهد موسوی؛ استادیار، دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی، مشکین شهر، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۰

### چکیده

فعالیت آتشفشانی کواترنر به عنوان آخرین تکاپوی ماگمایی در ایران تکامل بخش مخروط های آتشفشانی بزرگی همچون دماوند، سهند، سبلان، تفتان و بزمان و همچنین روانه های گدازه ای مانند بازالت های ماکو و بلوک لوت است. سبلان، عضو جوانی از مجموعه آتشفشانی سنوزوئیک، متعلق به کمان ماگمایی البرز (AMA) است. در کوه سبلان، مجموعه ای از سنگ های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، آندزیت بازالتی، داسیت، ریوداسیت و تراکی آندزیت وجود دارد. بافت این سنگ ها اغلب پورفیریتریک با خمیره میکرولیتی، پورفیریتریک حفره دار، گاهی گلوپورفیری، غربالی و تراکیتی می باشند. از کانی های اصلی می توان به پلاژیوکلاز و یک یا چند کانی مافیک مانند هورنبلند و پیروکسن اشاره کرد. کانی های ثانویه شامل کانی اوپاک، ایدنگزیت، کلریت و کلسیت است. در نمودارهای چند عنصری عادی شده، غنی شدگی نسبی K و Ba، Rb، و تهی شدگی نسبی Ta و Ti، Nb، حاکی از ماگماتیسم متأثر از فرایندهای فرورانشی است. این سنگ ها از نظر ترکیب شیمیایی عناصر اصلی مانند  $K_2O$ ،  $Na_2O$ ،  $MgO$ ،  $Mg$ ،  $SiO_2$ ،  $Al_2O_3$  و  $K_2O/Na_2O$  و ترکیب عناصر کمیاب مانند  $Cr$ ،  $Ni$ ،  $Y$ ،  $Yb$ ،  $Sr$ ،  $Rb$ ،  $Sr/Y$  و  $La/Yb$  در محدوده سنگ های آداکیتی قرار می گیرند. به علاوه ژئوشیمی این سنگ ها از جمله تمرکز  $Cr$ ،  $MgO$ ،  $Th$ ،  $Rb$ ،  $Th/Ce$  و  $K_2O/Na_2O$  با آداکیت های مشتق از ذوب بخشی ورقه اقیانوسی فرورانده شده هم خوانی بهتری دارد. براساس نمودارهای سنگ زادی، ماگمای آداکیتی سازنده این سنگ ها، از ذوب بخشی یک سنگ منبع اکلوزیتی یا گارنت آمفیبولیتی حاصل از دگرگونی ورقه اقیانوسی فرورانده شده نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، به وجود آمده است.

کلیدواژه‌ها: پترولوژی، PULL PARAT، پتروژنز، ایران.

## مقدمه

با اینکه برخی از زمین شناسان معتقدند که پدیده‌های آتشفشانی در دوره کواترنری اهمیت چندانی ندارند، ولی در این دوره، آتشفشانها فعالیت‌های زیادی داشته و گدازه های فراوان از آنها باقی مانده است. در ایران نیز فعالیت‌های آتشفشانی کواترنری از جمله سهند، سبلان و تفتان گزارش شده‌اند. با این حال، این فعالیت های ماگمایی در مقایسه با فعالیت ماگمایی ترشیری گسترش و شدت کمتری دارند و از دید ترکیب شیمیایی آلکالن تر هستند. به طور کلی، فعالیت آتشفشانی کواترنر بیشتر در شمال باختر و جنوب خاور ایران رخ داده است. سنگ‌های حدواسط تا اسیدی پلیوکواترنر در آذربایجان و در پیرامون سهند (که هم سن با آخرین فاز ماگمایی سهند هستند) از نوع آداکیتی بوده و به ذوب پوسته اقیانوسی فرورونده در ژرفاهای زیاد نسبت داده شده اند (Jahangiri, 2007; Omrani et al., 2008). آتشفشان سبلان در ۴۰ کیلومتری باختر - جنوب باختری شهر اردبیل و در ۲۵ کیلومتری جنوب خاوری مشکین شهر قرار دارد. این کوه در تقسیمات استانی عمدتاً در استان اردبیل قرار دارد، هرچند قسمتی از جنوب باختری آن در استان آذربایجان شرقی قرار می‌گیرد. خروج گنبدها و جریان های گرانبو از شکستگی های درون و حاشیه کالدرای دامنه‌های پرشیب، مورفولوژی خشنی به آن بخشیده است (فریدی، ۲۰۱۰). از نظر سنگ شناختی و ریخت شناسی، کوه سبلان، آتشفشانی از نوع مخروط‌های مرکب و متشکل از لایه های متناوبی از مواد آذرآواری و جریان‌های گدازه‌های است. طی فازهای متعدد انفجاری و خروج گدازه ، مواد آتشفشانی روی هم جای گرفته و مخروط‌های مرکبی را پدید آورده‌اند. گسله شمال تبریز یکی از مهمترین گسله راستالغز راستبر در شمالغرب ایران است. این گسله نقش مهمی در الگوی ژئودینامیکی شمال غرب ایران دارد. تاریخچه لرزه شناسی شمالغرب ایران در راستای این گسله متمرکز شده است (مرادی و همکاران، ۲۰۱۱). به عقیده سلیمانی و همکاران، ۲۰۱۵ این گسله جابجایی راستالغز و در انتها، جابجایی معکوس راستبر نشان میدهد. در مورد تشکیل این کوه تحقیقات گسترده‌ای صورت گرفته است. دلیک و همکاران، (۲۰۰۹) گسل-های عرضی<sup>۱</sup> فعال موازی با کوهزایی در منطقه پری عربین را عامل تشکیل فورانهای شکافی و استراتوولکانها را در اواخر سنوزوئیک مثل سبلان عنوان کرده است. وردل و همکارانش، (۲۰۱۱) علت ماگماتیسم پالئوژن و انبساط را توسط پدیده عقب راندگی<sup>۲</sup> یا عقب گرد<sup>۳</sup> صفحه فرورونده توجیه می‌کند که با فرورانش کم شیب صفحه دوره کرتاسه دنبال میشود. طی تحقیقات انجام پذیرفته اخیر حرکت های کششی محلی در منطقه غرب دریای مازندران تا به امروز نیز ادامه داشته و هر سال ۴ میلی متر به سمت شمال شرق و ۴ میلی متر به سمت جنوب غرب انبساط صورت میپذیرد: (میسون و همکاران، ۲۰۰۳). این آتشفشان تشکیل یک محفظه ماگمای عمیق بوده است اما تحت تأثیر آلودگی پوسته ، جذب و تبلور جزئی است (Didon and Gemain, 1976).

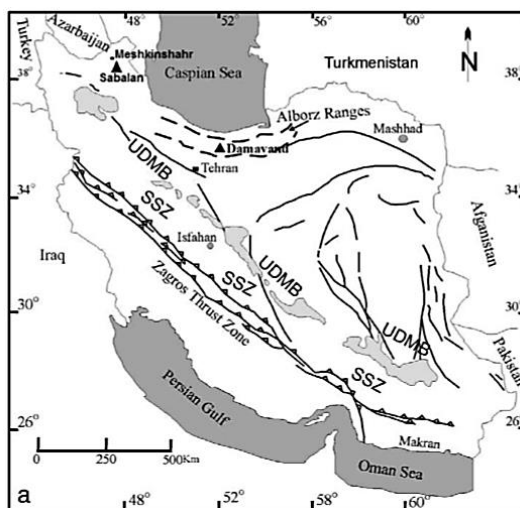
1 Transtensional

2 Slab rollback

3 Slab retreat

دره‌های این کوه سبلان در کواترنری از دو فرایند متفاوت متأثر شده‌اند. در این نواحی با توجه به تغییر ارتفاع و توپوگرافی زمین و اثرهای آن بر فشار جو، باد (سرعت، جهت و...)، دما شامل تغییرات روزانه و ماهانه و سالانه، بارش (مقدار، نوع و...)، زاویه ارتفاع خورشیدی و... در واقع فرایندهای اثرگذار ژئومورفولوژیک در یک وسعت کم؛ ولی ناهمگن تغییرات زیادی را در این کوهستان ایجاد کرده‌اند. دره‌های این کوهستان از قله تا ارتفاع ۲۴۰۰ متری عمیق‌تر و عریض‌تر شده‌اند و از این ارتفاع به بعد از عمق و عرض دره‌ها کاسته شده است. البته، در پایین‌تر از ارتفاع ۲۶۰۰ متری عمیق‌تر شدن دره‌ها در تمامی جهات یکنواخت نبوده؛ بلکه در جهات جنوبی ضریب عمیق شدن دره‌ها با کاهش ارتفاع نسبت به دامنه‌های شمالی بیشتر بوده است. بنابراین، با توجه به عرض جغرافیایی و ارتفاع سبلان، از قله تا ارتفاع ۲۴۰۰ متری فرایند آبی در فرم‌سازی اثر کمتری داشته و فرم‌های موجود نیز بیانگر فرایندهای یخچالی دوره کواترنر هستند و از این ارتفاع به بعد، فرایند آبی بخصوص در دامنه‌های جنوبی نقش بیشتری در پیدایش لندفرم‌ها داشته است (جعفری و رستم‌خانی، ۱۳۹۳). آداکیت‌ها سنگهای آذرین آندزیتی هستند که اولین بار توسط کی (۱۹۷۸) از جزیره آداک آلاسکا و بعد جزیره کوک (Futa & Stern, 1988; Stern & Kilian, 1996) و جزیره کروپامپا (Kay et al., 1993) در جنوب آند گزارش شد که ویژگیهای ژئوشیمیایی ویژه‌ای دارند. مارتین و همکاران (۲۰۰۵) ترکیب سنگهای آداکیتی را از هورنبلند آندزیت تا داسیت و ریولیت معرفی می‌کنند و فقط آن را آندزیتی نمی‌دانند. از لحاظ سنگ‌شناسی آداکیتها سری سنگهای حدواسط تا اسیدی هستند که دامنه‌ی تغییرات آنها از هورنبلند آندزیت تا داسیت و ریولیت را در بر می‌گیرند. بازالت در این مجموعه غایب است. از لحاظ کانی‌شناسی مجموعه‌ی آداکیتی دارای فنوکریستهای پلاژیوکلاز منطقه بندی شده، هورنبلند و بیوتیت اند و ارتوپیروکسن و کلینوپیروکسن فقط در آندزیت‌های مافیک مشاهده می‌شوند. کانیهای فرعی این سنگها شامل اپاتیت، زیرکن، اسفن و تیتانومگنتیت هستند (Muller et al., 1992; Defant & Drummond., 1990). ماگماتیسیم آداکیتی در ایران در زون ارومیه دختر توسط عمرانی (۲۰۰۸) در ناحیه‌ی بافت، انار و قم و توسط جهانگیری (۲۰۰۷) در شمالغرب ایران از منطقه تبریز، مرند و جلفا و همچنین توسط مجرد (۱۳۹۲) در شمالغرب ایران از منطقه ارومیه گزارش شده است. علاوه بر این مناطق در سایر نقاط ایران مانند کرمان، اصفهان، نهبندان و شمال شرق ایران نیز آداکیت گزارش شده است. نظرات مختلفی در مورد تشکیل آداکیت‌ها ارائه شده است که عبارتند از: ذوب پوسته اقیانوسی فرورونده (Defant and Drummond, 1990; Maury et al, 1996; Martin, 1999; Morris, 1995) ای (Chung et al., 2003; Hou et al., 2004; Kay and Kay, 1993, 2002; Kay et al., 1991, 2005; Petford and Atherton, 1996; Rudnick, 1995; Wang et al., 2005; Xiong et al., 2001; Yumul et al., 2000) Castillo et al., 1999; Macpherson et al., 2006; Richards and Kerrich, 2007; Roriguez Prouteau & Scaillet, 2003; Macpherson et al., 2006; Hidalgo & Rooney, 2010, 2014; et al., 2007; Rooney et al., 2011) تفریق فشار بالا از مذاب گوشته‌ای آبدار

Rooney et al., 2011; Nakamura & Iwamori, 2013. اختلاط مذاب‌های تکامل یافته با مذاب‌های گوشته اولیه در اتاقک‌های ماگمایی پوسته‌ای کم عمق (Castillo et al., 1999).



شکل ۱: نقشه زون‌های ساختاری ایران و محدوده مورد مطالعه (زاهد موسوی و همکاران، ۲۰۱۴)

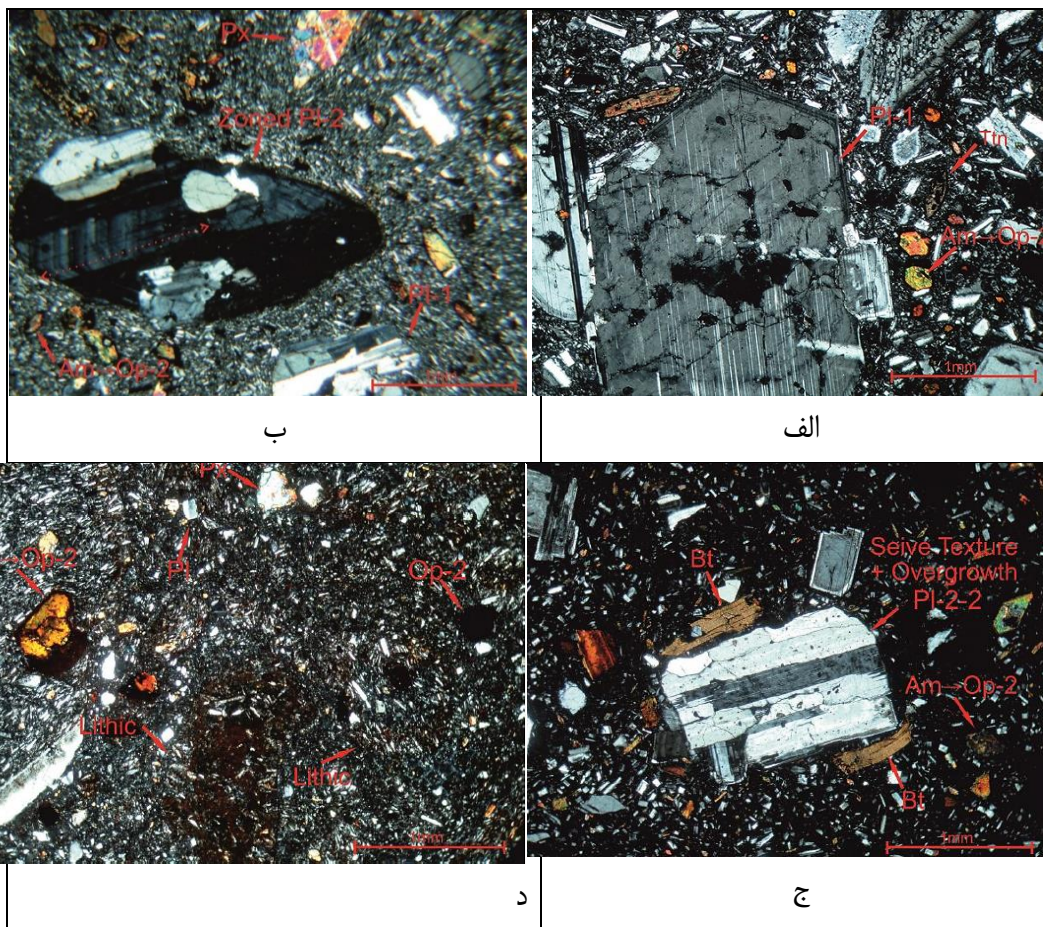
## روش مطالعه

پژوهش حاضر، بر پایه بررسی‌های صحرایی، مطالعه مقاطع نازک و تجزیه شیمیایی عناصر اصلی و کمیاب انجام شده است. در این راستا از بیش از ۴۰ نمونه از سنگ‌های منطقه، نمونه برداری و مقاطع نازک تهیه و بررسی شده است. به منظور بررسی و تعیین مقدار عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در نمونه‌های منطقه، تعداد ۱۵ نمونه سنگ کل انتخاب و به روش‌های XRF و طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP - MS) در شرکت زر آزما کشور ایران تجزیه شدند (جدول ۱ و ۲).

## یافته‌ها و بحث




سنگ‌های آتشفشانی بازیک کواترنری منطقه شامل تراکی آندزیتی، آندزیت، تراکی داسیت می‌باشند که حجم قابل توجهی از گدازه‌ها را در منطقه به خود اختصاص داده‌اند. این سنگها تنوعی از بافت‌های پورفیریتیک، جریان‌ی، گلوپورپورفیری و غربالی نشان می‌دهند. از کانی‌های اصلی این سنگ‌ها می‌توان به پلاژیوکلاز و یک یا چند کانی مافیک مانند هورنبلند و پیروکسن اشاره کرد. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز ترکیبی در حد الیگوکلاز - آندزین دارند و زونینگ نوسانی نشان می‌دهند. در سنگ‌های آندزیتی اغلب پلاژیوکلازها به سریسیت، کلریت، و کانی رسی تجزیه شده‌اند. کوارتز ثانویه نیز به صورت دانه ریز در خمیره و گاه پرکننده حفره‌های سنگ می‌باشد. در سنگ‌های آندزیتی منطقه مگنتیت و تیتانومگنتیت (کانی‌های اپک) از کانی‌های ثانویه، و آپاتیت از کانی‌های فرعی هستند. در گدازه‌های داسیتی - ریولیتی فراوان ترین فنوکریست پلاژیوکلازها هستند. برخی از این بلورها

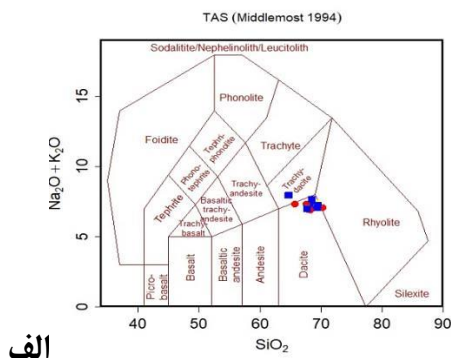
خلیجی و گرد شده با بافت غربالی و منطقه بندی اند. پلاژیوکلاز این سنگ‌ها نیز دچار دگرسانی کربناتی و سریسیتی شده است. آمفیبولها از نوع اکسی هورنبلند می باشند که تنها قالبی از آنها باقی مانده است. حواشی اپاسیته و خورده شده از دیگر ویژگی های آمفیبولهاست. آلکالی فلدسپارها اغلب در خمیره سنگهای ریولیتی حضور دارند. کوارتزها عمدتاً به صمورت میکروفنو کریست بوده و در خمیره دیده می شوند. کوارتزها خلیجی شکل و دارای خاموشی موجی اند. بیوتیت قهوه ای با حاشیه اپاسیته شده در گدازه‌های منطقه وجود دارد. کریستال لیتیک لاپیلی: بافت ولکانو کلاستیک بوده و قطعات پیروکلاستیک شامل بلورها و قطعات سنگی است. پلاژیوکلاز به صورت شکل دار تا بی شکل و با اندازه های ریزبلور تا متوسط بلور از فراوان ترین کریستال ها در متن سنگ های آذرآواری مشاهده می شود. بیوتیت ها به صورت تیغه های کوچک تا پهن و با فراوانی بسیار زیاد در این نمونه ها دیده می شوند. پیروکسن ها به صورت شکل دار تا بی شکل و با اندازه های ریزبلور تا متوسط بلور در متن سنگ های آذرآواری مورد مطالعه دیده می شوند. این کانی ها اغلب از حاشیه به کانی های اوپاک دگرسان شده اند. کانی های اوپاک به صورت نیمه شکل دار تا نیمه زاویه دار و با پراکندگی نسبتاً زیاد در متن سنگ مشاهده میشوند. لیتیک ها با میانگین اندازه ۳,۵ mm و با فراوانی بسیار بیشتر نسبت به کریستال ها در متن سنگ دیده می شوند. اغلب این لیتیک ها دارای ترکیب آندزیت و آندزیت تراکیتی هستند. از خصوصیات ظاهری این لیتیک ها می توان به نیمه زاویه دار تا زاویه دریا بودن آنها اشاره نمود (شکل ۲-د). آنالیزهای عناصر اصلی و کمیاب سنگ های منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. در نمودار تعیین نام، سنگ های مورد مطالعه در محدوده های ترکیبی داسیت و تراکی داسیت واقع می شوند (Middlemost, 1985). در نمودار سری ماگمایی نمونه های منطقه در محدوده سری کالکوآلکان و داسیت/ریولیت قرار می گیرند (Hastie et al., 2007). همچنین نمونه های منطقه مورد مطالعه در محدوده ای ساب آلکان قرار می گیرند (Irvine & Baragar, 1971).



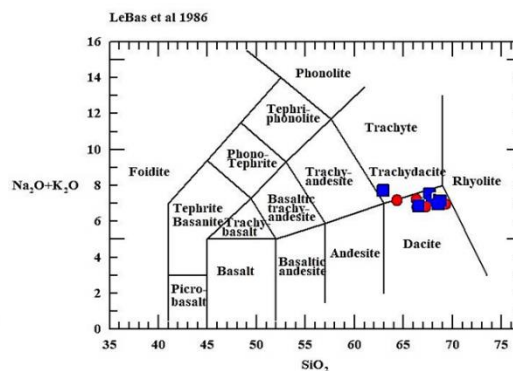
شکل ۲: الف-نمایی از فنو کریست پلاژیوکلاز بدون بافت عدم تعادل، آمفیبول با حاشیه سوخته و تیتانیت در خمیره در آندزیت. ب- نمایی از فنو کریست های آمفیبول شکل دار و پیروکسن های اجتماعی موجود در خمیره آندزیت بازالتی. د- نمایی از فنو کریست های پلاژیوکلاز با بافت عدم تعادل از نوع بافت غربالی در حاشیه خارجی کانی همراه با رورشدی و بیوتیت های تیغه‌ای موجود در خمیره در تراکی آندزیت. ج- نمایی دیگر از کریستال های پلاژیوکلاز، پیروکسن، بیوتیت پولکی تبدیل شده به کانی های اوپاک و لیتیک های آندزیتی زاویه دار.

علائم به کار رفته در نمودارها عبارتند از :

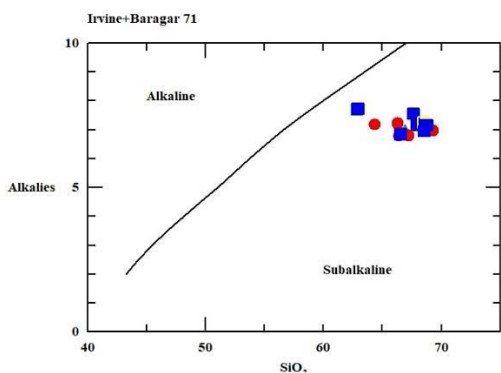
	توف		داسیت
	آنکلاو		آندزیت



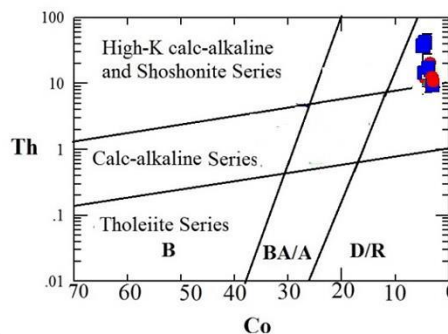
الف



ب



ج

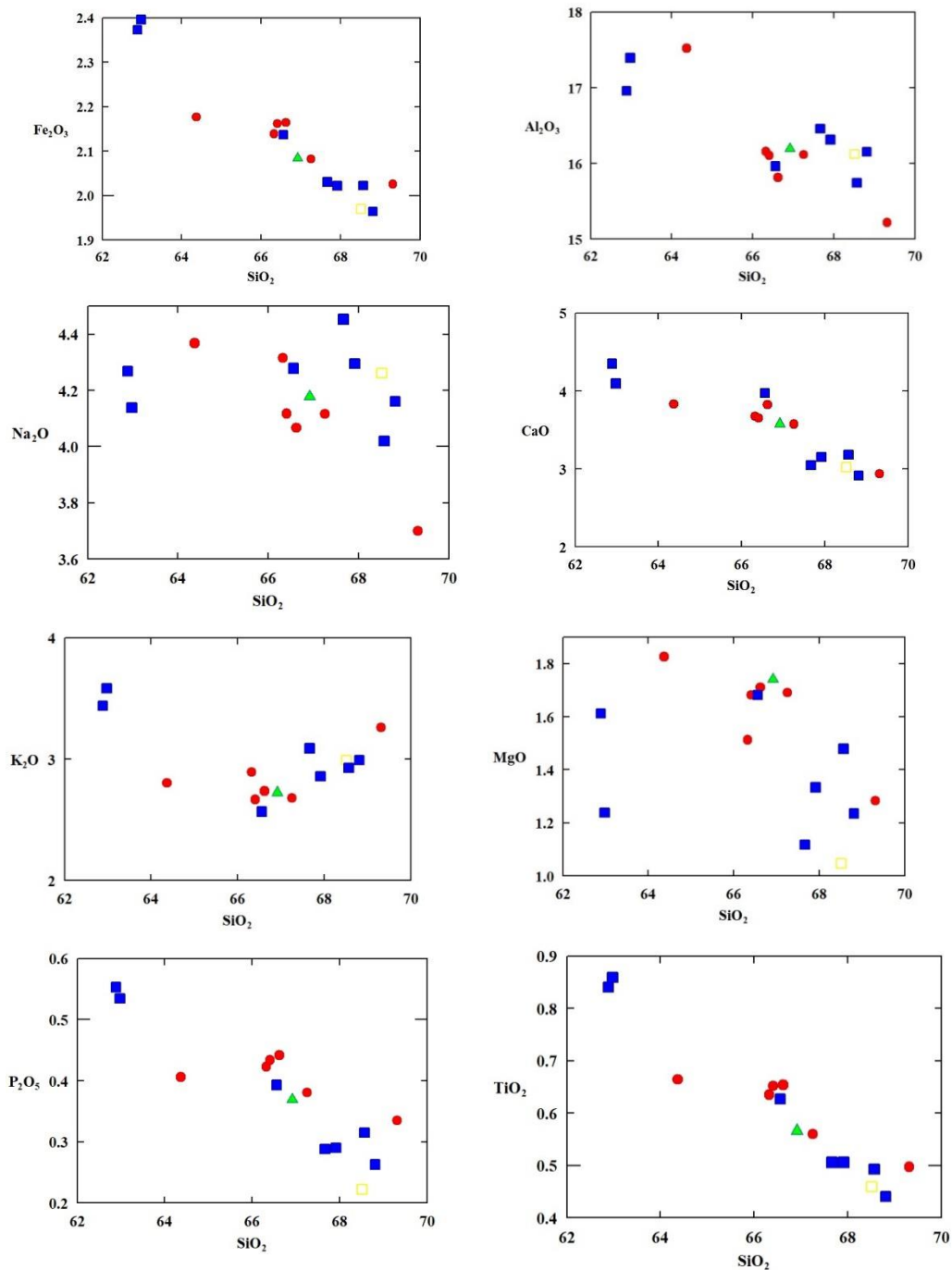


د

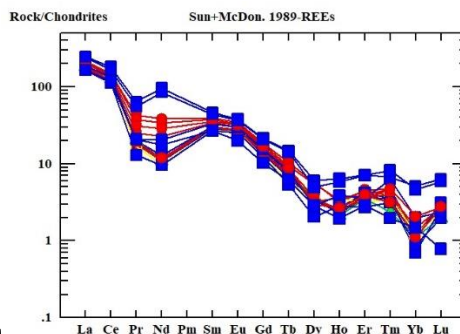
شکل ۳: الف- نمودار (Middlemost, 1985). ب- نمودار  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  در مقابل  $\text{SiO}_2$  (Le Bas et al., 1986) ج- نمودار (Irvine & Baragar (1971) د-نمودار (Hastie et al., 2007).

نمودار تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به  $\text{SiO}_2$  (Harker diagram) در شکل ۴ ارائه شده است. در میان اکسیدهای عناصر اصلی،  $\text{MgO}$  روند قابل قبولی را ارائه داده و با افزایش مقدار سیلیس از مقدار آن کاسته می‌شود. روند  $\text{Na}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  افزایشی و نشانه تبلور بخشی است، لیکن پراکندگی به علت تحرک  $\text{Na}$  در نتیجه دگرسانی، آلودگی پوسته‌ای و ... را می‌توان تفسیر نمود. دامنه تغییرات  $\text{Al}_2\text{O}_3$  از ۱۴/۱۲ در الیوین بازالت‌ها تا ۲۱/۱۴ در پیروکسن آندزیت‌ها متغیر است، مقدار زیاد  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در سنگ‌های بازیک با این منطقه تا حدودی با سنگ‌های مناطق کوهزایی که دارای ۱۶ تا ۱۸ درصد  $\text{Al}_2\text{O}_3$  می‌باشند تطابق دارد (Gill, 2010). روند  $\text{Al}_2\text{O}_3$  در برابر  $\text{SiO}_2$  کاهشی است که با توجه به حضور پلاژیوکلازهای غنی از  $\text{Ca}$  و  $\text{Al}$  در انواع بازیک تا میانه، طبیعی به نظر می‌رسد. اما برخی از پراکندگی‌های مشاهده شده، مربوط به میزان فنوکریست‌های پلاژیوکلاز نیز می‌باشد. روند  $\text{CaO}$ ،  $\text{MgO}$  و  $\text{TiO}_2$  در برابر  $\text{SiO}_2$  منظم و کاهشی است که با تبلور بخشی و کاهش کانی‌های مافیک، اوپک و پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار قابل توجیه است. روند  $\text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$  افزایشی است که نتیجه تبلور بخشی بوده و پراکندگی کمتری نسبت به  $\text{Na}_2\text{O}$  دارد. نمودارهای به‌هم‌چرا شده

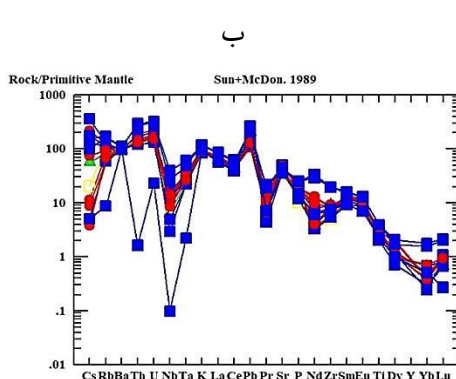
عناصر کمیاب خاکی نسبت به مقادیر کندریتی Sun and Mc Donough, 1989 برای نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ الف و ب نمایش داده شده است. در نمودارهای بهنجار شده نسبت به مقادیر کندریتی، ناهنجاری خاصی در Eu دیده نمی‌شود که می‌توان آن را ناشی از عدم تفریق پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (Zeng et al., 2010) در طی تحول ماگمای تشکیل دهنده سنگ‌های منطقه دانست. حضور مقادیر نسبتاً بالای  $Al_2O_3$  در سنگ‌های منطقه (با میانگین ۱۷/۹۵ درصد وزنی) نیز تایید کننده عدم مشارکت پلاژیوکلاز در فازهای تفریق یافته است. البته باید در نظر داشت که ضرایب جدایش Eu بین پلاژیوکلاز و مذاب بازالتی در شرایط فعالیت زیاد اکسیژن پایین بوده و این عنصر بصورت  $Eu^{+3}$  و مانند سایر عناصر کمیاب خاکی رفتار می‌کند (Drake and Weill, 1975; Daniel and Drake, 1973). یکی از ویژگی‌های مهم نمونه‌های منطقه که نسبت به مقادیر کندریتی بهنجار شده‌اند، روند تدریجی غنی شدگی عناصر کمیاب خاکی سنگین (HREEs)، نسبت به عناصر کمیاب خاکی سبک (LREEs) و عدم وجود تغییرات ناگهانی در شیب نمودارها است. عناصر کمیاب خاکی نسبت به فازهای معمول گوشته رفتاری ناسازگار داشته و گارنت تنها فاز معمول گوشته‌ای (در صورت حضور در محل منشاء) می‌باشد، که به دلیل ضرایب جدایش بالا برای عناصر کمیاب سنگین قادر است تاثیر گذاری جدی بر روی الگوی عناصر کمیاب داشته باشد. به عنوان مثال، عنصر Yb در ترکیب گارنت سازگار بود ولی La ناسازگار است، که این ویژگی باعث می‌شود که نسبت La/Yb در درجات ذوب پایین در محل منشاء شدیداً تفریق پیدا کند (Lai et al., 2012). همچنین در فشارهای بین ۳ تا ۶ گیگاپاسکال، گارنت صرفاً در درجات ذوب بخشی خیلی کم می‌تواند در منشاء باقی بماند (Xu et al., 2002). همان‌گونه که در شکل ۵-الف و ب دیده می‌شود، غنی شدگی بیش از ۱۰ برابری عناصر کمیاب خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین در اغلب نمونه‌ها بیانگر عدم تمایل گارنت به ورود به مذاب و باقی ماندن در منشاء گوشته‌ای بوده است. در نمودار بهنجار شده نسبت به مقادیر گوشته اولیه، برخی ناهنجاری‌های مثبت و منفی در مقادیر Sr، Nb، Rb، Pb و Ba دیده می‌شود (شکل ۵-الف و ب). وجود ناهنجاری منفی در Nb نیز بیانگر نقش آرایش ماگمایی با پوسته قاره‌ای در تحول سنگ‌های منطقه است. ناهنجاری مثبت شدید Pb و Ba آلودگی پوسته قاره‌ای را محرز داشته و آنومالی مثبت Sr دلالت بر حضور فنوکریست پلاژیوکلازها در سنگ است.



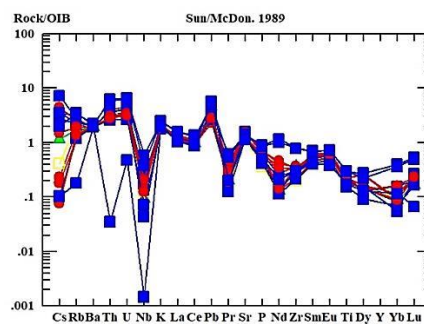
شکل ۴: نمودارهای تغییرات عناصر اصلی در برابر SiO<sub>2</sub>



الف



ب



ج

شکل ۵: الف نمودار عنکبوتی بهنجار شده به مقادیر کندریتی برای سنگ‌های منطقه. شکل وب- نمودار عنکبوتی بهنجار شده به مقادیر گوشته اولیه ج- OIB (Sun and Mc don, 1989) برای سنگ‌های منطقه.

برای معرفی آداکیت‌ها یا سنگ‌های آداکیتی از معیارهای ژئوشیمیایی خاصی استفاده می‌شود. موارد ذکر شده در جدول ۱ می‌باشد.

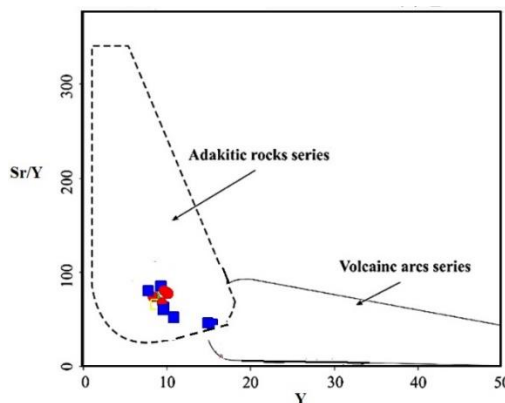
SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	Rb	Mg#	S	La/Yb	Y	Sr/Y	Yb
۵۲ ≤	۰/۴۲	≤65ppm	~0.5	≥400ppm	≥20	≤18PPM	≥20	≤1.9ppm

در شمال غرب ایران (در زون آتشفشانی تبریز- همدان)، گنبد‌های داسیتی آداکیتی وجود دارد که دارای Sr و نسبت Sr/Y بالا و Nb، Ti و Y پایین هستند (عزیزی ۴ و معین وزیری ۵، ۲۰۰۹). خصوصیات مطرح شده برای این آداکیت‌ها در ارتباط با زون‌های فرورانش می‌باشد.

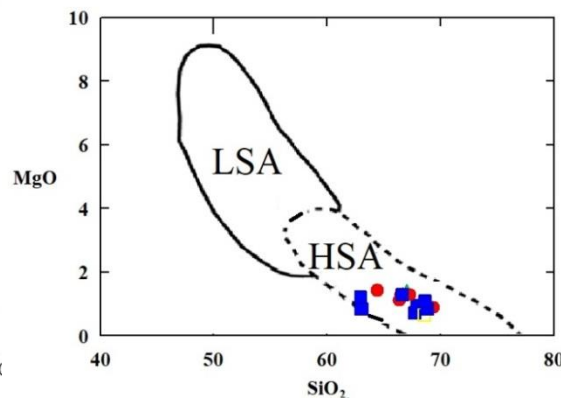
جدول ۲: مقایسه ویژگی های شیمیایی سنگ های داسیتی منطقه با خصوصیات معرفی شده برای آداکیت ها

عناصر	کمینه	بیشینه	میانگین	آداکیت ها
SiO <sub>2</sub>	62.98	69.32	66.59	≥56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.74	۱۷,۵۰	۱۶,۳۰	≥15
Na <sub>2</sub> O	3.70	4.45	4.18	≥3.5
K <sub>2</sub> O	2.57	3.59	2.96	≤3
MgO	1.24	1.83	1.49	≤3
Ni	11.00	30.00	16.69	≥20
Rb	5.60	108.00	61.48	≤65
Sr	747.70	1035.30	901.42	≥400
Y	7.30	1035.30	88.63	≤18
Yb	0.20	0.79	0.31	≤1.9
Cr	16.00	50.00	37.38	≥30
La/Yb	73.41	332.75	193.92	≥20
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.69	0.81	0.71	~0.42
Sr/Y	102.42	1.00	87.36	≥20
Mg#	24.85	49.05	40.47	~0.5

چنان که ملاحظه می شود داسیت های بررسی شده از نظر ترکیب شیمیایی عناصر اصلی مانند Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Yb, Ni, Cr و ترکیب عناصر کمیاب مانند SiO<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O, Mg#, MgO, K<sub>2</sub>O Na<sub>2</sub>O, Sr, Y, Rb و نسبت La/Yb, Sr/Y در محدوده سنگ های آداکیتی قرار می گیرند. از طرفی با در نظر گرفتن تمرکز SiO<sub>2</sub> در سنگ های منطقه (۶۶-۶۲wt.%) این سنگ ها با آداکیت های سیلیس -بالا همخوانی دارند (Martin et al., 2005).



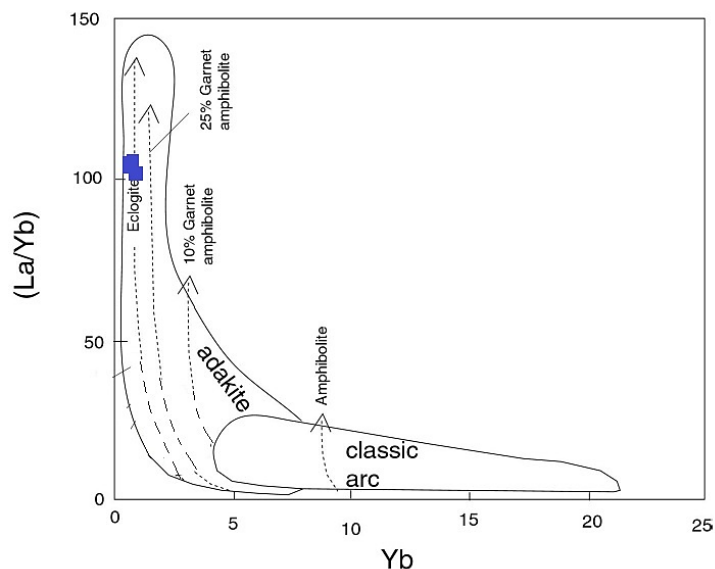
ب



الف

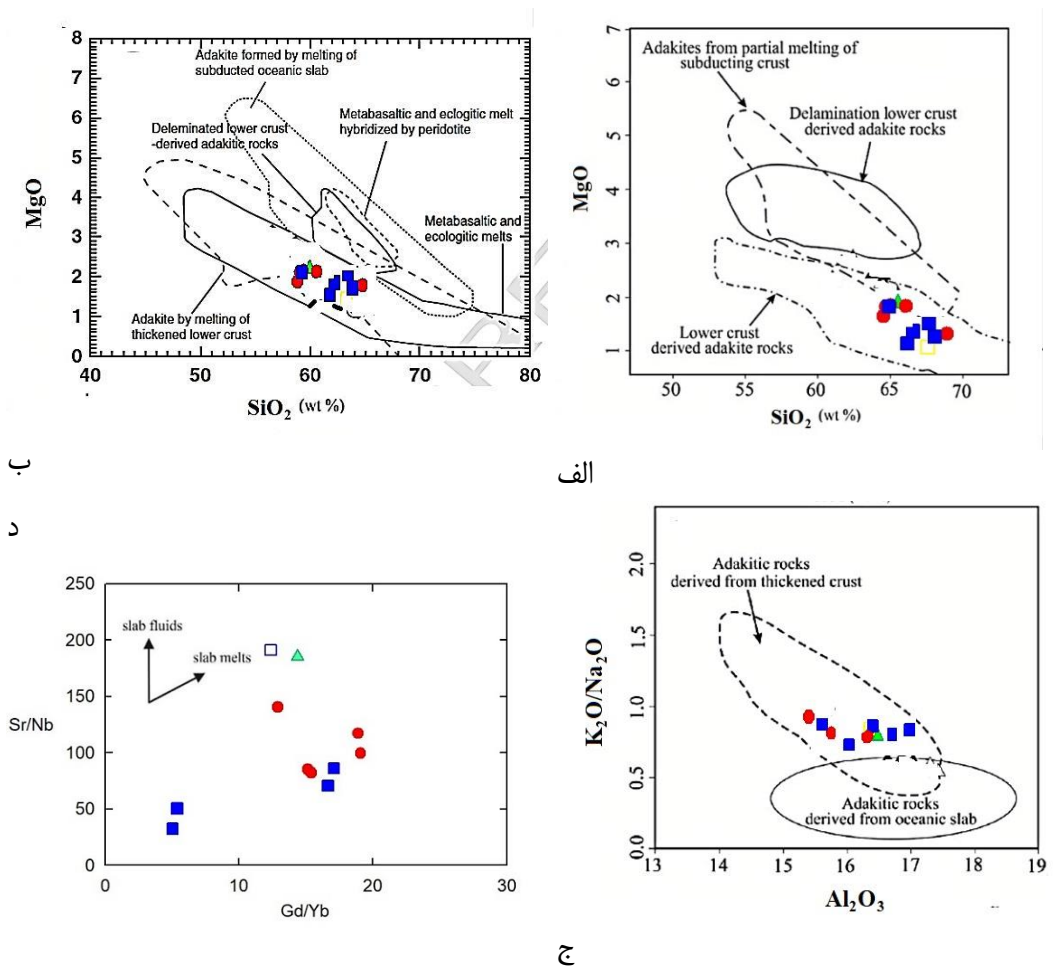
شکل ۶: الف- نمودار MgO در مقابل SiO<sub>2</sub> برای نشان دادن ماهیت آداکیتی بر سیلیس (Zhu et al., 2009). ب- نمودار Sr/Y در مقابل Y (Defant and Drummond, 1990).

ذوب بخشی یک ترکیب بازالتی در شرایط پایداری گارنت (رخساره اکلوژیته) و یا ذوب دهیدراسیون یک منشأ آمفیبولیتی قابلیت تولید مذاب‌های آداکیتی دارد (Martin et al., 2005; Rapp et al., 1991). وقتی فاز کانی شناختی غالب در محل منجم گارنت باشد نسبت  $Y/Yb$  مذاب آداکیتی معمولاً بیشتر از ۱۰ است (Wang et al., 2012) میانگین این نسبت در نمونه‌های منطقه حدود ۱۷ است. با توجه به شکل ۷ ماگمای آداکیتی سازنده سنگ‌های منطقه از ذوب پوسته اقیانوسی متبازیتی گارنت آمفیبولیتی و اکلوژیته فرورانده شده حاصل شده است.



شکل ۷: نمودار (Castillo, 2012)

در زون‌های فرورانش، به سه طریق ماگمای آداکیتی به وجود می‌آید که در محل منشأ مافیک آن‌ها گارنت یا آمفیبول به عنوان فازهای پسماندی هستند. این سه طریق عبارتند از: ۱- ذوب بخشی پوسته اقیانوسی داغ و جوان فرورانش شده (دوفان و درومون، ۱۹۹۰)، ۲- ذوب بخشی پوسته زیرین بازالتی ضخیم شده که در بالای گوه گوشته‌ای قرار دارد و ۳- ذوب بخشی پوسته قاره‌ای فرسایش یافته که در پیشانی کمان فرورانش قرار دارد (کای ۶ و مندزیس ۲۰۰۷، ۲۰۰۱). آداکیت‌های مرتبط با فرورانش لیتوسفر اقیانوسی دارای عدد منیزیم (#Mg)، Cr، MgO و Ni بالا هستند (Wang et al. 2007b; Zhu et al. 2009; Zheng et al.). مقایسه این مقادیر با آداکیت‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که آداکیت‌های مورد مطالعه مرتبط با ذوب ورقه اقیانوسی فرورانده شده هستند. برای پی بردن به نقش رسوبات و سیالات از نمودار Sr/NB در مقابل Gd/Yb استفاده شد. در نمودار Sr/NB در مقابل Gd/Yb که نشانگر تاثیر سیالات صفحه فرورو در مقابل مذابهای صفحه فرورونده می باشد نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده مذابهای صفحه فرورو قرار گرفته‌اند (شکل ۱۰-ب). با توجه به جهت گیری نمونه‌ها بر روی این نمودار میتوان گفت که تاثیر مذابهای صفحه فرورو غالب بوده است. رابطه مثبت بین Sr/NB در مقابل Gd/Yb نشان دهنده اجزای صفحه فرورو در منشأ است (Gao et al., 2010).



شکل ۸: الف- نمودار (Stern & Kilian, 1996). ب- نمودار (Martin et al., 2005). ج- نمودار (Kamei et al., 2009). د- نمودار Sr/Nb در مقابل Gd/Yb (Gao et al., 2010).

ماگماتیسم آداکیتی در منطقه آذربایجان در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی با موضوع معرفی مذاب‌های آداکیتی و ژنز آنها در منطقه آذربایجان انجام شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۳؛ قاسمی و همکاران، ۱۳۹۸). به طور کلی دو منشأ برای مذاب‌های آداکیتی در منطقه آذربایجان پیشنهاد شده است:

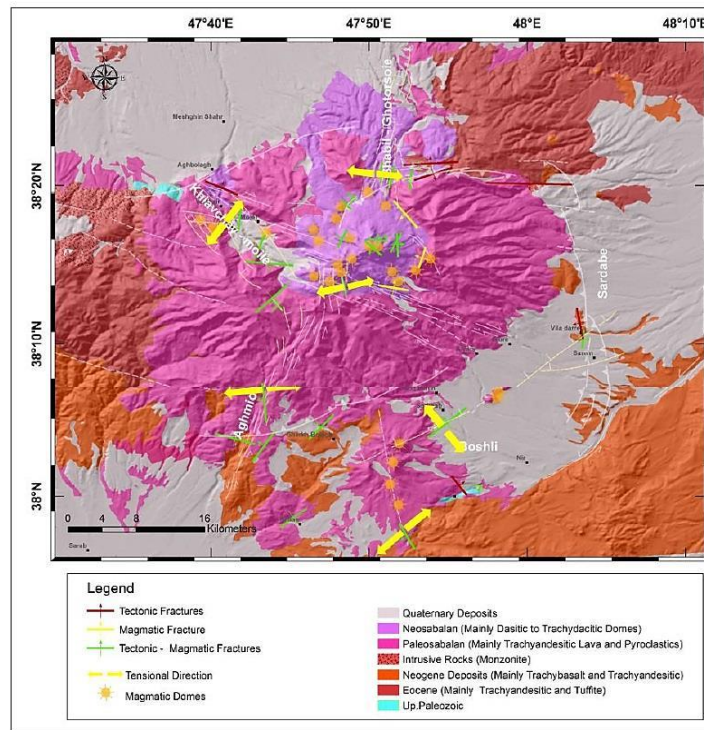
۱- ذوب بخشی پلیت اقیانوسی فرورونده در شرایط رخساره آمفیبولیت - اکلوزیت. به طور مثال، ماگماتیسم آداکیتی نئوژن در مناطق مختلف آذربایجان با منشأ آمفیبول - اکلوزیتی تا گارنت - اکلوزیتی لیتوسفر اقیانوسی فرورونده نتوتتیس و در یک جایگاه پس از برخورد معرفی شده است (Jahangiri, 2007). هم‌چنین، سنگ‌های آتشفشانی داسیتی پلیو کواترنری در شمال آتشفشان سهند به عنوان ماگماتیسم آداکیتی مرتبط با ذوب بخشی ورقه اقیانوسی گسیخته شده نتوتتیس در نظر گرفته شده‌اند (Jalili Ghareh Ghaye et al., 2015).

۲- ذوب بخشی پوسته تحتانی قاره ای. به طور مثال، با توجه به اختصاصات شیمیایی و ایزوتوپی، در مورد منشأ و جایگاه سنگهای آداکیتی جنوب شرق جلفا، ذوب بخش تحتانی پوسته قاره‌ای ضخیم شده مورد اشاره قرار گرفته است (Moharrami et al., 2015).

آداکیتها یا مذاب های آداکیتی صرفاً از طریق ذوب بخشی ورقه فرورونده حاصل نمی شوند و مکانیسم های دیگری نیز در زایش آنها دخیل است. آداکیتهای نشأت گرفته از ذوب پوسته اقیانوسی فرورونده با سنگ های آداکیتی حاصل از ذوب پوسته تحتانی و ذوب پوسته تحتانی رها شده در گوشته (delaminated lower crust) متفاوت هستند. سنگ های آداکیتی مشتق از ذوب پوسته تحتانی در مقایسه با دو گروه دیگر دارای تمرکز پایین تری از عناصر سازگاری مانند Cr, Ni و MgO و تمرکز بیشتری از نسبت FeO/MgO و نیز  $Al_2O_3$  و نسبت Th/Ce هستند. نکته دیگر این که مذاب های آداکیتی منشأ گرفته از پوسته تحتانی رها شده در گوشته دارای تمرکز بالاتری از عناصر سازگار مانند Cr, Ni و MgO نسبت به مذاب های آداکیتی منشأ گرفته از پوسته تحتانی هستند که این امر به واکنش مذاب با گوشته و افزایش عناصر سازگار نسبت داده شده است (Martin et al., 2005; Rapp et al., 1991). نمونه های منطقه بررسی شده قرابت ژئوشیمیایی چندانی با مذاب های آداکیتی حاصل از پوسته تحتانی رها شده در گوشته ندارند. همچنین، در نمونه های بررسی شده با این که تمرکز عناصر سازگاری مانند Ni نسبت به مذابهای آداکیتی مشتق از پوسته تحتانی بیش تر است ولی میزان MgO و Cr تناسب زیادی با مذاب های آداکیتی برخاسته از پوسته اقیانوسی فرورونده ندارد. این فاکتورها در کنار نسبت Th/Ce در نمونه های منطقه، قیاس بهتری با آداکیت های مشتق از ذوب بخشی پوسته تحتانی دارد. مقدار Th/Rb و نسبت  $K_2O/Na_2O$  از جمله این فاکتورها هستند. این فاکتورها در آداکیتهای مشتق از پوسته تحتانی نسبت به آداکیتهای نشأت گرفته از پلیت فرورونده مقدار بیشتری دارند (Delavari et al., 2014). مقدار Th, Rb و نسبت  $K_2O/Na_2O$  در آداکیتهای مشتق از پلیت فرورونده به ترتیب ۴,۵ PPM، ۴۱ PPM و ۰,۳۵ است (Drummond et al., 1996) در حالی که میانگین فاکتورهای یادشده در نمونه های منطقه به ترتیب ۱۳,۴۸، ۶۱,۷۱ و ۰,۷۰ است که بیشتر شبیه آداکیتهای حاصل از ذوب پوسته تحتانی است. با فرض منشأ پوسته تحتانی برای تشکیل آداکیتها، برخی محققان پیش شرط لازم را وجود ضخامت زیاد پوسته (بیش از ۵۰ کیلومتری در نظر گرفته اند Wang et al., 2006; Topuz et al., 2005; Wang et al., 2007; Hou et al., 2005). مطالعات تجربی نشان داده است که با ذوب بخشی پوسته تحتانی مافیک در عمق ۳۰ تا ۴۰ کیلومتری و دمای ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی گراد امکان حصول مذاب های آداکیتی وجود دارد و لزومی ندارد که پوسته تحتانی در شرایط رخساره اکلوزیت قرار گیرد (Qian et al., 2013). پژوهش های ژئوفیزیکی در شمال غرب ایران حاکی از ضخامت پوسته بیش از ۴۰ کیلومتر است (Zor, 2008). بنابراین از نظر ضخامت پوسته نیز بعید است که مانعی برای تولید مذاب های آداکیتی در منطقه آذربایجان وجود داشته باشد. با توجه به تهی شدگی زیاد عناصر HREE مانند Yb در مذاب های آداکیتی منطقه، احتمالاً ضخامت قابل توجه پوسته باعث پایداری گارنت (رخساره اکلوزیت) در قاعده پوسته شده باشد. قابل ذکر است که نتایج بررسی های ژئوفیزیکی نشان دهنده نازک شدگی لیتوسفر (حدود ۸۵-۱۰۰ کیلومتر) در شمال غرب ایران است (Taghizadeh-Farahmand et al., 2010; Bavali et al., 2016; Maggi and Priestley, 2005). در قیاس با ضخامت قابل توجه پوسته در منطقه آذربایجان (بیش از ۴۰ کیلومتر)، ضخامت

کلی لیتوسفر کمتر از حد مورد انتظار است. شواهد ژئوفیزیکی در منطقه آذربایجان و به طور کلی فلات ایران ترکیه نشان از لیتوسفر کم ضخامت است که در پژوهش‌های پیشین نیز به آن اشاره و در باره آن بحث شده است (Delik et al., 2010). ضخیم‌شدگی لیتوسفری یکی از عوارض تکتونیکی مورد انتظار پس از برخورد پلیتها است. از این رو، با توجه به بحث‌هایی که در زمینه برخورد پلیت‌های قاره‌ای ایران عربستان در محدوده زمانی اواخر ائوسن الیگوسن وجود دارد (Madanipour et al., 2017; Agard et al., 2011, 2005) از این رو، ضخیم‌شدگی لیتوسفری و البته بریدگی اسلب فرورونده پس از این زمان مورد انتظار است. معمولاً ادامه فرایند تحولات تکتونیکی پس از ضخیم‌شدگی لیتوسفری، بریدگی قاعده لیتوسفر و نازک‌شدگی مجدد آن است که باعث صعود آستنسفری و افزایش جریان گرمایی می‌شود. به نظر می‌رسد که در منطقه شمال غرب ایران - قفقاز - ترکیه بریدگی قاعده لیتوسفر و بالا آمدگی آستنسفر در نئوژن اتفاق افتاده باشد (et al., 2010; Dilek Lechmann et al., 2018) ، که باعث ذوب لیتوسفری (Pearce et al., 1990) و در نتیجه ماگماتیسم گسترده شده باشد. البته اتفاقات تکتونیکی دیگر از جمله بریدگی اسلب فرورونده نیز می‌تواند باعث شکل‌گیری فاز جدیدی از ماگماتیسم شود. یکی از شواهد مخالف با ارتباط ماگماتیسم با ذوب بخشی پلیت فرورونده، بی‌نظمی فضایی و زمانی ماگماتیسم نئوژن - کواترنری در منطقه آذربایجان است. بدین صورت که از نظر سن ماگماتیسم و ترکیب شیمیایی نمی‌توان نظم مکانی خاصی در منطقه آذربایجان مشاهده کرد (Lechmann et al., 2018) بنابراین مکانیسم ذوب بخشی قاعده پوسته فرایند منطقی تری برای حصول مذاب‌های آداکیتی منطقه آذربایجان است. به علاوه موارد متعددی از ماگماتیسم آلکالن نئوژن (پلیوسن - کواترنری) در شمال غرب ایران در نقاط مختلف گزارش شده است (Lechmann et al., 2018; Fazlnia, 2019) در شمال شرق ترکیه (پونتید شرقی) نیز باور بر این است که ماگماتیسم آداکیتی میوسن با ماگماتیسم آلکالن پلیوسن دنبال شده است. منشأ ماگماتیسم آلکالن در آنجا نیز به بالا آمدگی آستنسفری و ذوب گویشته دگرسان ارتباط داده شده است (Eyuboglu et al., 2012). در ضمن مذاب‌های آداکیتی تولید شده به طور محتمل کم و بیش با مذاب‌های گویشته‌ای نیز آرایش داشته است که می‌توانسته باعث بالا رفتن تمرکز برخی عناصر سازگار (مانند Ni) در مذاب‌های آداکیتی شده باشد. از مشخصات ماگماتیسم این مرحله تنوع شیمیایی مذاب‌ها به دلیل منشأهای مختلف گویشته‌ای و نیز فرایندهای آرایش پوسته و تبلور تفریقی است. از طرفی بریدگی قاعده لیتوسفری با بررسی‌های ژئوفیزیکی و پراکندگی فضایی فوران‌ها در یک منطقه گسترده (فلات شمال غرب ایران - ترکیه) هم‌خوانی دارد (Dilek et al., 2010). برخی از محققین تصور میکنند که پوسته اقیانوسی نئوتتیس (Neo-Tethyan) پس از پایان فرورانش، برگشت داشته (roll-back) و در نهایت در میوسن فوقانی (دیویی و همکاران، ۱۹۸۶؛ مک کواری و همکاران، ۲۰۰۳) و یا در اواسط یا پایان ائوسن جدا شده است (هامپتون، ۱۹۸۷؛ وینسنت و همکاران، ۲۰۰۵؛ حسامی و همکاران، ۲۰۱۱). بقایای جدا شده از پوسته اقیانوسی فرورانش شده در زیر صفحه اوراسیا در منطقه آذربایجان به دام افتاده است. به دلیل فرورانش و دگرگونی مرتبط، سنگ‌های بازالتی پوسته اقیانوسی نئوتتیس به آمفیبولیت و در نهایت اکلوژیت تبدیل شدند. در این فرآیند، مایعات ویا مذاب‌های جزئی غنی از عناصر LILE و LREE تولید و گویشته لیتوسفری را متاسوماتیزه کردند. درجات بالای ذوب نسبی گویشته متاسوماتیزه باعث ایجاد ماگمای والد آتشفشان سبلان شده که خصوصیات پوسته اقیانوسی فرورنده را به ارث برده است. این مدل مطابق نظریه‌های مشابهی است که قبلاً برای ماگماتیسم کالک

قلیایی پس از برخورد در ایران پیشنهاد شده بود (به عنوان مثال، بربریان و بربریان، ۱۹۸۱؛ آگارد و همکاران، ۲۰۱۱). پیرس و همکاران (۱۹۹۰) در مطالعه خود بر روی آتشفشانهای جوان در جنوب ترکیه، لایه لایه شدن پوسته پایین را برای ماگماتیسم سنوزوئیک فوقانی در شرق ترکیه و شمال شرقی ایران پیشنهاد کردند. کسکین و همکاران (۲۰۰۶) معتقد هستند که پوسته اقیانوسی نئوتیس در زیر صفحه اوراسیا محرک ماگماتیسم کواترنر در این منطقه بوده است. اولین بار (Pearce et al (1990)، فرایند Delamination را برای شرق آناتولی و شمال غرب ایران ارائه داد. بر اساس مطالعات (Maggi & Priestley (2005) گوشته بالایی در بخش های ایران دارای دمایی بالاتر از دمای سولیدوس خود بوده و با کاهش سرعت موج برشی، کاهش چگالی و وقوع ولکانیسم (در کواترنری) مشخص می شود. لذا گمان می رود فرایند Delamination باعث پایین رفتن مواد سرد و جایگزینی به وسیله مواد گوشته ای گرم شده است. در این زمان عملکرد برخی گسلهای امتداد لغز باعث ایجاد حوضه های کششی شده و مواد استنوسفری تهی شده را به سطوح بالاتر انتقال داده است. مطالعات جدید نشان می دهد که در امتداد برخی از گسلهای امتداد لغز منطقه (مانند گسل شمال تبریز) هنوز فضاهای کششی در حال گسترش می باشند (Djamour et al., 2011). در مواردی نیز لیتوسفر سرد بعلت کاهش فشار و مجاورت با گوشته گرم به نقطه ذوب خود رسیده و باعث تولید فراورده های غنی شده تر شده است. در این بین فرایند متاسوماتیزم (سیالات ناشی از فرورانش لیتوسفر اقیانوسی) نیز باعث کاهش نقطه ذوب لیتوسفر و گوشته بالایی شده است. آتشفشان سبلان در جایگاه زمین ساخت فشاری قرار دارد. الگوی دگرشکلی امروزی سبلان نشان می دهد که رژیم تنش زمین ساختی ماگمایی مختلفی تجربه کرده است. راستای غالب خطوارهها در سبلان در دو جهت شمالی جنوبی و شمال غربی جنوب شرقی گسترش دارند. این خطوارهها در نهشته های سبلان جدید بصورت شعاعی با جهت غالب شمالی- جنوبی آرایش یافته اند. درگستره آتشفشان سبلان، تراکم گندهای آتشفشانی در پیرامون قله کسرا بیشتر دیده میشود (شکل ۹) با توجه به سن جوان آنها، به نظر میرسد وجود یک حوضه کششی جدایشی (Pullapart) بین گسله های راستبر پی سنگی آوارس و خیاوچای موئیل در خروج آنها تاثیر گذار بوده است (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۵). با توجه به مطالب گفته شده و مطالعات اخیر ساختاری شکستگیها و روند گسلها در کوه سبلان می توان نتیجه گرفت که عملکرد گسلهای امتداد لغز باعث ایجاد فضاهای کششی و حوضه های Pullapart در منطقه شده است (شکل ۹). در زمان کواترنری، ماگماهای بازیک منطقه، در امتداد این فضاهای کششی خود را به سطح زمین رسانده اند. این ماگماها آرایش بسیار ناچیزی را با پوسته لیتوسفری تجربه کرده و ویژگیهای منشاء استنوسفری را تا حد زیادی در خود حفظ کرده اند. ماهیت آکالن داشته و به لحاظ عناصر فرعی و نادر خاکی تهی شده اند. در مرحله بعدی پوسته لیتوسفری دچار فرایند Delamination شده و بخشی از آن از پوسته جدا شده و در استنوسفر غوطه ور گشته است. در این میان ذوب بخشی این پوسته باعث تشکیل (آداکیتها) در سبلان شده است.



شکل ۹: تصویری از نقشه زمین شناسی ساده شده همراه با راستای شکستگیها ( پیکانهای زرد ضخیم جهت کشش و پیکانهای روی راستای شکستگیها، جهت شیب شکستگیها را نشان میدهد) که در روی تصاویر SRTM بر هم نهی شده است(مقیم و همکاران، ۱۳۹۵).

## نتیجه گیری

مطالعه و بررسی مجموعه آتشفشانی سبلان سنگ‌هایی با ترکیب آندزیت بازالتی، آندزیت، ترکی آندزیت و داسیت را نشان می‌دهد. بر اساس معیارهای ژئوشیمیایی مانند تهی شدگی شدید عناصر نادر خاکی سنگین، نسبت زیاد  $Sr/Y$  و  $La/Yb$  این سنگ‌ها در قلمرو سنگ‌های آداکیتی قرار می‌گیرند. از طرفی اختصاصات ژئوشیمیایی این سنگ‌ها از جمله تمرکز و  $Rb$ ،  $Cr$ ،  $MgO$ ،  $Th$  هم‌چنین مقادیر نسبت‌های  $K_2O/Na_2O$  و  $Th/Ce$  بیش‌تر به آداکیت‌های مشتق از ذوب پوسته اقیانوسی فرورو شباهت دارد. با در نظر گرفتن برخورد پلیت‌های قاره‌ای عربستان-اورازیا و بسته شدن نتوتیس در زمان قبل از میوسن و بر پایه شواهد ژئوفیزیکی کنونی می‌توان انتظار داشت که در فلات شمال غرب ایران، برخی اتفاقات از جمله بریدگی اسلب فرورانده، بالآمدگی استوسفری و بریدگی قاعده لیتوسفر ضخیم شده در زمان پس از برخورد رخ داده باشد. نتیجه این فرایندها می‌تواند منجر به ذوب پوسته و گوشته دگرسان شده باشد و تنوعی از ماگماتیسم با پراکندگی مکانی نسبتاً گسترده در محدوده شمال غرب ایران تا شرق ترکیه در بازه زمانی نئوژن را نتیجه دهد.

**منابع:**

- جعفری، غ.ج.، رستم خانی، الف.، ۱۳۹۳. بررسی تحولات کواترنری در ههای کوهستانی با استفاده از خطوط منحنی میزان (مطالعه موردی ارتفاعات سبلان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۳، شماره پیاپی ۱۱۸.
- قاسمی، م.، قربانی، م.، ح.، ۱۳۹۸. زمین شناسی ایزوتوپی آداکیت‌های سنوزوئیک منطقه ورزقان، آذربایجان شرقی. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۰ص.
- مجرد، م.، ۱۳۹۲. بررسی گنبد‌های خروجی بزوداگی در شرق ارومیه.
- مقیم، ح.، رضائیان، م.، ثبوتی، ف.، ۱۳۹۵. تحلیل ساختاری شکستگی‌های آتشفشان سبلان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زنجان. ۱۶۰ص.
- موسوی، و.، مجرد، م.، ۱۳۹۳. بررسی خاستگاه پترولوژیکی آداکیت‌های شمال غرب ایران. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه. ۹۵ص.

- Aftabi A., Atapour H., "Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran", Episodes, 23 (2000) 119-125.
- Agard P., Omrani J., Jolivet L., Mouthereau F., "Convergence history across Zagros (Iran): constraints from collisional and earlier deformation", International Journal of Earth Sciences, 94 (2005) 401-419.
- Agard P., Omrani J., Jolivet L., Whitechurch H., Vrielynck B., Spakman W., Monié P., Meyer B., Wortel R., "Zagros orogeny: a subduction-dominated process", Geological Magazine, 148 (2011) 692-725.
- Arculus, R.J., 2003. Use and abuse of the terms calcalkaline and calcalkalic. Journal of petrology 44 (5), 929-935.
- Azad, S.S., Philip, H., Dominguez, S., Hessami, K., Shahpasandzadeh, M., Foroutan, M., Tabassi, H. and Lamothe, M., 2015. Paleoseismological and morphological evidence of slip rate variations along the North Tabriz fault (NW Iran). Tectonophysics, 640, pp.20-38.
- Azizi, H., Moinevaziri, H., (2009). "Review of the tectonic setting of Cretaceous to Quaternary volcanism in northwestern Iran". Journal of Geodynamics 47, 167-179.
- Bavali K., Motaghi K., Sobouti F., Ghods A., Abbasi M., Priestley K., Mortezaejad G., Rezaeian M., "Lithospheric structure beneath NW Iran using regional and teleseismic traveltimes
- Beate. B., Monzier, M., Spikings, R., Cotton, J., Silva, J., Bourdon, E., & Eissen, J. P. 2001. Mio-Pliocene adakite generation related to flat subduction in southern Ecuador: the Quimsacocha volcanic center. Earth Planet. Sci. Lett. 192, 561-570.
- Berberian, F. and Berberian, M., 1981, Tectono-Plutonic episodes in Iran. American Geophysical Union, In: Geodynamic Series 3, Geological Society of America, Boulder, Colorado, 5-33.
- Castillo, P. R., Janey, P. E. & Solidum, R. U. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguin Island, Southern Philippines: insight to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting. Contributions to Mineralogy and Petrology, 134, 33-51.
- Castillo, P.R., 2012. Adakite petrogenesis. Lithos, 134, 304-316.

- Castillo, R. P., Janney, P. E. & Solidum, R. S. 1999. Petrology and geochemistry of Camiguia Island, Southern Phillippines: insight to the source of adakites and other lavas in a complex arc setting, *Contrib. Mineral. Petrol.* 134, 33-51.
- Chung, S.L., Liu, D.Y., Ji, J.Q., Chu, M.F., Lee, H.Y., Wen, D.J., Lo, C.H., Lee, T.Y., Qian, Q., Zhang, Q., 2003. Adakites from continental collision zones: melting of thickened lower crust beneath southern Tibet. *Geology* 31, 1021-1024.
- Daniel, F. W., Drake, M. J., 1973, Europium anomaly in plagioclase feldspar: experimental results and semiquantitative model. *Science.*, Vol. 180 (4090), PP.1059-1060.
- Defant M.J., Drummond M.S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted. *Lithosphere. Nature* 367: 662–665.
- Defant M.J., Drummond M.S. 1990. Derivation of some modern arc magmas by melting of young subducted. *Lithosphere. Nature* 367: 662–665.
- Defant, M. J. & Kepezhinskias, P. 2001. Evidence suggests slab melting in arc magmas. *EOS* 82, 62-69.
- Delavari M., Amini S., Schmitt A. K., McKeegan K. D., Mark Harrison T., "U–Pb geochronology and geochemistry of Bibi-Maryam pluton, eastern Iran: Implication for the late stage of the tectonic evolution of the Sistan Ocean", *Lithos*, 200-201 (2014) 197-211.
- Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Saroglu, F., Şengör, A. M.C., 1986. Shortening of
- Didon, J. and Germain, Y.M., 1976. Le Sabalan, Volcan Plio-Quaternaire de l'Azerbaïdjan oriental (Iran): Etude géologique et pétrographique de la difice et de son environnement régional [Ph.D. thesis], Docteur du 3<sup>eme</sup> cycle. Université de Grenoble.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. A. & Altunkaynak, S., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, vol. 52, 536-578, doi: 10.1080/00206810903360422.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N. A. & Altunkaynak, S., 2010- Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the Lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision-induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *International Geology Review*, vol. 52, 536-578, doi: 10.1080/00206810903360422.
- Dilek, Y., Imamverdiyev, N.A., Altunkaynak, S., 2009. Geochemistry and tectonics of Cenozoic volcanism in the lesser Caucasus (Azerbaijan) and the peri-Arabian region: collision induced mantle dynamics and its magmatic fingerprint. *Int. Geol. Rev.* 143.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R. & Tavakoli, F., 2011. NW Iraneastern Turkey present-day kinematics: results from the Iranian permanent GPS network, *Earth planet. Sci. Lett.*, 307, 27–34. doi: 10.1029/2003GL017992 art. no. 2036.
- Djamour, Y., Vernant, P., Nankali, H.R. & Tavakoli, F., 2011. NW Iraneastern Turkey present-day kinematics: results from the Iranian permanent GPS network, *Earth planet. Sci. Lett.*, 307, 27–34. doi: 10.1029/2003GL017992 art. no. 2036.
- Drake, M. J. and Weill, D. F., 1975, Partition of Sr, Ba, Ca, Y, Eu and other REE between plagioclase feldspar and magmatic liquid: an experimental study" *Geochem Cosmochim. Acta.*, Vol. 39, PP. 689-712.
- Drummond, M. S., Defant, M. J. & Kepezhinskias, P. K. 1996. The petrogenesis of slab derived trondjemite-tonalite-dacite/adakite magmas. *Trans. R. Soc. Edinburgh: Earth Sci.* 87, 205-216.

- Eyuboglu Y., Santosh M., Yi K., Bektaş O., Kwon S., "Discovery of Miocene adakitic dacite from the Eastern Pontides Belt (NE Turkey) and a revised geodynamic model for the late Cenozoic evolution of the Eastern Mediterranean region", *Lithos*, 146–147 (2012) 218- 232.
- Faridi, M., 2010. Structural geology of Mount Sabalan. SUNA - Renewable Energy Organization of Iran, report, 62 pp. 479-484.
- Fazlnia A., "Origin and magmatic evolution of the Quaternary syn-collision alkali basalts and related rocks from Salmas", northwestern Iran, *Lithos*, 344-345 (2019) 297-310.
- Futa, K. & Stern, C. R. 1988. Sr and Nd isotopic and trace-element compositions of Quaternary volcanic centers of the southern Anders. *Earth and Planetary Science Letters* 88, 253-262.
- Gao, Y., Yang, Z., Santosh, M., Hou, Z., Wei, R. Tian, S., 2010. Adakitic rocks from slab melt-modified mantle sources in the continental collision zone of southern Tibet. *Lithos*, 119, 651-663.
- Gao. S., Rudinick, R. L., Yuan, H. L., Liu, X. M., Liu. Y. S., Xu, W. L., Lin, W. L., Ayerss, geodynamic implications", *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 433-447. Geological Society, London 158, 969 – 981.
- Ghalamghash, J., Mousavi, S.Z., Hassanzadeh, J. and Schmitt, A.K., 2016. Geology, zircon geochronology, and petrogenesis of Sabalan volcano (northwestern Iran). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Ghods, A., Shabaniyan, E., Bergman, E., Faridi, M., Donner, S., Mortezaejad, G. and Aziz-Zanjani, A., 2015. The Varzaghan–Ahar, Iran, Earthquake Doublet (Mw 6.4, 6.2): implications for the geodynamics of northwest Iran. *Geophysical Journal International*, 203(1), pp.522-540.
- Gill, R., 2010, *Igneous rocks and processes a practical guide*. Department of Earth Sciences Royal Holloway University of London., PP 472.
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A., & Mitchell, S.F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology* 48, 2341-2357.
- Hempton, M., 1987. Constraints on Arabia plate motion and extensional history of the red sea. *Tectonics*, 6: 687-705.
- Hessami, K., Koyi, H. A., Talbot, C. J. Tabasi, H., Shabaniyan, E., 2011, Progressive unconformities within an evolving foreland fold-thrust belt, Zagros Mountains. *Journal of the*
- Hidalgo, P. J. & Rooney, T. O., 2010. Crystal fractionation processes at Baru volcano from the deep to shallow crust. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 11, Q12S30.
- Hidalgo, P. J. & Rooney, T. O., 2014. Petrogenesis of a voluminous Quaternary adakitic volcano: the case of Baru volcano. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168, 1-19.
- Hou M.-L., Jiang Y.-H., Jiang S.-Y., Ling H.-F., Zhao K.-D., "Contrasting origins of late Mesozoic adakitic granitoids from the northwestern Jiaodong Peninsula, east China: implications for crustal thickening to delamination", *Geological Magazine*, 144 (2007) 619-631.
- Hou, Z.-Q., Gao, Y.-F., Qu, X.-M., Rui, Z.-Y., Moc, X.-X., 2004. Origin of adakitic intrusives generated during mid-Miocene east-west extension in southern Tibet. *Earth and Planetary Science Letters*, 220, 139-155.

- Irvin, T., Baragar, W.R.A., 1971, A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of earth Science Letters., Vol.8, PP. 523-548.
- Irving, A. J. & Frey, F. A. (1978). Distribution of trace-elements between garnet megacrysts and host volcanic liquids of kimberlite to rhyolitic composition. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42(NA6), 771-787, doi:10.1016/0016-7037(78)90092-3.
- J., Wang, X. C. & Wang, Q. H. 2005. Recycling lower continental crust in the North China
- Jahangiri, A., 2007. Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications. *Journal of Asian Earth Sciences* 30: 433-447.
- Jalili Ghareh Ghaye V., Amel N., Hajjialioghli R., Moayyed M., "Petrogenesis of adakitic Plio-Quaternary post collision rocks, north of Sahand volcano (NW of Iran)", *Petrology*, 22(2015) 157-172 (in Persian).
- Kay R.W. 1978. Aleutian magnesian andesites: melts from subducted Pacific ocean crust. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 4: 117-132.
- Kay, R.W., Kay, S.M., 1993. Delamination and delamination magmatism. *Tectonophysics* 219, 177-189.
- Kay, R.W., Kay, S.M., 2002. Andean adakites: three ways to make them. *Acta Petrologica Sinica* 18, 303-311.
- Kay, S.M. & Mpodozis, C., 2001- Central Andean ore deposits linked to evolving shallow continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia — a young collision zone. In: Coward, M., Ries, A. (Eds.), *Collision Tectonics*. Special Publication of the Geological Society, craton. *Nature* 432, 892-897.
- Kay, S.M., Godoy, E., Kurtz, A., 2005. Episodic arc migration, crustal thickening, subduction erosion, and magmatism in the south-central Andes. *Geological Society Bulletin* 117, 67-88.
- Kay, S.M., Mpodozis, C., Ramos, V.A., Munizaga, F., 1991. Magma source variations for mid-late Tertiary magmatic rocks associated with a shallowing subduction zone and a thickening crust in the central Andes (28 to 33°S). *Geological Society of America Special Paper* 265, 113-137.
- Kay, S.M., Ramos, V.A., Marquez, M., 1993. Evidence in Cerro Pampa volcanic rocks of slab melting prior to ridge trench collision in southern South America. *Journal of Geology* 101, 703-714.
- Keskin M., Pearce J. A., Kempton P. D., Greenwood P., 2006. Magma-crust interactions and magma plumbing in a postcollisional setting: geochemical evidence from the Erzurum-Kars Downloaded from volcanic plateau, eastern Turkey", *Special Papers-Geological Society of America*, 409-475.
- Lai, S., Qin, J., Li, Y., Li, S., and Santosh, M., 2012, Permian high Ti/Y basalts from the eastern part of the Emeishan Large Igneous Province, southwestern China: Petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sci.*, Vol. 47, PP. 216-230.
- Lechmann A., Burg J.-P., Ulmer P., Guillong M., Faridi M., "Metasomatized mantle as the source of Mid-Miocene-Quaternary volcanism in NW-Iranian Azerbaijan: Geochronological and geochemical evidence", *Lithos*, 304-307 (2018) 311-328.
- Macpherson, C.G., Dreher, S.T., Thirlwall, M.F., 2006. Adakites without slab melting: high pressure differentiation of island arc magma, Mindanao, the Philippines. *Earth and Planetary Science Letters* 243 (3-4), 581-593.

- Madanipour S., Ehlers T. A., Yassaghi A., Enkelmann E., 2017. "Accelerated middle Miocene exhumation of the Talesh Mountains constrained by U-Th/He thermochronometry: evidence for the Arabia-Eurasia collision in the NW Iranian Plateau", *Tectonics*, 10.1002/2016TC004291
- Maggi A., Priestley K., "Surface waveform tomography of the Turkish–Iranian plateau", *Geophysical Journal International*, 160 (2005) 1068-1080.
- Martin H. 1999. The adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids. *Lithos*, 46 (3):411–429.
- Martin H., Smithies R.H., Rapp R.P., Moyen J.F., Champion D.C. 2005. An overview of adakite, tonalite–trondhjemite–granodiorite (TTG) and sanukitoid: relationships and some implications for crustal evolution. *Lithos*, 79 (1–2) : 1–24.
- Martin, h., 1999. Adakitic magmas: modern analogues of Archaean granitoids, *Lithos* 46, 411-429.
- Mason, J.A., Jacobs, P.M., Hanson, P.R., Miao, X.M., Goble, R.J., 2003. Sources and paleoclimatic significance of Holocene Bignell Loess, central Great Plains, USA. *Quaternary Research* 60, 330–339.
- Maury, R., Sajona F.G., Pubellier, M., Bellon, H., Defant, M.J., 1996. Fusion de la croûte océanique dans les zones de subduction/collision récentes: l'exemple de Mindanao (Philippines).", *Bulletin de la Société Géologique de France* 167, 579–595.
- McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C., and Wernicke, B., 2003, Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions. *Geophysical Research Letters* 30.
- Middlemost, E. A. K., 1985. Magma and magmatic rocks, *An Introduction to igneous petrology*. Longman Group U.K., PP 73 – 86.
- Moharrami F., Pourmoafi S. M., Ghorbani M., Mir Mohammadi M. S., "Geochemistry, mineralogy and petrogenesis of adakitic rocks in southeast of Julfa, northwestern Iran", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 2 (2015) 241-256 (in Persian).
- Moradi, A.S., Hatzfeld, D. and Tatar, M., 2011. Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics*, 506(1), pp.22-30.
- Morris, P.A., 1995. Slab melting as an explanation of Quaternary volcanism and aseismicity in Southwest Japan. *Geology* 23, 395–398.
- Nakamura, H. & Iwamori, H., 2013. Generation of adakites in a cold subduction zone due to double subducting plates. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165, 1107-1134.
- Omran, J., Agard, P., Whitechurch, H., benoit, M., Prouteau, G. and Jolivet, L., 2008. Arc-magmatism and subduction history beneath the Zagros mountains, Iran: a new report of adakites and geodynamic consequences. *Lithos* 106:380-398.
- Pearce, J. A., Bender, J.F., DeLong, S.E., Kidd, W.S.F., Low, P.J., Güner, Y., Saroglu, F., Yılmaz Y., Moorbath, S., Mitchell, J. G., 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanol Geoth Res*, Vol. 44, PP. 189–229.
- Petford, N., Atherton, M., 1996. Na-rich partial melts from newly underplated basaltic crust: the Cordillera Blanca Batholith, Peru. *Journal of Petrology*, 37, 1491–1521.
- Prouteau, G. & Scaillet, B., 2003. Experimental constraints on the origin of the 1991 Pinatubo dacite. *Journal of Petrology*, 44, 2203-2241.
- Qian Q., Hermann J., "Partial melting of lower crust at 10-15 kbar: constraints on adakite and TTG formation", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165 (2013) 1195-1224.

- Rapp R. P., Watson E. B., Miller C. F., "Partial melting of amphibolite/eclogite and the origin of Archean trondhjemites and tonalites", *Precambrian Research*, 51 (1991) 1-25.
- region, *Bulletin of the Geological Society of America* 117, 1513–1533.
- Richards, J. and Kerrich, R. (2007). Special paper: Adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology* 102, 1-40.
- Richards, J., Kerrich, R., 2007. Special paper: Adakite-like rocks: their diverse origins and questionable role in metallogenesis. *Economic Geology* 102, 1–40.
- Rodriguez, C., Selles, D., Dungan, M., Langmuir, C., Leeman, W., 2007. Adakitic dacites formed by intracrustal crystal fractionation of water-rich parent magmas at Nevado de Longav volcano (36.2 degrees S; Andean Southern Volcanic Zone, central Chile). *Journal of Petrology* 48, 2033–2061.
- Rooney, T. O., Franceschi, P. & Hall, C. M., 2011. Water-saturated magmas in the Panama Canal region: a precursor to adakite-like magma generation? *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 161, 373388.
- Rudnick, R.L., Fountain, D.M., 1995. Nature and composition of the continental crust: a lower crustal perspective. *Reviews of geophysics*, 33, 267-309.
- Shafaii Moghadam H., Ghorbani G., Khedr M. Z., Fazlnia N., Chiaradia M., Eyuboglu Y., Santosh M., Francisco C. G., Martinez M. L., Gourgaud A., Arai S., "Late Miocene K-rich volcanism in the Eslamieh Peninsula (Saray)", NW Iran: Implications for geodynamic evolution of the Turkish–Iranian High Plateau, *Gondwana Research*, 26 (2014) 1028-1050.
- Smith, D.R., Leeman, W.P., (1987). Petrogenesis of Mount St-Helens dacitic magmas. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets* 92 (B10), 10313–10334.
- subduction systems and thickening crust: *GSA TODAY*, March, 2001, p. 4-9.
- Stern, C. R. & Kilian, R. 1996. Role of subducted slab, mantle wedge and continental crust in the generation of adakites from the Andean Austral Volcanic Zone. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 123, 263-281.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F., 1989, 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 Spec Publ.*, Vol. 42, PP. 313-345.
- Taghizadeh-Farahmand F., Sodoudi F., Afsari N., Ghassemi M. R., "Lithospheric structure of NW Iran from P and S receiver functions", *Journal of Seismology*, 14 (2010) 823-836.
- tomography", *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 253 (2016) 97-107.
- Topuz G., Altherr R., Schwarz W., Siebel W., Satır M., Dokuz A., "Post-collisional plutonism with adakite-like signatures: the Eocene Saraycik granodiorite (Eastern Pontides, Turkey)", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 150 (2005) 441-455.
- Verdel, C., Wernicke, B.P., Hassanzadeh, J., 2011, A Paleogene extensional arc flare-up in Iran, *Tectonics*, 30, Issue 3.
- Vincent, S.J., Allen, M.B., Ismail-Zadeh, A. D., Flecker, R., Foland, K.A., Simmons, M.D., 2005. Insights from the Talysh of Azerbaijan into the Paleogene evolution of the South Caspian  
vol. 19, pp. 3– 36. London.
- Wang, Q., McDermott, F., Xu, J.F., Bellon, H., Zhu, Y.T., 2005. Cenozoic K-rich adakitic volcanic rocks in the Hohxil area, northern Tibet: lower-crustal melting in an intracontinental setting. *Geology* 33, 465–468.

- Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Zhao, Z.H., Jian, P., Xiong, X.L., Bao, Z.W., Li, C.F. and Bai, Z.H. (2006). Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): implications for geodynamics and Cu–Au mineralization. *Lithos* 89, 424-446.
- Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Zhao, Z.H., Jian, P., Xiong, X.L., Bao, Z.W., Li, C.F., Bai, Z.H., 2006. Petrogenesis of Cretaceous adakitic and shoshonitic igneous rocks in the Luzong area, Anhui Province (eastern China): implications for geodynamics and Cu–Au mineralizations. *Lithos*, 89, 424-446.
- Wang, Q., Wyman, D.A., Zhao, Z. H., Xu, J. F., Bai, Z. H., Wiong, X. L., Dai, T. M., Li, C. F. and Chu, Z. Y. (2007) Petrogenesis of Carboniferous adakites and Nb-enriched arc basalts in the Alataw area, northern Tianshan Range (Western China): Implication for Phanerozoic crustal growth of the Central Asia Orogenic Belt. *Chemical Geology* 236: 42-64.
- Wang, X. L., Shu, X. J., Xu, X., Tang, M. and Gasching, R. (2012) Petrogenesis of early Cretaceous adakite-like porphyries and associated basaltic andesites in the eastern Jiangnan orogen, southern China. *Journal of Asian Earth Sciences* 61: 243-256.
- Xiong, X.L., Li, X.H., Xu, J.F., Li, W.X., Zhao, Z.H., Wang, Q., Chen, X.M., 2001. Extremely high-Na adakite-like magmas derived from alkali-rich basaltic underplate: the Late Cretaceous Zhantang andesites in the Huichang Basin, SE China. *Geochemical Journal* 37, 233252.
- Xu, J.-F., Shinjo, R., Defant, M.J., Wang, Q., Rapp, R.P., 2002. Origin of Mesozoic adakitic intrusive rocks in the Ningzhen area of east China: Partial melting of delaminated lower continental crust? *Geology* 30: 1111-1114.
- Yang, Z. M., Lu, Y. J., Hou, Z. Q., & Chang, Z. S. (2015). High-Mg diorite from Qulong in Southern Tibet: Implications for the genesis of adakite-like intrusions and associated porphyry Cu deposits in collisional orogens. *Journal of Petrology*, 56(2), 227-253.
- Yumul Jr., G.P., Dimalanta, C.B., Bellon, H., Faustino, D.V., de Jesus, J.V., Tamayo Jr., R., Jumawan, F.T., 2000. Adakitic lavas in the Central Luzon Back-arc region, Philippines: lower crust partial melting products? *The Island Arc* 9, 499-512.
- Zhang, P., Wen, X., Shen, Z., Chen, J., 2010. Oblique, High-Angle, Listric-Reverse Faulting and Associated Development of Strain: The Wenchuan Earthquake of May 12, 2008, Sichuan, China. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 38, 353-382.
- Zhang, Y.X., Tang, X.C., Zhang, K.J., Zeng, L., Gao, C.L., 2014. UePb and LueHf isotope systematics of detrital zircons from the SongpanGanzi Triassic flysch, NE Tibetan Plateau: implications for provenance and crustal growth. *International Geology Review* 56, 29e56.
- Zhu D.-C., Zhao Z.-D., Pan G.-T., Lee H.-Y., Kang Z.-Q., Liao Z.-L., Wang L.-Q., Li G.-M., Dong G.-C., Liu B., "Early cretaceous subduction-related adakite-like rocks of the Gangdese Belt, southern Tibet: Products of slab melting and subsequent melt-peridotite interaction?", *Journal of Asian Earth Sciences*, 34 (2009) 298-309.
- Zhu D.-C., Zhao Z.-D., Pan G.-T., Lee H.-Y., Kang Z.-Q., Liao Z.-L., Wang L.-Q., Li G.-M., Dong G.-C., Liu B., "Early cretaceous subduction-related adakite-like rocks of the Gangdese Belt, southern Tibet: Products of slab melting and subsequent melt-peridotite interaction?", *Journal of Asian Earth Sciences*, 34 (2009) 298-309.
- Zor E., "Tomographic evidence of slab detachment beneath eastern Turkey and the Caucasus", *Geophysical Journal International*, 175 (2008) 1273-1282.