



## پetroگرافی و ژئوشیمی ماسه سنگ‌های توریدیتی ائوسن واحد زابلی،

### جنوب شرقی ایران

#### کاظم شعبانی گورجی

مریی گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، ksg1354@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۴/۱۷؛ دریافت اصلاح شده: ۹۱/۵/۱۵؛ پذیرش: ۹۱/۵/۲۴؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۱/۱۲/۵

#### چکیده

در این پژوهش، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی ماسه سنگ‌های توریدیتی ائوسن واحد زابلی در جنوب شرقی ایران، بررسی شدند. بر اساس مطالعات پتروگرافی، ماسه سنگ‌های منطقه دانه‌ریز تا دانه درشت با جورشدگی ضعیف تا متوسط و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده با کرویت متوسط می‌باشند. این ماسه سنگ‌ها با ترکیب کلی Q55F14.5L30.5، از نوع فلدسپاتیک لیت آرنایت می‌باشند که در آنها کواتز تک بلوری و چند بلوری، فلدسپات و خرده سنگ‌های آتشفشانی، رسوبی و دگرگونی قابل مشاهده است. در این ماسه سنگ‌ها، مهم‌ترین فرایندهای دیاژنتیکی شامل تراکم فیزیکی و شیمیایی، تشکیل سیمان کلسیتی، سیلیسی و رسی، جانشینی دانه‌های آواری کوارتز، فلدسپات و خرده سنگ‌های آتشفشانی بوسیله کلسیت و دگرسانی‌های دیاژنتیکی (تشکیل کانولینیت و سریسیت) می‌باشند. درصد اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی و نسبت‌های این عناصر (La/Sc, Th/Sc, La/Sm و La/Yb, Co/Th) بیانگر آن است که منشأ ماسه سنگ‌های واحد زابلی سنگ‌های آذرین حد واسط تا فلسیک است. بر اساس نتایج آنالیز مدال، موقعیت زمین‌ساختی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه، کوهزایی‌های با چرخه مجدد می‌باشد. رسم درصد اکسیدهای اصلی و عناصر فرعی بر روی نمودارهای تفکیک کننده تکتونیکی مختلف نیز رسوبگذاری در یک حوضه رسوبی وابسته به حاشیه‌های فعال قاره‌ای و قوس‌های ماگمایی قاره‌ای را تایید می‌نماید.

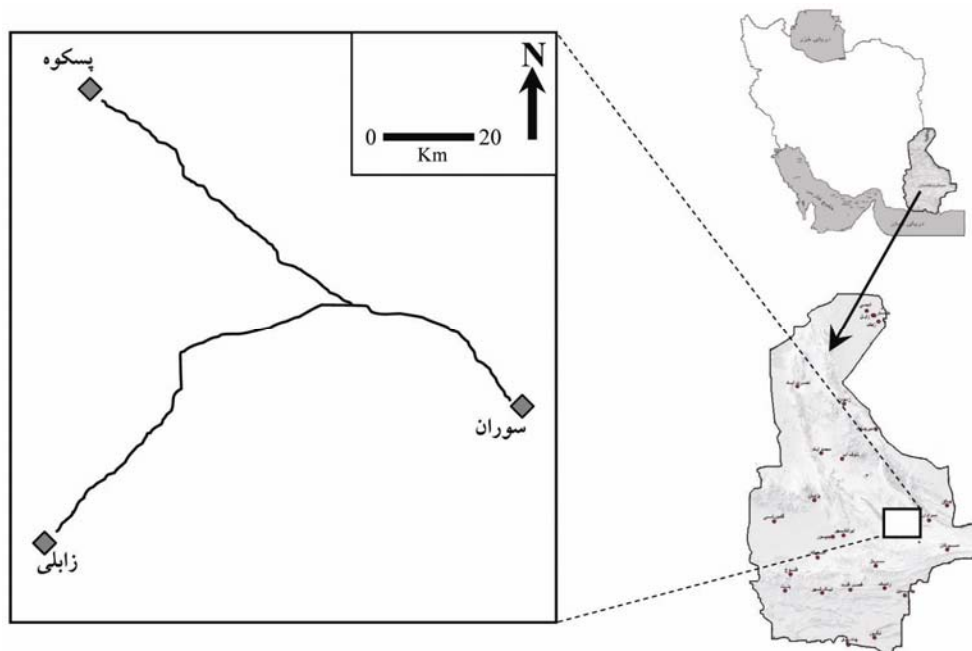
**واژه‌های کلیدی:** آنالیز مدال، خرده سنگ‌های دگرگونی، فرایندهای دیاژنتیکی، کواتز تک بلوری و چند بلوری.

#### ۱- مقدمه

ژئوشیمیایی (ترکیب عناصر اصلی، فرعی و نادر خاکی) ماسه سنگ‌ها می‌تواند جایگاه و موقعیت زمین‌ساختی حوضه‌های رسوبی و برخاستگاه آنها را مشخص نمود (Dickinson 1985, Bhatia & Crook 1986, Roser & Korsch 1988, Jafarzadeh & Hosseini-Barzi 2008, Yang et al. 2009, Guo et al. 2012). در این مقاله، منشأ و موقعیت تکتونیکی ماسه سنگ‌های توریدیتی ائوسن واحد زابلی واقع در جنوب شرقی ایران، بر اساس داده‌های پتروگرافی و ژئوشیمی تعیین گردید. منطقه مورد مطالعه در ۳۷۰ کیلومتری جنوب زاهدان و در محدوده‌ای به وسعت ۸۰۰ کیلومتر مربع واقع شده است.

سنگ‌های رسوبی آواری، اطلاعات با ارزشی در مورد محیط رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته ارائه می‌کنند (Rieser et al. 2005). ترکیب سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی این سنگ‌ها تحت کنترل عوامل متعددی از قبیل ماهیت و هوازدگی سنگ منشأ، موقعیت زمین‌ساختی و فرایندهای دیاژنتیکی است (McLennan et al. 1993). از هر برخاستگاه و موقعیت مشخص زمین‌ساختی، ماسه سنگ‌هایی با ترکیب معین بوجود می‌آیند (Dickinson 1985). بنابراین با استفاده از داده‌های پتروگرافی (ترکیب مدال) و

این محدوده در عرض جغرافیایی  $27^{\circ} 30'$  تا  $27^{\circ}$  شمالی و طول جغرافیایی  $61^{\circ} 30'$  تا  $62^{\circ}$  شرقی قرار دارد. راه دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفالته سوران- زابلی- پسکوه می‌باشد (تصویر ۱).



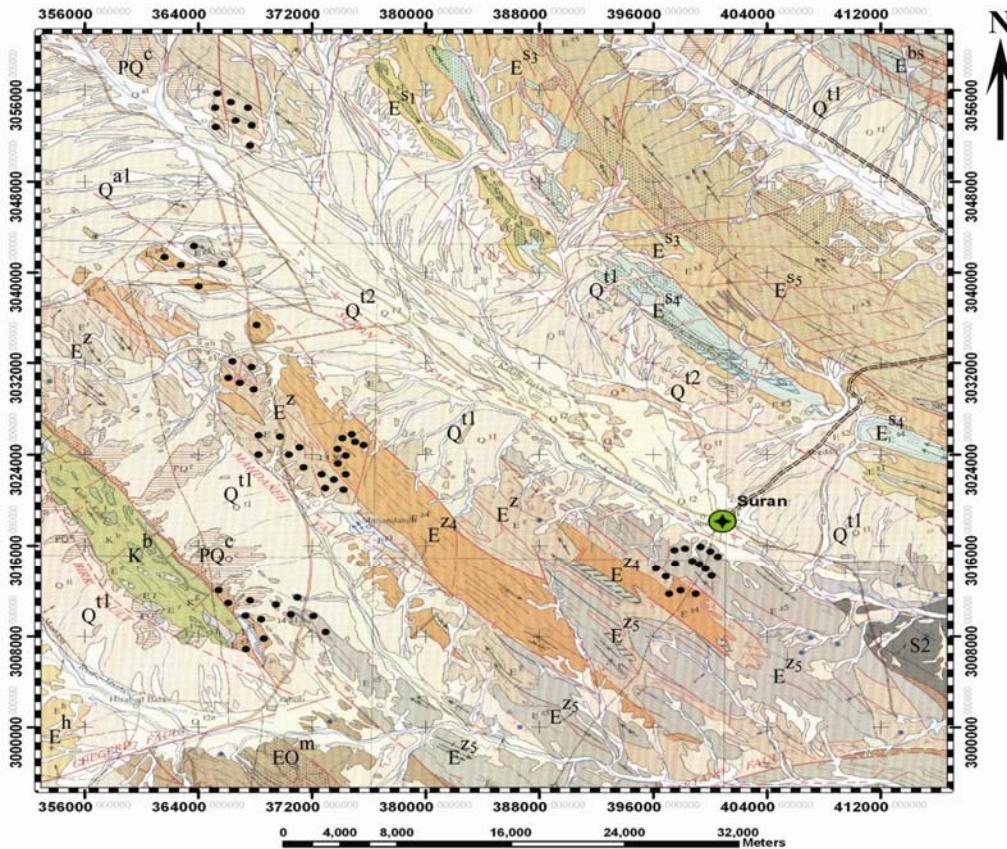
تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.

## ۷- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش سراوان می‌باشد که در زون ساختاری- رسوبی شرق ایران قرار دارد (تصویر ۲). واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه عمدتاً رسوبی می‌باشند. سنگ‌های آذرین به استوک گرانودیوریتی شاهکوه (شمال سراوان)، سنگ‌های پلوتونیک و ولکانیک آمیزه تلخاب و همچنین بیرون‌زدگی‌های کوچک و محلی مواد آتشفشانی در درون واحدهای رسوبی محدود می‌شوند. سنگ‌های دگرگونی در منطقه بیرون‌زدگی ندارند اما یک هاله دگرگونی در اطراف توده نفوذی شاهکوه قابل مشاهده می‌باشد.

نهشته‌های ائوسن منطقه شامل رخساره‌های کربناته شلف و آهک‌های پلاژیک است اما بیشترین بخش این رسوبات را توالی‌های ضخیم توریدایتی (فلیش‌ها) تشکیل داده‌اند که شامل ۶ واحد لیتواستراتیگرافی بادامو- سیاهان، تلخاب، زابلی، سراوان، هیزآباد و مسری می‌باشند. در این پژوهش ماسه سنگ‌های واحد زابلی مورد مطالعه قرار گرفتند. ضخامت واحد زابلی در حدود ۶۰۰۰ متر تخمین زده شده است (McCall & Eftekhar-Nezhad, 1994). مرز تحتانی این واحد با واحد بیرک (سنگ‌های آهکی کرتاسه فوقانی) گسله است و مرز فوقانی آن نیز که به واحدهای ماشکید (توالی‌های توریدایتی ائوسن پسین- الیگوسن پیشین) و مسری ختم می‌شود، با گسل‌های

سرتنگ و مولتان مشخص می‌گردد (McCall & Eftekhar-Nezhad, 1994). واحد زابلی به دلیل وقوع چین‌خوردگی‌های متعدد و نیز وجود گسل‌های امتداد لغز، دارای ساختار تکتونیکی پیچیده‌ای می‌باشد. بیشترین بخش واحد زابلی از توالی‌های توریدایتی ماسه سنگ و شیل تشکیل شده است. بخش تحتانی این واحد (حدود ۲۰۰ متر)، شامل سنگ‌های آهکی دریایی کم عمق به همراه مقادیر کمتری آهک‌های پلاژیک، مواد آتشفشانی و شیل است. در بالای سنگ‌های آهکی، آهک‌های پلاژیک نازک لایه حضور دارند که به صورت بیومیگرایت سبز رنگ حاوی روزن‌داران پلانکتونیک به همراه میان لایه‌های مارنی می‌باشند. بر روی واحد بیومیگرایتی، واحدهای مارنی و شیلی قرمز و سبز رنگ قرار دارند که به مقدار کمتری دارای بین لایه‌های ماسه سنگ و سیلتستون به همراه عدسی‌ها و لایه‌های نازک آهکی هستند. در بخش‌های بالایی واحدهای مارنی و شیلی نیز توالی‌های منظم ماسه سنگ- شیل قرار می‌گیرند که دارای لایه‌بندی یکنواخت و مسطح با گسترش جانبی زیاد می‌باشند. طبقات ماسه‌سنگی، نازک تا خیلی ضخیم لایه بوده و دارای مرز تحتانی تند هستند که در جهت بالا به تدریج به شیل تبدیل می‌شوند. ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً دانه‌ریز تا دانه درشت بوده و شیل‌ها نیز سیلتی می‌باشند. لایه‌های ماسه سنگی و شیلی معمولاً به رنگ خاکستری، سبز روشن و قهوه‌ای کم‌رنگ دیده می‌شوند.



رسوبات بادی. رسوبات کواترنری شامل رسوبات مخروط افکنه و پادگانه آبرفتی، کانال رودخانه و دشت سیلابی و

EOm واحد ماشکید شامل توالی‌های منظم ماسه‌سنگ و شیل (ائوسن پسین- الیگوسن پیشین)

Eh واحد هیزآباد متشکل از توالی‌های شیلی و نازک لایه‌های ماسه سنگی (ائوسن پسین)

Ez (Ez, Ez4, Ez5) واحد زابلی شامل توالی‌های توریدیتی شیل و ماسه سنگ به همراه سنگ آهک و مواد آتشفشانی (ائوسن پیشین- ائوسن پسین)

Es (Es1, Es3, Es4, Es5) واحد سراوان شامل توالی‌های توریدیتی شیل و ماسه سنگ به همراه کنگلومرا و سنگ آهک (ائوسن پیشین- ائوسن پسین)

Ebs واحد بادامو- سیاهان متشکل از توالی ماسه سنگ و شیل به همراه کمی کنگلومرا و سنگ آهک (ائوسن پیشین- ائوسن میانی)

Kb واحد بیرک شامل سنگ آهک‌های مربوط به آب‌های کم عمق به همراه ماسه سنگ و شیل (کرتاسه)



تصویر ۲- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ چهارگوش سراوان، مک‌کال و افتخار نژاد ۱۳۷۳). دایره‌های تیره محل‌های نمونه برداری را نشان می‌دهند.

### ۳- روش مطالعه

جهت انجام آنالیز ژئوشیمیایی، تعداد ۱۰ نمونه ماسه سنگی دانه‌ریز و غیر هوازده انتخاب شده و مقادیر عناصر اصلی و فرعی به روش‌های فلورسانس اشعه ایکس (X-Ray Fluorecence, XRF) و پلاسمای جفت‌شده القایی (Inductively Coupled Plasma, ICP) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تعیین شدند. نتایج حاصل از شمارش نقطه‌ای و آنالیز ژئوشیمیایی بر روی نمودارهای استاندارد موجود رسم شدند. در نهایت، نتایج مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

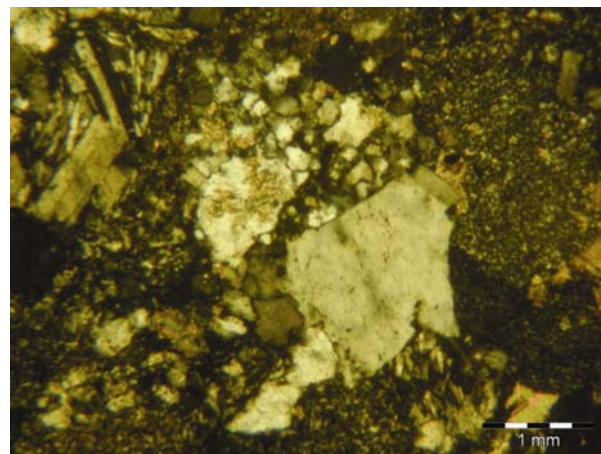
در این پژوهش، تعداد ۶۴ نمونه سنگی از بخش‌های غیر هوازده ماسه سنگی و گل‌سنگی (شیل، مادستون و سیلتستون) برداشت شدند. به منظور انجام مطالعات دقیق پتروگرافی بوسیله میکروسکوپ پلاریزان، از نمونه‌های ماسه سنگی مقاطع نازک تهیه شد. شمارش نقطه‌ای برای ۳۶ مقطع نازک، به روش گزی-دیکینسون، انجام شد (Ingersoll et al. 1984) و در هر مقطع نازک نیز تعداد ۴۰۰ تا ۶۰۰ دانه شمارش گردید.

#### ۴- نتایج

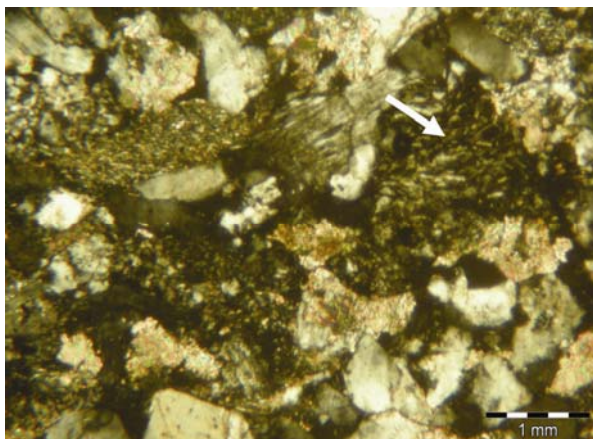
##### ۴-۱- ترکیب کانی‌شناسی

خرده‌های سنگی شامل انواع آتشفشانی، دگرگونی و رسوبی هستند که در مجموع ۳۰/۵ درصد دانه‌های آواری را به خود اختصاص داده‌اند. خرده سنگ‌های آتشفشانی اغلب حاوی بلورهای نازک و کشیده فلدسپات در زمینه‌ای با بافت ریز دانه و یا شیشه‌ای هستند (تصویر ۵). این خرده سنگ‌ها نسبت به انواع دگرگونی و رسوبی فراوان‌تر می‌باشند. خرده سنگ‌های دگرگونی معمولاً دارای برگوارگی بوده و از نوع اسلیت و فیلیت می‌باشند. خرده سنگ‌های رسوبی نیز از انواع کربناته (قطععات خرد شده فسیلی و میکرایتی)، چرت، شیل و سیلتستون هستند. مسکوویت، کلریت، زیرکن و کلانی‌های اپاک نیز در برخی از مقاطع نازک قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به درصد فراوانی اجزاء تشکیل دهنده و بر اساس تقسیم بندی ماسه سنگ‌ها به روش فولک (Folk 1980)، ماسه سنگ‌های مورد مطالعه از نوع لیت آنرایت فلدسپاتی (feldespatic litharenite) می‌باشند (تصویر ۶).

ماسه سنگ‌های واحد زابلی دانه‌ریز تا دانه‌درشت بوده و جورشدگی آنها ضعیف تا متوسط می‌باشد. اغلب دانه‌ها نیمه زاویه‌دار تا نیمه گردشده با کرویت متوسط هستند. این ماسه سنگ‌ها دارای کوارتز تک بلوری و چند بلوری، فلدسپات، خرده‌های سنگی، فیلسیلیکات‌ها و کانی‌های سنگین می‌باشند. ترکیب مدال این ماسه سنگ‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. کوارتز، فراوانترین دانه در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه است که از انواع تک بلوری (۳۴/۹ درصد) و چند بلوری (۲۰/۱ درصد) تشکیل شده است (تصویر ۳).



تصویر ۳- کوارتز تک بلوری و چند بلوری (XPL)



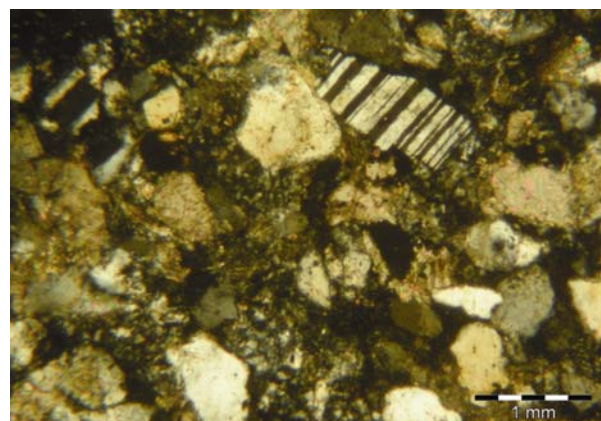
تصویر ۵- خرده سنگ آتشفشانی که در آن بلورهای نازک فلدسپات در زمینه‌ای شیشه‌ای دیده می‌شوند (XPL).

##### ۴-۲- فرآیندهای دیاژنتیکی

تراکم فیزیکی و شیمیایی، سیمانی شدن، جانیشینی و دگرسانی شیمیایی، از جمله فرآیندهای دیاژنتیکی هستند که ماسه سنگ‌های واحد زابلی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. تراکم فیزیکی باعث آرایش متراکم دانه‌ها شکسته شدن دانه‌های مقاوم (کوارتز و فلدسپات) و تغییر شکل پلاستیک در دانه‌های نرم‌تر (شیل، اسلیت و فیلیت) شده است (تصویر ۷). آثار تراکم شیمیایی به صورت تماس‌های محدب-مقعر میان دانه‌ها (انحلال فشاری) قابل مشاهده است (تصویر ۸).

سیمان‌های کربناته، سیلیسی و رسی از مهم‌ترین سیمان‌های قابل مشاهده در ماسه سنگ‌های واحد زابلی هستند (تصویر ۹). جانیشینی توسط کلسیت در دانه‌های فلدسپات، کوارتز و خرده سنگ‌های آتشفشانی به خوبی قابل مشاهده است (تصویر ۱۰).

دانه‌های کوارتز تک بلوری اغلب دارای خاموشی موجی بوده اما انواع با خاموشی یکنواخت نیز وجود دارند. برخی از کوارتزهای چند بلوری دارای ۲ تا ۳ بلور (۴/۵ درصد) و گاه بیش از ۳ بلور (۱۵/۵ درصد) می‌باشند. پلاژیوکلاز، فراوانترین فلدسپات (۱۰/۵ درصد) (تصویر ۴) و غالباً از نوع الیگوکلاز-آندزین می‌باشد (با استفاده از روش میشل-لوی، Dana 2000). آلکالی فلدسپات‌ها نیز شامل میکروکلین و ارتوز می‌باشند (۴ درصد).

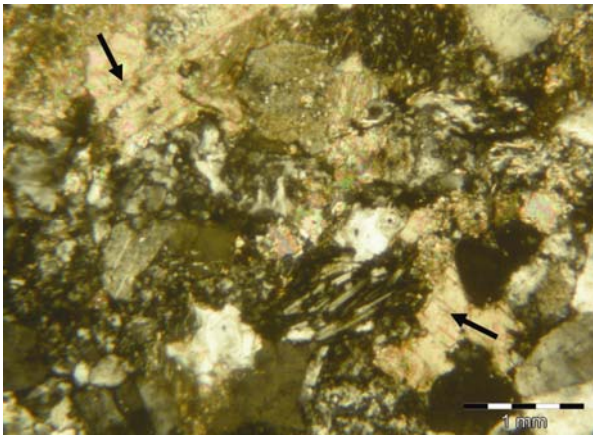


تصویر ۴- پلاژیوکلاز با ماکل تکراری (XPL)

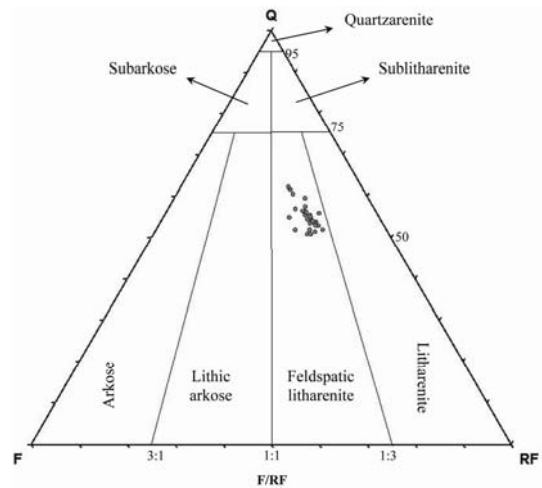
فلدسپات‌ها در ماسه سنگ‌های واحد زابلی تحت تأثیر کائولینیتی شدن، سریسیتی شدن و کلسیتی شدن قرار گرفته‌اند (تصویر ۱۱).

جدول ۱- ترکیب مدال نمونه‌های ماسه سنگی واحد زابلی که از شمارش نقطه‌ای بدست آمده است.

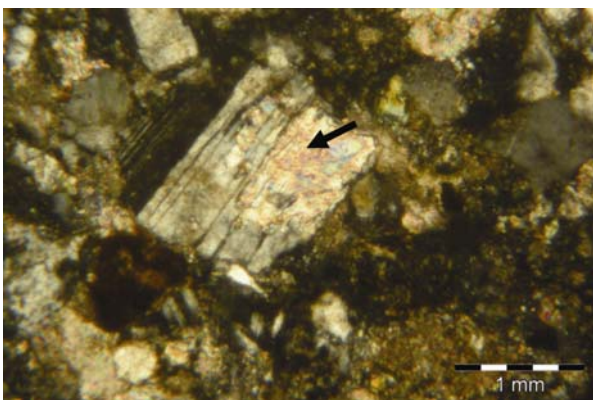
$L_1$ (%)	$L$ (%)	$F$ (%)	$K$ (%)	$P$ (%)	$Q_1$ (%)	$Q_P$ (%)	$Q_m$ (%)	Samples
۵۰/۹۲	۳۰/۳۶	۱۵/۴۵	۴/۲	۱۰/۲۵	۵۴/۲۹	۲۰/۵۶	۳۳/۷۳	Ka1
۴۹/۳۴	۲۸/۸	۱۴/۰۷	۳/۳۲	۱۰/۱۵	۵۷/۱۹	۲۰/۵۴	۳۶/۶۵	Ka3
۵۵/۴۲	۳۰/۹۳	۱۴/۹۵	۳/۶۵	۱۱/۱	۵۴/۴۱	۲۴/۴۹	۲۹/۹۲	Ka6
۵۹/۴۳	۳۴/۹۷	۱۳/۴۹	۳/۳۷	۱۰/۱۲	۵۱/۸۱	۲۴/۴۶	۲۷/۳۵	Ka8
۵۱/۵۸	۲۷/۹۲	۱۴/۴	۴/۲	۱۰/۱	۵۳/۹۷	۲۳/۶۶	۳۰/۳۱	Ka11
۵۲/۹۱	۳۰/۴	۱۳/۹۸	۳/۷۳	۱۰/۲۵	۵۴/۲۸	۲۲/۵۱	۳۱/۷۷	Ka12
۵۵/۹۵	۳۳/۹۳	۱۴/۴۲	۳/۳۱	۱۱/۱۱	۵۴/۵۲	۲۱/۹۷	۳۲/۵۵	Ka14
۵۴/۲۸	۲۶/۸۲	۱۴/۴۸	۴/۲۱	۱۰/۲۷	۵۸/۹۳	۲۷/۴۶	۳۱/۴۷	Ka15
۴۱/۹۵	۲۴/۳۶	۱۵/۴۵	۴/۲۳	۱۱	۶۰/۳۶	۱۷/۵۹	۴۲/۷۷	Ka17
۴۴/۶۳	۳۱/۹۱	۱۵/۲۱	۳/۹۹	۱۱/۱	۵۲/۹۱	۱۲/۷۲	۴۰/۱۹	Ka20
۵۰/۷۳	۲۶/۹۲	۱۳/۹۱	۳/۷۷	۱۰/۱۴	۵۹/۲۲	۲۳/۸۱	۳۵/۴۱	Ka21
۵۲/۹۹	۳۰/۹۱	۱۵/۵۷	۴/۸	۱۰/۱۷	۵۳/۵۱	۲۲/۰۸	۳۱/۴۳	Ka22
۵۲/۹۴	۳۲/۷۲	۱۴/۱۷	۳/۹	۱۰/۲۷	۵۳/۴۱	۲۰/۲۲	۳۳/۱۹	Ka25
۵۲/۴۹	۲۲/۹۵	۱۵/۵۷	۳/۹۱	۱۱/۱۱	۶۱/۵۸	۲۹/۵۴	۳۲/۰۴	Ka27
۴۸/۹۹	۲۳/۵۲	۱۵/۴۷	۴/۵۳	۱۰/۱۴	۶۱/۲۱	۲۵/۴۷	۳۵/۷۶	Ka28
۴۹/۹۴	۳۲/۷۳	۱۵/۱۵	۴/۰۳	۱۱/۱۲	۵۳/۸۳	۱۷/۲۱	۳۶/۶۲	Ka30
۴۸/۶۷	۳۲/۹۸	۱۴/۷۹	۴/۱۳	۱۰/۲۶	۵۲/۸۱	۱۵/۶۹	۳۷/۱۲	Ka31
۴۷/۹	۲۸/۶۱	۱۴/۵۳	۴/۳۱	۱۰/۲۲	۵۴/۹۱	۱۹/۲۹	۳۵/۶۲	Ka34
۵۰/۲۲	۲۷/۹۱	۱۴/۹۱	۴/۰۷	۱۰/۲۴	۵۶/۲۲	۲۲/۳۱	۳۳/۹۱	Ka35
۴۹/۷۳	۳۰/۹۲	۱۴/۸۹	۴/۱۳	۱۰/۱	۵۴/۷۶	۱۸/۸۱	۳۵/۹۵	Ka36
۵۱/۹۳	۳۱/۳۶	۱۵/۴۴	۴/۲۱	۱۱/۲۱	۵۴/۲۸	۲۰/۵۶	۳۳/۷۲	Ka37
۵۵/۹۳	۳۳/۷۲	۱۴/۰۷	۳/۸۳	۱۰/۲۴	۵۵/۲۷	۲۲/۲۱	۳۳/۰۶	Ka39
۴۹/۲۳	۳۱/۹۲	۱۴/۶۱	۳/۶۹	۱۰/۱۲	۵۳/۶۲	۱۷/۳۱	۳۶/۳۱	Ka41
۴۸/۹۱	۲۶/۶۳	۱۵/۲۲	۳/۹۶	۱۱/۱۶	۵۸/۳۹	۲۲/۲۸	۳۶/۱۱	Ka42
۵۱/۷۲	۳۳/۹۶	۱۵/۲۷	۴/۰۶	۱۱/۲۱	۵۱/۴۵	۱۷/۷۶	۳۳/۶۹	Ka44
۴۵/۸۳	۳۱/۷	۱۴/۳۸	۴/۱۴	۱۰/۲۴	۵۵/۵۷	۱۴/۱۳	۴۱/۴۴	Ka46
۴۷/۹	۳۳/۴۷	۱۵/۱۹	۴/۰۸	۱۱	۵۱/۵۵	۱۴/۴۳	۳۷/۱۲	Ka49
۴۸/۹۱	۳۲/۳۱	۱۴/۲۱	۳/۷۹	۱۰/۱۲	۵۲/۸۲	۱۶/۶	۳۶/۲۲	Ka50
۴۸/۸۷	۳۰/۶۳	۱۴/۷۷	۳/۷۷	۱۰/۱	۵۳/۷۶	۱۸/۲۴	۳۵/۵۲	Ka51
۵۱	۳۱/۴۸	۱۴/۵۶	۳/۶۴	۱۰/۲۲	۵۴/۴۶	۱۹/۵۲	۳۴/۹۴	Ka54
۴۸/۹۸	۳۲/۷۴	۱۴/۸۲	۳/۷۱	۱۱/۱۱	۵۳/۴۶	۱۶/۲۴	۳۷/۲۲	Ka55
۵۱/۶۲	۳۰/۹۱	۱۴/۷۱	۳/۸۴	۱۰/۲۷	۵۴/۹۲	۲۰/۷۱	۳۴/۲۱	Ka57
۴۷/۵۳	۳۱/۸۲	۱۴/۶۱	۳/۶۴	۱۰/۱۷	۵۳/۸۲	۱۵/۷۱	۳۸/۱۱	Ka59
۴۹/۹	۳۱/۵۸	۱۴/۶۶	۴/۵۲	۱۰/۱۴	۵۳/۱۹	۱۸/۳۲	۳۴/۸۷	Ka60
۴۹/۸۲	۳۰/۸۸	۱۴/۹۲	۴/۴۱	۱۰/۲۱	۵۴/۱۶	۱۸/۹۴	۳۵/۲۲	Ka62
۵۱/۵۶	۳۳/۸۵	۱۵/۰۶	۴/۰۳	۱۱/۰۳	۵۴/۷۷	۱۷/۷۱	۳۷/۰۶	Ka63
۵۰/۶	۳۰/۵	۱۴/۵	۴	۱۰/۵	۵۵	۲۰/۱	۳۴/۹	میانگین



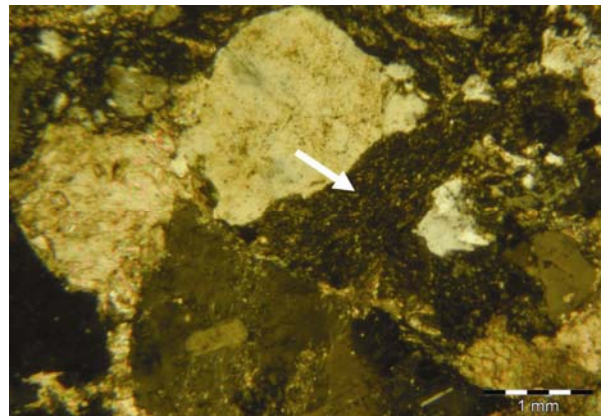
تصویر ۹- سیمان کلسیتی (XPL).



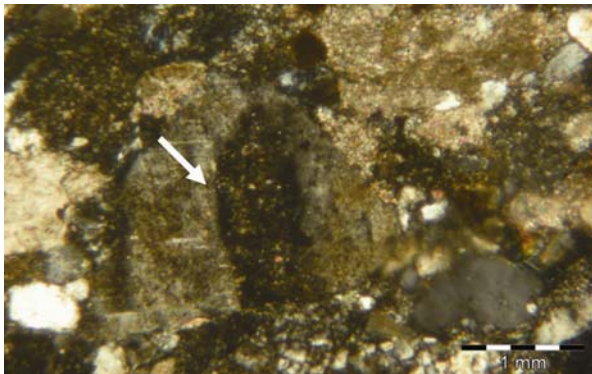
تصویر ۶- موقعیت ماسه سنگ‌های توالی‌های توریدایتی سراوان بر روی نمودار مثلثی فولک (Folk 1980).



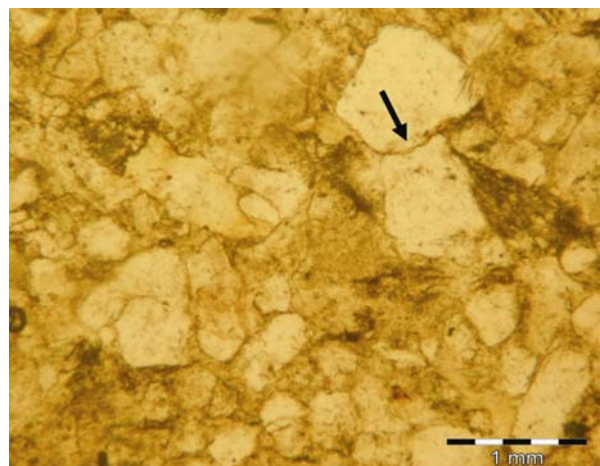
تصویر ۱۰- جانیشینی پلاژیوکلاز بوسيله کلسیت (XPL).



تصویر ۷- تراکم فیزیکی و له شدن خرده سنگ رسوبی (XPL).



تصویر ۱۱- دگرسانی فلدسپات به کائولینیت و سریسیت (XPL).



تصویر ۸- مرز محذب- مقعر ناشی از تراکم شیمیایی (PPL)

### ۳-۴- ژئوشیمی

۰/۲۵ (از ۰/۱ تا ۰/۳۲) است. مقدار  $Al_2O_3$  در محدوده ۸/۲ تا ۱۰/۵ (Wt%) تغییر می‌کند و مقدار میانگین آن ۹/۱۳ (Wt%) می‌باشد. مقدار میانگین  $CaO$ ،  $Fe_2O_3$  و  $MgO$  نیز به ترتیب برابر ۹/۲۱، ۳/۵۵ و ۲/۲۸ (Wt%) است.

نوع و مقدار عناصر اصلی موجود در ماسه سنگ‌های واحد زابلی در جدول ۲ ارائه شده است. مقدار میانگین  $SiO_2$  و نسبت  $K_2O/Na_2O$  در این ماسه سنگ‌ها به ترتیب ۶۱/۹۴ (Wt%) (از ۵۶/۳ تا ۶۹/۸) و

ترکیب عناصر فرعی و نادر خاکی ماسه سنگ‌های واحد زابلی در میانگین عناصر Cr, Hf, Co و Ni در مقایسه با پوسته قاره‌ای بالایی جدول ۳ نشان داده شده است. مقدار میانگین عناصر La, Th, Rb, بیشتر است. مقادیر نسبت‌های La/Sc, Th/Sc, Co/Th, La/Yb و La/Sm نیز به ترتیب ۱/۲، ۱/۵، ۲/۶، ۱۱/۷ و ۴/۶ می‌باشد.

جدول ۲- ترکیب عناصر اصلی (Wt.%) ماسه سنگ‌های واحد زابلی و مقایسه آن با UCC (پوسته قاره‌ای فوقانی).

UCC	Mean value	Kz74	Kz63	Kz47	Kz44	Kz42	Kz31	Kz29	Kz18	Kz11	Kz8	شماره نمونه
	۶۶۰	۵۹/۳۱	۵۵/۳۱	۵۴/۰۳	۶۰/۲۳	۵۹/۴	۶۱/۰۲	۶۲/۰۱	۶۱/۳۷	۵۸/۳۷	۵۹/۹۲	SiO <sub>2</sub>
	۰/۶۸	۰/۵۹	۰/۶۶	۰/۵۲	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۴۲	۰/۵۴	۰/۵۷	۰/۷۱	۰/۵۶	TiO <sub>2</sub>
	۱۵/۲	۱۱/۱۹	۱۰/۳۵	۱۲/۷	۱۱	۱۳/۹۸	۸/۶۳	۱۱/۳۵	۱۱/۷۵	۱۰/۷	۱۱/۱۵	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	۵/۰۳	۵/۲۷	۶/۵۲	۶/۲۳	۵/۴	۶/۵۲	۴/۲۱	۴/۶۵	۴/۷۶	۵/۱۳	۵/۰۸	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۱۳	۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۴	MnO
	۲/۲	۳/۱	۳/۲	۵/۵	۲/۹۷	۲/۹۸	۲/۰۵	۲/۵۳	۳/۰۳	۲/۸۹	۲/۹۹	MgO
	۴/۲	۹/۳۷	۱۲/۳۸	۹/۱۱	۸/۷۳	۵/۸۷	۱۲/۳۱	۸/۰۶	۷/۸۳	۱۰/۷۶	۹/۲۷	CaO
	۳/۹	۲/۱۱	۲/۱۹	۲/۱۵	۲/۰۹	۱/۹۹	۲/۲۸	۲/۱۷	۲/۱۵	۲/۰۴	۲/۰۸	Na <sub>2</sub> O
	۳/۴	۱/۳۱	۰/۶۴	۱/۰۷	۱/۵۴	۱/۷۱	۰/۵۴	۱/۵۷	۱/۵۵	۱/۱۴	۱/۵۴	K <sub>2</sub> O
	۰/۱۵	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	<۰/۱	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
		۷/۳۹	۸/۳	۸/۱۲	۷/۰۸	۶/۵۴	۸/۲	۶/۸۸	۶/۷۴	۷/۹۲	۶/۹۸	LOI
			۹۹/۸۸	۹۹/۹۷	۹۹/۹۸	۹۹/۹۸	۹۹/۹۲	۹۹/۹۸	۹۹/۹۶	۹۹/۸۸	۹۹/۸۱	Total

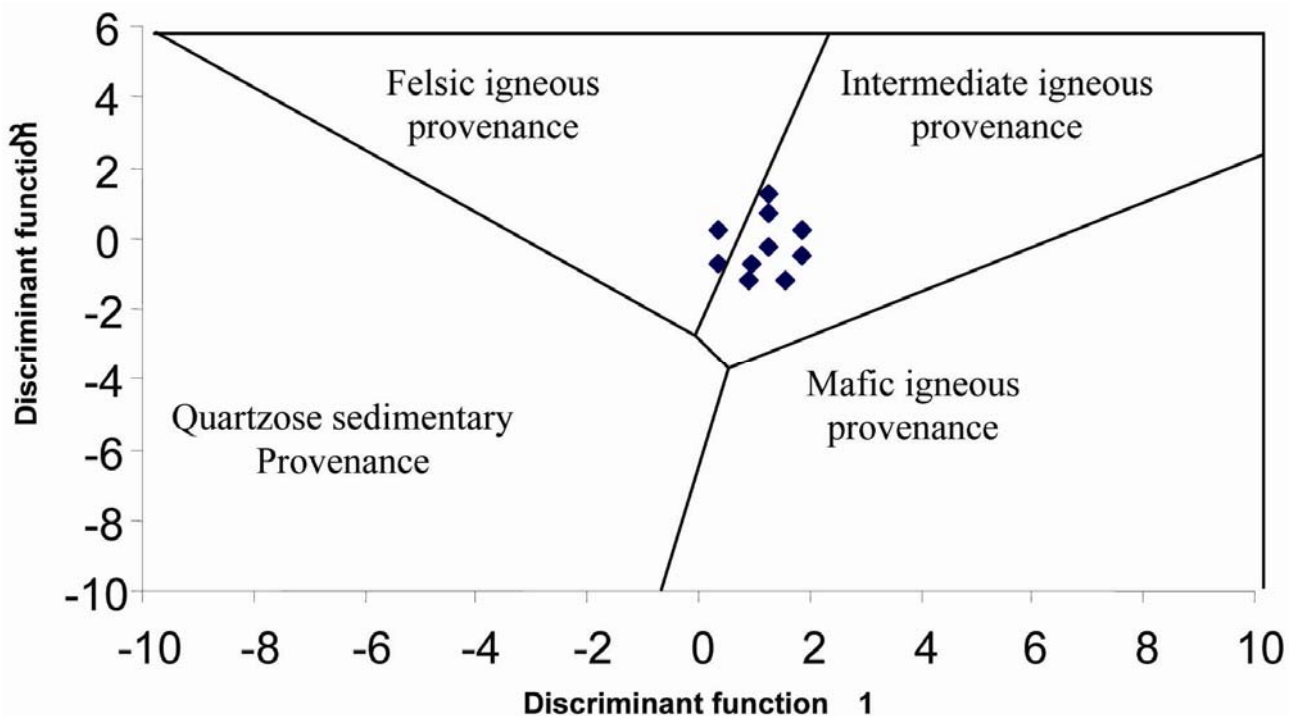
جدول ۳- ترکیب عناصر فرعی (ppm) ماسه سنگ‌های واحد زابلی و مقایسه آن با UCC (پوسته قاره‌ای فوقانی).

UCC	Mean value	Kz74	Kz63	Kz47	Kz44	Kz42	Kz31	Kz29	Kz18	Kz11	Kz8	شماره نمونه
	۱۱۲	۶۴/۲۷	۷۴/۵۶	۵۹/۳۴	۸۲/۵۴	۷۲/۶	۴۶/۰۹	۷۵/۲۴	۵۲/۲۱	۴۸/۰۴	۶۹/۹	Rb
	۵۵۰	۲۴۳/۱	۱۷۰	۱۵۳	۳۰۵	۱۰۵	۳۹۲	۲۰۲	۱۹۲	۱۲۷	۴۵۹	Ba
	۱۰/۷	۹/۵۱	۱۰/۹۸	۸/۸۶	۱۳/۵	۱۲/۸۱	۵/۹۴	۱۰/۷۳	۷/۲۶	۸/۴	۹/۳۶	Th
	۱۹۰	۳۶/۸۲	۳۷/۱۷	۳۶/۹	۴۲/۲	۳۹/۴	۲۶/۳۶	۴۱/۰۹	۲۵/۷۹	۳۵/۹۷	۴۶/۹	Zr
	۵/۸	۷/۶۱	۹/۰۷	۹/۲۲	۷/۸۵	۸/۴	۶/۵	۶/۵۷	۷/۲۴	۷/۴۵	۷/۳۹	Hf
	۱۲	۱۱/۶۶	۱۲/۳۴	۹/۹۱	۱۸/۶۳	۱۲/۸۸	۶/۷۲	۱۳/۰۷	۷/۱۴	۱۲/۵۱	۱۵/۹۹	Nb
	۲۲	۱۰/۰۲	۱۰/۰۷	۹/۸۳	۱۲/۲۵	۸/۳۹	۸/۰۹	۱۱/۵۴	۷/۹۵	۹/۹۸	۱۲/۲۱	Y
	۳۰	۱۲/۲۱	۷/۹۲	۱۵/۰۴	۱۷/۴	۶/۰۵	۵/۶۲	۱۶/۰۶	۱۲/۲۹	۱۳/۲۵	۱۵/۹۹	La
	۴/۵	۲/۷۱	۲/۷۷	۲	۲/۹۵	۲/۴۵	۲/۷۵	۳/۰۲	۲	۲/۹۳	۳/۱۳	Sm
	۰/۸۸	۰/۵۲	۰/۳۷	۰/۸۴	۰/۷	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۸۷	۰/۴۲	۰/۵۲	۰/۶۳	Eu
	۲/۲	۱/۰۳	۰/۹۶	۱/۰۱	۱/۴۷	۰/۹۱	۰/۷۹	۱/۲۷	۰/۷۸	۰/۹۷	۱/۱۸	Yb
	۱۳/۶	۷/۸۲	۷/۴۳	۹/۶۴	۹/۳۵	۸/۶۸	۴/۶۴	۸/۶۶	۶/۸۷	۷/۴	۸/۲۲	Sc
	۱۰۷	۶۵/۵۷	۵۰/۲	۶۶/۸۴	۸۲	۷۰/۴۱	۳۱/۹۸	۸۱/۹۲	۶۱/۵	۶۵/۰۷	۸۵/۷۳	V
	۸۳	۱۲۳/۹	۱۳۲	۱۳۴	۱۹۰	۹۱/۴	۶۹/۵	۱۳۰	۸۸/۸۷	۹۶/۸۱	۱۷۹	Cr
	۱۷	۲۴/۰۸	۲۴/۷۲	۳۶/۹۹	۲۲/۷۵	۲۶/۷۷	۱۷/۳۶	۲۰/۵۲	۲۲/۱	۲۴/۰۹	۲۰/۵۲	Co
	۴۴	۷۷/۸۳	۶۹/۷۸	۷۶	۷۲/۸۸	۹۵/۲۹	۵۹/۹۹	۷۲/۸۸	۸۲/۵۷	۸۷/۶۹	۷۰/۹۱	Ni

۵- بحث

فوقانی تقریباً همخوانی دارد. بنابراین، منشأ ماسه‌سنگ‌های مذکور، سنگ‌های پوسته فوقانی (ترکیب آنها فلیسک تا حد واسط) می‌باشد. در پوسته قاره‌ای فوقانی نسبت  $Th/Sc$  تقریباً معادل ۱ است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی از عناصر ناسازگار است. تمرکز  $Sc$  معمولاً در سنگ‌های مافیک بوده ( $Th/Sc < 1$ ) و این سنگ‌ها از عناصر سازگار غنی می‌شوند (Dokuz & Tanyolu 2006). در ماسه سنگ‌های واحد زابلی نسبت  $Th/Sc$  بیشتر از ۱ می‌باشد (تصویر ۱۳) که نشان می‌دهد سنگ منشأ این ماسه سنگ‌ها، سنگ‌های آذرین فلیسک (پوسته قاره‌ای فوقانی) بوده است. ماسه سنگ‌های جایگاه‌های زمین ساختی مختلف، خصوصیات سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی متفاوت و ویژه‌ای دارند (Wanas & Abdel-Maguid 2006, Guo et al. 2012, Yang et al. 2009, Jafarzadeh & Hosseini-Barzi 2008, Liu et al. 2007, Ranjan & Banerjee 2009). با استفاده از این ویژگی‌ها می‌توان موقعیت زمین ساختی ماسه سنگ‌ها را مشخص نمود. در ادامه، جایگاه زمین ساختی ماسه سنگ‌های واحد زابلی بر اساس اختصاصات سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی تشریح می‌گردد.

بررسی پتروگرافی ماسه سنگ‌ها، اطلاعات با ارزشی در رابطه با ماهیت ناحیه منشأ ارائه می‌نماید. ماسه‌سنگ‌های واحد زابلی مقادیر قابل توجهی فلدسپات (پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپات) و خرده سنگ‌های آتشفشانی (عمدتاً آندزیتی و داسیتی) دارند که نشان‌دهنده منشأ آتشفشانی می‌باشد. در کوارتزهای چند بلوری معمولاً هر دانه بیش از سه بلور دارد که مرز بین بلورها مستقیم تا کمی منحنی است (تصویر ۳). این کوارتزها معمولاً منشأ آذرین دارند (Wanas & Abdel-Maguid 2006). بر اساس مقادیر اکسیدهای اصلی و بکارگیری نمودار تفکیک کننده تابعی روسر و کورش (Roser & Korsch 1988) (تصویر ۱۲)، منشأ نمونه‌ها آذرین حد واسط تا فلیسک می‌باشد. درصد برخی از عناصر فرعی از قبیل  $La, Sc, Th, Yb$  و  $Sm, Co$  نیز می‌تواند در تعیین برخاستگاه ماسه‌سنگ‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Varga & Szakmany 2004, Guo et al. 2012). در ماسه سنگ‌های واحد زابلی نسبت‌های  $La/Sc, Th/Sc, La/Sm$  و  $La/Yb, Co/Th$  (جدول ۴) با مقادیر آنها در پوسته قاره‌ای

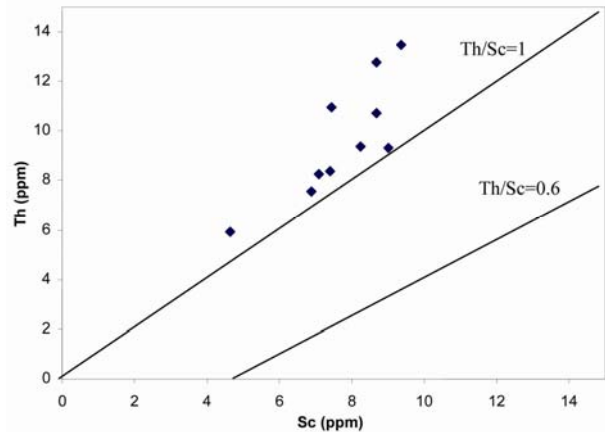


تصویر ۱۲- موقعیت ماسه سنگ‌های توریدایتی سراوان بر روی نمودار تفکیک کننده تابعی (Roser & Korsch 1988). تفکیک تابعی در نمودار فوق به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \text{تابع تفکیک کننده ۱: } & -1/773 \text{ TiO}_2 + 0/607 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0/76 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1/5 \text{ MgO} + 0/616 \text{ CaO} + 0/509 \text{ Na}_2\text{O} - 1/224 \text{ K}_2\text{O} - 9/09 \\ \text{تابع تفکیک کننده ۲: } & 0/445 \text{ TiO}_2 + 0/07 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 0/25 \text{ Fe}_2\text{O}_3 - 1/142 \text{ MgO} + 0/438 \text{ CaO} + 1/475 \text{ Na}_2\text{O} + 1/426 \text{ K}_2\text{O} - 6/861 \end{aligned}$$



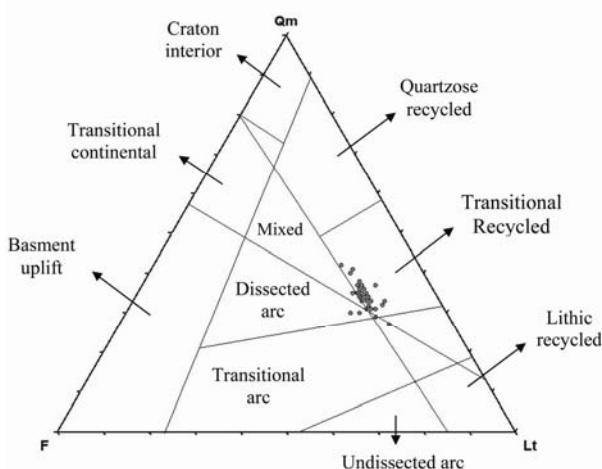
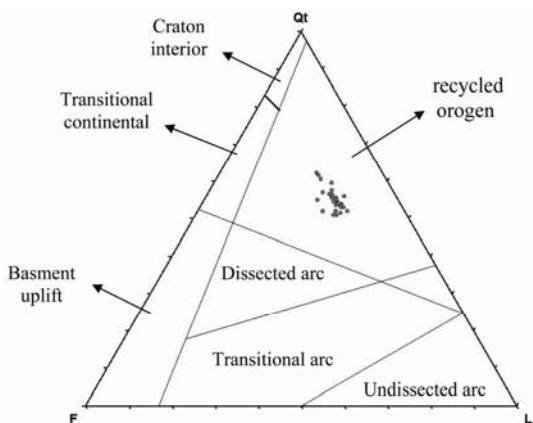
مشخص شد که رسوبات مورد مطالعه در یک حوضه رسوبی وابسته به حاشیه فعال قاره‌ای و قوس ماگمایی قاره‌ای، نهشته شده‌اند (تصویر ۱۴). عناصر فرعی در سنگ‌های رسوبی آواری، تحت شرایط هوازدگی، دیاژنز و حتی دگرگونی ضعیف، بدون حرکت بوده و مقادیر اولیه آنها در طی این فرایندها حفظ می‌گردد (Wanas & Abdel-Maguid 2006, Guo et al. 2012, Yang et al. 2009) در نتیجه، این عناصر، شاخص‌های مناسبی برای تعیین برخاستگاه و جایگاه زمین ساختی رسوبات آواری محسوب می‌شوند.



تصویر ۱۳- تغییرات مقدار  $Th$  نسبت به  $Sc$  در نمونه‌های ماسه سنگی واحد زابلی. نسبت  $Th/Sc$  در نمونه‌ها بزرگتر از ۱ است که نشان‌دهنده منشا پوسته قاره‌ای فوقانی می‌باشد.

جدول ۴- مقایسه نسبت‌های عناصر فرعی ماسه سنگ‌های واحد زابلی با UCC (McLennan 2001).

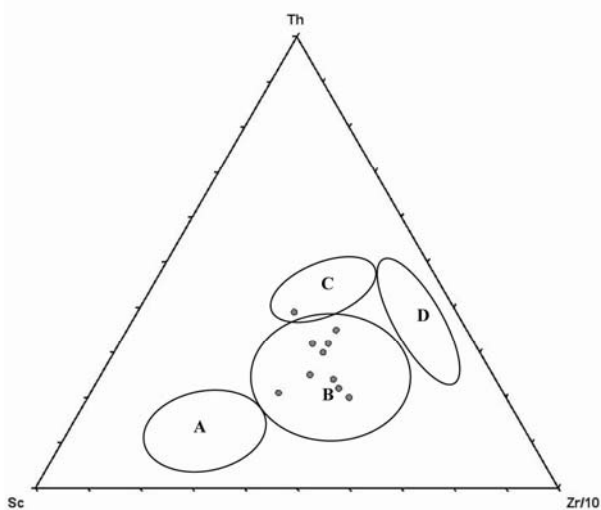
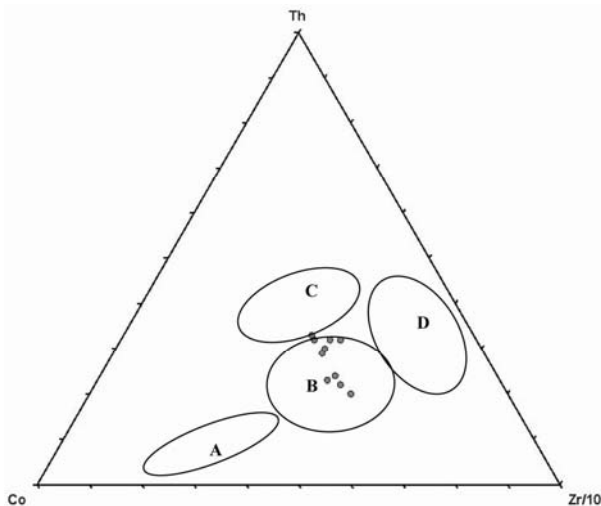
نسبت عناصر فرعی	میانگین ماسه سنگ‌های واحد زابلی	UCC (پوسته قاره‌ای فوقانی)
$Th/Sc$	$1/2 (0/9-1/4)$	$0/8$
$La/Sc$	$1/5 (0/7-1/95)$	$2/2$
$Co/Th$	$2/6 (1/68-4/1)$	$1/6$
$La/Yb$	$11/7 (6/7-15/75)$	$13/6$
$La/Sm$	$4/6 (2/04-7/52)$	$6/7$



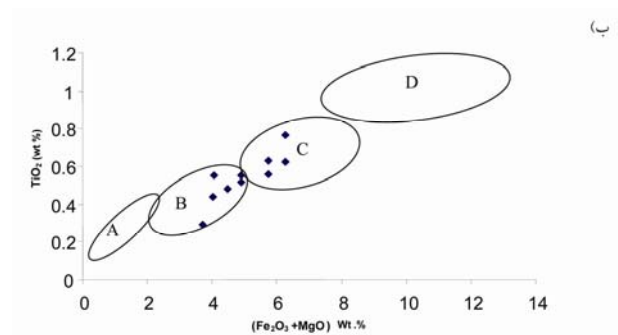
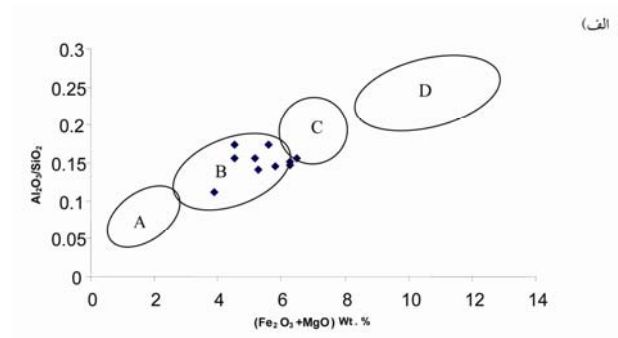
تصویر ۱۳- موقعیت ماسه سنگ‌های واحد زابلی بر روی نمودارهای مثلثی  $QmFLt$  و  $QtFL$  (Dickinson et al. 1983).

رسم مقادیر عناصر فرعی نمونه‌های ماسه سنگی واحد زابلی بر روی نمودارهای مثلثی  $Th-Co-Zr/10$  و  $Th-Sc-Zr/10$  (Bhatia & Crook 1986) نیز نشان‌دهنده رسوبگذاری ماسه سنگ‌های واحد زابلی در یک حوضه رسوبی وابسته به حاشیه فعال قاره‌ای و قوس ماگمایی قاره‌ای است (تصویر ۱۵) که با نمودارهای تفکیک کننده تکتونیکی بر اساس اکسیدهای اصلی (تصویر ۱۴) همخوانی دارد.

ترکیب مدال ماسه سنگ‌های واحد زابلی که بر اساس داده‌های حاصل از شمارش نقطه‌ای بدست آمد بر روی نمودارهای مثلثی  $QmFLt$  و  $QtFL$  (Dickinson et al. 1983) رسم شدند (تصویر ۱۳). هر دو نمودار (تصویر ۱۳)، روند یکسانی را نشان می‌دهند، موقعیت تکتونیکی ماسه سنگ‌های واحد زابلی، نیز کوهزایی‌های با چرخه مجدد (Recycled orogen) می‌باشد. با این وجود، تعیین جایگاه زمین ساختی ماسه سنگ‌ها از روی ترکیب کانی‌شناسی اجزاء آواری سازنده (ترکیب مدال) باید با احتیاط صورت گیرد، زیرا فرایندهای دیاژنتیکی می‌توانند باعث تغییر در ترکیب اولیه سنگ‌ها و جایابی در موقعیت نمونه‌ها در نمودارهای  $QmFLt$  و  $QtFL$  گردند. با استفاده از درصد اکسیدهای اصلی می‌توان موقعیت زمین ساختی ماسه سنگ‌ها را مشخص نمود. بر اساس نمودارهای تفکیک کننده تکتونیکی (Bhatia & Crook 1986) درصد  $TiO_2$  در مقابل  $Fe_2O_3+MgO$  و نسبت  $Al_2O_3/SiO_2$  در مقابل  $Fe_2O_3+MgO$



تصویر ۱۵- موقعیت ماسه سنگ‌های واحد زابلی بر روی نمودارهای مثلثی (Bhatia & Crook 1986).



تصویر ۱۴- موقعیت ماسه سنگ‌های واحد زابلی بر روی نمودارهای (Bhatia & Crook 1986). الف) درصد  $TiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  (ب) نسبت  $Al_2O_3/SiO_2$  در مقابل  $(Fe_2O_3+MgO)$  حاشیه غیر فعال، B حاشیه فعال قاره ای، C قوس قاره ای، D قوس اقیانوس.

#### تشکر و قدردانی

بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان بابت حمایت مالی از طرح پژوهشی (مطالعه رسوب شناسی و ویژگی های ژئوشیمیایی توالی های توریدایتی واحد زابلی، استان سیستان و بلوچستان) شماره ۱۰۴۵۳ مورخ ۱۳۹۰/۴/۱۱ سپاسگزاری می‌شود. همچنین از همکاری صمیمانه آقای مهندس حمید رضا خمر به جهت نمونه برداری و عملیات صحرائی تشکر و قدردانی می‌شود.

#### مراجع

مک کال، ج. ژ. ه.، افتخارنژاد، ج.، ۱۳۷۳، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش سراوان، شماره M13، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Bhatia, M. R. & Crook, K. A. W., 1986, "Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins", *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 92: 181-193.

#### ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات میکروسکوپی و آنالیز مدال، ماسه سنگ‌های توریدایتی واحد زابلی، از نوع فلدسپاتیک لیت آرنایت و با ترکیب کلی Q55F14.5L30.5 می‌باشند. تراکم فیزیکی و شیمیایی، سیمانی شدن، جانیشینی و دگرسانی‌های دیاژنتیکی، از جمله فرآیندهای دیاژنتیکی هستند که ماسه سنگ‌های واحد زابلی را تحت تأثیر قرار داده‌اند. بررسی‌های پتروگرافی و نتایج حاصل از داده‌های ژئوشیمیایی، بیانگر آن است که منشأ اولیه ماسه سنگ‌های توریدایتی محدوده‌ی مورد مطالعه، حد واسط تا فلسیک می‌باشد. بر اساس نمودارهای QtFL و QmFLt، برخاستگاه زمین ساختی این ماسه سنگ‌ها، کوهزایی‌های با چرخه مجدد می‌باشد. نمودارهای تفکیک کننده تکتونیکی بر اساس داده‌های عناصر اصلی و فرعی نیز نشان‌دهنده‌ی آن است که رسوبگذاری ماسه سنگ‌های واحد زابلی در یک حوضه رسوبی وابسته به حاشیه فعال قاره‌ای و قوس‌های ماگمایی قاره‌ای است.

- Tectonic and climate control", *Sedimentary Geology*, Vol. 177:1-18.
- Roser, B. P. & Korsch, R. J., 1988**, "Provenance signatures of sandstone–mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data", *Chemical Geology*, Vol. 67: 119–139.
- Varga, A. & Szakmany, G., 2004**, "Geochemistry and provenance of the upper carboniferous sandstones from borehole diosviszlo-3 (teseny sandstone formation, SW Hungary)", *Acta mineralogice-petrographica*, Vol. 45 (2): 7-14.
- Wanas, H. A. & Abdel-Maguid, N.M., 2006**, "Petrography and geochemistry of the Cambro-Ordovician Wajid Sandstone, southeast Saudi Arabia: Implication for provenance and tectonic setting", *Journal of Asian Earth Science*, Vol. 27: 416-429.
- Yang, J., Du, Y., Qin, Y. & Bai, X., 2009**, "Detrital composition of lower-middle Jurassic sandstones from Huangshi, Hubei: Implication for provenance types and geotectonics", *Journal of Earth Science*, Vol. 20 (5): 784-796.
- Dana, J.D., 2000**, "Manual of mineralogy", *John Wiley & Sons*, 352 pp.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A. & Ryberg, P. T., 1983**, "Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting", *Geological Society of America Bulletin*, Vol. 94: 222-235.
- Dickinson, W. R., 1985**, "Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones", In: Zuffa, G. G. (Ed.), *Provenance of Arenites Reidel, Dordrecht*: 333–361.
- Dokuz, A. & Tanyolu, E., 2006**, "Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of Lower Jurassic and Upper Cretaceous clastic rocks of the Eastern Pontides", *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 15: 181-209.
- Folk, R. L., 1980**, "Petrology of sedimentary rocks", *Austin, Texas, Hemphill*, 159 pp.
- Guo, Q., Xiao, W., Windley, B.F., Mao, Q., Han, C., Qu, J., Ao, S., Li, J., Song, D. & Yong, Y., 2012**, "Provenance and tectonic settings of Permian turbidites from the Beishan Mountains, NW China: Implications for the Late Paleozoic accretionary tectonics of the southern Altaids", *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol. 49: 54-68
- Ingersoll, R.V., Bulard, T.F., Ford, R.L., Grimm, J.P., Pickle, J.P. & Sares, S.W., 1984**, "The effect of grain size on detrital modes: a test of the gazzi-dickinson point counting method", *Journal of Sedimentary Petrology*, Vol. 54 (1): 103-116.
- Jafarzadeh, M. & Hosseini-Barzi, M., 2008**, "Petrography and geochemistry of Ahwaz sandstone member of Asmari Formation, Zagros, Iran", *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, Vol. 25 (2): 247-260.
- Liu, S., Lin, G., Liu, Y., Zhou, y., Gong, F. & Yan, y., 2007**, "Geochemistry of middle oligocene–pliocene sandstones from the Nanpu Sag, Bohai bay basin (Eastern China): Implications for provenance, weathering, and tectonic setting", *Geochemical Journal*, Vol. 41 (5): 359-378.
- McCall, G. J. H. & Eftekhar-Nezhad, J., 1994**, "Explanatory text of the Saravan quadrangle map 1:250,000", *Geological Survey of Iran*, 262 pp.
- McLennan, S. M., 2001**, "Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust", *Geochemistry Geophysics Geosystems*, Vol. 2 (4): 1021.
- McLennan, S. M., Hemming, S., McDaniel, D. K. & Hanson, G. N., 1993**, "Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics", In: *Johnsson, M. J., & Basu, A., (Eds.), Geological Society of America, Special Papers*, Vol. 285: 21–40.
- Ranjan, N. & Banerjee, D. M., 2009**, "Central Himalayan Crystallines as the primary source for the sandstone–mudstone suites of the siwalik group: New geochemical evidence", *Gondwana Research*, Vol. 16: 687–696.
- Rieser, A. B., Neubauer, F., Liu, Y. & Ge, X., 2005**, "Sandstone provenance of north-western sectors of the intracontinental Cenozoic Qaidam basin, western China: