



## زمین‌شیمی و سنگ‌شناسی بازالت‌های شمال شرق نیشابور، شمال شرق ایران

محمد ابراهیم فاضل ولی پور<sup>۱</sup>، مرجان بخشی مزده<sup>۲\*</sup>

۱- دانشیار پترولوژی، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، مشهد، ایران

\* عهده‌دار مکاتبات: marjanb10@gmail.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۸/۲، پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۲۱

### چکیده

سنگ‌های بازالتی مورد نظر با مختصات جغرافیایی  $۰۸^{\circ} ۵۹'$  تا  $۱۶^{\circ} ۵۹'$  طول شرقی و  $۰۷^{\circ} ۳۶'$  تا  $۱۱^{\circ} ۳۶'$  عرض شمالی در شمال شرق درود- نیشابور قرار گرفته است. سن این سنگ‌ها سیلورین است و ترکیب سنگ‌شناسی متنوعی شامل بازالت معمولی، بازالت الیوین‌دار، تراکی‌بازالت، آندزیت بازالتی، تراکی‌آندزیت بازالتی و دولریت دارند که براساس نمودارهای نام‌گذاری، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بازالت قلیایی است. در نقشه زمین‌شناسی طبقه‌بندی این سنگ‌ها به صورت گدازه‌های بالشی گزارش شده‌اند، اما به دلیل تکتونیزه بودن منطقه و خردشدگی سنگ‌ها، ساختار بالشی در منطقه مورد مطالعه دیده نشد. نمودارهای مختلف سرشت ماگمای مولد را قلیایی سدیمی نشان دادند و نمودارهای عنکبوتی عناصر ناسازگار نشان‌دهنده بی‌هنجاری‌های متفاوت و متغیر عناصر ناسازگار مانند Ba, Rb, K, Th (LILE) هستند که بیانگر تأثیر شدید فرایند دگرسانی در این سنگ‌ها بوده و عناصر Nb, Ti, Ta (HFSE) غنی شده‌اند که نشان‌دهنده منبع گوشته غنی‌شده (سست‌کره) برای این سنگ‌ها است، همچنین بی‌هنجاری‌های مثبت سرب در نمودارهای عنکبوتی مشارکت مواد پوسته‌ای در سنگ‌زایی سنگ‌های منطقه را نشان می‌دهد. محیط زمین‌ساختی این سنگ‌ها نشانگر این امر است که بازالت‌های مورد مطالعه از نوع درون‌صفحه‌ای است، و با توجه به وجود فسیل مرجان در رخساره‌های کربناتی- ماسه‌سنگ منطقه متعلق به سن دونین می‌توان چنین استنباط کرد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه در محیط کم‌عمق زیر آب، طی فاز کالدونین فوران کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: بازالت، بازالت قلیایی، سنگ‌شناسی، شمال شرق ایران، نیشابور، کالدونین

زمین‌شناسی است.

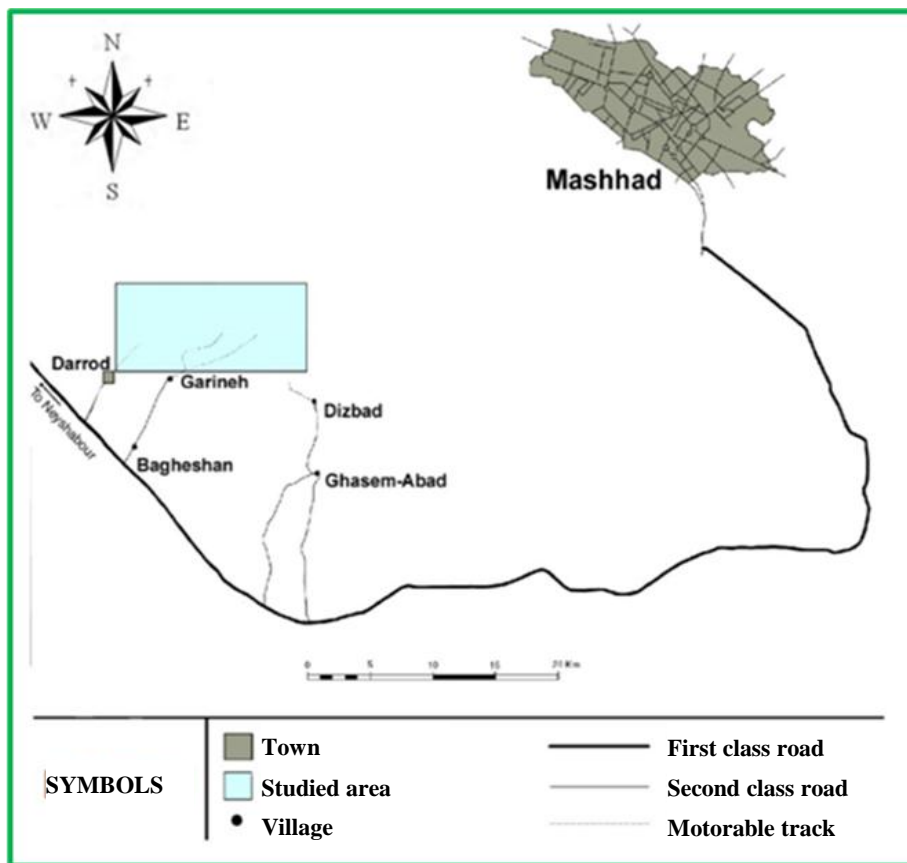
### ۱- مقدمه

### ۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

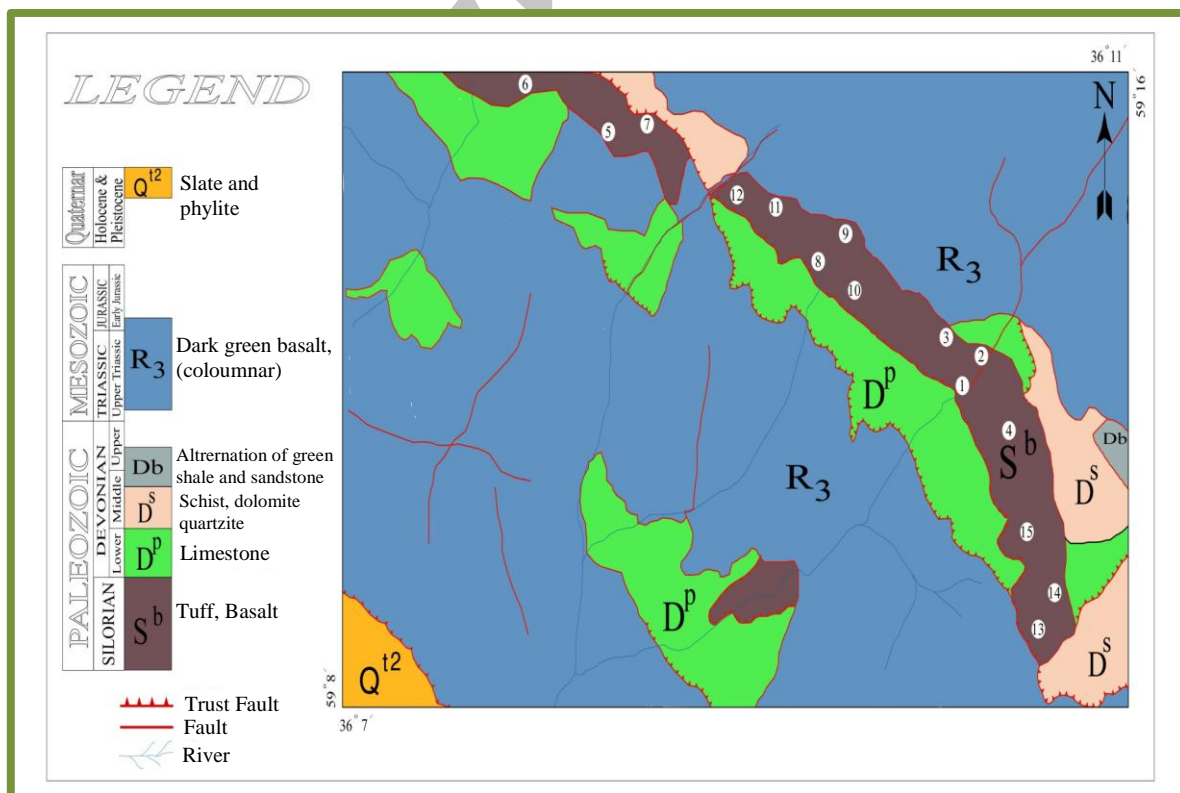
براساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختاری- رسوبی ایران توسط نبوی، (۱۳۵۵)، این منطقه در زون بینالود قرار می‌گیرد. روند اصلی لایه‌های سنگی و سازندهای موجود، شمال غرب- جنوب شرق و منطبق بر روند آلپی ایران است. گسل‌های زیادی در منطقه دیده می‌شود که از مهم‌ترین آنها می‌توان به گسل رورانه دیزباد- خرو در بخش شمالی و مرکزی و گسل رورانه بینالود در بخش جنوبی اشاره کرد. از جمله سازندهای مهم منطقه می‌توان به سازند سب‌زار، بهرام، پادها و نیور اشاره کرد. نقشه زمین‌شناسی تهیه‌شده از منطقه و نیز موقعیت جغرافیایی نمونه‌های تجزیه‌شده در شکل ۲ آورده شده است.

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق درود- نیشابور در شمال شرق ایران قرار دارد و دارای مختصات جغرافیایی  $۰۸^{\circ} ۵۹'$  تا  $۱۶^{\circ} ۵۹'$  طول شرقی و  $۰۷^{\circ} ۳۶'$  تا  $۱۱^{\circ} ۳۶'$  عرض شمالی است. موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه در شکل ۱ نشان داده شده است. از مطالعات گذشته می‌توان به گزارشات سازمان زمین‌شناسی این منطقه (نبوی، ۱۳۵۵)، مطالعات رحیمی، (۱۳۷۱) که به مطالعه و تحلیل ساختاری ارتفاعات بینالود در شرق و شمال شرق نیشابور پرداخته و نیز تهیه نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰:۱ طر‌قبه (پورلطیفی، ۱۳۸۱) و نقشه ۱:۲۵۰۰۰:۱ گرینه (نعیمی قصابیان، ۱۳۸۷) اشاره نمود.

هدف از این مطالعه، بررسی، مطالعه سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی سنگ‌های بازالتی منطقه برای ارائه مدل ژئودینامیکی و تهیه نقشه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (۱:۵۰۰۰۰)

## ۲-۱- زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه

همان‌گونه که در نقشه زمین‌شناسی مشاهده می‌شود، در بخش جنوب شرقی منطقه گسل‌های بسیاری وجود دارد که در اثر حرکت و جابه‌جایی این گسل‌ها، سنگ‌های این بخش بسیار خرد شده و اغلب به صورت واریزه‌های دیده می‌شوند. در بخش‌های مرکزی و شمال غرب منطقه، خردشدگی کمتر بوده و سنگ‌ها، تخلخل و درز و شکاف‌های زیادی دارند که توسط فرسایش آبی برخی از این حفره‌ها توسعه یافته‌اند (شکل ۳، ۴ و ۵).



شکل ۳- واریزه‌های سنگی شرق منطقه، دید به سمت شمال



شکل ۴- درزه‌های موجود در منطقه مطالعاتی، دید به سمت شرق



شکل ۵- تشکیل حفره‌های بزرگ در منطقه، طی فرایند فرسایش آبی

## ۳- سنگ‌نگاری بازالت‌ها و نام‌گذاری بر پایه کانی‌شناسی مودال

از کانی‌های شاخص این سنگ‌ها می‌توان به پیروکسن اوژیت و پلاژیوکلاز از نوع آندزین- لابرادوریت اشاره کرد. پیروکسن‌ها اغلب کلریتی یا سرپانتینی شده و دارای حاشیه خردشده هستند. پلاژیوکلازها به کلسیت، اپیدوت و داموریت دگرسان شده‌اند و در برخی نمونه‌ها بافت غربالی نشان می‌دهند. در تراکی‌اندزیت بازالت فلدسپارهایی از نوع سانیدین مشاهده می‌شود که آثاری از کائولینی شدن در آنها دیده می‌شود. در الیوین بازالت‌ها، کانی الیوین از حاشیه به کلریت و ایدینگزیت تبدیل شده و قالبی از آنها برجای مانده است. از کانی‌های فرعی این سنگ‌ها می‌توان به اسفن، زیرکن و کانی‌های مات اشاره کرد. حفره‌ها، رگه‌ها و فضاهای خالی بین کانی‌ها اغلب از کلسیت و زئولیت پر شده است. وجود ماکل پلی‌سنتتیک و پری-کلین در فنوکریست‌های سالم پلاژیوکلاز و استفاده از زاویه خاموشی معرف آندزین- لابرادوریت است که زاویه خاموشی و رنگ بیرفرنژانس نشان‌دهنده پیروکسن از نوع اوژیت است، ماکل کارلسباد معرف وجود سانیدین در سنگ‌ها و عدم وجود رخ و وجود شکستگی و آثار باقی‌مانده، ساختار کانی الیوین را در سنگ‌ها نشان می‌دهد.

الیوین‌ها از اطراف به کلریت سبز و ایدینگزیت تبدیل شده‌اند، کربنات با بیرفرنژانس بالا حاصل دگرسانی پلاژیوکلازها و پیروکسن می‌باشد. برجستگی بالا و رنگ قهوه‌ای اسفن را نشان می‌دهد.

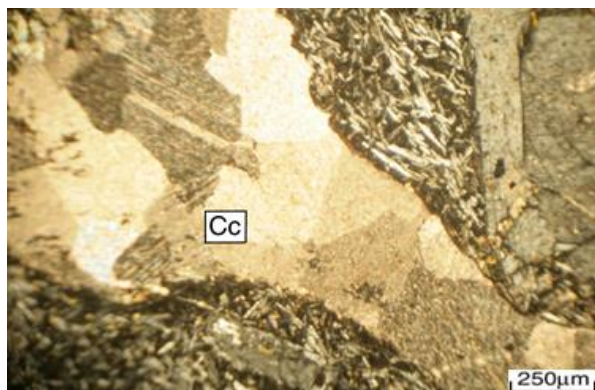
سن این بازالت‌ها، سیلورین تعیین شده است (پورلطیفی، ۱۳۸۱). به منظور شناسایی سنگ‌ها و کانی‌های تشکیل‌دهنده بازالت‌های منطقه، ۷۲ مقطع میکروسکوپی تهیه و مطالعه شد که نتایج حاصل از بررسی میکروسکوپی این سنگ‌های بازالتی به قرار زیر است:

- سنگ‌های بازالتی منطقه تنوع زیادی داشته که براساس سنگ‌نگاری شامل آندزیت بازالتی، تراکی‌اندزیت بازالتی، تراکی‌بازالت، بازالت معمولی، الیوین بازالت و دلریت هستند.

- بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری میکرولیتی و میکرولیتی جریان‌ی بوده و برخی از نمونه‌ها دارای بافت غربالی هستند، خردشدگی و تجزیه در پلاژیوکلازها سبب تشکیل بافت غربالی شده است. وجود فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین در خمیره‌ای از میکرولیت معرف بافت پورفیری میکرولیتی در بازالت‌های منطقه است. در برخی نمونه‌ها میکرولیت‌های سنگ حالت جهت‌یابی نشان می‌دهند و بافت پورفیری جریان‌ی را بوجود آورده‌اند. (شکل ۶، ۷ و ۸).

- کلسیت، فراوان‌ترین کانی جانشین شده در این سنگ‌ها بوده که از دگرسانی پلاژیوکلازها و پیروکسن‌ها به وجود آمده‌اند، البته در مواردی کلسیت در بین کانی‌های دیگر قرار می‌گیرد که احتمالاً از سازندهای آهکی و دولومیتی موجود در منطقه، وارد سنگ‌های بازالتی شده‌اند (شکل ۹)





شکل ۹- پرشدگی حفره‌ها توسط کلسیت 4x (xpl)

#### ۴- ژئوشیمی

پانزده نمونه سنگ کم دگرسان‌شده، به روش ICP-MC در ALX-Chemex کانادا تجزیه شدند. نتایج تجزیه ۱۱ اکسید اصلی در جدول شماره ۱ و ۳۸ عنصر جزئی در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. سنگ‌های منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای زمین‌شناسی و نتایج حاصل از تجزیه ژئوشیمی - محیط زمین‌ساختی و سنگ‌زایی مطالعه شدند.

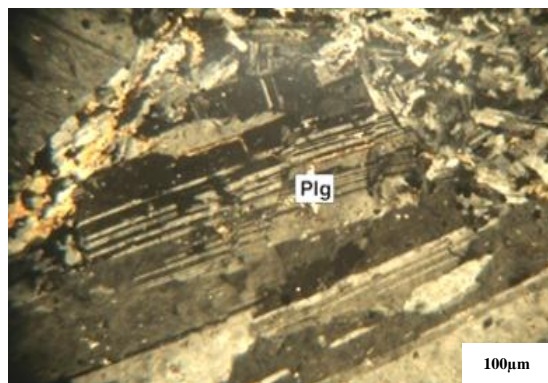
#### ۴-۱- نام‌گذاری بر اساس داده‌های ژئوشیمیایی

در نام‌گذاری سنگ‌های منطقه از نمودارهای رده‌بندی TAS از Middlemost, (1980) و عناصر کمیاب از Floyd & Winchester, (1977) استفاده شده است. براساس این نمودارها (شکل ۱۰ و ۱۱) و نمودارهای دیگر، رده‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌های مطالعه شده، در محدوده بازالت قلیایی قرار می‌گیرند.

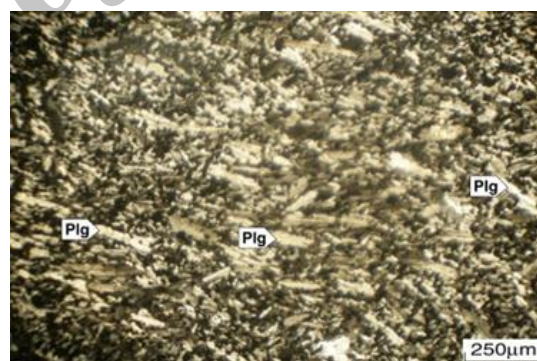
#### ۴-۲- تعیین سری ماگمایی مولد سنگ‌های منطقه مطالعه شده

برای تعیین سری ماگمایی مولد سنگ‌های منطقه، می‌توان براساس ویژگی‌های کانی‌شناسی و شیمیایی که از خود نشان می‌دهند، به جدایش آنها اقدام کرد. به این منظور از نمودارهای TAS از Irvin & Barayar, (1971) و نمودار عناصر کمیاب از Winchester & Floyd, (1976) استفاده شد. براساس این نمودارها، همان‌گونه که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود، سری ماگمایی سنگ‌های منطقه قلیایی است.

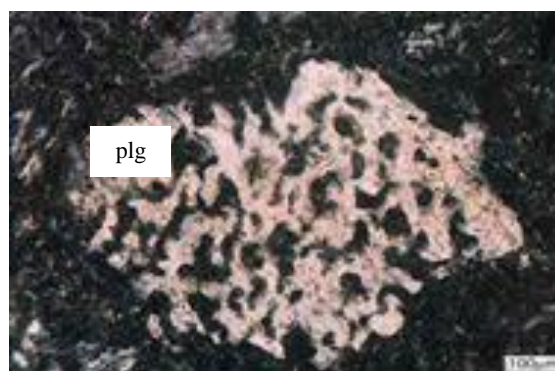
پلاژیوکلازهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در سنگ‌های منطقه، نشان‌دهنده حل شدن دوباره بلورهای پلاژیوکلاز در مذاب باقیمانده به دلیل کاهش فشار وارد بر ماگما در طی صعود آن به اعماق کمتر است. - پلاژیوکلاز این سنگ‌ها در حد لابرادوریت است. زاویه خاموشی پلاژیوکلاز را از نوع لابرادوریت نشان می‌دهد. در برخی نمونه‌ها، پلاژیوکلازها دارای حاشیه خورده شده است و منطقه‌بندی تاثیر آرایش پوسته‌ای در این سنگ‌ها را بیان می‌کند.



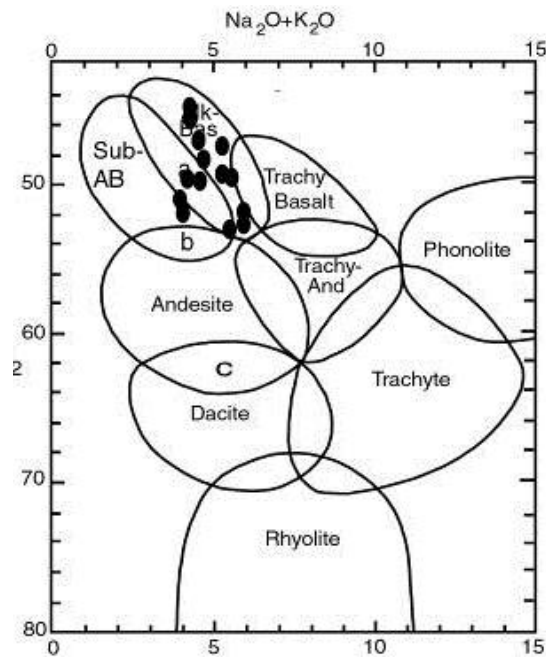
شکل ۶- پلاژیوکلاز با دوقلویی آلبیتی 4x (xpl)



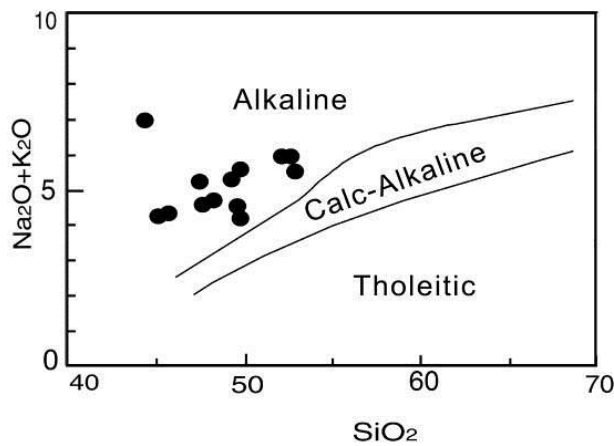
شکل ۷- بافت میکروولیتی جریان‌ی 4x (xpl)



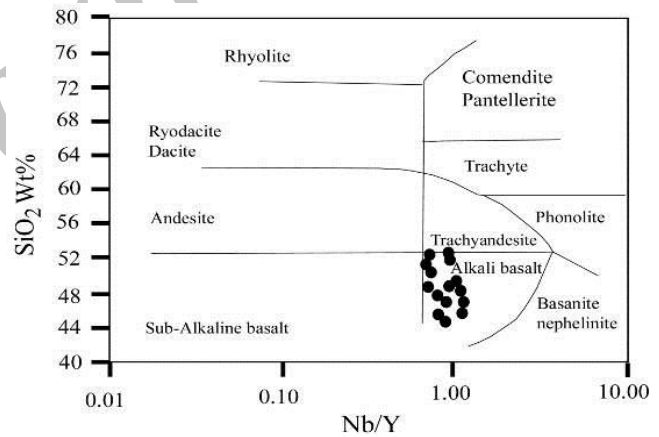
شکل ۸- پلاژیوکلاز با بافت غربالی 10x (xpl)



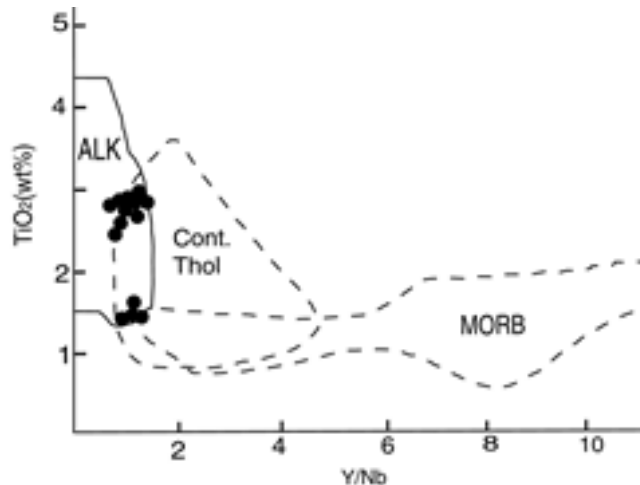
شکل ۱۰- جایگاه سنگ‌های مطالعه‌شده در نمودار TAS از Middlemost, (1980)



شکل ۱۲- نمودار TAS (Irvin & Barayar, 1971)



شکل ۱۱- جایگاه سنگ‌های مطالعه‌شده در نمودار عناصر کمیاب از Floyd & Winchester, (1977)

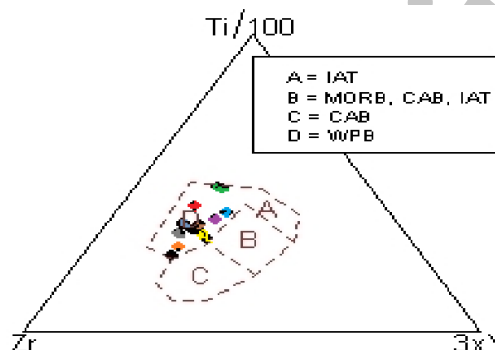


شکل ۱۳- نمودار  $TiO_2$ -Y/Nb (Winchester & Floyd, 1976)

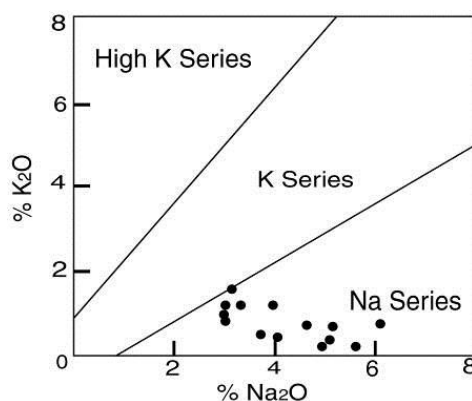
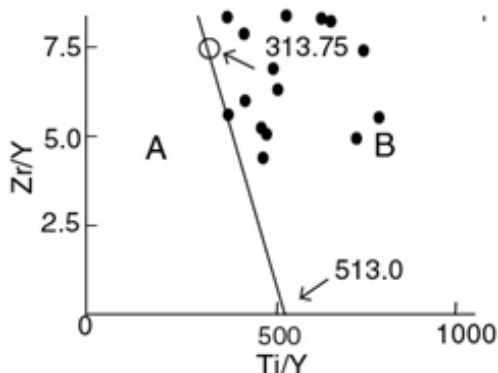
جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی بر حسب درصد

Element	N3	N5	N20	N31	A8	A13	A19	MJ3	MJ4	MJ5	MJ6	MJ12	AF7	AF14	AF27
SiO <sub>2</sub>	47.5	45.7	44.4	51.8	52.3	49.8	51.4	48.3	49.6	49.3	47.6	49.8	52.6	45.2	52.9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.45	13.3	17.55	13.2	13.9	14.8	14.5	14.2	14.8	14.2	14.05	14.01	14.4	15.75	14.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10.75	11.9	19.95	14.1	12.71	12.54	9.78	10.50	10.2	11.5	11.65	10.45	8.29	13.55	9.05
CaO	3.31	6.54	0.82	6.81	2	5.14	6.54	7.58	6.96	6.63	5.99	7.24	7.56	7.71	7.43
MgO	7.71	10.8	3.52	3.93	5.85	6.53	6.52	5.64	6.52	5.97	6.59	5.83	3.62	5.46	3.42
Na <sub>2</sub> O	5.02	3.78	6.2	3.08	5.7	5.2	3.08	3.2	4.08	4.03	3.4	3.12	5.23	3.08	4.76
K <sub>2</sub> O	0.16	0.47	0.72	0.92	0.16	0.34	0.81	1.47	0.41	1.18	1.1	1.04	0.64	1.12	0.71
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.04	0.04	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01
TiO <sub>2</sub>	2.79	2.43	2.82	2.8	2.75	2.58	2.57	1.38	1.45	1.42	1.54	1.35	2.8	2.74	2.83
MnO	0.17	0.21	0.15	0.21	0.13	0.12	0.21	0.1	0.09	0.09	0.11	0.1	0.18	0.23	0.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.41	0.38	0.31	0.43	0.61	0.22	0.18	0.14	0.28	0.18	0.16	0.13	0.45	0.46	0.45
SrO	0.05	0.06	0.03	0.03	0.03	0.02	0.04	0.04	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04
BaO	<0.01	0.01	0.03	0.02	<0.01	0.02	0.02	0.01	<0.1	0.01	0.01	0.01	0.01	0.23	0.01
LOI	5.03	3.53	2.09	2.32	2.87	2.03	3.5	3.26	3.48	4.12	2.78	4.97	2.76	3.5	2.83
Total	99.4	99.3	98.7	99.7	99	99.4	99.2	95.8	98	98.9	95.1	98.1	98.7	99.1	98.8

سنگ‌های آذرین قلیایی را می‌توان براساس میزان فراوانی سدیم و پتاسیم به انواع سدیمی و پتاسیمی تقسیم کرد. برای تعیین نوع سدیمی یا پتاسیمی بودن سنگ‌های منطقه از نمودار عناصر Irvin & Barayar, (1971) استفاده شد، همان‌گونه که در این نمودار مشاهده می‌شود (شکل ۱۴)، سنگ‌های منطقه در سری سدیمی قرار می‌گیرند.



شکل ۱۵- جایگاه بازالت‌های مطالعه‌شده در نمودار (Pearce &amp; Cann, 1977)

شکل ۱۴- نمودار K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O (Irvin & Barayar, 1971)

شکل ۱۶- جایگاه بازالت‌های مورد مطالعه در نمودار (Pearce &amp; Gale, 1977)

##### ۵- بررسی مسائل زمین‌ساختی - ماگمایی بازالت‌ها

در سال‌های اخیر، توجه زیادی به روش‌های ژئوشیمیایی در تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌های آذرین (به‌ویژه در مناطقی که بررسی‌های زمین‌شناسی نتایج مطلوبی را ارائه نمی‌دهند) شده است. به دلیل عملکرد دگرسانی در منطقه، به طور کلی عناصر اصلی کاربرد چندانی در تعیین جایگاه زمین‌ساختی سنگ‌ها نداشته‌اند، به همین دلیل از ژئوشیمی عناصر کمیاب برای این منظور استفاده شده است. همان‌گونه که در نمودارهای

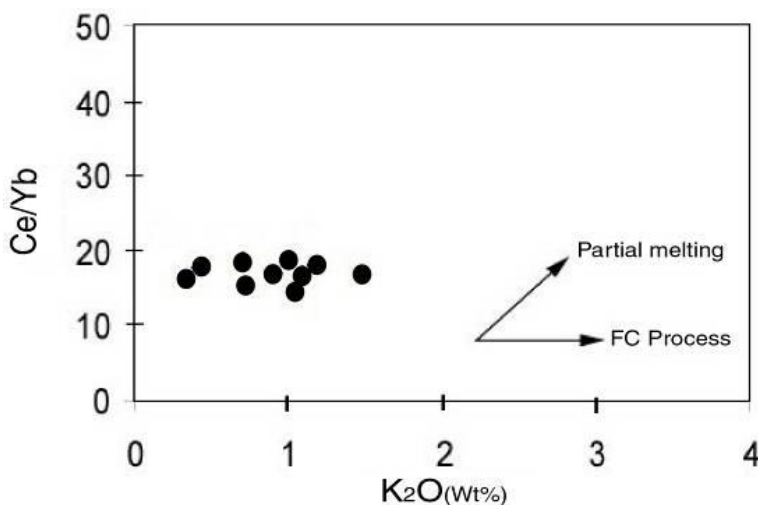
جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر جزئی بر حسب ppm

Element	N3	N5	N20	N31	A8	A13	A19	MJ3	MJ4	MJ5	MJ6	MJ12	AF7	AF14	AF27
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	12	<1
Ba	75	385	521	519	53.3	961	422	109.5	52.5	324	116.5	105.4	81.3	1980	107.6
Ce	47.9	54.9	23.4	51.1	53.2	23.2	48.3	25.6	27	32.4	28.9	26.2	36.7	40.2	42.3
CO	61.6	52	32.1	37.9	36.4	32	62	38.6	34.5	40.2	36.1	36.6	22.9	53.3	32.7
Cr	90	180	30	70	50	170	40	140	390	210	250	200	70	60	70
Cs	0.47	1.29	0.19	2.45	0.11	0.55	2.61	4.83	1.71	2.32	3.66	2.22	1.39	0.6	2.04
Cu	<5	<5	<5	14	<5	7	6	67	17	23	29	32.2	16	37	15.3
Dy	5.48	4.84	3.43	7.56	4.29	3.08	7.52	3.47	3.53	4.25	3.93	3.22	4.24	4.61	6.23
Er	2.72	2.34	1.67	3.82	2.38	1.51	4.1	1.81	1.87	2.53	2.01	1.72	2.16	2.34	2.45
Eu	1.61	2.06	1.31	2.28	2.09	1.27	2.59	1.35	1.3	1.88	1.35	1.29	2.06	2.19	2.16
Ga	24.7	18.4	19	22.9	29.8	16.3	29.1	20	19.2	18.7	19.4	19.8	15.8	20.1	18.7
Gd	6.31	6.22	3.47	8	4.7	3.36	8.3	3.78	3.79	5.32	4.1	3.75	5.01	5.68	6.23
Hf	5.4	4.8	4.7	5.8	5.7	5.3	5.8	2.2	2.6	3.6	2.8	2.4	3.2	3.2	4.6
Ho	1.04	0.9	0.69	1.47	0.95	0.66	1.47	0.68	0.72	0.8	0.77	0.7	0.86	0.94	1.12
La	20.3	24.4	12.2	23.4	21.2	11.4	26.2	12.1	12.6	17.2	13.3	12.3	16.3	17.7	19.8
Lu	0.3	0.25	0.21	0.42	0.27	0.19	0.56	0.22	0.24	0.25	0.26	0.24	0.26	0.27	0.32
Mo	<2	<2	<2	3	<2	3	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2	2	2
Nb	32	28.2	20.4	26.5	30.4	28.9	30.7	13.8	16.7	22.4	17.2	14.3	20.2	18.8	23.5
Nd	25.7	29.3	8.3	27.7	21.4	12.9	27.4	13.5	14.2	23.6	15.1	13.8	20.3	22.8	24.7
Ni	79	130	37	26	26	9	12	75	101	121	91	45	21	31	24
Pb	5	7	6	10	<5	5	5	5	5	6	<5	5	9	9	10
Pr	6.21	7.04	1.99	6.54	5.52	3.24	7.24	3.34	3.52	4.06	3.76	3.41	4.89	5.55	5.25
Rb	4.6	13.6	12.2	21.1	32.7	61.2	92.5	45.2	11.8	22.3	33.9	22.9	14.9	13.8	17.8
Sm	6.01	6.31	1.94	6.7	6.9	3.05	7.2	3.31	3.39	5.25	3.67	3.36	4.68	5.44	5.23
Sn	2	1	1	2	1	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2
Sr	428	495	211	298	324	171.5	345	358	297	420	389	432	441	376	316.6
Ta	2.3	2	1.5	1.8	2.2	2.1	2.1	0.9	1.1	2	1.2	2	1.3	1.3	1.6
Tb	0.96	0.9	0.38	1.28	0.65	0.58	1.51	0.61	0.62	0.72	0.69	0.7	0.77	0.88	1.04
Th	3.31	2.87	2.02	3.63	2.45	3.34	3.67	1.8	1.94	2.23	2.12	2.21	1.87	1.92	2.25
Tl	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Tm	0.35	0.31	0.23	0.49	0.39	0.26	0.57	0.25	0.26	0.29	0.28	0.3	0.3	0.31	0.37
U	0.54	0.62	0.5	0.92	0.88	0.62	0.53	0.43	0.42	0.53	0.44	0.51	0.38	0.46	0.67
V	250	259	230	321	297	35	46	289	236	273	287	246	271	324	311
W	3	1	1	3	1	7	5	3	2	1	2	2	2	3	2
Y	26	23	22.3	38.9	32.5	28.2	40.6	17.2	17.8	20	19	21	21.1	22.5	32.4
Yb	2.17	1.76	1.54	3.01	1.81	1.42	3.73	1.5	1.53	1.78	1.71	1.81	1.71	1.84	2.26
Zn	167	201	85	176	79	26	46	76	74	145	128	187	157	216	1.65
Zr	217	192	165	231	221	235	223	75	91	157	97	175	116	111	205

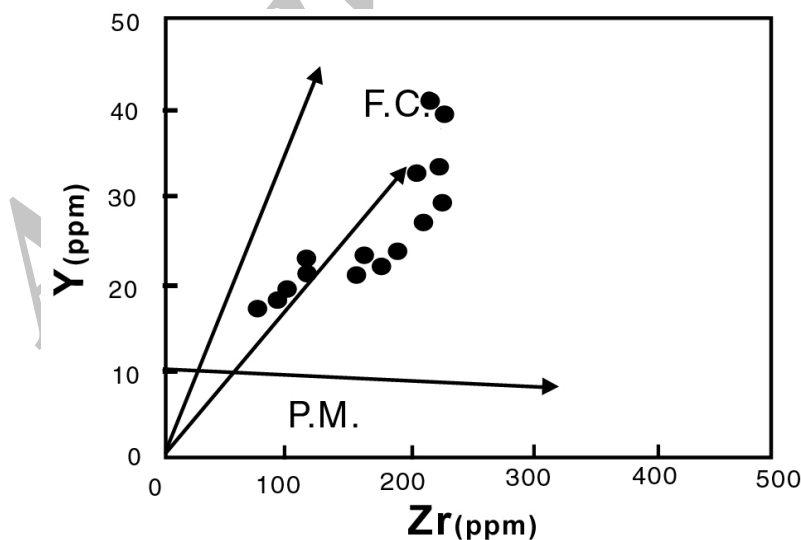
## ۵-۱- خاستگاه و شکل گیری سنگ های بازالتی منطقه

این امر نیز بیانگر نقش تبلور تفریقی در تحول سنگ های منطقه است. در پدیده ذوب بخشی نمونه ها باید از روند PM پیروی کنند، در صورتی که در پدیده تبلور تفریقی، نمونه ها باید از روند FC پیروی کنند. همان گونه که در تصویر مشاهده می شود، نمونه های سنگی منطقه از روند FC یعنی تبلور تفریقی پیروی می کنند، که این امر نشانگر نقش تبلور تفریقی در تحول سنگ های منطقه است.

برای این منظور از نمودارهای برخی عناصر اصلی در برابر ضریب تفریق و نمودارهای مختلفی از جمله (Guo et al., 2003) و (Abdollah et al., 1997) استفاده شد. همان گونه که در شکل ۱۷ مشاهده می شود، با افزایش  $K_2O$  میزان نسبت  $Ce/Yb$  در نمونه های سنگی منطقه تغییر محسوسی نمی کند، که



شکل ۱۷- نمودار  $K_2O-Ce/Y$  (Guo et al., 2003)

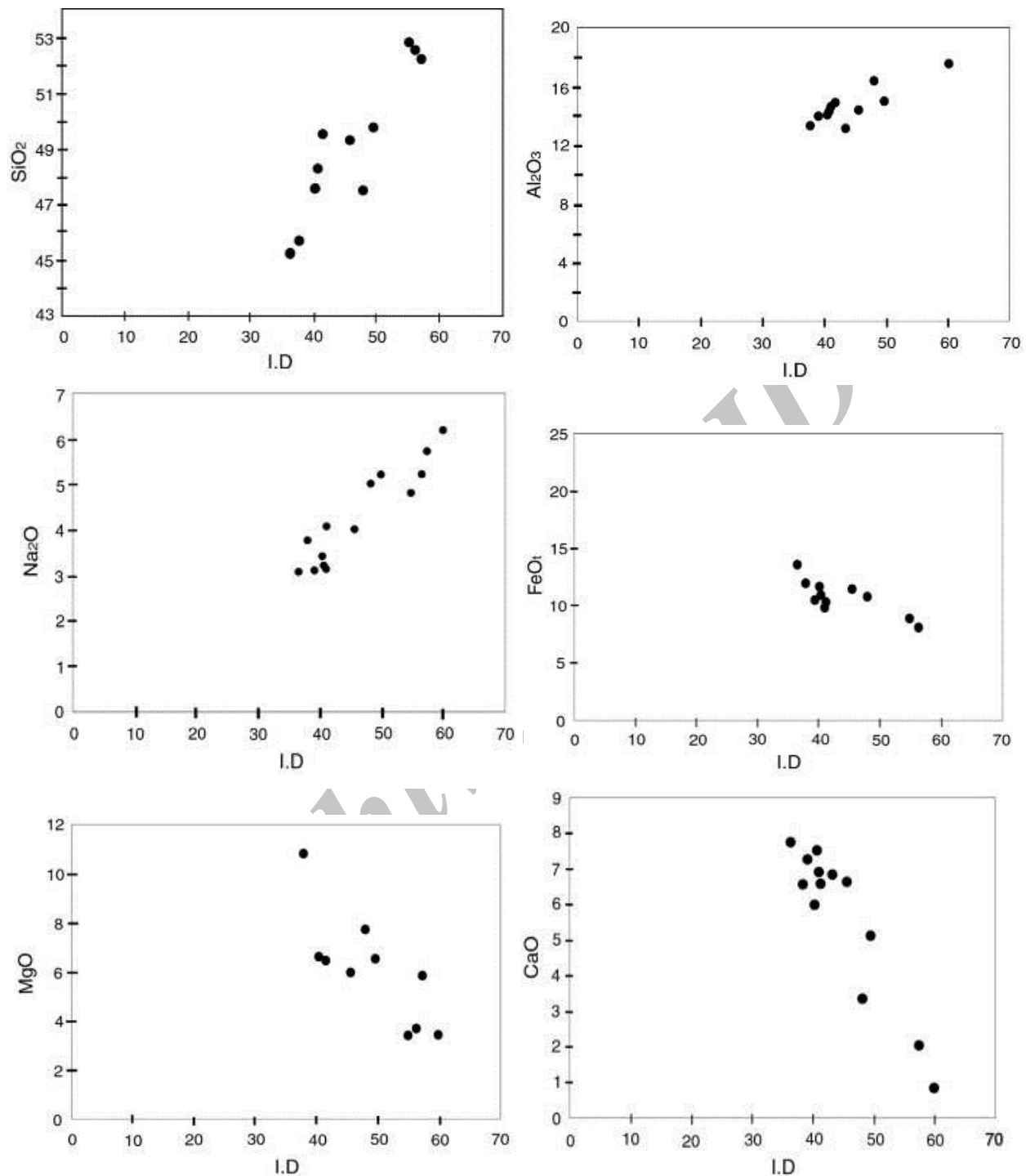


شکل ۱۸- نمودار Y-Zr (Abdollah et al., 1997)

چنان که می بینیم در مراحل آخر تبلور ماگما، برخی عناصر مانند Si, Al و  $Na_2O$  در مایع باقی مانده زیاد می شوند و برعکس مقدار Ca, Mg و Fe در ماگمای باقی مانده کاهش می یابد. این کیفیت که نشانه ای از تفریق (differentiation) ماگماست، در نمونه های مطالعه شده به خوبی مشاهده می شود (شکل ۱۹).

ضریب تفریق (I.D)، برابر است با مجموع کانی های کوارتز، ارتوکلاز، آلبیت، نفلین و لوسیت. این نمودارها برای نمونه های سنگی تقریباً سالم منطقه مطالعه شده رسم شده است. همان گونه که در این نمودارها نشان داده خواهد شد، ضریب تفریق دارای تغییرات منظمی با مقدار اکسیدهای موجود در تجزیه شیمیایی است.





شکل ۱۹- نمودار تغییرات ضریب تفریق در برابر برخی از عناصر اصلی

سازی متفاوت دارند. در این بخش از نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه بهنجار شده نسبت گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989) و

بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynnton, 1984) استفاده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۲۰ مشاهده می‌شود، نابهنجاری مثبت سرب، نشان‌دهنده مشارکت ترکیبات پوسته‌ای در سنگ‌زایی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه است. بی‌هنجاری متفاوت و متغیر عناصری مانند Rb و Ba در

## ۲-۵- تغییرات و تحولات ماگمایی سنگ‌های بازالتی منطقه

نمودارهای بسیاری برای بررسی تحولات ماگمایی ارائه شده است که یکی از مهم‌ترین آنها نمودارهای عنکبوتی است. در این بررسی‌ها، از چند نوع نمودار استفاده می‌شود که ترتیب جایگزینی عناصر و ثابت‌های بهنجار-

سنگ‌ها با افزایش عدد اتمی، فقیرشدگی نسبی بیشتری را نشان می‌دهد.

## ۶- مدل ژئودینامیکی پیشنهادی برای منطقه مورد مطالعه

با توجه به این امر که سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نوع بازالت‌های قلیایی درون صفحه‌ای بوده و به صورت گدازه‌های بالشی در نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰۰ طبقه‌بندی شده‌اند، همچنین تعلق آنها به سیلورین و با توجه به وجود فسیل مرجان در رخساره‌های کربناتی- ماسه‌سنگ منطقه که بیانگر فوران این سنگ‌ها در نواحی کم‌عمق آب بوده و هم‌ارز بودن این بازالت‌ها با بازالت‌های زیردریایی سازند قلی (سیلورین)، بازالت‌های بخش زیرین سازند نیور، بازالت سلطان میدان در دره میقان شاهرود و بازالت‌های ماسوله در البرز باختری، می‌توان این سنگ‌ها را مرتبط با فعالیت‌های کشتی فاز کالدونین در ایران در نظر گرفت.

## ۷- نتیجه‌گیری

بر اساس نمودارهای میدل ماست، (۱۹۸۰) و فلویید وینچستر، (۱۹۷۷) نام‌گذاری سنگ‌های منطقه مطالعه شده، بازالت قلیایی است. سرشت ماگمای مولد سنگ‌های منطقه، سدیمی قلیایی است. در نمودارهای زمین‌ساختی، این بازالت‌ها ویژگی بازالت درون‌قاره‌ای را دارا هستند. نمودارهای عنکبوتی سنگ‌های بازالتی منطقه نشان می‌دهند که عناصر (Ba, Rb, Th, LILE (K بی‌هنجاری متفاوتی دارند که این امر نشان‌دهنده دگرسانی این سنگ‌هاست.

سنگ‌های منطقه از یک منشا واحد (گوشته غنی شده) تشکیل شده و فرایند تبلور جزء به جزء عامل اصلی به وجود آمدن سنگ‌های منطقه است. ماگمای مولد سنگ‌های منطقه در حین بالا آمدن با مواد پوسته قاره‌ای آرایش یافته‌اند.

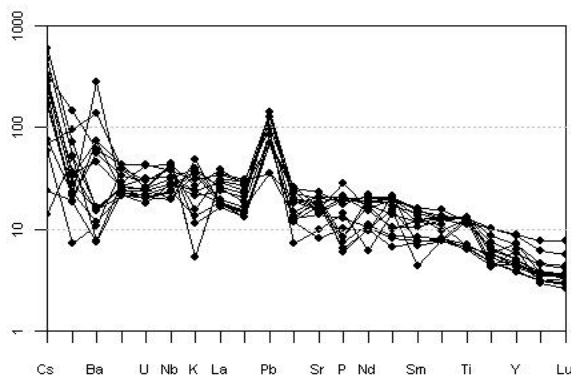
با توجه به سن‌سنجی‌های انجام شده توسط سازمان زمین‌شناسی، سازندهای محدوده مورد مطالعه را می‌توان مرتبط با فاز کالدونین در نظر گرفت.

## مراجع

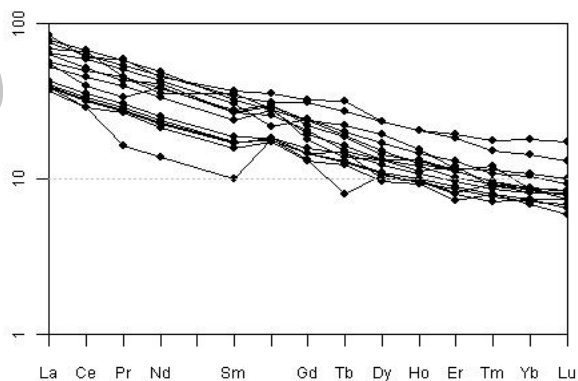
پورلطیفی، ع.، ۱۳۸۱، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ طبقه‌بندی سازمان زمین‌شناسی کشور.  
رحیمی، ع.، ۱۳۷۱، "تحلیل ساختاری ارتفاعات بینالود در شرق و شمال شرق نیشابور" مجله علوم زمین، ۱۳ صفحه.  
نبوی، م.، ۱۳۵۵، "دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، صفحه ۳۴-۵۶.  
نعیمی قصابیان، ن.، ۱۳۸۷، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ گرینه" سازمان زمین‌شناسی کشور.

Abdollah, I. A., Said, A.A. & Visona, D., 1997, "New geochemical and petrologic data on gabbro Syenite between Harageysa and Berberia. Shikib ( North Somalia)", *Journal of African earth science*. Vol 23, No.3. P.363-376.

این نمودار نشان از دگرسانی شدید سنگ‌های منطقه دارد. ضریب تفریق معرف سازگاری روند تفریقی است. با افزایش ضریب تفریق ترکیب مایع باقی‌مانده از سیلیس غنی‌تر می‌شود. مجموعه این تغییرات معرف پیشرفت ماگما، کاهش مقدار کانی‌های مافیک و تبلور پلاژیوکلاز و فلدسپات در مراحل پایانی تبلور تفریقی است. ضریب تفریق دارای تغییرات منظمی با مقادیر اکسیدهای موجود است.



شکل ۲۰- نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)



شکل ۲۱- نمودار عنکبوتی سنگ‌های منطقه بهنجار شده نسبت به کندریت (Boynton, 1984)

با توجه به شکل ۲۱، الگوی تغییرات عناصر کمیاب خاکی سنگ‌های منطقه به صورت موازی است که این امر بر منشا واحد و تبلور تفریقی به- عنوان سازوکار تشکیل آنها دلالت می‌کند. در عادی‌سازی عناصر نسبت به مورب ناسازگاری عناصر از کناره‌ها به سمت مرکز افزایش می‌یابد. آنومالی مثبت عناصر HFSE نسبت به مورب خاکی از غنی‌شدگی منبع گوشته‌ای (استنوسفر) است.

آنومالی‌های متفاوت و متغیر عناصری نظیر Rb, K, Ba معرف آلتراسیون شدید سنگ‌های منطقه است. آنومالی مثبت سرب نشان‌دهنده مشارکت ترکیبات پوسته‌ای در پتروژنز سنگ‌های منطقه است. موازی بودن الگوی عناصر کمیاب و تغییرات پیوسته و ثابت آنها در سنگ‌های منطقه بر منشاء واحد و تبلور تفریقی آنها دلالت می‌کند. شیب ملایم REE‌ها خاکی از قاره‌ای بودن بازالت‌های منطقه است. به عبارت دیگر، REE در این

- Boynton, W.V., 1984**, "Geochemistry of rare earth element meteorite studies in Henderson", *Elsevier, New York*, P.63-114.
- Floyd, P. A. and Winchester, J.A., 1977**, "Magmatype and tectonic setting discrimination using immobile element", *Earth Planet, Scia Letter* 146, P.675-681.
- Guo, F., Fan, W., WANG, Y. & Gelin, 2003**, "Geochemistry of late Mesozoic mafic magmatism in west Shandong Province, Eastern China: Characterizing the lost Lithospheric mantle beneath the north China Block", *Geochemical Journal*, Vol.37. P.63-77
- Irvine, T.N. & Baragar, W.R.A., 1971**, "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian J. Earth Sci.*, 8, P.523-548.
- Middlemost, E.A.K., 1980**, "Magmas and magmatic rocks. An introduction to igneous petrology", *Longman group limited*, P. 23-48.
- Pearce, J.A. & cann, J.A., 1973**, "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined. Using trace element analyses", *Earth planet, Sci, Letters*, 19, P.290-300.
- Pearce J.A., & Gale G.H., 1977**, "Identification of ore-deposition environment from trace element geochemistry of association igneous host rocks", *Geol. Soc. Spect. Publ.*, 7, P.14-24.
- Sun S.S and McDonough W.F., 1989**, "Chemical and isotopic systematic oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes", *In: Saunders A.D. and Norry M.J.(eds.), Magmatism in ocean basins. Geol.Soc. London. Spec. Pub.42, P.313-345.*
- Winchester J.A. & Floyd P.A., 1976**, "Geochemical magma type discrimination; application to altered and metamorphosed basic igneous rocks", *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, P.459-469.

Archive of SID

