



سنگ‌نگاری، ژئوشیمی و جایگاه زمین‌ساختی-ماگمایی سنگ‌های نفوذی شمال شرق سنقر (کردستان)

فرهاد آلیانی، ثریا دادفر^{*}، محمد معانی‌جو، کاظم بروزی

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعالی سینا، همدان، ایران

(دریافت مقاله: ۹۱/۵/۴، نسخه نهایی: ۹۱/۱۱/۳۰)

چکیده: توده‌های نفوذی شمال شرق سنقر بخشی از توده‌های نفوذی زون سندج - سیرجان را تشکیل می‌دهند. براساس مشاهدات صحرایی و بررسی‌های میکروسکوپی، منطقه‌ی مورد بررسی از دو دسته، سنگ‌های توده‌ای (گابریو هورنبلندر، سنگ‌های حدواسط و اسیدی) و دایک‌ها (گابریو پیرکسن‌دار) تشکیل شده‌اند. با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، این مجموعه گرانیت‌وئیدی از نوع I، آهکی-قلیایی و متا‌آلومین است. با توجه به روند تغییرات نمودارهای عناصر اصلی و فرعی در برابر یکدیگر فرایند تبلور جدایشی مهمترین عامل تشکیل‌دهنده سنگ‌های توده‌ای منطقه است. تغییرات نسبت La/Yb و Zr/Nb در این سنگ‌ها نشان‌دهنده دو خاستگاه متفاوت اسپینل لرزولیت تا گارنت لرزولیت (سنگ‌های توده‌ای) و اسپینل لرزولیت (دایک‌ها) است. هم‌چنین، نسبت Th/Ta در گستره‌ی ۶-۲۰ و غنی‌شدنی از عناصر LREE و HFSE نسبت به LILE و HFSE از شواهد تشکیل ماگما در یک محیط وابسته به فرورانش در حاشیه‌ی فعال قاره است.

واژه‌های کلیدی: گرانیت‌وئید نوع I، حاشیه‌ی فعال قاره، آهکی-قلیایی، زون سندج-سیرجان، سنقر.

حاجی‌آباد، تاکنون به طور اختصاصی مورد بررسی‌های سنگ-نگاری و ژئوشیمیایی قرار نگرفته‌اند، در این پژوهش سعی شده است تا با اتکا به نتایج حاصل از سنگ‌نگاری و آنالیزهای ژئوشیمیایی به بررسی سنگ‌نگاری، ارتباط ژنتیکی بین بخش‌های مختلف توده، خاستگاه ماگمای سازنده و جایگاه زمین‌ساختی این توده‌ی نفوذی پرداخته شود.

روش پژوهش

برای بررسی ویژگی‌های سنگ‌نگاشتها و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی منطقه، ضمن بازدیدهای صحرایی، از واحدهای مختلف سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه مورد بررسی نمونه‌برداری صورت گرفت که ۳۷ نمونه برای بررسی‌های سنگ‌نگاری

مقدمه منطقه‌ی مورد بررسی در شمال شرقی سنقر، در مرز استان‌های کردستان، کرمانشاه و همدان و در نزدیک به روستاهای هزارخانی بالا و حاجی‌آباد واقع شده است که بنابر تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران [۱]، جزء پهنه‌ی سندج - سیرجان است. از جمله بررسی‌های انجام شده روی توده‌های نفوذی واقع در شمال شرق سنقر، می‌توان به [۲]، که با روش K-Ar، سن توده‌های نفوذی سنقر را ۴۰ میلیون سال تعیین کردند، [۳]، که به بررسی‌های زمین‌شناسی و تعیین جنس توده‌های نفوذی منطقه پرداختند، و نیز [۴] که توده‌های نفوذی منطقه‌ی تکیه‌بالا را بررسی کردند. با توجه به این که سنگ‌های نفوذی شمال شرقی سنقر مناطق هزارخانی و

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۸۸۴۲۳۹۹۴، نامبر: ۰۸۱۱۴۶۰، پست الکترونیک: Soraya.Dadfar@yahoo.com

از منطقه‌ی حاجی‌آباد برای آنالیز سنگ کل به آزمایشگاه شرکت SGS شعبه‌ی تورنتو کانادا ارسال شدند (جدول ۱).

انتخاب شدند. همچنین ۱۲ نمونه سنگ که حداقل هوازدگی را نشان می‌دادند، شامل ۵ نمونه از منطقه‌ی هزارخانی و ۷ نمونه

جدول ۱ نتایج آنالیز شیمیابی انواع سنگ‌های مورد بررسی (اکسیدهای عناصر اصلی بر حسب درصد وزنی و عناصر کمیاب بر حسب PPM). (-) به معنی عدم آشکارسازی عنصر است.

Samples	Pyroxene Gabbro				Hornblende Gabbro				Intermediate				Felsic
	HaJ1	HaJ7	H7	HaJ2	MMA2.7	Hez1	Hez17	MMA2.1	Hez14	Hez8	H2	Hez12	
Major elements (wt%)													
SiO ₂	47,3	46,2	48,9	50,6	50,1	52,5	58,9	54,7	57,2	56,3	70,7	71,2	
Al ₂ O ₃	17,8	17	16,8	15,7	17,8	19,2	15,6	16,7	17,8	15,4	13,6	14,9	
Fe ₂ O ₃	1,6	1,66	1,3	1,51	1,49	1,10	0,99	1,14	0,85	1,2	0,59	0,23	
FeO	9,09	9,43	7,38	8,58	8,47	0,28	5,61	6,5	2,64	6,8	3,66	1,33	
CaO	9	8,51	12,5	7,63	5,59	6,58	3,93	3,65	0,85	2,96	0,19	0,42	
MgO	7,1	7,41	6,73	5,78	6,98	5,86	2,33	4,84	6,12	3,64	2,07	1,77	
Na ₂ O	3,5	3,3	2,8	3,3	3,9	5,5	6,7	7	7,7	7,3	3,9	7,8	
K ₂ O	0,04	0,04	0,06	0,38	0,34	0,3	0,35	0,37	0,37	0,32	1,78	1,7	
Cr ₂ O ₃	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	-	-	-	-	-	-	-	
TiO ₂	1,24	1,57	1,71	1,51	1,47	1,79	1,98	1,07	1,53	2,29	0,24	0,55	
MnO	0,16	0,16	0,15	0,18	0,16	0,1	0,08	0,1	0,02	0,09	0,02	-	
P ₂ O ₅	0,1	0,12	0,14	0,21	0,21	0,72	0,55	0,2	0,53	0,57	0,03	0,17	
LOI	3,06	3,22	0,9	3,07	3,33	1,33	1,86	2,74	2,86	1,32	1,94	0,96	
Total	99,9	98,7	99,7	99,8	102,2	99,3	98,9	98,9	98,1	99,1	98,3	99,5	
Trace elements (ppm)													
Ba	50	70	60	190	110	720	110	320	100	90	300	369	
Ce	12,3	19,6	12	23,7	32,5	153	105	43,7	48,4	103	54,4	94,1	
Ag	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	
Cs	0,2	0,2	0,3	0,3	1	1,8	0,3	-	0,4	0,5	0,8	0,1	
Cu	1,07	79	62	55	1,02	13	27	19	13	20	13	7	
Dy	3,09	3,37	3,13	4,96	4,89	8,32	10,2	4,9	9,12	9,95	6,44	6,04	
Er	1,77	1,85	1,67	2,9	2,87	4,37	6,25	2,69	5,32	5,31	4,39	3,71	
Eu	1,08	1,21	1,13	1,43	1,42	3,25	2,42	1,33	1,9	2,17	1,01	1,11	
Gd	2,81	3,21	3,01	4,49	4,28	9,42	9,53	4,69	7,64	8,76	4,56	5,35	
Lu	0,24	0,23	0,21	0,42	0,37	0,56	0,97	0,4	0,78	0,69	0,8	0,65	
Nb	6	10	5	8	8	54	41	15	56	34	25	47	
Nd	9	11,3	8	14,8	15,1	59,6	45,7	21,2	22,2	41,9	22,1	35	
Ni	116	117	28	35	54	-	-	14	-	-	-	-	
Rb	0,7	6	0,3	24,7	4,9	42	9	4,5	2,6	9,2	97,8	90	
Sm	2,5	3	2,5	4	1,4	10,4	9,8	4,7	5,8	9	4,7	6,7	
Sr	370	550	410	240	245	570	200	230	50	130	40	80	
Ta	-	0,5	-	2,1	-	1,9	0,8	-	2,6	3,5	2	3,7	
Tb	0,5	0,56	0,51	0,76	0,77	1,46	1,65	0,78	1,48	1,4	0,92	0,93	
Th	0,5	1,1	0,3	1,4	1,5	10,1	14,6	5,2	18,8	11,7	25,3	31	

جدول (۱) ادامه.

Samples	HaJ1	HaJ7	H7	HaJ2	MMA2.7	Hez1	Hez17	MMA2.1	Hez14	Hez8	H2	Hez12
Tl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tm	۰,۲۴	۰,۲۳	۰,۲۲	۰,۴۳	۰,۴	۰,۶۲	۰,۹۷	۰,۴۱	۰,۸۱	۰,۷۶	۰,۷۵	۰,۶۱
U	۰,۱۵	۰,۲۶	۰,۰۸	۰,۳۹	۰,۳۶	۲	۲,۱۱	۱,۱۴	۲,۳۷	۳,۲۹	۵,۵۴	۶,۹۱
Co	۴۸,۷	۴۳,۹	۳۵,۵	۳۵,۲	۳۸,۴	۹	۴,۸	۲۳,۵	۴,۱	۱۴,۴	۱,۱	۷
Ga	۱۹	۱۸	۱۷	۱۸	۱۸	۲۲	۲۴	۱۹	۲۱	۲۴	۲۱	۲۱
Hf	۲	۲	۱	۳	۳	۴	۹	۵	۷	۷	۱۰	۸
Mo	-	-	-	-	-	-	۲	-	-	-	-	-
Ho	۰,۶۴	۰,۶۵	۰,۶۲	۱,۰۷	۱,۰۳	۱,۶۸	۲,۱۹	۰,۹۹	۱,۹	۱,۸۴	۱,۴۴	۱,۲۸
La	۶,۱	۹	۵,۶	۱۰,۴	۱۰,۶	۱۵	۵۵,۱	۲۱,۴	۲۳,۹	۵۵,۹	۲۵,۶	۳۹,۴
Pr	۱,۹۲	۲,۶۲	۱,۷۵	۳,۳۲	۳,۲۸	۱۸,۵	۱۲,۱	۵,۳۶	۵,۶۹	۱۱,۲	۶,۱۱	۱۰,۳
Sn	-	-	-	-	-	۳	۴	۱	۱۰	۵	۲۴	۹
V	۱۸,۹	۲۲,۲	۲۷,۶	۲۵,۳	۲۵,۰	۱۴,۱	۱۷,۶	۱۶,۹	۱۰,۹	۲۱,۰	۱۰	۴۳
W	۱	۱	۱	-	-	۱	۳	۱	۲۴	۴	۵	۲
Y	-	-	-	۱۰	۱۰	۱۴,۳	۴۰	۱۰	۳۰	۳۰	۳۶,۸	۲۰
Yb	۱,۵	۱,۵	۱,۴	۲,۷	۲,۶	۳,۵	۶,۱	۲,۶	۵,۱	۴,۹	۳	۴,۲
Zr	۶۵,۵	۷۲,۸	۴۰,۳	۱۱۰	۱۱۰	۱۶۰	۲۶۵	۱۶۵	۲۶۴	۲۶۳	۳۵۳	۳۰,۴
Eu/Eu*	۱,۲۵	۱,۱۹	۱,۲۶	۱	۱,۰۴	۰,۸۵	۰,۷۷	۰,۸۷	۰,۸۷	۰,۷۵	۰,۶۷	۰,۵۷
(La/Yb)N	۲,۷۶	۴,۰۵	۲,۷	۲,۶	۲,۶۵	۲,۸۹	۶,۰۹	۵,۵۵	۵,۱۶	۶,۶۹	۶,۷۵	۶,۶۸
Th/Ta	-	۲,۲	-	۶,۶۶	-	۵,۳	۵,۶۱	۱۸,۲۵	-	۶,۴۶	۱۲,۵۶	۸,۳۷
Ave REEs	۲,۹	۳,۸۸	۲,۹۷	۵,۰۲	۵,۰۱	۱۲,۱۷	۱۱,۳۳	۷,۶۷	۱۰,۳۳	۹,۳۳	۱۵,۷	۱۳,۹

ارتفاعات کوه‌های لوچار و شیطان‌بازار (واقع در منتهی‌الیه شمال شرقی روستای هزارخانی) مشاهده می‌شوند. واحد گابرو در ارتفاعات شمال‌شرقی (به صورت دایک‌هایی ریزدانه که واحد حدواسط را قطع نموده) و در بخش‌هایی از دامنه جنوب‌غربی (به صورت توده‌ای) دارای رخنمون است. واحد حدواسط دارای بیشترین رخنمون در منطقه مورد مطالعه است. واحد فلزیک نیز در بخش‌های شمال‌غربی در مجاورت سنگ‌های حدواسط قابل مشاهده است. در بخش شمال‌غربی حاجی‌آباد واحدهای نفوذی متشکل از گابرو (به صورت توده‌ای) و در بخش شمال‌شرقی واحدهای حدواسط شامل (میکرودیوریت و تونالیت بنابر بررسی‌های سنگنگاری) در میان لایه‌ای از ترمولیت-اکتینولیت کلریت شیست (براساس بررسی‌های سنگنگاری) و آهک، نفوذ کرده‌اند. این ترمولیت-اکتینولیت کلریت شیست با واحدهای نفوذی در تماس است (شکل ۱).

زمین‌شناسی و مشاهدات صحرایی منطقه‌ی مورد بررسی
منطقه مورد بررسی در شمال‌شرق سنقر در طول‌های جغرافیایی $۳۵^{\circ}, ۳۴^{\circ}$ تا $۳۳^{\circ}, ۳۰^{\circ}$ شرقی و عرض‌های $۵۶^{\circ}, ۴۷^{\circ}$ تا $۴۸^{\circ}, ۴۷^{\circ}$ شمالی واقع شده است (شکل ۱) که در بخشی از زون ماگمایی-دگرگونی، سندنج - سیرجان واقع شده است. در منطقه، دو محدوده مطالعاتی مدنظر قرار گرفته است. منطقه اول شامل سنگ‌های نفوذی واقع در شمال‌شرق روستای هزارخانی بالا و دیگری شامل سنگ‌های نفوذی واقع در شمال‌غربی روستای حاجی‌آباد می‌باشد. توالی‌های سنگی رخنمون-یافته در منطقه هزارخانی عبارتند از توالی آتش‌فشنایی - رسوبی (سری سنقر) متعلق به ژوراسیک میانی تا پسین [۵] متشکل از تناوب آهک و سنگ‌های آتش‌فشنایی و توده‌های نفوذی ائوسن [۲] که سنگ‌های رسوبی - آتش‌فشنایی مربوط به زمان تریاس - ژوراسیک [۵] متشکل از ریولیت تا ریوداسیت‌های صورتی تا کرم رنگ را قطع کرده‌اند و در دامنه و

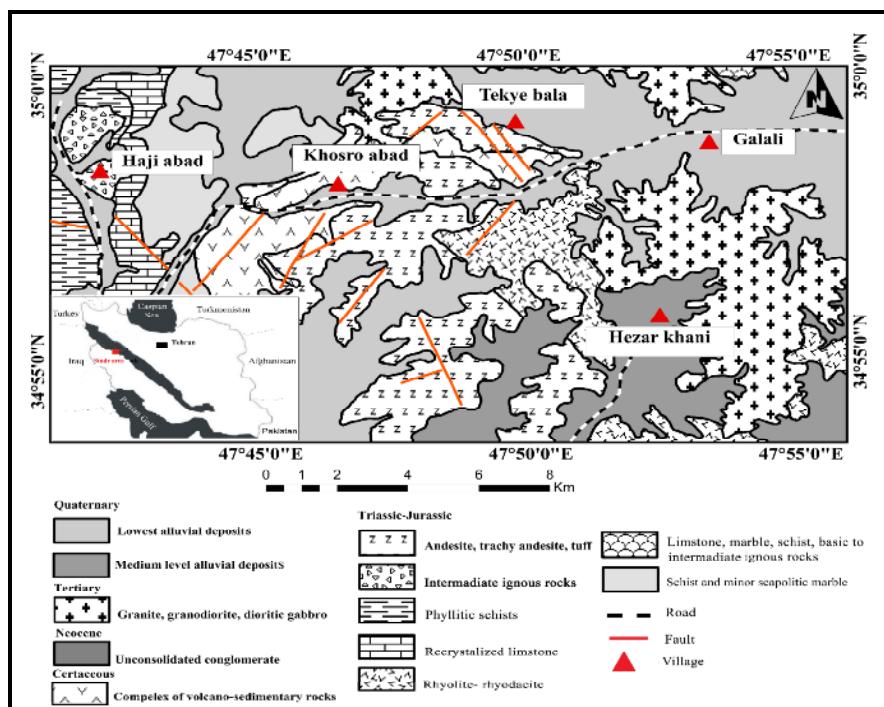
واحد حدواسط: این واحد بیشترین رخنمون را، در منطقه‌ی مورد بررسی دارند و در بعضی نقاط با دایک‌های ریز دانه با ترکیب گابروی پیرکسن‌دار قطع شده و نسبت به گابروهای آمفیبول‌دار و سنگ‌های اسیدی منطقه‌ی دارای مرز مشخصی نیستند. این واحد شامل طیف ترکیبی از دیوریت (دیوریت-پگماتوئیدی (شکل ۲-ب) تا میکرودیوریت)، مونزو دیوریت (شکل ۲-پ)، مونزونیت (شکل ۲-ت) و کوارتز مونزو دیوریت با بافت پگماتوئید (شکل ۲-ب)، نیمه‌شکلدار تا دانه‌های بی-شکل (شکل ۲-پ و ت) و ریزدانه و بافت فرعی پوئیکلیتیک (بلورهای هورنبلند در داخل پلاژیوکلاز) می‌باشند. پلاژیوکلاز (بلورهای هورنبلند در داخل پلاژیوکلاز) می‌باشد. پلاژیوکلاز (۰.۵٪-۰.۴۵٪)، هورنبلند (۰.۴۵٪-۰.۳۵٪)، ارتوکلاز (۰.۵٪-۰.۱۰٪)، کوارتز حدود (۰.۱۰٪) و پیروکسن (۰.۷٪-۰.۱۰٪) (در مونزو دیوریت) کانی‌های اصلی مشاهده شده در این واحدند (شکل ۲-ب، پ و ت) و آپاتیت (شکل ۲-ب)، اسفن و کانی‌های کدر کانی‌های فرعی را تشکیل می‌دهند. کانی‌های ثانویه زوئیزیت، کلینوزوئیزیت، اپیدوت (شکل ۲-پ) و کانی‌های رسی‌اند که از دگرسانی پلاژیوکلاز و ارتوکلاز ایجاد شده‌اند. کلریت دیگر کانی ثانویه‌ای است، که غالباً از دگرسانی هورنبلند ایجاد شده است (شکل ۲-ب).

سنگنگاری

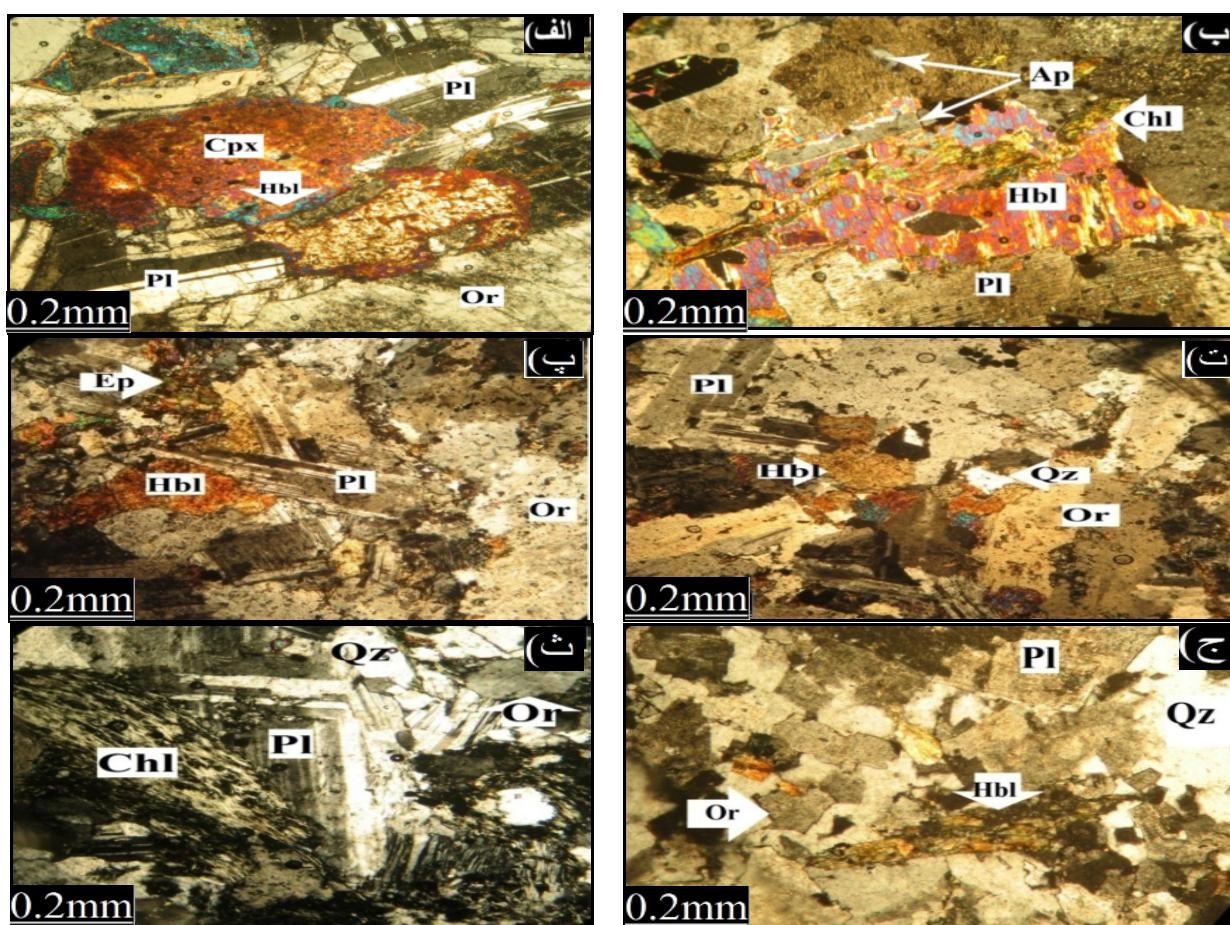
براساس بررسی‌های سنگنگاری سنگ‌های نفوذی موجود در این منطقه شامل واحدهای مافیک، حدواسط و فلزیک‌اند، که به توصیف آن‌ها می‌پردازیم.

- دسته‌ی اول: این دسته شامل گابروهای پیرکسن‌دارند، که به صورت دایک‌های ریز دانه با روند شمال‌غربی - جنوب‌شرقی واحد حدواسط را قطع کرده‌اند. عرض این دایک‌ها در گستره‌ی ۲-۳ متر است که به رنگ خاکستری تیره (مزوکرات)، متوسط تا ریز دانه با بافت دانه‌ای بی‌شکل تا نیمه‌شکلدار دیده می‌شوند. پلاژیوکلاز (۰.۵٪-۰.۴۵٪)، پیروکسن (۰.۲۰٪-۰.۱۵٪) و کانی‌های فرعی شامل هورنبلند، ارتوکلاز و کانی‌های کدر کینی‌های اصلی را تشکیل می‌دهند (شکل ۲-الف).

- دسته‌ی دوم: این دسته، شامل گابروهای آمفیبول‌دارند که به صورت توده‌ای و درشت دانه با مرز نامشخص در مجاورت واحدهای حدواسط دیده می‌شوند. این واحد به رنگ خاکستری تیره تا سبز خاکستری (مزوکرات)، میان دانه با بافت نیمه‌افیتیک بی‌شکل تا نیمه‌شکلدارند که گاهی با بافت نیمه‌افیتیک همراهی می‌شوند. کانی‌های اصلی عبارتند از پلاژیوکلاز (۰.۵٪-۰.۴۵٪)، هورنبلند (۰.۴۵٪-۰.۳۵٪) و کانی‌های فرعی شامل ارتوکلاز، آپاتیت و کانی‌های کدرند.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه. با تغییرات از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ [۵].



شکل ۲ (الف) تصویر میکروسکوپی از گابرو پیرکسن دار با بافت بی‌شکل تا نیمه شکل دار دانه‌دار، (ب) تصویر میکروسکوپی از دیبوریت با بافت پیکربندی و تبدیل هورنبلنده به کلریت، (پ) تصویر میکروسکوپی از مونزونیت همراه با بافت نیمه شکل دار تا بی‌شکل دانه‌دار، (ت) تصویر میکروسکوپی از مونزونیت همراه با بافت نیمه شکل دار تا بی‌شکل دانه‌دار (ث) تصویر میکروسکوپی از تونالیت همراه با درشت بلورهای پلازیوکلاز، (ج) تصویر میکروسکوپی از گرانودیبوریت، علائم اختصاری کانی‌ها: Cpx: کلینوپیروکسن، Hbl: هورنبلنده، Pl: پلازیوکلاز، Spn: اسفن، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت) [۶].

اپیدوت (حاصل دگرسانی پلازیوکلاز) و سرسیت (حاصل دگرسانی ارتوکلаз) هستند.

بحث و بررسی

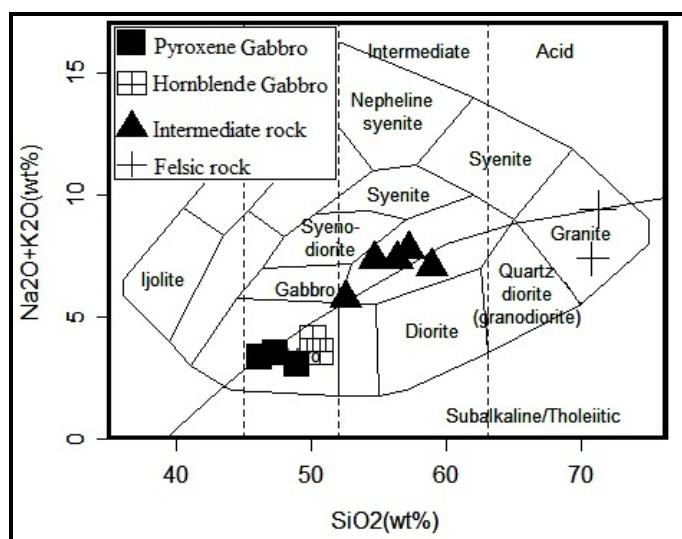
از عناصر اصلی در ژئوشیمی برای نام‌گذاری سنگ‌ها، تغییرات ماقمایی، تعیین سری ماقمایی، تعیین نوع ماقما و تعیین شاخص‌های قلیا و آهکی در این نوشتار استفاده شده‌اند. به منظور رده‌بندی ژئوشیمیایی نمونه‌های برداشت شده، نمودار ژئوشیمیایی مجموع قلیایی-سیلیس [۷] مورد استفاده قرار گرفت که براساس آن نمونه‌های فلزیک در گستره‌ی گرانیت، مافیک در گستره گابرو و نمونه‌های حدواتسط در گستره‌ی سینودیبوریت تصویر شده‌اند (شکل ۳). نتایج حاصل از این نمودار با بررسی‌های سنگنگاری همخوانی قابل قبولی دارد.

واحد فلزیک: این واحد که شامل تونالیت تا گرانودیبوریت است در بخش‌های شمال‌غربی در مجاورت واحد حدواتسط با مرز نا- مشخص قابل مشاهده است. در نمونه‌ی دستی به رنگ سبز روشن تا تیره (لوکوکرات)، متوسط تا ریز دانه‌اند و دارای بافت‌های دانه‌ای نیمه‌شکلدار تا بی‌شکل (در گرانودیبوریت) (شکل ۲-ج)، پورفیروئید (در تونالیت) و بافت‌های فرعی مثل پرتیت و پوئیکلیلیتیک در گرانودیبوریت‌ها دیده می‌شوند. کانی‌های اصلی شامل پلازیوکلاز (۰.۶۵٪-۰.۶۰٪)، کوارتز (۰.۳۰٪-۰.۲۵٪)، ارتوکلاز از ۱۰٪ در تونالیت تا حدود ۲۰٪ در گرانودیبوریت (شکل ۲-ث و ج)، کانی‌های فرعی شامل هورنبلنده، اسفن و آپاتیت (به صورت سوزن‌های ریز در متن کوارتز و پتاسیم‌فلدسبار) و کانی‌های ثانویه شامل کلریت (شکل ۲-ث) کانی‌های رسی و

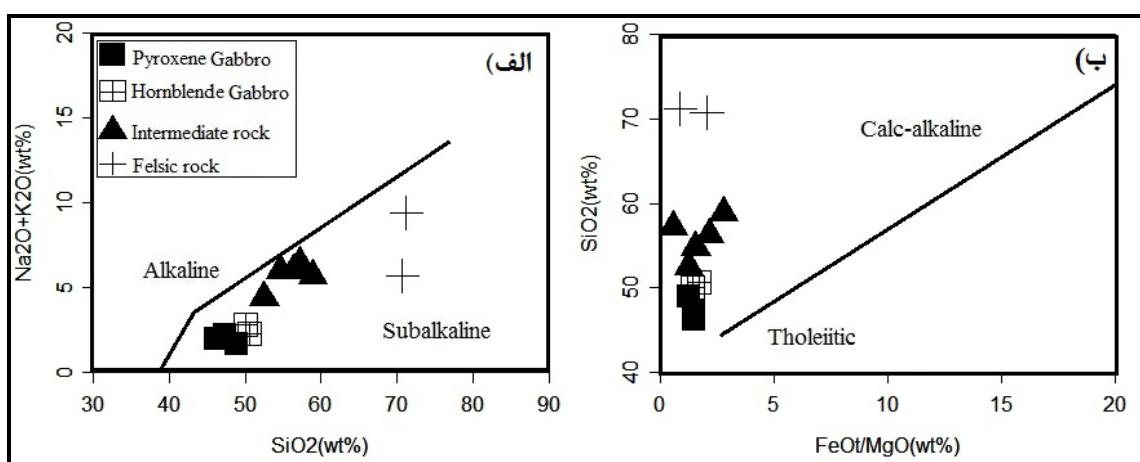
تصویر شده‌اند. همچنین نمونه‌ها در نمودار تغییرات نسبت‌های مولکولی $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ نسبت به A/CNK , $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ نسبت به (A/NK) [۱۱]، بیشتر در قلمرو شبکه خشک واقع می‌شوند (شکل ۶).

با توجه به بررسی‌های صحرایی، سنگ‌های منطقه به دو صورت توده‌ای (گابرو آمفیبول‌دار، سنگ‌های حدواسط و سنگ‌های اسیدی) و دایک (گابرو پیروکسن‌دار) دیده می‌شوند. بنابراین به منظور بررسی، نخست به بررسی هم‌خونی سنگ‌های منطقه و سپس به فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری آنها پرداخته می‌شود.

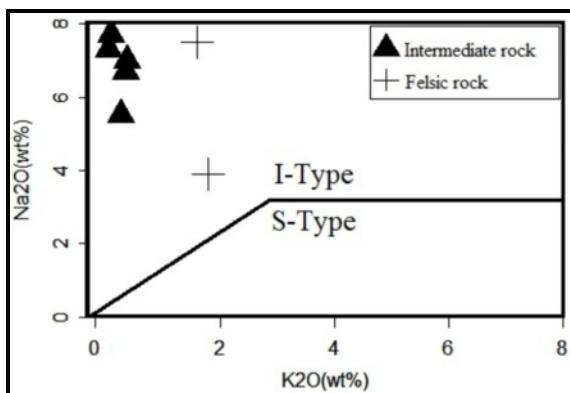
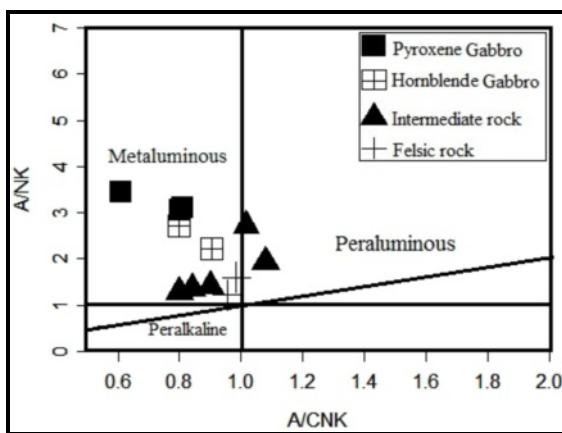
برای تعیین سری مagmaی از نمودار کل ماده‌ی قلیایی $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ نسبت به سیلیس [۸] برای جدایش گسترده‌های قلیایی (Alkaline) و نیمه‌قلیایی (Subalkaline) (شکل ۴-الف) استفاده شده که نمونه‌های مورد بررسی در قلمرو نیمه‌قلیایی قرار گرفته‌اند. همچنین در نمودار $(\text{FeO}^t/\text{MgO})$ نسبت به سیلیس [۹]، برای جدایش گسترده‌های آهکی‌قلیایی و تولئیتی (شکل ۴-ب) نمونه‌ها در گسترده‌ی آهکی‌قلیایی تصویر شده‌اند. به منظور تعیین نوع گرانیت‌وئیدهای مورد بررسی از نمودار تغییرات Na_2O نسبت به K_2O [۱۰] (شکل ۵) استفاده شد که گرانیت‌وئیدهای مورد بررسی در قلمرو نوع I



شکل ۳ نمودار مجموع قلیایی نسبت به سیلیس [۷]، برای رده‌بندی سنگ‌های مورد بررسی.



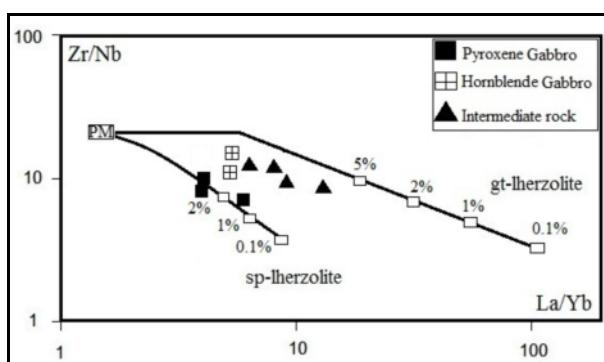
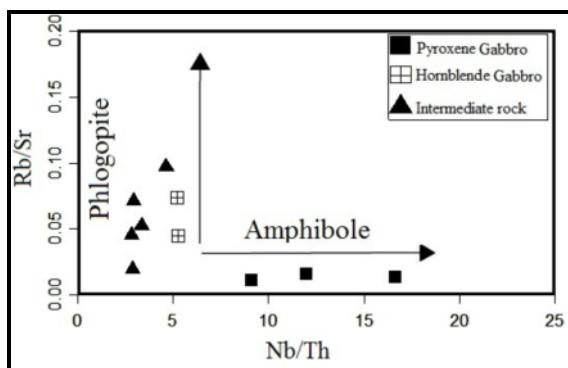
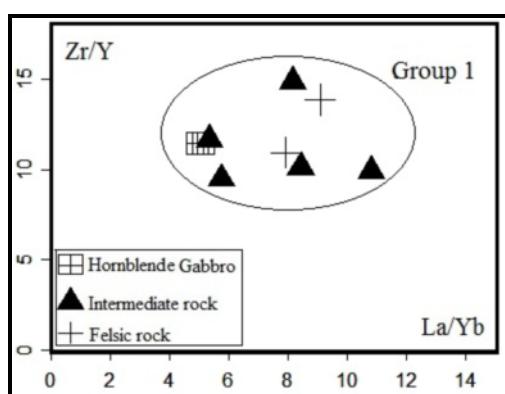
شکل ۴ (الف) نمودار مجموعه قلیایی نسبت به سیلیس [۸]. ب) نمودار $(\text{FeO}^t/\text{MgO})$ نسبت به SiO_2 [۸]. ب) برای جدایش گسترده‌های آهکی‌قلیایی و تولئیتی [۹].

شکل ۵ نمودار تغییرات Na_2O نسبت به K_2O [۱۰] برای جدایش گرانیتوئیدهای نوع I و S.شکل ۶ نمودار تغییرات A/CNK نسبت به A/NK برای تعیین درجه ایشباع از آلومینا [۱۱].

های مورد بررسی به دو گروه قابل تقسیم‌اند (شکل ۹). براساس این نمودار گروه اول شامل نمونه‌های توده‌ای و گروه دوم را دایک‌ها تشکیل می‌دهند. با توجه به (جدول ۱) در نمونه‌های دایکی منطقه، مقدار عنصر Y برابر با صفر بوده، و بنابراین میزان نسبت Zr/Y آن‌ها بینهایت است و در نمودار مورد نظر نقش نمی‌شوند. بنابر به نظر [۱۸] تغییرات نسبتاً محدود در نسبت عناصر یاد شده می‌تواند به جای تفاوت در ترکیب خاستگاه، به تغییرات جزئی در میزان ذوب بخشی یا تبلور جدایشی نسبت داده شود.

بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده از نمودارهای یاد شده و مشاهدات صحرایی می‌توان گفت که در منطقه مورد بررسی با دو گروه سنگی با خاستگاه‌های متفاوت مواجه هستیم گروه گابرو پیرکسن‌دار به صورت دایک و گروه دیگر سنگ‌های توده‌ای با ترکیب گابرو هورنبلندر، سنگ‌های حدواسط و اسیدی که در ادامه به بررسی روند تغییرات سنگ‌های توده‌ای منطقه می‌پردازیم.

به منظور ارائه مدلی قابل قبول از ذوب، از معادلات [۱۲] و نمودارهای ذوب [۱۳] و الگوی تلفیقی از [۱۵، ۱۴] استفاده شده است. در نمودار Zr/Nb نسبت به La/Yb روند غنی‌شدگی خاستگاه همراه با منحنی‌های ذوب دسته‌ای برای گارنت لرزولیت تا ۵٪ و اسپینل لرزولیت تا ۲٪ در درجه‌های مختلف ذوب نمایش داده شده است (شکل ۷). با توجه به این نمودار دایک‌ها در گستره‌ی اسپینل لرزولیت با نرخ ذوب بخشی ۱٪ تا بیشتر از ۲٪ نمونه‌های توده‌ای در گستره‌ی بین گارنت لرزولیت و اسپینل لرزولیت واقع شده‌اند. همچنین وجود فازهای آمفیبول یا فلوگوپیت در خاستگاه را نیز، براساس نمودار نسبت‌های Nb/Th و Rb/Sr [۱۶] (شکل ۸) می‌توان مورد بررسی قرار داد. خصوصاً که نسبت Nb/Th شاخصی از سازگاری بیشتر عنصر Nb در ترکیب آمفیبول نسبت به فلوگوپیت بوده [۱۷] و نیز تحرک کم این عناصر طی دگرسانی را نشان می‌دهد. از طرف دیگر فاز فلوگوپیت در خاستگاه نمونه سنگ‌های توده‌ای و فاز آمفیبول در خاستگاه دایک‌ها به خوبی دیده می‌شود. در نمودار نسبت Y/Zr به La/Yb [۱۸] نمونه-

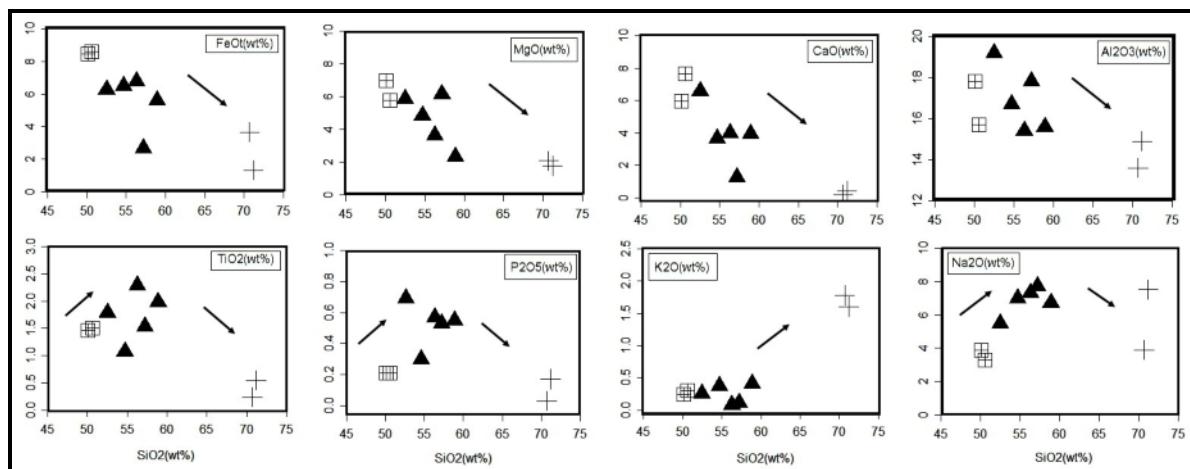
شکل ۷ نمودار Zr/Nb نسبت به La/Yb [۱۳] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی.شکل ۸ نمودار Rb/Sr نسبت به Nb/Th [۱۶] و موقعیت نمونه‌های مورد بررسی.شکل ۹ نمودار Zr/Y نسبت به La/Yb [۱۸].

تیتانیم‌دار در مراحل اولیه تبلور ماغماست. CaO و Al_2O_3 به خاطر مشارکت در ساختار پلاژیوکلاز سیر نزولی نشان می‌دهد. در نمودارهای عناصر TiO_2 و P_2O_5 قله‌ای مشاهده می‌شود. این قله در نمودار TiO_2 به علت تبلور کانی‌های تیتان‌دار نظری ایلمنیت و در نمودار P_2O_5 به علت تبلور آپاتیت در واحد حد بواسطه می‌باشد که با مشاهدات میکروسکوپی نیز مطابقت دارد. افزایش K_2O به دلیل عدم تبلور بیوتیت در واحد حد بواسطه بوده که منجر به افزایش ناگهانی K_2O در واحد فلزیک شده است. با توجه به اینکه یکی از مصرف‌کننده‌های

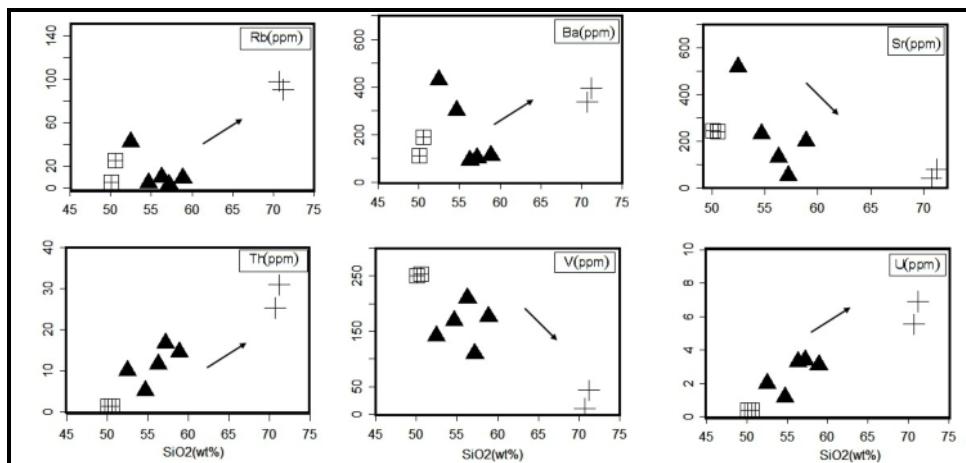
برای تفسیر شکل‌گیری‌های ماقمایی، نمودارهای تغییرات عناصر اصلی نسبت به سیلیس مبنای مقایسه خوبی را در اختیار قرار می‌دهند [۱۹] که در این بخش برای بررسی سنگ‌های توده‌ای منطقه از آنها استفاده می‌شود. نمودارهای هارکر عناصر اصلی نمونه‌های توده‌ای مورد بررسی در (شکل ۱۰) ارائه شده‌اند. چنانکه در شکل ملاحظه می‌شود، میزان اکسیدهای FeO_{t} , MgO , MnO با افزایش سیلیس کاهش می‌یابند. کاهش میزان اکسیدهای FeO_{t} و MgO با افزایش سیلیس بیانگر مشارکت این عناصر در ساختار کانی‌های فرومیزین و اکسیدهای آهن و

جهت که یک عنصر سازگار است، در آغاز روند جدایش، از ماگما جدا شده و وارد کانی‌هایی مانند پیروکسین و مگنتیت شده، و در نتیجه روند این عنصر در نمودار با کاهش همراه است [۲۰]. برای بررسی ارتباط احتمالی بین سنگ‌های توده‌ای منطقه، از نمودار Y-Zr [۲۱] استفاده شد (شکل ۱۲). با توجه به این نمودار، تبلور جدایشی احتمالاً فرایند اصلی و مهم در تشکیل سنگ‌های توده‌ای منطقه‌ی مورد بررسی بوده است. نتیجه حاصل از این نمودار با روندهای نسبتاً منظم ایجاد شده در نمودارهای هارکر، این دسته از نمونه‌ها (شکل ۱۰) که نشان‌دهنده‌ی عملکرد فرآیند تبلور جدایشی هستند، سازگاری دارد. به علاوه با توجه به شواهد صحرایی، ضریب رنگینی سنگ‌های توده‌ای از هم قابل تشخیص نیستند و مرز مشخصی ندارند. بنابراین می‌توان گفت که این توده‌ها مطابق روی هم قرار داشته و پدیده‌ی جدایش را به صورت درجا بازتاب می‌دهند.

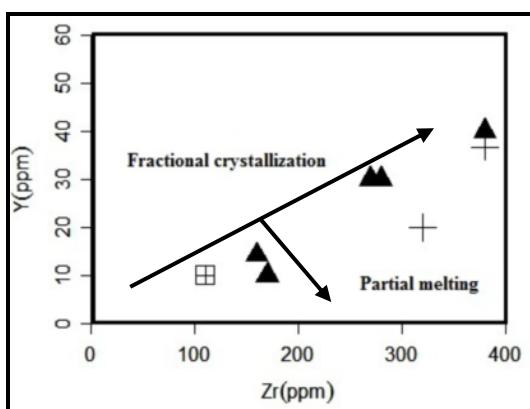
Na₂O در سنگ‌های حدواسط، آمفیبول (از نوع هورنبلند) است، و نیز با افزایش SiO₂ ترکیب پلاژیوکلاز به سمت ترکیب‌های سدیتر پیش می‌رود بنابراین، باعث افزایش جذب سدیم در SiO₂‌های بیشتر در واحد حدواسط شده و در نتیجه در ترم‌های فلزیک سدیم کاهش یافته است. نمودارهای هارکر عناصر جزئی نمونه‌های توده‌ای مورد بررسی نیز در (شکل ۱۱) ارائه شده است. چنانکه مشاهده می‌شود، عناصر Th, Ba, Rb, V و Sr با افزایش سیلیس روند افزایشی نشان می‌دهند، ولی Ba و Rb به خاطر برخلاف آن‌ها، کاهش می‌یابند (شکل ۱۱). با این‌حال پیانی تبلور ماگما، روند افزایشی دارند، Sr به علت جانشینی با کلسیم و ورود به شبکه‌ی پلاژیوکلازهای کلسیم‌دار، در مراحل انتهایی تبلور ماگما، کاهش می‌یابد. Th به دلیل ناسازگاری و شعاع یونی بزرگ تا مراحل انتهایی در فاز مایع باقی‌مانده، و با افزایش سیلیس، غنی‌شدگی نشان می‌دهد. عنصر V به این



شکل ۱۰ نمودارهای هارکر نمونه‌های مورد بررسی (علاوه مشابه شکل ۸).



شکل ۱۱ نمودار تغییرات اکسیدهای عناصر کمیاب نسبت به سیلیس نمونه‌های مورد بررسی (علاوه مشابه شکل ۸).



شکل ۱۲ نمودار Y-Zr [۲۱] برای تعیین فرایند مهم در تشکیل نمونه‌های توده‌ای مورد بررسی (علاوه مشابه شکل ۸).

(جدول ۱) که با روند جدایشی همخوانی دارد.

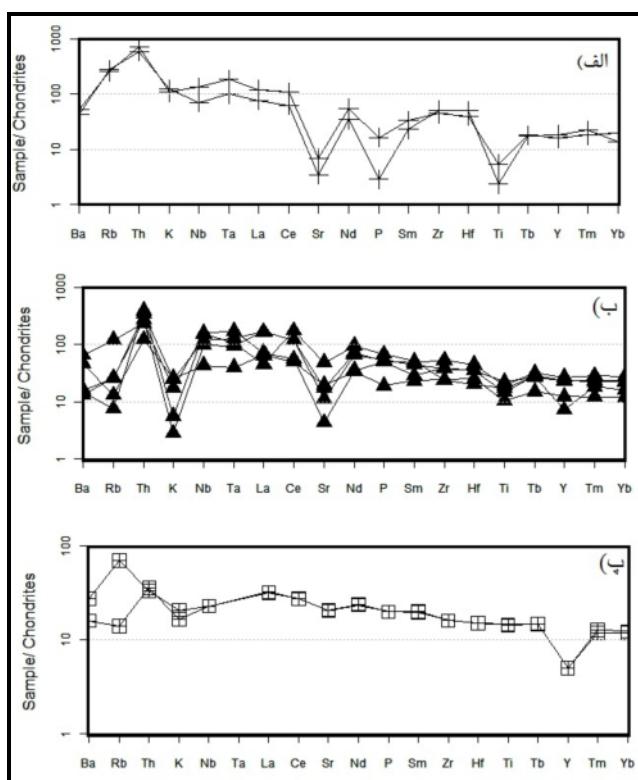
جایگاه زمین‌ساختی

شکل گیری پهنه‌ی سنندج-سیرجان که از دیدگاه زمین‌ساختی جهانی در میانه‌ی نوار چین خورده‌ی آلپ - هیمالیا قرار دارد، به زمین‌درز پوسته‌ی اقیانوسی نوثوتیس وابسته است [۲۴]. بررسی مagmaتیسم و تعیین محیط زمین‌ساختی در حاشیه‌ی فعال قاره‌ای از بسیاری جهات، با پیچیدگی‌ها و تردیدهایی مواجه است و بدین سبب همواره مورد بررسی بسیاری از پژوهشگران بوده است [۲۴]. در اینجا سعی شده است تا بر پایه‌ی فراوانی عناصر اصلی و کمیاب، محیط زمین‌ساختی و خاستگاه magmaی گروه‌های سنگ‌های مورد نظر، مورد بررسی قرار گیرد. به منظور بررسی تعیین خاستگاه زمین‌ساختی نمونه‌های مورد بررسی از نمودارهای La/Yb Th/Yb [۲۵] (شکل ۱۵) و نمودار Th/Yb Ta/Yb [۲۶] (شکل ۱۶) استفاده شده است، که نمونه‌های مورد بررسی در گستره‌ی قوس حاشیه‌ی فعال قاره‌ای قرار گرفته‌اند.

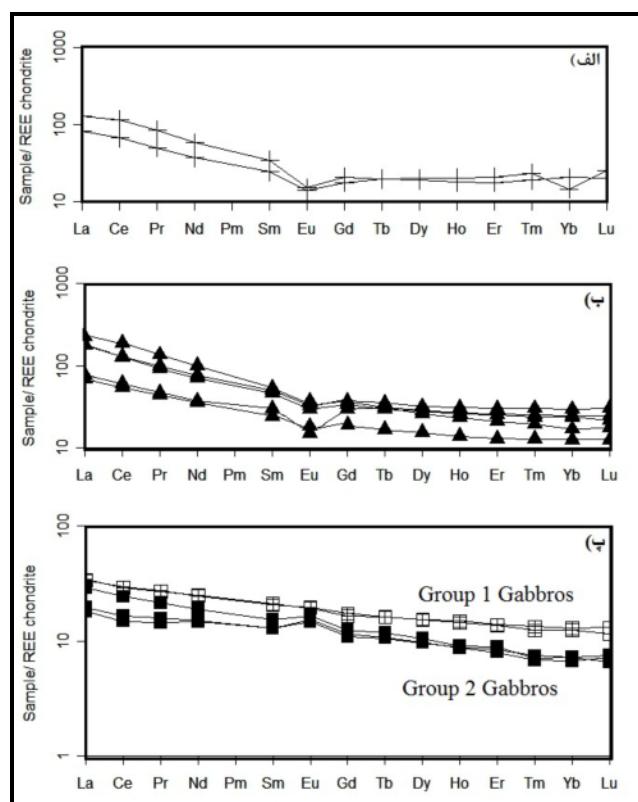
به عقیده‌ی [۲۷] در محیط‌های فرورانش میزان Th افزایش می‌یابد (جدول ۱) و نسبت Th/Ta در سنگ‌های وابسته به فرورانش در حاشیه‌ی سنگ‌های فعال قاره در گستره‌ی ۶-۲۰ تغییر می‌کند. میانگین این نسبت در سنگ‌های مورد بررسی ۹/۳۸ تعیین شده است (جدول ۱). همچنین غنی‌شدگی نمونه‌های مورد بررسی عناصر LILE و LREE و تهی‌شدگی آن‌ها از HFSE و HREE. بیانگر محیط وابسته به فرورانش در حاشیه‌ی فعل قاره است [۲۸]. بنابراین با توجه به وجود این روند در واحد حدوداً (که با توجه به شواهد صحرایی و میکروسکوپی magmaی مادر در نظر گرفته شده است) به طور کلی، سنگ‌های نفوذی مورد بررسی را می‌توان وابسته به فرورانش، در نظر گرفت.

نمودارهای عنکبوتی

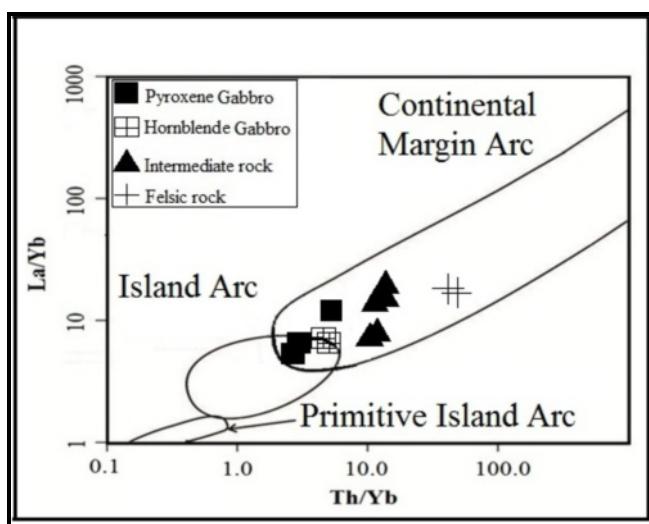
نمودار عنکبوتی (چند عنصری) نمونه‌های توده‌ای مورد بررسی که نسبت به مقادیر کندریت [۲۲] بهنجار شده‌اند در (شکل ۱۳-الف، ب، پ) دیده می‌شوند. با توجه به شکل، در سنگ‌های مافیک میزان عناصر Th، Rb (LILE) کمتر غنی‌شدگی نشان می‌دهند و در ادامه به سمت واحد فلزیک، میزان عناصر LILE نسبت به HFSE غنی‌شدگی بیشتری نشان می‌دهند. نمودار تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) واحدهای مافیک که نسبت به کندریت [۲۳] بهنجار شده‌اند، در (شکل ۱۴-پ) نمایش داده شده است. الگوهای فراوانی عناصر نادر خاکی در واحدهای مافیک، دارای دو روند است. در گروه اول که شامل گابروهای پیرکسن‌دارند، شاهد بهنجاری مثبت Eu = ۱/۱۹-۱/۲۶ (Eu/Eu^x) و در گروه دوم، گابروهای آمفیبولدار، فاقد بهنجاری Eu/Eu^x = ۱-۱/۰۴ (Eu/Eu^x) (جدول ۱) هستند. هم‌چنین شبیه نمودار عناصر REE در گابروهای آمفیبولدار و میزان ۶-۲/۶۵ (Eu/Eu^x) در گابروهای آمفیبولدار (La/Yb)_N = ۲ (La/Yb)_N = ۲/۷-۴/۰۵ (La/Yb)_N = ۲/۷-۴/۰۵)، دارای مقادیر کمتری است. گابروهای پیرکسن‌دار نسبت به گابروهای هورنبلندر الگوی کاهش HREE‌ها را نشان می‌دهند. Eu در واحدهای حدوداً ۰/۰۷۵-۰/۰۸۷ (Eu/Eu^x) و اسیدی ۰/۰۵۷-۰/۰۶۷ (Eu/Eu^x) (جدول ۱) بهنجاری منفی Eu دارد که میزان این بهنجاری منفی به سمت واحدهای اسیدی افزایش می‌یابد (شکل ۱۴-الف، ب). علاوه بر این در واحدهای اسیدی و حدوداً ۰/۰۷۵-۰/۰۸۷ (La/Yb)_N = ۲/۸-۶/۷ (La/Yb)_N = ۲/۸-۶/۷) و الگوهای HREE مسطح هستیم. در نمونه‌های توده‌ای مورد بررسی، میانگین مقادیر REE از واحد مافیک (گابرو هورنبلندر) به سمت واحد فلزیک از ۱۵/۷ تا ۵/۰۱ افزایش می‌یابد



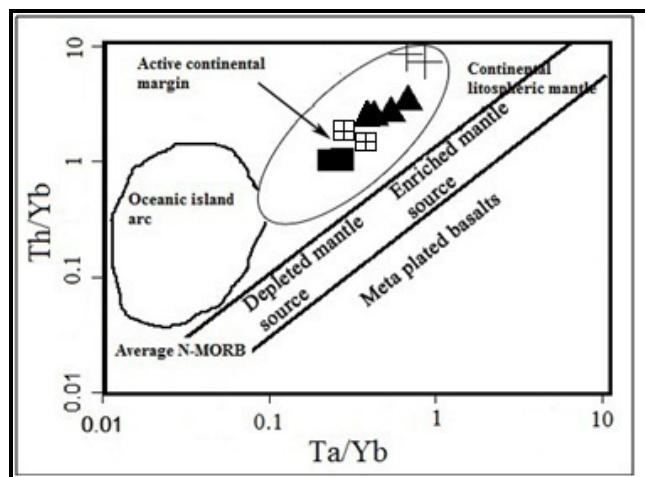
شکل ۱۳ نمودار عنکبوتی تغییرات عناصر کمیاب (الف) واحد حدواسط و (ب) واحد فلزیک (پ) واحد گابرو هورنبلنددار، که نسبت به فراوانی آنها در کندریت [۲۲] بهنجار شده‌اند (علائم مشابه شکل ۸).



شکل ۱۴ الگوهای REEs. (الف) واحد فلزیک، (ب) واحد مافیک بهنجار شده نسبت به فراوانی آنها در کندریت [۲۳] (علائم مشابه شکل ۸).



شکل ۱۵ موقعیت زمین‌ساختی نمونه‌های مورد بررسی در نمودار La/Yb نسبت به Th/Yb [۲۵].



شکل ۱۶ موقعیت زمین‌ساختی نمونه‌های مافیک در نمودار Th/Yb - Ta/Yb [۲۶] (علاوه مشابه شکل ۱۵).

نشان‌دهنده‌ی چند خاستگاه بودن سنگ‌های منطقه است. هم-

چنین با توجه به نمودار Y-Zr مهم‌ترین عامل در شکل‌گیری سنگ‌های توده‌ای منطقه فرایند تبلور جدایشی است.

قدرتانی

از داوران محترم که با نظرات و پیشنهادهای ارزشمند خود این مقاله را به سمت و سوی مناسب راهنمایی کرده‌اند، خالصانه تقدير و تشکر می‌کنیم.

مراجع

- [1] Berberian M., King G.C., "Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran", Canadian Journal of Earth Sciences 18 (1981) 210-265.

برداشت
مجموعه‌ی پلوتونیک شمال شرقی سنقر، واحدهای سنگی مختلفی را در خود جای داده است. با توجه به مشاهدات صحرایی، بررسی‌های کانی‌شناسی، سنگ‌نگاری و ژئوشیمیابی، سنگ‌هایی که در این واحدهای سنگی مشاهده شده‌اند، از دو دسته، سنگ‌های توده‌ای (گابرو و هورنبلندار، سنگ‌های حدواسط و اسیدی) و دایک‌ها (گابرو و پیرکسن‌دار) تشکیل شده‌اند، که براساس شاخص ویژگی‌های ترکیبی دارای دو خاستگاه اسپینل لرزولیت تا گارنت لرزولیت (سنگ‌های توده‌ای) و اسپینل لرزولیت (دایک‌ها) با نرخ ذوب- Nb/Th و Rb/Sr بخشی متفاوت‌اند. همچنین تغییرات نسبت Nb/Th در این سنگ‌ها نیز بیانگر وجود فاز فلوگوپیت در سنگ‌های توده‌ای و آمفیبولیت در دایک‌های منطقه خاستگاه است، که

- distribution from inversion of rare earth element concentrations", Petrology* 32 (1991) 1021-1991.
- [15] McKenzie D.P., O'Nions R.K., "The source regions of Ocean Island Basalts", *Petrology* 36 (1995) 133-159.
- [16] Furman T., Graham D., "Erosion of lithospheric mantle beneath the East African Rift system: geochemical evidence from the Kilu volcanic province", *Lithos* 48 (1999) 237-262.
- [17] Ionov D.A., Hofmann A.W., "Nb-Ta rich mantle amphiboles and micas: implication for subduction-related metasomatic trace element fractionations", *Earth Planetary Science Letter* 131 (1997) 341-356.
- [18] Mehdipour Ghazi J., Rahgoshay M., Shafeii Moghadam H., Moazen M., "Geochemistry of gabbroic pockets of a mantle sequence in the Nain ophiolite (Central Iran): Constraints on petrogenesis and tectonic setting of the ophiolite", *Nues Jahrbuch fur Mineralogie (Abhandlungen)* 187 (2010) 49-62.
- [19] Harker A., "The natural history of igneous rocks", Methuen: London (1997).
- [۲۰] دروزی ر., عابدینی م., "بررسی نقش تفرقی ماقمایی و آلایش پوسته‌ای در ایجاد سنگ‌های ولکانیکی ائوسن جنوب و جنوب شرق بوئین‌زهرا", فصل‌نامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۱۰-۱۵ ص ۲۳-۲۳. (۱۳۸۸)
- [21] Abdalla J.A., Said A., Visona D., "New geochemical and petrographic data on the gabbro-syenite suite between Hargeysa and Barbera sheikh (Northern Somalia)", *African Journal of Earth Science* 23 (1997) 363-373.
- [22] Thompson A.B., "Magmatism of the British Tertiary Volcanic Province", *Scottlandian Journal of Geology* 18 (1982) 50-107.
- [23] Boyenton W.V., "Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson P. (ed.), Rare earth element geochemistry", Elsevier (1984) 63- 114.
- [۲۴] ترکیان ا., "استفاده از عنصر کمیاب و نادر خاکی در تعیین منشأ ماقمای سازنده تودهای نفوذی گرانودیوریتی- گرانیتی و دیوریتی مجموعه پلوتونیک قروه", پترولوزی، شماره ۱-۴۹ ص ۶۶-۶۶. (۱۳۸۹)
- [25] Condie K.C., "Geochemical changes in basalts and andesites across the Archean-
- [2] Braud J., Bellon H., "Donnees nouvelles sur le domaine métamorphique de Zagros (Zone de Sanandaj-Sirjan) au niveau de Kermanshah-Hamedan (Iran): nature, age et interprétation des séries métamorphiques et des intrusions, évolution structurale", *Eclog. Helvet* (1975).
- [3] Braud J., Aghanabati A., "1:250000 Geological map of Kermanshah", Geological Survey and Mining of Iran (1978).
- [۴] میری م., "بررسی پترولوزیکی و ژئوشیمیایی تودهای آذرین منطقه تکیه‌بلا (جنوب شرق کردستان) با نگرشی ویژه بر کانسارسازی آهن", پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم پایه دانشگاه بولی‌سینا، (۱۳۹۰) ص ۱۰۶.
- [۵] اشرافی ص.ع., جعفریان م.ب., اقلیمی ب., "نقشه زمین- شناسی ۱:۱۰۰۰۰ و گزارش حاشیه ورقه سقرا", سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۷۵).
- [6] Whitney D., Evans W.D., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185-187.
- [7] Cox K.G., Bell J.D., Pankhurst R.J., "The Interpretation of Igneous Rocks", Allen and Unwin, London (1979) 450.
- [8] Irvine T.N., Baragar W.R.A., "Guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", *Canadian Journal of Earth Sciences* 8 (1971) 523-545.
- [9] Miyashiro A., "Volcanic rock series in island arcs and active continental margins", *American Journal of Science* 274 (1974) 321-355.
- [10] Chappell B.W., Bryant C.J., Wyborn D., White A.J.R., Williams I.S., "High and low Temperature I-type granites", *Resource Geology* 48 (1998) 225-236.
- [11] Shand S.J., "Eruptive rocks", T. Murby, London (1943) 488.
- [12] Shaw D. M., "Trace element fractionation during anatexis", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 34 (1970) 237-243.
- [13] Aldanmaz E., Koprubasi N., Gurer O.F., Kaymakci N., Gouraud A., "Geochemical constraints on the Cenozoic, OIB-type alkaline volcanic rocks of NW Turkey: implications for mantle sources and melting processes", *Lithos* 86 (2006) 50-76.
- [14] McKenzie D.P., O'Nions R.K., "Partial melt

- [27] Schandl E. S., Gorton M.P., "Application of high field strength elements to discrimination tectonic settings in VMS environments", *Economic Geology* 97 (2002) 629-642.
- [28] Fitton J.G., James D., Kempton P.D., Ormerod D.S., Leeman W.P., "The role of lithospheric mantle in the generation of Late Cenozoic basic magmas in the western United States", *Petrlogy* (1988) 331–349.
- Proterozoic boundary: identification and signification and significance", *Lithos* 23 (1989) 1-18.
- [26] Pearce J.A., "The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins". In: Hawkesworth. C.J., Norry, M.J. Eds. Continental basalts and mantle xenoliths. Shiva, Nantwhich (1983) 230-249.