



مقایسه ویژگی‌های گرانیت‌وئیدهای کم پتاسیم و غنی از پتاسیم در مجموعه‌ی نفوذی الوند

علی اصغر سپاهی^{*}، طبیبه خاکسار

گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت مقاله: ۹۰/۵/۲۵، نسخه نهایی: ۹۰/۱۲/۱۱)

چکیده: مجموعه‌ی نفوذی الوند در جنوب همدان، در زون سنندج-سیرجان واقع شده است. این مجموعه شامل سنگ‌های مافیک تا فلزیک مانند گابرو، دیوریت، تونالیت، گرانودیوریت، گرانیت، آپلیت و پگماتیت است. سنگ‌های شبه گرانیتی بخش اعظمی از سنگ‌های این مجموعه را به خود اختصاص می‌دهند که از این میان می‌توان به دو دسته گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید و گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن اشاره کرد. گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید غنی از پتاسیم بوده در حالی که گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن فقیر از پتاسیم هستند. ویژگی‌های سنگ‌نگاری و زمین‌شیمی سنگ‌های گرانیت‌وئیدی نشان می‌دهد که این دودسته از هم مجزا بوده و احتمالاً از جدایی یک ماگما حاصل نشده‌اند. گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن نسبت به گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید از CaO ، Na_2O و Al_2O_3 غنی تر و از K_2O و MgO فقیرترند و روند تبلور جداشی از یک ماگمای مشترک با گرانیت‌وئیدهای دیگر را نشان نمی‌دهند. دامنه‌ی تغییرات مقدار Σ_{REE} و La/Yb_{N} در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن گسترده تر از سایر سنگ‌های دیگر است. مقادیر Eu/Eu^* در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید $0.38-0.61$ ، در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن $0.52-0.53$ و در آپلیت‌ها $0.15-0.21$ است. بی‌亨جاری منفی Eu در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید با خاستگاه پوسته‌ای که برای آنها در نظر گرفته شده است، همخوان است. با توجه به اینکه گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن به دلیل مقدار نسبتاً زیاد CaO و Na_2O غنی از پلازیوکلаз هستند لذا به دلیل جانشینی Eu به جای Ca در شبکه این کانی، این سنگ‌ها از خود بی‌亨جاری مثبت Eu نشان می‌دهند. آپلیت‌ها و پگماتیت‌های منطقه از نظر زمین‌شیمی بیشتر به گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید شباهت دارند و احتمالاً از جدایی آنها حاصل شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: الوند؛ گرانیت‌وئید؛ زمین‌شیمی؛ پورفیروئید؛ بی‌亨جاری.

سنگ‌ها را جالب توجه می‌کنند. در این پژوهش بحث‌های سوال برانگیز چگونگی سنگ‌زایی این مجموعه موردنظر نیست ولی، به طور کلی می‌توان گفت که همان طور که در بعضی از کارهای پژوهشی دیگر نیز عنوان شده است، برای تشکیل واحدهای مختلف سنگی این مجموعه نمی‌توان یک سازوکار ساده و واحدی را در نظر داشت. از جمله تغییرات شیمیایی مهم در گرانیت‌وئیدهای مجموعه‌ی نفوذی الوند می‌توان به مقدار دوگانه‌ی فراوانی K_2O در آنها اشاره کرد که بر این اساس گرانیت‌وئیدها را می‌توان به دو دسته غنی از پتاسیم و فقیر از پتاسیم رده‌بندی کرد. تغییر میزان پتاسیم در این سنگ‌ها

مقدمه

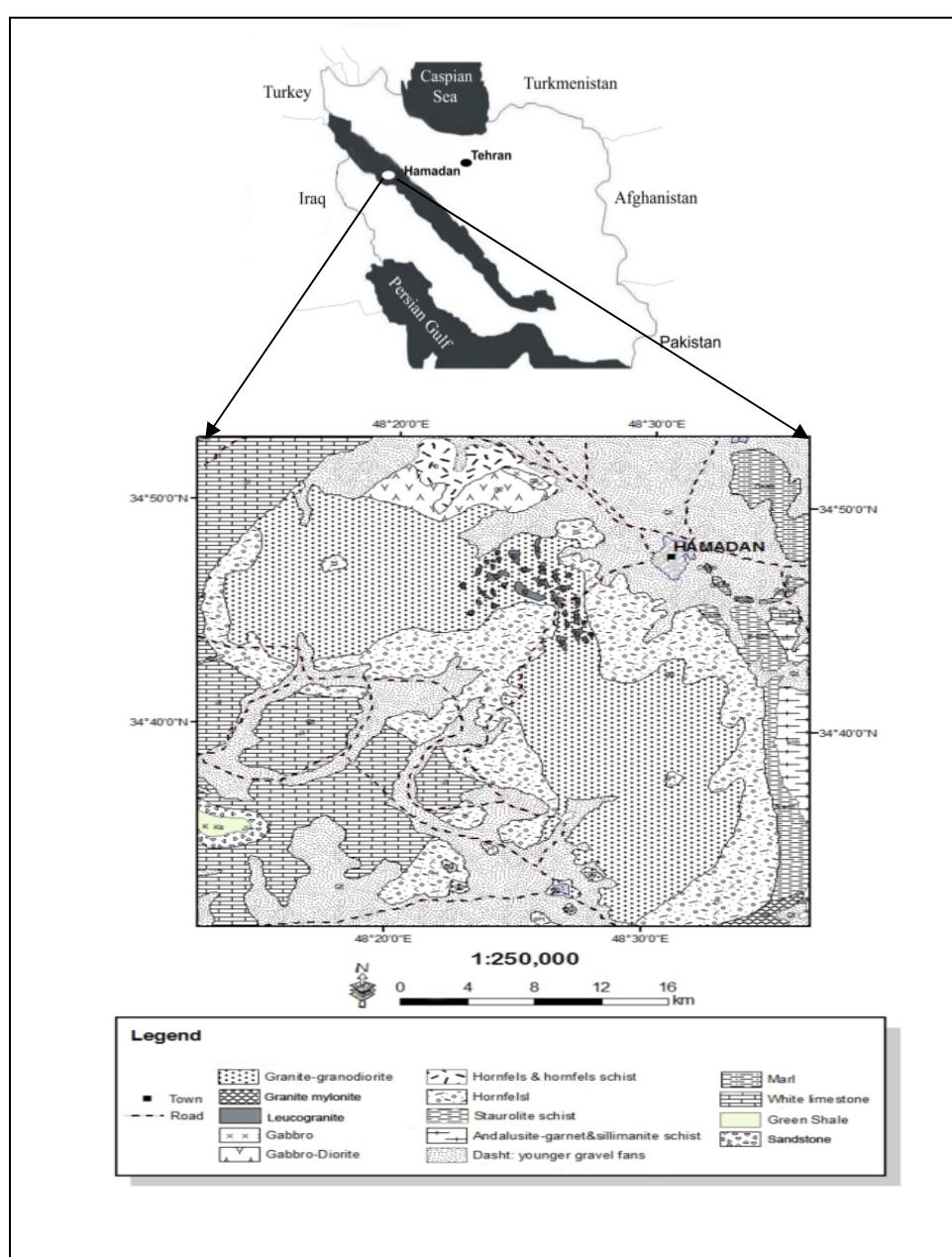
مجموعه‌ی نفوذی الوند یا بخش‌هایی از آن از جنبه‌های مختلف زمین‌شناسی (به ویژه سنگ‌شناسی) در چند دهه‌ی اخیر مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است [مانند ۱-۱۳]. با این که این مجموعه طیف وسیعی از سنگ‌های مافیک تا فلزیک را شامل می‌شود اما حجم نسبی گرانیت‌وئیدها بیشتر از سایر سنگ‌هاست و شاید به همین دلیل این مجموعه را با عنوان "گرانیت‌های الوند" می‌شناسند. هم در میان سنگ‌های مافیک و حدوداً و نیز در میان گرانیت‌وئیدها تنوع کانی‌شناسی و شیمیایی قابل توجهی وجود دارد که بررسی این مجموعه از

* نویسنده مسئول، تلفن نمابر: ۸۳۸۱۴۶۰ (۰۸۱۱)، پست الکترونیکی: sepehi@basu.ac.ir

موقعیت زمین شناسی

منطقه‌ی مورد بررسی، جنوب همدان و در زون ساختاری موسوم به زون سنندج-سیرجان قرار دارد. این زون را [۱۴] زون زاگرس فلز مانند نامیده است. در رده‌بندی [۱۵] منطقه‌ی مورد بررسی در بخشی از زون سنندج-سیرجان به نام زیر زون با دگر‌شکلی پیچیده قرار می‌گیرد. سنگ‌های دگرگونی و نفوذی بخش مهم سنگ‌های این منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۱) [۱۶].

تدریجی نبوده و با یک وقفه قابل توجه همراه است. همچنین اختلافات کانی‌شناسی و شیمیایی دیگری در سنگ‌ها دیده می‌شود که در جای خود به آنها اشاره شده است. با توجه به اختلاف ظاهری دو دسته گرانیتوئید مورد بررسی، در نمونه‌های دستی و رخنمونه‌ای سنگی، آنها را به دو دسته اصلی گرانیتوئیدهای پورفیروئید (غنى از پتاسيم) و گرانیتوئيدهای روشن (فقير از پتاسيم) تقسيم کرده‌ایم که به راحتی از یكديگر تميز پذيرند. لازم به يادآوري است که سنگ‌شناسی سنگ‌های مافیک اين مجموعه در اين پژوهش مورد بحث قرار نگرفته است.



شکل ۱ نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی مورد بررسی (با تغيير از [۳]).

سنگ‌های دگرگونی به زمانی پیش از ژوراسیک وابسته است. سن توده‌های نفوذی توسط برخی پژوهشگران [۱۹-۲۷] به روش K-Ar به زمان کرتاسه فوقانی تا پالئوسن نسبت داده شده است، ولی [۱۲، ۱۳] به روش U-Pb سن ژوراسیک میانی را برآورد کردند.

روش کار

طی بررسی‌های صحرایی، تعداد ۶۰ نمونه از سنگ‌های گرانیتوئید با ترکیب مختلف نمونه‌برداری شدند و از تعداد ۳۰ نمونه مقطع نازک تهیه و مورد بررسی قرار گرفتند. از میان نمونه‌های با هوازدگی کمتر تعداد ۲۶ نمونه انتخاب شدند و برای تجزیه شیمیایی عناصر اصلی به روش ICP-AES و ALS Chemex ICP-MS به شرکت ICP-MS از طریق شرکت کانپیو ارسال شدند (جدول ۱). پس از دریافت نتیجه‌ی تجزیه‌های شیمیایی با استفاده از نرم‌افزارهای GCDKit و Minpet نمودارهای مورد نظر ترسیم شدند و سپس مورد تعبیر و تفسیر قرار گرفتند.

هم مجموعه‌های نفوذی و هم مجموعه‌های دگرگونی تنوع قابل ملاحظه‌ای از نظر ترکیب سنگ‌شناسی نشان می‌دهند. سنگ‌های نفوذی مافیک تا فلزیک (از گاپرو تا گرانیت) با سنگ‌های دگرگونی احاطه شده‌اند. سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و مجاورتی (در اثر نفوذ پی در پی توده‌های نفوذی) در منطقه برونز گسترده‌ای دارند. جنس سنگ‌های دگرگونی اغلب متابلت است، ولی مقداری از سنگ‌های با ترکیب بازی، کربناتی و مارنی نیز به صورت میان لایه‌های بین سنگ‌های پلیتی گسترش دارند. کانی‌های شاخص دگرگونی مانند گارنت، استارولیت، آندالوزیت، کیانیت، سیلیمانیت و کردیریت از جمله مهمترین کانی‌هایی هستند که در مجموعه‌ی دگرگونی قابل شناسایی هستند. درجه‌ی دگرگونی سنگ‌ها از درجه‌ی کم (در حد رخساره‌ی زئولیت) تا درجه‌ی بالا (در حد رخساره‌ی آمفیولیت فوقانی- گرانولیت) در سنگ‌های دگرگونی ناحیه‌ای و در سنگ‌های دگرگونی مجاورتی (تا حد رخساره‌ی هورنبلندهورنفلس و پیروکسن هورنفلس) رسیده است. سن سنگ مادر

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی.

Sample	آپلیت‌ها			گرانیتوئیدهای پورفیروئید						گرانیتوئیدهای بسیار روش			
	MBG9	MBG7	GRT-AP	EnCMB4	MBG6	MBG8	MBG10	MBG13	SMK47	GJ-shrst	MBG3	LG1	LG2
Oxides (wt%)													
SiO ₂	76,4	75,1	75,2	62,8	61,9	68,8	65,3	65,0	66,6	62,7	68,7	60,8	60,7
TiO ₂	0,18	0,03	0,03	0,99	0,70	0,58	0,77	0,75	0,75	0,47	0,39	4,84	0,82
Al ₂ O ₃	12,75	13,15	12,85	14,95	16,15	15,25	16,70	16,40	16,45	16,80	18,40	10,16	22,5
Fe ₂ O ₃	1,65	1,44	1,22	7,24	5,55	4,70	6,08	6,20	6,07	1,36	0,83	0,57	0,26
Cr ₂ O ₃	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,01
MgO	0,22	0,06	0,10	1,72	1,24	0,91	1,40	1,36	1,50	1,64	0,11	0,24	0,02
MnO	0,02	0,05	0,05	0,10	0,08	0,08	0,10	0,11	0,13	0,03	0,04	0,02	0,01
CaO	0,76	0,47	0,31	3,33	1,70	1,52	1,68	1,63	1,48	0,10	3,47	8,87	6,22
Na ₂ O	2,77	2,32	2,11	2,81	2,90	2,73	2,51	2,25	2,43	0,97	6,42	4,34	6,88
K ₂ O	4,62	2,71	7,04	2,70	2,91	4,79	4,34	4,40	3,73	0,82	0,40	0,48	0,17
P ₂ O ₅	0,05	0,13	0,13	0,23	0,18	0,21	0,19	0,21	0,21	0,05	0,06	0,50	0,02
SrO	0,01	<0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,07	0,06	0,06	0,10
BaO	0,06	<0,01	0,01	0,06	0,05	0,07	0,06	0,04	0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,01
LOI	0,50	0,50	0,40	1,60	5,48	0,80	1,30	1,69	1,19	1,30	0,40	1,49	0,99
(ppm)													
Ag	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Ba	619	20,5	110,5	462	556	434	687	595	398	71,9	26,6	62,5	42,1
Ce	68,5	15,3	5,1	73,1	10,25	81,5	10,50	95,9	115,5	227	27,6	62,4	14,9
Co	2,4	1,2	1,0	17,6	10,1	7,6	11,3	11,9	11,9	1,7	1,2	1,0	<0,5
Cr	<10	10	10	30	40	30	40	40	40	50	20	49,0	50
Cs	7,91	3,86	4,25	6,09	15,60	11,65	11,00	11,05	11,45	7,91	1,43	1,27	0,49
Cu	15	46	7	23	23	12	19	20	22	6	6	8	6
Dy	2,44	3,76	2,68	6,26	5,91	5,63	5,97	7,11	7,35	9,45	6,74	6,17	2,34
Er	1,29	1,98	2,03	3,25	3,50	3,07	3,43	6,10	4,63	4,93	5,07	8,99	1,55
Eu	0,58	0,12	0,50	1,39	1,40	1,11	1,54	1,50	1,17	2,25	1,42	9,26	2,24
Ga	13,6	12,8	13,8	22,7	22,3	21,0	22,0	21,6	20,9	17,5	16,1	18,5	14,3

ادامه جدول ۱

(ppm)	آلیت‌ها					گانیت‌وئیدهای بعفونیت					گانیت‌وئیدهای سسیا، وشت				
Gd	۴.۰۲	۲.۴۵	۰.۱۹	۶.۹۹	۷.۸۴	۷.۲۵	۷.۹۰	۸.۲۰	۸.۷۶	۱۳.۴۰	۴.۱۸	۳۴۷	۲۴۴		
Hf	۳.۳	۳.۱	۱.۷	۵.۸	۷.۲	۶.۰	۷.۷	۷.۲	۶.۸	۹.۴	۵.۹	۳۵	۸۶		
Ho	۰.۴۵	۰.۷۲	۰.۶۵	۱.۲۳	۱.۲۲	۱.۰۹	۱.۲۱	۱.۵۰	۱.۵۴	۱.۷۹	۱.۸۵	۳۲۱	۰.۵۱		
La	۴۰.۳	۶.۸	۳.۱	۳۶.۱	۵.۰۸	۴.۰۱	۵.۱۸	۴.۸۱	۵.۷۱	۱۱۴.۵	۱۴.۰	۳۱۲	۶۱		
Lu	۰.۱۹	۰.۲۲	۰.۳۵	۰.۳۹	۰.۴۴	۰.۴۱	۰.۴۵	۰.۴۶	۰.۶۳	۰.۵۳	۰.۷۲	۱.۰۹	۰.۲۶		
Mo	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	
Nb	۱۵	۲.۵	۱.۱	۱۹.۶	۲۴.۳	۲.۰۳	۲۳.۰	۲۱.۴	۲۲.۵	۱۰.۴	۱۳.۱	۷.۰۴	۲۹.۰		
Nd	۲۴.۹	۶.۷	۲.۰	۳۱.۴	۴۳.۲	۳۴.۱	۴۴.۹	۴۲.۰	۴۸.۶	۷۸.۵	۱۳.۴	۲۳۵	۹.۷		
Ni	<۰	۰	<۰	۱۷	۲۲	۱۷	۲۵	۲۶	۳۳	۲۵	۶	۰	<۰		
Pb	۳۴	۴.۸	۳.۸	۲.۵	۲.۲	۴.۲	۲.۸	۱۹.۶	۸.۴	۱۴	۱۴	۹	۱۵		
Pr	۷.۱۴	۱.۸۰	۰.۰۵	۸.۱۹	۱۱.۶	۹.۰۷	۱۱.۸	۱۱.۰	۱۳.۱۵	۲۳.۵	۲۲.۶	۶۰.۲	۲.۱۹		
Rb	۱۶۳.۵	۱۰۷.۵	۱۸۵.۰	۱۶۲.۰	۲۱.۱	۲۱.۷	۱۶۹.۵	۱۸۴.۰	۱۹۲.۵	۷۵.۱	۱۴.۸	۲۶.۸	۰.۱		
Sm	۴.۸	۲.۳۱	۰.۸۵	۶.۸۱	۱.۰۷	۱.۱۵	۱.۷۵	۱.۳۶	۹.۶۷	۱۲۷.۵	۳.۰۴	۳۶.۷	۲.۳۴		
Sn	۰	۳	۴	۳	۷	۷	۵	۵	۵	۱	۱	۱	۱		
Sr	۱۱۵.۵	۱۳.۶	۶۳.۳	۱۶۵.۵	۱۳۳.۵	۱۱۴.۵	۱۵.۰	۱۳.۰	۱۰.۴۵	۶۱.۸	۵۱.۳	۵۴.۶	۱۸۰		
Ta	۱.۳	۰.۳	۰.۲	۱.۳	۲.۰	۱.۷	۱.۷	۱.۶	۱.۴	۱.۲	۱.۲	۴.۰	۱.۸		
Tb	۰.۵۴	۰.۵۹	۰.۳۱	۱.۲۱	۱.۱۵	۱.۱۴	۱.۱۷	۱.۳۲	۱.۳۸	۱.۸۹	۰.۹۳	۴.۱۷	۰.۴۲		
Th	۲۴.۳	۷.۰۸	۲.۱۵	۱۶۸.۰	۲۰.۱	۱۶.۰۵	۱۸.۲۵	۱۸.۹	۲۳.۳	۴۳.۵	۲۵.۸	۵۴.۳	۲۶.۰		
Tl	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	۰.۵	۰.۵	<۰.۵	۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	
Tm	۰.۱۹	۰.۲۷	۰.۳۶	۰.۴۳	۰.۴۸	۰.۴۲	۰.۴۷	۰.۶۱	۰.۶۵	۰.۶۵	۰.۷۷	۱.۰۷	۰.۲۲		
U	۲۷.۲	۲.۱۲	۱.۳۹	۱.۲۳	۲.۳۶	۲.۰۲	۲.۱۲	۲.۷۹	۲.۶۶	۱.۷۶	۲.۹۱	۶.۶۴	۳.۲۶		
V	۸	۰<	۰<	۹.۵	۷.۳	۵.۰	۷.۹	۸.۱	۸.۱	۸.۲	۱۴	۲۶.۱	۵۱		
W	۲	۳	۲	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۱	۲	۱۲	۶		
Y	۱۱.۵	۲.۰۴	۱۸.۳	۳۴.۸	۳.۰۱	۲۶.۸	۲۹.۰	۳۴.۸	۴.۰۴	۴۷.۸	۴۷.۳	۱۲۸	۱۳.۶		
Yb	۱.۲۷	۱.۶۷	۲.۵۰	۲.۶۰	۳.۰۶	۲.۷۱	۳.۰۵	۳.۹۶	۴.۲۸	۴.۱۳	۵.۰۴	۶.۹۶	۱.۰۳		
Zn	۲.۸	۹	۶	۹.۰	۸.۲	۷.۵	۸.۰	۱۴.۱	۱۱.۱	۳.۸	۲.۹	۴.۳	۱۴		
Zr	۱.۰۵	۰.۷۱	۳.۶	۲۱.۴	۲۴.۴	۱۹.۷	۲۶.۵	۲۴.۰	۲۴.۲	۲۳.۵	۱۹.۵	۱۱.۰	۳۱۴		

ادامه جدول ۱

Sample	گانیت‌وئیدهای سسیا، وشت													
Oxides	LG3	LG6	LG7	LG9	LG12	LG13	LG15	LG17	LG20	LG23	LG24	LG25	LG29	
SiO ₂	۶۱.۲	۵۸.۷	۵۷.۸	۶۲.۷	۶۱.۲	۵۹.۱	۵۲.۸	۶۰.۸	۶۷.۵	۶۰.۰	۶۱.۲	۶۱.۹	۷۲.۸	
TiO ₂	۰.۷۲	۰.۹۴	۰.۱۴	۰.۶۴	۰.۱۸	۰.۴۴	۱.۷۸	۰.۱۰	۰.۰۷	۱.۸۸	۰.۷۷	۱.۰۰		
Al ₂ O ₃	۲۲.۲	۲۴.۴	۲۲.۷	۲۰.۸	۲۳.۹	۲۴.۶	۲۵.۸	۲۲.۹	۱۹.۵۵	۲۴.۸	۲۰.۶	۲۳.۱	۱۵۳.	
Fe ₂ O ₃	۰.۳۰	۰.۲۵	۰.۲۰	۰.۴۶	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۲۷	۰.۲۳	۰.۳۰	۰.۲۳	۰.۴۰	۰.۴۱	۰.۴۲	
Cr ₂ O ₃	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	<۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	<۰.۰۱	۰.۱<۰	<۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	
MgO	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۰۴	۰.۱۱	۰.۰۱	۰.۱۱	۰.۱۹	۰.۰۶	۰.۰۲	۰.۱۸	۰.۱۰	۰.۱۰	۰.۱۰	
MnO	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	
CaO	۶.۴۲	۶.۹۸	۷.۹۰	۵.۳۶	۵.۶۰	۵.۲۴	۱۰.۲۰	۵.۸۷	۴.۶۶	۶.۶۹	۶.۴۱	۶.۱۰	۴.۶۱	
Na ₂ O	۶.۴۹	۷.۱۵	۶.۸۸	۶.۹۳	۸.۱۳	۷.۱۹	۴.۷۸	۷.۳۳	۶.۵۲	۷.۱۷	۵.۶۹	۷.۰	۴.۱۹	
K ₂ O	۰.۲۲	۰.۱۸	۰.۱۹	۰.۲۲	۰.۱۵	۰.۸۸	۱.۱۴	۰.۱۷	۰.۱۲	۰.۱۳	۰.۷۶	۰.۲۱	۰.۱۸	
P ₂ O ₅	۰.۰۳	۰.۰۳	۱.۱۸	۰.۲۶	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۳	۰.۰۱	۰.۰۸	۰.۰۲	۰.۱۲	۰.۰۳	۰.۲۰	
SrO	۰.۱۲	۰.۱۰	۰.۱۱	۰.۰۹	۰.۱۰	۰.۱۳	۰.۰۸	۰.۱۲	۰.۰۸	۰.۱۳	۰.۰۸	۰.۱۰	۰.۰۰	
BaO	۰.۰۱	<۰.۰۱	<۰.۰۱	<۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	<۰.۰۱	<۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۱	<۰.۰۱	<۰.۰۱		
LOI	۱.۱۹	۱.۲۰	۰.۷۹	۰.۷۰	۰.۸۰	۱.۱۰	۱.۵۰	۰.۶۰	۱.۰۹	۰.۴۰	۰.۷۰	۰.۱۰	۰.۰۰	
(ppm)														
Ag	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	<۱	
Ba	۴۸.۲	۴۹.۲	۴۰.۹	۴۷.۸	۴۶.۸	۱۲۷.۰	۱۳۳.۰	۴۷.۰	۳۸.۲	۵۴.۸	۱۲۵.۰	۴۵.۹	۳۵.۹	
Ce	۱۱.۳	۲۱.۹	۲۰.۷	۱۸.۹	۱۲۰.۵	۸.۱	۲۹.۳	۶.۴	۴.۷	۳.۰	۱۴۲.۰	۱۷.۶	۳۱.۰	
Co	۰.۶	۰.۷	<۰.۵	۰.۶	۰.۵	۰.۵	۰.۶	<۰.۵	<۰.۵	<۰.۵	۰.۷	۰.۵	۰.۶	
Cr	۰.۰	۱۳.۰	۶.۰	۰.۰	۳.۰	۴.۰	۱۷.۰	۱.۰	۱.۰	۱.۰	۱۷.۰	۶.۰	۶.۰	
Cs	۰.۱۹	۰.۱۷	۱.۰۵	۰.۷۹	۰.۲۸	۲.۴۲	۷.۵۰	۰.۴۵	۰.۴۵	۰.۳۶	۴.۳۸	۰.۶۴	۰.۶۷	
Cu	۶	۰<	۰<	۷	۶	۰<	۰<	۶	۶	۶	۶	۶	۸	
Dy	۴.۳۴	۱.۱۴	۳.۴۲	۴.۵۶	۲.۲۶	۱.۰۶	۱.۹۲	۰.۵۰	۰.۷۵	۰.۳۱	۱۵۷.۵	۳۲۰	۱۶۳۰	
Er	۲.۷۳	۰.۸۴	۲.۰۲	۲.۶۱	۱.۱۶	۰.۶۳	۱.۲۹	۰.۳۲	۰.۴۳	۰.۲۲	۹.۴۸	۱.۹۹	۹.۱۷	
Eu	۱.۸۸	۱.۶۸	۲.۶۹	۱.۷۳	۱.۲۳	۱.۳۱	۲.۹۸	۱.۰۲	۰.۶۷	۱.۳۳	۳.۷۴	۲.۰۲	۲.۹۵	
Ga	۱۳.۲	۱۸.۷	۱۴.۰	۱۲.۰	۱۸.۰	۱۳.۳	۱۸.۲	۱۱.۰	۱۰.۰	۱۲.۲	۱۴.۳	۱۱.۸	۱۲.۲	

ادامه جدول ۱

(ppm)	گرانیتوئیدهای بسیار روشن													
Gd	۲,۴۹	۱,۵۸	۳,۶۴	۴,۰۹	۵,۷۷	۱,۲۵	۳,۱۳	۰,۵۶	۰,۶۵	۰,۳۵	۱,۵۱۵	۳,۰۴	۱,۰۸۰	
Hf	۵,۳	۶,۰	۹,۱	۷,۵	۱۲,۸	۴,۲	۴,۳	۲,۸	۲,۴	۳,۷	۳,۲	۷,۳	۷,۸	
Ho	۰,۹۵	۰,۲۵	۰,۷۰	۰,۹۳	۰,۳۷	۰,۲۱	۰,۴۱	۰,۱۱	۰,۱۵	۰,۰۷	۳,۲۸	۰,۶۹	۰,۳۴	
La	۳,۴	۹,۱	۸,۸	۸,۳	۶۳,۹	۳,۰	۹,۱	۳,۲	۲,۹	۲,۳	۲۴,۶	۷,۳	۱۳,۱	
Lu	۰,۴۲	۰,۱۹	۰,۳۳	۰,۳۴	۰,۲۰	۰,۱۲	۰,۲۵	۰,۰۶	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۲۹	۰,۹۷	
Mo	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	<۲	
Nb	۲۰,۶	۲۵,۵	۲۳,۱	۱۶,۱	۵,۰	۱۱,۴	۲۷,۳	۴,۳	۱,۹	۲,۰	۴۸,۷	۲۷,۴	۲۱,۴	
Nd	۹,۷	۱۰,۳	۱۳,۵	۱۲,۵	۴۱,۴	۵,۵	۲۰,۸	۲,۷	۲,۳	۱,۹	۶۵,۳	۱۱,۷	۲۲,۷	
Ni	<۵	۶	<۵	۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	<۵	۵	۵	۸	
Pb	۹	۱۱	۱۵	۱۳	۱۳	۱۳	۱۲	۱۸	۹	۱۲	۱۳	۲۷	۱۰	
Pr	۱,۹۲	۲,۷۶	۳,۰۵	۲,۷۱	۱۲,۲۰	۱,۲۶	۴,۷۳	۰,۷۰	۰,۵۷	۰,۴۷	۱۶,۸۵	۲۶,۲	۴,۵۷	
Rb	۹,۰	۸,۲	۸,۲	۹,۳	۲,۳	۵۱,۴	۸۱,۸	۵,۱	۳,۴	۳,۱	۵۵,۲	۸,۲	۸,۸	
Sm	۲۹,۹	۱,۶۲	۳,۲۱	۳,۵۸	۶,۱۸	۱,۲۳	۳,۷۳	۰,۵۲	۰,۶۰	۰,۳۶	۱۶,۱۵	۲,۸۹	۸,۳۸	
Sn	۱	۱	۱	۱	<۱	۱	۳	<۱	<۱	<۱	۴	۲	۲	
Sr	۱۰,۱۵	۱۰,۴۰	۸,۸۱	۷,۶۲	۸,۶۴	۱۱,۰۰	۶,۷۶	۹,۹۶	۷,۰۲	۱۱,۰	۷,۱۹	۸,۲۱	۴,۳۳	
Ta	۱,۸	۱,۶	۱,۷	۱,۸	۰,۶	۱,۹	۱,۴	۰,۸	۰,۲	۱,۰	۱,۸	۲,۳	۲,۰	
Tb	۰,۷۰	۰,۲۳	۰,۶۲	۰,۷۷	۰,۶۲	۰,۲۰	۰,۴۲	۰,۰۹	۰,۱۲	۰,۰۶	۲,۶۸	۰,۵۵	۲,۴۴	
Th	۱۵,۷۰	۱۹,۷۰	۲۷,۹	۱۵,۶۵	۲۳,۸	۱۶,۳۰	۴,۴۹	۱۹,۶۰	۲,۳۰	۲۷,۶	۱۲,۰۵	۲۴,۸	۵,۳۵	
Tl	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	<۰,۵	
Tin	۰,۴۰	۰,۱۳	۰,۲۹	۰,۳۶	۰,۱۵	۰,۰۹	۰,۱۸	۰,۰۵	۰,۰۶	۰,۰۴	۱,۲۹	۰,۲۹	۱,۳۰	
U	۱,۹۹	۲,۵۵	۳,۷۱	۱,۶۴	۱,۲۸	۱,۹۴	۲,۶۸	۳,۰۰	۰,۵۱	۲,۱۶	۲,۷۴	۲,۷۹	۱,۹۴	
V	۵۴	۶۵	۵۴	۵۸	۱۳	۳۸	۸۷	۸	۷	۷	۱۲۳	۶۲	۶۴	
W	۳	۳۴	۴	۸	۲	۴	۳۹	۲	۳	۲	۷	۹	۲	
Y	۲۵,۰	۷,۲	۱۸,۱	۲۲,۸	۹,۳	۴,۹	۱۰,۱	۲,۶	۳,۹	۱,۸	۸۵,۲	۱۷,۱	۸۰,۵	
Yb	۲۶,۹	۱,۰۰	۲,۰۱	۲,۳۳	۱,۱۱	۰,۷۱	۱,۲۸	۰,۳۸	۰,۴۴	۰,۳۷	۷,۹۵	۱,۸۷	۷,۸۴	
Zn	۱۷	۲۶	۱۸	۲۱	۱۵	۲۲	۳۲	۱۳	۷	۱۹	۲۹	۲۷	۱۸	
Zr	۱۸,۱	۲۱,۵	۳,۲۹	۲۷,۴	۴,۲۷	۱,۳۲	۱,۵۶	۷,۶	۷,۲	۸,۱	۱۱,۰	۲۴,۷	۲۶,۰	

درز و شکافهای گرانیتوئیدهای قدیمتر (گرانیتوئیدهای پورفیروئید) و گاهی در سنگ‌های میزبان هورنفلسی تزریق شده‌اند (شکل ۳ الف و ب).

تا کنون روی مجموعه نفوذی الوند و هاله‌ی دگرگونی اطراف آن بررسی‌های سنگ‌شناسی نسبتاً زیادی صورت گرفته است [مانند ۱، ۴، ۳، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۹، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. [۱۰] توده‌ی نفوذی الوند را توده‌ی آذرین تشکیل داده است که از تزریق پی در بی مagmaهای با ترکیب مختلف و با خاستگاه متفاوت حاصل شده است. شواهد صحرایی و زمین شیمی انتقطاع ترکیبی را در بین فازهای مختلف سازنده‌ی این مجموعه نفوذی نشان داده است. سنگ‌های سازنده‌ی این مجموعه نفوذی طیف وسیعی از سنگ‌ها را شامل می‌شود که آنها را می‌توان، به ترتیب از قدیم به جدید، در سه دسته مختلف جای داد:

- ۱- سنگ‌های مافیک و سنگ‌های جدایشی از magma مافیک
- ۲- گرانوپورفیروئید-گرانیت‌های پورفیروئید و
- ۳- گرانیتوئیدهای بسیار روشن.

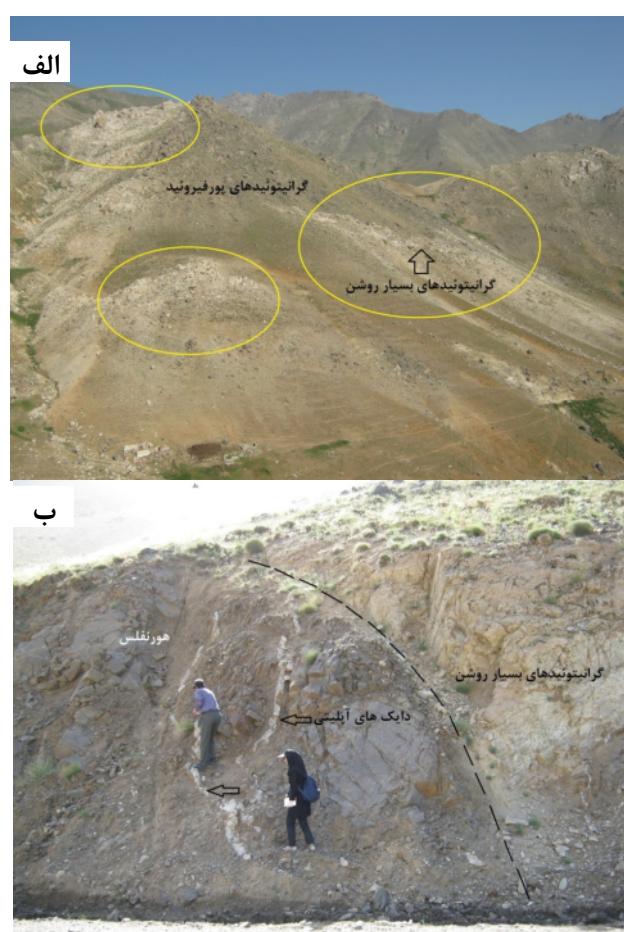
بررسی‌های صحرایی و سنگ نگاری
بخش اصلی مجموعه‌ی نفوذی الوند را گرانیتوئیدهای نسبتاً درشت دانه‌ای تشکیل می‌دهند که در حد گرانیت و گرانوپورفیروئید بوده و به دلیل وجود فنوکریستهای درشت فلدسپار دارای ساخت پورفیروئید هستند (شکل ۲) و از نظر زمین شیمی به دسته گرانیتوئیدهای کلسیمی-قلیایی غنی از پتاسیم تعلق دارند. این سنگ‌ها از کانی‌های مافیک مانند سیوپیت نسبتاً غنی هستند و در آنها برونیوم‌هایی از رسیتیت (سورمیکاسه یا غنی از میکا) و بلورهای بیگانه آلومینوسیلیکات و گارنت دیده می‌شوند. این گرانیتوئیدها به وسیله‌ی دایک‌های آپلیتی-پگماتیتی و گرانیتوئیدهای جوانتر که به سبب درصد بسیار ناچیز کانی‌های تیره دارای رنگ بسیار روشن هستند، و از جنبه‌ی زمین شیمی فقیر از پتاسیم هستند، قطع شده‌اند. گرانیتوئیدهای بسیار روشن و جوانتر گسترش محدودی دارند و روی عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای و در صحراء به سادگی از سنگ‌های دیگر قابل تفکیک‌اند. این سنگ‌ها معمولاً به صورت سفیدرنگ کم ضخامت و کشیده تا عدسی شکل در

سینوگرانیت و اندکی فلدسپار گرانیت قلیایی، است و سنگ‌های دسته سوم از سنگ‌های خیلی روشن نظریر لوکوتونالیت و برخی سنگ‌های شبیه ترونجمیت یا پلاژیوگرانیت تشکیل شده‌اند.

سنگ‌های دسته‌ی اول عبارتند از الیوین گابرو، گابرو، گابرونوریت، دولریت، دیوریت، کوارتزدیوریت و تونالیت، سنگ‌های دسته‌ی دوم متشکل از گرانودیوریت، مونزوگرانیت،



شکل ۲ نمایی از گرانیتوئیدهای پورفیروئید و برونبومهای درون آنها.



شکل ۳ (الف) منظره کلی بروند گرانیتوئیدهای بسیار روشن (سفید) در زمینه‌ای از گرانیتوئیدهای پورفیروئید (دید رو به غرب)، (ب) بروند دایک‌های آبلیتی و نمای نزدیک تر گرانیتوئیدهای بسیار روشن (دید رو به شرق). دایک‌های آبلیتی گرانیتوئیدهای پورفیروئید و هورنفلس‌ها را قطع می‌کنند اما گرانیتوئیدهای بسیار روشن را که جوان ترند قطع نمی‌کنند.

(گاه میکروکلین)، کوارتز و مقدار کمی بیوتیت و پلازیوکلاز هستند.

بافت این سنگ‌ها دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار و گاهی پورفیروئید (با ارتوکلازهای درشت) است (شکل ۴ ت).

آپلیت‌ها: این سنگ‌ها را می‌توان به دو دسته آپلیت‌های گارنت‌دار و آپلیت‌های تورمالین‌دار تقسیم کرد.

الف) آپلیت‌های گارنت‌دار: این سنگ‌ها مشکل از بلورهای گارنت (چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر) غنی از آهن (آلماندین)، کوارتز، ارتوکلاز (گاهی میکروکلین)، پلازیوکلاز و کمی بیوتیت، مسکویت و کلینوزوئیزیت هستند. بافت این سنگ‌ها دانه شکری (آپلیتی) و در بعضی قسمت‌ها ریزنوموداری است (شکل ۴ ث).

ب) آپلیت‌های تورمالین‌دار: تورمالین در این سنگ‌ها گاهی پراکنده و گاهی به صورت گره‌کهای گرد تا بیضوی دیده می‌شوند. گاهی این کانی با کوارتز رشد نموداری دارد که گاهی در این آپلیت‌ها حالت نواری دیده می‌شود که تنابوی از لایه‌های غنی از تورمالین با لایه‌های فقیر از تورمالین آنرا ایجاد کرده است. بافت آپلیت‌ها اغلب دانه شکری (آپلیتی) است. کانی‌های سازنده سنگ علاوه بر تورمالین، شامل کوارتز، ارتوکلاز (گاهی میکروکلین) و پلازیوکلاز است. بلورهای تورمالین گاه شکل‌دار و گاه پوئیکلیتی است. ساخت منطقه‌ای (زونینگ) در بعضی از بلورها دیده می‌شود (شکل ۴ ج).

پگماتیت‌ها: در سنگ‌های پگماتیتی علاوه بر کانی‌های اصلی (کوارتز و فلدسپار) گاهی کانی‌هایی نظری تورمالین (شکل ۴ ج)، مسکویت، گارنت و چندريخت‌های آلومینوسیلیکات (آندازویزیت، کیانیت و سیلیمانیت) یافت می‌شوند. هم‌رشدی کوارتز- فلدسپار و کوارتز- تورمالین در این سنگ‌ها فراوان است.

۲- گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن: از مشخصات این سنگ‌ها مقدار نسبتاً ناچیز کانی‌های مافیک در آنهاست. پلازیوکلاز معمولاً حجم اصلی این سنگ‌ها را می‌سازد و همراه با آن مقادیر متعددی از کوارتز دیده می‌شود. کانی‌های ارتوکلاز (گاهی میکروکلین)، تیتانیت (اسفن)، روتیل، بیوتیت، مسکویت، کلریت، زیرکن و آپاتیت به مقدار کم در این سنگ‌ها دیده می‌شوند (شکل‌های ۴ ح تا ۴ د). بافت این سنگ‌ها دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار و گاهی گرانوفیری، آپلیتی و پورفیروئید است. اسفن به صورت بلورهای شکل‌دار تا بی‌شکل و پوئیکلیتی است و گاه دارای ادخال‌های روتیل است. روتیل گاهی به صورت خوش‌های

با توجه به اینکه سنگ‌نگاری مجموعه‌ی نفوذی الوند توسط پژوهشگران اشاره شده در بالا، به صورت نسبتاً کاملی مورد بررسی قرار گرفته است، لذا در اینجا از پرداختن به همه آنها چشم‌پوشی کرده‌ایم، و با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش مقایسه گرانیت‌های کم پتاسیم و غنی از پتاسیم است، بنابراین تنها به مقایسه‌ی سنگ‌نگاری و زمین شیمی این دسته از سنگ‌ها پرداخته‌ایم:

۱- گرانیت‌وئیدهای غنی از پتاسیم: این سنگ‌ها عبارتند از گرانودیوریت، مونزوگرانیت و مقدار کمی سینوگرانیت، فلدسپار گرانیت قلیایی و پگماتیت‌ها و آپلیت‌های وابسته به این سنگ‌ها. حجم سنگ‌های گرانودیوریت و مونزوگرانیت از بقیه سنگ‌ها به مراتب بیشتر است و به همین دلیل نمونه‌های انتخاب شده برای تجزیه شیمیایی از این سنگ‌هاست.

گرانودیوریت‌ها: این سنگ‌ها مشکل از پلازیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و فلدسپار پتاسیم (ارتوكلاز، گاهی میکروکلین) به عنوان کانی‌های اصلی و زیرکن، آپاتیت، گارنت، آندالوزیت و کانی‌های کدر به عنوان کانی‌های فرعی هستند. کانی‌های دگرسان عبارتند از سرسیت (از دگرسانی فلدسپارها) و کلریت (از دگرسانی بیوتیت). بافت این سنگ‌ها دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار و گاهی پورفیروئید است (شکل ۴ الف).

مونزوگرانیت‌ها: بافت کلی این سنگ‌ها دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار است اما گاهی بلورهای فلدسپار آن درشت بوده و بافت پورفیروئید به سنگ‌ها می‌دهند. کانی‌های اصلی این سنگ‌ها شامل کوارتز، پلازیوکلاز، ارتوکلاز (گاهی میکروکلین)، بیوتیت و گاهی مسکویت است. هم رشدی کوارتز و فلدسپارها گاهی بافت ریزنوموداری ایجاد کرده است. کانی‌های فرعی شامل زیرکن، آپاتیت، گارنت و آندالوزیت (به صورت زینوکریست) هستند. از کانی‌های دگرسانی مهم در این سنگ‌ها می‌توان به سرسیت، کلریت و کلینوزوئیزیت اشاره کرد (شکل ۴ ب).

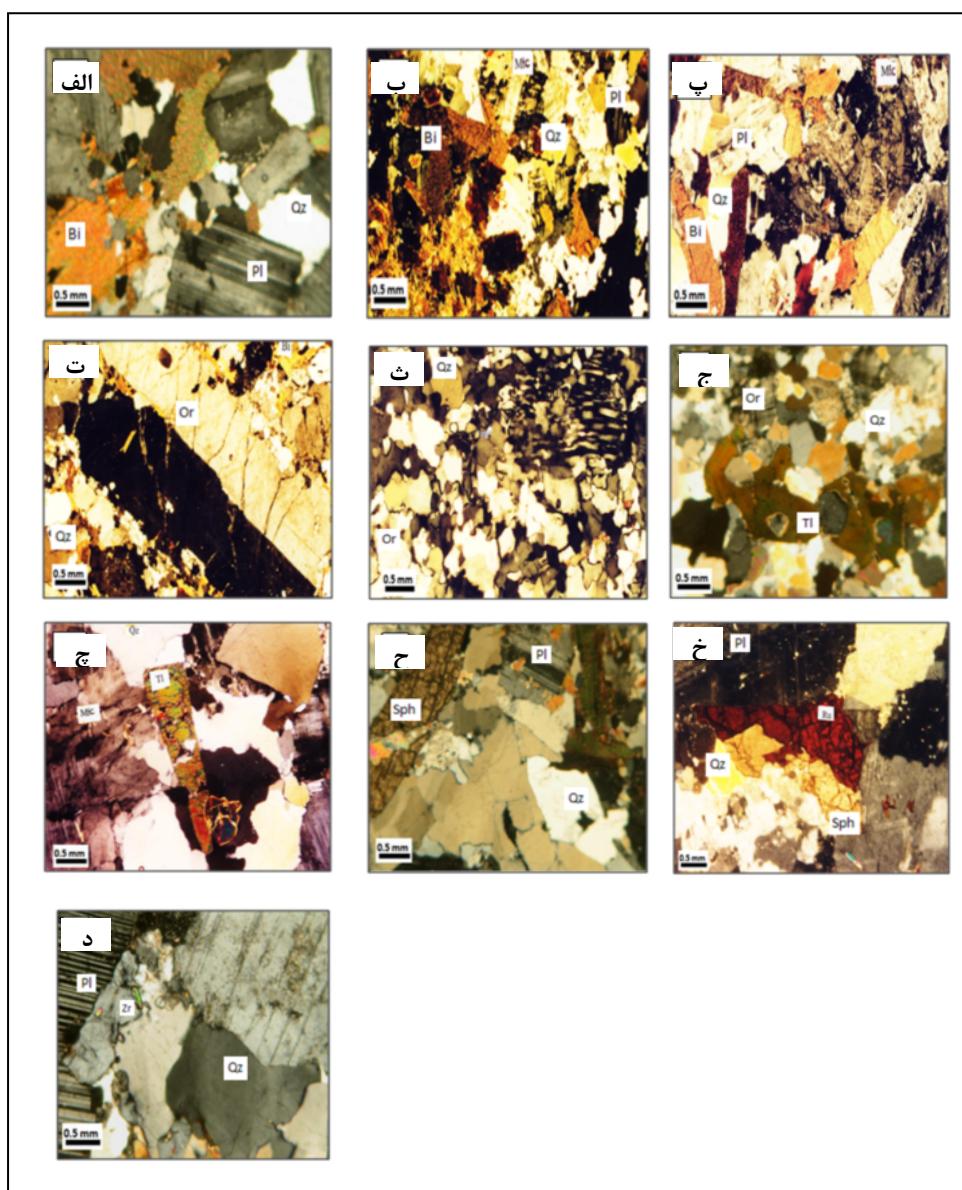
سینوگرانیت‌ها: این سنگ‌ها به مقدار کم و با تماس تدریجی (نه مشخص) با مونزوگرانیت‌ها قرار دارند. کانی‌های اصلی در این سنگ‌ها کوارتز، ارتوکلاز (میکروکلین)، پلازیوکلاز و مقدار کمی بیوتیت به عنوان کانی معمولی است. کانی‌های فرعی شامل گارنت، آپاتیت و زیرکن است و کانی ثانویه را سرسیت تشکیل می‌دهد. بافت این سنگ‌ها دانه‌ای نیمه‌شکل‌دار یا گرانیتی است که گاهی در اثر نیروهای دینامیکی بعضی از کانی‌های سازنده‌ی سنگ دگرشکل شده‌اند (شکل ۴ پ).

فلدسپار گرانیت‌های قلیایی: این سنگ‌ها حجم کوچکی از مجموعه نفوذی را به خود اختصاص داده‌اند که شامل ارتوکلاز

تشکیل می‌دهند.

به طور کلی تفاوت‌های سنگنگاری زیر بین گرانیتوئیدهای بسیار روشن و گرانیتوئیدهای پورفیروئید دیده می‌شوند: ضریب رنگینی (مقدار کانی‌های مافیک) در گرانیتوئیدهای بسیار روشن به مراتب کمتر است در حالی گرانیتوئیدهای پورفیروئید از بیوتیت غنی‌تر بوده و مقدار این کانی در آنها به حدود ۳۰ درصد هم می‌رسد.

در درون کانی‌های دیگر و گاه در حاشیه بلورهای اسفن دیده می‌شود. بلورهای روتیل گاهی دارای رشد توام با اسفن هستند. بلورهای این کانی از شکل دار تا بی‌شکل متغیرند. کلینوزوئیزیت از دگرسانی پلازیوکلاز در این سنگ‌ها حاصل شده است. با توجه به مقدار متغیر کوارتز در این سنگ‌ها، این سنگ‌ها از اسیدی تا حدواسط متغیرند و برخی از آنها از گستره‌ی سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی گرانیتوئیدها خارج می‌شوند. بخش بزرگ این سنگ‌ها را سنگ‌های مشابه با ترونجمیت یا پلازیوگرانیت



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی سنگ‌های منطقه‌ی مورد بررسی (XPL)، (الف) گرانودیبوریت، (ب) مونزوگرانیت، (پ) سینوگرانیت، (ت) فلدسپار گرانیت قلیایی، (ث) آپلیت (ج) آپلیت تورمالین، (چ) پگماتیت، (ح-خ) گرانیتوئیدهای بسیار روشن. QZ: کوارتز، Pl: پلازیوکلاز، Bi: بیوتیت، Mic: میکروکلین، Or: ارتوکلاز، Sph: اسفن (تیتانیت)، Tl: تورمالین، Zr: زیرکن، Ru: روتیل.

سنگ‌هاست (شکل ۵ ت). نمودار $\text{SiO}_2\text{-K}_2\text{O}$: در این نمودار [۲۴] نمونه‌های گرانیتوئیدهای پورفیروئید و آپلیت در قلمرو غنی از پتاسیم تا شوشونیتی قرار می‌گیرد، در حالی که نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن در قلمرو کم پتاسیم (در اینجا تولیتی) دیده می‌شوند (شکل ۵ ث).

نمودار A/CNK-A/NK : در این نمودار [۲۵] نمونه‌های گرانیتوئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌ها در قلمرو غنی از آلومین و نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن در گستره‌ی متالومین تا غنی از آلومین واقع می‌شوند (شکل ۵ ج).

نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{-SiO}_2$: در این نمودار [۲۳] همه‌ی سنگ‌های مورد بررسی شامل گرانیتوئیدهای پورفیروئید، گرانیتوئیدهای بسیار روشن و آپلیت‌ها در قلمرو سنگ‌های نیمه قلیایی قرار می‌گیرند (شکل ۵ ج).

نمودار $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO})\text{-SiO}_2$: در این نمودار [۲۶] نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن اغلب کلسیمی-قلیایی هستند و چند نمونه در قلمرو قلیایی-کلسیمی و کلسیمی تصویر شده‌اند. گرانیتوئیدهای پورفیروئید (غنی از پتاسیم) و آپلیت‌ها بیشتر به سنگ‌های قلیایی-کلسیمی شباخته دارند (شکل ۵ ح).

نمودار (Ce/Yb-Ta/Yb) : در این نمودار [۲۷] اغلب سنگ‌های مورد بررسی شامل گرانیتوئیدهای پورفیروئید، گرانیتوئیدهای بسیار روشن و آپلیت‌ها بیشتر در قلمرو کلسیمی-قلیایی تصویر شده‌اند که با مشاهدات کائی‌شناسی و سنگ‌نگاری سنگ‌ها نیز هم‌خوانی دارد (شکل ۵ خ).

CIPW محاسبه‌ی نورم

نمونه‌های گرانیتوئیدهای پورفیروئید معمولاً دارای مقدار ۲۰-۳۰٪ کوارتز نورماتیو هستند و نیز در نورم خود دارای کرون‌دوم هستند که این با ویژگی غنی از آلومین آنها هم‌خوانی است. نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن دارای کوارتز نورماتیو بسیار متغیر هستند (این تنوع در مقدار سیلیس آنها نیز وجود دارد). مقدار کوارتز نورماتیو آنها از ۰/۱ تا ۴۵ درصد در تغییر است که با ویژگی‌های سنگ‌نگاری آنها هم‌خوان است زیرا مقدار کوارتز مدل این سنگ‌ها از مقادیر نزدیک به صفر تا مقادیر بیش از ۴۰ درصد متغیر است. معمولاً در این سنگ‌ها کرون‌دوم نورماتیو دیده نمی‌شود و اغلب دیوپسید نورماتیو هستند (جدول ۲).

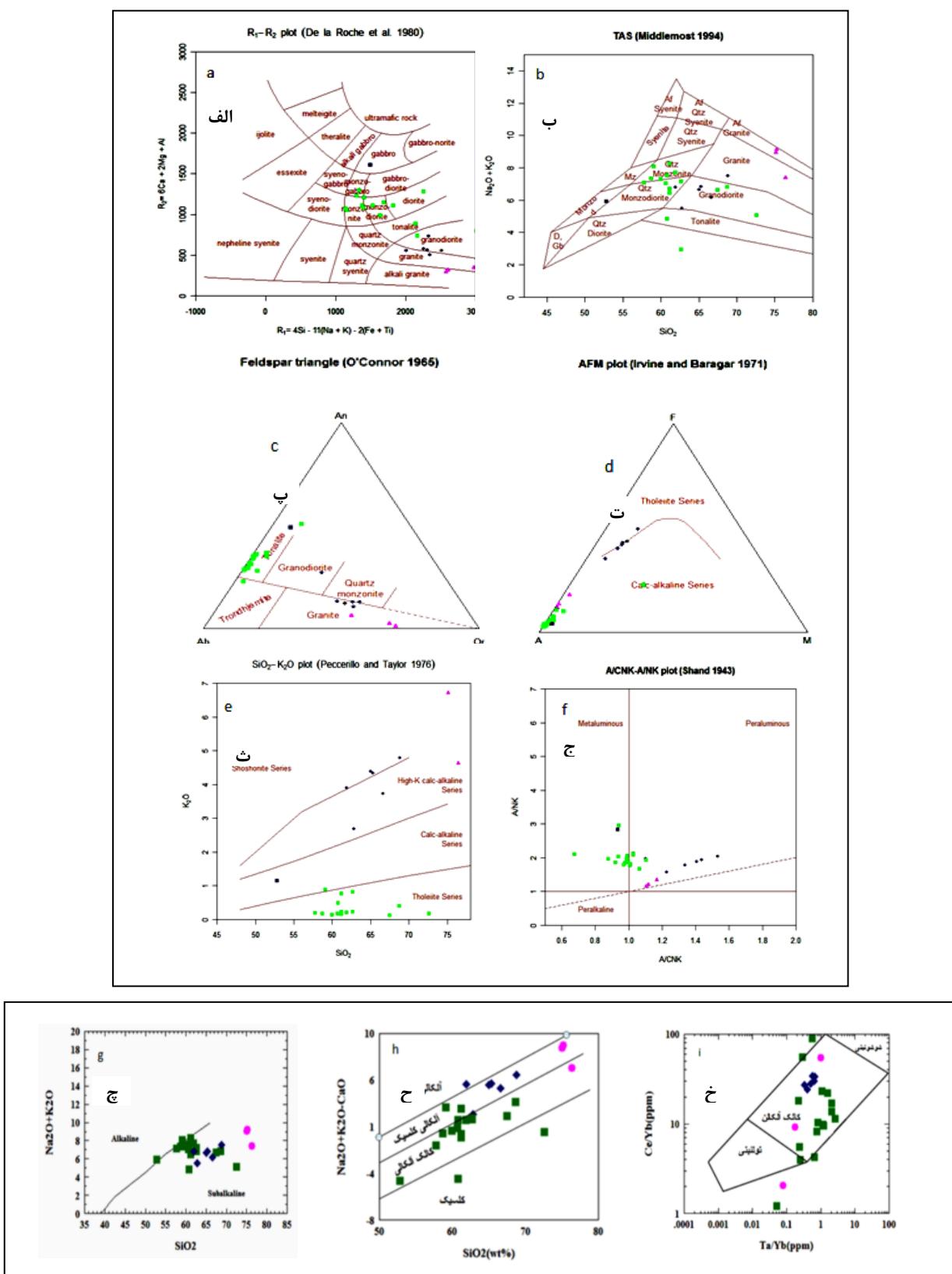
مقدار فلدسپارها در این دو دسته اختلاف قابل توجهی دارد به طوری که مقدار پلازیوکلаз در گرانیتوئیدهای بسیار روشن خیلی بیشتر و فلدسپار پتاسیم آنها خیلی کمتر است. کانی‌های تیتانیت و روتیل از کانی‌های فرعی رایج در گرانیتوئیدهای بسیار روشن هستند در حالی که گرانیتوئیدهای پورفیروئید عاری از این کانی‌ها هستند.

رده بندی و نامگذاری زمین شیمیایی
نمودار $R_2\text{-R}_1$: در این نمودار [۲۰] گرانیتوئیدهای پورفیروئید اغلب در قلمرو گرانودیبوریت و گرانیت قرار گرفته‌اند، آپلیت‌ها در گستره‌ی گرانیت و گرانیتوئیدهای قلیایی بسیار روشن در قلمرو سنگ‌های مختلفی نظیر تونالیت، مونزونیت و مونزودیبوریت قرار گرفته‌اند. چنانکه قبل اشاره شد برخی از سنگ‌های بسیار روشن خارج از گستره‌ی گرانیتوئیدها قرار می‌گیرند (شکل ۵ الف)، زیرا در برخی از این سنگ‌ها مقدار کوارتز کمتر از مقدار لازم برای گرانیتوئیدها بوده و از نظر شیمیایی کم سیلیس‌ترند.

نمودار TAS: در این نمودار [۲۱] نمونه‌های گرانیتوئیدهای پورفیروئید در قلمرو گرانودیبوریت و گرانیت قرار می‌گیرند که با ویژگی‌های سنگ‌نگاری این سنگ‌ها نیز همسان است. آپلیت‌ها در قلمرو گرانیت قلیایی واقع می‌شوند. گرانیتوئیدهای بسیار روشن نسبتاً پراکنده هستند (این پراکندگی در مقدار کوارتز سنگ‌ها نیز وجود دارد) و در گستره‌های مونزونیت، مونزودیبوریت و تونالیت قرار دارند. البته این سنگ‌ها نسبت به گستره‌ی تصویر شده، کانی‌های مافیک بسیار کمتری دارند که لازم است به آن توجه شود (شکل ۵ ب).

نمودار An-Ab-Or نورماتیو: در این نمودار [۲۲] نمونه‌های گرانیتوئیدهای پورفیروئید اغلب در گستره‌ی گرانیت، ولی نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن اغلب در قلمرو تونالیت تصویر شده‌اند. یعنی مقدار An نورماتیو آنها از ترونجمیت بیشتر است این در حالی است که این سنگ‌ها از نظر ضریب رنگینی بسیار کمتر از تونالیتها هستند. بنابراین نه به تونالیت‌های معمولی شبیه‌اند و نه به ترونجمیت‌های معمولی، ولی اگر آنها را لوکوتونالیت بنامیم شاید بهتر باشد (شکل ۵ پ).

نمودار AFM: در این نمودار [۲۳] اغلب نمونه‌ها چه گرانیتوئیدهای پورفیروئید و چه گرانیتوئیدهای بسیار روشن در سری کلسیمی-قلیایی قرار می‌گیرند. البته تمایل اندک گرانیتوئیدهای پورفیروئید به سمت سری تولئیتی شاید به دلیل مقدار زیاد کانی‌های فرومیزین مانند بیوتیت در این



شکل ۵ رده بندی و نامگذاری سنگ‌های مورد بررسی، الف) نمودار [۲۰]، ب) نمودار [۲۱]، پ) نمودار [۲۲]، ت) نمودار AFM [۲۳]، ث) نمودار [۲۴]، ج) نمودار [۲۵]، ح) نمودار [۲۶]، خ) نمودار [۲۷]، خ) نمودار [۲۸]، نمودار [۲۹]، برای توضیح بیشتر به متن مراجعه شود. علامت لوزی تو پر = گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید، مربع تو پر = گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن و مثلث تو پر = آپلیت‌ها.

جدول ۲ محاسبه نورم CIPW سنگ‌های منطقه مورد بررسی.

Sample	آپلیت‌ها				گرانیتوئیدهای پورفیروئید					گرانیتوئیدهای بسیار روشن				
Mineral	MBG7	MBG9	Grt-AP	MBG6	MBG8	MBG10	MBG13	SMK47	EnMB4	MBG3	Gj-Shrst	LG1	LG2	LG3
Q	۳۴,۳۹	۴۰,۰۷	۳۵,۰۲	۲۲,۲۰	۲۷,۹۴	۲۵,۶۵	۲۶,۹۷	۳۰,۰۱	۲۲,۶۹	۲۲,۴۲	۱۱,۹۳	۲۳,۸	۶,۹۵	۸,۷۴
Or	۳۹,۹۰	۲۷,۴۹	۴۲,۰۴	۲۴,۵۲	۲۸,۴۵	۲۵,۹۱	۲۶,۴۷	۲۲,۲۱	۱۶,۴۹	۲,۳۹	۴۹۵	۲/۹۳	۱,۰۳	۱,۳۲
Ab	۱۹,۷۱	۵۵,۲۳	۱۸,۰۱	۲۵,۹۹	۲۳,۱۷	۲۱,۴۱	۱۹,۳۴	۲۰,۶۷	۵۲,۲۴	۵۴,۹۱	۵۱,۵۲	۳۷,۹۱	۵۹,۵۸	۵۵,۵۷
CAn	۱,۵۸	۳,۵۰	۰,۷۸	۷,۸۳	۶,۳۴	۷,۲۹	۶,۹۸	۶,۱۵	۱۵,۶۷	۱۷,۸	۲۵,۲۹	۲۳,۷۷	۳۰,۷۱	۱۱,۳۲
Di (wo)	۱/۴۸	۱/۹۱	۱/۶۴	۴/۶۹	۳/۲۶	۵/۲۶	۵/۵۰	۶/۲۰	۱/۸۹	۱/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۶۶,۰
Di (en)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۱۱	۱/۵۰	۰,۳۴	۰/۰۰
Di (fs)	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۲	۰/۰۴	۰/۰۰
Hy (en)	۰/۱۵	۰/۵۵	۰/۲۵	۳/۲۹	۲/۲۸	۳/۵۳	۳/۴۶	۲/۷۷	۴/۴۴	۰,۲۸	۴,۰۹	۰/۰۰	۰/۰۱	۰,۲۸
Hy (fs)	۲/۱۲	۲/۱۲	۱/۸۱	۷/۳۷	۵/۹۶	۷/۷۱	۸/۰۰	۷/۷۶	۹/۲۳	۰,۶۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۴۵
Mt	۰,۳۱	۰,۳۶	۰,۲۷	۱/۲۸	۱/۳۳	۱/۳۷	۱/۳۳	۱/۳۳	۱/۶۳	۰/۱۸	۰/۷۷	۰/۱۳	۰/۰۶	۰/۰۷
He	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Il	۰/۰۶	۰,۳۴	۰/۰۶	۱/۴۱	۰/۰۰	۱/۴۸	۱/۴۵	۱/۴۳	۱/۹۴	۰,۷۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ap	۰,۲۹	۰/۱۱	۰,۲۹	۰/۴۲	۱/۱۱	۰,۴۲	۰,۴۷	۰/۰۶	۰,۰۲	۰/۱۳	۰/۱۱	۱/۱۳	۰/۰۴	۰/۰۷

ادامه جدول ۲

Sample	گرانیتوئیدهای بسیار روشن											
Mineral	LG6	LG7	LG9	LG12	LG13	LG15	LG17	LG20	LG23	LG24	LG25	LG29
Q	۱/۴۵	۳,۶۶	۱۰,۶۱	۱/۴۸	۲/۵۲	۰/۱	۵,۰۰	۱۹,۴۵	۳/۴۸	۱۲,۲۵	۴/۴۲	۳۴,۵۹
Or	۱,۰۸	۱/۱۵	۱/۳۳	۰,۸۹	۵,۳۲	۶,۹۵	۱,۰۳	۰,۷۲	۰,۷۸	۴,۶۲	۱/۲۴	۱,۷
Ab	۶۱,۲۱	۵۹,۴۹	۶۰,۰۸	۶۹,۰۲	۶۲,۰۵	۴۱,۶۵	۶۳,۵۵	۵۵,۷۶	۶۱,۱۲	۴۹,۴۱	۶۳,۳۱	۴۱,۶۲
An	۳۴,۳۵	۱۶,۳۱	۱۶,۲۵	۲۷,۵۷	۲۶,۳۲	۴۶,۹۲	۲۹,۸۰	۳۹,۲۲	۳۲,۳۸	۲۹,۱۷	۲۸,۲۷	۱۹,۳۸
C	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۹	۲/۴۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۳۸	۰,۷۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Di (wo)	۰,۲۴	۰,۳۹	۰,۰۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۹۴	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۰۷	۰,۵۸	۰,۱۴
Di (en)	۰,۰۹	۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۴۹	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۴۶	۰/۱۸	۰/۲۵
Di (fs)	۰,۱۵	۰,۳۱	۰,۰۴	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۴۲	۰/۰۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰,۶۱	۰/۴۳	۰,۶۳
Hy (en)	۰/۱۴	۰/۰۰	۰/۲۷	۰/۰۳	۰/۲۸	۰/۰۰	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۰	۰/۰۷	۰/۰۰
Hy (fs)	۰/۲۳	۰/۰۰	۰,۶۶	۰/۱۸	۰/۴۹	۰/۰۰	۰/۱۸	۰,۳۴	۰/۲۳	۰/۰۰	۰/۱۸	۰/۰۰
Mt	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
Il	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۴	۰/۰۰	۰/۱۹	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۱۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰
Ap	۰/۰۷	۲/۶۴	۰,۵۸	۰/۱۳	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۱۸	۰,۰۴	۰/۲۷	۰/۰۷	۰/۴۴

پورفیروئید (غنى از پتاسیم) و عدم حضور کانی‌های فرومینیزین در گرانیتوئیدهای بسیار روشن همخوان است (شکل ۶ الف). (CaO-SiO₂): نمونه‌های گرانیتوئیدهای بسیار روشن دارای مقداری بالاتری از CaO هستند و این با مقدار بیشتر پلازیوکلاز در این سنگ‌ها نسبت به گرانیتوئیدهای پورفیروئید همخوانی

نمودارهای هارکر (MgO-SiO₂): در این نمودار گستره‌ی گرانیتوئیدهای غنى از پتاسیم کاملاً مجزا از گرانیتوئیدهای بسیار روشن بوده و دارای مقادیر بیشتری از MgO هستند. این موضع با حضور مقادیر قابل توجه بیوتیت به عنوان کانی فرومینیزین در گرانیتوئیدهای

مراتب کمتر از مقدار آن در گرانیت‌وئیدهای غنی از پتاسیم است (شکل ۷ الف).

(Ba-SiO₂): در این نمودار مقدار نسبی Ba در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید (غنی از پتاسیم) به مراتب بیشتر از مقدار این عنصر در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) است و این می‌تواند با جایگزینی Ba به جای K در ساختار ارتوکلاز (میکروکلین) و بیوتیت که از کانی‌های اصلی گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید هستند، برآش داشته باشد (شکل ۷ ب).

(Sr-SiO₂): در این نمودار نمونه‌های گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) دارای Sr بیشتر نسبت به نمونه‌های گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید هستند و این با جایگیری Sr به جای Ca در ساختار گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن که از پلازیوکلاز غنی‌ترند هم‌خوانی دارد (شکل ۷ پ).

(K₂O-Rb): در این نمودار گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن با غلظت کم Rb و K و گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌ها با مقادیر بالاتری از این دو عنصر مشخص هستند (شکل ۷ ت).

(Rb-Sr): در این نمودار گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌ها با مقادیر بالای Rb و مقادیر پایین Sr و بر عکس گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن با مقادیر کم Rb و مقادیر بالای Sr دیده می‌شوند که این با کانی‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر اصلی این سنگ‌ها هم‌خوانی دارد زیرا که گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن غنی از پلازیوکلاز و CaO بوده و در نقطه‌ی مقابله گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید غنی از ارتوکلاز و بیوتیت و K₂O هستند (شکل ۷ ث).

(Rb-Cs): این نمودار نشان دهنده مقادیر بالاتری از Rb و Cs در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید نسبت به گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن است (شکل ۷ ج).

به طور کلی گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن نسبت به گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید از Al₂O₃، Na₂O، CaO غنی‌تر و از K₂O، FeO و MgO فقیرترند. گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن الوند از چند جنبه نسبت به لوکوگرانیت‌های معمول در نقاط دیگر دنیا متمایز هستند:

۱) مقدار SiO₂ آنها بسیار متغیر و گاهی کمتر از سنگ‌های اسیدی و در حد سنگ‌های حدوات است هستند (یعنی بعضی از این سنگ‌ها با لوکوگرانیت‌های مناطق دیگر متفاوتند) (مقادیر SiO₂ بین ۵۰ تا ۸۰٪ متغیر است). این در حالی است که لوکوگرانیت‌های معمولی در گستره‌ی سنگ‌های اسیدی (گرانیت) قرار می‌گیرند.

دارد (شکل ۶ ب).

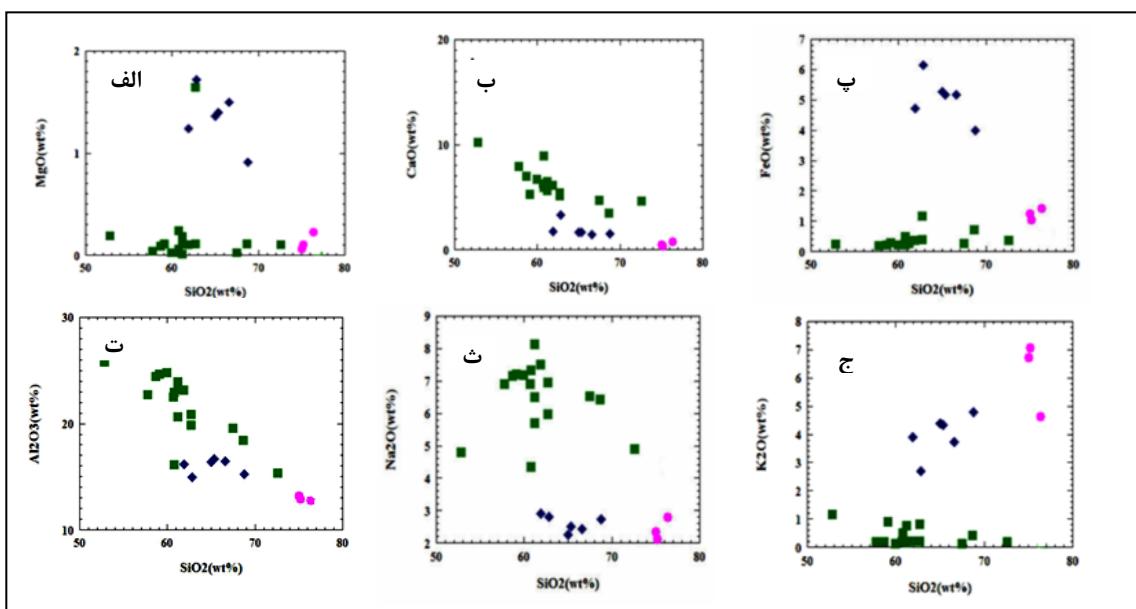
(Fe₂O₃*-SiO₂): در این نمودار گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید (غنی از پتاسیم) و گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) کاملاً مجزا از هم تصویر شده‌اند. مقدار بیشتر FeO در گرانیت‌وئیدهای غنی از پتاسیم با حضور کانی بیوتیت در این سنگ‌ها توجیه می‌شود و مقدار بسیار کم FeO در سنگ‌های بسیار روشن با عدم حضور کانی‌های فرومیزین در این سنگ‌ها هم‌خوانی دارد (شکل ۶ پ).

(Al₂O₃-SiO₂): در این نمودار می‌توان به دو نکته توجه کرد: ۱- مقدار نسبی Al₂O₃ در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن بیشتر از مقدار آن در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید است. ۲- مقدار نسبی Al₂O₃ با افزایش SiO₂ کاهش می‌یابد یعنی در سنگ‌های بازی‌تر نسبت به سنگ‌های اسیدی‌تر مقدار این اکسید بیشتر است. روند تغییرات Al₂O₃ نسبت به SiO₂ با تبلور زود هنگام پلازیوکلاز در سنگ‌های بسیار روشن هم‌خوانی دارد (شکل ۶ ت).

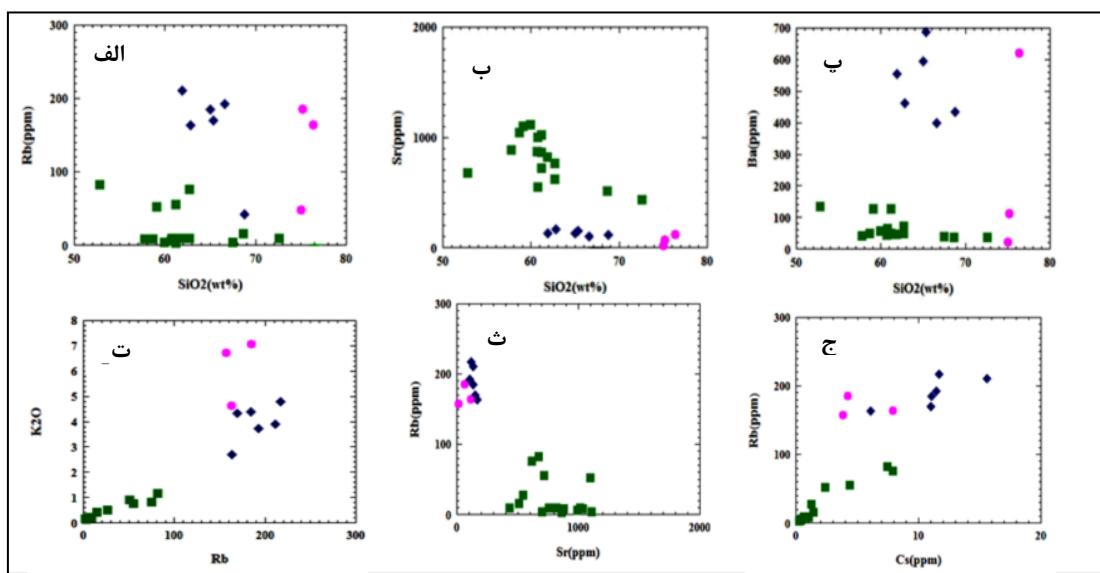
(Na₂O-SiO₂): در این نمودار گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) به مراتب مقدار Na₂O بیشتری را نشان می‌دهند که با غنی‌بودن آنها از کانی پلازیوکلاز هم‌خوانی دارد، ولی گرانیت‌وئیدهای غنی از پتاسیم و آپلیت‌ها مقادیر Na₂O کمتری نشان می‌دهند. در هر دو گروه با افزایش SiO₂ مقدار Na₂O کاهش می‌یابد که نشانگر تبلور زودرس پلازیوکلاز می‌باشد یعنی در سنگ‌های اسیدی‌تر مقدار این کانی کمتر شده است (شکل ۶ ث).

(K₂O-SiO₂): در این نمودار به خوبی دیده می‌شود که گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌های منشعب از آنها دارای مقدار K₂O به مراتب بیشتری نسبت به گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن هستند. همچنین چنانکه نمودار نشان می‌دهد آپلیت‌ها احتمالاً از جدایش گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید حاصل شده‌اند و نمی‌توانند از جدایش گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن حاصل شده باشند (شکل ۶ ج).

نمودارهای عناصر ناسازگار نسبت به سیلیس و نسبت به هم (Rb-SiO₂): این نمودار نشانگر آنست که گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید (غنی از پتاسیم) مقادیر Rb به مراتب بیشتری دارد و این نکته با جایگزینی Rb به جای پتاسیم در ساختار کانی‌هایی مانند ارتوکلاز (میکروکلین) و بیوتیت هم‌خوانی دارد. مقدار Rb در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) به



شکل ۶ نمودارهای هارکر عنصر اصلی سنگ‌های مورد بررسی، (الف) نمودار $\text{MgO}-\text{SiO}_2$ ، (ب) نمودار $\text{CaO}-\text{SiO}_2$ ، (پ) نمودار $\text{FeO}-\text{SiO}_2$ ، (ج) نمودار $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ ، (ث) نمودار $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ، (ز) نمودار $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$. به مقدار بیشتر CaO و Na_2O و مقدار کمتر MgO و FeO در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن توجه شود. علامت‌ها مانند شکل ۳.



شکل ۷ نمودارهای عنصر کمیاب نسبت به سیلیس و نسبت به هم، (الف) نمودار $\text{Rb}-\text{SiO}_2$ ، (ب) نمودار $\text{Sr}-\text{SiO}_2$ ، (پ) نمودار $\text{Ba}-\text{SiO}_2$ ، (ث) نمودار $\text{Rb}-\text{Sr}$ ، (ز) نمودار $\text{Rb}-\text{Cs}$. به فراوانی بیشتر Rb در گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن توجه شود. علامت‌ها مانند شکل ۳.

۳) بعضی از سنگ‌های بسیار روشن از نظر مقدار سیلیس مشابه ترونجمیت‌ها هستند اما مقدار CaO بالاتر آنها را از این سنگ‌ها تمایز می‌نماید.

۴) در محاسبه‌ی نورم گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن، مقدار کوارتز نورماتیو (همانند مقدار SiO_2 آنها در تجزیه شیمیایی)

۲) مقدار CaO موجود در این سنگ‌ها نسبت به لوکوگرانیت‌های معمولی بالاتر است و در حد سنگ‌های تونالیتی است. در حالی که ضریب رنگینی این سنگ‌ها بسیار پایین‌تر از تونالیت‌ها است. شاید برخی از سنگ‌های بسیار روشن را بتوان لوکوتونالیت در نظر گرفت.

يعنى Zr و Hf, Nb و Ta گرانیتوئیدهای پورفیروئید دامنه‌ی کوتاهی از مقادیر عناصر HFSE را نشان می‌دهند اما گرانیتوئیدهای بسیار روشن (همانند دامنه‌ی گسترده‌ی مقدار سیلیس خود) در مقدار عناصر HFSE نیز دامنه‌ی گسترده‌ای را شامل می‌شوند.

در بررسی زمین شیمی سنگ‌ها مقدار و نسبت‌های وابسته به فراوانی عناصر ناسازگار در مقایسه با عناصر دیگر و نسبت به هم اهمیت دارد. به طور کلی سنگ‌های گرانیتی نسبت به سایر سنگ‌های دیگر از این عناصر غنی هستند به طوری که در نمودارهای عنکبوتی چند عنصری و عناصر نادر خاکی بهنجار شده این موضوع کاملاً روشن است. در هر دو دسته گرانیتوئیدها، مقدار عناصر LILE نسبت به HFSE بالاتر است که این می‌تواند به ماهیت کلسیمی-قلیایی این سنگ‌ها وابسته باشد، و نیز می‌تواند بیانگر نقش پوسته در تشکیل آنها باشد. نسبت LREE/HFSE در گرانیتوئیدهای بسیار روشن نسبت به گرانیتوئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌ها دارای دامنه‌ی گسترده‌تری است. نسبت‌های عناصر کم تحرک به عناصر متحرک مانند U و Nb, Ce/Pb نیز در گرانیتوئیدهای بسیار روشن به مرتب گسترده‌تر از سنگ‌های مورد مطالعه‌ی دیگر است. در نمودارهای عنکبوتی گرانیتوئیدهای مورد بررسی غنی شدگی LREE دیده می‌شود و نسبت LREE/HREE بالا مشاهده می‌شود (شکل ۷).

Eu تنها عنصر نادر خاکی است که به صورت دو ظرفیتی می‌تواند جانشین Ca در شبکه‌ی کانی پلازیوکلاز شود. بی-هنجاری منفی Eu در بسیاری از سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای دیده می‌شود. این بی-هنجاری منفی به سبب این است که بسیاری از سنگ‌های گرانیتی و گرانودیبوریتی حاصل ذوب بخشی در پوسته هستند. بخش باقی‌مانده پس از ذوب‌بخشی غنی از پلازیوکلاز است، بنابراین مقدار بیشتر Eu در پوسته‌ی زیرین باقی می‌ماند و منجر به این می‌شود که پوسته‌ی فوقانی فقیر از Eu شود. بی-هنجاری مثبت Eu معمولاً در سنگ‌های غنی از پلازیوکلاز دیده می‌شود. هنگامی که ماجما پلازیوکلاز را متبلور می‌کند، مقدار زیادی از Eu وارد ساختار این کانی شده و بقیه‌ی ماجما از Eu فقیر می‌شود. اگر پلازیوکلاز حاصل از ماجما جدا شود سنگ‌های حاصل از بقیه‌ی ماجما بی-هنجاری منفی Eu نشان می‌دهند. اگر پلازیوکلازهای حاصل که مقدار زیادی از Eu در ساختار آنها وارد کرده است، در ماجما باقی مانند، سنگ‌های حاصل از تبلور این ماجما، بی-هنجاری مثبت Eu نشان می‌دهند [۲۹].

بسیار متغیر است و گاهی در برخی از نمونه‌ها بسیار اندک است.

۵) بعضی از سنگ‌های بسیار روشن از نظر مقدار پلازیوکلاز مانند آنورتوزیت‌ها هستند اما CaO آنها و در نتیجه مقدار آنورتیت پلازیوکلاز در آنها کمتر است.

زمین شیمی عناصر ناسازگار

با توجه به این که نقش عناصر ناسازگار (اغلب لیتوفیل) در سنگ‌های گرانیتوئیدی بسیار اهمیت دارد، بنابر این در این بخش از مقاله به بررسی نقش این عناصر در شکل‌گیری سنگ‌های مورد بررسی می‌پردازیم. این عناصر را می‌توانیم به چند گروه رده‌بندی کنیم:

(۱) عناصر LILE (شامل پتاسیم، روبيديم، سزیم، استرونیسیم و باریم)

(۲) عناصر HFSE (شامل زرکونیم، نیوبیم، هافنیم، تانتالیم، اورانیم و توریم به همراه عناصر REE)

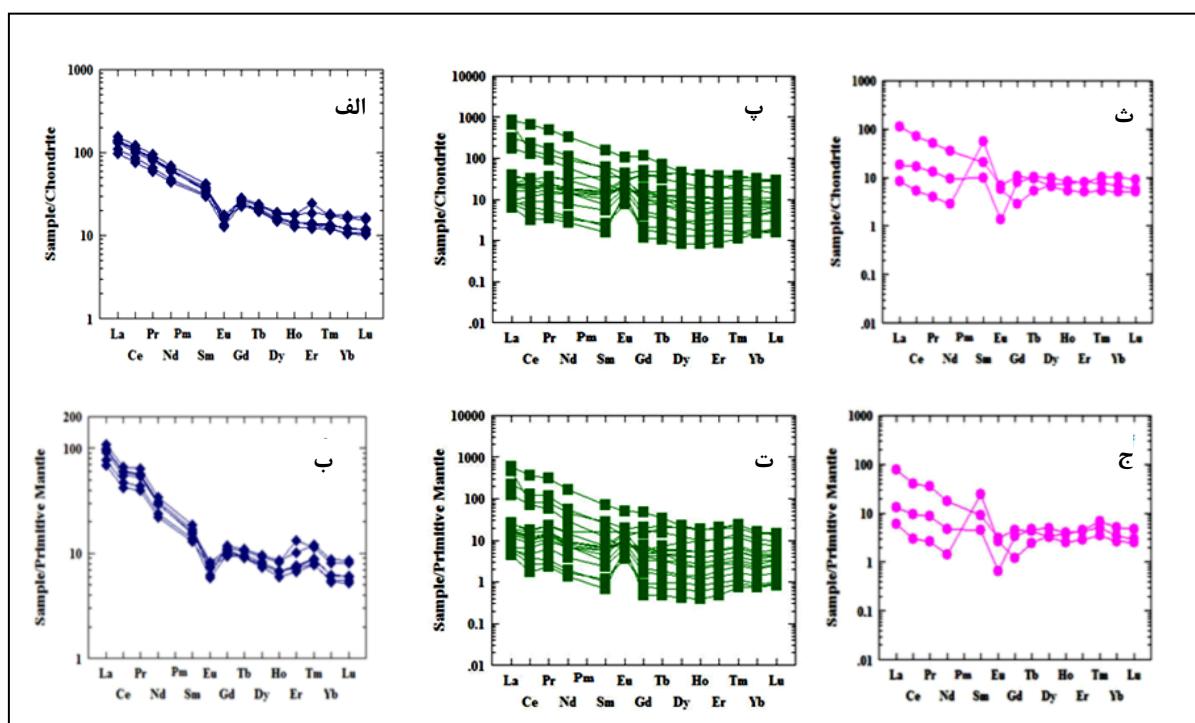
(۳) عناصر REE (La-Sm) LREE و (Eu)

چنانکه در نمودارهای هارکر عناصر کمیاب نسبت به سیلیس نشان داده شد، غلظت عناصر Rb و Ba در گرانیتوئیدهای غنی از پتاسیم (پورفیروئید) بیشتر از گرانیتوئیدهای کم پتاسیم (بسیار روشن) و بر عکس غلظت عنصر Sr در گرانیتوئیدهای کم پتاسیم بیشتر از گرانیتوئیدهای غنی از پتاسیم است که این رفتار با کانی شناسی سنگ‌ها یعنی غنی‌تر بودن سنگ‌های بسیار روشن از پلازیوکلاز و فقیرتر بودن آنها از فلدسپار پتاسیم همخوانی دارد. در نمودارهای چند عنصری بهنجار شده (شکل ۶) برتری نسبی غلظت عناصر ناسازگار مانند Rb, Cs و Ba بر عناصر سازگار مانند Ni و Cr در گرانیتوئیدهای مختلف دیده می‌شود که می‌تواند به نقش پوسته در شکل‌گیری این سنگ‌ها وابسته باشد.

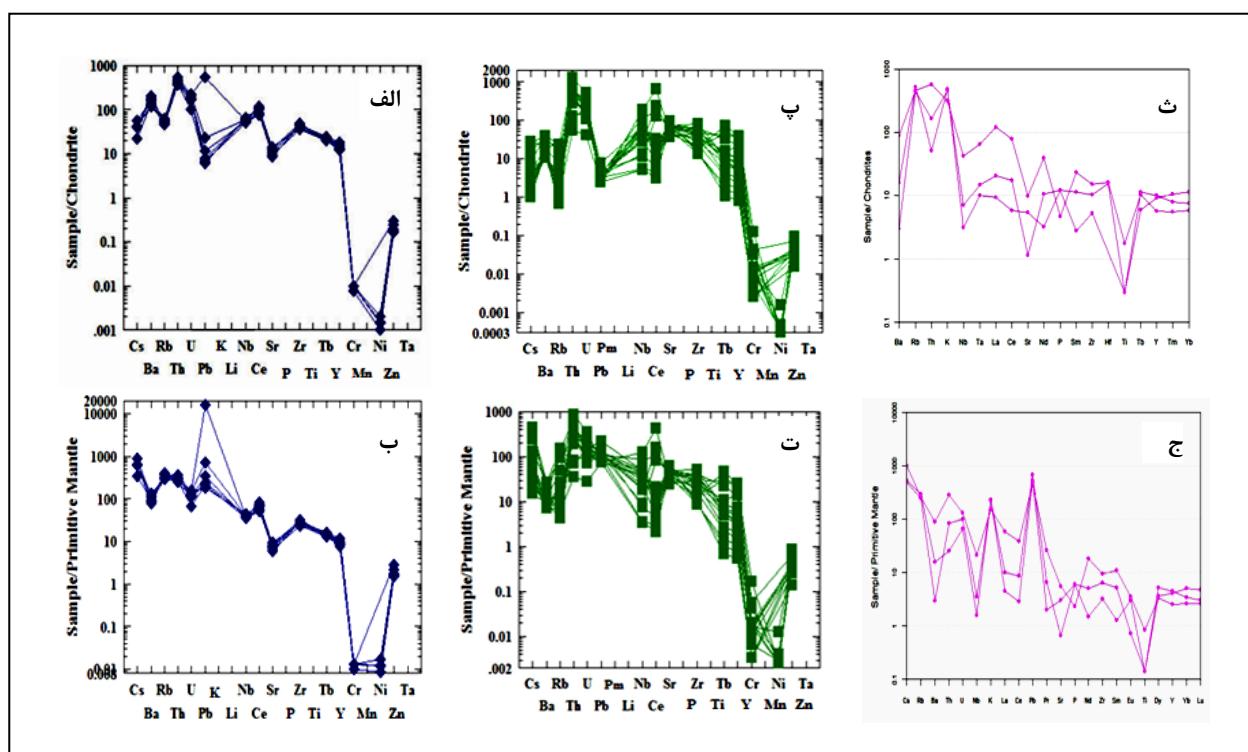
عناصر HFSE که شامل Zr, Hf, Ta, Nb و گاهی Th و U است، به سبب باریونی زیاد با این که شعاع یونی مناسبی دارند ولی در ساختار کانی‌ها به سادگی وارد نمی‌شوند و از عناصر ناسازگار به حساب می‌آیند (غلظت آنها در گدازه‌ی حاصل از جدایش بیشتر از کانی‌های تشکیل شده از گدازه‌مداب است). این عناصر معمولاً نامحلول و نامتحرك نیز هستند. به عنوان مثال مقدار Ta و Nb در ماجماهای زون‌های فرورانش کم است زیرا آنها در شاره‌های حاصل از آبزدایی پوسته‌ی اقیانوسی فرورونده شرکت نمی‌کنند و از منطقه‌ی HFSE تشکیل ماجماها دور می‌مانند [۲۸]. از نظر مقدار عناصر

غنی بودن گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن (کم پتاسیم) از پلازیوکلаз وابسته به بی هنجاری مثبت Eu در نمودار عنکبوتی مربوطه است (شکل ۸)، و نیز گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید (غنی از پتاسیم) که [۱۰] آنها را از نوع S در نظر گرفته‌است، با نشان دادن بی هنجاری منفی Eu (که از ویژگی‌های سنگ‌های پوسته‌ی قاره‌ای بالایی است) بیانگر همخوانی بررسی‌های زمین‌شیمی با بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری است. بی‌هنجاری منفی و کمبود Sr و Ba در آپلیت‌ها سبب عدم حضور یا کمبود کانی پلازیوکلاز در این سنگ‌های است، زیرا این عناصر می‌توانند جایگزین Ca در شبکه‌ی پلازیوکلاز شوند که در آپلیت‌ها مقدار این کانی کم و نیز نوع پلازیوکلاز موجود غنی از Nb در سدیم است. تهی شدگی از عناصر HFSE مانند Ti و در این سنگ‌ها می‌تواند نقش پوسته را در تکامل این سنگ‌ها نشان دهد (شکل ۹). ضمناً با افزایش جدایش در مآگما (در آپلیت‌ها و پگماتیت‌ها) میزان این عناصر کاهش می‌یابد. بی‌هنجاری مثبت Pb در گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید و آپلیت‌ها هم می‌تواند نشانگر نقش مهم پوسته در شکل‌گیری مآگما‌ی این سنگ‌ها باشد.

سنگ‌های گرانیتی غنی از پتاسیم (پورفیروئید) معمولاً بی هنجاری منفی Eu و سنگ‌های فقیر از پتاسیم (بسیار روشن) بی هنجاری مثبت Eu نشان می‌دهند. مآگما‌ی گرانیتی غنی از REE، با نسبت بالای LREE/HREE و بی هنجاری منفی Eu از ذوب خاستگاهی حاصل می‌شوند که فلدسپار (به ویژه پلازیوکلاز) به صورت تفاله (بر جای مانده) در محل خاستگاه باقی می‌ماند. اگر فازهای بر جای مانده‌ای مانند گارنت، آمفیبول یا پپروکسن وجود داشته باشد نسبت LREE/HREE در مآگما افزایش می‌یابد. همچنین، تبلور تفریقی کانی‌های نظیر پلازیوکلاز (که Eu به جای Ca در ساختار آنها شرکت می‌کند) از یک مآگما سبب می‌شود که سنگ‌های حاصل از گدازه‌ی باقیمانده بی هنجاری منفی Eu نشان دهد. اگر در ذوب بخشی، پلازیوکلاز به صورت فاز بر جای مانده باشد و یا اینکه در حین تبلور پلازیوکلاز زودتر تشکیل شده و از گدازه‌ی بر جای مانده جدا شود، در هر دو حالت بی هنجاری منفی Eu ایجاد می‌شود و اگر هر دو پدیده ذوب‌بخشی و تبلور تفریقی در یک سیستم رخ داده باشد، بی هنجاری منفی Eu شدیدتر خواهد شد [۲۹].



شکل ۸ نمودارهای عنکبوتی عناصر نادر خاکی، (الف) گرانیت‌وئیدهای پورفیروئید بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه، (ب) گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن بهنجار شده با کندریت، (ت) گرانیت‌وئیدهای بسیار روشن بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه، (ث) آپلیت‌ها بهنجار شده با کندریت، (ج) آپلیت‌ها بهنجار شده با گوشته اولیه. بهنجار شده با داده‌های [۳۰، ۳۱]، به فراوانی بیشتر عناصر LREE و HREE و بی هنجاری منفی Eu (که معمولاً در اثر تبلور زودهنگام پلازیوکلاز از مآگما در زمانی که غنی تر از Ca است و به دنبال آن در اثر کمبود Sr، Ca و در نتیجه Eu حاصل می‌شود) توجه شود. علامت‌ها مانند شکل ۳.



شکل ۹ نمودارهای عنکبوتی چند عنصری، (الف) گرانیتوئیدهای پورفیروئید بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه، (ب) گرانیتوئیدهای پورفیروئید بهنجار شده با کندریت، (پ) گرانیتوئیدهای بسیار روشن بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه، (ث) آپلیت‌ها بهنجار شده با کندریت، (ت) آپلیت‌ها بهنجار شده با گوشته‌ی اولیه. بهنجار شده با داده‌های [۳۰، ۳۱]، به بی هنجاری منفی عناصری مانند Ti و Nb که بیشتر در سنگ‌های با منشا پوسته‌ای یا آلایش یافته با پوسته است، توجه شود. علامت‌ها مانند شکل ۳.

روشن تقریباً به طور کامل از پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند اما مقدار CaO کمتر و در نتیجه مقدار آنورتیت کمتر در ترکیب پلاژیوکلاز، آنها را از سنگ‌هایی مانند آنورتوزیت‌ها تمایز می‌سازد. تغییرات مقدار SiO₂ در سنگ‌های بسیار روشن (برخلاف انتظار)، بالاست (بین ۵۲-۷۳ درصد وزنی) اما این مقدار در گرانیتوئیدهای پورفیروئید دامنه‌ی کمتری دارد. این موضوع در فراوانی عناصر ناسازگار REE و LILE و HFSE نیز دیده می‌شود. بی‌هنجاری منفی Eu در گرانیتوئیدهای پورفیروئید با ماهیت غنی از آلومین و خاستگاه پوسته‌ای آنها همخوانی دارد. آپلیت‌ها و پگماتیت‌های منطقه اغلب از نظر گسترش صحرایی و ویژگی‌های سنگنگاری و زمین‌شیمی با گرانیتوئیدهای پورفیروئید هماهنگی دارند. به طور کلی برآش قابل قبولی بین ویژگی‌های صحرایی، سنگنگاری و زمین‌شیمی مشاهده شده در سنگ‌های گرانیتوئیدی مختلف در مجموعه نفوذی الوند وجود دارد.

برداشت
چنانکه از شواهد سنگنگاری و زمین‌شیمی مشخص شد، دو دسته گرانیتوئید مورد بررسی ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند که احتمالاً از خاستگاه متفاوت آنها ناشی می‌شود. در گرانیتوئیدهای بسیار روشن (که اندکی جوانتر و کم‌وسعت‌ترند)، کانی تیتانیت (اسفن) به عنوان یک کانی فرعی مهم به شمار می‌آید، ولی گرانیت‌های پورفیروئید عاری از این کانی هستند. کمبود درشت‌بلورهای فلدسپار پاتاسیم و کانی‌های مافیک مانند بیوتیت از جمله ویژگی‌های دیگر گرانیتوئیدهای بسیار روشن است. سنگ‌های بسیار روشن با داشتن MgO، FeO، K₂O و Na₂O بیشتر از گرانیتوئیدهای پورفیروئید (که سازنده‌ی اصلی مجموعه نفوذی است)، قابل تشخیص‌اند. مقدار CaO بالاتر، سنگ‌های بسیار روشن را از لوکوگرانیت‌های دیگر شناخته شده در نقاط مختلف جهان تمایز می‌سازد. همچنین این سنگ‌ها در مقایسه با ترونجمیت‌ها CaO بالاتری دارند. بعضی از سنگ‌های بسیار

- [۱۰] علی اصغر سپاهی گرو، "پترولوری مجموعه نفوذی الوند با نگرشی ویژه بر گرانیت‌وئیدهای ریختی، رساله دکتری، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، دانشگاه تربیت معلم (۱۳۷۸)."
- [۱۱] Sepahi A.A., "Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: With emphasis on the Alvand Plutonic Complex", Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie Abhandlungen, 247 (2008) 295-312.
- [۱۲] شهربازی حسین، "پترولوری مجموعه سنگهای آذرین و میکماتیتهای کمپاکس الوند و توده نفوذی آموقلاع همدان و ارتباط ژنتیکی بین آنها"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۸۹).
- [۱۳] Shahbazi H., Siebel W., Pourmoafee M., Ghorbani M, Sepahi A.A., Shang C.K., Vousoughi- Abedini M., "Geochemistry and U-Pb zircon geochronology of the Alvand Plutonic Complex in Sanandaj – Sirjan Zone (Iran): New evidence for Jurassic magmatism", Journal of Asian Earth Sciences 39 (2010) 668-683.
- [۱۴] Alavi M., "Tectonics of the Zagros Orogenic belt of Iran: New data and interpretation", Tectonophysics, 22a, (1994) 211-239.
- [۱۵] Mohajjal M., Fergusson C. L., Sahandi M. R., "Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, Western Iran", Journl of Asian Earth Sciences. 21, (2003) 397-412.
- [۱۶] Majidi B., Amidi S.M., Hamadan Quadrangle Map (1/250000), Geological Survey of Iran (1977).
- [۱۷] Valizadeh M.V., Cantagrel J.M., "Premieres donnees radiometriques (K-Ar et Rb-Sr) sur les Micas du complexe magmatique du mont Alvand", presd Hamadan (Iran occidental) Comptes Rendus de l, Academie des Sciences de paris, Serie D 281, (1975) 1083-1086.
- [۱۸] برو ڙان، "شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش باختران، س.ز.ک، ترجمه فارسی (۱۹۷۸) ۵۵ صفحه."
- [۱۹] علی اکبر بهاری فر، "پترولوری سنگهای دگرگونی منطقه همدان، رساله دکتری، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم (۱۳۸۳)."
- [۲۰] De La Roche H., Leterrier J., Grandclaude P., Marchal M., "A classification of volcanic and plutonic rocks using R_1R_2 -diagram and major

مراجع

- [۱] سیروس زرعیان، عبدالحسین فرقانی، هاشم فیاض، "توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، قسمت اول، نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد سوم ، شماره ۴، (۱۳۵۰) صفحات ۴۷-۳۷.
- [۲] سیروس زرعیان، عبدالحسین فرقانی، هاشم فیاض، "توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، قسمت دوم، نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد چهارم، شماره اول، (۱۳۵۱) صفحات ۲۸-۲۳.
- [۳] سیروس زرعیان، عبدالحسین فرقانی، هاشم فیاض، "توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، قسمت سوم، نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد چهارم، شماره سوم، (۱۳۵۱) صفحات ۹۰-۸۳.
- [۴] زرعیان سیروس، عبدالحسین فرقانی، هاشم فیاض، "توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، قسمت چهارم، نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد چهارم، شماره چهارم، (۱۳۵۱) صفحات ۹۷-۱۰۶.
- [۵] سیروس زرعیان، عبدالحسین فرقانی، هاشم فیاض، "توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، قسمت ششم: چگونگی تشکیل توده گرانیتی الوند. نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد ششم، شماره اول، (۱۳۵۳) صفحات ۳۴-۴۰.
- [۶] ولی زاده محمدولی، "بررسی سنگ شناسی و شیمی- کانی شناسی کمپاکس الوند (همدان)". نشریه دانشکده علوم، دانشگاه تهران، جلد ۶، شماره ۱، (۱۳۵۳) صفحات ۱۴-۲۹.
- [۷] ایرانی محسن، "بررسی پترولوری توده گرانیتی الوند و هاله دگرگونی آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۲).
- [۸] مهدی هادی پور جهرمی، "متامرفیسم و ماجماتیسم منطقه همدان- ملایر- تویسرکان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم (۱۳۷۳).
- [۹] صادقیان محمود، "بررسی پترولوری سنگهای آذرین و دگرگونی منطقه چشمچه قصابان همدان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۴).

- [27] Muller D., Groves D.i., "Potassic igneous rocks and associated gold–copper mineralization", Springer–Verlag. (1997) 242 pp.
- [28] Albarède F., Geochemistry: an introduction. Cambridge University Press (2003).
- [29] Weill D.F., Drake M.J., "Europium Anomaly in Plagioclase Feldspar: Experimental Results and Semiquantitative Model", Science 180 (2003) 1059–1060.
- [30] Sun S.S., McDonough W.F., "Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts; implication for mantle composition and process", In: Saunders, A.D., Norry, M.J., Magmatism in the ocean basins. Geological Society, Special Publication No. 42, (1989) 313–345.
- [31] Boynton W.V., "Cosmochemistry of the rare earth elements, meteorite studies. In: Henderson, P. (ED.)", Rare Earth Element Geochemistry. Elsevier Sciences, Amsterdam, (1984) 63-114.
- [20] Pearce J.A., Cannat M., Lintern J., "Trace element analyses – its relationships with current nomenclature", Chemical Geology 29 (1980) 183–210.
- [21] Middlemost E. A. K., "Naming materials in the magma igneous rock system", Earth-Science Reviews, 37 (1994) 215-224.
- [22] O'Connor J. T., "A classification for quartz-rich igneous rocks based on feldspar ratios. In: US Geological Survey Professional Paper B525. USGS", (1965) 79–84.
- [23] Irvine T. N., Baragar W. R. A., "A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks", Canadian Journal of Earth Sciences 8, (1971) 523–548.
- [24] Peccerillo A., Taylor S. R., "Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey", Contributions to Mineralogy and Petrology 58 (1976) 63–81.
- [25] Shand S. J., "Eruptive Rocks Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite", New York: John Wiley & Sons (1943).
- [26] Frost B.R., Arculus R.J., Barnes C.G., Collins W.J., Ellis D.J., Frost C.D., "A geochemical classification of granitic rocks", Journal of Petrology 42, (2001) 2033-2048.