مجلة پژوهشي دانشگاه اصفهان (علوم پايه)
جلد بيست و نهم ـ شماره ۳ ـ سال ۱۳۸٦
صص ۹٦-۸۱

كاربرد داده‌هاي ژئوشيميايي براي تفسير منشاء و تكامل ميلونيت - گرانيت شمال ورزنه، گلپايگان

مرتضي شريفي ، موسي نقره ئيان و محسن طباطبايي منش
گروه زمين شناسي دانشگاه اصفهان

چكيده

ميلونيت گرانيت ورزنه در شمال شرق گلپايگان و در زون سنندج- سيرجان واقع شده است. از تغييرات ژئوشيميايي عناصر اصلي در مقابل سيليس در نمودارهاي دو بعدي و نيز تغييرات عناصر اصلي در نمودارهاي مثلثي براي نشان دادن تغيير دو يا سه عنصر به طور همزمان، به منظور تعيين روندها در مجموعه‌هاي هم ما گمايي و براي بررسي فازهاي كاني اصلي جهت تعيين منشاء و تكامل ميلونيت گرانيت شمال ورزنه استفاده شده است.

از نمودارهاي عناصر اصلي - كمياب شامل نمودارهاي اصلي- كمياب سازگار و نمودارهاي اصلي - كمياب ناسازگار جهت نشان دادن تغيير همزمان عناصر اصلي و كمياب و همچنين شرح رفتار مستقل يا غير مستقل براي تشخيص فرآيندهاي تفريق استفاده گرديده است. همچنين از نمودارهاي عناصر كمياب نرمال شده شامل نمودارهاي عنكبوتي(مربوط به نرماليز شدن گرانيتوئيدها نسبت به كندريت، گوشته اوليه، پوسته فوقاني، پوسته تحتاني، پوسته قاره اي و نيز گرانيت ميان اقيانوسي) براي تفسير مراحل تكامل فرآيندهاي تفريق يا حتي منشاء ميلونيت گرانيت شمال ورزنه استفاده شده است.

با استفاده از دلائل تجربي مي‌توان نتيجه گرفت كه تغيير شيميايي در توده نفوذي شمال ورزنه ظاهراً در ابتدا بوسيله تبلور تفريقي پلاژيوكلاز كلسيك (با استفاده ازنمودار تغييرات CaO-Sr)، فلدسپات پتاسيك (با استفاده از نمودار مثلثي $CaO-Na_2O-K_2O$)، بيوتيت (با استفاده از نمودار تغييرات FeO و MgO در مقابل سيليس) و ... كنترل شده است. در رابطه با منشاء ميلونيت گرانيت مي‌توان گفت، اگر چه دلايلي از هضم سنگ‌هاي ميزبان وجود دارد، آنومالي منفيNb در نمودارهاي چند عنصري نرماليزه(نمودارهاي عنكبوتي) در ميلونيت- گرانيت ورزنه يكي از شاخص‌هاي مناسب جهت تعيين منشاء قاره اي اين سنگ‌ها است و مي‌تواند نشان دهنده شركت پوسته در فرايندهاي ماگمايي باشد. غلظت ساير عناصر كمياب در ميلونيت- گرانيت ورزنه توسط كاني‌هاي مخصوصي كنترل شده است. براي مثال غلظت Zr به وسيله زيركن، P توسط آپاتيت، Sr به وسيله پلاژيوكلاز و Tiو Nb توسط ايلمنيت و روتيل، غلظت عناصر Rb، Cs، Ba، Na، Ca، Al و Si توسط فلدسپات ها، همچنين غلظت عناصر Cr، Co ، Ti، Fe و Mg توسط كاني‌هاي فرومنيزين از جمله بيوتيت كنترل شده‌اند.

واژه‌هاي كليدي: داده‌هاي ژئوشيميايي، تفسير منشاء، تكامل ميلونيت گرانيت، شمال گلپايگان.

Using Geochemical Data for Interpretation of Origin and Evolution of the Mylonitic Granite in the North of Varzaneh, Golpayegan

M. Sharifi, M. Noghreian, M. Tabatabaiemanesh

Department of Geology, University of Isfahan

Abstract

The mylonitic granite of Varzaneh in the north east of Golpayegan, located within the Sanandaj-Sirjan Zone. The changes in the geochemical diagrams for major elements Versus SiO_2 and also the triangular diagrams were used simultaneously to show the changes of two or three elements and to determine the trends of comagmatic complexes and phases of major element and to evaluate the origin and evolution of mylonitic granite in the north of Varzaneh.
The diagrams of compatible and incompatible major-trace elements were used to show the simultaneous changes of these elements and also to study the independent or non independent behavior of differentiation processes. The diagrams of normalized trace elements like spider diagrams(related to normalized granitoids, primitive mantle, upper and lower crust, continental crust and ocean ridge granite) were used to interpret the evolution steps of differentiation processes or even the origin of mylonitic granite in the north of Varzaneh.
By using experimental evidences, it could be concluded that, the chemical changes within intrusive masses in the north of Varzaneh were apparently preliminarily by differentiating crystallization calcic plagioclase (changes diagram of FeO and MgO versus SiO2), K-feldspar (triangular diagram CaO-Na2O-K2O), biotite (changes diagram of FeO and MgO versus SiO2), and etc. About the origin of mylonitic granites, the results indicate that, although there are some evidences about the assimilation of host rocks, but negative anomalies of Nb in normalized multielement diagrams (spider diagrams) in mylonitic granite of Varzaneh is one of the suitable indexes to determine the origin of continental rocks, which could show the contribution of crust in magmatic processes. The concentration of other trace elements within the mylonitic granite of Varzaneh was controlled by specific minerals including: Zr by zirconium, P by apatite, Sr by plagioclase, Ti and Nb by ilmenite and rutile, Rb, Cs, Ba and Na by feldspars, and also the Cr, Co, Ti, Fe and Mg contents were controlled by ferromagnesian minerals such as biotite.

Keywords: Geochemical data, Interpretation of Origin and Evolution of the Mylonitic Granite Golpayegan

مقدمه

میلونیت- گرانیت ورزنه در شمال روستاي ورزنه و در شمال شرق گلپایگان واقع شده كه از نظر تقسیم بندي زونهاي ساختمان رسوبي ایران در زون سنندج – سیرجان و از نظر تقسیمات کشوري در شمال غربي استان اصفهان قرار دارد.

این توده در گذشته توسط محققین متعددي از جمله تیله و همکاران (۱۹۶۸) در راستاي تهیه نقشه چهارگوش گلپایگان، صبا(۱۳۷۸) از دیدگاه زمین ساختي و رشیدنژاد(۲۰۰۲) از دیدگاه تعیین سن ایزوتوپي مورد بررسي قرار گرفته است. اکثر محققیني که بر روي منطقه گلپایگان مطالعه کردند میلونیت گرانیت‌هاي شمال روستاي ورزنه را گنایس (تیله و همکاران ، ۱۹۶۸ و رشیدنژاد، ۲۰۰۲) و سن توده‌هاي فوق را پرکامبرین در نظر گرفتند(تیله و همکاران،۱۹۶۸). لذا مطالعه ژئوشیمیایي براي تفسیر منشاء و تکامل توده‌هاي فوق صورت نگرفته است. اما با توجه به مطالعات ساختاري و روابط صحرایي كه براي اولین بار توسط صبا(۱۳۷۸) در قالب پایان نامه کارشناسي ارشد انجام گرفت، توده‌هاي شمال ورزنه میلونیت –گرانیت معرفي گردید و محصول

عملکرد فاز کوهزايي اواخر کرتاسه –پالئوسن (لاراميد) در نظر گرفته شد. عناصر فابريکي اين فاز اکثراً در زون‌هاي برشي نمود و ظهور بارز و برجسته اي داشته و عمدتاً به صورت فولياسيون برشي در ميلونيت- گرانيت شمال ورزنه و مرمرهاي منطقه مشاهده مي‌گردند.

سن ميلونيت-گرانيت‌هاي شمال ورزنه با استفاده از سن سنجي راديومتري (روش^{40}Ar -^{40}K) ***Ma*** ۹/. ± ۶۰ تعيين گرديد(رشيد نژاد، ۲۰۰۲)

متد و روش تحقيق

براي تعيين شيمي عناصر اصلي و کمياب نمونه‌هاي سنگي از روش تجزيه فلورسانس پرتوي ***X(XRF)*** با استفاده از دستگاه فيليپس ۲۴۰۰ و قرص فشرده استفاده شده است. اساس اندازه گيري اين دستگاه برانگيختن نمونه توسط پرتو ***X*** مي باشد (رولينسون، ۱۹۹۳). شدت پرتو***X*** پس ازرجوع به استانداردهاي سنجه بندي و تصحيحات مناسب براي تعيين غلظت عناصر موجود به کار رفته است.

با استفاده از اين دستگاه ۱۰ اکسيد عنصر اصلي و ۲۴ عنصر کمياب شامل ***Cu, Zn, Pb, Rb, Sr, Y, Zr, W, Ga, Hf, Co, Cr, Nd, Ce, V, Nb, Th, Sm, Ni, Cl, La, Ba, S, F*** اندازه گيري شده‌اند.

نتايج و بحث

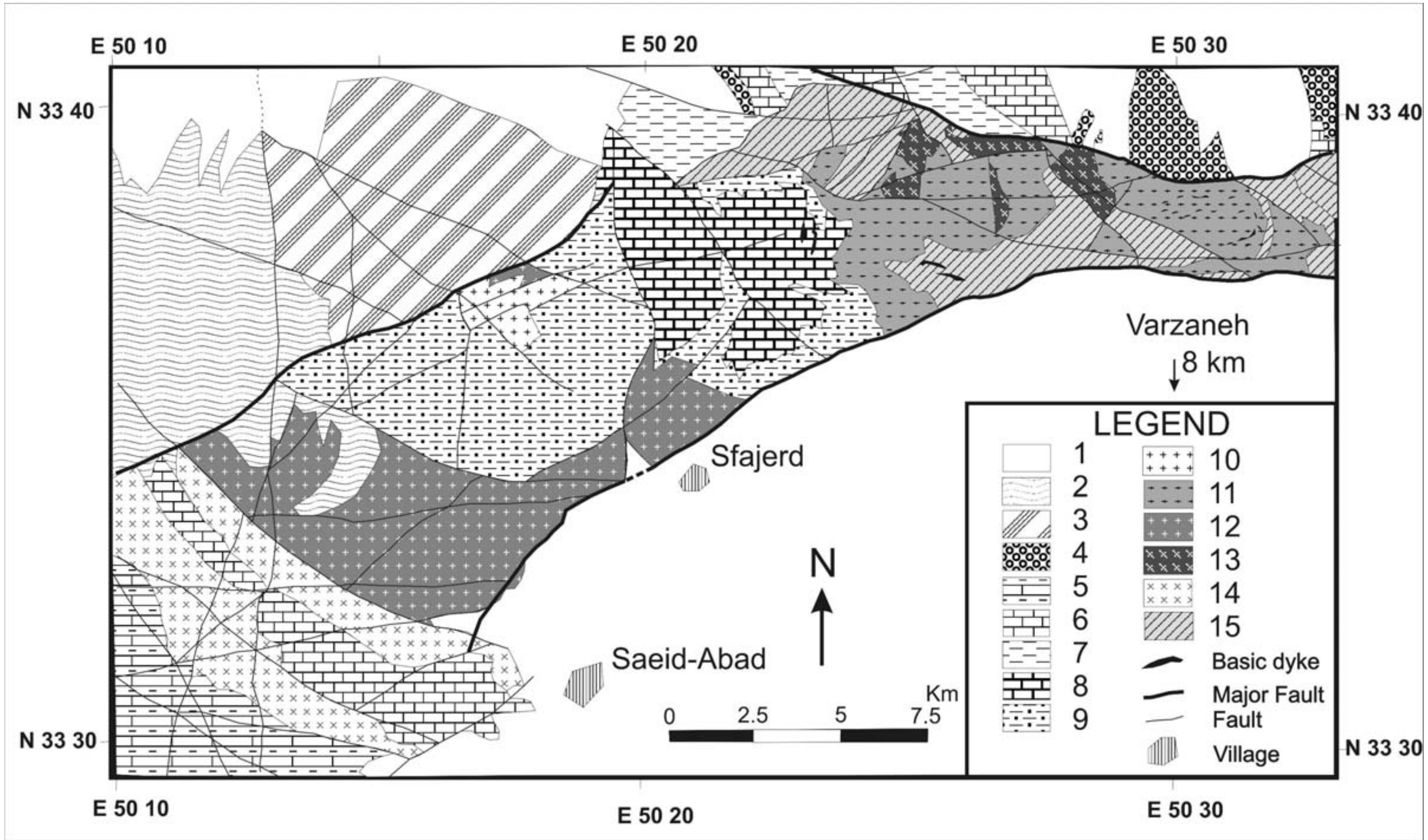
کاني‌هاي اصلي تشکيل دهنده ميلونيت-گرانيت ورزنه، شامل کوارتز، پلاژيوکلاز، فلدسپات پتاسيک ، بيوتيت و موسکويت مي‌باشند. اين کاني‌ها غلظت‌هاي عناصر اصلي را در توده گرانيتي فوق کنترل مي‌کنند. براي مثال کوارتز(SiO_2)، پلاژيوکلاز(Na_2O, CaO, Al_2O_3)، فلدسپات پتاسيم(Al_2O_3, K_2O) و اکسيدها و سيليکات‌هاي فرومنيزين مانند بيوتيت(FeO, MgO). کاني‌هاي فرعي ميلونيت گرانيت شامل تورمالين، کلريت، سريزيت، کائولينيت و کاني‌هاي اپاک مي‌باشند. اين توده گرانيتوئيدي در مجموعه دگرگوني گلپايگان نفوذ نموده است.

سنگ‌هاي دگرگوني گلپايگان در يک مجموعه دگرگوني تيپ باروين(دما-فشارمتوسط) تشکيل شده و تحت تاثير پلي متامورفيسم واقع شده‌اند. بر اساس مطالعات پتروگرافي ، سنگ‌هاي دگرگوني منطقه مورد مطالعه شامل اسليت، فيليت، شيست (کلريت شيست، گارنت استروتيد شيست، کلريت سريزيت شيست، کلريت مسکويت شيست، بيوتيت استروتيد شيست، گارنت کيانيت شيست)، آمفيبوليت، گنايس، مرمر، کوارتزيت، کلريتوئيدهورنفلس وآندالوزيت هورنفلس مي‌باشند ولي برخي از اين سنگها به دليل رخنمون کم در نقشه قابل مشاهده نمي باشند.

از آنجا که ترکيب شيميايي يک سنگ گرانيتوئيدي يا هر سنگ آذرين، منعکس کننده مجموع اثرات منشاء و فرآيندهاي بعدي است. نتايج حاصل از آناليز شيميايي ميلونيت گرانيت فوق، در جدول (۱) ارائه گرديده است.

به منظور تفسير منشاء و تکامل ميلونيت- گرانيت ورزنه، باختصار نتايج هر کدام از نمودارهاي تغييرات ژئوشيميايي عناصر اصلي و کمياب را تحت عنوان يک يا دو بيان ساده مورد بررسي قرار مي‌دهيم. به طور منفرد اين نتيجه گيري‌ها داراي معني و مفهوم ناچيزي هستند اما در ترکيب با همديگر و در تاييد همديگر شروع به ترسيم تصوير کاملي از منشاء و تکامل توده‌هاي گرانيتوئيدي شمال ورزنه مي‌نمايند.

به طور معمول تغيير در تمرکزهاي عناصر اصلي، فرآيندهاي تفريق مذاب- بلور – سيال و آلايش را منعکس مي‌کند. اما ذکر اين نکته ضروري است که



شكل ١- نقشه زمین شناسی شمال شرق گلپایگان

1-Recent alluvium, 2-Alluvial terraces, 3-Banding sandstone (Eocene), 4-Sandstone and conglomerate (Eocene), 5-Calcareous shale, Marl, Limestone (U. Cretaceous), 6-Orbitolina limestone (L. Cretaceous), 7-Shale (Jurassic), ***8-Marble (Mesozoic), 9-Garnet muscovite schist (Mesozoic), 10-Monzogranite (Paleocene), 11-Mylonitic granite (Paleocene), 12-Syente, Syenodiorite (Paleocene), 13-Mylonitic basic rocks (M. Jurassic), 14-Trachyte Cretaceous). 15-Meta-dacite. Meta-andesite. Meta-rhyolite (Mesozoic).***

جدول ۱- نتايج حاصل از آناليز شيمياي **XRF** ميلونيت گرانيت ورزنه که در آن عناصر اصلي به صورت **(wt%)** و عناصر کمياب به صورت **(ppm)** بيان شده اند.

Sample	A-1	A-14	A10	A13	A6
SiO2	71.66	71.100	71.18	74.5	72.22
TiO2	0.24	0.284	0.151	0.245	0.23
Al2O3	14.51	13.891	16.79	15.17	14.53
Fe2O3	0.505	1.484	0.57	0.39	0.86
FeO	0.5	1.484	0.57	0.58	0.86
MnO	0.01	0.013	0.01	0.01	0.01
MgO	0.864	1.094	0.404	1.31	0.445
CaO	0.3	0.630	1.57	0.76	1
Na2O	3.17	3.464	4.541	5.582	2.069
K2O	6.45	6.348	2.91	1.11	5.51
P2O5	0.043	0.137	0.085	0.097	0.11
Cr2O3	0.015	0.003	0.014	0.022	0.022
Total	98.322	100	98.86	99.836	97.956
Ba	2071	186	639	110	624
Rb	66	167	78	44	192
Sr	66	198	543	122	68
Ga	17	-	18	20	16
Nb	10	-	3	11	10
Hf	14	6.00	12	11	9
Zr	211	-	73	196	139
Y	44	-	11	40	63
Cr	100	22	98	151	149
Ni	232	-	10	347	11
Co	1	13	0	1	3
V	16	21.71	20	21	18
Cu	8	620	4	8	3
Pb	0	-	13	0	9
Zn	16	276	36	13	19
F	192	-	170	60	82
Cl	38	-	24	88	169
S	5	-	6	5	8
La	41	20.90	0	28	1
Ce	84	4.20	0	48	15
Nd	30	6.81	0	29	11
Sm	14	3.44	0	17	15

ادامه جدول ١

Sample	A9	M-4-1	O2	O4	T-5-1
SiO2	71.78	73.02	75.3	73.79	67.34
TiO2	0.338	0.293	0.002	0.004	0.392
Al2O3	14.26	14.26	14.42	15.25	15.01
Fe2O3	0.95	0.98	0.229	0.33	1.83
FeO	0.95	0.98	0.229	0.33	1.22
MnO	0.01	0.01	0	0	0.05
MgO	0.603	1.031	0.283	0.009	1.184
CaO	1.1	0.83	1.49	0.95	1.34
Na2O	2.608	3.164	4.85	3.21	2.581
K2O	5.92	4.28	0.19	5.04	4.35
P2O5	0.123	0.112	0.074	0.123	0.216
Cr2O3	0.020	0.023	0.02	0.015	0.015
Total	98.179	100.013	97.109	99.05	95.648
Ba	879	637	34	365	232
Rb	188	126	5	179	253
Sr	102	114	170	115	121
Ga	20	20	15	22	19
Nb	14	13	10	33	20
Hf	12	10	5	3	10
Zr	170	169	14	31	172
Y	64	47	0	59	60
Cr	133	155	134	103	103
Ni	219	282	308	224	21
Co	4	2	0	1	5
V	22	30	11	10	40
Cu	6	9	4	9	5
Pb	0	3	2	34	18
Zn	16	19	11	14	42
F	367	651	323	279	236
Cl	273	69	251	253	339
S	11	25	8	5	9
La	15	5	0	5	14
Ce	18	1	0	0	0
Nd	25	9	0	5	8
Sm	11	3	6	2	3

بررسي تمركز عناصر اصـلي در تعيـين فراينـدها بيـشتراز تعيين منشاءكاربرد دارد.

براي نشان دادن تغيير دو يا سه عنصر به طور همزمـان به منظور تعيين روندها در مجموعه‌هـاي هـم ماگمـايي و براي تعيين فازهاي كـاني اصـلي از نمودارهـاي تغييـرات هاركر(هـاركر، ۱۹۰۹) و نمـودار مثلثـي CaO-Na_2O-K_2O استفاده شده است(اشكال۲ و ۵). با استفاده از نمودارهـاي تغييرات اكسيدهاي عناصر اصلي در مقابل SiO_2 مـي‌تـوان تفريق و اختلاط ماگمايي را مطالعه و بررسي كـرد. بـراي ايـن منظـور تغييـر در ميـزان فراوانـي عناصـر اصـلي در ميلونيت گرانيت ورزنه در نمودارهاي خاص مورد بررسي قرار گرفته است. تغييراتي كـه در ميـزان فراوانـي عناصـر اصلي در هنگام تفريق ماگما رخ مي‌دهد شامل افزايش در ميزان SiO_2، K_2O، Na_2O و به ميزان كـمAl_2O_3، و كـاهش در ميزان فراواني MgO و CaO اسـت. افـزايش و كـاهش عناصر پيوسته و مـنظم اسـت، مگـر هنگـامي كـه ضـمن تفريق، يک ماگماي جديـد بـا ماگمـاي موجـود اخـتلاط حاصل نمايد(بلات و تريسي، ۱۹۹۶).

بررسي روند تغييرات ميـزان$FeOT$، Al_2O_3 و K_2O ، در مقابل سيليس در ميلونيـت- گرانيـت ورزنـه نزولـي و نامنظم است. به عبارت ديگـر نـشان دهنـده يـک تطـابق معكوس بـين عناصـر اصـلي فـوق و سـيليس مـي‌باشـد، همچنـين ميـزان MgO و CaO همـراه بـا افـزايش SiO_2 ، افزايش نشان مي‌دهد. بررسي نمودار تغييرات عناصر فـوق (TiO_2، MgO، Al_2O_3، K_2O و....) در مقابل سيليس به طور تعجب آوري هيچگونه تطابقي با تفريق ندارد(شـكل ۲). چنين حالتي نشان مي‌دهد كه فراواني اين عناصر منحصراً مربوط به فرآيندهاي تفريق بلور – مايع نيـست. از طـرف ديگر روند تغييرات (افزايش و كاهش) عناصـر اصـلي بـا سيليس به صورت پيوسته و منظم نمي باشد و به عبـارت ديگر خطي نيست. عدم تطابق خطي بين عناصر اصلي بـا سيليس و نقاط خارج از روند نشان مي‌دهـد كـه چنـدين فرايند غير از كنترل كننده‌هاي اصلي، تركيب گرانيت‌هـا را بوجود آورده‌اند.

مـشاهدات صـحرايي نـشان دهنـده وجـود قطعـات و سيل‌هاي بازيک ميلونيتي در داخل توده ميلونيت گرانيـت است، كه در شكل (۱) نيـز مـشاهده مـي‌گـردد. از طـرف ديگر مطالعات سـن سـنجي آرگـون-آرگـون (^{40}Ar-^{40}Ar) توسط موريتس و همكاران(۲۰۰۷) نشان دهنـده تودهـاي پگماتيتي داراي تركيب متوسط (سينيت تـا سـينوديوريت) به سن***Ma*** ۰/۷۴ ± ۶۰/۵۳ در شمال اسفاجرد (شمال شرق گلپايگان) مي‌باشند كـه در مجـاورت بـا تـوده ميلونيـت- گرانيت ورزنـه بـه سـن***Ma*** ۰/۹ ± ۶۰ (رشـيدنژاد، ۲۰۰۲) رخنمون دارند. همه اين نتايج نشان مي‌دهد يـک ماگمـا با تركيب مافيک تر با ماگمـاي در حـال تفريـق، اخـتلاط حاصل نموده است. وجود دايک‌هاي بازيـک در ميلونيـت گرانيت ورزنه ، يكي از شواهد آغشتگي ماگمـاي اوليـه و آميختگي آن با ماگماي گوشته است. بدين ترتيب كه نفوذ ماگماي گوشته اي به درون پوسـته باعـث ذوب و ايجـاد ماگماي اسيدي شده و سپس ماگماي بازي و اسيدي بهـم آميخته‌اند.

از نظر ژئوديناميكي، در مراحل انتهـايي فـاز كـوهزايي اواخر كرتاسه-پالئوسن، تنشهاي فشاري ناشي از ايـن فـاز (لاراميد) كاهش يافته و در نتيجـه شكـستگي‌هـاي عميـق ايجاد شده است. اين شكستگي‌ها موجب صعود ماگمـاي بازي گوشته به درون پوسته گرديد و به دنبال گـرم شـدن پوسته، ماگماي اسيدي تشكيل شده است. آميختگي ماگما ي بازيک با ماگماي اسيدي انـواع سـنگ‌هـاي نفـوذي را ايجاد كرده است. بررسي توده ميلونيت گرانيـت ورزنـه از ديدگاه زمين ساختي نشان مـي‌دهـد ايـن تـوده اغلـب بـا

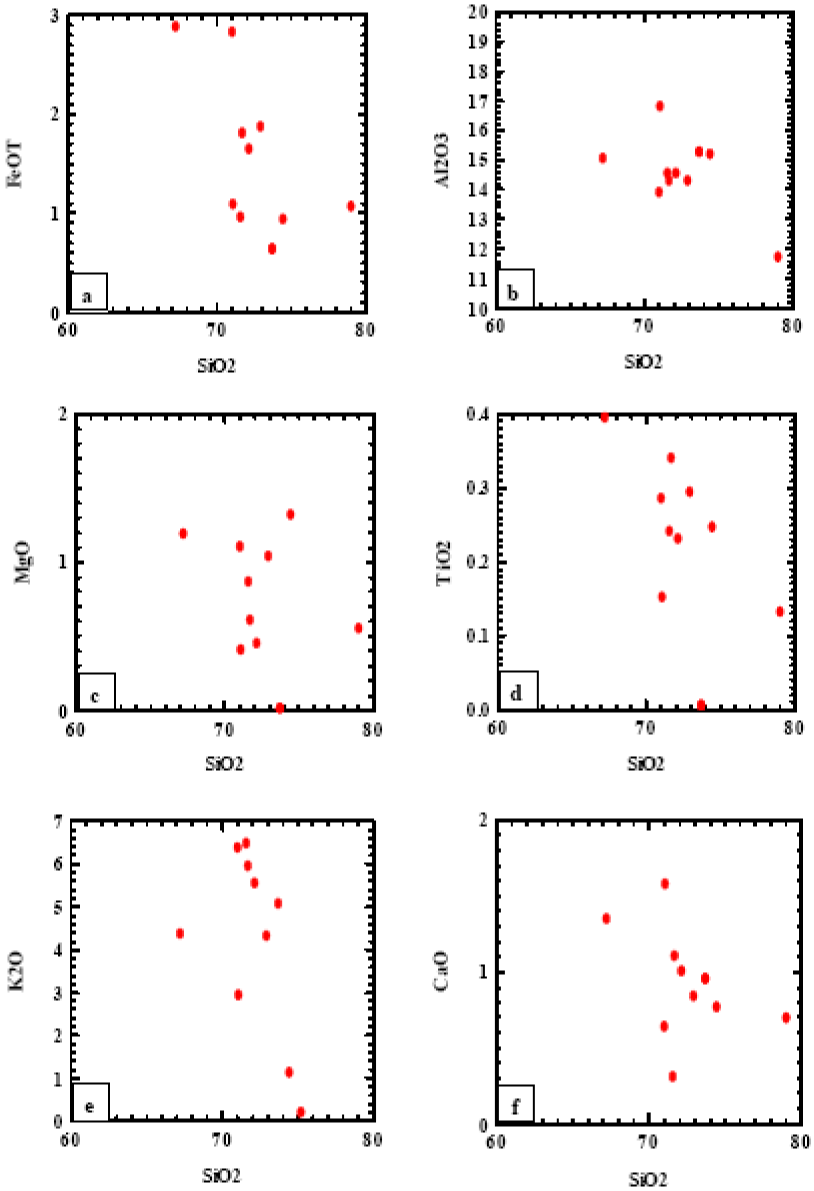
گرانيتوئيدهاي همزمان با برخورد قابل مقايسه مي‌باشد.

جهت تعيين منشاء ميلونيت گرانيت ورزنه از نمودار والن و همکاران(۱۹۸۷) استفاده شده است. در نمودار تغييرات **Y+Ce+Nb+Zr** در برابر $(K_2O+Na_2O)/CaO$ بيشتر نمونه‌هاي مورد مطالعه در محدوده گرانيت‌هاي تفريق يافته(**FG**) تيپ‌هاي **M**، **I** و **S** قرار گرفته‌اند(شکل، ۳). در اين نمودار محدوده **OGT** مربوط به گرانيت‌هاي تفريق نشده تيپ‌هاي **M**، **I** و **S** مي‌باشد. گرانيت‌هاي **A** به لحاظ انديس **Al** از نوع فوق آلکالن، گرانيت‌هاي **S** از نوع فوق آلومينيوم و گرانيت‌هاي **I** و **M** از نوع متاآلومينيوم هستند. بررسي نمودار تغييرات **A/CNK** در مقابل **A/NK** از مانيار وپيکولي(۱۹۸۹) و همچن نمودار تغييرات سيليس در مقابل **A/CNK** از شاند(۱۹۴۷) نشان مي‌دهد، ميلونيت-گرانيت ورزنه از نوع فوق آلومينيوم مي‌باشد. نمودار شاند توسط چاپل و وايت(۱۹۷۴) تکميل گرديد و محدوده‌هاي گرانيت‌هاي **I** و **S** نيز به آن افزوده شد. بر اساس نمودار تکميل شده فوق ميلونيت گرانيت ورزنه از نوع **S** مي‌باشد. منشاء گرانيت‌هاي گروه **S** در پوسته قاره اي است، در صورتي که منشاء گرانيت‌هاي **I** خارج از محدوده پوسته قاره‌ها بوده و نتيجه تفريق مي‌باشد. گرانيت‌هاي نوع **S** در زون تصادم قاره‌ها ديده مي‌شوند و منشاء آنها نتيجه ذوب بخشي سنگ‌هاي پوسته قاره اي است. براي اطمينان از ناحيه منشاء گرانيتوئيدها، مطالعه ايزوتوپ‌هاي راديوژنيک استرونسيم و نئوديميم پيشنهاد مي‌گردد(دي پائولو، ۱۹۸۸).

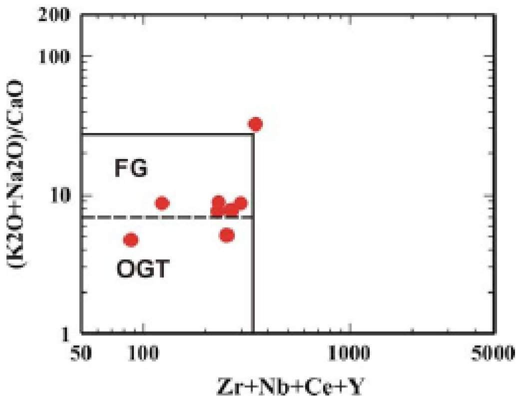
در ادامه بررسي چگونگي تمرکز عناصر اصلي در توده ميلونيت-گرانيت ورزنه به منظور تعيين فرآيندهاي تفريق مذاب- بلور – سيال، نمودار تغييرات $AL_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$ در مقابل $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O)$ از مانيار و پيکولي(۱۹۸۹) را مورد بررسي قرار مي‌دهيم (شکل ۴ **b**). همانگونه که مشاهده مي‌گردد اين نمودار به خوبي روند تفريق در توده فوق را نشان مي‌دهد. آلومينيوم (**Al**) در ماگماهاي اسيدي نقش عمده اي را به عهده دارد. افزايش **Al** در ماگما باعث کاهش دماي ذوب و شروع تبلور مي‌گردد. همچنين باعث افزايش حلاليت آب در ماگما مي‌شود. به همين دليل گرانيت‌ها را بر اساس ميزان (**Al**) به سه گروه زير تقسيم بندي کرده‌اند. (ا) گرانيت‌هاي فوق آلومينيم (**Peraluminous**) که در آنها نسبت **A/CNK>1** و (۲) گرانيت‌هاي متاآلومينيوم (**Metaluminous**) که در آنها **A/CNK<1** و **NK<A<CNK** و (۳) گرانيت‌هاي فوق آلکالن (**Peralkaline**)که در آنها **NK>A** مي‌باشد. در تقسيم بندي فوق تمامي نسبت‌ها بر حسب مول هستند و در آنها ($A=Al_2O_3$, $C= CaO$, $N=Na_2O$, $K= K_2O$).

بررسي محل پيدايش گرانيتوئيدهاي پرآلومينه، متاآلومينه و پرآلکالينه ما را به اين نتيجه مي‌رساند که در حقيقت محيط‌هاي تکتونيکي محتلف به طور وسيعي داراي يک نوع گرانيتوئيد هستند به طوري که هر نوع گرانيتوئيد در محيط تکتونيکي خاصي ايجاد مي‌شود. اما معمولاً اين نتيجه گيري مستلزم حذف انواع ديگرگرانيتوئيدها نمي باشد.

محيط‌هاي تکتونيکي، گستره ترکيبي منشاء‌ها و فرايندهاي خاص خود را دارا هستند که نهايتاً در ترکيب سنگ‌هاي آذرين فلسيک انعکاس مي‌يابند. به طور خلاصه مي‌توان گفت که قطعاً گرانيتو ئيدهاي پرآلومينه با مناطق تصادم قاره اي، گرانيتوئيدهاي متاآلومينه با مناطق تصادم اقيانوس- قاره يا اقيانوس- اقيانوس و گرانيتوئيدهاي پرآلکالينه با مناطق کششي پوسته اي در ارتباطند(کلارک ، ۱۹۹۲).



شکل۲- نمودار تغییرات عناصر اصلی میلونیت -گرانیت ورزنه برای نشان دادن فرایند های تفریق مذاب- بلور- سیال و آلودگی



شکل۳- نمودار تغييرات Y+Ce+Nb+Zr در برابر $(K_2O+Na_2O)/CaO$ جهت تفکيک گرانيت‌هاي تيپ (A)، گرانيت‌هاي تفريق يافته (FG) و گرانيت‌هاي تفريق نشده تيپ‌هاي M، I وS (OGT) از والن و همکاران(۱۹۸۷).

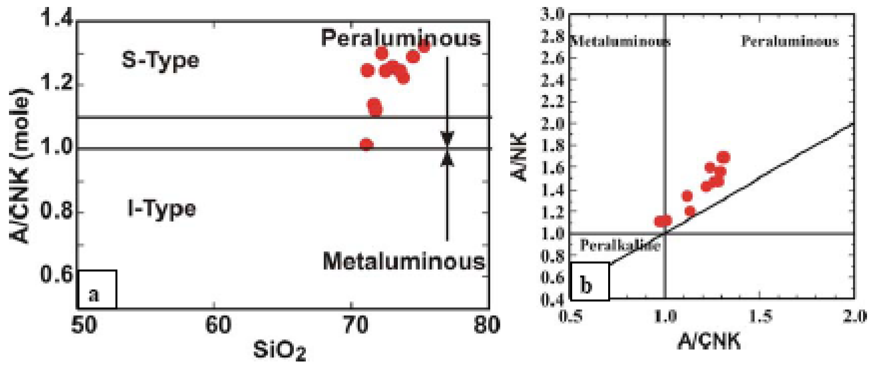
بنابراين با توجه به اينکه ميلونيت گرانيت ورزنه از نوع فوق آلومينيوم مي‌باشد، مي‌توان نتجه گرفت محيط تکتونيکي آنها از نوع مناطق تصادم قاره اي است. مطالعات اخير نشان مي‌دهد مهمترين رخداد دگرشکلي در زون سنندج – سيرجان و از جمله در ناحيه مورد مطالعه مربوط به تصادم قاره اي بين صفحه افريقا – عربي با زون سنندج – سيرجان مي‌باشد. محجل و فرگوسن (۲۰۰۰) و محجل، فرگوسن و سهندي (۲۰۰۳) زمان آغاز اين تصادم را کرتاسه پاياني ذکر مي‌کنند.

بررسي نمودار مثلثي $CaO\text{-}Na_2O\text{-}K_2O$ نشان دهنده کنترل تکامل شيميايي در ميلونيت-گرانيت ورزنه به وسيله از بين رفتن پلاژيوکلاز بازيک است(شکل ۵).

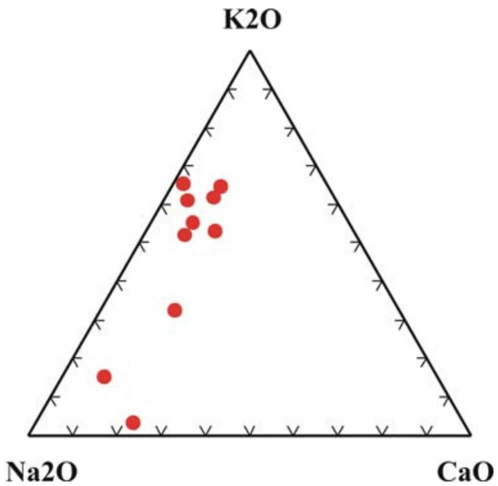
تمرکز عناصر کمياب تابع تمرکز آنها در منشاء، درجه و شيوه ذوب بخشي و تمام فرايندهاي بعدي تفريق مذاب- بلور- سيال است. تغيير در تمرکزهاي عناصر کمياب در تعيين فرايندها بيشتر از تعيين منشاء کاربرد دارد(کلارک، ۱۹۹۲). در اين راستا تغييرات عناصر کمياب را در گرانيت ميلونيت ورزنه مورد بررسي قرار مي‌دهيم.

نمودارهاي تغييرات ***Sr-CaO***، ***Rb-MgO***، $K/Sr\text{-}SiO_2$ و $Ba/Sr\text{-}SiO_2$ براي نشان دادن تغيير همزمان عناصر اصلي و کمياب جهت تشخيص فرآيندهاي تفريق به کار برده شده‌اند(شکل ۶). حال در ادامه به بحث پيرامون روندهاي ارائه شده در اين دياگرام‌ها مي‌پردازيم.

بررسي استرانسيم نشان دهنده آن است که اين عنصر به شدت در پلاژيوکلاز متمرکز است . بررسي نمودار ***CaO-Sr*** (***۶a***) نشان مي‌دهد که به علت عدم تطابق خطي بين استرانسيم و ميزان***CaO***، و نقاط خارج از روند، علاوه بر تفريق (***Fractionation***) پلاژيوکلاز در توده گرانيتوئيدي شمال ورزنه ، چندين فرايند غير از کنترل کننده‌هاي اصلي، در ترکيب گرانيت‌ها نقش داشته‌اند. زيرا استرانسيم عنصري است که معمولاً جانشين کلسيم در پلاژيوکلاز مي‌گردد. بنابراين بايد با افزايش***CaO*** مقدار***Sr*** افزايش يابد اما در نمودار ***۶a*** چنين پديده اي مشاهده نمي‌شود.



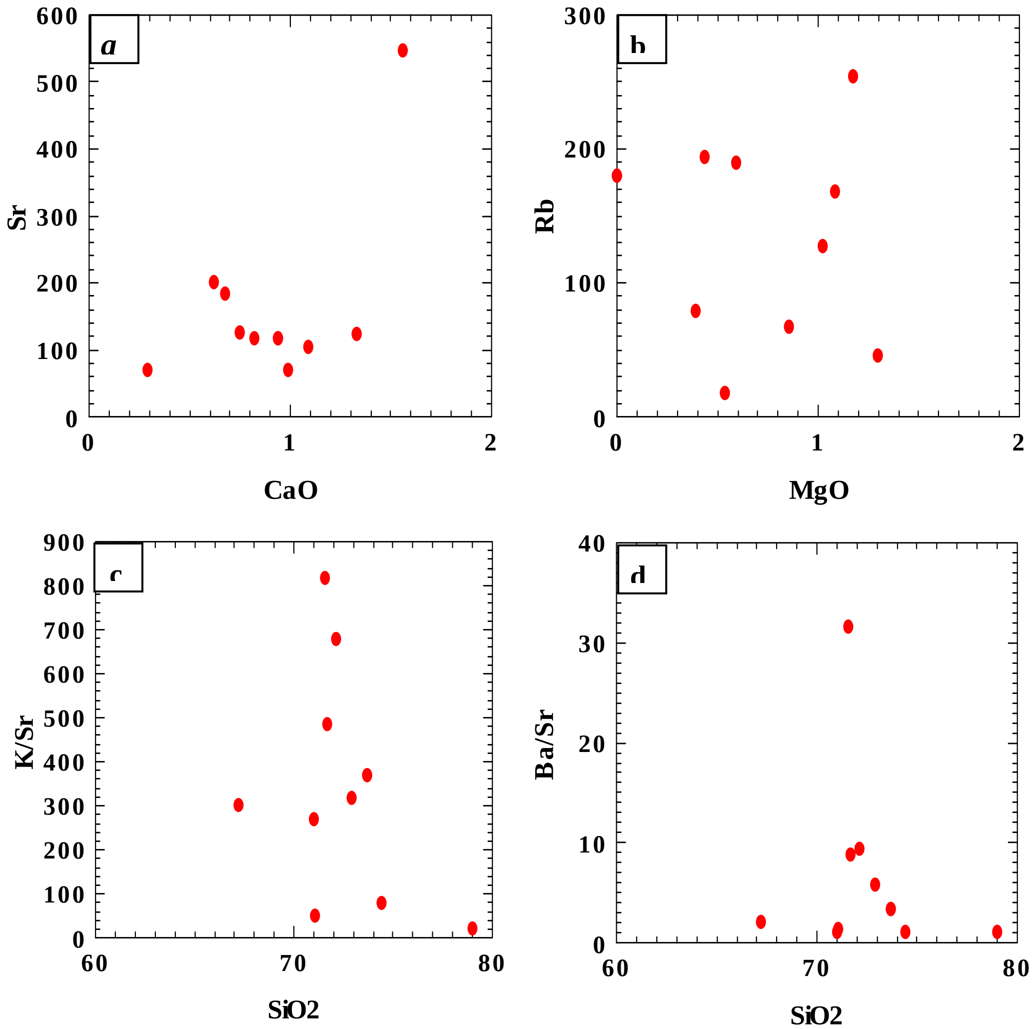
شکل۴- بررسي تمرکز عناصر اصلي در توده ميلونيت-گرانيت ورزنه به منظور تعيين انديس **Al** و تعيين منشاء.
a- نمايش تغييرات**A/CNK** در مقابل سيليس (چاپل و وايت، ۱۹۷۴) نشان دهنده منشاء رسوبي ميلونيت-گرانيت ورزنه است. **b**- نمايش تغييرات **A/NK** در مقابل **A/CNK** نشان مي‌دهد ميلونيت- گرانيت ورزنه پرآلومينوس است همچنين بر اساس نمودار فوق مي‌توان نتيجه گرفت اين سنگ‌ها بعنوان محصول تفريق ماگمايي مي‌باشند (مانيار و پيکولي، ۱۹۸۹).



شکل۵- نمودار مثلثي **CaO-Na_2O-K_2O** براي نشان دادن نحوه تکامل شيميايي در ميلونيت گرانيت-ورزنه.
نمودارمثلثي **CaO-Na_2O-K_2O** نشان مي‌دهد که تکامل شيميايي در توده نفوذي بوسيله از بين رفتن پلاژيوکلاز بازيک کنترل مي‌گردد.

يکـي از نمودارهـايي کـه اغلـب مـي‌توانـد بـه جـاي نمودارهاي هارکر به کار رود، نمودار تغييرات عناصـر در مقابل ***MgO*** به جاي ***SiO_2*** است. به طور کلي با کاهش ***MgO***مقدار روبيديوم***(Rb)*** افزايش مي‌يابد ولـي در نمـودار تغييرات روبيديوم در مقابل ***MgO*** در منطقه شـمال ورزنـه (نمودار ***b*** ۶)، با کاهش ***MgO*** ميزان روبيديوم نيز کـاهش يافته است.

اين نمودار نيز نشان مي‌دهد فرايندهاي ديگري عـلاوه بر تفريق بر ترکيـب شـيميايي و کـاني شناسـي ميلونيـت گرانيت ورزنه موثربوده‌اند. در منطقه مورد مطالعه احتمـالاً اختلاط ماگمايي ناشي از توده بازيکتر با ميلونيت گرانيـت ورزنه باعث افزايش منيزيم گرديـــده است. لازم بـه ذکـر



شکل۶- نمودار تغييرات عناصر اصلي- کمياب براي نشان دادن تغيير همزمان عناصر اصلي و کمياب و همچنين شرح رفتار آنها براي تشخيص فرآيندهاي تفريق .

است بيشترين مقدار *MgO* در ميلونيت-گرانيت‌هاي غني از بيوتيت وکمترين مقدار آن در ميلونيت-گرانيت‌هاي فاقد بيوتيت مي‌باشد.

تغييرات *K/Sr* نسبت به افزايش SiO_2 ابتدا داراي روند صعودي و سپس داراي روند نزولي است (شکل *c* ۶). روند تغييرات K_2O در مقابل SiO_2 درحين تفريق بايد اصولاً خطي و صعودي باشد. زيرا در سنگ‌هاي اسيد از جمله گرانيت‌ها همراه با ساخته شدن فلدسپات پتاسيک، K_2O وارد ساختمان آنها شده و با روند تفريق افزايش مي‌يابد.

همچنين K_2O در ساختن موسکويت و به مقدار کمتر بيوتيت مصرف مي‌گردد. لذا با ادامه تفريق ميزان K_2O بايد افزايش يابد که چنين نيست. زيرا احتمالاً به علت اختلاط يک ماگماي بازيکتر در حين تفريق روند تغييرات

Sr نسبت به افزايش SiO_2 در منطقه سير صعودي يافته است. لذا پس از اختلاط دو ماگما با بزرگ شدن مخرج کسر روند تغييرات *K/Sr* نسبت به افزايش مقدار سيليس سير نزولي را نشان مي‌دهد.

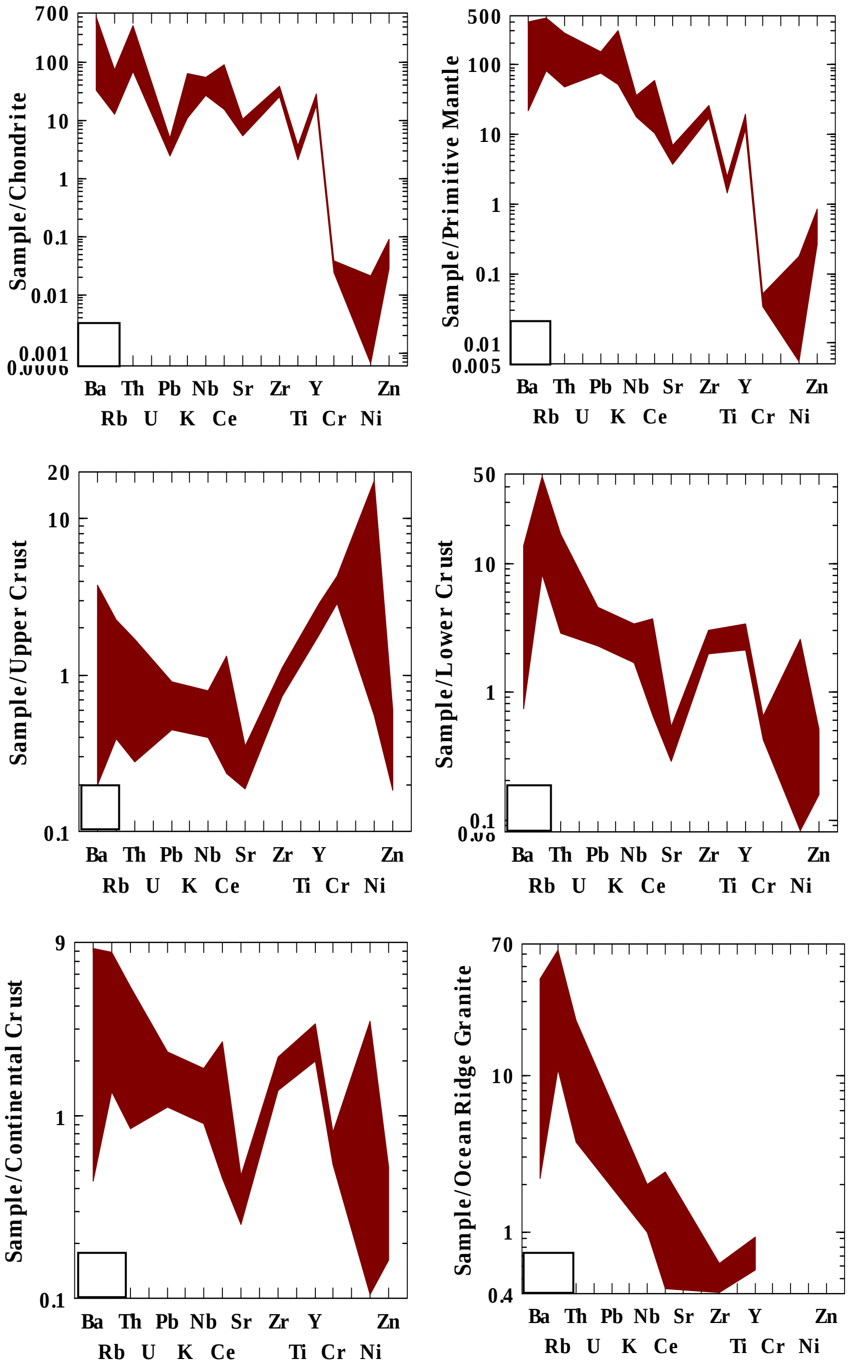
تغييرات*Ba/Sr* نسبت به افزايشSiO_2 داراي روند نزولي است (شکل *۶d*). زيرا روند تغييرات *Sr* نسبت به افزايش SiO_2 در منطقه بر خلاف روند تفريق سير صعودي را نشان مي‌دهد. اين فرايند مي‌تواند باعث کاهش *Ba/Sr* نسبت به افزايشSiO_2 گردد. زيرا همانگونه که بيان گرديد استرانسيم عنصري است که معمولاً جانشين کلسيم در پلاژيوکلاز مي‌گردد. بنابراين با افزايشSiO_2 بايد مقدار *Ca*و در نتيجه *Sr* کاهش يابد. لذا بايد روند تغييرات*Ba/Sr* نسبت به افزايش مقدار سيليس سير صعودي نشان دهد، که چنين نيست. اين پديده نشان مي‌دهد که چندين فرايند غير از کنترل کننده‌هاي اصلي، در ترکيب گرانيت‌ها نقش داشته‌اند. براي مثال تزريق يک ماگماي بازيکتر در حين تبلور ماگماي گرانيتي مي‌تواند باعث افزايش *Ca* و در نتيجه افزايش *Sr* گردد. به عبارت ديگر با افزايشSiO_2 مقدار*Sr* افزايش يافته، با بزرگ شدن مخرج کسرمقدار *Ba/Sr* کاهش مي‌يابد و لذا روند تغييرات*Ba/Sr* نسبت به افزايش مقدار سيليس سير نزولي نشان مي‌دهد.

براي تعيين فرايندهاي ژئوشيميايي خاص و شناسايي منشاء، از عناصر کمياب استفاده مي‌شود. نسبت اين عناصر در اثر فرايندهاي دياژنز و دگرگوني تغيير نمي کند. اين عناصر به دليل کاهش يکنواخت اندازه يوني با افزايش عدد اتمي داراي اختلاف کوچکي در رفتارهاي شيميايي خود هستند، اين اختلاف کوچک باعث مي‌شود که اين عناصر توسط برخي فرايندهاي زمين شناسي از يکديگر تفکيک شوند. از اين پديده(تفکيک *REE*) در ژئوشيمي استفاده کرده و بدين طريق مي‌توان به ژنز مجموعه‌هاي سنگي و ماهيت فرايندهاي زمين شناسي پي برد(رولينسون، ۱۹۹۲).

نمودارهاي عنکبوتي با يک نگاه امکان مقايسه با هر ترکيب ديگر که معمولاً يک استاندارد عمومي است را فراهم مي‌سازند. نمودار فراواني عناصر کمياب در ميلونيت – گرانيت ورزنه نسبت به کندريت نرماليز شده است. تامپسون(۱۹۸۲) پيشنهاد کرد که داده‌ها نسبت به کندريت نرماليز شوند، چراکه ترکيب کندريت‌ها مستقيماً اندازه گيري شده در صورتي که ترکيب گوشته اوليه تخميني است. همانطور که انتظار مي‌رود عناصر ليتوفيل با شعاع يوني بزرگ *(LILS)* غني شدگي و عناصر با محدوده قدرت وسيع *(HFS)* در مقايسه با کندريت غني شدگي کمتري را نشان مي‌دهند(شکل *۷a*) .

براي تفسير مراحل تکامل فرآيندهاي تفريق يا حتي منشاء ميلونيت گرانيت شمال ورزنه از نمودارهاي چند عنصري در اين تحقيق استفاده شده است. اين نمودارها نسبت به نمودارهاي *REE* داراي مخلوط ناهمگني از انواع عناصر کمياب هستند. لذا تعداد پستي و بلندي‌هاي بيشتري در آنها ديده مي‌شود که نشانگر رفتار متفاوت گروه‌هاي مختلف عناصر کمياب (عناصر متحرک، عناصر کم تحرک و فلزات واسطه) است.

بررسي الگوهاي عناصر کمياب نرماليز شده نسبت به کندريت، پوسته قاره اي،گرانيت ميان اقيانوسي و گوشته و همچنين بررسي روندهاي تغيير در مجموعه ميلونيت-گرانيت ورزنه نشان مي‌دهد که احتمالاً توده نفوذي فوق از منشاء پوسته قاره اي فوقاني است (شکل۷). از آنجا که مقادير تمام عناصر براي نرماليز در دسترس نبود از نمودارهاي خلاصه شده(يعني بدون عناصري که غلظتشان معلوم نيست) استفاده شده است. لذا برخي آنومالي‌هاي



شکل۷- فراواني عناصر کمياب در ميلونيت-گرانيت ورزنه که نسبت به کندريت، گوشته اوليه، پوسته فوقاني، پوسته تحتاني، پوسته قاره اي و گرانيت ميان اقيانوسي نرماليز شده‌اند. براي مدل کندريتي ازمقاديرنرماليزکننده سان و مک دوناف (۱۹۸۹) براي گوشته اوليه از مقادير وود و همکاران(۱۹۷۹)، براي مدل ميانگين پوسته قاره اي تحتاني از ويور و تارني(۱۹۸۴)، براي مدل پوسته قاره اي فو قاني از تيلور و مک لنن (۱۹۸۱)، براي مدل ميانگين پوسته قاره اي از تيلور و مک لنن (۱۹۸۵) و براي گرانيت‌هاي پشته اقيانوسي از پيرس و همکاران (۱۹۸۴) براي ميلونيت گرانيت‌هاي شمال ورزنه استفاده شده است.

غير واقعي در اثر نبودن چند عنصر در اين نمودارها ظـاهر شده است.

آنومالي منفـي عناصـر *Ba* ، *Ce*، *Sr* و *Rb* در نمودارهـاي چند عنصري ميلونيت – گرانيت ورزنه نشان دهنـده متحـرک بودن عناصر فوق مي‌باشد(شکل۷). همچنين آنومالي منفـي*Nb* شاخص سنگ‌هاي قـاره اي اسـت و مـي‌توانـد نـشان دهنـده شرکت پوسته در فرايندهاي ماگمايي باشد.

غلظت سـاير عناصـر کميـاب در ميلونيـت- گرانيـت ورزنه توسط کاني‌هاي مخصوص کنترل شده است. بـراي مثال غلظت *Zr* به وسيله زيرکن، *P* توسط آپاتيت، *Sr* بـه وسيله پلاژيـوکلاز و *Ti* و *Nb* توسـط ايلمنيـت و روتيـل، غلظت عناصـر*Rb*، *Cs*، *Ba* و *Na* توسـط فلدسـپات هـا، همچنـين غلظـت عناصـر *Cr*، *Co* ، *Ti*، *Fe* و *Mg* توسـط کاني‌هاي فرومنيزين از جمله بيوتيت کنترل شده‌اند.

نتيجه گيري

۱ – بر اساس نمودار تغييرات اکسيدهاي عناصراصـلي در مقابل سيليس در ميلونيت گرانيت ورزنه، تغييراتـي در تمرکـز و روند تغييرات اکسيدهاي عناصر اصـلي مـشاهده مـي‌شـود، ايـن تغييـرات، فرآينـدهاي تفريـق مـذاب – بلـور – سـيال، اختلاط با ماگماي بازيکتر و آلودگي را منعکس مي‌کند.

۲ – در حاليکـه بـر اسـاس نمـودار تغييـرات *Rb* در مقابل*MgO* ويا تغييرات *Sr* در مقابل *CaO* در منطقه شمال ورزنه، به طور کلي بايد با کاهش *MgO* مقدار*Rb* افـزايش يابد و يا با کاهش*CaO* مقدار*Sr* کاهش يابـد. تغييراتـي در تمرکز و روند تغييرات عناصر کمياب مـشاهده مـي‌گـردد. با توجه به مطالعات صحرايي، پتروگرافـي و سـن سـنجي مي‌توان نتيجه گرفت اين تغييـرات مـي‌توانـد احتمـالاً در نتيجه تزريق يک ماگماي بازيکتر در حين تبلـور ماگمـاي گرانيتوئيدي در منطقه باشد.

۳ – بر اساس نمودارهاي عنکبوتي مربوط بـه نرمـاليز شدن ميلونيت گرانيت شمال ورزنه نسبت بـه کنـدريت و جبه اوليه زمين، همانطور که انتظار مي‌رود عناصر ليتوفيـل با شعاع يوني بـزرگ (*LIL*) غنـي شـدگي و عناصـر بـا محدوده قدرت

وسيع(*HFS*) غني شدگي کمتري را نشان مـي‌دهنـد و نيز نمودار عنکبوتي فوق نسبت بـه کنـدريت بيـان کننـده انتقـال ترجيحـي عناصـرکمياب خـاک‌هـاي نـادر سـبک مي‌باشد.

۴- بر اساس نمودارهاي عنکبـوتي، ميلونيـت گرانيـت ورزنه آنومالي منفي *Nb* را نشان مي‌دهد. با توجه به اينکـه آنومالي منفي*Nb* شاخص سنگ‌هـاي قـاره اي اسـت. ايـن مشخصه مي‌تواند نشان دهنده شرکت پوسته در فرايندهاي ماگمايي باشد.

۵- باتوجه به نمودارتغييرات *A/NK* در مقابـل *A/CNK* علاوه برتفريق مي‌توان نتيجـه گرفـت ميلونيـت- گرانيـت ورزنه از نوع پرآلومينوس بوده و لذا قطعاً با مناطق تصادم قاره اي در ارتباط مي‌باشد.

۶- در منطقه گلپايگان در شمال روستاي ورزنـه، بـه دليل حضور فـشار جهـت دار در طـي تبلـور، حاصـل از عملکرد فاز کوهزايي اواخر کرتاسـه –پالئوسـن (لارامیـد) که ناشي از تصادم قاره اي بين صفحه افريقا – عربـي بـا زون سنندج – سيرجان است، محصول نهايي تبلور مذاب حاصل از رسوبات حاوي کوارتز و فلدسپات يك گرانيت ميلونيتي است.

تشکر و قدرداني

بدينوسـيله ازمـديريت تحـصيلات تکميلـي دانـشگاه اصفهان به واسطه حمايت مـالي از ايـن تحقيـق تـشکر و قدرداني مي‌گردد.

منابع

۱- صبا، علي اكبر، ۱۳۷۸، تحليل ساختاري توده‌هاي نفوذي همزمان با دگرشكلي در شمال ورزنه(شمال خاور گلپايگان)، پايان نامه كارشناسي ارشد، دانشگاه تربيت مدرس، ۱۰۱صفحه.

2- H., Blatt, R.J., Tracy, Petrology igneous, sedimentary, and metamorphic: Freeman and Company, 529pp; (1996).

3- B.W., Chappell, A.J.R., White, Two contrasting granite types. Paciffic Geology 8, 173-174pp.

4- Clark, D.B., 1992. Granitoid rocks. Chapman and Hall, 283pp; (1974).

5- D.J., De Paolo Neodymium isotope geochemistry, An introduction. Springer Verlag, New York; (1988).

6- A., Harker, The natural history of igneous rocks. Macmillian, New York; (1909).

7- P.D., Maniar, P.M., Piccoli, Tectonic discrimination of granitoids. Journal of Geological Society America Bulletin 101, 635-642pp; (1989).

8- M., Mohajjel, C.L., Fergusson, Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Structural Geology 22, 1125-1139pp; (2000).

9- M., Mohajjel, C.L., Fergusson, M.R., Sahandi, Cretaceous-Tertiary convergence and continental collision, Sanandaj-Sirjan Zone, western Iran. Journal of Asian Earth Sciences 21, 397-412pp; (2003).

10- R., Moritz, F., Ghazban, B.S., Singer, Eocene gold ore formation at Muteh, Sanandaj-Sirjan tectonic zone, Western Iran: A result of late-stage extension and exhumation of metamorphic basement rocks within the Zagros Orogen. Economic Geology 101, 1497-1524pp; (2006).

11- N., Rachidnejad-Omran, Petrology and geochemistry of meta volcano-sedimentary and plutonic rocks of Muteh area with special respect to genesis of gold mineralization, south Delijan, SSW of Tehran, Iran, Thesis, University of Tarbiat Modares, 420pp. (Unpublished); (2002).

12- J.A., Pearce, N.B.W., Harris, A.G., Tindle, Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology 25, 956-983pp; (1984).

13- H.R., Rollinson, Another look at the constant sum problem in geochemistry. Mineral. Magazine 56, 469-475pp; (1992).

14- H.R., Rollinson, Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. New York, John Wiley and Sons. 352p; (1993).

15- Shand, S.J., 1947, Eruptive rocks: T. Murby, London, 488pp.

16- S.S., Sun, W.F., Mc Donough Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders A.D. and Norry M.J. (eds.), Magmatism in ocean basins. Geological Society of London, Special Publication 42, 313-345pp; (1989).

17- S.R., Taylor, S.M., Mclennan, The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rock. Phil. Trans. R. Soc., A301, 381-399pp; (1981).

18- S.R., Taylor, S.M., Mclennan, The continental crust: its composition and evolution: Blackwell, Oxford, 312pp; (1985).

19- O., Thiele, M., Alavi-Naini, R., Assefi, A., Hushmand –Zadeh, K., Seyed-Emami, M., Zahedi Explanatory text of the Golpaygan quadrangle map1:250000: Geological Survey of Iran, Geological Quadrangle E7, 24pp; (1968).

20- J.B., Whalen, K.L., Currie, B.W., Chappell, A-type granite: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis, Cont. Min. Petrol. 95, 407-419pp; (1987).

21- B., Weaver, J., Tarney, Empirical approach to estimating the composition of the continental crust. Nature 310, 575-577; (1984).

22- D.A., Wood, J., Tarney, J., Varet, A.D., Saunders H., Bougault, J.L., Joron, M., Treuil, J.R., Cann, Geochemistry of basalts drilled in the North Atlantic by IPOD Leg49: implications for mantle heterogeneity. Earth Planet. Sci. Lett. 42, 77-97pp; (1979).