

## **Petrology and Geochemistry of Shakh Sefid Granitoid and related skarn in the North of Rayen (southeastern of Kerman)**

**Habib Biabangard\*, Samaneh Sepehr and Mohammad Boomeri**

Department of Geology, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

### **Abstract**

The Shakh Sefid Granitoid pluton and related Skarn are located 80 Km in the southeastern of Kerman and 20 Km north of Rayen. This area is geologically located in the southeastern of the Lut block in the Central Iran. The Shakh Sefid Granitoid with Eocene-Oligocene age cuts the Cretaceous sedimentary rocks and led to the formation of Skarn. The granitoids are granite and granodiorite in composition composing of quartz, plagioclase, orthoclase, as primary minerals, biotite as minor and chlorite and sericite as secondary minerals. The sedimentary rocks are shale, sandstone, siltstone and limestone. Metamorphic rocks are marble and Skarns. The Skarn is calcic type. Garnet (grossular-andradite), tremolite and magnetite are the main minerals that are often accompanied with hematite, goethite and limonite. Pyrite, chalcopyrite and copper carbonate (malachite and azurite) are the other minerals in Skarn. Geochemical studies show that the amount of major and minor elements of granitoid with increasing SiO<sub>2</sub> content do not change due to the uniform mass, low dispersion of elements which result from heterogeneous textures and low alteration zone. Spider diagrams from minor elements normalized to Chondrite and primitive mantle show enrichment of all elements except for Ti, positive anomalies of Th, Pb and negative anomalies of Ti, P and Sr for the Sakh Sefid granitoids are probably due to crustal contamination. They are enriched in light rare earth elements (LREE) between 10 to 100 times and heavy elements (HREE) enrichment between 1 to 10 times compared to the reference (chondrite) and regular pattern with approximately the same slope, the parallel trends indicate that the granitoid rocks share a common source rock. The Shakh Sefid granitoid is I-type, metaluminous to peraluminous belonging to an active continental margin. Mineral and Mineralization in Kuh Shakh Sefid skarn is remarkably similar to iron skarn deposits. Minerals such as garnet and magnetite were formed in an anhydrous prograde stage at T<470°C and  $fO_2$  10<sup>-21</sup> to 10<sup>-24</sup> oxygen Fugacity and minerals such as epidote, tremolite, calcite and quartz were formed in a retrograde stage at T<450°C and about  $fO_2$  10<sup>-21</sup> oxygen Fugacity.

**Key words:** Shakh Sefid Granitoid, Skarn, Iron mineralization, Kerman

\* h.biabangard@science.usb.ac.ir

## سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی گرانیتوئید و اسکارن آهن کوه شاخ‌سفید در شمال راین (جنوب‌خاوری کرمان)

حبیب بیابانگرد\*، سمانه سپهر و محمد بومری

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

### چکیده

توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید و اسکارن وابسته به آن در ۷۰ کیلومتری جنوب‌خاوری کرمان جای دارد و از دیدگاه زمین‌شناسی، در پهنه ایران مرکزی و حاشیه جنوبی بلوک لوت است. این توده به سن پالئوژن (اوسن-الیگوسن) درون سنگ‌های رسوبی منطقه به سن کرتاسه نفوذ کرده و در آنها اسکارن پدید آورده است. ترکیب سنگ‌شناسی توده یکنواخت و بیشتر از گرانیت و گرانودیوریت است. کوارتز، پلاژیوکلاز، ارتوکلاز از کانی‌های اصلی، بیوتیت کانی فرعی و کلریت و سریسیت از کانی‌های ثانویه این سنگ‌ها هستند. شیل، ماسه‌سنگ، سیلتستون و سنگ‌آهک و سنگ‌های دگرگونه مرمر و اسکارن‌ها سنگ‌های رسوبی هستند که میزبان توده آذرین هستند. اسکارن‌ها از نوع کلسیک بوده و کانی‌های اصلی آن‌ها گارنتِ گروسولار - آندرادیت، ترمولیت، منیتیت، به‌همراه هماتیت، گوتیت و لیمونیت هستند. پیریت، کالکوپیریت و کربنات‌های مس (مالاکیت، آزوریت) از دیگر کانی‌های اسکارنی هستند. بررسی‌های زمین‌شیمیایی عنصرهای اصلی و فرعی در این توده گرانیتوئیدی نشان می‌دهد با افزایش مقدار  $\text{SiO}_2$ ، تغییرات چندانی در مقدار اکسیدهای دیگر دیده نمی‌شود؛ زیرا ترکیب توده یکنواختی داشته و پراکندگی برخی عنصرها پیامد بافت‌های ناهمگن و دگرسانی‌های منطقه است. نمودارهای عنکبوتی، عنصرهای فرعی به‌نکار شده به ترکیب کندریت و گوشته اولیه، غنی‌شدگی از بیشتر عنصرها، به‌ویژه عنصرهای Th و Pb و آنومالی منفی Ti، P و Sr در توده گرانیتوئیدی را نشان می‌دهند. این ویژگی‌ها شاید پیامد تأثیر آرایش پوسته‌ای روی توده یادشده باشد. غنی‌شدگی از عنصرهای خاکی نادر سبک (LREE) ۱۰ تا ۱۰۰ برابر و عنصرهای خاکی نادر سنگین (HREE) ۱ تا ۱۰ برابر غنی‌شدگی تر از ترکیب مرجع (کندریت)، همچنین، الگوی منظم با شیب کمابیش یکسان، روند موازی و همانند آنها نشان‌دهنده خاستگاه یکسان سنگ‌های سازنده توده هستند. توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید از نوع I، متالومین تا پرآلومین هستند و از دیدگاه جایگاه زمین‌ساختی به پهنه حاشیه فعال قاره‌ای وابستگی نشان می‌دهد. کانی و کانه‌زایی اسکارن کوه شاخ‌سفید به کانسارهای اسکارنی نوع آهن شباهت چشمگیری دارد. کانی‌های بی‌آب مانند گارنت و منیتیت در مرحله‌های پیش‌رونده و در دماهای کمتر از ۴۷۰ درجه سانتیگراد، در محدوده گریزندگی اکسیژن  $10^{-23}$  تا  $10^{-30}$  و کانی‌های اپیدوت، ترمولیت، کلریت، کلسیت و کوارتز در مرحله پس‌رونده و در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن سیال نزدیک به  $10^{-23}$  در این اسکارن پدید آمده‌اند.

واژه‌های کلیدی: گرانیتوئید، اسکارن، کانه‌زایی آهن، کوه شاخ‌سفید، کرمان

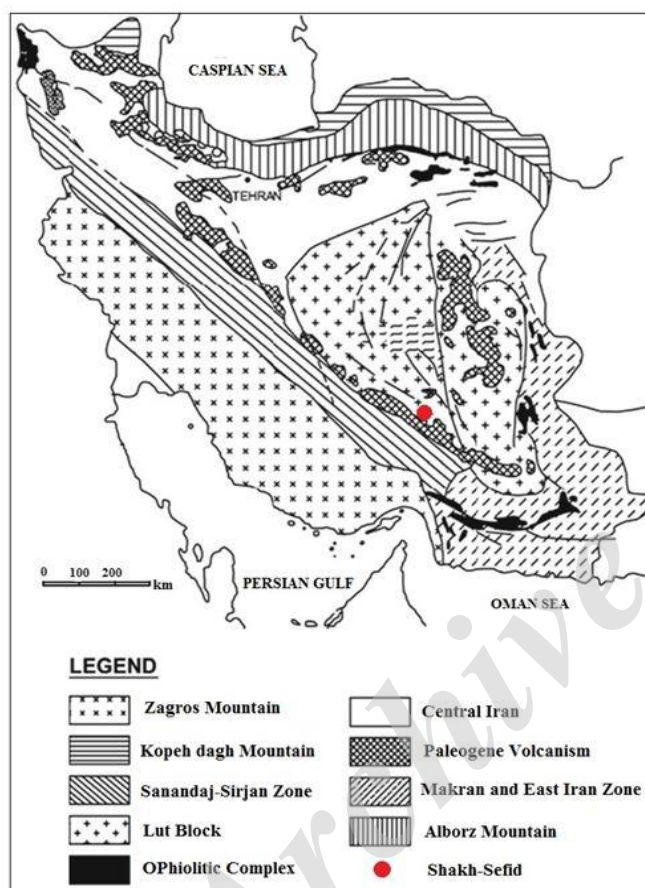
\* h.biabangard@science.usb.ac.ir

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they cannot change it in any way or use it commercially.

## مقدمه

رخنمون دارد. برپایه بررسی‌های Stöcklin (۱۹۷۷)، (۱۹۶۸) و از دیدگاه پهنه‌بندی زمین‌شناسی ایران، این منطقه در پهنه ایران مرکزی و حاشیه جنوبی بلوک لوت (شکل ۱) و در پهنه‌بندی زمین‌شناسی استان کرمان، در بلوک جوپار جای دارد (Dimitrijevic, 1973).

توده گرانیتوییدی کوه شاخ‌سفید در فاصله ۷۰ کیلومتری جنوب‌خاوری کرمان و ۲۰ کیلومتری شمال شهر راین، در طول جغرافیایی  $57^{\circ} 18'$  تا  $57^{\circ} 21'$  شمالی و عرض جغرافیایی  $29^{\circ} 46'$  تا  $29^{\circ} 48'$  شمالی



شکل ۱- مهم‌ترین پهنه‌های رسوبی-ساختاری ایران Stöcklin (۱۹۶۸، ۱۹۷۷) و محدوده کوه شاخ‌سفید در جنوب‌خاوری ایران مرکزی و در مرز بلوک لوت

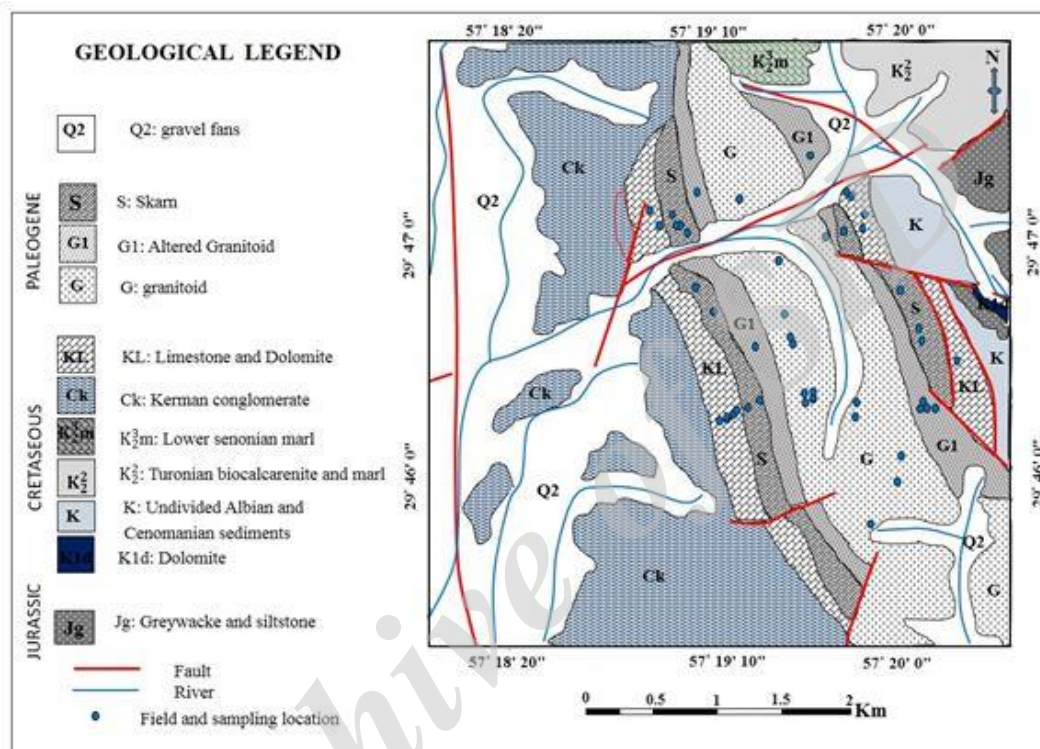
بررسی‌های پیشین روی توده کوه شاخ‌سفید تنها به تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ راین به‌دست Djokovic و همکاران (۱۹۵۹)؛ با نظارت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) محدود شده‌اند؛ اما بررسی‌های سنگ‌شناختی این توده و اسکارن آهن مرتبط با آن، برای نخستین‌بار انجام می‌گیرد. در این نوشتار تلاش شده است ویژگی‌های گوناگون سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی توده گرانیتوییدی و اسکارن آهن مرتبط با آن بررسی شود.

از زمان پرکامبرین پسین تا تریاس میانی، بخش‌های شمالی و جنوبی ایران مرکزی یک سکو بوده‌اند (Stöcklin, 1977) و پس از آن، این دو صفحه از یکدیگر جدا شده‌اند. ایران مرکزی پس از جدایش، به سوی شمال‌خاوری جابجا شده و پس از برخورد با ابرقاره اوراسیا و بستن اقیانوس تتیس کهن، بخشی از اوراسیا شده است. از کرتاسه پسین، ایران مرکزی به‌دنبال بسته‌شدن تتیس جوان میان دو کمر بند زاگرس و کپهداغ به دام افتاده است (Berberian, 1983).

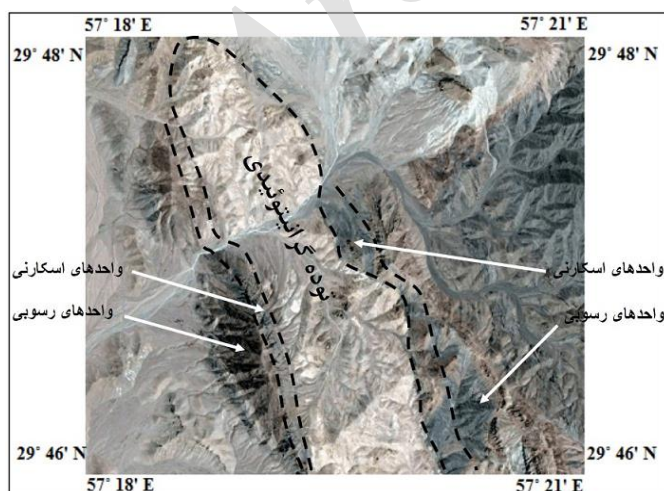
## زمین‌شناسی منطقه

برپایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ راین (Djokovic *et al.*, 1959)، بررسی‌های صحرایی و تصویرهای ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ از این منطقه رسم شد (شکل ۲). واحدها از قدیم به

جدید، عبارتند از: سنگ‌های رسوبی، کنگلومرای کرمان، گرانیتوئید کوه شاخ‌سفید و نهشته‌های جوان کواترنری (شکل ۲). در شکل ۳، توده گرانیتی و واحدهای پیرامون آن در تصویر ماهواره‌ای نشان داده شده است.



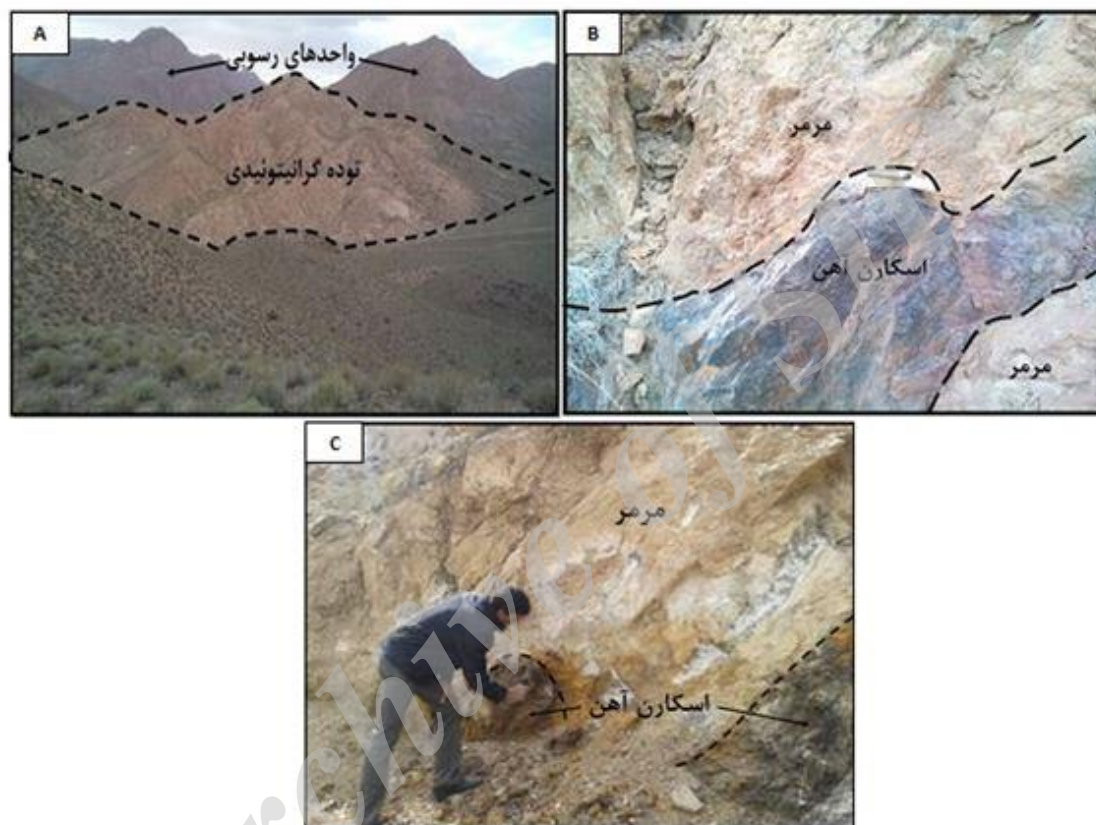
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ گرانیتوئید کوه شاخ‌سفید برپایه بررسی‌های صحرایی و تصویرهای ماهواره‌ای



شکل ۳- تصویر ماهواره‌ای از توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) و بخش‌های پیرامون آن

است. این توده دارای ترکیب گرانیت، گرانودیوریت، و گرانیت گنیس است (شکل ۴- A). نفوذ این توده آذرین، دگرگونی سنگ‌های رسوبی و اسکارن‌زایی در آن‌ها را در پی داشته است (شکل‌های ۴- B و ۴- C).

روند عمومی این توده شمال‌باختری- جنوب‌خاوری بوده و درازای آن نزدیک به ۳/۵ کیلومتر و پهنای آن ۱/۲ کیلومتر است. توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید به شکل عدسی در میان مجموعه‌های رسوبی جای‌گیری کرده



شکل ۴- جایگاه توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری): (A) در میان مجموعه‌های رسوبی؛ (B) اسکارن‌های آهن‌دار به صورت زبانه‌ای و کشیده در داخل واحدهای مرمری؛ (C) اسکارن‌های آهن‌دار به صورت توده‌ای و پراکنده درون مجموعه‌های رسوبی و مرمری منطقه (اکسیدهای آهن به رنگ‌های زرد، قرمز، قهوه‌ای و لیمویی به‌خوبی دیده می‌شوند)

نمونه رسوبی و ۹ نمونه اسکارنی) برگزیده شد. برای اندازه‌گیری فراوانی عنصرهای اصلی به روش XRF (برپایه درصد وزنی) و عنصرهای فرعی و خاکی نادر به روش ICP-MS (برپایه ppm) به آزمایشگاه زرازمای ماهان در کرمان فرستاده و تجزیه شدند (جدول‌های ۱ و ۲).

### روش انجام پژوهش

پس از بررسی‌های نخستین سنگ‌های گوناگون در چندین بازدید میدانی، شمار ۹۳ نمونه سنگی برداشت شد. سپس از آنها مقاطع نازک و صیقلی ساخته و بررسی دقیق سنگ‌نگاری روی آنها انجام شد. از میان آنها، شمار ۲۵ نمونه (۱۳ نمونه گرانیتوئیدی، ۳

جدول ۱- داده‌های زمین‌شیمیایی به‌دست‌آمده از تجزیه نمونه‌های سنگی گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) پس از تصحیح (عنصرهای اصلی به روش XRF و بر پایه درصد وزنی و عنصرهای فرعی و کمیاب به روش ICP و بر پایه ppm به‌دست آمده‌اند)

Sample No.	SS-27	SS-28	SS-29	SS-43	SS-44	SS-45	SS-48	54	55	57	60	62	71
SiO <sub>2</sub>	74.33	74.45	73.99	73.4	74.84	75.48	76.59	74.11	74.54	74.79	74.77	75.48	75.93
TiO <sub>2</sub>	0.04	0.03	0.04	0.08	0.09	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.06	0.06	0.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.21	13.99	14.25	14.43	14.16	14.46	14.06	13.89	14.02	14	14.47	14.5	14.3
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
FeO <sub>t</sub>	1.44	1.36	1.4	1.49	0.92	1.22	0.53	1.65	1.37	1.3	0.63	0.87	1.07
MnO	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
MgO	0.09	0.12	0.05	0.22	0.05	0.08	0.03	0.15	0.06	0.06	0.03	0.07	0.04
CaO	0.85	1.04	0.73	2.35	1.58	0.23	0.29	1.05	0.66	0.59	0.51	0.71	0.32
Na <sub>2</sub> O	4.25	4.18	4.56	7.09	7.97	6.58	8.23	4.16	4.22	4.4	8.18	6.96	8.07
K <sub>2</sub> O	4.63	4.67	4.82	0.47	0.08	1.71	0.13	4.78	4.93	4.69	0.19	1.13	0.1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
BaO	0.06	0.07	0.07	0.01	0.01	0.03	0.01	0.06	0.06	0.06	0.01	0.04	0.01
Total	99.98	100	100	99.81	99.91	99.94	99.96	100	99.96	99.98	99.97	99.93	99.97
Li	11	17	20	4	3	31	4	9	5	8	4	6	3
Be	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Sc	2.5	2.5	2.6	2.7	2.8	1.8	0.5	2.9	2.5	2.3	2.5	2.2	1.7
V	4	4	3	6	7	4	4	4	3	4	4	4	4
Cr	12	13	33	12	7	17	7	26	23	15	9	17	13
Co	1	1	1	1	1	1	1.1	1	1	1	1	1	1
Ni	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	2	3	4
Cu	4	3	4	19	4	44	3	3	3	3	3	4	4
Zn	34	25	25	101	5	10	6	28	26	28	7	10	7
Se	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Rb	68	62	68	4	1	19	1	65	64	61	1	12	1
Sr	32.3	30.9	32.5	67.3	21.8	31.5	18.3	30.4	33.3	31.7	23.1	26.4	10.9
Y	11.2	11.1	10.3	8.6	5.9	11.5	6.7	10.4	9.3	10.7	5.2	8.6	5.9
Zr	9	14	10	15	6	38	39	10	10	10	32	33	31
Nb	8.9	7.9	8.9	6.3	6.5	8.9	8.1	8.6	7.8	7.9	7	6.8	8.1
Mo	0.5	0.1	0.1	5.1	2.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.6
Ag	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.1	0.3	0.1
Cd	0.1	0.1	0.1	4.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Sn	4.7	3	3.1	1.6	2.5	2.1	1.3	2.9	2.6	2.9	4.4	1.8	2.8
Sb	0.5	0.6	0.5	4	0.7	1.1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5
Te	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.12	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Cs	1.6	1.8	1.9	0.5	0.5	0.6	0.5	1.7	1.4	1.3	0.5	0.5	0.5
Ba	484	489	535	121	24	234	35	509	539	501	97	317	25
Tl	0.56	0.51	0.54	0.1	0.1	0.15	0.1	0.54	0.58	0.53	0.1	0.11	0.1
La	43.21	38.92	42.11	21.15	18.67	35.76	58.37	32.55	41.68	40.01	39.16	33.78	68.25
Ce	44	43	45	54	47	43	37	42	44	44	42	32	48
Pr	3.93	3.77	3.85	4.03	4.2	3.97	2.81	3.84	3.67	3.66	4.01	2.73	4.5
Nd	17	16.6	16.4	15.8	17.6	16.5	12.7	16.9	15.9	15.8	17.3	13.1	19
Sm	3.81	3.68	3.66	2.8	3.32	3.5	2.7	3.81	3.5	3.58	3.33	2.78	3.73
Eu	0.48	0.43	0.44	0.26	0.46	0.35	0.25	0.44	0.44	0.41	0.56	0.33	0.53
Gd	3.95	3.75	3.61	2.71	2.63	3.9	2.38	4	3.69	3.7	2.7	2.8	3.15
Tb	0.63	0.59	0.58	0.43	0.39	0.61	0.38	0.63	0.56	0.59	0.37	0.45	0.44
Dy	3.31	2.95	2.88	2.2	1.79	2.23	1.82	3.19	2.71	3	1.56	2.21	1.84
Er	1.5	1.39	1.37	1.29	0.77	1.59	0.84	1.52	1.25	1.48	0.61	1.26	0.99
Tm	0.12	0.2	0.18	0.2	0.12	0.22	0.11	0.19	0.18	0.2	0.1	0.2	0.12
Yb	2.1	1.8	1.7	2	1.2	2.2	1.2	1.8	1.6	1.8	1.2	1.8	1.3
Lu	0.21	0.21	0.21	0.25	0.16	0.24	0.14	0.2	0.2	0.21	0.17	0.23	0.17
Hf	0.5	0.61	0.5	0.64	0.5	1.26	1.04	0.5	0.5	0.5	0.95	1.11	1.28
Ta	0.78	0.65	0.79	0.8	0.49	0.67	0.58	0.99	0.71	0.61	0.61	0.68	0.8
Pb	7		9	105	5	4	3	8	8	6	3	5	3
Bi	0.1	0.1	0.1	3.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
U	1.8	0.9	1.5	11.7	0.9	4	3.44	1.3	1.2	1.2	1	1.6	1.8
Th	14.38	10.3	15.38	16.79	8.7	18.42	13.29	10.57	10.17	10.32	9.23	9.43	10.02

جدول ۲- داده‌های زمین‌شیمیایی به‌دست‌آمده از تجزیه نمونه‌اسکارن‌های کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) پس از تصحیح (عنصرهای اصلی به روش XRF و بر پایه درصد وزنی و عنصرهای فرعی و کمیاب به روش ICP و بر پایه ppm به‌دست آمده‌اند)

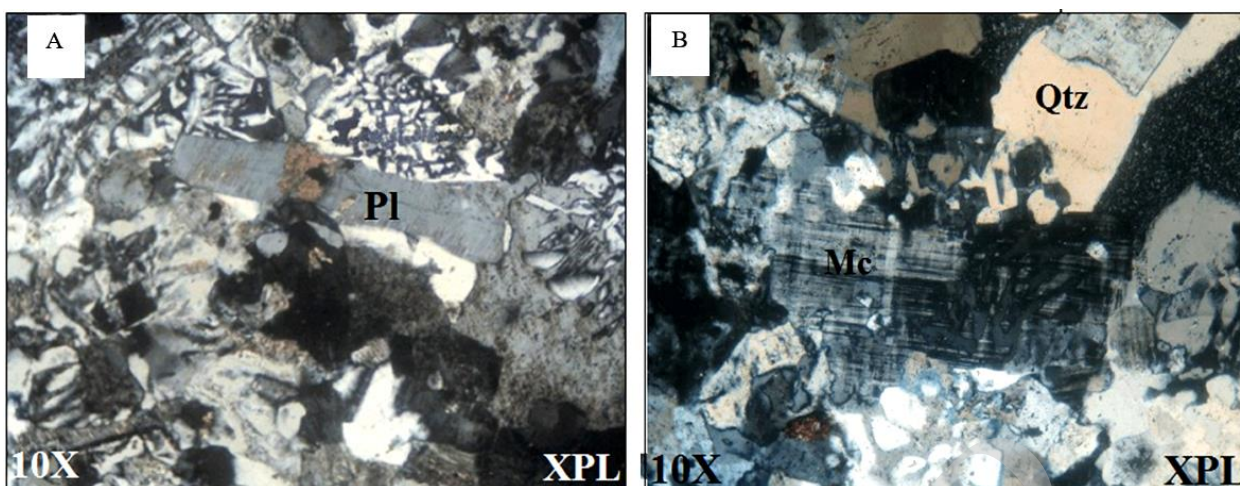
Sample No.	SS-4	SS-7	8	15	18	21	26	35	67
SiO <sub>2</sub>	10.5	39.56	11.43	7.42	22.01	21.98	52.91	8.1	3.29
TiO <sub>2</sub>	0.03	0.046	0.05	0.03	0.03	0.01	0.11	0.07	0.05
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	8.62	0.82	0.85	0.42	0.21	9.8	0.96	1.01
FeO <sub>t</sub>	60.52	21.55	50.23	60.47	33.9	47.92	12.96	43.43	60.4
MnO	0.01	0.16	0.02	0.03	0.11	0.04	0.74	0.02	0.07
MgO	0.21	2.59	0.44	0.8	4.03	4.47	0.65	0.33	1.3
CaO	0.81	22.27	7.74	0.65	15.88	2.26	2.06	0.45	3.86
Na <sub>2</sub> O	0.19	2.84	0.29	0.23	0.35	0.54	3.42	0.22	0.13
K <sub>2</sub> O	0.12	0.18	0.08	0.09	0.07	0.15	2.18	0.17	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.01	0.13	0.04	0.45
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.01	0.01	0.4	0.12	0.01	0.01	0.02	0.01
BaO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01
Co	9	2.5	7	8	4	7.5	6.5	8	9.5
Cu	38	3	42	25	8	18	137	35	28
Rb	9	1	24	31	15	34	11	28	21
Pb	16	3	12	25	5	19	13	33	26
Sr	132	55.5	152	86	46	76	112	89	73
Ni	13	9	26	18	8	37	24	29	31
Zn	52	46	46	48	12	41	35	57	49
V	57	48	38	54	45	37	51	47	59

### سنگ‌شناسی

گرانیت، گرانودیوریت و مجموعه‌های اسکارنی (گارانیت اسکارن و اسکارن ترمولیت‌دار) از سنگ‌های سازنده توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید هستند.

**مونزوگرانیت:** بخش اصلی کوه شاخ‌سفید ترکیب گرانیتی (مونزوگرانیت) دارد. در نمونه‌دستی به رنگ‌های خاکستری رنگ‌پریده، کرم و سفید رنگ دیده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی، بافت بیشتر این سنگ‌ها گرانولار تا پورفیروئیدی است. کانی‌های اصلی سازنده آنها کوارتز به‌صورت نیمه‌شکل‌دار تا

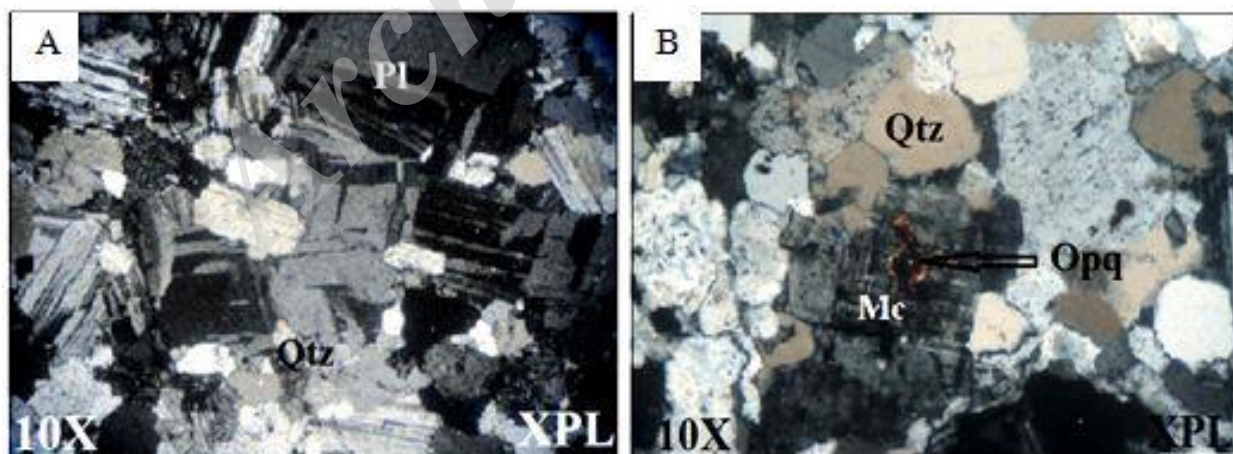
بی‌شکل (۳۰ تا ۴۵ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، با ماکل پلی‌سنتیک و مرکب (۲۰ تا ۲۵ درصد حجمی) و آلکالی‌فلدسپارهای آرتوکلاز و میکروکلین (۱۵ تا ۲۰ درصد حجمی) هستند. در برخی نمونه‌ها، از هم‌رشدی پلاژیوکلاز با بلورهای کرمی‌شکل کوارتز بافت گرافیک پدید آمده است (شکل ۵- A). همچنین، میکروکلین با بافت مشبک نیز در آنها دیده می‌شود (شکل ۵- B). کانی‌های کدر (بیشتر اکسیدهای آهن) و کانی‌های ثانویه سریسیت ریزدانه از کانی‌های فرعی در این سنگ‌ها هستند.



شکل ۵- تصویرهای میکروسکوپی از واحد گرانیتی کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان). (A) بافت گرافیک در کنار پلاژیوکلاز خودشکل؛ (B) کانی میکروکلین با بافت مشبک (در همه مقاطع میکروسکوپی نماد اختصاری کانی‌ها از Kretz (۱۹۸۳) برگرفته شده است)

درصد جمعی)، پلاژیوکلازهایی که بیشترشان سالم (گاه برخی از آنها کمی سرسیتی شده‌اند) و شکل‌دار (۱۵ تا ۲۰ درصد جمعی) با ماکل پلی‌سنتتیک (شکل ۶- A) و همچنین، ارتوکلاز و میکروکلین (۲۰ تا ۲۵ درصد جمعی) از کانی‌های سازنده آنها هستند (شکل ۶- B).

بخشی از واحد گرانیتی ترکیب مونوزوگرانیتی دارد و در نمونه‌دستی به رنگ صورتی کم‌رنگ است. در این سنگ‌ها می‌توان آلکالی‌فلدسپارها را دید. در مقاطع میکروسکوپی بیشتر دارای بافت گرانولار هستند. کوارتز شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در اندازه‌های گوناگون (نزدیک به ۳۵ تا ۵۵

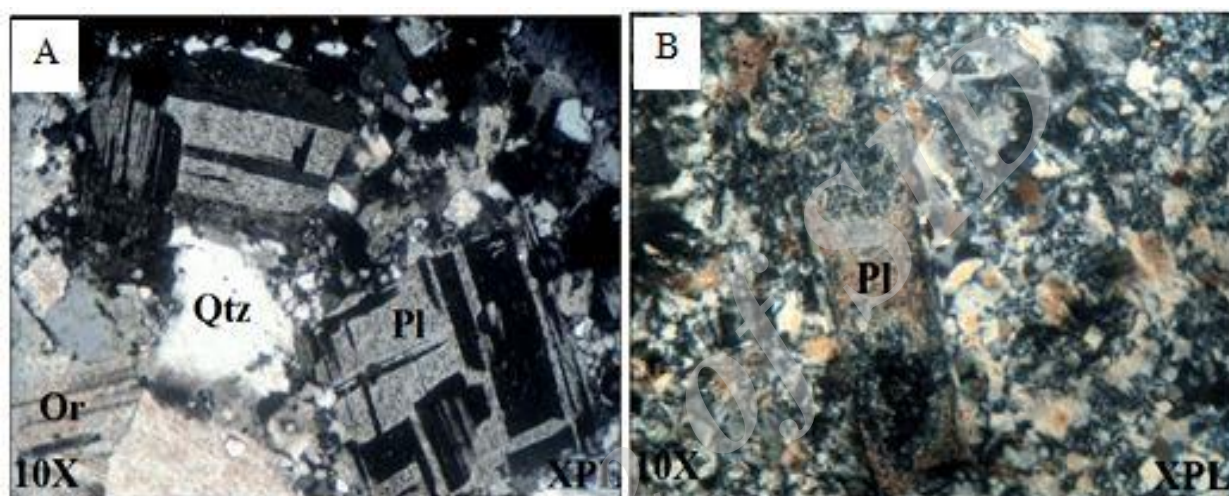


شکل ۶- تصویرهای میکروسکوپی از واحد گرانیتی بخش مونوزوگرانیتی کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان). (A) درشت بلورهای پلاژیوکلاز با بافت پلی‌سنتتیک، کوارتز و ارتوکلاز؛ (B) کانی‌های نیمه شکل‌دار کوارتز و ارتوکلاز با مرزهای دندان‌ه‌ای، حضور کانی‌های کدر درون کانی میکروکلین



نیمه‌شکل دار (شکل ۷- A)، که برخی از آنها به سریسیت تجزیه شده‌اند (شکل ۷- B) و آرتوکلاز که معمولاً نیمه‌شکل دار (۲۰ درصد حجمی) و تجزیه شده است، از کانی‌های سازنده آنها هستند.

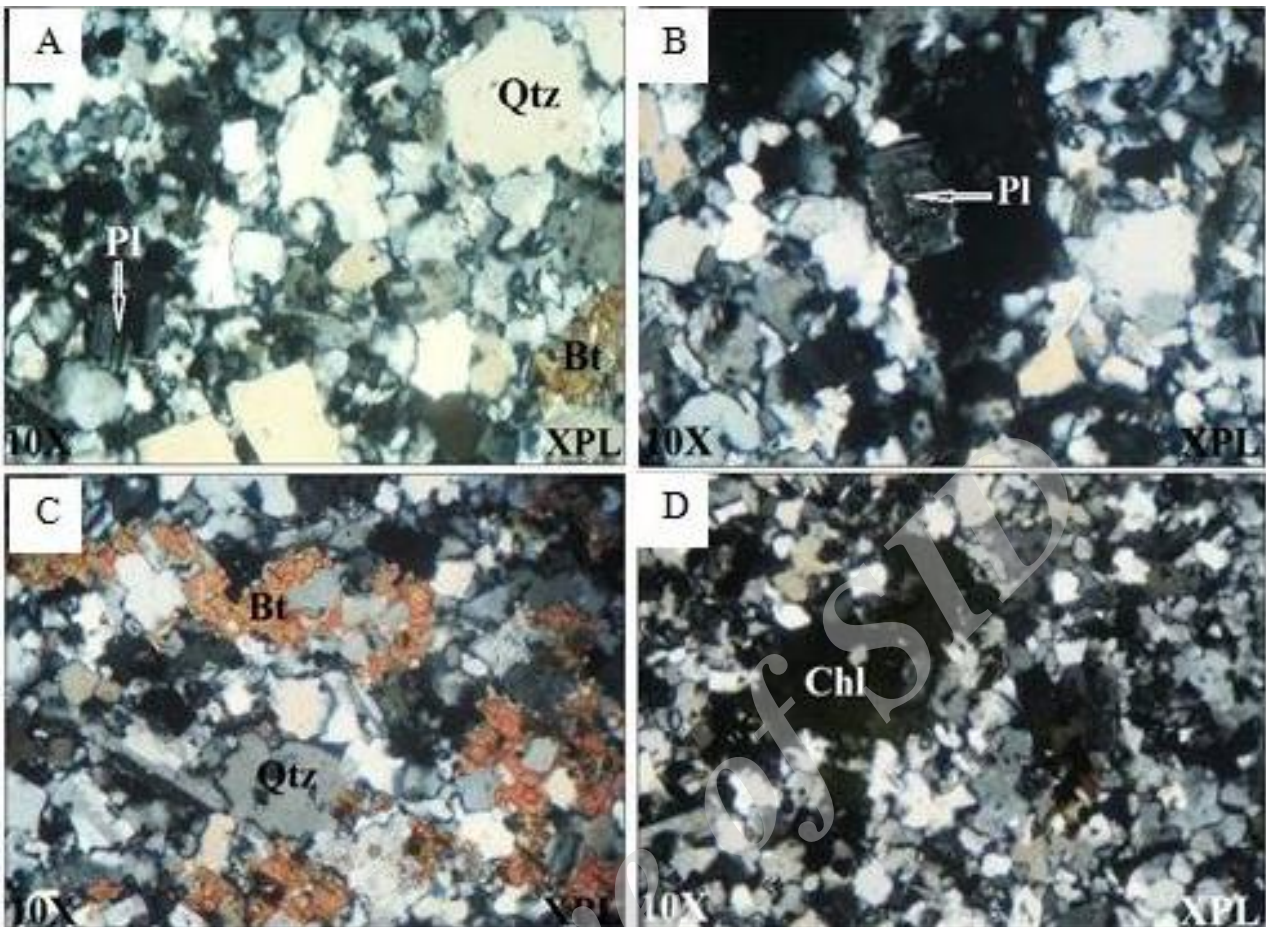
**گرانودیوریت:** گرانودیوریت‌ها در نمونه دستی خاکستری رنگ هستند. در مقاطع میکروسکوپی بافت میکروگرانولار تا پورفیری دارند. کوارتز (۲۰ تا ۳۰ درصد حجمی)، پلاژیوکلاز (۴۰ تا ۵۰ درصد حجمی) شکل دار تا



شکل ۷: گزیده‌ای از تصویرهای میکروسکوپی گرانودیوریت‌های کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان). A) درشت‌بلورهای شکل دار تا نیمه‌شکل دار پلاژیوکلاز و کوارتز؛ B) درشت‌بلور پلاژیوکلاز در حال تجزیه به سریسیت

کمی دارند (شکل ۸- B). بیوتیت‌ها (۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی)، بسیار دگرسان شده و به شکل اسکلتی دیده می‌شوند (شکل ۸- C). کانی‌های کلریت از تجزیه کانی‌های فرومنیزیمی (مانند: بیوتیت) پدید می‌آیند. این کانی‌ها به صورت ثانویه و بی‌شکل دیده می‌شوند، اندازه آنها گوناگون و معمولاً به رنگ سبز دیده می‌شوند (شکل ۸- D).

**بیوتیت گرانیت:** بیوتیت‌گرانیت‌ها در نمونه دستی مزوکرات و به رنگ خاکستری دیده می‌شوند. در مقاطع میکروسکوپی، کانی‌های سازنده آنها بیشتر کوارتزهای شکل دار تا بی‌شکل (۳۰ تا ۵۵ درصد حجمی) و پلاژیوکلاز (۱۵ تا ۲۵ درصد حجمی)، با گهگاه ماکل پلی‌سنتتیک هستند (شکل ۸- A). برخی از آنها منطقه‌بندی



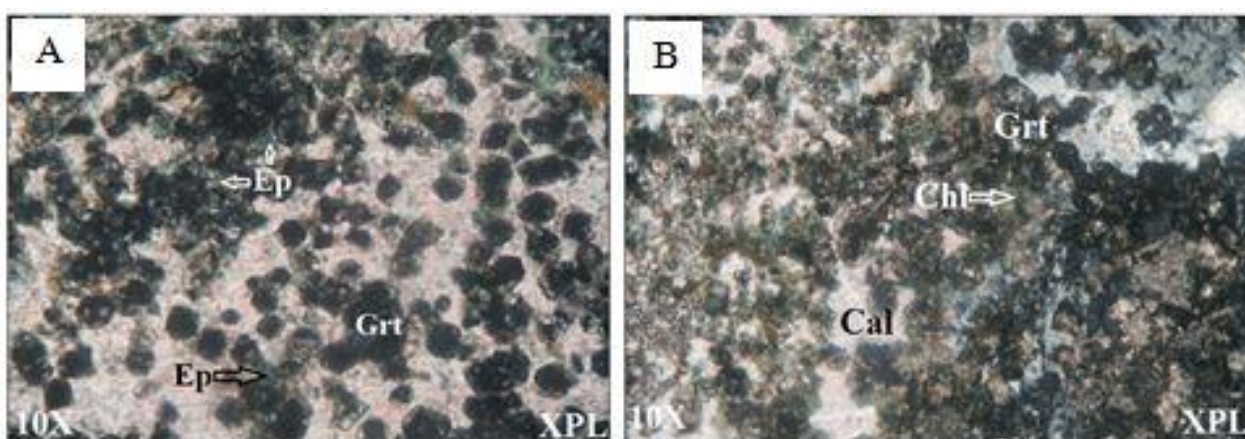
شکل ۸- گزیده‌ای از تصویرهای میکروسکوپی واحد بیوتیت گرانیت کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان). (A) کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز خُردشده؛ (B) بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی اندک؛ (C) بیوتیت با شکل‌های اسکلتی و پراکنده؛ (D) کلریت پدیدآمده از تجزیه بیوتیت

### مجموعه اسکارنی

این سنگ‌ها در نزدیکی توده گرانیتوئیدی منطقه با بزرگی و حجم کم در مرز سنگ‌های رسوبی و توده گرانیتوئیدی منطقه دیده می‌شوند. بخش‌های بالایی اسکارن‌ها در تماس با سنگ‌های کربناته مرز تدریجی دارند و در محل برخورد با توده گرانیتوئیدی در برخی نقاط مرز گسله دارند. اسکارن‌ها عبارتند از اسکارن‌های گارنت‌دار و ترمولیت‌دار:

**گارنت اسکارن:** در نمونه دستی به رنگ‌های خاکستری تا کرمی‌رنگ هستند و رگه‌هایی از

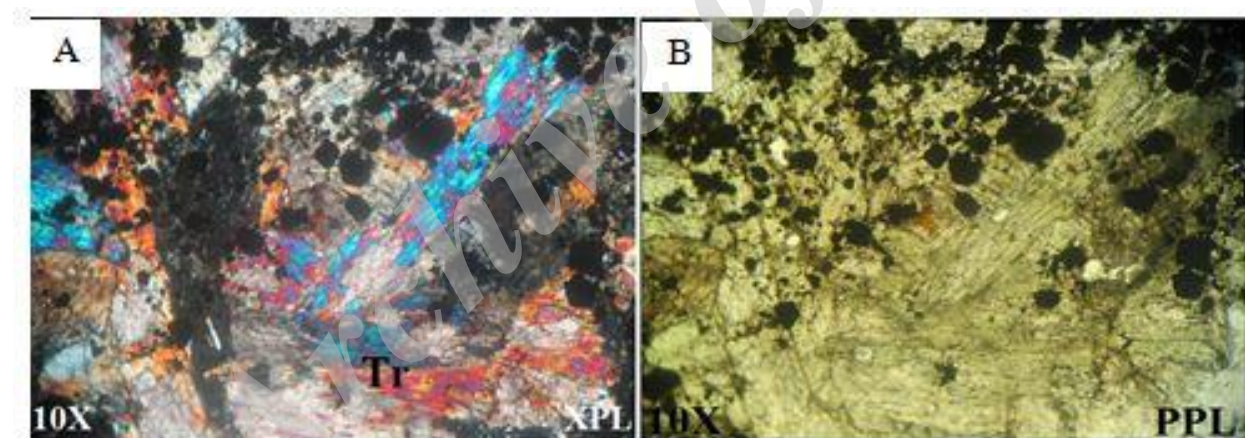
کلسیت و گارنت دارند. بیشترشان بافت گرانوبلاستیک و کمی برشی دارند. در مقاطع میکروسکوپی دارای کانی‌های کلسیت و گارنت (گروسولار - آندرادیت تا ۷۰ درصد مولی) شکل‌دار (۶ وجهی) تا نیمه‌شکل‌دار هستند. در برخی نقاط، کانی‌های کلریت و اپیدوت نیز دیده می‌شوند. بیشتر اپیدوت‌ها در کنار گارنت و کلریت دیده می‌شوند. کلریت به رنگ سبز تیره، به صورت صفحه‌ای و بی‌رُخ است و گویا در پی تجزیه گارنت‌ها پدید آمده است (شکل‌های ۹- A و ۹- B).



شکل ۹: گزیده‌ای از تصاویرهای میکروسکوپی اسکارن‌های گارنت‌دار کوه شاخسفید (جنوب‌خاوری کرمان). (A، B) بلورهای کمابیش شکل‌دار گارنت، کلریت، اپیدوت در زمینه‌ای از کلسیت

درصد حجمی) به‌صورت بلورهای منشوری بلند، کلسیت و اکسیدهای آهن هستند (شکل‌های ۱۰-A و ۱۰-B).

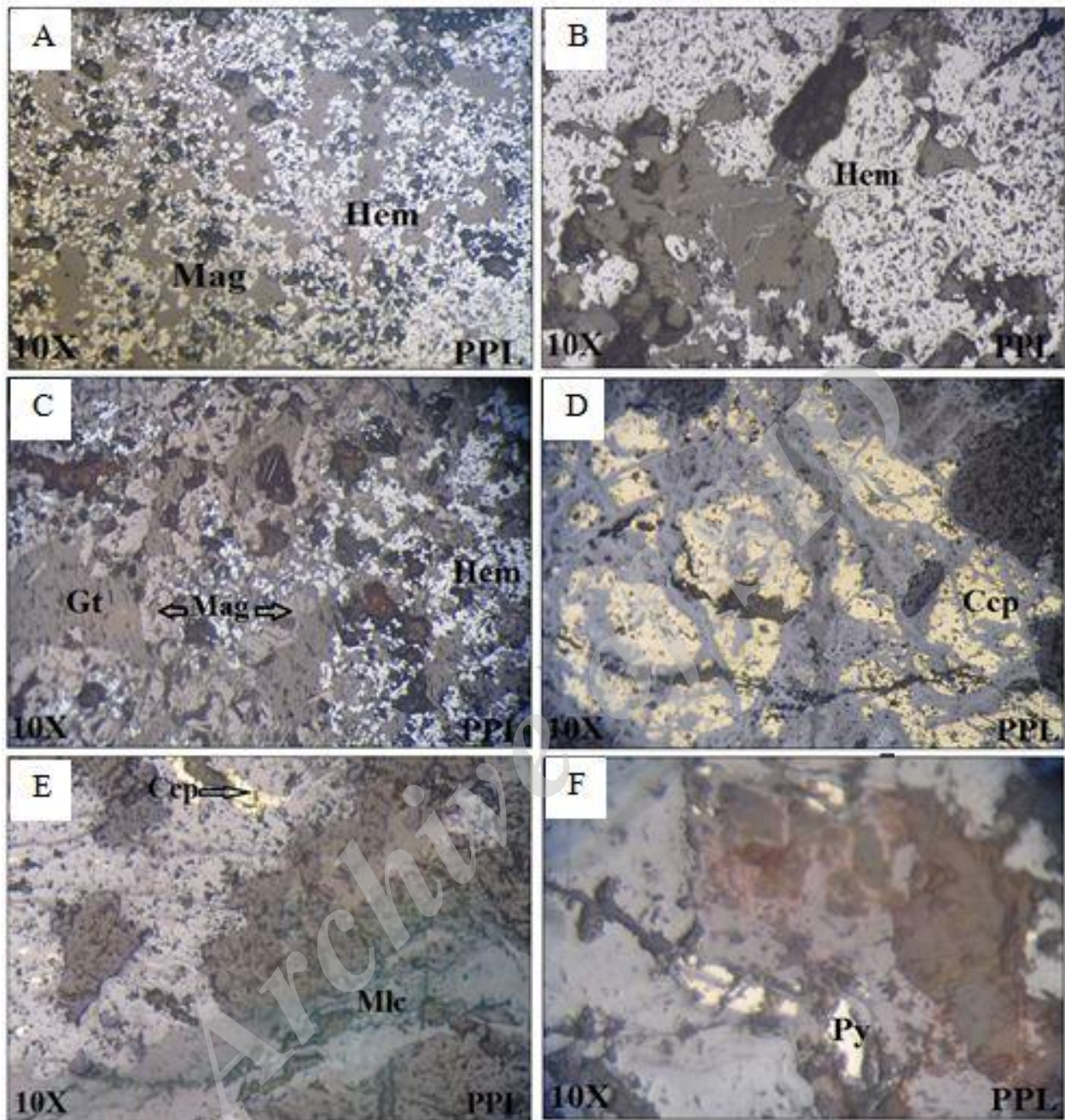
اسکارن ترمولیت‌دار: در نمونه‌دستی به رنگ خاکستری است. کانی‌های سازنده آنها در زیر میکروسکوپ، ترمولیت (۵۰ تا ۶۰



شکل ۱۰ (A، B) بلورهای منشوری و کشیده ترمولیت در اسکارن‌های ترمولیت‌دار کوه شاخسفید (جنوب‌خاوری کرمان)

هماتیت و لیمونیت، فراوان‌ترین کانه است. این کانه در مقاطع میکروسکوپی بافت‌های توده‌ای، جان‌شینی و پرکننده فضاهای تهی نشان می‌دهد. در برخی بخش‌ها نیز با هماتیت جایگزین شده است (شکل ۱۱-A).

کانه‌زایی: کانه‌زایی آهن به‌صورت رگه‌ای، توده‌ای، عدسی و پراکنده درون سنگ‌های اسکارنی با گسترش بسیار و در مرز توده‌های آذرین درونی دگرسان‌شده با سنگ‌های رسوبی دیده می‌شود. در این منطقه، منیتیت، به‌همراه



شکل ۱۱- کانه‌زایی در منطقه کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان). (A) منیتیت با بافت‌های توده‌ای و جانشرینی (در برخی بخش‌ها، منیتیت با هماتیت جایگزین شده است)؛ (B) هماتیت با بافت پُرکننده فضاها؛ (C) گوتیت با بافت جانشرینی که در میان منیتیت‌ها به صورت بی‌شکل پدید آمده است؛ (D) کالکوپیریت با بافت شکافه پُرکن؛ (E) پیریت ریزدانه و بی‌شکل با بافت شکافه پُرکن؛ (F) ملاکیت‌های رگچه‌ای در کنار کانی گوتیت

پدید آمده، سپس محلول‌های گرمایی هماتیت را جایگزین آن کرده‌اند (شکل ۱۱- B). بیشتر گوتیت‌ها بافت جانشرینی دارند و در میان

هماتیت به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، با بافت جانشرینی و پُرکننده فضاها؛ (C) بی‌شکل پدید آمده است. این ویژگی‌ها نشان می‌دهند نخست کانی منیتیت

کانیایی گارنت، کلسیت و کوارتز در مرحله پیشرونده پدید آمده‌اند. منیتیت در مرحله پیشرونده پدید آمده است؛ اما چون منیتیت در اسکارن‌ها به صورت جانشینی پدید می‌آید، شاید در مرحله پسرونده نیز پدید آمده باشد. هماتیت در مرحله اسکارن پسرونده، و لیمونیت از هوازگی کانی‌های آهن‌دار (مانند: منیتیت و هماتیت) در مرحله هوازگی پدید آمده است.

کانی‌های سولفیدی مانند پیریت و کالکوپیریت در مرحله پسرونده و کانی‌های مس مانند کربنات‌های مس (مالاکیت، آزوریت) در مرحله هوازگی پدید آمده‌اند. کانی‌های منیتیت، کالکوپیریت و پیریت به صورت اولیه و هماتیت، لیمونیت و گوتیت از هوازگی کانی‌های نخستین پدید آمده‌اند (جدول ۳).

منیتیت‌ها و به صورت بی‌شکل پدید آمده‌اند (شکل ۱۱-C). کالکوپیریت‌ها کم و به صورت پراکنده بوده و بیشتر آنها بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار، با بافت شکافه پُرگن هستند و فضای میان سنگ زمینه را پر کرده‌اند (شکل ۱۱-D). پیریت‌ها از کانی‌های سولفیدی دیگری هستند که به صورت پراکنده و به مقدار کم بوده و بیشتر آنها ریزدانه، بی‌شکل، با بافت شکافه پُرگن است (شکل ۱۱-E). مالاکیت و آزوریت به صورت رگچه‌ای و به مقدار کم دیده می‌شوند و بیشتر به صورت رگچه‌ای در کنار کانی گوتیت دیده می‌شوند (شکل ۱۱-F).

### توالی کانی‌های همایند (کانی‌های پاراژنز) در اسکارن

در اسکارن آهن کوه شاخ سفید، مجموعه

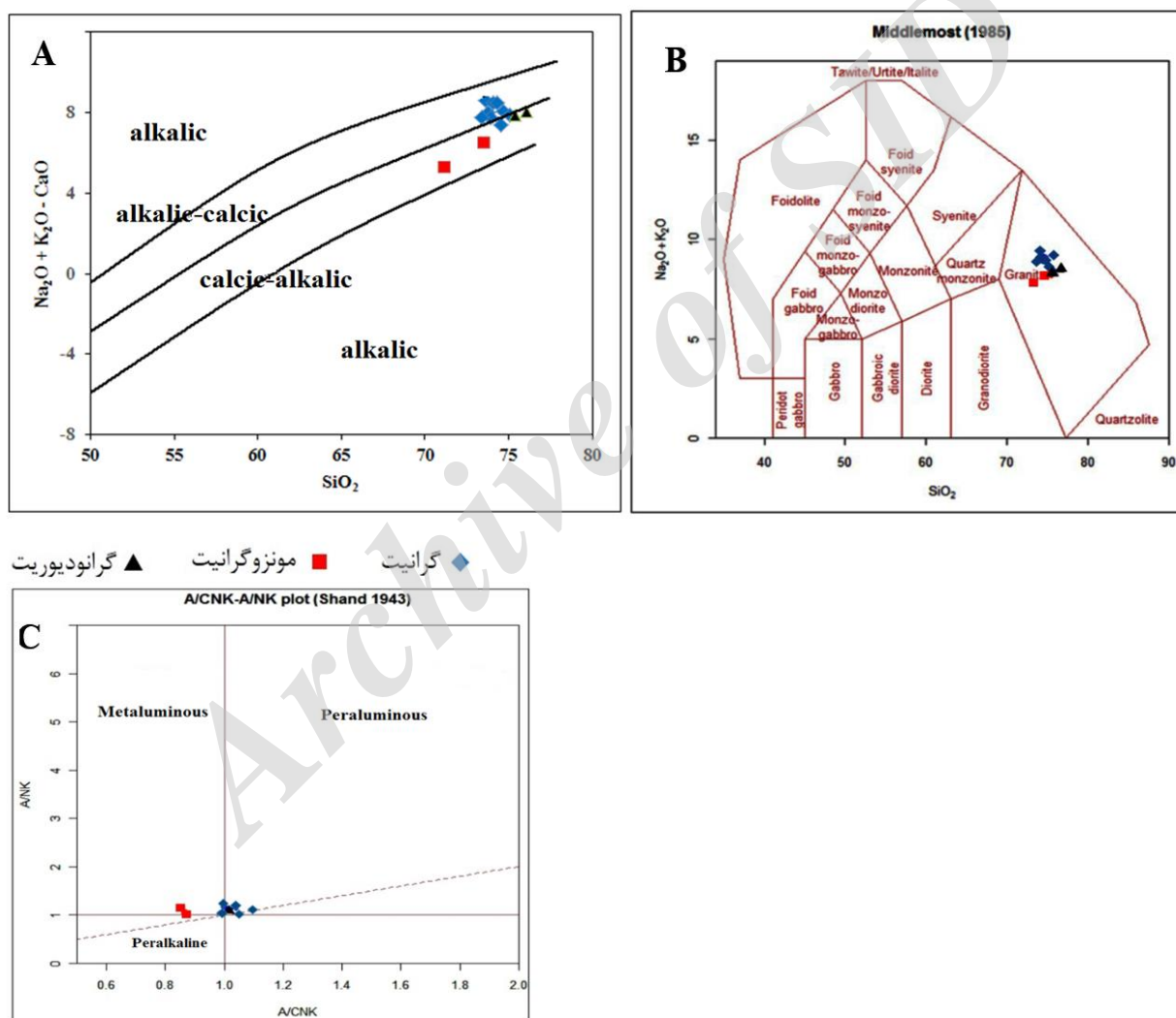
جدول ۳- توالی کانی‌های همایند (کانی‌های پاراژنز) در اسکارن کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان)

نوع کانی‌ها	مرحله متاسوماتیسم		هوازگی
	متامورفیسم	پیشرونده	
گارنت		●	
کوارتز		●	
کلسیت	●	●	
اپیدوت		●	
ترمولیت			●
کلریت		●	
منیتیت		●	
پیریت		●	
کالکوپیریت		●	
هماتیت		●	
مالاکیت			●
گوتیت			●
لیمونیت			●

## زمین‌شیمی

داده‌های تجزیه زمین‌شیمیایی سنگ‌های گرانیتوئیدی و اسکارن‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ آورده شده‌اند. در نمودار قلیایی-سیلیس Middlemost (۱۹۸۵)، سنگ‌های بررسی‌شده در بخش گرانیت جای گرفته‌اند (شکل ۱۲- A). از دیدگاه ضریب آلكالی  $Na_2O+K_2O-CaO$  (شاخص

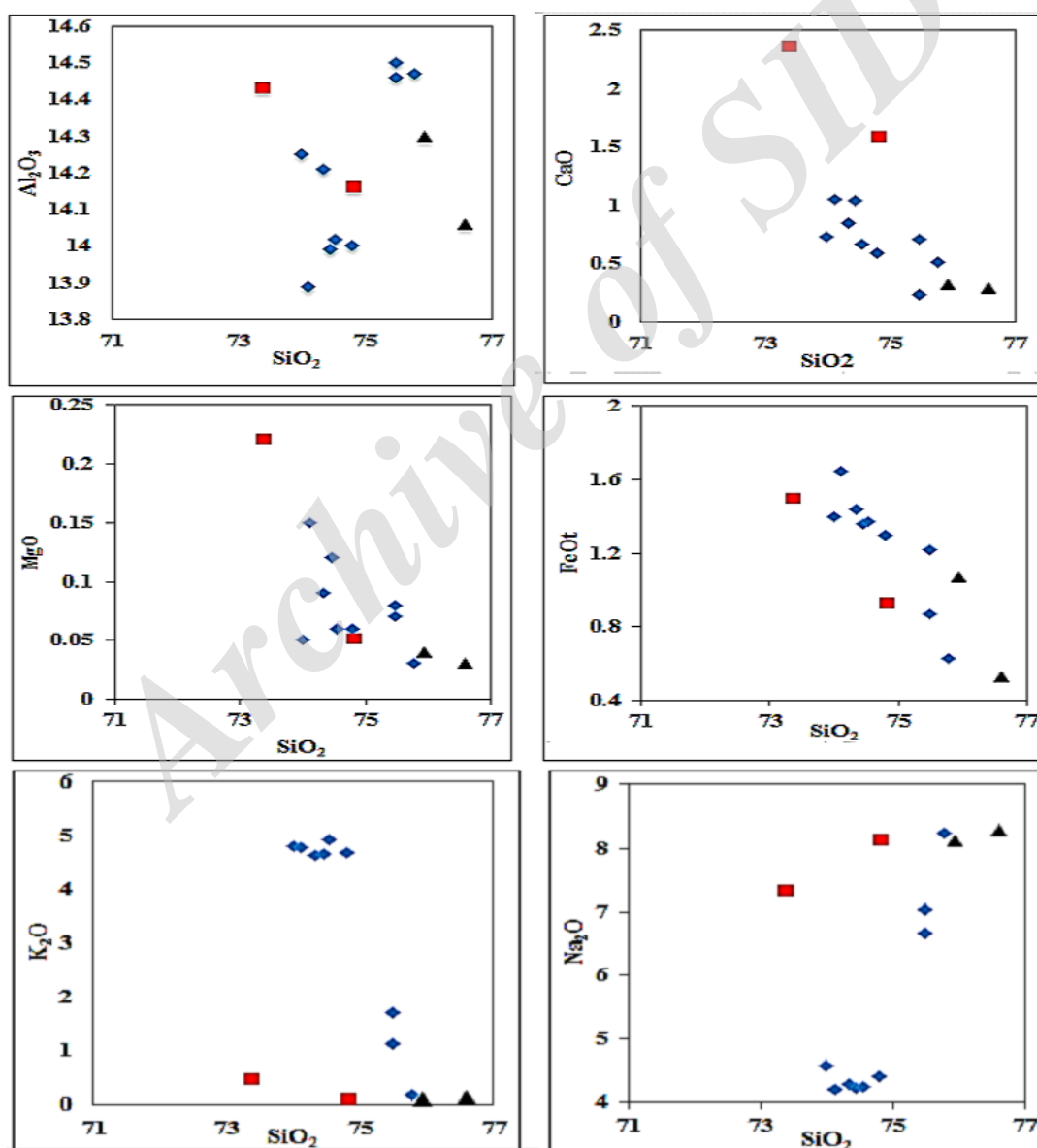
(MALI) در برابر  $SiO_2$  (Frost *et al.*, 2001)، سنگ‌های گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید در بخش کلسیک-آلكالی تا آلكالی-کلسیک جای گرفته‌اند (شکل ۱۲- B). بر پایه شاخص اشباع‌شدگی از آلومینیم Shand (۱۹۴۳)، نمونه‌های گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید در مرز محدوده‌های مت‌آلومین تا پ‌آلومین جای گرفته‌اند (شکل ۱۲- C).



شکل ۱۲- جایگاه سنگ‌های گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در: (A) در نمودار پیشنهادی Middlemost (۱۹۸۵)؛ (B) نمودار  $SiO_2$  در برابر  $Na_2O+K_2O-CaO$  (بر پایه درصد وزنی) (Frost *et al.*, 2001)؛ (C) نمودار شاخص اشباع‌شدگی از آلومینیم (Shand, 1943) بر پایه شاخص اشباع از آلومینیم

پلاژیوکلازهای کلسیک، کاهش  $MgO$  پیامد جدایش بلوری در سنگ‌های گرانیتوئیدی کوه شاخ سفید، روند کاهش و پراکنده  $K_2O$  پیامد تجزیه فلدسپارها در برخی نمونه‌ها و پیدایش کانی‌های ثانویه‌ای (مانند: کلریت و کانی‌های رسی) (Karimzadeh Somarian, 2006) و روند افزایشی  $Na_2O$  پیامد جدایش بلوری هستند (شکل ۱۳).

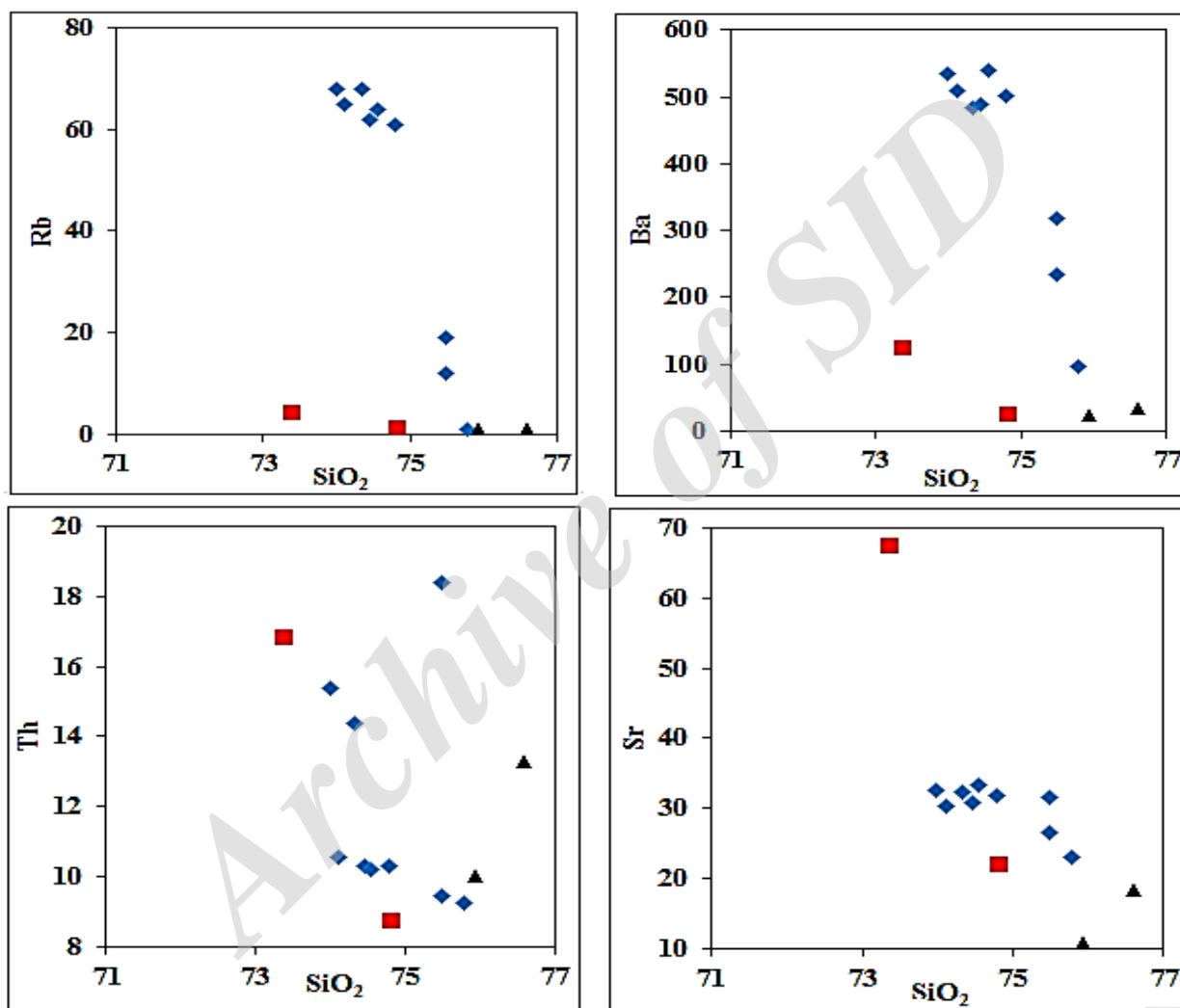
از آنجایی که ترکیب سنگ‌ها یکنواخت است، بیشتر نمودارهای تغییرات عنصرهای اصلی در برابر سیلیس (Harker, 1909)، تغییرات روشنی را نشان نمی‌دهند. تغییرات دیده شده در برخی اکسیدها، مانند پراکندگی میزان  $Al_2O_3$  معمولاً پیامد دگرسانی‌هاست (Karimzadeh Somarian, 2006). همچنین، روند کاهش  $CaO$  شاید پیامد جدایش بلوری



شکل ۱۳- جایگاه سنگ‌های گرانیتوئیدی کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در نمودار تغییرات عنصرهای اصلی (بر پایه درصد وزنی)

کما بیش کاهش همراه با پراکندگی Th در پی آرایش پوسته‌ای (Wilson, 1989) و روند کاهش Sr در پی حضور و جانشینی آن با کلسیم و ورود به شبکه پلاژیوکلاز کلسیم‌دار در مراحل آغازین تبلور ماگماست (شکل ۱۴).

شکل ۱۴ تغییرات عنصرهای فرعی و کمیاب خاکی در برابر افزایش اکسید سیلیس را نشان می‌دهد. برخی تغییرات دیده‌شده، مانند روند کاهش Rb، جانشینی آن به جای کانی‌های پتاسیم‌دار، روند کاهش Ba در پی شرکت در جدایش بلوری آلکالی‌فلدسپارها و روند



شکل ۱۴- نمودار تغییرات برخی عنصرهای فرعی در توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان)

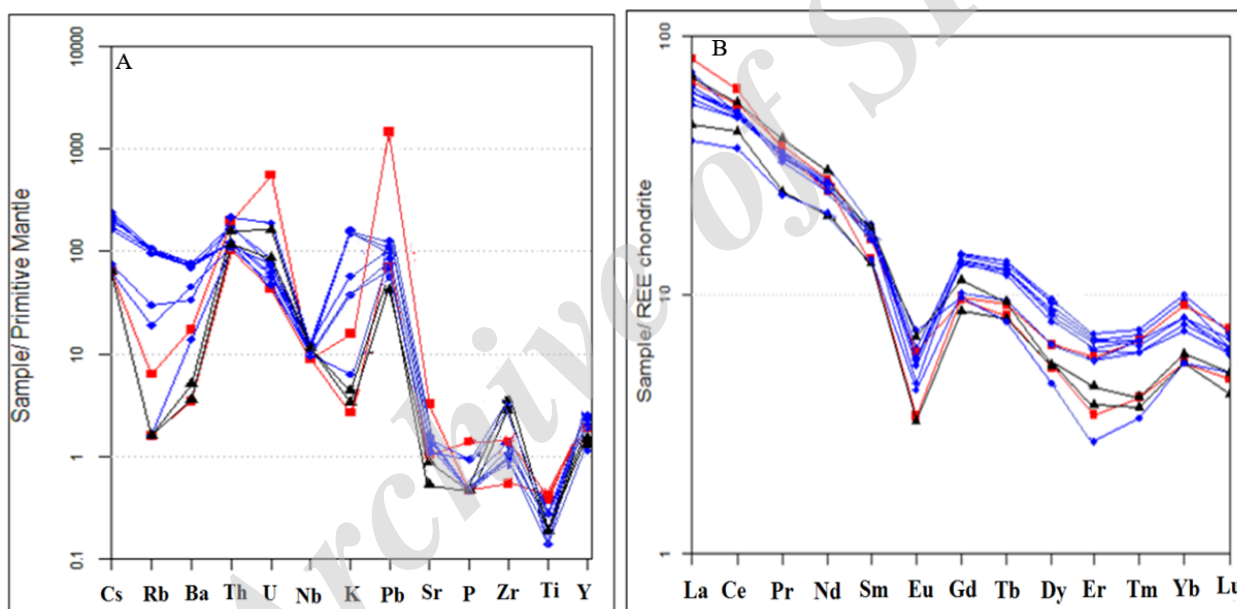
ناهنجاری مثبت Pb (نسبت به ترکیب گوشته اولیه)، وابسته به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای با سیال‌های برخاسته از پوسته اقیانوسی فرورو یا آرایش ماگما با پوسته دانسته می‌شود (Kamber

در نمودارهای عنکبوتی بهنجارشده (شکل ۱۵)، عنصرهای ناسازگار سبک (مانند: Cs, Th و Pb) در برابر عنصرهای ناسازگار سنگین، ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر غنی‌شدگی بیشتر نشان می‌دهند.



سنگ‌های کوه شاخ‌سفید نیز دیده می‌شود (شکل ۱۵- A). در نمودار عنکبوتی عنصرهای خاکی نادر در برابر ترکیب کندریت پیشنهادی Nakamura (۱۹۷۴)، همه نمونه‌ها به‌صورت هم‌روند و همانند با یکدیگر هستند (شکل ۱۵- B). این ویژگی نشان‌دهنده خاستگاه یکسان همه آنهاست. در شکل ۱۵- B، نمونه‌های سنگی بررسی‌شده تهمی‌شدگی از Eu نشان می‌دهند پیامد جدایش بلوری پلاژیوکلاز دانسته مس‌شود ( Wu *et al.*, 2003).

(Wilson, 1989). از سوی دیگر، Gourgaud (۲۰۰۳)، آنومالی منفی در عنصرهای Nb و Ti را ویژگی سنگ‌های کمان ماگمایی می‌داند. ناهنجاری‌های مثبت عنصرهای Th و Zr و ناهنجاری منفی عنصرهای Nb، Sr و Ti از ویژگی‌های سنگ‌های وابسته به پهنه‌های فرورانش است (Wilson, 1989). این ویژگی‌ها در

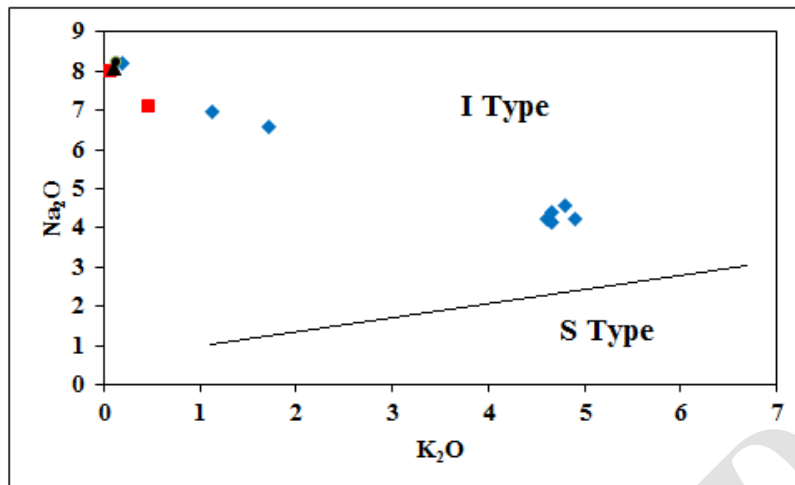


شکل ۱۵- ترکیب توده گرانیتوییدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در: A) نمودار عنکبوتی عنصرهای فرعی بهنجارشده به ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)؛ B) نمودار بهنجارشده به ترکیب کندریت (Nakamura, 1974)

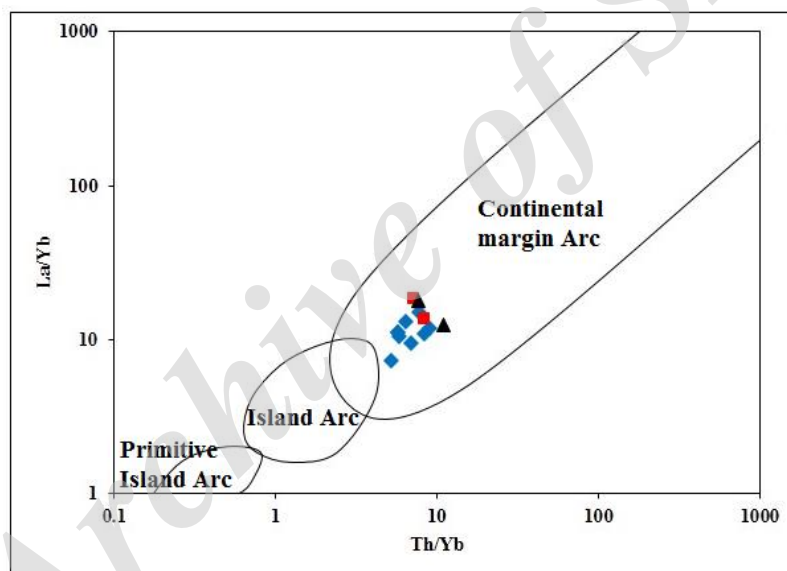
۱۶). همچنین، در نمودار Th/Yb در برابر La/Yb (Condie, 1989)، نسبت‌های La/Yb و Th/Yb با پیدایش نمونه‌های گرانیتوییدی کوه شاخ‌سفید در پهنه زمین‌ساختی حاشیه فعال قاره‌ای همخوانی دارد (شکل ۱۷).

### شناسایی گرانیت‌های I و S

در نمودارهای شناسایی گرانیت‌های نوع I و S (نمودار  $K_2O$  در برابر  $Na_2O$  (بر پایه درصد وزنی؛ Chappell و White، ۲۰۰۱)، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های نوع I جای می‌گیرند (شکل



شکل ۱۶- نمونه‌های توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در نمودار  $K_2O$  در برابر  $Na_2O$  (برپایه درصد وزنی) (Chappell and White, 2001)

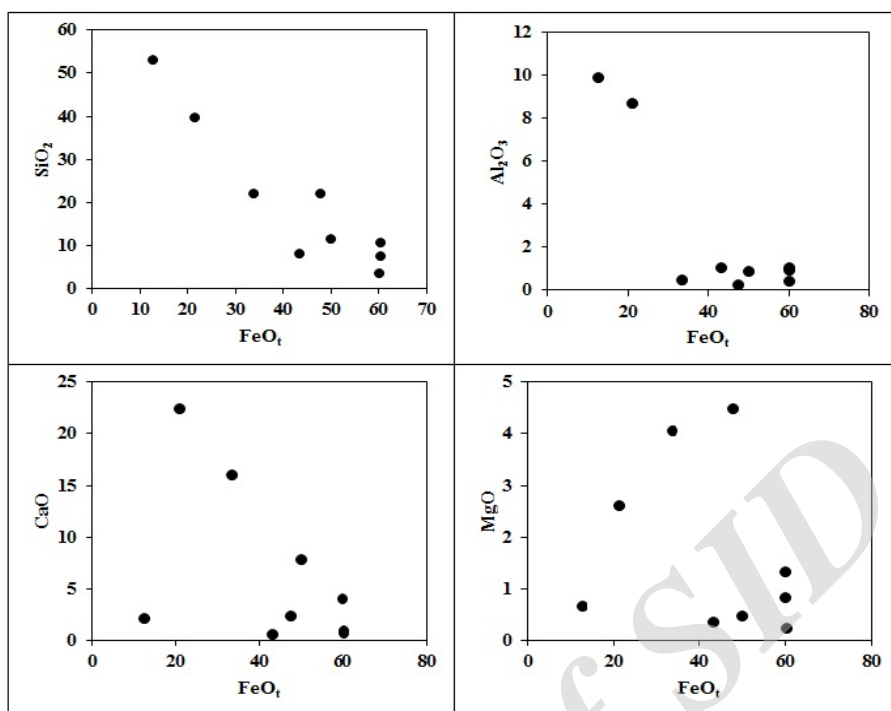


شکل ۱۷- ترکیب توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در نمودار  $Th/Yb$  در برابر  $La/Yb$  (Condie, 1989)

منفی آهن با  $Al_2O_3$  و  $CaO$  شاید پیامد تمرکز آنها در پلاژیوکلاز ماگمای سازنده باشد؛ زیرا تبلور پلاژیوکلاز، کاهش  $Ca$  و  $Al$  در ماگما را در پی دارد. پراکندگی  $MgO$  با آهن نیز می‌تواند پیامد نبود کانی‌های مافیک باشد (شکل ۱۸).

### زمین شیمی عنصرهای اصلی اسکارنها

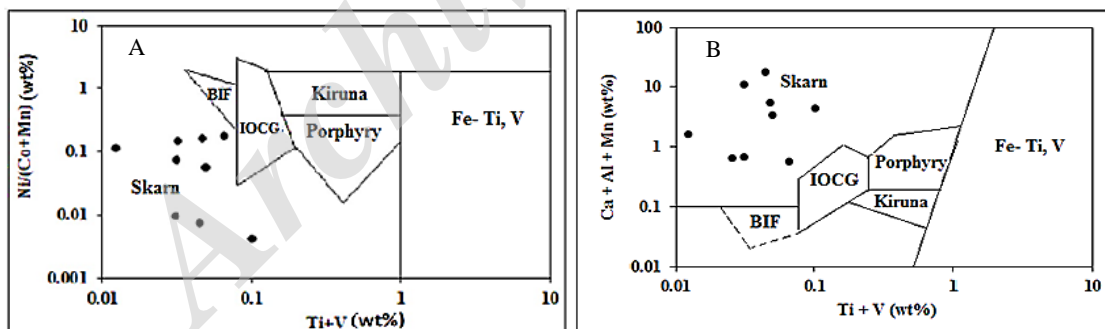
روند تغییرات  $Al_2O_3$ ،  $SiO_2$  و  $CaO$  در برابر اکسید آهن نشان می‌دهد با افزایش مقدار آهن، مقدار این عنصرها کاهش می‌یابد. این پدیده نشان‌دهنده همبستگی منفی این عنصرها با آهن است. همبستگی



شکل ۱۸- تغییرات اکسیدهای عنصرهای اصلی در برابر اکسید آهن در اسکارن‌های کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان)

نمونه‌های کانسار آهن کوه شاخ سفید در محدوده کانسارهای آهن اسکارنی جای گرفته‌اند (شکل‌های ۱۹- A و B).

در نمودارهای نسبت  $Ti+V$  در برابر  $Ca+Al+Mn$  و  $Ni/(Co+Mn)$  برای شناسایی کانسارهای آهن (Beaudoin *et al.*, 2007)،



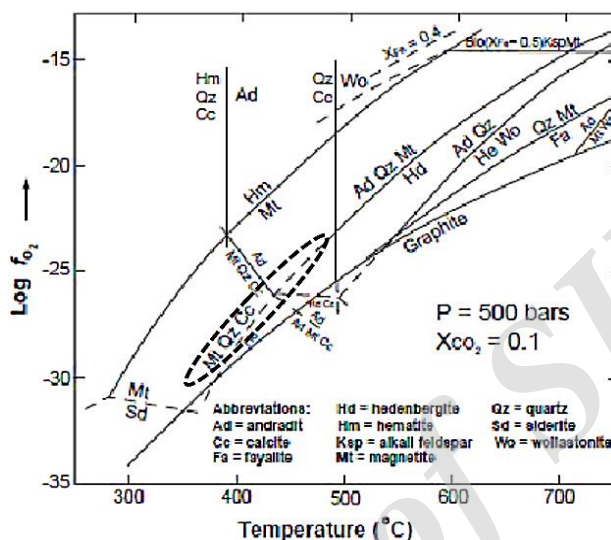
شکل ۱۹- جایگاه سنگ‌های گرانیتیویدی کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان) در: A، B نمودارهای شناسایی کانسارهای آهن گوناگون (Beaudoin *et al.*, 2007)

منیتیت و در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن بیشتر از  $10^{-21}$  به مجموعه کوارتز، کلسیت و هماتیت تبدیل می‌شود (Einaudi, 1982). با توجه به پیدایش مجموعه هماتیت، کلسیت و کوارتز در مرحله پس‌رونده (در دمای کمتر

نبود و لاستونیت همراه با گارنت در اسکارن آهن کوه شاخ سفید نشان‌دهنده اینست که گارنت (آندرادیت-گروسولار) در دماهای کمتر از ۴۷۰ درجه سانتیگراد و در محدوده گریزندگی اکسیژن  $10^{-24}$  تا  $10^{-21}$  به مجموعه کوارتز، کلسیت و

سیلیکات کلسیم بی‌آب چندان در تعادل باشند و شاید آغاز دگرسانی پسرونده مجموعه‌های سیلیکات‌های کلسیم بی‌آب در دمای کمتر از ۴۳۰ درجه سانتیگراد را در پی داشته‌اند (شکل ۲۰).

از ۴۵۰ درجه سانتیگراد، گریزندگی اکسیژن سیال در آغاز نزدیک به  $10^{-21}$  بوده است. در دمای بیشتر از ۴۶۰ درجه سانتیگراد شاره‌های در تعادل با توده آذرین درونی نمی‌توانند با مجموعه‌های



شکل ۲۰- نمودار دما در برابر  $\text{Log} f_{\text{O}_2}$  در فشار شماره ۵۰۰ بار و  $\text{XCO}_2 = 0.1$  در سیستم Ca-Fe-Si-C-O-H (Einaudi and Burt, 1982) برای اسکارن کوه شاخ‌سفید که در دمای کمتر از ۴۷۰ درجه سانتیگراد پدید آمده است (بازه دمایی پیدایش اسکارن کوه شاخ سفید (جنوب‌خاوری کرمان) با نقطه چین نشان داده شده است)

## نتیجه‌گیری

آلومینیم (ASI)، پرآلومین تا متآلومین است. بررسی‌های زمین‌شیمیایی توده‌های گرانیتوئیدی این منطقه نشان می‌دهند این توده در بخش کلسیک-آلکالی تا آلکالی-کلسیک جای گرفته است. از آنجایی که اسکارن آهن منطقه کوه شاخ‌سفید (اگزواسکارن) کانی‌های گارنت، ترمولیت و کلریت دارد، از نوع کلسیک است. کانی‌های بی‌آب (مانند: گارنت و منیتیت) در مرحله‌های پیشرونده در دماهای کمتر از ۴۷۰ درجه سانتیگراد در محدوده گریزندگی اکسیژن  $10^{-21}$  تا  $10^{-24}$  و کانی‌های اپیدوت، ترمولیت، کلریت، کلسیت و کوارتز در مرحله پسرونده در دمای کمتر از ۴۵۰ درجه سانتیگراد و گریزندگی اکسیژن سیال نزدیک به  $10^{-21}$  پدید آمده‌اند.

توده گرانیتوئیدی کوه شاخ‌سفید به درون سنگ‌های آهکی، ماسه‌سنگ و سیلتستون نفوذ کرده و در محل تماس اسکارن را پدید آورده است. ترکیب سنگ‌شناختی این توده گرانیت، گرانودیوریت و بیوتیت گرانیت است. سنگ‌آهک، ماسه‌سنگ، شیل و سیلتستون و سنگ‌های دگرگونی (مانند: مرمر) از سنگ‌های دربرگیرنده توده سنگ‌های رسوبی و اسکارن‌ها (مانند: گارنت اسکارن و ترمولیت اسکارن) هستند. کانه‌زایی منطقه شامل کانی‌های منیتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کالکوپیریت، پیریت و کربنات‌های مس است. توده بررسی شده ویژگی‌های گرانیت‌های نوع I را نشان می‌دهد. همچنین، از دیدگاه شاخص اشباع‌شدگی از

## منابع

- Beaudoin, G., Dupuis, C., Gosselin, P., and Jebrak, M. (2007) Mineral chemistry of iron oxides: application to Mineral exploration. In: Ninth Biennial SGA meeting (Ed. Andrew, C. J.) 497-500. SGA, Dublin.
- Berberian, M. (1983) Continental deformation in the Iranian plateau (Contribution) to the Seismotectonics of Iran. Part IV, Geological Survey of Iran publication, Tehran, Iran.
- Chappell, B. W. and White, A. J. R. (2001) Two contrasting granite types: 25 years later. *Australian Journal of Earth Sciences* (48): 489-500.
- Condie, K. C. (1989) *Pale tectonic and crustal evolution*. 3<sup>rd</sup> Edition, Pergamon Press, Oxford, UK.
- Dimitrijevic, M. D. (1973) *Geology of the Kerman region*. Geological Survey of Iran publication, Tehran, Iran.
- Djokovic, I., Dimitrijevic, M. N., Cvetic, S. and Halaviati, J. (1959) *Geological Map of Rayen*, 1:10000 Scale. Geological Survey of Iran publication, Tehran, Iran.
- Einaudi, M. T. (1982) Description of skarn associated with porphyry copper plutons, southwestern North American, In: *Advances in the geology of porphyry copper deposits* (Ed. Titley, S. R.) 139-184. The University of Arizona press, Tucson.
- Einaudi, M. T. and Burt, D. M. (1982) Introduction terminology, classification and composition of Skarn deposits. *Economic Geology* (77): 745-754.
- Frost, B. R., Barnes, C. G., Collins, W. J., Arculus, R. J., Ellis, D. J. and Frost, C. D. (2001) A Geochemical classification for Granite Rocks. *Journal of Petrology* (42): 2033-2048.
- Gourgaud, A. and Vincent, P. M. (2003) Petrology of two Continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti chand. *Journal Volcanic Geology Research* (129): 261-272.
- Harker, A. (1909) *The Natural History of Igneous Rocks*. Methuen, London, UK.
- Kamber, B. S., Ewart, A., Collerson, K. D., Bruce, M. C. and McDonald, G. D. (2002) Fluid mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archean crustal growth models. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (144): 38-56.
- Karimzadeh Somarian, A. (2006) *Geology and geochemistry of the Mendejin plutonic rocks*, Mianeh, Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 27:819-834.
- Kretz, R. (1983) Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist* (68): 277-279.
- Middlemost, E. A. K. (1985) *Magmas and Magmatic Rocks. An Introduction to Igneous Petrology*. Longman Group Ltd., London, New York, US.
- Nakamura, N. (1974) Determination of REE, Be, Fe, Mg, Nu, and K in Carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochemical Cosmochim Acta* (38): 757-775.
- Shand, S. J. (1943) *Eruptive rocks: their genesis, composition, classification, and their relation to ore-deposit with a chapter on meteorite*. 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons, New York, US.
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonic of Iran. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geology* (52): 1229-1258.
- Stocklin, J. (1977) Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and Central Asia. *Memoier Hors- Serie N 8 de la Societe Geologique de France* (8): 333-353.
- Sun, S. S. and McDonough, W. F. A. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implication for mantle composition and processes. In: *Magmatism in oceanic basins* (Eds. Saunders, A. D, Norry, M. J.) (42): 313- 345.: Geological Society of London, Special Publication.
- Wilson, M. (1989) *Igneous petrogenesis, A global tectonic approach*: Unwin Hyman London, UK.
- Wu, F. Y., Jahn, B. M., Wilde, S. A., Lo, C. H., Yui, T. F., Lin, Q., Ge, W.C. and Sun, D. Y. (2003) Highly fractionated I-type granites in China (I): geochronology and petrogenesis. *Lithos* (66): 241-273.