

Research Article

Geochemistry and emplacement environment of intrusive bodies of Shele Boran Mo-Cu deposit (Northeast of Ahar, East Azarbaijan)

Seyed Ghafour Alavi¹ , Mansour Kazemi Rad²
Mohsen Moayyed³, Mohammad Reza Hosseinzadeh⁴

¹ Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, ghaforalavi@yahoo.com

² Ph.D of Economic geology, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, kasrakazemirad@gmail.com

³ Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, moayyed@tabrizu.ac.ir

⁴ Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran, mr_hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

ARTICLE INFO

Received: 26 January 2024

Accepted: 15 May 2024

Keywords

Ahar

Shele Boran

Porphyroid Texture

Active Continental Margin

Post-Collision Arcs



10.22108/ijp.2024.140542.1320

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Molybdenum-copper deposit of Shele boran is located in East-Azarbaijan province, northeast of Ahar. The area is dominated by the oldest rocks including Paleocene-Eocene andesitic-dacitic units into which Oligocene sub-volcanic intrusions have penetrated. Quartz-sulfide, quartz-oxide, and sulfide vein-veinlets were developed within the intrusion bodies that exhibit typical stockwork texture. Three types of hydrothermal hypogene alterations, potassic, phyllic and propylitic are developed in these bodies. The Oligocene intrusive bodies range, in composition, from granite, tonalite to porphyry microdiorite. The major constituent minerals including plagioclase, alkali-feldspar, quartz, biotite and hornblende accompanied by minor amounts of clinopyroxene, apatite, sphene, zircon. and common textures granular porphyry to porphyroid, and porphyritic textures. The parent magmas are high-K calc-alkaline to shoshonite showing LILE positive anomalies with high LREE/HREE ratio. These bodies were emplaced in a post-collision volcanic arc and an active continental margin setting.

Regional Geology

The studied area, a part of Arasbaran exploration area, lies in the north-west of Iran and is one of the copper-molybdenum-gold metallurgical states, known as

the Ahar-Arasbaran zone. The area, due to its special geological features and in terms of gold, copper mineralization, Molybdenum is of special importance. This zone is divided into two eastern and western parts

 Corresponding Author

To cite this article: Kazemi Rad, M., Alavi, S.G., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M. (2025) Geochemistry and emplacement environment of intrusive bodies of Shele Boran Mo-Cu deposit (Northeast of Ahar, East Azarbaijan). *Petrological Journal*, 15(4), 47-68.

by the Rasht-Takestan fault. The eastern part consists of basic to acidic tuffs belonging to shoshonite to alkaline magmatic series, and the western part contains andesitic to rhyodacite lavas and several granitoid masses with high-K calc-alkaline and shoshonite. Qaradagh, Shiverdagh batholiths and Haft-Cashmeh as well as Songun porphyry stocks are among the most important intrusions igneous masses related to mineralization in Arasbaran metallogenic zone, where skarn, porphyry, stockwork and epithermal mineralizations occurred. One of the prominent features of this zone is the extensive Tertiary magmatic activity, initiated in the Paleocene-Eocene and reached its peak along with the extensive folding of volcanic and pyroclastic units, and the emplacement of intrusive masses in the Oligocene (Pyrenean phase). The oldest rock units in this area are Paleocene-Eocene volcanic and pyroclastic deposits with andesite-dacite, andesite to basaltic andesite and associated tuffs, penetrated by sub volcanic Oligocene porphyroid masses.

Research methodology

Simultaneously with the preparation of the geological map of the region with the scale of, a number of samples were taken from the surface units and boreholes that were drilled for the exploration of molybdenum and copper. On the base of lithological diversity, 45 samples of intrusive rocks were collected. Following petrography study, 15 samples with the least amount of alteration were analyzed by XRF and ICP-MS methods and by combining the information obtained from field observations, microscopic studies as well as the main and rare elements analyses using the GCDkit software, petrogenesis and the formation of intrusive rocks of the region have been investigated.

Petrography

According to the petrographic studies, plagioclase, potassium feldspar, quartz, biotite and hornblende are the main rock-forming minerals. Clinopyroxene, apatite, zircon, and sphene as the minor and chlorite, sericite, calcite, and clay minerals as the secondary minerals. The presence of porphyric granular, porphyroid and porphyry textures microcrystalline in the background are notable.

Geochemistry

As the Co/Th, Ce/Yb versus Ta/Yb and Th/Yb versus Ta/Yb diagrams demonstrate, the parent magma has shoshonite and high-K calc-alkaline nature. On Nb vs. Y, Rb vs. (Ta+Yb), Ta vs. Yb, and Rb vs. (Y+Nb) the diagrams, the bodies under study were emplaced in a post-collision volcanic arc and an active continental

margin setting.

On the spider diagram of intrusive masses normalized to chondrite, the studied samples show LREE enrichment, enrichment of LREE compared to HREE and negative anomaly of Nb and Zr indicate the dependence of these rocks on it shows calc-alkaline magmatic series. On the normalized diagram compared to the primary mantle, clear and distinct negative anomalies of Ti, Zr, P, Pr, Y, Nb and also positive anomalies of K, U, Pb, Cs, Nd are observed. The P, Ta, Ti and Nb negative anomalies on spider diagram with a specific enrichment of LILE (i.e. K, Sr, Sm, Th and Cs) are of the important characteristics of magmatic rocks associated with volcanic arcs, caused by the action of fluids derived from subduction. The negative Nb anomaly indicates the magmas related to the active continental margin environments and can be caused by the contamination of the crust and fluids released from the subducting lithosphere. The change process of these samples is compatible with the characteristics of the geo-structural environment related to subduction .


Discussion and Conclusion

The parent magma of the intrusion bodies has shoshonite and high-K calc-alkaline affinity. It should be noted that shoshonite and high-K calc-alkaline has also been reported in the volcanic units of Sonajil area of Harris. These masses display positive and distinct anomalies of K, Th, Sr, Sm, Cs, Rb, Ba as well as Ta, Ti, Zr, Nb, P, Pr, Y, Yb negative anomalies, the important features of the magmatic rocks related with volcanic arcs. The P, Ta, Ti and Nb negative anomalies on spider diagram along with a specific enrichment of LILE including K, Sr, Sm, Th and Cs are the important characteristics of magmatic rocks associated with volcanic arcs. Thus, the order of changes in these samples is consistent with the features of the geological environment related to subduction. These bodies were emplaced in a post-collisional volcanic arc and an active continental margin setting. The obtained data are consistent with the previous studies carried out on Oligocene granitoid intrusive masses of Western Alborz Zone-Azerbaijan (i.e., Moayyed, 2001, Aghazadeh et al., 2010) .

Acknowledgments

We would like to thank all those who have cooperated in this research. Also, we would appreciate the editor-in-chief of the editorial board of Petrology magazine and the referees for their careful review and valuable suggestions.

سنگ‌زمین شیمی و محیط جایگیری توده‌های آذرین درونی کانسار مولیبدن - مس شله‌بران (شمال خاوری اهر - آذربایجان شرقی)

سید غفور علوی ، منصور کاظمی‌راد^۲، محسن مؤید^۴، محمدرضا حسین‌زاده^۳

^۱ دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران، ghaforalavi@yahoo.com

^۲ دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران، kasrakazemirad@gmail.com

^۳ استاد پتروژوژی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران، moayyed@tabrizu.ac.ir

^۴ استاد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران، mr_hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

کانسار مولیبدن-مس شله‌بران در استان آذربایجان شرقی و در شمال خاوری اهر جای دارد. کهن‌ترین سنگ‌های منطقه، واحدهای آندزیتی-داسیتی به سن پالئوسن-ائوسن هستند که توده‌های آذرین درونی نیمه‌ژرف الیگوسن به درون آنها نفوذ کرده‌اند. رگه-رگچه‌هایی از کوارتز-سولفید، کوارتز-اکسید و سولفید درون توده‌های پورفیری دیده می‌شوند که بافت داربستی آشکاری را به نمایش گذاشته‌اند. سه گونه دگرسانی درون‌زاد گرمایی دربردارنده پتاسیک، فلیک و پروپلیتیک در این توده‌ها نمود دارند. ترکیب توده‌های آذرین درونی الیگوسن در گستره گرانیته، تونالیت تا میکرودیوریت پورفیری جای می‌گیرد. پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و هورنبلند از کانی‌های اصلی و کلینوپیروکسن، آپاتیت، اسفن و زیرکن از کانی‌های فرعی آنها به‌شمار می‌روند. بافت بیشتر این سنگ‌ها گرانولار پورفیری تا پورفیروید است و بافت پورفیریک نیز در آنها دیده می‌شود. ماگمای مولد این توده‌ها سرشت کالک‌آلکان با پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارد و ناهنجاری مثبت و آشکاری از LILE و نسبت بالای از LREE/HREE نشان می‌دهد. این توده‌ها در جایگاه کمان آتشفشانی پسایروردی و کرانه فعال قاره‌ای جای‌گیری کرده‌اند.

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۱۱/۰۶

تاریخ پذیرش ۱۴۰۳/۰۲/۲۶

کلید واژه‌ها

اهر
شله‌بران
بافت پورفیروید
کرانه فعال قاره‌ای
کمان‌های پس از برخورد




10.22108/ijp.2024.140542.1320

مقدمه

۲ کیلومتری شمال خاوری شهرستان اهر و در مختصات جغرافیایی ۳۸° ۲۸' تا ۳۸° ۲۸' و طول خاوری و ۴۷° ۱۰' تا ۴۷° ۰۵' عرض شمالی جای دارد. این کانسار بخشی از پهنه

کانسار پورفیری مولیبدن-مس شله‌بران، در استان آذربایجان شرقی و در ۹۰ کیلومتری شمال خاوری تبریز و

 نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: علوی، س.غ.، کاظمی‌راد، م.، مؤید، م.، حسین‌زاده، م.ر. (۱۴۰۳) سنگ‌زمین شیمی و محیط جایگیری توده‌های آذرین درونی کانسار مولیبدن-مس شله‌بران (شمال خاوری اهر - آذربایجان شرقی). پتروژوژی ۱۵ (۴)، ۴۷-۶۸.

و فرعی به روش طیف‌سنجی جرمی با پلاسمای جفت‌شده القایی (ICPMS) در آزمایشگاه ALX-Chemex کانادا تجزیه شدند. در پایان با بهره‌گیری از ترکیب داده‌های به دست‌آمده از بررسی‌های میدانی، بررسی‌های میکروسکوپی و تجزیه عنصرهای اصلی و کمیاب و با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای GCDkit و Excel به بررسی خاستگاه سنگ و چگونگی پیدایش سنگ‌های نفوذی منطقه پرداخته شد (جدول ۱).

زمین‌شناسی منطقه

گستره مورد بررسی شله‌بران با توجه به دسته‌بندی پهنه‌های ساختاری ایران (Stöcklin, 1968) در پهنه ایران مرکزی و بر پایه پهنه‌بندی‌های دیگر در پهنه البرز-آذربایجان (Nabavi, 1976) و در پهنه اکتشافی ارسباران جای دارد. ناحیه ارسباران در شمال‌باختری ایران، یکی از ایالت‌های فلززایی مس-مولیبدن-طلا است که به‌نام پهنه اهر-ارسباران شناخته می‌شود (شکل ۱) و به‌علت ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی، از نظر کانی‌سازی طلا، مس، مولیبدن اهمیت ویژه‌ای دارد (Jamali et al., 2010). در شمال ایران (از اردبیل تا جلفا)، این پهنه به‌نام (پهنه ارسباران) شناخته می‌شود (Jamali, 2010; Hassanpour, 2010).

پهنه ماگمایی البرز-آذربایجان با راستای WNW-ESE از کوه‌های البرز در شمال ایران آغاز شده است و پس از گذر از آذربایجان و قفقاز کوچک تا شمال ترکیه ادامه می‌یابد. این پهنه در ایران، با گسل رشت-تاکستان به دو بخش خاوری و باختری تفکیک شده است. بخش خاوری از توف‌های بازیک تا اسیدی که متعلق به سری ماگمایی شوشونیتی تا آلکالن هستند (Blourian, 1994) و بخش باختری نیز دربردارنده گدازه‌های آندزیتی تا ریوداسیتی و چندین توده گرانیتوئیدی با ویژگی کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا و شوشونیتی هستند (Moayyed, 2001).

ولکانو-پلوتونیک ترسیری البرز باختری-آذربایجان (Moayyed, 2001; Castro et al., 2013) است که به‌علت پتانسیل بالای کانی‌سازی گونه پورفیری از دیرباز توسط پژوهشگران بسیاری بررسی شده است (Calagari, 1997; Hassanpour et al., 2010; Jamali et al., 2010; Alavi et al., 2014; Hosseinzadeh et al., 2008, 2016; Kamali et al., 2018, 2020; Moshefi et al., 2018, 2020).

مهندسان مشاور زرناب اکتشاف در سال ۱۳۸۵، به پژوهش‌های زمین‌شناسی و دگرسانی‌های منطقه شله‌بران پرداختند. در سال ۱۳۸۷، عملیات اکتشافی ناحیه‌ای و شناسایی مانند بررسی‌های ماهواره‌ای و زمین‌شیمیایی در خاور اهر از جمله در محدوده شله‌بران، توسط سازمان زمین‌شناسی و شرکت مس انجام شده و به شناسایی دگرسانی و ناهنجاری زمین‌شیمیایی مس و طلا در محدوده انجامیده است و در نهایت محدوده به‌نام شرکت کاوش گستر ارسباران در سال ۱۳۹۰ ثبت شده است. بیرامی صومعه (Bayrami Sumeh, 2014) و محمدی (Mohammadi, 2014)، روی برخی واحدهای سنگی محدوده پژوهشی بررسی‌هایی انجام داده‌اند؛ اما تا کنون بررسی دقیق و فراگیر سنگ‌شناسی در این منطقه انجام نشده است. از این رو، در این مقاله تلاش شده است تا سنگ‌شناسی، زمین‌شیمی و محیط زمین‌ساختی توده‌های آذرین درونی به تفصیل بررسی شوند.

روش انجام پژوهش

هم‌زمان با تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ از منطقه، از واحدهای سطحی و گمانه‌هایی که برای اکتشاف مولیبدن و مس حفر شده بودند، نمونه‌برداری شد. این نمونه‌برداری‌ها تنوع کاملی از رخنمون‌های موجود در منطقه را در برداشت. شمار ۴۵ نمونه بر پایه تنوع سنگ‌شناسی برگزیده شدند و سپس از آنها مقاطع نازک تهیه و با میکروسکوپ پلاریزان بررسی سنگ‌نگاری شدند. از میان نمونه‌های یادشده، ۱۵ نمونه با کمترین میزان دگرسانی برای تجزیه و تحلیل عنصرهای اصلی به روش طیف‌سنجی فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) و برای اندازه‌گیری عنصرهای کمیاب

جدول ۱. داده‌های تجزیه شیمیایی سنگ کل توده‌های آذرین درونی منطقه شله‌بران (عنصرهای اصلی بر پایه درصد وزنی، عنصرهای کمیاب و خاکی کمیاب به پی‌پی‌ام).

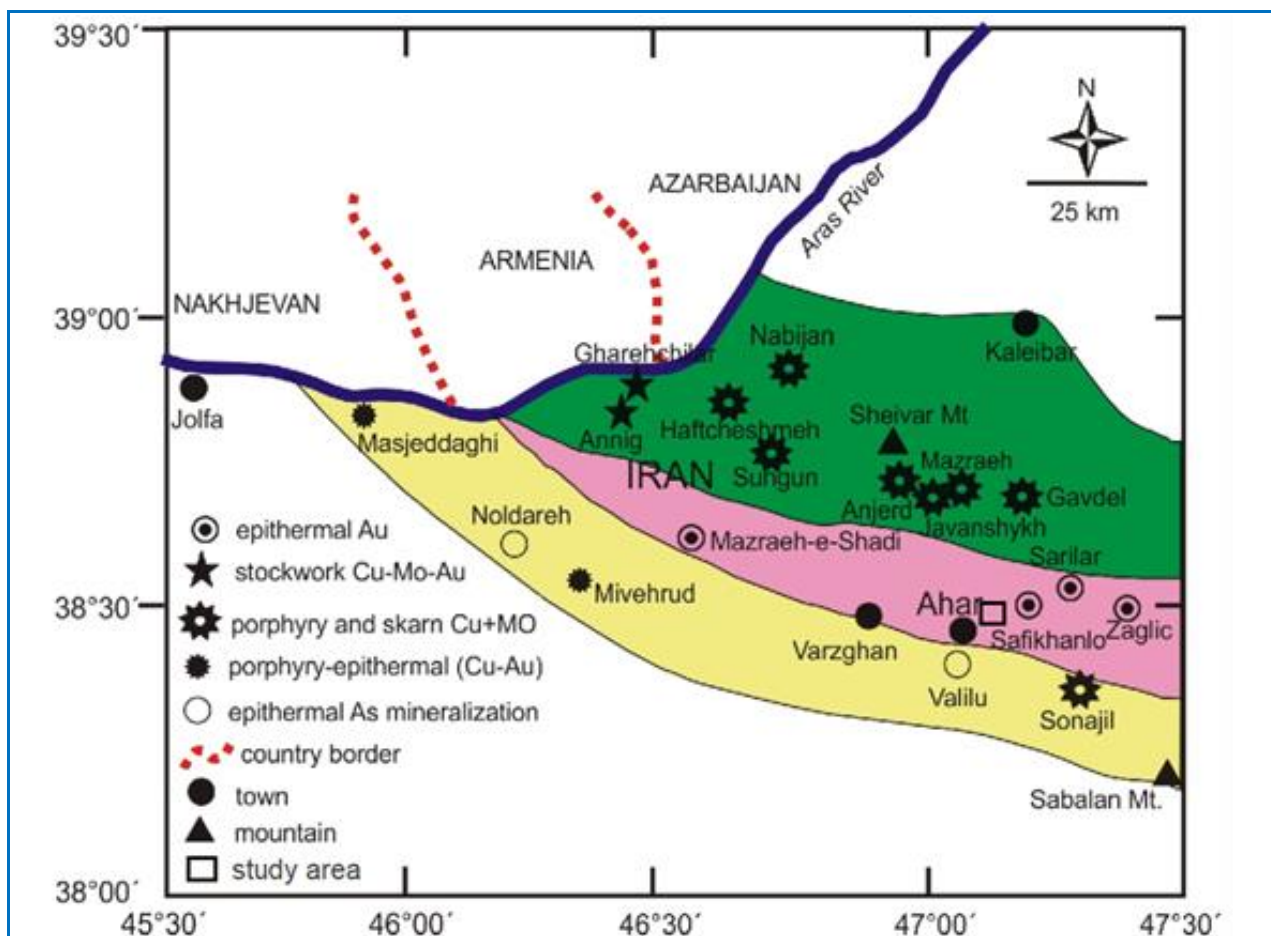
Table 1. The whole-rock geochemical data of intrusion bodies in the Shele Boran area (major elements in wt. %, trace and rare earth elements in ppm).

Sample No	Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	Sh7	Sh8
Rock Type	Diorite	Diorite	Diorite	Diorite	Diorite	Quartz monzonite	Grano diorite	Grano diorite
SiO ₂	59.71	60.30	60.88	61.05	61.64	62.10	62.59	63.03
Al ₂ O ₃	14.93	14.25	17.52	15.1	15.1	16.8	18.12	17.59
CaO	4.21	4.22	3.88	3.8	4.14	3.78	3.79	3.52
Fe ₂ O ₃	8.47	8.8	5.77	6.8	7.69	4.8	6.05	5.87
K ₂ O	2.51	2.42	2.86	4	2.3	4.4	3.63	3.08
MgO	3.8	3.17	3.45	3.45	3.67	1.7	1.72	1.67
MnO	0.22	0.23	0.14	0.14	0.12	0.07	0.02	0.02
Na ₂ O	2.18	2	2.59	3	2.09	3.7	2.37	2.62
P ₂ O ₅	0.15	0.14	0.2	0.2	0.29	0.37	0.18	0.17
TiO ₂	0.72	1.29	0.69	0.7	1.07	0.68	0.6	0.58
LOI	3.1	3.08	1.23	2.72	1.89	1.4	1.1	1.85
Total	100	99.9	99.21	100.96	100	99.8	100.53	100
P	1399	1719	1853	1064	1456	2871	895	1652
Sc	12.3	23	7.5	13.9	7.2	14.2	20.7	18.2
Ti	252.2	590.6	268.6	267.1	129.2	114.7	663.4	423.7
V	100	298	63	218	98	168	217	119
Cr	18	10	25	9	8	4	4	28
Co	4	27	3	1	2	2	4	2
Ni	6	17	7	9	4	3	5	8
Cu	2.44	88	175	72	39	26	100	537
Zn	17	111	11	30	24	26	2.5	41
Ga	19.05	20.06	20.11	19.08	18.22	19.79	19.12	18.43
Rb	143	19	131	144	42	25	44	104
Sr	620	591	769	439	1095	1003	412	684
Y	21	24	11	9	5	5	9	9
Zr	58	16	56	39	42	30	34	39
Nb	18	20	13	10	3	5	10	11
Mo	8.2	0.48	13.6	4.8	10.7	0.45	2.2	34
Cs	5.2	8.05	8.8	7.9	9	2.8	3.8	9.8
Ba	1906	1988	1233	1303	285	260	1118	1408
La	59	25	61	56	24	15	27	45
Ce	102	46	100	93	39	28	44	71
Pr	3.47	3.58	3.34	3.17	3.2	3.28	3.22	3.15
Nd	13.08	12.76	13.1	13.05	11.95	12.58	12.47	12.16
Eu	0.78	0.74	0.64	0.68	0.65	0.7	0.62	0.77
Gd	2.23	2.67	2.38	2.17	2.48	2.05	2.41	2.21
Tb	0.39	0.41	0.33	0.34	0.37	0.42	0.38	0.35
Dy	1.85	1.57	1.82	1.87	1.72	1.44	1.75	1.93
Ho	0.48	0.32	0.45	0.39	0.35	0.38	0.33	0.34
Er	1.36	1.56	1.44	1.18	1.28	1.2	1.31	1.45
Tm	0.22	0.20	0.23	0.25	0.21	0.24	0.24	0.21
Yb	1.6	3.2	0.5	1.1	0.5	1	1.4	0.6
Lu	0.20	0.19	0.13	0.24	0.14	0.18	0.15	0.20
Hf	2.2	2.1	2.22	2.15	2.33	2.05	2.05	2.27
W	1.8	2.1	3.8	0.9	1.1	2.4	1.7	3.7
Tl	1.18	0.15	1.49	0.97	1.23	0.45	0.17	0.62
Pb	6	21	22	9	37	20	18	27
Bi	0.84	0.91	0.19	0.98	0.48	1.27	0.59	1.13
Th	25.4	13.6	36.8	19.9	4.3	4.8	8.6	24.3
U	3.7	13.1	10.2	8.2	0.47	11.5	5.6	14.1

جدول ۱. ادامه.

Table 1. Continued.

Sample No	Sh9	Sh10	Sh11	Sh12	Sh13	Sh14	Sh15
Rock Type	Grano diorite	Grano diorite	Grano diorite	Grano diorite	Grano diorite	Grano diorite	Grano diorite
SiO ₂	63.11	63.18	65.20	65.65	66.01	66.17	66.26
Al ₂ O ₃	16.83	16.21	18.1	15.98	15.87	16.3	16.2
CaO	3.57	3.47	3.11	3.55	3.49	3.34	3.4
Fe ₂ O ₃	6.31	4.39	3.82	4.45	4.83	3.12	3.12
K ₂ O	3.12	3.46	3.7	3.97	3.26	4.12	3.43
MgO	1.96	1.88	0.85	0.48	1.5	0.78	2.06
MnO	0.01	0.16	0.01	0.09	0.14	0.02	0.02
Na ₂ O	2.65	3.02	3.43	2.61	2.96	3.09	3.04
P ₂ O ₅	0.16	0.13	0.13	0.14	0.02	0.19	0.22
TiO ₂	0.47	0.52	0.39	0.45	0.69	0.72	0.46
LOI	1.84	3.08	1.4	2.18	1.2	2.35	2.25
Total	100.33	99.5	100.14	99.55	100.06	100.03	100.96
P	1016	1551	839	1639	1576	2130	1175
Sc	2.2	23	2.1	8	7.3	10	7.8
Ti	170.8	654.5	154.7	256.7	157.7	693	200
V	71	347	63	103	72	91	72
Cr	2	13	2	19	12	27	17
Co	1	3	8	1	1	0.8	2
Ni	3	9	4	8	5	4	4
Cu	12	175	25	345	243	183	105
Zn	14	81	47	18	17	15	12
Ga	19.63	17.31	19.48	19.84	19.57	18.52	17.96
Rb	187	10	192	74	105	22	113
Sr	554	893	521	800	425	1162	735
Y	8	11	18	10	7	9	8
Zr	10	37	47	39	65	42	60
Nb	10	11	20	9	8	4	6
Mo	6.3	4.1	6.4	6.4	161	23	11.4
Cs	15	5.1	12.5	8.2	5	8.8	10.2
Ba	1830	1401	1678	1371	838	771	1324
La	97	25	87	58	42	47	60
Ce	159	48	137	98	69	58	100
Pr	3.64	3.36	3.52	3.25	3.19	3.41	3.55
Nd	12.88	12.05	12.62	11.57	12.65	13.12	12.34
Eu	0.69	0.69	0.79	0.63	0.75	0.73	0.67
Gd	2.34	2.09	2.28	2.37	2.5	2.41	2.15
Tb	0.40	0.31	0.32	0.36	0.30	0.39	0.42
Dy	1.78	1.99	1.69	1.81	1.66	1.61	1.53
Ho	0.46	0.41	0.31	0.36	0.44	0.42	0.47
Er	1.49	1.48	1.37	1.56	1.51	1.42	1.19
Tm	0.22	0.23	0.21	0.27	0.28	0.29	0.26
Yb	0.4	1.9	0.9	0.9	0.6	1	0.5
Lu	0.23	0.16	0.19	0.17	0.24	0.21	0.28
Hf	2.23	2.4	2.26	2.08	2.11	2.34	2.17
W	1.7	1.6	2	1.5	3.6	2.6	2.6
Tl	1.29	0.18	1.06	1.18	1.54	0.75	1.57
Pb	28	16	48	24	23	22	49
Bi	1.07	0.84	1.22	0.72	0.97	1.33	1.14
Th	40.1	9.7	40.8	21	22.1	30.6	29
U	3.7	10.1	9.7	0.7	11.7	6.5	7.7

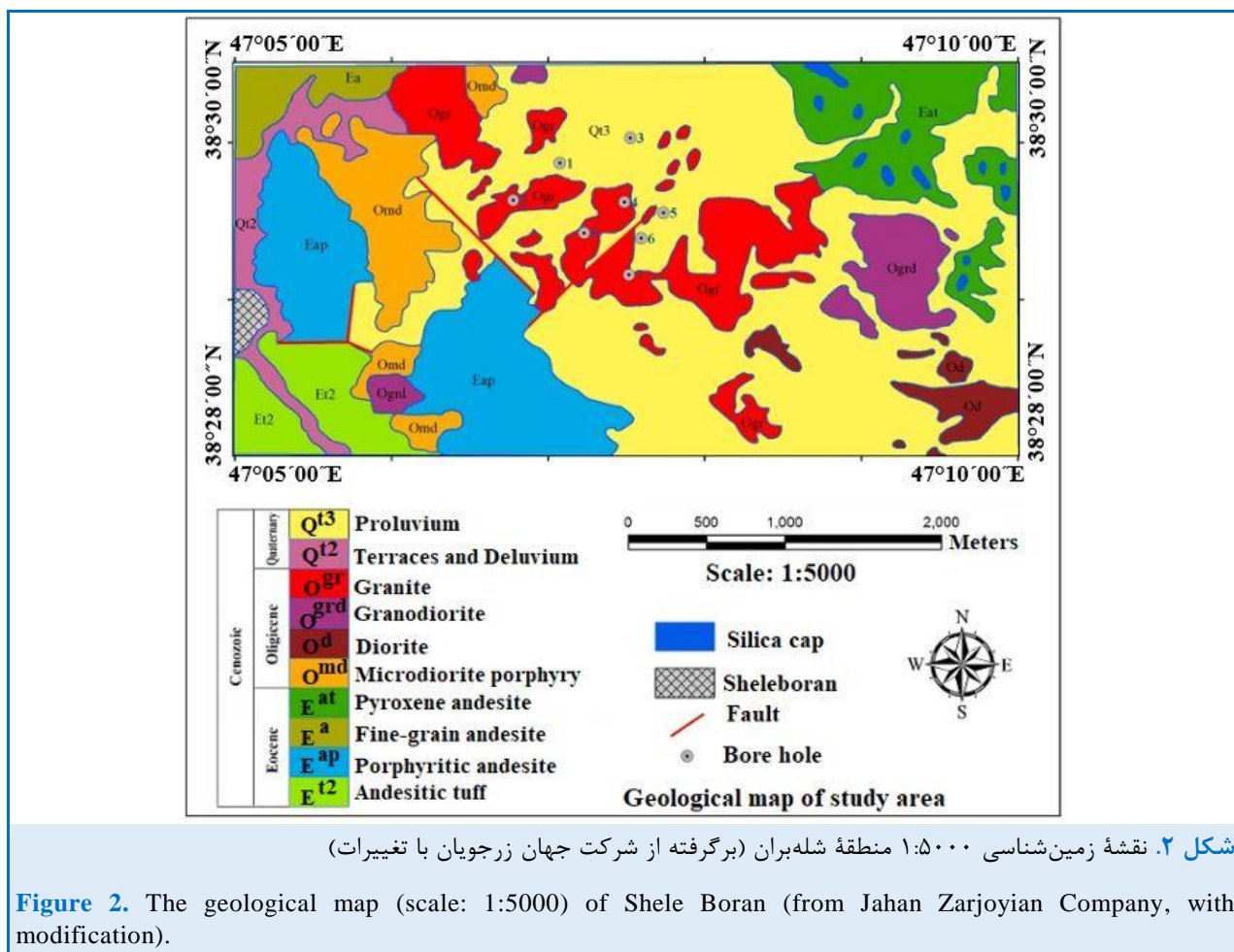


شکل ۱. پراکندگی پهنه‌های فلززایی و کانه‌زایی گوناگون در کمربند سنوزوییک اهر- ارسباران در شمال باختری ایران (برگرفته از جمالی و همکاران (Jamali et al., 2010) با کمی تغییرات).

Figure 1. Distribution of different metallogenic and orogenic zones in the Cenozoic Ahar-Arasbaran belt in northwest Iran (from Jamali et al. (2010), with small modification).

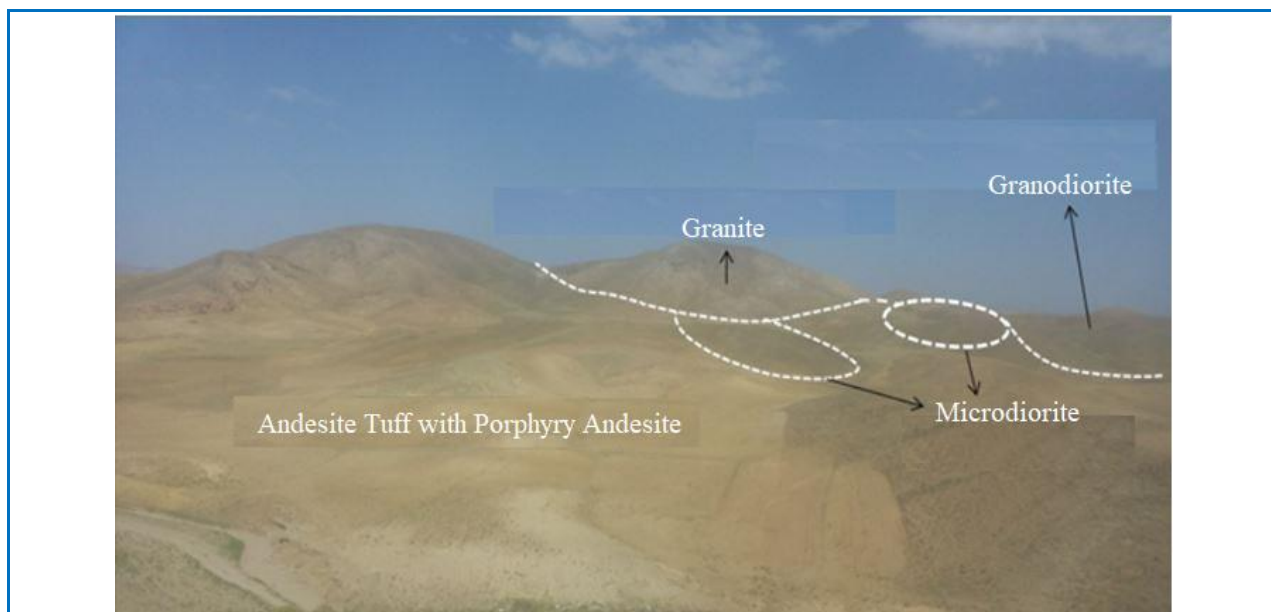
سنگی در این منطقه، نهشته‌های آتشفشانی و آذرآواری پالئوسن- ائوسن با ترکیب آندزیت- داسیت، آندزیت تا آندزیت بازالتی و توف‌های وابسته هستند که توده‌های نیمه‌ژرف پورفیروئید به سن الیگوسن درون آنها نفوذ کرده‌اند (شکل ۲). واحد نیمه‌آتشفشانی میکرودیوریت O^{md} در بخش باختری ناحیه و در کنار واحدهای آندزیت پورفیری E^{ap} و توف آندزیتی E^{t2} گسترش بسیاری یافته است و بیشتر واحد گرانودیوریتی O^{grd} همراه با میکرودیوریت‌ها به چشم می‌خورند؛ اما واحد گرانیتی O^{gr} بخش‌های میانی محدوده شله‌بران را دربر گرفته است (شکل ۳).

باتولیت‌های قره‌داغ، شیورداغ و استوک‌های پورفیری هفت‌چشمه و سونگون از مهم‌ترین توده‌های آذرین درونی وابسته به کانه‌زایی در پهنه فلززایی ارسباران هستند که رخداد کانه‌زایی‌های اسکارنی، پورفیری، داربستی و اپی‌ترمال را به دنبال داشته‌اند (Nakhjavani et al., 2021). از ویژگی‌های آشکار این پهنه، تکاپوی ماگمایی گسترده‌ترسیری است که آغاز آن در پالئوسن- ائوسن و نقطه‌اوج آن همراه با چین‌خوردگی گسترده واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و نیز جاییگری توده‌های آذرین درونی در الیگوسن (فاز پیرنه) بوده است (Moayyed, 2001). کهن‌ترین واحدهای



شکل ۲. نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه شله بران (برگرفته از شرکت جهان زرجویان با تغییرات)

Figure 2. The geological map (scale: 1:5000) of Shele Boran (from Jahan Zarjoyian Company, with modification).



شکل ۳. نمایی کلی از منطقه بررسی شده شله بران و رخنمون های واحدهای گوناگون مختلف (دید رو به شمال خاوری)

Figure 3. A general view of the study area in Shele Boran with various rock units' outcrops (northeastward view).

سنگ‌شناسی توده‌های آذرین نفوذی

ترکیب توده‌های آذرین درونی نیمه‌ژرف منطقه شله‌بران گرانیت، تونالیت و میکرودیوریت پورفیری است که در ادامه به بررسی آنها پرداخته می‌شود:

گرانیت

نمونه‌های دستی این واحد به رنگ خاکستری کمی تیره تا صورتی و رنگ سطح هوازده این واحد، خاکستری رو به سفید است (شکل ۴-B) و نسبت به دیگر توده‌های درونی گسترش بیشتری در این محدوده دارند (شکل‌های ۲ و ۴-A). کانی‌های اصلی سازنده آن کوارتز، پلاژیوکلاز، پتاسیم‌فلدسپار و بیوتیت هستند.

کوارتز (با فراوانی ۳۰-۴۰ درصد حجمی) به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل، دانه‌ریز تا متوسط دانه است (شکل‌های ۴-C، ۴-D و ۴-E) و به صورت پرکننده فضای میان بلورها نیز دیده می‌شود.

پتاسیم‌فلدسپار (با فراوانی ۲۵-۳۰ درصد حجمی) بیشتر به صورت درشت‌بلورهای شکل‌دار و با ماکل کارلسباد در زمینه سنگ نمود دارد (شکل‌های ۴-C و ۴-D).

پلاژیوکلاز (با فراوانی ۱۵-۲۰ درصد حجمی) به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در اندازه‌های ۲ تا ۴ میلی‌متر بوده، ترکیب آنها آندزین است (شکل‌های ۴-C، ۴-D و ۴-E). بیشتر آنها به‌طور بخشی در پی دگرسانی به سریسیت و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند.

بیوتیت (با فراوانی ۵-۱۰ درصد حجمی) در اندازه‌های متوسط و نیمه‌شکل‌دار است، تحت‌تأثیر دگرسانی گرمایی به کلریت و اکسیدهای آهن تجزیه شده است. بیوتیت فراوان‌ترین کانی تیره این واحد سنگی به‌شمار می‌رود و گاهی با آمفیبول همراه است (شکل‌های ۴-C، ۴-D و ۴-E).

کانی‌های ثانویه در بردارنده کلریت، سریسیت، کلسیت، کانی‌های رسی هستند. افزون بر این، کانی‌های زیرکن، آپاتیت و اسفن به صورت اندک در زمینه سنگ دیده می‌شوند.

شوند.

بافت غالب این سنگ‌ها گرانولار پورفیری است (شکل‌های ۴-C، ۴-D و ۴-E).

تونالیت

نمونه‌های دستی این واحد به رنگ سبز رو به آبی و رنگ سطح هوازده این واحد، خاکستری متمایل به صورتی است (شکل ۵-B) و بیشتر در بخش‌های شمال‌باختری و جنوب‌خاوری محدوده شله‌بران رخمون دارند (شکل‌های ۲ و ۵-A) کانی‌های اصلی سازنده، بلورهای پلاژیوکلاز، کوارتز و بیوتیت هستند. کانی‌های فرعی در بردارنده هورنبلند، زیرکن، اسفن، آپاتیت و کانی تیره هستند.

پلاژیوکلاز (با فراوانی ۳۵-۴۵ درصد حجمی) به صورت نیمه‌شکل‌دار و دانه درشت (۴-۵ میلی‌متر) دیده می‌شوند. این کانی منطقه‌بندی ترکیبی دارد و به سریسیت و کانی‌های رسی تجزیه شده است (شکل‌های ۵-C و ۵-D).

کوارتز (با فراوانی ۲۵-۳۰ درصد حجمی) به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و بیشتر ریز بلور در زمینه سنگ و فضای میان‌بلوری دیده می‌شود (شکل‌های ۵-D و ۵-E).

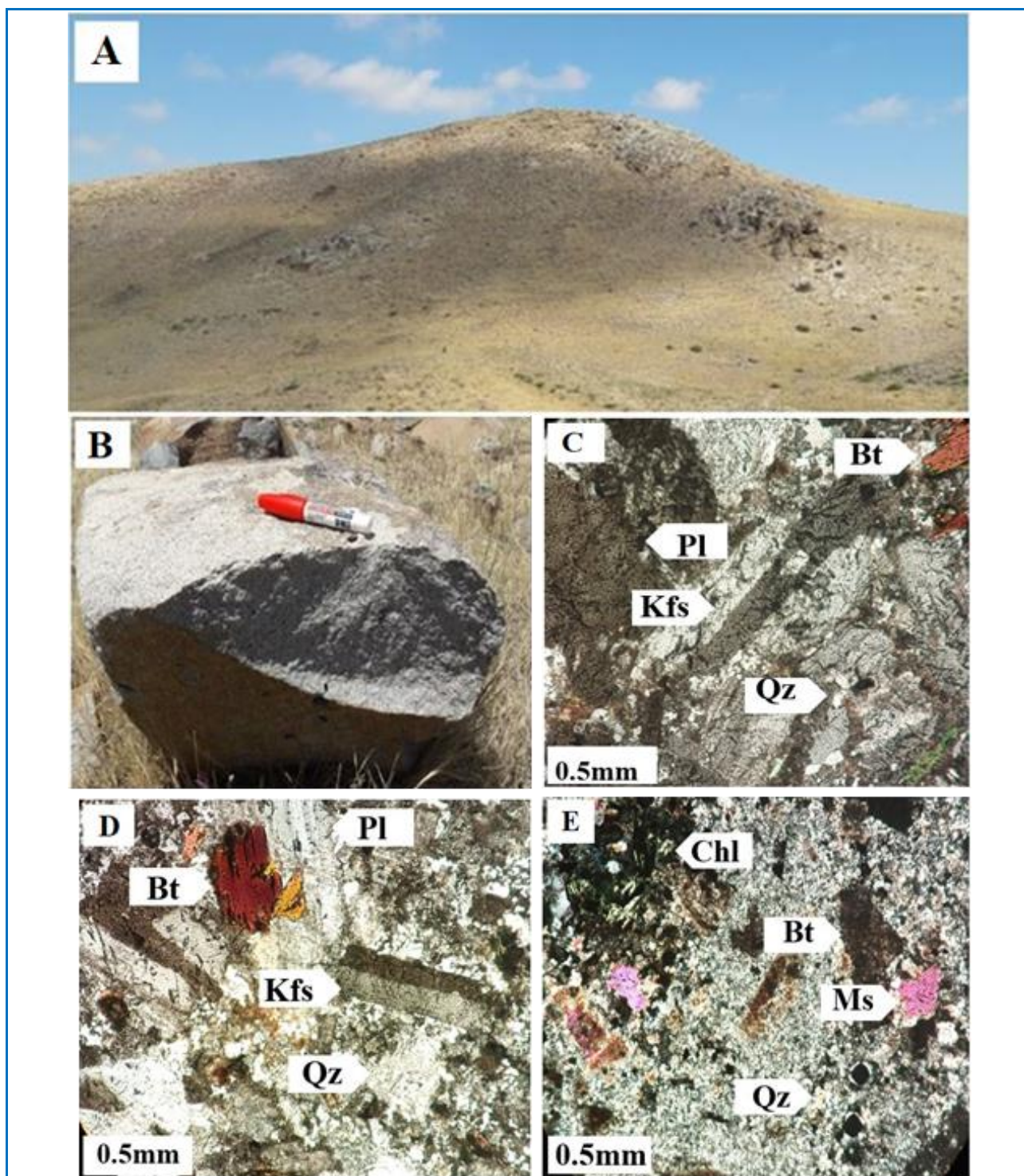
بیوتیت (با فراوانی ۱۰-۱۵ درصد حجمی) همراه با پلاژیوکلاز و آمفیبول درشت‌بلورها را می‌سازد و در پی دگرسانی با کلریت جایگزین شده است (شکل‌های ۵-C، ۵-D و ۵-E).

هورنبلند (با فراوانی ۵-۱۰ درصد حجمی) بیشتر به صورت شکل‌دار است و ماکل کتابی نشان می‌دهد و به کلریت، بیوتیت و اکسید آهن تجزیه شده است (شکل‌های ۵-D و ۵-E).

بافت غالب این سنگ‌ها پورفیری و گرانولار است.

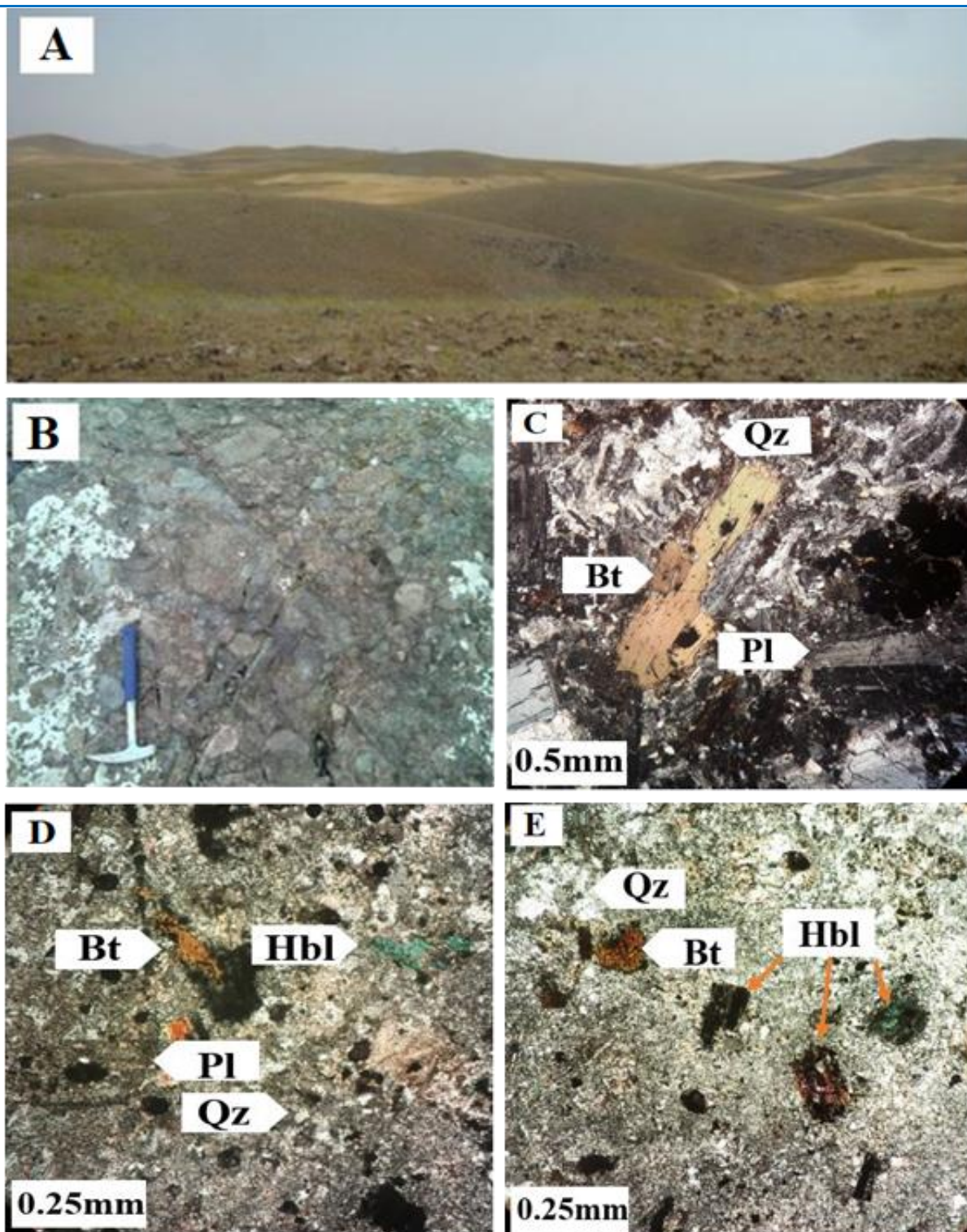
میکرودیوریت پورفیری

این واحد در سطح سالم و نادگرسان سبز تیره است (شکل ۶-B) و در سطح دگرسان با آغستگی بسیار به اکسید آهن به رنگ زرد مایل است. در سطح تازه این سنگ‌ها، پیریت پراکنده با تراکم بالا یافت می‌شود.



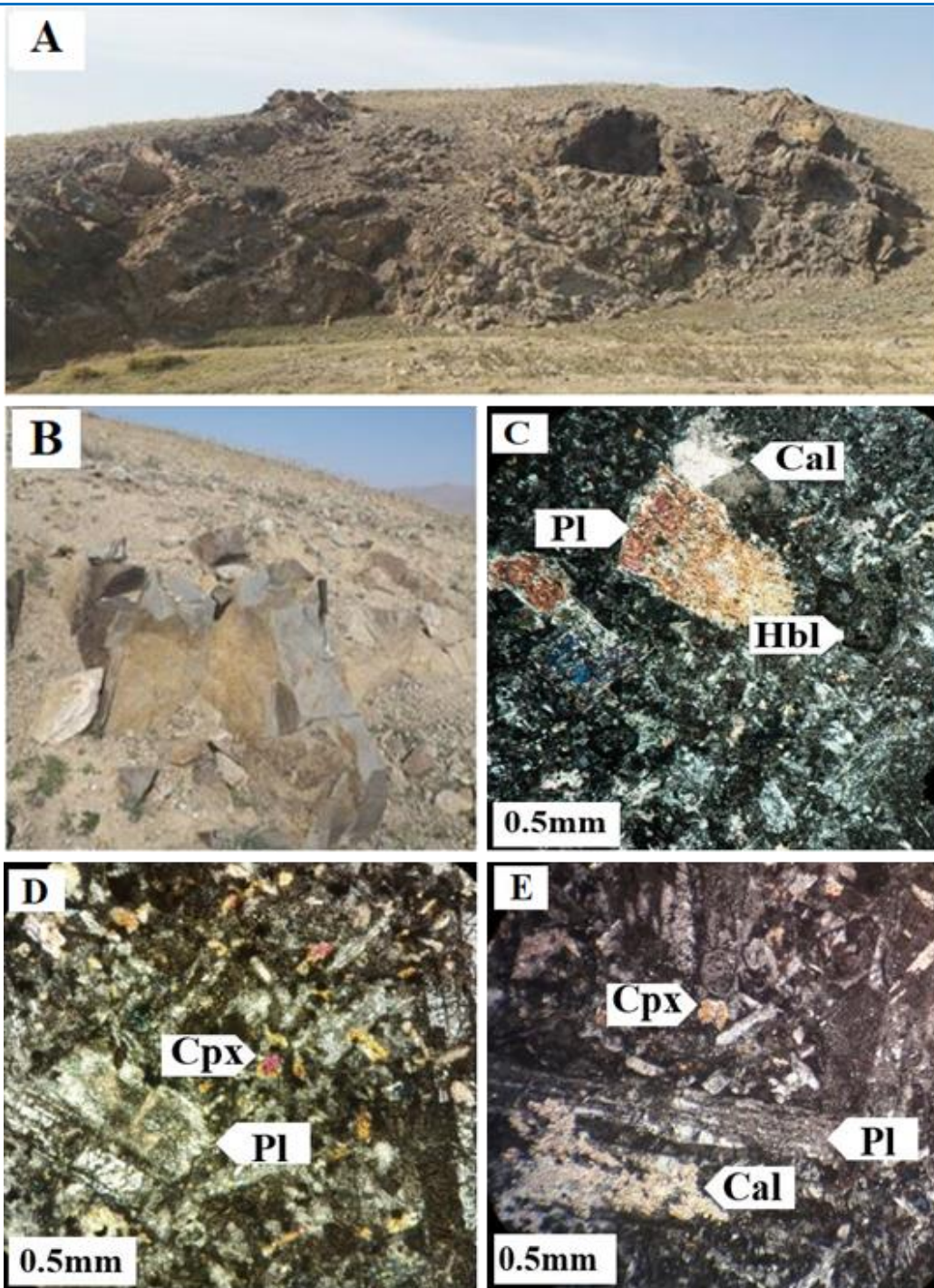
شکل ۴. A) نمایی از رخنمون گرانیت (دید رو به شمال)؛ B) نمای نزدیک از واحد گرانیت؛ C، D) درشت بلورهای پلاژیوکلاز و پتاسیم فلدسپار به همراه کوارتز و بیوتیت با بافت گرانولار پورفیری؛ E) نمود کانی‌های کلریت و مسکوویت همراه با کوارتز، پلاژیوکلاز و بیوتیت با بافت پورفیروئید (نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از ویتنی و اوانس (Whitney and Evans, 2010) است).

Figure 4. A) A view of granite outcrop (view to the north); B) A close view of the granite unit; C, D) plagioclase and potassium feldspar phenocryst with quartz and biotite with porphyry granular texture; E) Presence of chlorite and muscovite minerals with quartz, plagioclase and biotite with porphyroid texture (Abbreviations from Whitney and Evans (2010)).



شکل ۵. A) نمای از رخنمون تونالیت (دید رو به شمال‌باختری)؛ **B)** نمای نزدیک از واحد تونالیت؛ **C)** درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و بیوتیت با بافت گرانولار پورفیری؛ **D)** بافت پورفیروئید با نمود کانی‌های پلاژیوکلاز، بیوتیت و هورنبلند به همراه کوارتزهای ریز بلور در زمینه سنگ؛ **E)** بافت پورفیروئید برآمده از نمود درشت‌بلورهای بیوتیت و هورنبلند و کوارتزهای ریز بلور در زمینه سنگ.

Figure 5. A) A view of tonalite outcrop (view to the northwest); **B)** A close view of the tonalite unit; **C)** Plagioclase and biotite phenocryst with porphyry granular texture; **D)** Porphyroid texture with the presence Plagioclase, biotite and hornblende minerals with microcrystalline quartz in the background; **E)** Porphyroid texture resulting from the presence of coarse biotite and hornblende crystals and micro quartz crystals.



شکل ۶. A نمایی از رخنمون میکرودیوریت پورفیری (دید رو به شمال باختری); **B** نمای نزدیک از واحد میکرودیوریت پورفیری; **C** درشت بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند که به کلسیت، اپیدوت و کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند; **D** بافت پورفیریوید با نمود درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن به همراه پلاژیوکلاز و کوارتزهای ریز بلور در زمینه سنگ; **E** بافت پورفیریوید برآمده از نمود درشت بلورهای پلاژیوکلاز در زمینه‌ای از کوارتز، پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن.

Figure 6. A A view of porphyry microdiorite outcrop (view to the northwest); **B** A close view of the porphyry microdiorite unit; **C** Coarse plagioclase and hornblende crystals show altered in calcite, epidote and clay minerals; **D** porphyroid texture with the presence of coarse plagioclase and clinopyroxene crystals with plagioclase and microcrystalline quartz in the background; **E** porphyroid texture resulting from the presence of coarse plagioclase crystals in the background of quartz, plagioclase and clinopyroxene.

شکل و دگرسان شده نمود دارد و با کلریت و اکسید آهن جایگزین شده است.

پیروکسن (با فراوانی ۵-۱ درصد حجمی) به صورت بلورهای بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار نمود دارد. در برخی نمونه‌ها تا اندازه‌ای حفظ شده است (شکل‌های D-۶ و E-۶)؛ اما بیشتر با کلریت و کلسیت جانشین شده است.

کوارتز (با فراوانی ۵-۱ درصد حجمی) همراه با پتاسیم‌فلدسپار فضای به‌جای مانده میان دیگر کانی‌ها را پر کرده است. بافت غالب این سنگ پورفیریک با خمیره ریز بلور است.

رده‌بندی شیمیایی

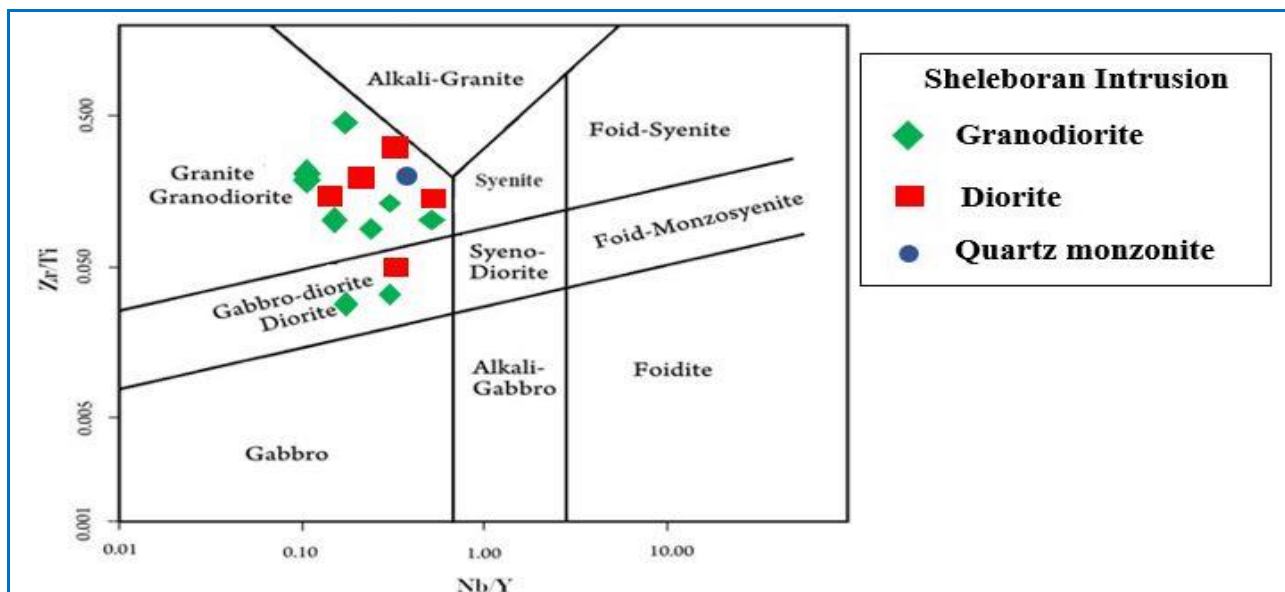
در کانسارهای پورفیری به‌علت کارکرد گسترده سیال‌های گرمایی و تحرک عنصرهای اصلی مانند سدیم و پتاسیم بهره‌گیری از نمودارهای TAS صحیح نیست. از این‌رو، از نمودارهای عنصرهای نامتحرک برای نام‌گذاری و تفسیرهای زمین‌شیمیایی بهره گرفته می‌شود. در رده‌بندی شیمیایی در نمودار Nb/Y-Zr/Ti، نمونه‌ها در گستره گرانیت-گرانودیوریت و نیز دیوریت (گابرو-دیوریت) جای می‌گیرند (شکل ۷).

واحد میکرودیوریتی بیشتر در بخش مرکزی، جنوب خاوری و باختر محدوده رخنمون دارد (شکل‌های ۲ و A-۶). پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت از کانی‌های اصلی سازنده هستند. کلینوپیروکسن، کوارتز، پتاسیم‌فلدسپار، آپاتیت و زیرکن از کانی‌های فرعی هستند. فراوان‌ترین دگرسانی دیده‌شده در این گروه از سنگ‌ها، پروپیلیتیک ضعیف تا متوسط است.

پلاژیوکلاز (با فراوانی ۶۰-۷۰ درصد حجمی) به‌صورت درشت‌بلور (تا ۶ mm) و میکروولیت در زمینه سنگ به فراوانی نمود دارد. با توجه به زاویه خاموشی می‌توان گفت پلاژیوکلازها در اندازه‌اندزین-الیگوکلاز هستند. این کانی به‌طور کامل یا بخشی به سرسیت، کلسیت و کانی‌های رسی تجزیه شده است (شکل‌های C-۶، D-۶ و E-۶).

هورنبلند (با فراوانی ۱۵-۱۰ درصد حجمی) مهم‌ترین کانی فرومنیزین در این سنگ‌ها به‌شمار می‌رود. هورنبلند در برخی نمونه‌ها تا اندازه‌ای حفظ شده است؛ اما بیشتر به کلریت، تجزیه شده و یا با کلسیت و اپیدوت جانشین شده است (شکل C-۶).

بیوتیت (با فراوانی ۱۰-۵ درصد حجمی) به‌صورت بی



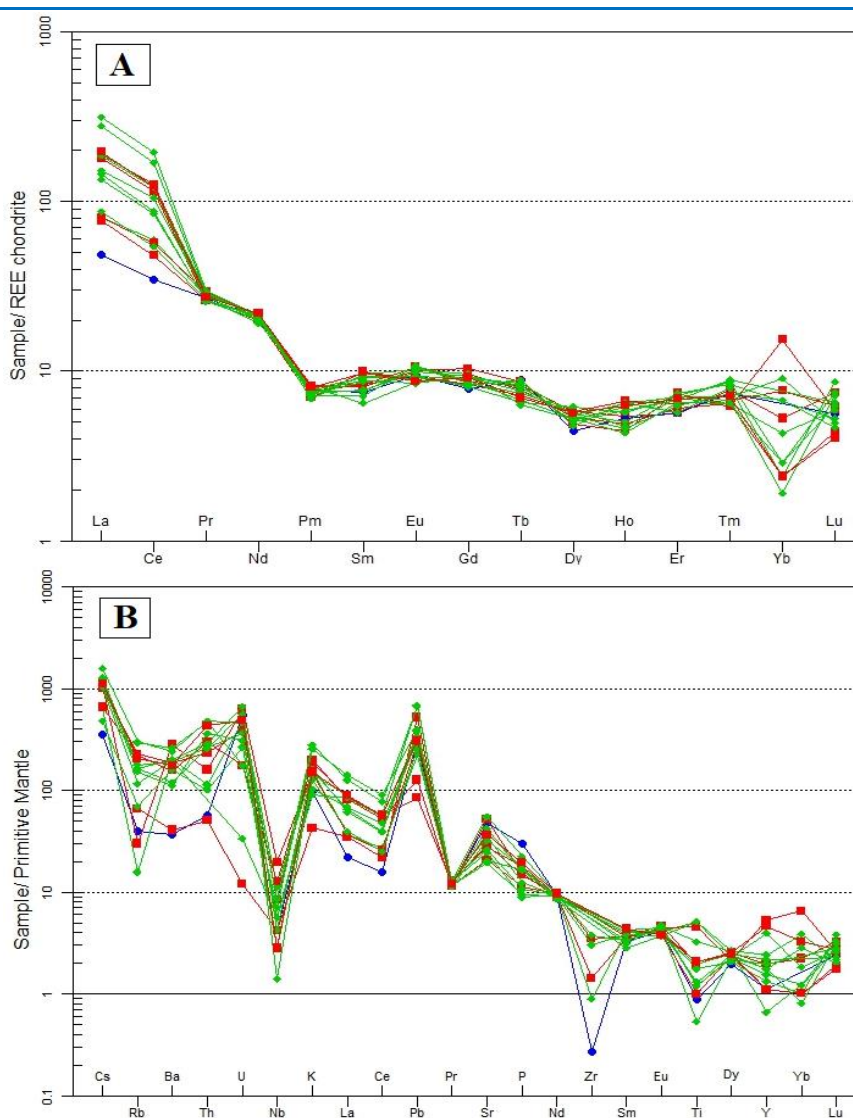
شکل ۷. شناسایی سرشت توده‌های آذرین درونی شله‌بران در نمودار Nb/Y در برابر Zr/Ti (Pearce, 1996).

Figure 7. Determine the nature of intrusion bodies in the Shele Boran area in Nb/Y versus Zr/Ti plot (Pearce, 1996).

دیگر، در این نمودار، نمونه‌های توده‌های آذرین درونی غنی شدگی از LREE نشان می‌دهند، غنی‌شدگی از عنصرهای LREE نسبت به HREE و ناهنجاری منفی Nb و Zr وابستگی این سنگ‌ها را به سری ماگمایی کالک‌آلکان (Nelson, 2004; Machoda et al., 2005) نشان می‌دهد.

زمین‌شیمی عنصرهای کمیاب و فرعی

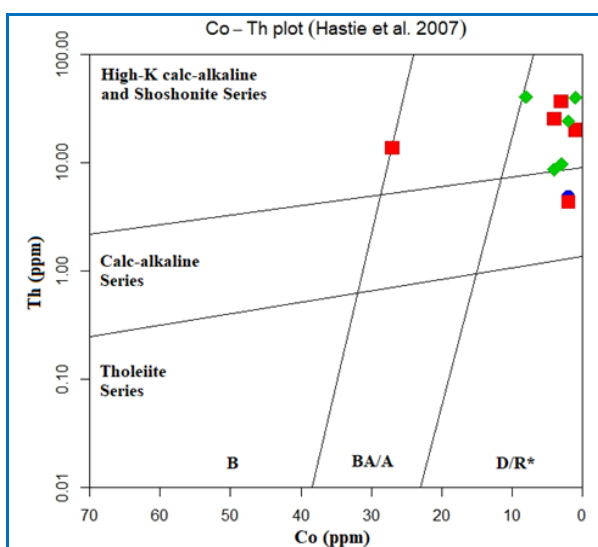
در نمودارهای عنکبوتی عنصرهای کمیاب به ترکیب کندریت و گوشته کهن بهنجار شده‌اند (شکل ۸). در نمودار بهنجار شده به ترکیب کندریت (Boynton, 1984)، شیب از سمت عنصرهای خاکی کمیاب سبک به سوی عنصرهای خاکی کمیاب سنگین کم می‌شود (شکل ۸-۸). به گفته



شکل ۸. A) الگوی عنصرهای خاکی کمیاب بهنجار شده به ترکیب کندریت (Boynton, 1984)؛ B) نمودار چندعنصری بهنجار شده به ترکیب گوشته کهن (Sun and McDonough, 1989) در توده‌های آذرین درونی شله‌بران (نمادها و رنگ‌ها همانند شکل ۷).

Figure 8. A) Chondrite-normalized REE patterns (Boynton, 1984); B) Primitive mantle-normalized multi-element spider diagram (Sun and McDonough, 1989) of the intrusion bodies from Shele Boran (Symbols and colors are the same as in Figure 7).

Th و نمودارهای Ta/Yb و Ce/Yb-Th نمودارهای نامتحرک بهره‌گیری شده است. همه نمونه‌ها در گستره کالک‌آلکان با پتاسیم بالا و شوشونیتی جای گرفته‌اند (شکل‌های ۹ و ۱۰). با توجه به این نمودارها می‌توان گفت که ماگمای سازنده سنگ‌های توده‌های آذرین درونی در منطقه شله‌بران سرشت شوشونیتی و کالک‌آلکان با پتاسیم بالا دارند، سری شوشونیتی، غالب است.



شکل ۹. نمودار Co در برابر Th (Hastie et al., 2007) برای شناسایی سری ماگمایی توده‌های آذرین درونی شله‌بران (نمادها و رنگ‌ها همانند شکل ۷).

Figure 9. Co versus Th diagram (Hastie et al., 2007) to determine the magmatic series of intrusion bodies of the Shale Boran (Symbols and colors are the same as in Figure 7).

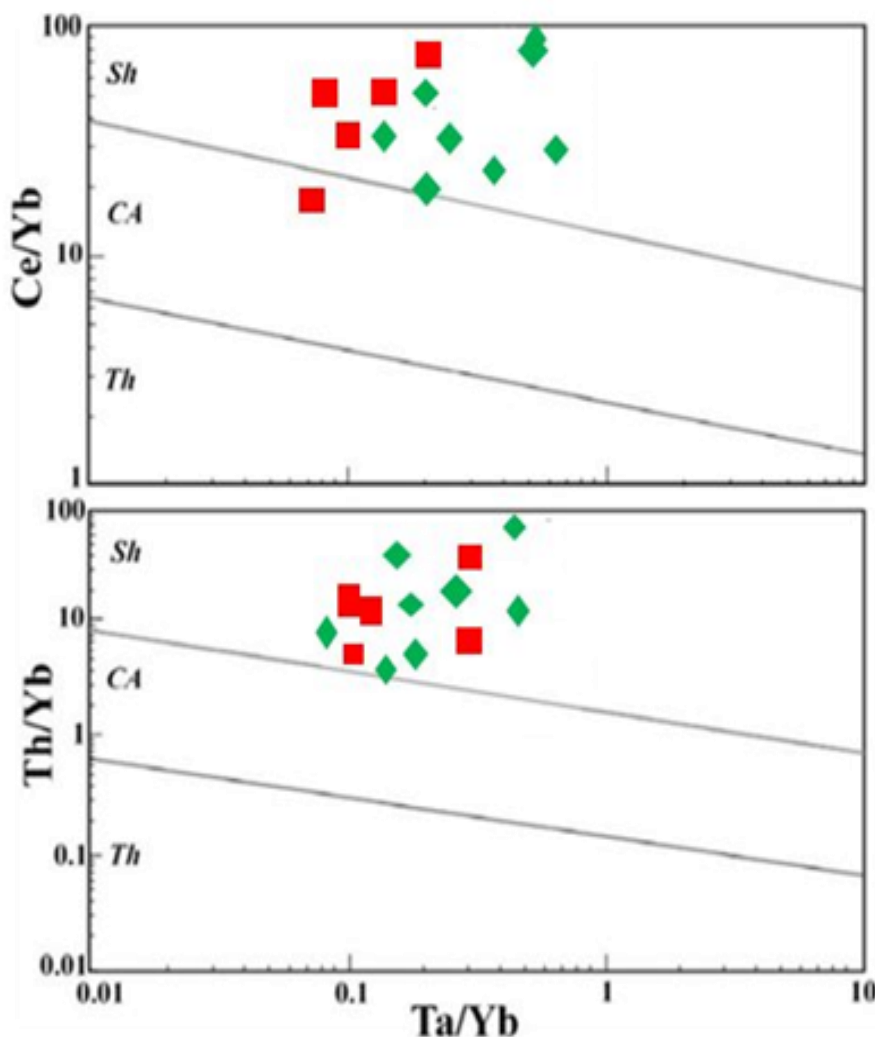
گفتنی است که سرشت شوشونیتی و کالک‌آلکان با پتاسیم بالا در واحدهای آتشفشانی منطقه سوناجیل هریس نیز گزارش شده است (Hosseinzadeh et al., 2008; Nemati et al., 2018). بیشتر سری‌های شوشونیتی در پهنه‌های زمین‌ساختی کرانه‌های فعال قاره در نخستین مراحل پیدایش کمان یا مراحل پایانی و بلوغ کمان ماگمایی پدید می‌آیند (Morrison, 1980; Stern et al., 1988). همچنین، آنها در محیط‌های کششی یا پس از برخورد نیز گزارش شده‌اند (Sun et al., 2008; Dostal et al., 2002).

در نمودار بهنجار شده به ترکیب گوشته کهن (Sun and McDonough, 1989)، ناهنجاری‌های منفی واضح و آشکاری از Nb و Y, Pr, P, Zr, Ti و همچنین، ناهنجاری مثبتی از Nd و Cs, Pb, U, K دیده می‌شود (شکل ۸-B). ناهنجاری منفی Ti بازتاب‌دهنده کاربرد اکسیدهای Fe-Ti است؛ زیرا با وارد شدن Ti به ساختار کانی‌هایی مانند تیتانومگنتیت و جدایش آن از ماگما، این ناهنجاری می‌تواند پدید آید (Rollinson, 1993). ناهنجاری منفی عنصرهای Ta, P, Ti و Nb در نمودار عنکبوتی همراه با یک غنی‌شدگی آشکار از عنصرهای LILE (مانند: Cs, Th, Sm, Sr, K) از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ماگمایی وابسته به کمان‌های آتشفشانی است که در پی رفتار سیال‌های برآمده از فرورانش پدید می‌آیند (Rollinson, 1993; He et al., 2007; Peng et al., 2007). پس روند تغییرات این نمونه‌ها با ویژگی‌های محیط زمین‌ساختی وابسته به فرورانش همخوانی دارد (Wilson, 1989; McDonald et al., 2000; Gioncada et al., 2003).

ناهنجاری منفی Nb نشان‌دهنده ماگماهای وابسته به محیط‌های کرانه فعال قاره‌ای است و می‌تواند پیامد آلودگی پوسته و سیال‌های آزاد شده از سنگ‌کره فرورونده باشد (Aldanmaz et al., 2000). افزون‌بر این، عنصر Nb می‌تواند جانشین Ti در کانی اسفن شود. به‌جای ماندن چنین فاز دیرگدازی در ماگمای مادر، می‌تواند ناهنجاری منفی این عنصر را به‌دنبال داشته باشد (Wilson, 1989).

محیط زمین‌ساختی و سنگ‌زایی توده‌های آذرین درونی

به‌علت وجود دگرسانی گسترده در توده‌های آذرین درونی پورفیروئید شله‌بران، برای شناسایی سری ماگمایی این توده‌ها تنها از نمودار وابسته به عنصرهای نامتحرک بهره‌گیری شد. در نمودار Co-



شکل ۱۰. شناسایی سری ماگمایی توده‌های آذرین درونی شله‌بران در نمودارهای Ce/Yb در برابر Ta/Yb و Th/Yb در برابر Ta/Yb (Pearce et al., 1984) (نمادها و رنگها همانند شکل ۷).

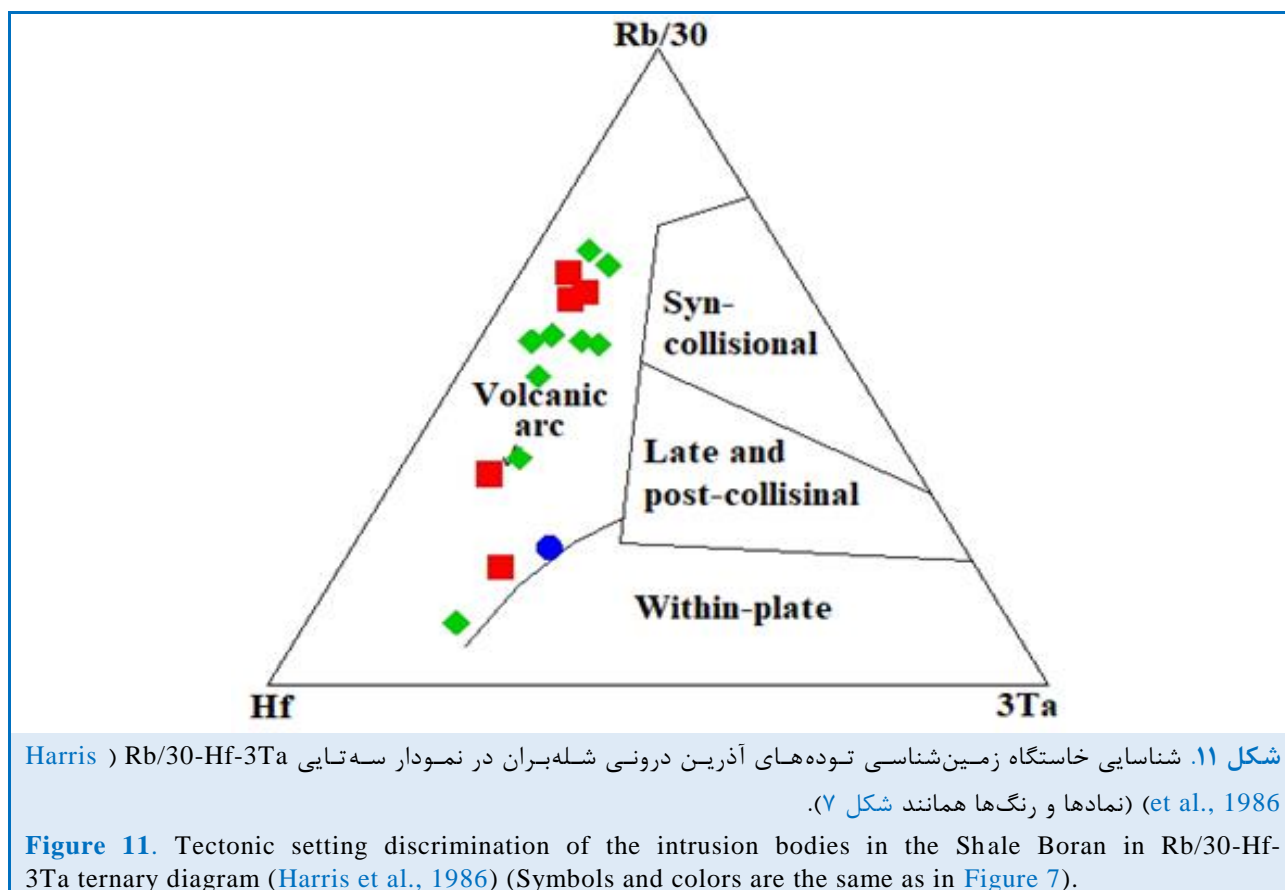
Figure 10. Determination of magmatic series of intrusion in the Shale Boran area in Ce/Yb versus Ta/Yb and Th/Yb versus Ta/Yb diagrams (Pearce et al., 1984) (Symbols and colors are the same as in Figure 7).

گرفته‌اند (شکل‌های A-۱۲ و B-۱۲)، و در نمودار $Ta-Yb$ ، همه نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های وابسته به کمان‌های آتشفشانی جای می‌گیرند (شکل ۱۲- C)، و در نمودار $Rb-(Y+Nb)$ ، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های پس‌برخوردی جای گرفته‌اند (شکل ۱۲- D). در نمودار عنکبوتی عنصرهای کمیاب که به ترکیب پلاژیوگرانیت‌های پشته‌های میان‌اقیانوسی (ORG) بهنجار شده است (شکل ۱۳)، مقایسه الگوی تغییرات عیار این عنصرها در توده‌های آذرین

برای شناسایی محیط زمین‌ساختی توده‌های آذرین درونی شله‌بران از نمودارهای گوناگونی به شرح زیر بهره گرفته شد:
در نمودار $Rb/30-Hf-3Ta$ نمونه‌های توده‌ها در گستره کمان‌های آتشفشانی با گرایش به سمت جایگاه‌های پس‌برخوردی جای می‌گیرند (شکل ۱۱). در نمودارهای $Nb-Y$ و $Rb-(Ta+Yb)$ ، نمونه‌ها در گستره گرانیت‌های کمان‌های آتشفشانی و هم‌زمان با برخورد (VAG+Syn-Col) جای

ناهنجاری مثبت و آشکاری از Ba، Th و Rb و ناهنجاری منفی Y، Yb و Zr و تا اندازه‌ای Ta دارند (Harris, 1983).

درونی نشان می‌دهد همخوانی خوبی میان این توده‌ها با توده‌های آذرین درونی شیلی در آند یا به عبارتی گرانیتوئیدی‌های وابسته به کمان‌های آتشفشانی کرانه فعال قاره‌ای وجود دارد. این توده‌ها



Th، Sr، Sm، Cs، Rb و Ba و ناهنجاری منفی از Ta، Ti، Zr، Nb، P، Pr، Y و Yb نشان می‌دهند که از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ماگمایی وابسته به کمان‌های آتشفشانی به‌شمار می‌روند. ناهنجاری منفی از عنصرهای P، Ta، Ti و Nb در نمودار عنکبوتی همراه با غنی‌شدگی آشکار از عنصرهای LILE (مانند: Cs، Th، Sm، Sr، K) از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ماگمایی وابسته به کمان‌های آتشفشانی است. از این‌رو، روند تغییرات ترکیبی این نمونه‌ها با ویژگی‌های محیط زمین‌ساختی وابسته به پهنه فرورانش همخوانی دارد.

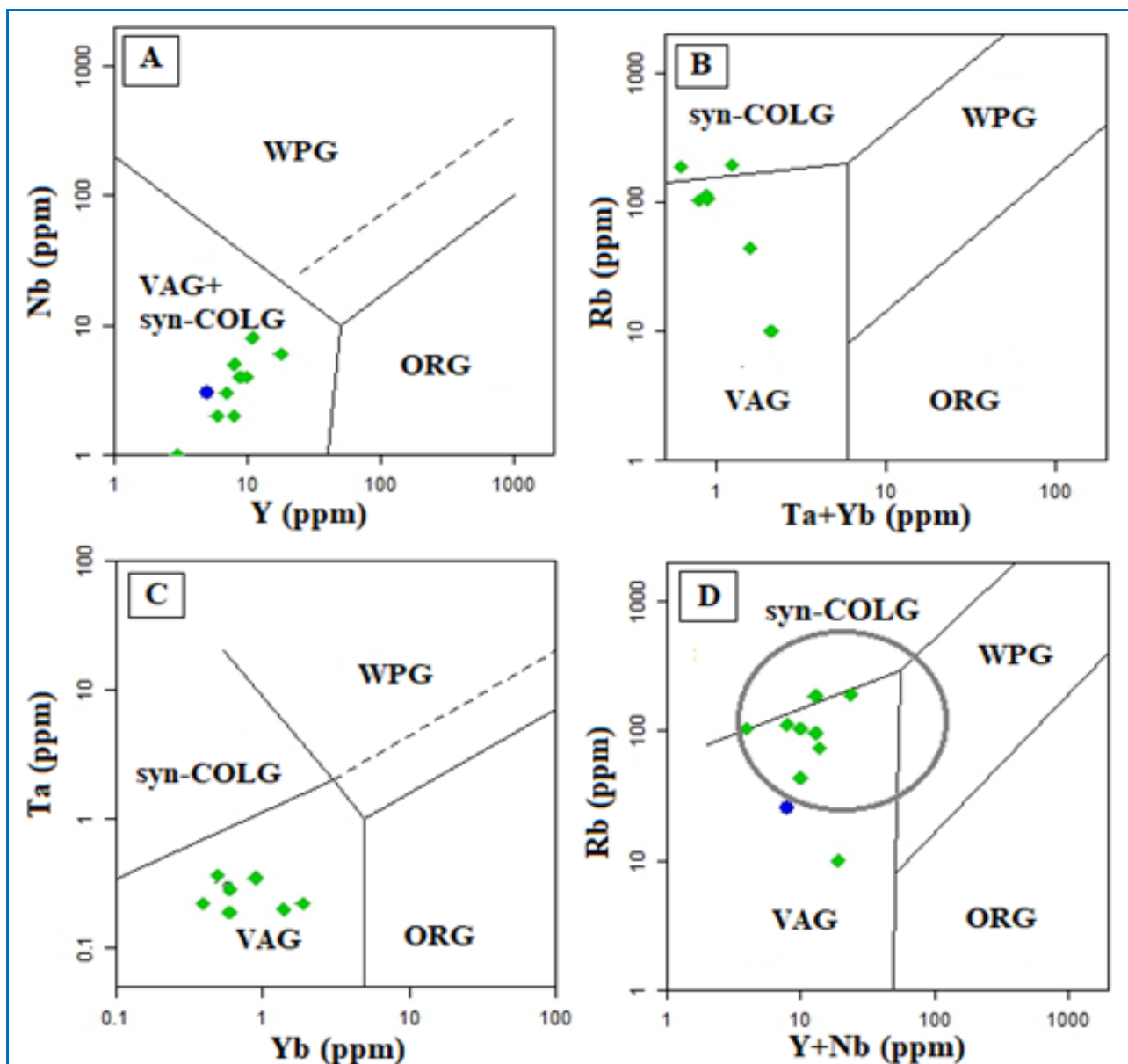
برداشت

ترکیب سنگ‌شناسی توده‌های آذرین درونی الیگوسن در شله‌بران، گرانیت، تونالیت و میکرودیوریت پورفیری است که به درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن نفوذ کرده‌اند.

در نمودارهای شیمیایی، این سنگ‌ها در گستره گرانیت-گرانودیوریت، دیوریت و گابرو-دیوریت جای می‌گیرند.

ماگمای سازنده سنگ‌های توده‌های آذرین درونی در منطقه شله‌بران سرشت شوشونیتی و کالک‌آلکالن پتاسیم بالا دارد.

این توده‌ها ناهنجاری مثبت و آشکاری از K،



شکل ۱۲. شناسایی خاستگاه زمین‌شناسی توده‌های آذرین درونی شله‌بران در (A) نمودار Nb در برابر Y (Pearce et al., 1984); (B) نمودار Ta+Yb در برابر Rb (Pearce et al., 1984); (C) نمودار Yb در برابر Ta (Pearce et al., 1984); (D) نمودار Y+Nb در برابر Rb (Pearce, 1996) (نماد نمونه‌ها همانند شکل ۷).

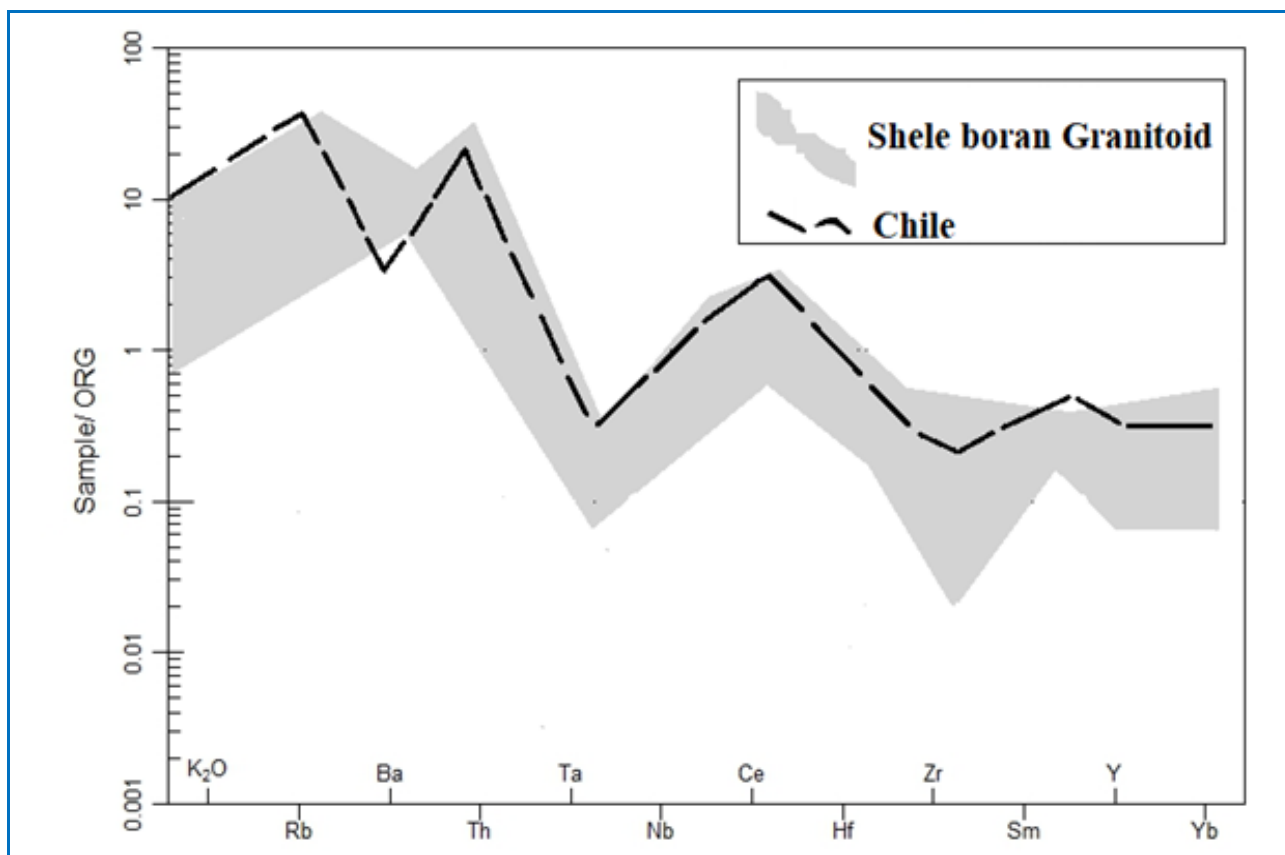
Figure 12. Discrimination diagrams for the tectonic setting of intrusion bodies of the Shele boran, A) Y versus Nb diagram (Pearce et al., 1984); B) Ta+Nb versus Rb diagram (Pearce et al., 1984); C) Yb versus Ta diagram (Pearce et al., 1984); D) Y+Nb versus Rb diagram (Pearce, 1996) (Symbols are the same as in Figure 7).

با پژوهش‌های گوناگون پیشین (Moayyed, 2001; Aghazadeh et al., 2010) روی توده‌های آذرین درونی گرانیتوئیدی الیگوسن پهنه البرز باختری- آذربایجان همخوانی دارد.

از دیدگاه محیط زمین‌ساختی، نمونه‌های این توده‌ها در جایگاه وابسته به کمان^۱ (AR) و کمان آتشفشانی پس‌برخوردی^۲ جای می‌گیرند. این داده‌ها

¹ Arc-related

² post- collisional arc



شکل ۱۳. نمودار عنصرهای کمیاب توده‌های آذرین درونی شله‌بران بهنجارشده به ترکیب پلاژیوگرانیتهای شکاف میان اقیانوسی (ORG) (Harris, 1983).

Figure 13. Trace elements diagram for the intrusion bodies in Shele Boran area, normalized to mid-oceanic ridge plagiogranites (ORG) composition (Harris, 1983)

و نیز از مدیریت محترم شرکت جهان زرجویان برای در اختیار گذاشتن داده‌های مناسب در زمینه این پژوهش و هیئت محترم تحریریه و داوران نشریه پژوهشی پترولوژی سپاس‌گزاری می‌کنند.

سپاس‌گزاری

نگارندگان این مقاله از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز برای پشتیبانی‌های مالی این پژوهش

References

- Alavi, S.G., Hosseinzadeh, M.R., and Moayyed, M. (2014) Petrography and petrology of the Sungun Porphyry copper deposit and post mineralization dykes with a view to Skarn mineralization (north of Varzeghan, East Azarbaijan). *Petrological Journal*, 5(17), 17-32.
- Aghazadeh, M., Castro, A., Omran, N.R., Emami, M.H., Moinvaziri, H., and Badrzadeh, Z. (2010) The gabbro (shoshonitic)-monzonite-granodiorite association of Khankandi pluton, Alborz Mountains, NW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 38(5), 199-219. <http://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.01.002>
- Aldanmaz, E., Pearce, J.A., Thirlwall, M.F., and Mitchell, J.G. (2000) Petrogenetic evolution of late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 102(1-2), 67-95. [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0273\(00\)00182-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-0273(00)00182-7)
- Bayrami Sumeh, F. (2014) Study of Mineralization, Alteration and Genesis of Shele boran Copper

- Index Northeast of Ahar, East Azarbaijan. M.Sc. Thesis, 125 p. Tabriz University, Tabriz, Iran (in Persian).
- Blourian, G.H. (1994) Petrology of the tertiary volcanic rocks in the northern of Tehran. M.Sc. Thesis, 145 p. Tarbiat Moallem University, Tehran, Iran (in Persian).
- Boynton, W.V. (1984) Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies. In: Henderson, Ed., Rare Earth Element geochemistry, p. 63-114, Elsevier, New York. <http://doi.org/10.1016/B978-0-444-42148-7.50008-3>
- Calagari, A.A. (1997) Geochemical, stable isotope, noble gas, and fluid inclusion studies of mineralization and alteration at Sungun porphyry copper deposit, East Azarbaijan, Iran: Implication for genesis. Unpublished Ph.D. Thesis, Manchester University, 537 pages.
- Castro, A., Aghazadeh, M., Badrzadeh, Z., and Chichorro, M. (2013) Late Eocene-Oligocene post-collisional monzonitic intrusions from the Alborz magmatic belt, NW Iran. An example of monzonite magma generation from a metasomatized mantle source. *Lithos*, 180, 109-127. <http://doi.org/10.1016/j.lithos.2013.08.003>
- Dostal, J., Caby, R., Keppie, J.D., and Maza, M. (2002) Neoproterozoic magmatism in Southwestern Algeria (Sebkh el Melah inlier): a northerly extension of the Trans-Saharan orogen. *Journal of African Earth Science*, 35, 213–225. [https://doi.org/10.1016/S0899-5362\(02\)00104-5](https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00104-5)
- Gioncada, A., Mazzuoli, R., Bisson, M., and Pareschi, M.T. (2003) Petrology of volcanic products younger than 42 Ka on the Liapari-Volcano complex (Aeolian Island, Italy): an example of volcanism controlled by tectonics. *Journal of volcanology and geothermal Research*, 122, 191-220. [http://doi.org/10.1016/S0377-0273\(02\)00502-4](http://doi.org/10.1016/S0377-0273(02)00502-4)
- Harris, C. (1983) The petrology of lavas and associated plutonic inclusions of Ascension Island. *Journal of Petrology*, 24(4), 424-470. <http://doi.org/10.1093/petrology/24.4.424>
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. and Tindle, A.G (1986) Geochemical characteristics of collision-zone magmatism collision tectonics, *Geology Society, Special Publications*, 19(1), 67-81. <https://doi.org/10.2113/gscanmin.38.5.1065>
- Hassanpour, S., Rasa, I., Heydari, M., Matkan, A.A., and Moayyed, M. (2010) Geology, alteration and mineralization in the Haft-Cheshmeh Cu - Mo porphyry deposit. *Journal of Geology of Iran*, 4(15), 15-28 (in Persian).
- Hassanpour, S. (2010) Metallogeny and mineralization of copper and gold in Arasbaran Zone (Eastern Azerbaijan). Ph.D. Thesis, 240 p. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A., and Mitchell, S.F. (2007) Classification of altered volcanic arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram. *Journal of Petrology*, 48(12), 2341-2357. <http://www.doi.org/10.1093/petrology/egm062>
- He, Y., Zhao, C., Sun, M. and Wild, S.A. (2007) Geochemistry, isotope systematics and petrogenesis of the volcanic rocks in the Zongtiao Mountain: An alternative interpretation for the evolution of the southern margin of the North China. *Lithos*, 102: 158-178.
- Hosseinzadeh, G., Moayyed, M., Calagari, A.A., Hajjalilu, B., and Moazen, M. (2008) Studies of Incheh intrusive body, east of Heris, East-Azarbaijan. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 16, 189-206 (in Persian).
- Hosseinzadeh, M.R., Maghfouri, S., Gorbani, M., and Moayyed, M. (2016) Different types of vein-veinlets related to mineralization and fluid inclusion studies in the Sonajil porphyry Cu-Mo deposit, Arasbaran magmatic zone. *Geosciences*, 26, 219 –230 (in Persian).
- Jamali, H., Dilek Y., Daliran F., Yaghubpur A.M., and Mehrabi B. (2010) Metallogeny and tectonic evolution of the Cenozoic Ahar–Arasbaran volcanic belt, northern Iran. *International Geology Reviews*, 52(4-6), 608–630. <http://10.1080/00206810903416323>

- Jamali, H. (2010) Spatial- temporal relationship of mineralization and magmatism in the Mazraeh polymetallic deposit (north of Ahar, Eastern Azarbaijan province). *Petrological Journal*, 43, 65-84 (in Persian). <http://10.22108/IJP.2020.124073.1192>
- Kamali, A.A., Moayyed, M., Amel, N., Hosseinzadeh, M.R., Mohammadiha, K., Santos, J.F., and Brenna, M. (2018) Post-Mineralization, cogenetic magmatism at the Sungun Cu-Mo porphyry deposit (Northwest Iran): Protracted melting and extraction in an arc system. *Minerals*, 8(12), 588. <http://doi.org/10.3390/min8120588>
- Kamali, A., Moayyed, M., Amel, N., Fadaeian, M., Brenna, M., Saumur, B.M., and Santos, J.F., (2020) Mineralogy, mineral chemistry and thermobarometry of post-mineralization dykes of the Sungun Cu-Mo porphyry deposit (Northwest Iran). *Open Geosciences*, 12, 764-790. <http://doi.org/10.1515/geo-2020-0009>
- McDonald, R., Hawakesworth, C.J., and Heath, E. (2000) The Lesser Antilles volcanic chain: a study of arc magmatism. *Earth-Science Reviews*, 49(1-4), 17-26. [https://doi.org/10.1016/S0012-8252\(99\)00069-0](https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00069-0)
- Machoda, A., Lima, E.F., Chemale Jr., F., Morata, D., Oteiza, O., Almeida, D.P.M., Figueiredo, A.M.G., Alexandre, F.M., and Urrutia, J.L. (2005) Geochemistry constrains of Mesozoic-Cenozoic calc-alkaline magmatism in South Shetland arc. Antarctica. *Journal of South American Earth Sciences*, 18(3-4), 407-425. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2004.11.011>
- Moayyed, M. (2001) Petrologic investigation of Tertiary volcano- plutonic belt in Western Alborz-Azarbaijan with a special view on Hashtjin region. Ph.D. Thesis, 328 p. Shahid Beheshti University, Tehran, Iran (in Persian).
- Mohammadi, J. (2014) Mineralization and Geochemistry of Mineralized and Alteration zone of Sheleboran Area (NE of Ahar, East Azarbaijan Province). M.Sc. Thesis, 137 p. Urmia University, Urmia, Iran (in Persian).
- Morrison, G.W. (1980) Characteristics and tectonic setting of the shoshonite rock association. *Lithos*, 13, 97-108. [http://doi.org/10.1016/0024-4937\(80\)90067-5](http://doi.org/10.1016/0024-4937(80)90067-5)
- Moshefi, P., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., and Lentz, D.R (2018) Comparative study of mineral chemistry of four biotite types as geochemical indicators of mineralized and barren intrusions in the Sungun Porphyry Cu- Mo deposit, northwestern Iran. *Ore Geology Reviews*, 98, 1-20. <http://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.05.003>
- Moshefi, P., Hosseinzadeh, M.R., Moayyed, M., and Lentz, D.R. (2020) Distinctive geochemical features of biotite types from the subeconomic Sonajil porphyry-type Cu deposit, northwestern Iran: Implications for analysis of porphyry copper deposit mineralization potential. *Journal of Geochemical Exploration*, volume, 214. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2020.106543>
- Nabavi, M.H. (1976) An Introduction to the geology of Iran, 109. Publication of the Geological Organization of the country, 109 pages, (in Persian).
- Nakhjavani, B., Calagari, A.A., Alavi, S.G., and Siah Cheshm, K. (2021) Study of intrusive body associated with Gowdal skarn (North of Ahar) and its comparison with other skarn granitoids. *Petrological Journal*, 44, 111-134 (in Persian). <https://doi.org/10.22108/ijp.2021.124497.1197>
- Nelson, S.A. (2004) Magmatic Differentiation, Chemical variations in rock suites. 198 p. Tulan University New Orleans, Louisiana.
- Nemati, N., Aghazadeh, M., and Badrzadeh, Z. (2018) Geochemistry and petrogenesis of Eocene shoshonitic and adakitic volcanic rocks in Sonajil area (Southeast of Heris, Eastern Azerbaijan). *Petrological Journal*, 35, 147-172 (in Persian). <http://doi.org/10.22108/IJP.2018.104987.1037>
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W., and Tindle, A.G. (1984) Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4), 956-983. <http://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>

- Pearce, J.A. (1996) Source and setting of granitic rocks. *Episode*, 19, 120-125.
- Peng, T., Wang, Y., Zhao, G., Fan, W., and Peng, B. (2007) Arc-like volcanic rocks from the Southern Lancangton Zone, SW China: Geochronological and geochemical constraint on their petrogenesis and tectonic implication. *Lithos*, 102, 358-373.
- Rollinson, H.R. (1993) Using geochemical data evaluation, presentation, interpretation, Longman Scientific and Technical, 352 p. Wiley, New York.
- Stern, R.A., Bloomer, S.H., Lin, P.N., Ito, E., and Morris, J. (1988) Shoshonitic magmas in nascent arcs: new evidence from submarine volcanoes in the northern Marianas. *Geology*, 16(5), 426-430. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1988\)016<0426:SMINAN>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1988)016<0426:SMINAN>2.3.CO;2)
- Stocklin, J. (1968) Structural history and tectonics of Iran: a review. *AAPG Bulletin*, 52(7), 1229-1258. <https://doi.org/10.1306/5D25C4A5-16C1-11D7-8645000102C1865D>
- Sun, L.H., Wang, Y.J., Fan, W.M., and Zi, J.W. (2008) Post-collisional potassic magmatism in the Southern Awulale Mountain, western Tianshan Orogen: petrogenetic and tectonic implications. *Gondwana Research*, 14(3), 383-394. <http://doi.org/10.1016/j.gr.2008.04.002>
- Sun, S.S. and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geological Society of London, Special Publication, 42(1): 313-345. <http://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Whitney, D.L. and Evans, B.W. (2010) Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American mineralogist*, 95(1), 185-187. <http://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- Wilson, M. (1989) *Igneous Petrogenesis: a Global Tectonic Approach*, 466p. Winchester, Massachusetts. <http://doi.org/10.1007/978-1-4020-6788-4>