



Research Article

## Petrology and geochemistry of igneous rocks and their relationship with mineralization in Talahoueieh area, north of Bam, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc

Jalal Hassanshahi <sup>1</sup>, Majid Ghaderi <sup>2</sup>, Hossein-Ali Tajeddin <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ph.D. Student, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, [jalal\\_hassanshahi@modares.ac.ir](mailto:jalal_hassanshahi@modares.ac.ir)

<sup>2</sup> Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, [mghaderi@modares.ac.ir](mailto:mghaderi@modares.ac.ir)

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, [h.tajeddin@modares.ac.ir](mailto:h.tajeddin@modares.ac.ir)

### ARTICLE INFO

Received: 25 November 2025

Accepted: 24 January 2026

#### Keywords

Calc-alkaline

Shoshonite

Epithermal

Talahoueieh

Urumieh-Dokhtar



 [10.22108/ijp.2026.147520.1377](https://doi.org/10.22108/ijp.2026.147520.1377)

### Introduction

The Central Iran zone represents one of the most significant geological domains of Iran, characterized by a wide diversity of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks formed through prolonged tectonic and magmatic processes. In the southeastern part of this zone, the Talahoueieh area, located north of Bam, occupies a structurally central Iranian position but is geodynamically situated along the active margin of the Urumieh–Dokhtar magmatic arc (UDMA). The development of this magmatic arc is attributed to the subduction of the Neo-Tethyan oceanic lithosphere beneath the Central Iran plate during the Cenozoic, making it one of the most important volcanic–plutonic and metallogenic belts in Iran (Berberian and King, 1981; Shahabpour, 2005).

The Talahoueieh area comprises a suite of Eocene volcanic and volcanoclastic rocks, andesitic–dacitic dykes, and shallow to semi-deep intrusive bodies of granodioritic and monzonitic composition. These lithological assemblages clearly reflect multiple pulses of magmatic activity within an active tectonic setting. In several parts of the area, the igneous units are affected by widespread hydrothermal alteration, including silicic, argillic, chloritic, and carbonate assemblages. Field observations, petrographic characteristics, and preliminary geochemical data suggest a close genetic relationship between magmatism and base- and precious-metal mineralization.

The presence of extensive alteration zones, quartz vein–veinlet systems, and sulfide minerals such as pyrite, sphalerite, galena, and chalcopyrite indicates a strong potential for intermediate-sulfidation

epithermal mineralization. Such deposits are commonly associated with calc-alkaline subvolcanic intrusions emplaced along active fault zones and are characterized by intense hydrothermal alteration.

 Corresponding Author

**To cite this article:** Hassanshahi, J., Ghaderi, M., Tajeddin, H.A. (2025) Petrology and geochemistry of igneous rocks and their relationship with mineralization in the Talahoueieh area, north of Bam, Urumieh-Dokhtar Magmatic Arc. *Petrological Journal*, 16(4), 83-110.



Accordingly, the Talahouieih area represents a promising exploration target in the southeastern part of the Central Iran zone.

In this study, whole-rock geochemical data obtained by ICP-MS and XRF analyses, together with detailed petrographic and ore microscopic studies, are used to constrain the petrogenesis, magma evolution, crystallization and differentiation processes, and their genetic links to alteration and mineralization. The ultimate goal is to develop a comprehensive model for the origin, evolution, and metallogenic role of igneous rocks in the Talahouieih area.

### Research Method

The study was conducted through fieldwork and laboratory analyses. A 1:10,000 geological map of the area was prepared, and 62 rock samples were collected. Of these, 35 were used for petrographic studies, while 19 representative samples (5 intrusive and 14 volcanic) were analyzed by XRF and ICP-MS at the Zarazma Laboratory (Kerman, Iran). The geochemical data were processed using Excel and GCDkit software to evaluate the geochemical and tectonic characteristics of the studied rocks.

### Regional Geology

Magmatic activity in the UDMA lasted from the Eocene to the Quaternary, peaking in the Eocene. A shift from calc-alkaline to adakitic magmas in the early Miocene enhanced magma fertility, promoting porphyry mineralization. In the southeastern UDMA (Kerman copper belt), mineralization occurred mainly during the late Oligocene to Miocene. Key volcanic complexes include Bahr Aseman (Middle Eocene), Razak (Late Eocene), and Hazar (Middle Oligocene), showing a near-complete Cenozoic volcanic–sedimentary succession, with Eocene units being the most significant. In the Talahouieih area, exposed rocks are dominated by volcano-sedimentary units (tuffaceous shale, conglomerate, and limestone), with central volcanic tuffs and dacitic–andesitic rocks forming elevated areas. Intrusive bodies are limited but locally associated with skarn-type mineralization.

### Alteration and Mineralization

In the Talahouieih deposit, hydrothermal alteration is widespread and, dominated by argillic, silicic, chloritic, and advanced argillic types, with argillic alteration being the most extensive and closely linked to mineralized zones. This reflects mid- to late-stage acidic hydrothermal activity. Potassic and phyllic alterations were not observed. Polymetallic vein-type mineralization (Cu, Pb, Zn, Ag) mainly occurs in Eocene volcanic units, especially pyroclastic tuffs and andesites, in the form of veins, veinlets, replacement, and open-space fillings, and is structurally controlled

by structural features. Key minerals include chalcopyrite, bornite, malachite, azurite, chrysocolla, galena, cerussite, sphalerite, and hemimorphite. Copper mineralization shows oxidized zones at the surface and sulfide zones at depth, while Pb and Zn occurrences are sporadic. Mineralization is controlled by a combination of structural, lithological, and hydrothermal factors, emphasizing its economic potential and guiding future exploration.

### Discussion

Calc-alkaline magmas typically form in subduction-related volcanic arcs and are characterized by high SiO<sub>2</sub>, low Fe/Mg ratios, and mineral assemblages including plagioclase, hornblende, and biotite. These magmas are commonly associated with porphyry Cu–Au systems. In contrast, shoshonitic magmas have higher K<sub>2</sub>O and K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O ratios, are enriched in LILE and LREE, and are often linked to epithermal Au mineralization. The intrusive and volcanic rocks of the Talahouieih area (granite, granodiorite, rhyolite, dacite, and andesite) exhibit high Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and K<sub>2</sub>O contents, reflecting partial melting of a metasomatized mantle source and subduction-related arc magmatism. The coexistence of calc-alkaline and shoshonitic compositions indicates an active arc environment and late-stage magmatic evolution, providing favorable conditions for widespread alteration zones and hydrothermal systems. These geochemical characteristics highlight the economic potential of the area, particularly for porphyry Cu–Au and epithermal Au–Ag mineralization.

### Conclusion

In the Talahouieih polymetallic deposit, the exposed rock units mainly consist of Eocene volcano-sedimentary rocks, particularly tuffs, along with minor Quaternary deposits, while volcanic (andesite, rhyolite, dacite) and intrusive (granite, granodiorite) bodies are limited and scattered. The area is dominated by pyroclastic units, with intrusive and volcanic rocks playing a marginal tectonic role. Extensive hydrothermal activity has produced argillic, advanced argillic, propylitic, and silicic alterations, primarily hosted in pyroclastic units and structurally aligned along a NW–SE trend. This indicates strong structural control by faults and fractures that served as fluid pathways. Geochemical features, including low Nb/Ti ratios, negative Ti anomalies, and high K<sub>2</sub>O, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and LILE/HFSE ratios, suggest a continental arc volcanic environment with a close genetic link to calc-alkaline and shoshonitic magmas. Magmatic evolution in the area, driven by subduction-related processes and arc volcanism, created favorable conditions for the development of hydrothermal systems and polymetallic mineralization.



## سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و ارتباط آنها با کانه‌زایی در محدوده تلاهویی، شمال بزم، کمان ماگمایی ارومیه - دختر

جلال حسن‌شاهی<sup>۱</sup>، مجید قادری<sup>۲</sup>، حسینعلی تاج‌الدین<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، [Jalal\\_Hassanshahi@modares.ac.ir](mailto:Jalal_Hassanshahi@modares.ac.ir)

<sup>۲</sup> استاد، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، [mghaderi@modares.ac.ir](mailto:mghaderi@modares.ac.ir)

<sup>۳</sup> استادیار، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران، [h.tajeddin@modares.ac.ir](mailto:h.tajeddin@modares.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

محدوده تلاهویی در ۲۰ کیلومتری شمال بزم در جنوب‌خاوری ایران، شامل واحدهای متنوعی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی، آذرین آتشفشانی و درونی است که در محیط فرورانش پوسته اقیانوسی و کمان ماگمایی پدید آمده‌اند. سنگ‌های رسوبی قدیمی‌تر شامل شیل، توف و کنگلومرا هستند که در زیر واحدهای آتشفشانی جای دارند و واحدهای آذرآواری و آتشفشانی داسیتی- آندزیتی با رنگ‌های ارغوانی تا خاکستری تیره در سطح محدوده گسترده شده‌اند. توده‌های آذرین درونی گرانیتی کوچک نیز در جنوب محدوده دیده می‌شوند که در برخی بخش‌ها به کانه‌زایی اسکارنی انجامیده‌اند. سنگ‌های آذرین بیشتر از نوع کالک‌آلکان تا شوشونیتی با ترکیب پتاسیم متوسط تا بالا هستند که گویای فرایندهای ماگمایی شامل جدایش بلوری، ذوب بخشی و آلیش پوسته‌ای هستند. الگوهای عنصرهای خاکی کمیاب با غنی‌شدگی LREE، تهی‌شدگی HREE و آنومالی منفی Eu با محیط کمانی و سامانه‌های پورفیری- اپی‌ترمال همخوانی دارند. در این محدوده، دگرسانی‌ها شامل پهنه‌های گسترده آرژیلیک، سیلیسی و کلریتی هستند که نقش مهمی در تمرکز فلزهای چندگانه (Cu-Pb-Zn-Ag) به‌صورت رگه- رگچه‌ای داشته‌اند. کانه‌زایی رگه‌ای با کنترل ساختاری از راه گسل‌های راست‌الغز راستگرد و حضور سیالات گرمایی اسیدی همراه است که در توف‌های آذرآواری و کمتر در آندزیت‌ها کانه‌زایی دیده می‌شود. ترکیب کانی‌شناسی کانه‌ها شامل کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت، گالن و اسفالریت است و نشان‌دهنده سامانه گرمایی با دمای متوسط تا پایین است. این مجموعه شواهد زمین‌شیمیایی، کانی‌شناسی و ساختاری نه‌تنها سرشت زمین‌ساختی محدوده تلاهویی را روشن می‌سازد، بلکه بررسی این سامانه می‌تواند راهنمای ارزشمندی برای گسترش اکتشافات معدنی و ارزیابی منابع فلزات چندگانه و ذخایر پورفیری- اپی‌ترمال منطقه باشد.

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۹/۰۴

تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۱۱/۰۴

### کلید واژه‌ها

کالک‌آلکان

شوشونیت

اپی‌ترمال

تلاهویی

ارومیه - دختر



doi: 10.22108/jjp.2026.147520.1377

نویسنده مسئول

استناد به این مقاله: حسن‌شاهی، ج.، قادری، م.، تاج‌الدین، ح. (۱۴۰۴) سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی سنگ‌های آذرین و ارتباط آنها با کانه‌زایی در محدوده تلاهویی، شمال بزم، کمان ماگمایی ارومیه - دختر. پترولوژی ۱۶ (۴)، ۸۳-۱۱۰.



## مقدمه

پهنه ایران مرکزی از اصلی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی ایران و شامل تنوعی از سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی است که در پی فرایندهای زمین‌ساختی و ماگمایی گوناگون در گذر زمان پدید آمده‌اند. در جنوب‌خاوری این پهنه، محدوده تلاهویییه در شمال بم جای گرفته است؛ محدوده‌ای که از نظر ساختاری به ایران مرکزی تعلق دارد؛ اما از دیدگاه زمین‌پویایی<sup>۱</sup> در حاشیه فعال کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA<sup>۲</sup>) شمرده می‌شود. پیدایش این کمان پیامد فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر صفحه ایران مرکزی در دوران سنوزویک است و از مهم‌ترین پهنه‌های آذرین آتشفشانی-درونی و کانه‌زایی ایران به‌شمار می‌رود (Berberian and King, 1981; Shahabpour, 2005).

محدوده تلاهویییه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرآوری، دایک‌های آندزیتی و داسیتی با سن ائوسن و توده‌های آذرین درونی نیمه‌ژرف (از نوع گرانودیوریتی و مونزونیتی) است که آشکارا نشان‌دهنده چندین مرحله فعالیت ماگمایی در یک محیط زمین‌ساختی فعال هستند. این سنگ‌ها در برخی مناطق با دگرسانی‌های گسترده از نوع سیلیسی، آرژیلیک، کلریتی و کربناتی، همراه هستند. ویژگی‌های صحرایی، میکروسکوپی و داده‌های زمین‌شیمیایی اولیه، گویای ارتباط واحدهای آذرین با فرایندهای کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبهاست. پهنه‌های دگرسانی گسترده، رگه-رگچه‌های سیلیسی، و حضور کانی‌هایی مانند پیریت، اسفالریت، گالن و کالکوپریت، نشانه‌هایی از پتانسیل کانه‌زایی از نوع اپی‌ترمال حد واسط در محدوده هستند.

کانسارهای اپی‌ترمال حد واسط<sup>۳</sup> معمولاً در ارتباط با سنگ‌های آذرین کالک‌آلکالن نیمه‌ژرف و در پهنه‌های گسلی فعال پدید می‌آیند و با دگرسانی‌های شدید همراه هستند (Sillitoe, 2010). وجود این نوع کانه‌زایی در محدوده تلاهویییه، در کنار شواهد ماگمایی و ساختاری، آن را هدف اکتشافی بالقوه‌ای در جنوب‌خاوری ایران مرکزی ساخته است.

در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی-درونی محدوده تلاهویییه به روش‌های ICP-MS و XRF و همچنین، بررسی‌های سنگ‌نگاری<sup>۴</sup> و کانه‌نگاری مقاطع نازک و نازک-صیقلی، ویژگی‌های سنگ‌زایی، ترکیب ماگما، فرایندهای تبلور و جدایش بلوری، و وابستگی آنها با کانه‌زایی در محدوده تلاهویییه بررسی می‌شود. هدف این بررسی، ارائه الگوی جامعی از خاستگاه، تکامل و نقش سنگ‌های آذرین در فرایندهای دگرسانی و کانه‌زایی محدوده تلاهویییه است.

## روش انجام پژوهش

این پژوهش در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. در بخش میدانی، نقشه زمین‌شناسی محدوده در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه شد که شامل تفکیک واحدهای سنگی و شناسایی ساختارهای اصلی بود. در این بررسی‌ها، شمار ۶۲ نمونه سنگی از واحدهای گوناگون برداشت شد. از میان آنها، ۳۵ نمونه برای تهیه مقاطع نازک برای بررسی‌های سنگ‌نگاری و بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و بافتی برگزیده شدند. بر پایه نتایج این بررسی‌ها و برای بررسی‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی و ماگمایی، ۱۹ نمونه معرف برای انجام تجزیه شیمیایی به روش XRF و ICP-MS به آزمایشگاه شرکت بررسی‌های مواد معدنی زرآرما در کرمان فرستاده شدند (جدول‌های ۱ و ۲). این مجموعه شامل ۵ نمونه از سنگ‌های آذرین درونی و ۱۴ نمونه از سنگ‌های آتشفشانی محدوده بوده است. داده‌های به‌دست‌آمده از تجزیه‌ها با نرم‌افزارهای Excel و GCDkit پردازش و تفسیر شدند تا ویژگی‌های زمین‌شیمیایی و زمین‌ساختی سنگ‌ها ارزیابی شوند. همچنین، برای بررسی‌های تکمیلی کانی‌شناسی، شمار ۳۰ نمونه برای تجزیه به روش XRD به آزمایشگاه زرآرما کرمان فرستاده شد (جدول ۳). نام اختصاری به‌کاررفته برای کانی‌ها در تصویرهای میکروسکوپی از وار (Warr, 2021) برگرفته شده است.

<sup>1</sup> geodynamic<sup>2</sup> Urumieh-Dokhtar magmatic arc<sup>3</sup> Intermediate-sulfidation epithermal deposits<sup>4</sup> petrography

**جدول ۱.** داده‌های عنصرهای اصلی (بر پایه wt%) سنگ کل برای محدوده تلاهویی.

**Table 2.** Major element data (in wt%) of whole-rock samples from the Talahouieih area.

Sample No.	Andesite	Andesite	Andesite	Granodiorite	Granite	Granite	Granite	Granite	Rhyolite
SiO <sub>2</sub>	51.86	56.37	62.35	64.12	69.08	69.16	69.92	70.88	73.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.47	16.5	15.5	14.56	14.06	13.39	13.64	13.78	12.09
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.53	0.81	0.75	0.22	0.23	0.22	0.23	0.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.61	7.06	5.37	5.24	2.59	2.11	2.36	1.06	1.41
MnO	0.12	0.14	0.07	0.12	0.05	0.13	0.05	0.1	0.07
MgO	3.82	2.13	1.8	1.75	0.66	0.23	0.68	0.08	0.33
CaO	7.52	6.58	3.34	2.98	1.67	3.75	1.9	3.24	2.18
K <sub>2</sub> O	2.58	2.6	3.21	3.31	5.46	1.55	5.47	0.54	6.29
Na <sub>2</sub> O	2.16	2.95	3.7	3.89	3.7	5.11	3.32	6.98	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.14	0.21	0.17	0.07	0.07	0.07	0.08	0.06
BaO	0.04	0.03	0.05	0.04	0.07	<0.01	0.09	<0.01	0.1
LOI	4.75	4.24	3.5	3.03	1.92	4.2	2.24	2.91	3.25

**جدول ۲.** داده‌های عنصرهای کمیاب و خاکی کمیاب (بر پایه ppm) سنگ کل برای محدوده تلاهویی.

**Table 3.** Trace and rare earth elements (REE) data (in ppm) of whole-rock samples from the Talahouieih area.

Sample No.	Dolerite	Dolerite	Andesite	Granite	Granite	Andesite	Granodiorite	Andesite
Ba	427	974	517	847	296	361	490	509
Rb	60	173	82	121	96	81	73	100
Sr	450.3	64.5	338.5	120.6	102.7	315.1	203.6	313.2
Cs	3	4.2	4.4	2.2	3.4	2.3	2.2	4.2
Ta	0.5	1	0.5	0.8	0.8	1.1	1.1	0.8
Nb	11.4	11.6	9.1	12.8	12.6	15.1	15.8	12.4
Hf	2.4	2.5	3.1	1.7	2.1	2.9	3	4.4
Zr	73	45	102	34	40	81	84	123
Y	18.4	15	21.8	17.6	16.4	36.7	29.9	24.1
Th	4.3	13.8	3.8	12.1	11.5	9.9	9.5	12.1
U	1.3	3.7	1.1	2.4	2.4	2.6	2.5	3.1
Cr	230	12	67	21	12	38	18	33
Ni	69	6	15	10	6	12	5	10
Co	24.4	2	21.5	3.8	2.4	13.9	8	10.7
V	202	9	242	37	33	158	76	139
Pb	6	7	13	5	6	10	6	18
Zn	65	19	127	75	69	147	51	86
Ag	<0.1	<0.1	0.2	0.1	0.2	<0.1	<0.1	0.3
As	8.3	13.5	12.1	14.3	13.8	10.3	11.5	15.1
Be	1.3	1.5	1.2	1.5	1.5	1.9	1.8	1.4
Cu	43	7	22	6	10	12	7	50
Li	52	17	43	13	10	47	43	29
Mo	1.5	2	1.4	2.3	1.6	2.1	2.5	1.7
Sc	33.3	<0.5	38.9	5.2	4.9	23.3	15	20.5
Sn	0.6	1.4	1.2	1.4	1.5	2.4	2.3	1.6
Tl	0.6	1.4	0.6	1.1	0.6	0.4	0.5	0.8
La	23	30	18	34	32	30	30	26
Ce	38	47	28	54	53	52	51	46
Pr	5.34	5.41	4.03	6.4	6.6	7.59	6.98	6.47
Nd	19.3	16.9	16.1	21.4	23	28.1	26	22.8
Sm	4.3	3.2	4.1	4.3	4.4	6.4	5.6	5.1
Eu	1.5	0.66	1.25	0.8	0.83	1.5	1.65	1.27
Gd	3.78	2.51	3.45	3.54	3.28	6.19	5	4.71
Tb	0.6	0.4	0.6	0.6	0.6	1.1	0.9	0.7
Dy	3.4	2.4	3.6	3.1	3	7	5.3	4.5
Er	2.2	1.6	2.4	1.7	2.3	4.3	3.4	2.9
Tm	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.7	0.6	0.4
Yb	1.74	2.05	2.45	1.8	1.84	3.89	3.64	2.87
Lu	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5

جدول ۳. نتایج آنالیز XRD انجام شده روی پهنه‌های دگرسانی مختلف.

Table 1. Results of XRD analysis performed on different alteration zones.

Sample No.	1	2	3	4	5	6
Alteration	Argillic	Argillic	Advanced argillic	Advanced argillic	Propylitic	Silicic
Major phase(s)	Muscovite - illite, albite, gypsum, quartz	Quartz, muscovite - illite,	Quartz, kaolinite, pyrophyllite, muscovite - illite	Quartz, kaolinite	Albite, quartz	Quartz
Minor phase(s)	Natroalunite	Goethite, hematite	diaspore, albite	Pyrophyllite, diaspore	Chlorite, epidote, calcite	Fluorite, goethite
Trace phase(s)	Potassium feldspar	Gypsum	*	Muscovite - illite, rutile	Potassium feldspar	*

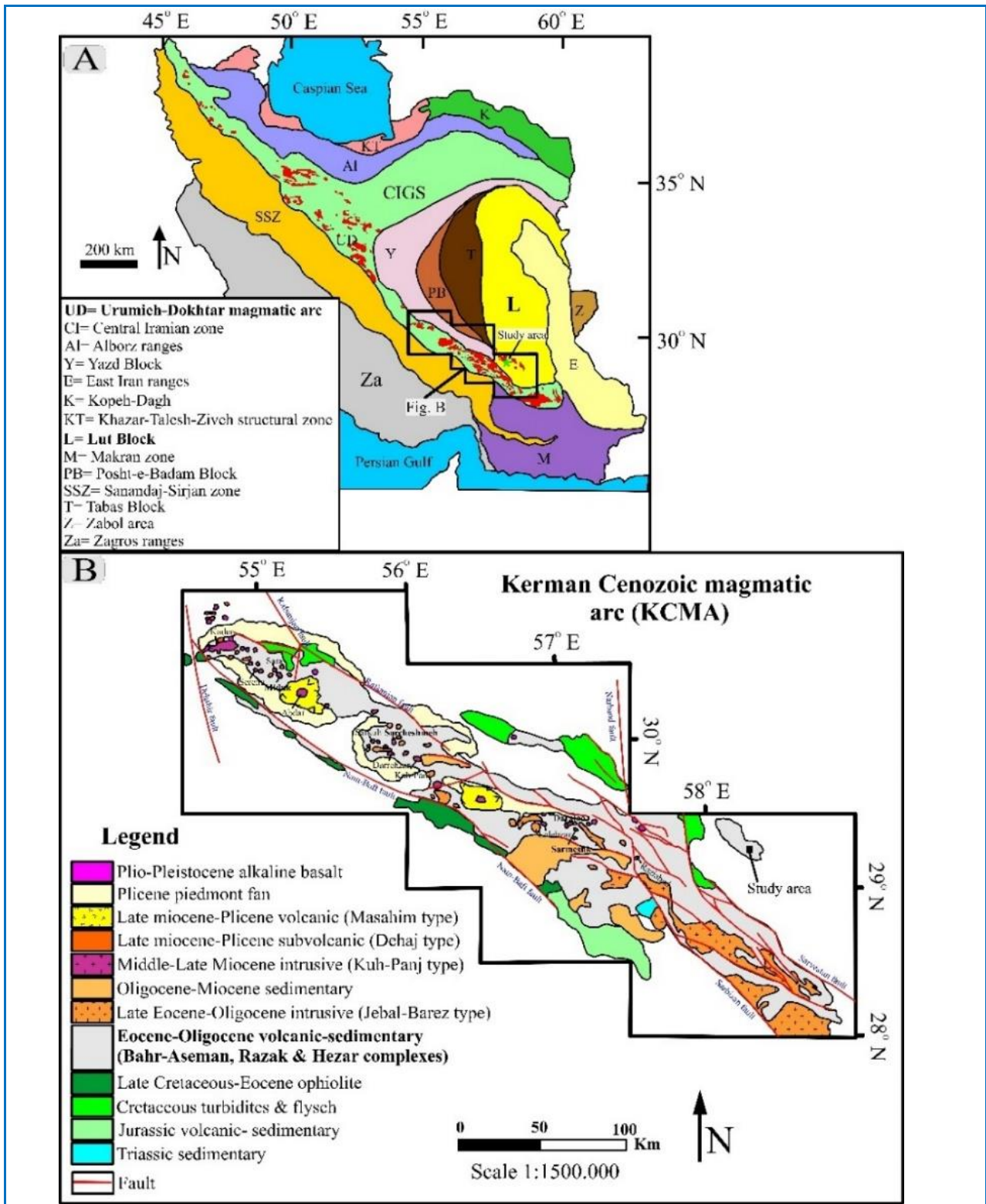
بالایی تا میوسن میانی پوشیده شده است (Yousefi et al., 2018). شکل ۱ مهم‌ترین واحدهای سنگی محدوده را نشان می‌دهد. از ویژگی‌های این محدوده، وجود توالی کمابیش کاملی از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی و آذرین درونی در بازه سنی سنوزویک است. بر پایه این نقشه، گستره محدوده بررسی شده با سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی ائوسن- الیگوسن (هم‌ارز سازندهای هزار و رازک) پوشیده شده است.

### زمین‌شناسی محدوده تلاهویی

بر پایه نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده تلاهویی (شکل ۲)، واحدهای سنگی رخنمون‌یافته دربردارنده سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی، آتشفشانی و درونی هستند که واحدهای آتشفشانی- رسوبی در این محدوده گسترش چشمگیری دارند. واحدهای رسوبی محدوده که قدیمی‌ترین سنگ‌های این محدوده هستند در زیر واحدهای آتشفشانی جای دارند و دربردارنده شیل توفی، کنگلومرا و سنگ آهک هستند. در بخش‌های مرکزی این محدوده، سنگ‌های آذرآواری توف گسترش یافته‌اند و افزون‌بر این سنگ‌ها، سنگ‌های آتشفشانی داسیت تا آندزیت که بیشترشان به رنگ ارغوانی تا خاکستری تیره هستند نیز در محدوده برون‌زد دارند و بالاترین بلندی‌های این محدوده را پوشش داده‌اند. توده‌های آذرین درونی (گرانیت) به صورت توده کوچک در جنوب و جنوب‌خاوری محدوده برون‌زد دارند و در برخی بخش‌ها به رخداد کانه‌زایی از نوع اسکارن انجامیده‌اند. در ادامه به شرح هر یک از آنها پرداخته شده است.

### زمین‌شناسی عمومی

فعالیت ماگمایی در پهنه UDMA از زمان ائوسن تا کواترنری ادامه داشته است (Ayati et al., 2013)؛ اما بیشترین شدت این فعالیت‌ها در دوره ائوسن بوده است (Alavi, 1994, 2007). به باور رئیسی و همکاران (Raeisi et al., 2021)، در این بازه زمانی، ترکیب ماگما از نوع کالک‌آلکالن در ائوسن جای خود را به آداکیتی در آغاز میوسن داده است. این تغییر به افزایش توان ماگما در کانه‌زایی و به‌دنبال آن، پیدایش کنسارهای پورفیری انجامیده است. شفییعی و همکاران (Shafiei et al., 2009) این تغییر ترکیب ماگما را پیامد تغییر شرایط زمین‌ساختی از فرورانش به برخورد می‌دانند. در بخش جنوب‌خاوری پهنه UDMA که به کمر بند مس کرمان معروف است (شکل ۱)، کانه‌زایی بیشتر در پایان الیگوسن تا میوسن رخ داده است. در ائوسن میانی، فعالیت‌های آتشفشانی پیدایش مجموعه بحرآسمان را در پی داشته است که شامل جریان‌های گدازه، توف‌ها، برش‌های آتشفشانی و دیگر مواد آذرآواری با ترکیب تراکی‌آندزیتی تا تراکی‌بازالتی است. این فعالیت‌ها در ائوسن بالایی نیز ادامه یافته است و به پیدایش مجموعه آتشفشانی رازک انجامیده است که شامل تناوب سنگ‌های بازالتی تا ریبولیتی و واحدهای آتشفشانی- آواری است (McInnes et al., 2003). در الیگوسن میانی، فعالیت‌های آتشفشانی مجموعه آتشفشانی هزار را پدید می‌آورد که دربردارنده تناوبی از سنگ‌های تراکی‌بازالت و تراکی‌آندزیت است و به‌طور ناپیوسته با سنگ‌های آهکی و سازند سرخ الیگوسن



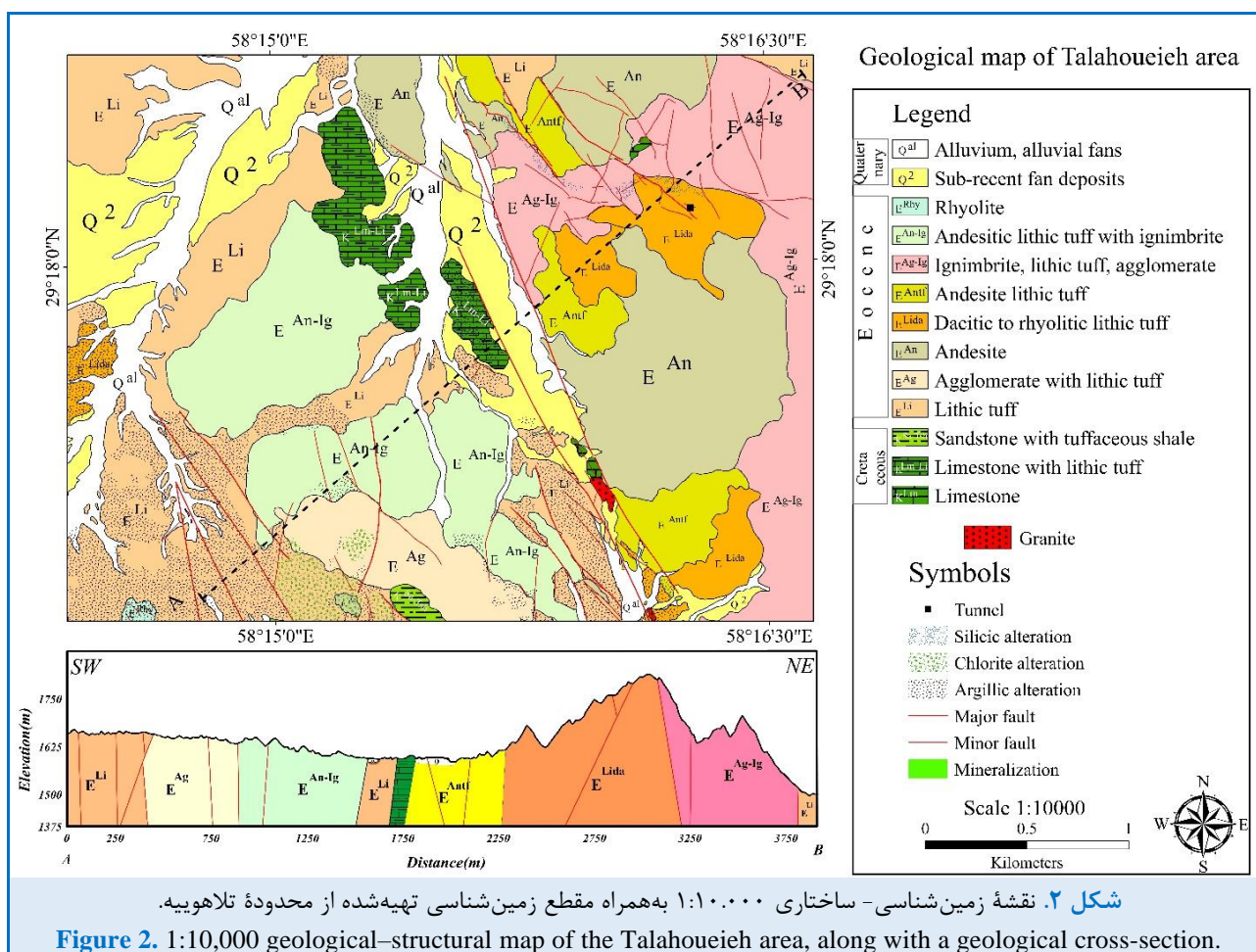
شکل ۱. A) نقشه زمین‌شناسی-ساختاری ایران (برگرفته از Stöcklin (1968) و Alavi (1991) با تغییرات) که کمر بند مس کرمان (KCMA) روی آن نمایش داده شده است؛ B) نقشه زمین‌شناسی ساده شده از کمر بند مس کرمان که محدوده تلاهویی روی آن مشخص شده است.

**Figure 1.** A) Geological-structural map of Iran (adapted from Stöcklin (1968) and Alavi (1991), with modifications), showing the Kerman Cenozoic magmatic arc (KCMA); B) Simplified geological map of Kerman Copper Belt, indicating the location of the Talahouieh area.

**واحد توف (E<sup>Li</sup>)**

آرژلیک، پروپیلیتی و کلریتی هستند که نشان‌دهنده شدت بالای فرایندهای گرمایی در این واحد هستند. به دلیل شدت دگرسانی، بافت نخستین سنگ در سطح تقریباً از میان رفته است و شناسایی نوع و ترکیب توف‌ها تنها از راه بررسی مغزه‌های حفاری امکان‌پذیر است. این توف‌ها به صورت لایه‌های متناوب با ترکیب‌های گوناگونی شامل قطعات داسیتی، آندزیتی، ریولیتی و لیتیک دیده می‌شوند.

واحدهای توفی بخش بزرگی از نواحی مرکزی و شمالی محدوده تلاهوویه را پوشش می‌دهند و در بیشتر بخش‌های محدوده برونزد دارند (شکل ۳). این توف‌ها در بیشتر بخش‌ها سنگ میزبان کانه‌زایی دانسته می‌شوند و از این رو، گاه با دگرسانی‌های شدید ناشی از محلول‌های گرمایی همراه هستند. دگرسانی‌های دیده‌شده بیشتر از نوع

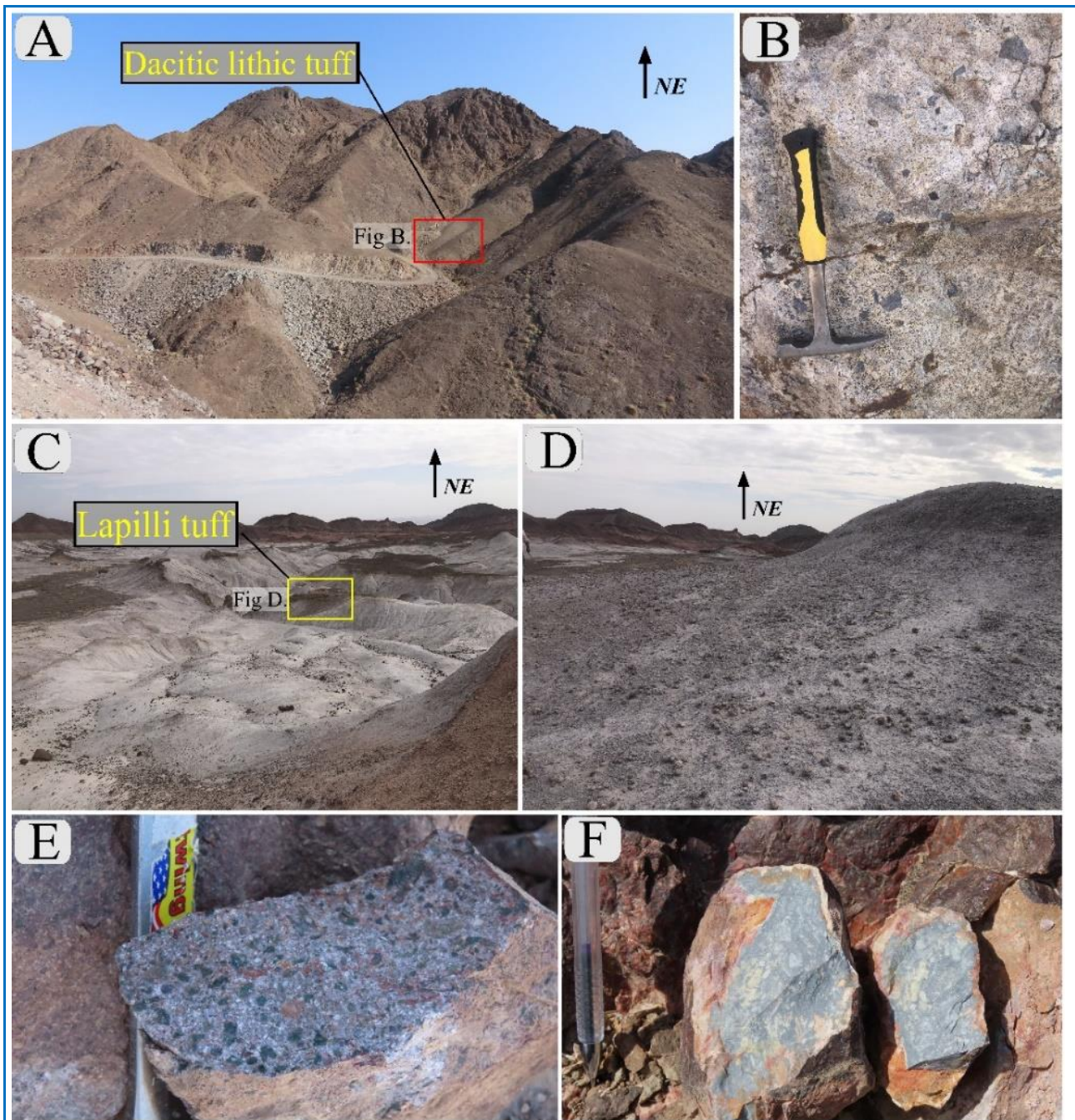


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی - ساختاری ۱:۱۰۰۰۰ به همراه مقطع زمین‌شناسی تهیه‌شده از محدوده تلاهوویه.

Figure 2. 1:10,000 geological-structural map of the Talahouiech area, along with a geological cross-section.

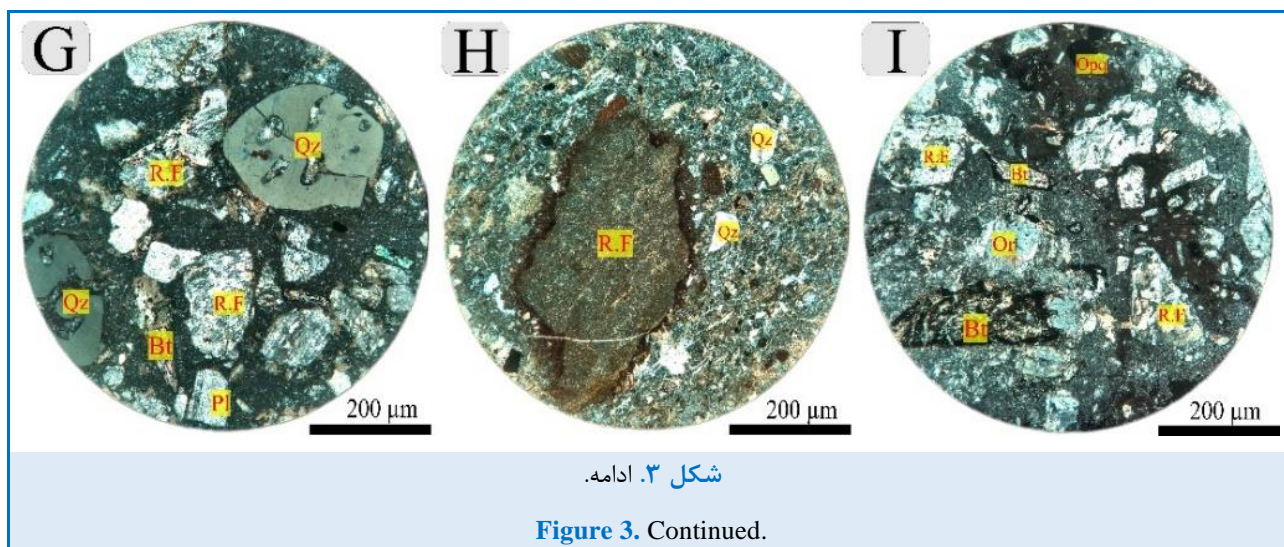
واحدهای کریستال‌لیتیک‌توف و لیتیک‌توف با ترکیب داسیتی برداشت شده‌اند. بررسی‌های سنگ‌نگاری روی این واحد، حضور قطعات سنگی و بلورهای منفرد مانند کوارتز را در زمینه‌ای با بافت جریان‌ی و ریزدانه نشان می‌دهند (شکل‌های ۳-G، ۳-H و ۳-I). این ویژگی‌ها گویای خاستگاه آتشفشانی و شرایط نهشت متفاوت این واحد هستند که نقش مهمی در کانه‌زایی محدوده داشته است.

همان‌گونه‌که در شکل ۳ نشان داده شده است، اندازه قطعات لیتیک از چند میلیمتر تا چندین سانتیمتر متغیر است. در شکل‌های ۳-A و ۳-B نمای دور و نزدیک از واحد لیتیک‌توف با ترکیب داسیتی نشان داده شده است که در آن قطعات سنگی درون‌زمینه‌ای سیلیسی هستند. شکل‌های ۳-C و ۳-D نیز مربوط به لایه‌های توف‌هایی با رنگ روشن هستند. نمونه‌های دستی در شکل‌های ۳-E و ۳-F به ترتیب از



**شکل ۳. A)** دورنمای نمونه‌ای از واحد توف آذرآواری در محدوده تلاهویییه (دید رو به شمال‌خاوری); **B)** رخمونی از واحد لیتیک توف با ترکیب داسیتی; **C, D)** نمای دور و نزدیک از واحد لاپیلی توف; **E, F)** نمونه دستی از واحد کریستال‌لیتیک‌توف و لیتیک‌توف داسیتی (به ترتیب); **G, H, I)** مقاطع میکروسکوپی (نور عبوری با نیکول‌های متقاطع یا XPL) از واحد توفی با ترکیب داسیت، لیتیک‌توف و کریستال‌لیتیک‌توف.

**Figure 3. A)** Outcrop view of a pyroclastic tuff sample in the Talahouieieh area (view towards NE); **B)** Exposure of a lithic tuff unit with dacitic composition; **C, D)** Far and close-up views of the lapilli tuff unit; **E, F)** Hand specimens of crystal-lithic tuff and dacitic lithic tuff units, respectively; **G, H, I)** Photomicrographs under cross-polarized light (XPL) of dacitic tuff, lithic tuff, and crystal-lithic tuff units.



### واحد آگلومرا (E<sup>Ag</sup>)

ساختارها احتمالاً در اثر فعالیت‌های گرمایی ثانویه، پس از نهشته‌گذاری، در راستای شکستگی‌ها یا مرزهای لایه‌ای پدید آمده‌اند و می‌توانند نشان‌دهنده مهاجرت محلول‌های گرمایی و احتمال رخداد کانه‌زایی در این واحد باشند.

### واحد آندزیت (E<sup>An</sup>)

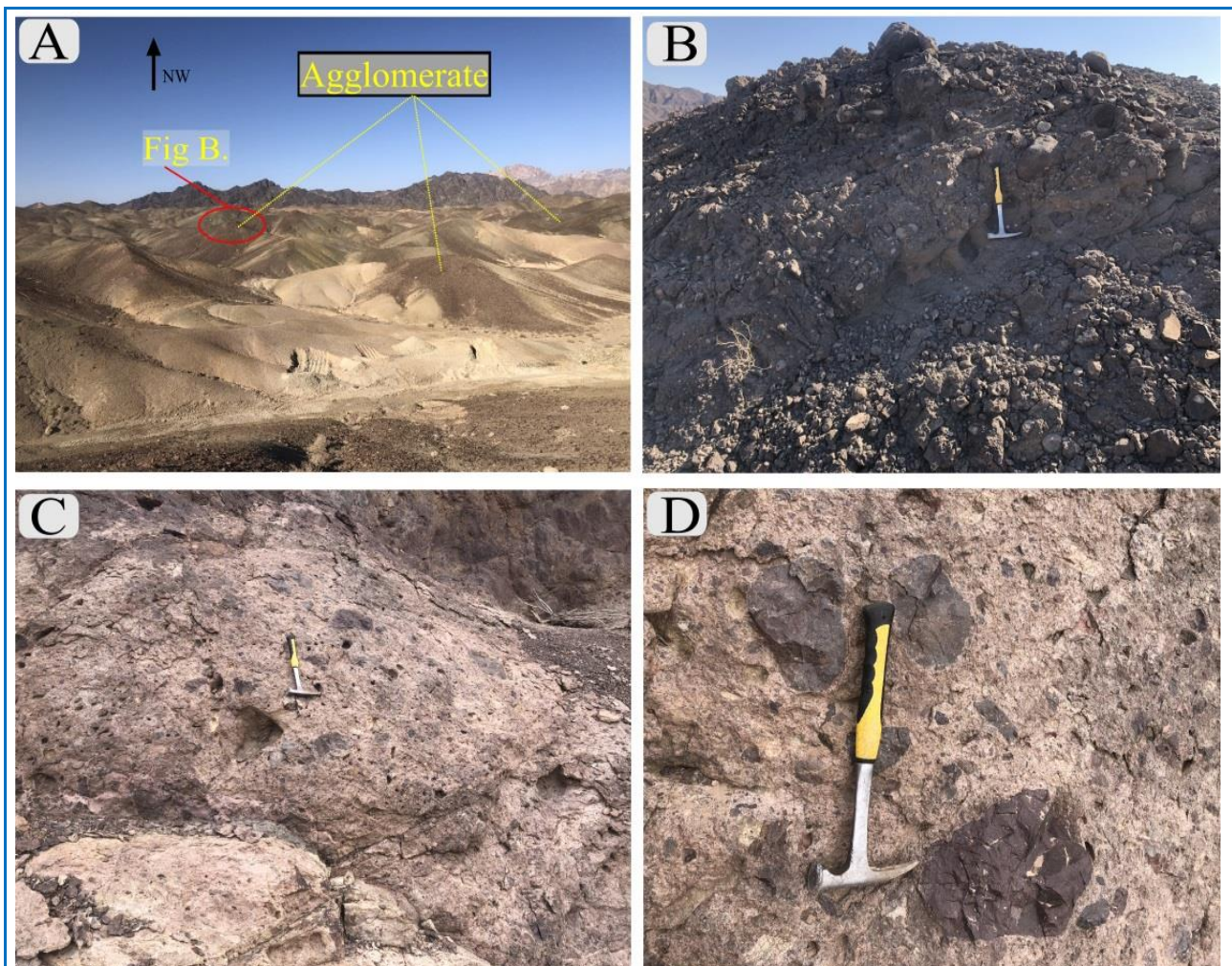
این واحد سنگی در بخش‌های شمال‌خاوری، مرکزی و جنوبی محدوده تلاه‌وییه رخنمون دارد و پیامد فعالیت‌های آتشفشانی دوران ائوسن دانسته می‌شود (شکل ۵). رنگ این واحد از ارغوانی تا خاکستری تیره متغیر است و گویای ترکیب کانی‌شناسی و شرایط اکسیداسیون حاکم بر زمان تبلور است. در بخش‌های خاوری محدوده، این واحد نقش بزرگی در پیدایش ریخت‌شناسی محدوده دارد و ارتفاعات را تشکیل می‌دهد. شکستگی‌های کمابیش منظم و موازی درون واحد آندزیتی که در پی انجماد سریع ماگما و تنش‌های پس از آن پدیدار شده‌اند، ساختاری مشخص به سنگ داده‌اند (شکل‌های A-۵، B-۵ و C-۵). این ویژگی‌ها چه‌بسا نشان‌دهنده انجماد در شرایط نزدیک به سطح و یا تغییرات سریع دمایی هنگام سرد شدن ماگما هستند. در بخش‌های جنوبی محدوده، تغییرات ترکیب شیمیایی ماگما به پیدایش سنگ‌هایی با ترکیب آندزیت تا آندزیت-بازالت انجامیده است که معمولاً با بافت پورفیری شناخته می‌شوند (شکل D-۵). این بافت نشان‌دهنده دو مرحله سرد شدن ماگماست؛ به‌گونه‌ای که نخست ماگما در

واحدهای آگلومرایی که بخش‌هایی از توالی‌های آتشفشانی در بخش مرکزی محدوده را دربر می‌گیرند بیشتر شامل قطعات سنگی با ترکیب داسیتی و ایگنمبریتی هستند. این واحد در بخش‌های مرکزی محدوده تلاه‌وییه به‌صورت میان‌لایه‌هایی درون لیتیک‌توفاها شناسایی شده است (شکل‌های A-۴ و B-۴). حضور این میان‌لایه‌ها در میان واحدهای توفی نشان‌دهنده دوره‌هایی از فعالیت آتشفشانی انفجاری با شدت بالاتر است که به پیدایش نهشته‌های آگلومرایی انجامیده است. در مناطق مرتفع‌تر محدوده، واحد آگلومرا با ویژگی‌های خاصی مانند وجود خرده‌سنگ‌های گردشده با ابعاد متغیر از چند میلیمتر تا چندین سانتیمتر شناخته می‌شود. این خرده‌سنگ‌ها در زمینه‌ای از مواد آتشفشانی ریزدانه جای دارند که نشان‌دهنده یک زمینه آتشفشانی خمیری‌شکل است (شکل‌های C-۴ و D-۴).

ترکیب سنگی قطعات در این بخش بیشتر آندزیتی تا داسیتی است و گردش‌گی آنها چه‌بسا پیامد غلتش و سایش مکانیکی در هنگام نهشته‌گذاری یا حمل و نقل کوتاه‌مدت در جریان‌های آذرآواری است (Fisher and Schmincke, 1984). از دیدگاه دگرسانی، این واحد شواهد روشنی از تأثیر سیالات گرمایی دارد که به‌صورت رگه-رگچه‌هایی دارای اکسیدهای آهن پدیدار شده‌اند. این

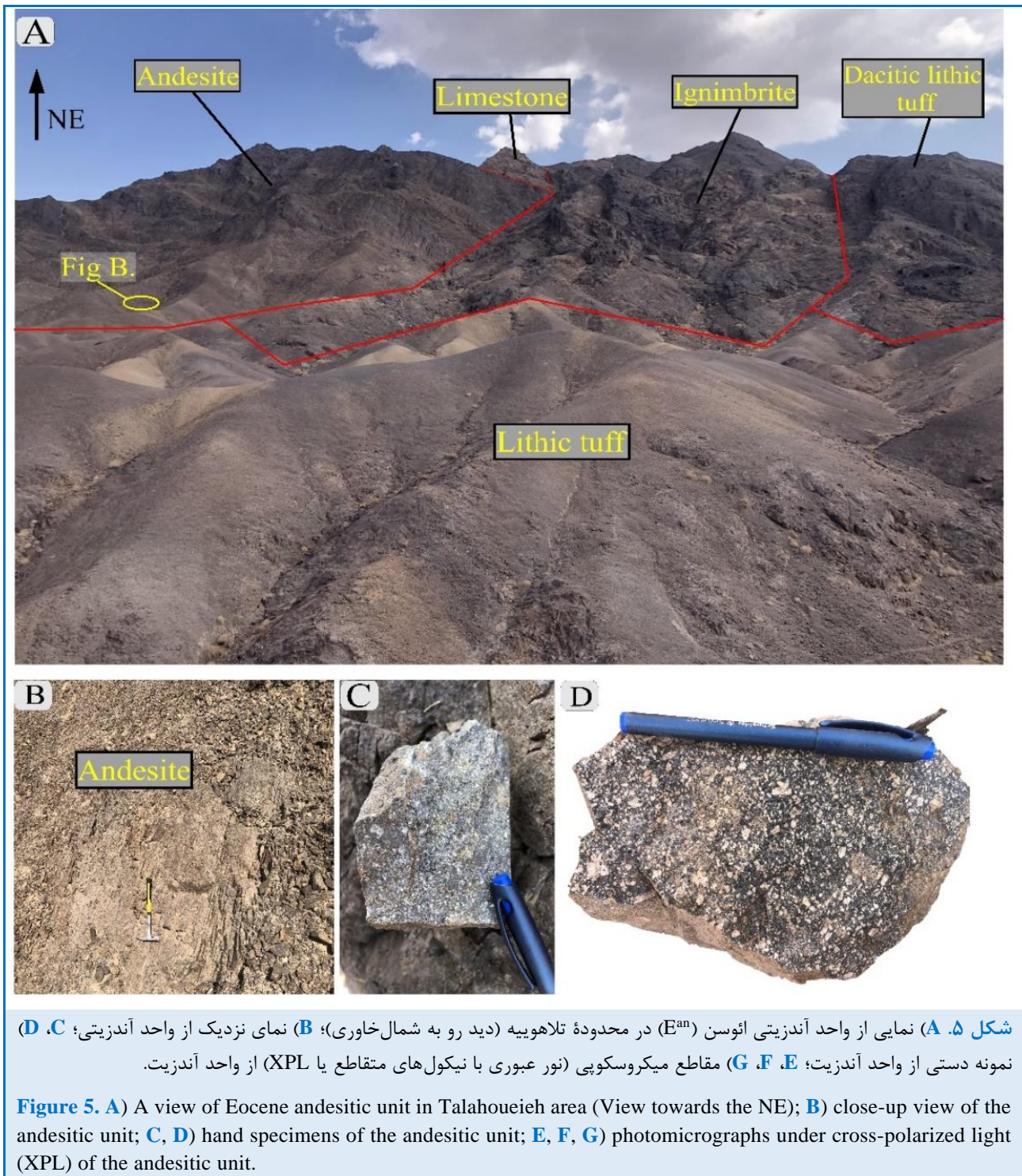
در مقادیر فرعی، هورنبلند و بیوتیت هستند. اپاکی شدن در برخی از بلورهای هورنبلند و بیوتیت، دلالت بر دگرسانی حرارتی- شیمیایی آنها دارد. شواهد سنگ‌نگاری همچنین، گویای دگرسانی‌های ثانویه از نوع سرسیتی‌شدن (جاننشینی پلاژیوکلاز با سرسیت) و سوسوریتی‌شدن هستند که به‌ویژه در بلورهای فلدسپار دیده می‌شوند (شکل‌های E-۵، F-۵ و G-۵). این دگرسانی‌ها می‌توانند با فرایندهای گرمایی رخ داده در مراحل پایانی فعالیت ماگمایی یا مهاجرت محلول‌های داغ در شکستگی‌های موجود مرتبط باشند.

ژرفا و به‌آرامی سرد شده است و بلورهای درشت پدید آمده‌اند. سپس با صعود ماگما به سطوح بالاتر یا فوران، سرد شدن سریع‌تر رخ داده و زمینه ریزدانه پدید آمده است. بافت پورفیری که معمولاً نشان‌دهنده شرایط متغیر دما و فشار در مسیر صعود ماگماست به‌طور گسترده در سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌ژرف دیده می‌شود (Winter, 2010). مقاطع نازک تهیه‌شده از این سنگ‌ها، حضور همزمان بافت پورفیری و جریان را در زمینه‌های میکروکریستالین تأیید می‌کنند. کانی‌های اصلی سازنده این سنگ‌ها شامل پلاژیوکلاز (با منطقه‌بندی مشخص)، کوارتز



شکل ۴. A, B, C, D) رخنمون‌هایی از واحد آگلومرا (E<sup>Ag</sup>) با سن ائوسن در بخش مرکزی محدوده تالاهوییه که از قطعات سنگی با جنس و اندازه‌های گوناگون ساخته شده‌اند.

**Figure 4. A, B, C, D)** Outcrops of the agglomerate unit of Eocene age in the central part of the Talahouieh area, composed of rock fragments of varying lithology and size.



متفاوت نهشته شده‌اند. در رخنمون‌های سطحی، این واحد بیشتر بر پایه بافت یوتاکسیتیک<sup>۵</sup> مشخص آن شناسایی می‌شود (شکل ۶-B). در بخش‌هایی از محدوده که به صورت تپه‌ماهور هستند، این واحد شاردهای

#### واحد ایگنمبریت ( $E^{Ag-Ig}$ ):

واحدهای ایگنمبریتی سطح بزرگی از بخش مرکزی محدوده تلاهوئییه را پوشش داده است و در ارتفاعات محدوده نیز دیده می‌شوند (شکل ۶-A). این سنگ‌ها به صورت لایه‌های متناوب با ترکیب یکسان و بافت‌های

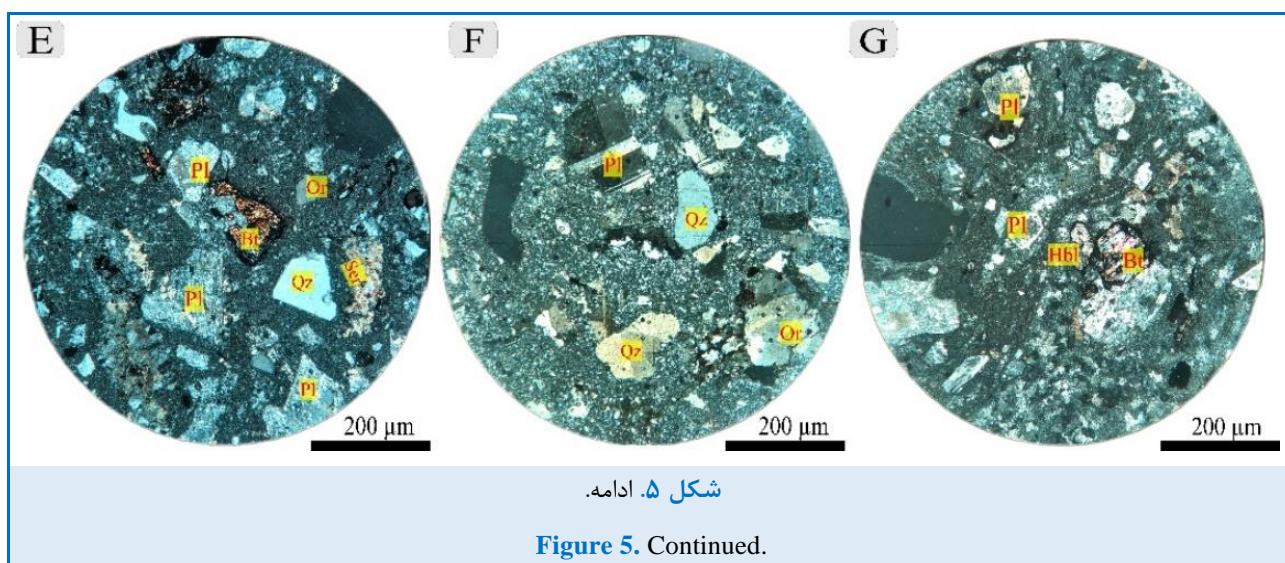
<sup>5</sup> Eutaxitic Texture

بیشتر از کوارتز ساخته شده‌اند (شکل ۶-د). دوم، ایگنمریت‌هایی با ساختار فیامی<sup>۷</sup> چشمی شکل که از جوش خوردگی خرده‌های آتشفشانی پدید آمده‌اند (شکل ۶-ع). این تنوع بافتی نشان‌دهنده تفاوت در میزان جوش خوردگی و ترکیب مواد آتشفشانی در هنگام نهشت این واحد است.

<sup>7</sup> fiamme

آتشفشانی<sup>۶</sup> دارد که جهت‌گیری و آرایش آنها نیز بافت یوتاکسیتیک را به خوبی نمایش می‌دهد (شکل ۶-ج). این ویژگی‌ها نشان‌دهنده نهشته شدن سریع مواد آتشفشانی در پی جریان‌های آذرآواری با دمای بالا هستند. بررسی‌های سنگ‌نگاری روی این واحد سنگی، دو نوع بافت متفاوت را نشان می‌دهد: نخست، ایگنمریت‌های لایه‌لایه با بافت یوتاکسیتیک مشخص که لایه‌های آن

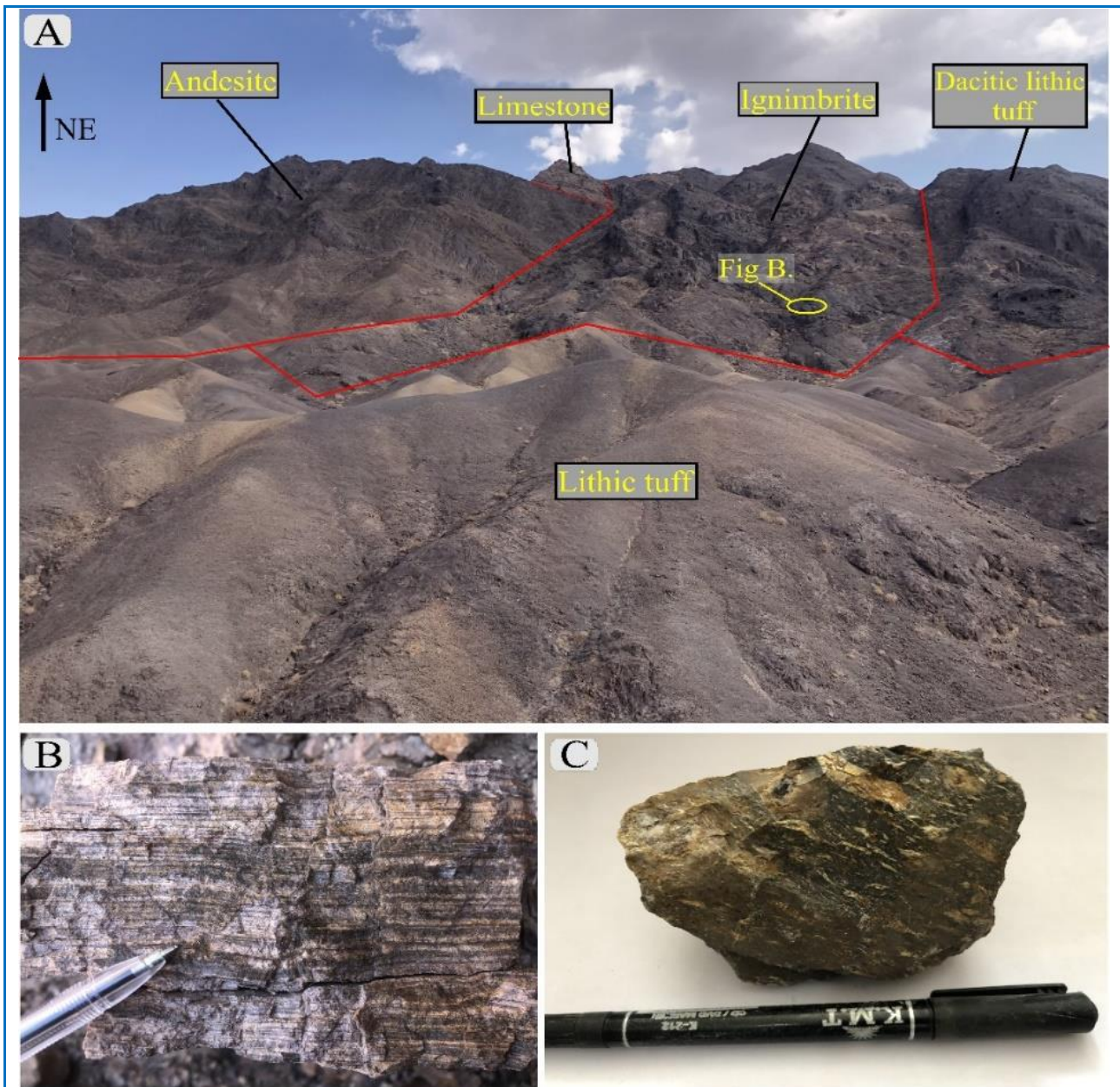
<sup>6</sup> volcanic shards



بررسی‌های سنگ‌نگاری نشان می‌دهد این دایک‌ها بیشتر بافت دولریتی دارند که در آن بلورهای تیغه‌ای شکل پلاژیوکلاز در زمینه‌ای ریزدانه جای گرفته‌اند و کانی‌های مافیک مانند بیوتیت و گاه مقدار اندکی آلکالی‌فلدسپار (ارتوز) نیز می‌توانند یافت شوند که نشان‌دهنده سرد شدن کمابیش آهسته ماگما در محیط‌های نیمه‌ژرف است (Winter, 2010) (شکل ۷). در بسیاری از نمونه‌ها، کانی‌های مافیک به‌طور گسترده‌ای دچار فرایند دگرسانی شده‌اند و با کانی‌های ثانویه‌ای مانند کلریت و اپیدوت جایگزین شده‌اند. این نوع دگرسانی احتمالاً در پی نفوذ محلول‌های گرمابی پس از جایگیری دایک‌ها رخ داده است. در بخش‌هایی، این دایک‌ها در همبری مستقیم با توده‌های آهکی هستند و این همبری‌ها دگرگونی همبری ضعیف در واحد سنگ‌آهکی کنارشان را به دنبال داشته است.

## دایک‌ها

در محدوده تلاه‌وییه، مجموعه‌ای از دایک‌های آذرین دیده می‌شود که بیشتر واحدهای آذرآواری را در راستای گسل‌ها قطع کرده‌اند. این دایک‌ها با رنگ تیره و رخنمون‌هایی به درازای بیش از ۳۰ متر، از ویژگی‌های بارز ساختاری محدوده به‌شمار می‌روند. روند بیشتر آنها شمالی-جنوبی است و ستبرای آنها از ۳۰ سانتیمتر تا ۳ متر در نوسان است. این ویژگی نشان‌دهنده فعالیت زمین‌ساختی کنترل‌کننده در جایگیری آنهاست. از دیدگاه ترکیب سنگ‌شناسی، این دایک‌ها محدوده‌ای از سنگ‌های نیمه‌ژرف با ترکیب دولریتی تا سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی را دربر می‌گیرند و در برخی رخنمون‌ها ترکیب ریولیتی دارند. این تنوع ترکیبی می‌تواند پیامد تداوم فعالیت ماگمایی با خاستگاه‌های متفاوت یا تبلور بخشی در شرایط مختلف باشد.



**شکل ۶. A)** دورنمایی از واحد ایگنمبریت ائوسن ( $E^{Ag-Ig}$ ) در محدوده تالاهوییه (دید رو به شمال‌خاوری)؛ **B, C)** نمای نزدیک از واحد ایگنمبریت با بافت جریان؛ **D, E)** تصویرهای میکروسکوپی (نور عبوری با نیکول‌های متقاطع یا XPL) از واحد ایگنمبریت به ترتیب، بافت جریان از لامینه‌های کوارتز و شارد‌های آتشفشانی.

**Figure 6. A)** Field view of Eocene ignimbrite unit ( $E^{Ag-Ig}$ ) in Talahouehieh area (View towards NE); **B, C)** Close-up views of the ignimbrite unit showing flow texture; **D, E)** Photomicrographs under cross-polarized light (XPL) of ignimbrite unit, highlighting flow textures with quartz laminae and volcanic shreds.

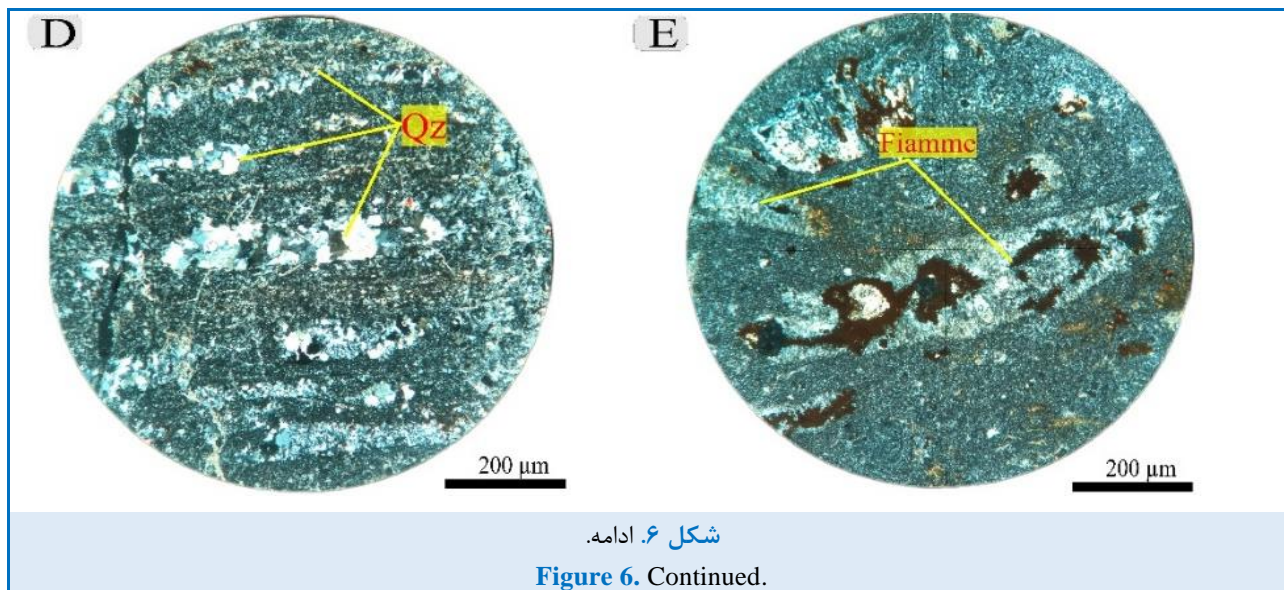
### توده‌های آذرین درونی (Gr)

گمانه‌های حفاری نیز به دست آمده که نشان‌دهنده گسترش زیرسطحی آنها در محدوده است. این توده‌ها بیشتر دارای بافت گرانولار بوده و از کانی‌های اصلی کوارتز، فلدسپار (پلاژیوکلاز و ارتوکلاز) و بیوتیت تشکیل شده‌اند. در بسیاری از نمونه‌ها، شواهدی از دگرسانی

در بخش‌های خاوری و جنوب‌خاوری محدوده تالاهوییه، رخنمون‌هایی از توده‌های آذرین درونی با ترکیب گرانیتی دیده می‌شوند (شکل ۸). افزون‌بر رخنمون‌های سطحی، شواهد این توده‌ها در تعدادی از

مستقیم میان این توده‌های آذرین درونی و واحدهای آهکی مجاور منجر به پیدایش پهنه‌های اسکارنی شده است. این پهنه‌ها که در اثر واکنش متقابل میان سیالات ماگمایی و سنگ‌های کربناته ایجاد شده‌اند، دارای نشانه‌هایی از کانی‌سازی آهن، به‌ویژه به‌صورت مگنتیت و هماتیت هستند.

گرمایی دیده می‌شود که بیشتر به‌صورت سرپسیتی شدن فلدسپارها و کلریتی شدن کانی‌های مافیک است. این دگرسانی‌ها می‌توانند ناشی از نفوذ سیالات گرمایی وابسته به فعالیت ماگمایی پس از جایگیری توده باشند و احتمالاً در مهاجرت فلزات و پیدایش کانه‌زایی نقش داشته‌اند. در برخی از گمانه‌های اکتشافی، تماس



شکل ۶. ادامه.

Figure 6. Continued.

اسیدی در مراحل میانی تا پایانی سامانه کانه‌زایی باشد. در برابر آن، دگرسانی‌های پتاسیک و فیلیک در این محدوده شناسایی نشده‌اند.

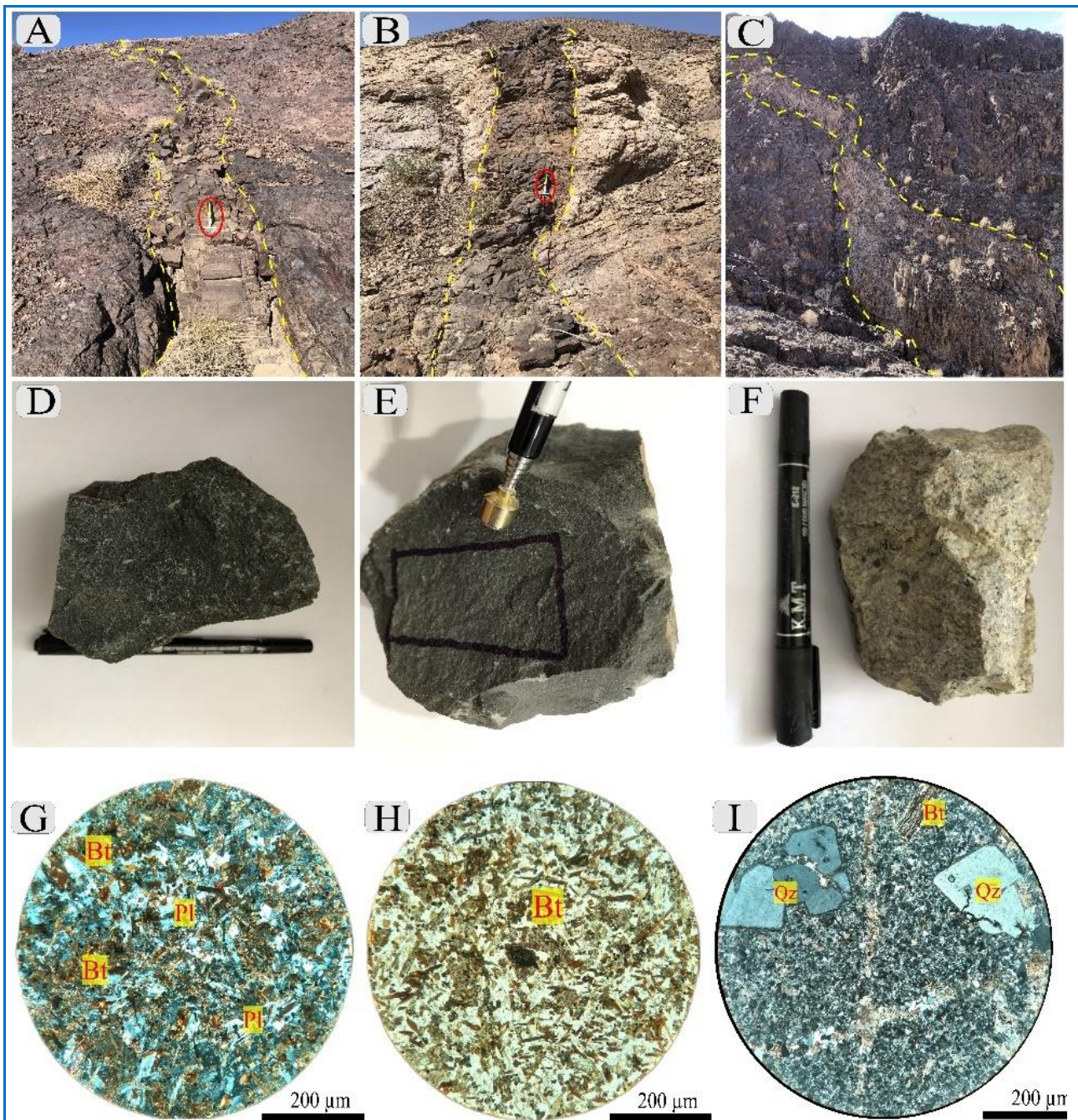
### کانه‌زایی رگه‌ای چندفلزی (Cu-Pb-Zn-Ag) در محدوده تلاه‌وییه

در محدوده تلاه‌وییه، کانه‌زایی رگه‌ای چندفلزی شامل مس، سرب، روی و نقره بیشتر در واحدهای آتشفشانی ائوسن رخ داده است و بیشترین تمرکز آن در توف‌های آذرآواری (واحد  $E^{Li}$ ) و گدازه‌های آندزیتی (واحد  $E^{An}$ ) دیده می‌شود. این کانه‌زایی به‌صورت رگه‌ای، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی و پرکننده فضاهای خالی<sup>۸</sup> در سنگ‌های توف، ایگنمبریت و گاه داسیت رخداد دارد که نشان‌دهنده کنترل ساختاری و تأثیر فازهای تبلوری در تعیین مسیر سیالات معدنی است.

### دگرسانی و کانی‌سازی

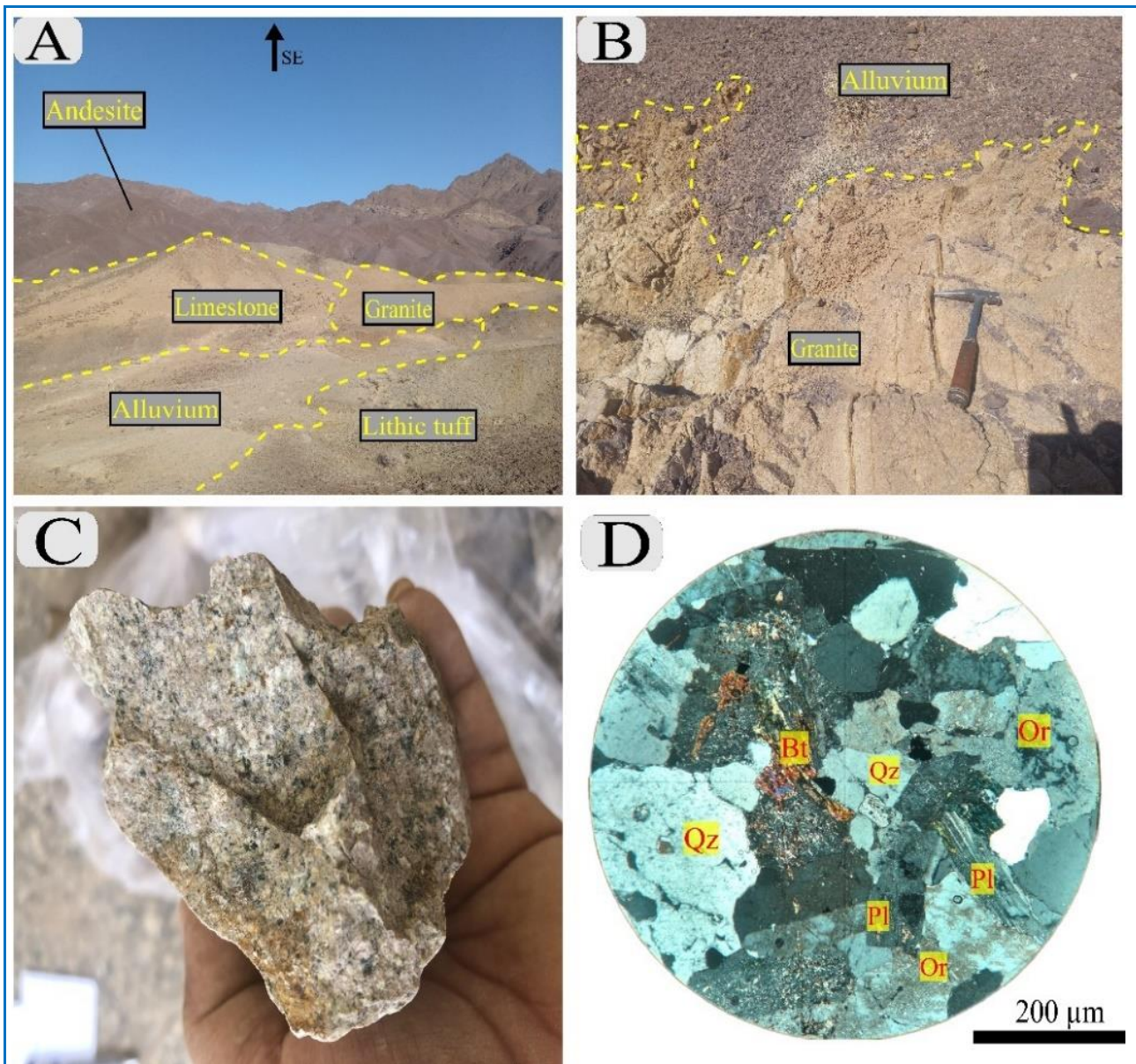
یکی از گام‌های کلیدی در ارزیابی ویژگی‌های کانه‌زایی در کانسار تلاه‌وییه، بررسی و شناسایی کانی‌های پدیدآمده در پی رخداد دگرسانی است. برای این کار، ترکیبی از بررسی‌های میدانی، بررسی‌های سنگ‌نگاری و تجزیه به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) به کار گرفته شد تا نوع و گستره دگرسانی‌ها به‌طور دقیق ارزیابی شود. این بررسی‌ها نشان می‌دهند دگرسانی در محدوده تلاه‌وییه گسترش چشمگیری دارد و بیشتر شامل پهنه‌های دگرسانی آرژیلیک، سیلیسی، کلریتی و آرژیلیک پیشرفته است. برای نمونه، شماری از داده‌های تجزیه شیمیایی انجام شده در جدول ۳ آورده شده‌اند. در میان این انواع، دگرسانی آرژیلیک بیشترین گسترش را در سطح محدوده دارد و دگرسانی غالب دانسته می‌شود (شکل ۹). حضور گسترده این نوع دگرسانی، بیشتر با پهنه‌های کانه‌زایی همراه است و می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر سیالات گرمایی

<sup>8</sup> vein, stockwork, replacement, and open space filling



**شکل ۷. A)** رخمنونی از دایک‌هایی با ترکیب دولریت؛ **B)** رخمنونی از دایک با ترکیب آندزیت؛ **C)** رخمنونی از دایک با ترکیب ریولیت؛ **D)** نمونه دستی از دایک با ترکیب دولریت؛ **E)** نمونه دستی از دایک با ترکیب آندزیت؛ **F)** نمونه دستی از دایک با ترکیب ریولیت در محدوده تالاهوییه؛ **G, H)** تصاویرهای میکروسکوپی (نور عبوری XPL (شکل‌های **G** و **I**) و PPL (شکل **H**) از دایک‌ها با ترکیب دولریت؛ **I)** دایک ریولیتی.

**Figure 7. A)** Outcrop of doleritic dikes; **B)** outcrop of an andesitic dike; **C)** outcrop of a rhyolitic dike; **D)** hand specimen of a doleritic dike; **E)** hand specimen of an andesitic dike; **F)** hand specimen of a rhyolitic dike from the Talahoueh area; **G, H)** photomicrographs (transmitted XPL (Figs. **G** and **I**) and PPL (Fig. **H**) of doleritic dikes; **I)** rhyolitic dike.



**شکل ۸. A)** دورنمای توده آذرین درونی که در بخش خاوری محدوده تالاهوییه رخنمون کوچکی دارد و در نزدیکی توده آهکی به کانی‌سازی اسکارن آهن انجامیده است (دید رو به جنوب‌خاوری)؛ **B)** نمای نزدیکی از رخنمون توده آذرین درونی؛ **C)** نمونه دستی از توده آذرین درونی گرانیتی؛ **D)** تصویر میکروسکوپی از توده آذرین درونی گرانیتی (نور عبوری با نیکول‌های متقاطع یا XPL).

**Figure 8. A)** Field view of an intrusive body in the eastern part of the Talahoueieh area, locally associated with limestone and causing iron skarn mineralization (View towards SE); **B)** Close-up view of the intrusive body; **C)** Hand specimen of the granitic intrusive; **D)** Photomicrograph of the granitic intrusive (in XPL).

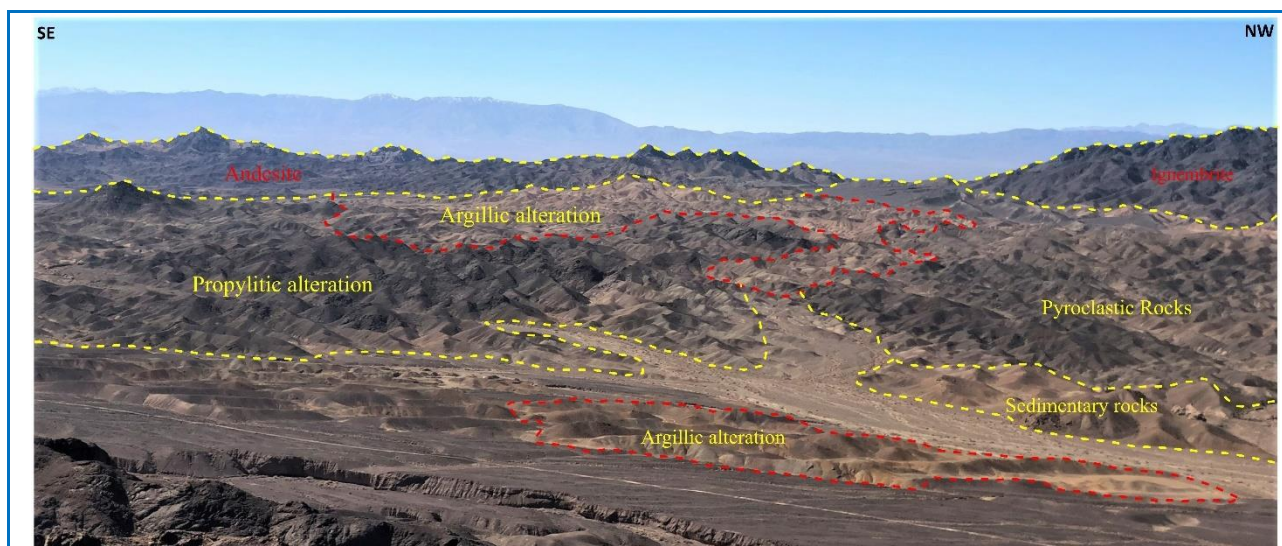
پیچیده است که دچار فرایندهای گرمایی با دمای متوسط تا کم شده است. کانه‌زایی بیشتر با دگرسانی‌های گرمایی از نوع آرژیلیک و سیلیسی همراه است که خود نشانه‌ای از فعالیت‌های سیال غنی از سیلیکات و یون‌های فلزی در دوره کانه‌زایی است. در

مهم‌ترین کانه‌های شناسایی شده شامل کانی‌های درونزاد کالکوپیریت، بورنیت، گالن و اسفالریت و کانی‌های برونزاد مالاکیت و آزوریت، کریزوکولا، سروریت و همی‌مورفیت هستند (شکل ۱۰). این ترکیب کانی‌شناسی، نشان‌دهنده یک سامانه چندفلزی

واحدهای ریولیتی ( $E^{Rhy}$ ) و لیتیک توف ( $E^{Li}$ ) کنترل می‌شوند که اهمیت ساختارهای زمین‌ساختی در تمرکز و هدایت سیالات معدنی را نشان می‌دهد.

بخش شمال‌باختری این محدوده، رگه‌های کانهدار آشکارا با گسل‌های راست‌الغز<sup>۹</sup> راستگرد در همبندی

<sup>۹</sup> strike-slip



شکل ۹. گسترش دگرسانی‌های گرمابی آرژیلیک و پروپیلیتیک در واحدهای آتشفشانی ائوسن در محدوده تلاهوییه.

**Figure 9.** Distribution of argillic and propylitic hydrothermal alterations in the Eocene pyroclastic units of the Talahouieh area.

(شکل ۱۰). این ویژگی‌ها نشان می‌دهد کانه‌زایی رگه‌ای چندفلزی تلاهوییه دچار ترکیبی از عوامل ساختاری، سنگ‌شناسی و گرمابی-هوازدگی شده است و بررسی دقیق آن می‌تواند در ارزیابی پتانسیل اقتصادی و تعیین مناطق هدف برای اکتشافات آینده نقش مهمی داشته باشد.

### رده‌بندی شیمیایی

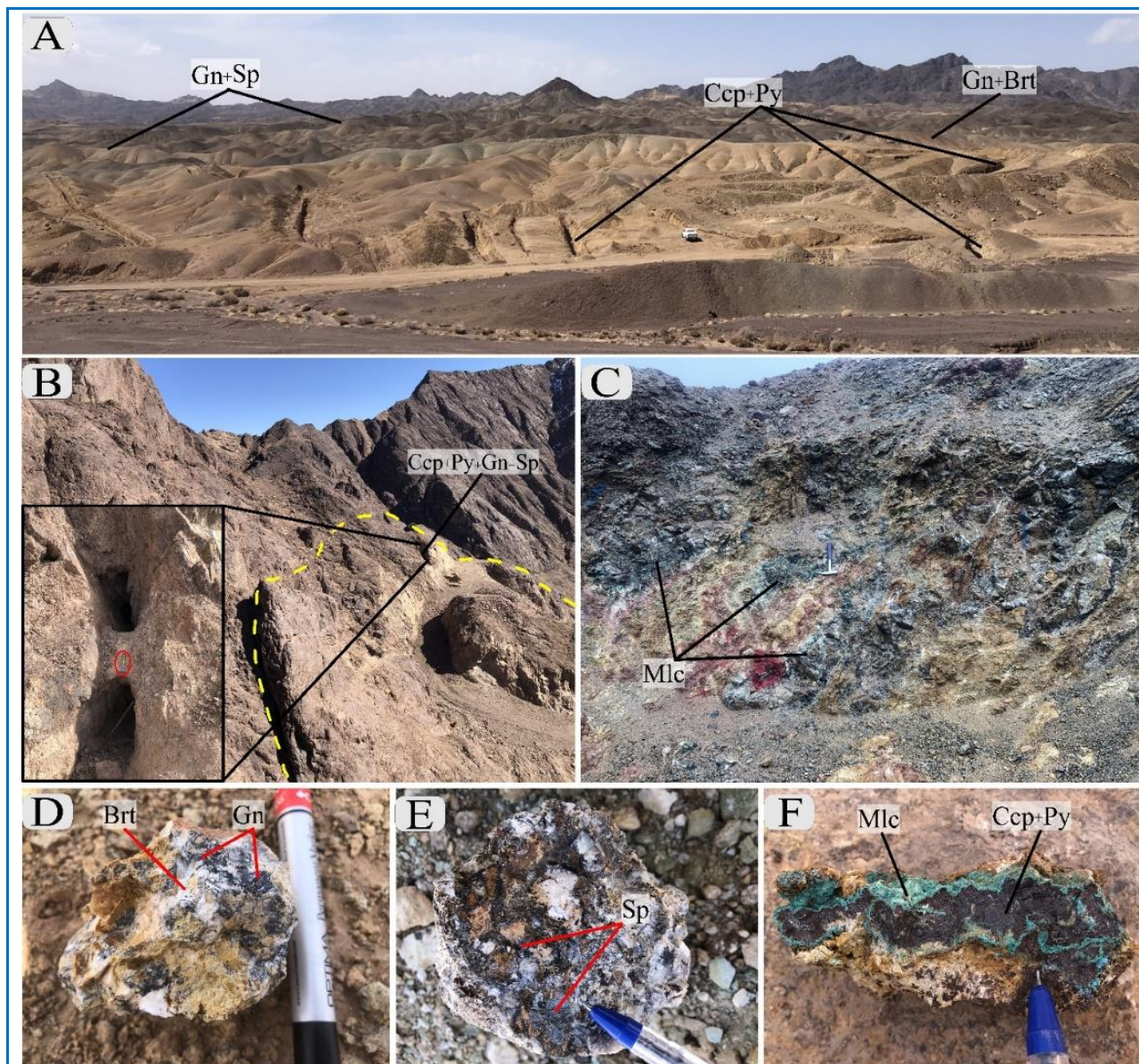
نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ از محدوده تلاهوییه (شکل ۲) نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از سنگ‌های سطحی محدوده از نوع آذرآواری هستند. به دلیل ترکیب ناهمگن و آمیختگی ذره‌ها با خاستگاه گوناگون در این سنگ‌ها، آنها نماینده خوبی برای تحلیل‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شیمیایی نیستند و نمی‌توانند به‌عنوان نمونه‌های شاخص در بررسی‌های سنگ‌زایی<sup>۱۰</sup> به کار برده شوند. از این رو، نمونه‌برداری

نشانه‌هایی از معدنکاری تاریخی در این بخش از محدوده نیز گویای ارزش اقتصادی بالقوه این کانه‌زایی است و تأکید می‌کند کانسارهای رگه‌ای این محدوده برای بررسی‌های اکتشافی مدرن مناسب هستند. در بخش‌های جنوبی و جنوب‌خاوری، کانه‌زایی مس بیشتر در سطح به‌صورت فازهای اکسیدی (مالاکیت و آزوریت) و در ژرفا به‌صورت سولفیدی (کالکوپیریت و بورنیت) دیده می‌شود. این الگوی عمقی، نشان‌دهنده تکامل سیالات گرمابی و تغییرات شیمیایی در طول مسیر نفوذ آنهاست. همچنین، بیشتر رگه‌های کربناتی و سیلیسی با کانه‌زایی ژرف و سطحی همراه هستند که نشان‌دهنده واکنش‌های میان سیال و میزبان سنگ و اهمیت دگرسانی (گرمابی و هوازدگی) در کنترل غلظت عنصرهای فلزی است. کانه‌زایی سرب و روی نیز به‌صورت رگه‌ای و پراکنده در واحدهای آتشفشانی و در مناطق با دگرسانی شدید دیده می‌شود که تأکید بر توزیع نامتوازن این فلزات در سطح و ژرفا دارد

<sup>۱۰</sup> petrogenetic

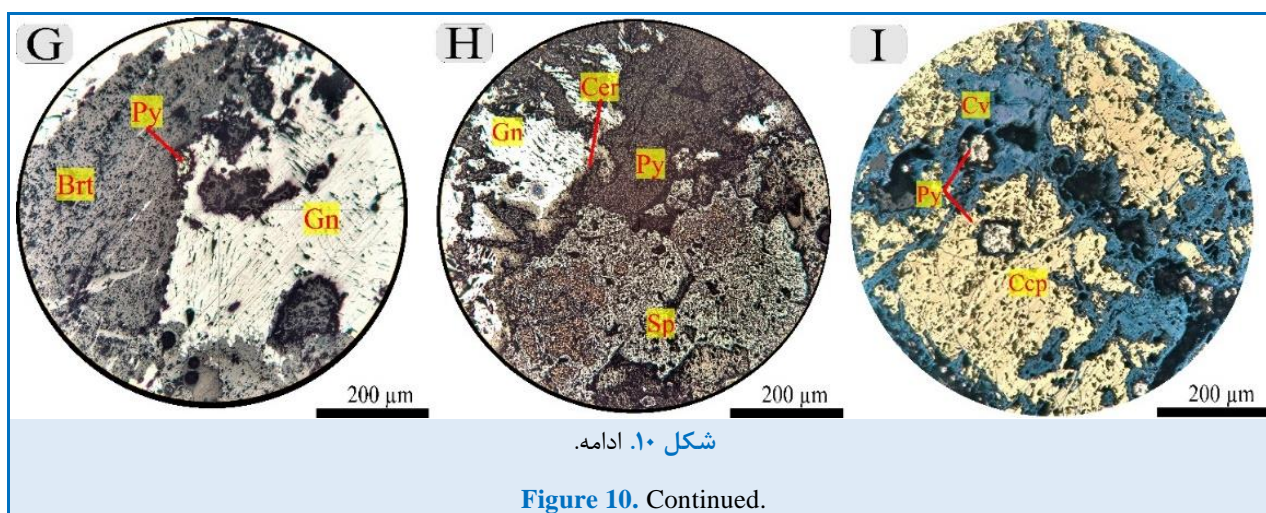
ماگمایی و تکاملی محدوده به‌دست آورده شود (جدول‌های ۱ و ۲).

بیشتر روی واحدهای گدازه‌ای و توده‌های آذرین درونی انجام شد تا اطلاعات قابل اتکایی درباره فرایندهای



**شکل ۱۰.** کانه‌زایی فلزی در محدوده تالاهوییه. (A) نمای دور از زمین‌شناسی و جایگاه ترانشه‌های اکتشافی حفرشده روی پهنه‌های دگرسانی میزبان کانی‌سازی‌های مس، سرب، روی و باریت در محدوده؛ (B، C) رخنمون‌هایی از کانه‌زایی مس، سرب، روی و آثار معدنکاری قدیمی حفرشده برای برداشت ماده معدنی؛ (D، E، F) نمونه‌های دستی از کانسنگ‌های مس، سرب، روی و باریت؛ (G، H، I) تصویرهای میکروسکوپی (نور بازتابی) از کانه‌زایی مس، سرب، روی و باریت.

**Figure 10.** Mineralization in the Talahouieih area. (A) Distant view of copper, lead, zinc, and barite mineralization; (B, C) Outcrops of copper, lead, zinc mineralization, and old mining activities carried out for ore extraction; (D, E, F) Hand specimens of copper, lead, zinc, and barite mineralization; (G, H, I) Photomicrographs of copper, lead, zinc, and barite mineralization.



سازگار است و نشان دهنده فرایندهای پیچیده ماگمایی شامل تبلور بخشی، جدایش کانی‌های فرومنیزین و آلیش اندک پوسته‌ای است. تحلیل همزمان ترکیب شیمیایی، نوع کانی‌ها و ویژگی‌های بافتی این سنگ‌ها، امکان بازسازی روند تکاملی ماگمایی، شرایط فیزیکوشیمیایی ماگما و فرایندهای مرتبط با کانه‌زایی را فراهم می‌کند. این یافته‌ها، پایه‌ای قوی برای بررسی‌های آینده در زمینه اکتشاف و ارزیابی منابع معدنی محدوده ارائه می‌دهند و ارتباط مستقیم میان فعالیت ماگمایی و پیدایش کانی‌های اقتصادی را روشن می‌کنند.

### زمین‌شیمی عنصرهای اصلی

برای بررسی روند تکاملی و خاستگاه سنگ‌های آذرین محدوده تلاهویی، نمودارهای تغییرات اکسیدهای اصلی در برابر  $\text{SiO}_2$  به کار برده شد (جدول ۱؛ شکل ۱۳). این نمودارها، ابزار خوبی برای ارزیابی فرایندهای تفریق ماگمایی و نقش کانی‌های اصلی و فرعی در کنترل ترکیب شیمیایی سنگ‌ها فراهم می‌کنند.

### آندزیت

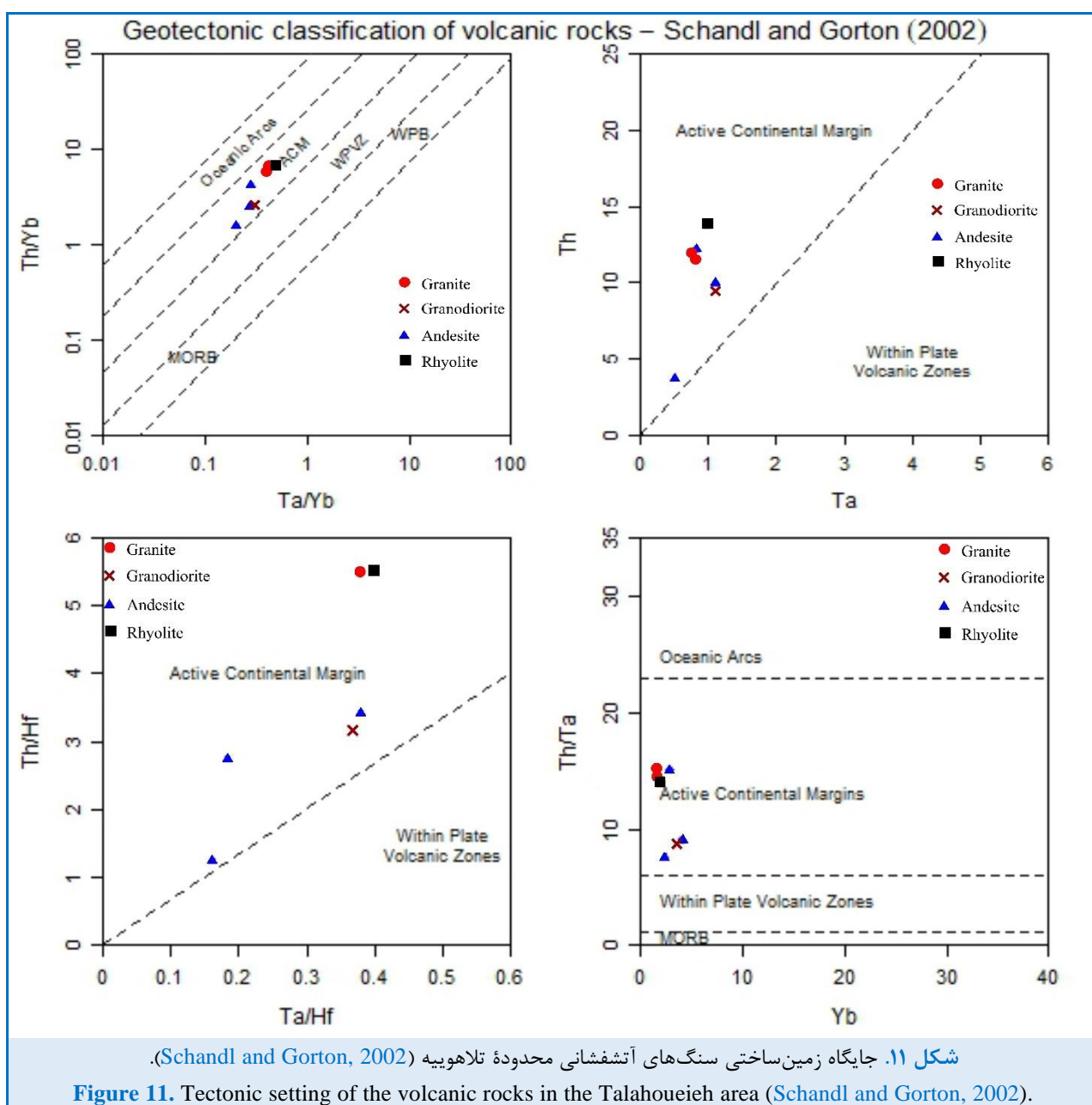
ترکیب شیمیایی سنگ‌های آندزیتی در محدوده حد واسطه جای دارد و رفتار اکسیدها در آنها گویای مراحل میانی تکامل ماگما است.  $\text{MgO}$  در این سنگ‌ها کاهش نشان می‌دهد که این ویژگی نشان‌دهنده ادامه فرایند جدایش بلوری و کاهش تدریجی سهم کانی‌های فرومنیزین در ترکیب مذاب است (Carn and Pyle, 2007).

بر پایه نمودار Ta/Yb در برابر Th/Yb، نمودار Ta در برابر Th، نمودار Ta/Hf در برابر Th/Hf و نمودار Yb در برابر Th/Ta (شکل ۱۱)، ویژگی‌های زمین‌شیمیایی نیز گویای آن هستند که ماگمای سازنده سنگ‌های آتشفشانی محدوده تلاهویی در چارچوب محیط زمین‌ساختی فرورانش پوسته اقیانوسی و پیدایش کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای پدید آمده است.

ترکیب سنگ‌های آتشفشانی در محدوده تلاهویی آندزیت بازالتی تا داسیت، ریولیت و تراکی‌بازالت است و بر پایه نمودارهای Co در برابر Th و  $\text{K}_2\text{O}$  در برابر  $\text{SiO}_2$ ، ویژگی‌های سری ماگمایی کالک‌آلکان با پتاسیم متوسط تا بالا را نشان می‌دهد (Peccerillo and Taylor, 1976; Middlemost, 1994; Hastie et al., 2007) (شکل‌های A-۱۲، B-۱۲، C-۱۲ و D-۱۲). توده‌های آذرین درونی بیشتر در محدوده گرانیت تا گرانودیوریت قرار دارند. تحلیل‌های زمین‌شیمیایی، به ویژه جایگاه نمونه‌ها در نمودارهای  $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$  و Co-Th و دیگر نمودارهای چندعنصری نشان می‌دهند سنگ‌ها به سری ماگمایی کالک‌آلکان با پتاسیم بالا و غنی از سیلیس تعلق دارند. توالی تکاملی ماگمایی شامل آندزیت‌های بازالتی اولیه، آندزیت و داسیت‌های میانی و در پایان ریولیت‌های پیامد تفریق پیشرفته است. این روند با ترکیب پتاسیم متوسط تا بالا، حضور کانی‌های فرومنیزین و نسبت‌های عنصرهای خاکی کمیاب (REE)

آندزیت‌ها مقادیر کمتری دارد که می‌تواند پیامد تمرکز تیتانیم در کانی‌هایی مانند اسفن و تیتانومگنتیت باشد.  $P_2O_5$  در این سنگ‌ها کاهش نشان می‌دهد که نشان‌دهنده آغاز تبلور آپاتیت در مراحل میانی جدایش بلورین ماگماست.  $Na_2O$  در آندزیت‌ها افزایش نسبی دارد که با پیدایش پلاژیوکلازهای سدیک‌تر سازگار است. در برابر،  $K_2O$  روند مشخصی را نشان نمی‌دهد که می‌تواند تحت تأثیر شرایط پتروژنتیکی و احتمال آلیش پوسته‌ای باشد.

2001).  $CaO$  نیز روند کاهشی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده تغییر ترکیب پلاژیوکلاز از آنورتیتی به ترکیب‌های سدیک‌تر در هنگام رخداد جدایش بلوری ماگماست (Wilson, 1989).  $Al_2O_3$  در آندزیت‌ها همچنان مقادیر کمیاب‌تری دارد که نشان می‌دهد پلاژیوکلاز در این مرحله نقش مهمی در کنترل ترکیب شیمیایی سنگ داشته است.  $Fe_2O_3$  کاهش نشان می‌دهد که این ویژگی بازتابی از جدایش تدریجی آهن در قالب کانی‌های فرومنیزین و اکسیدهای آهن است.  $TiO_2$  در

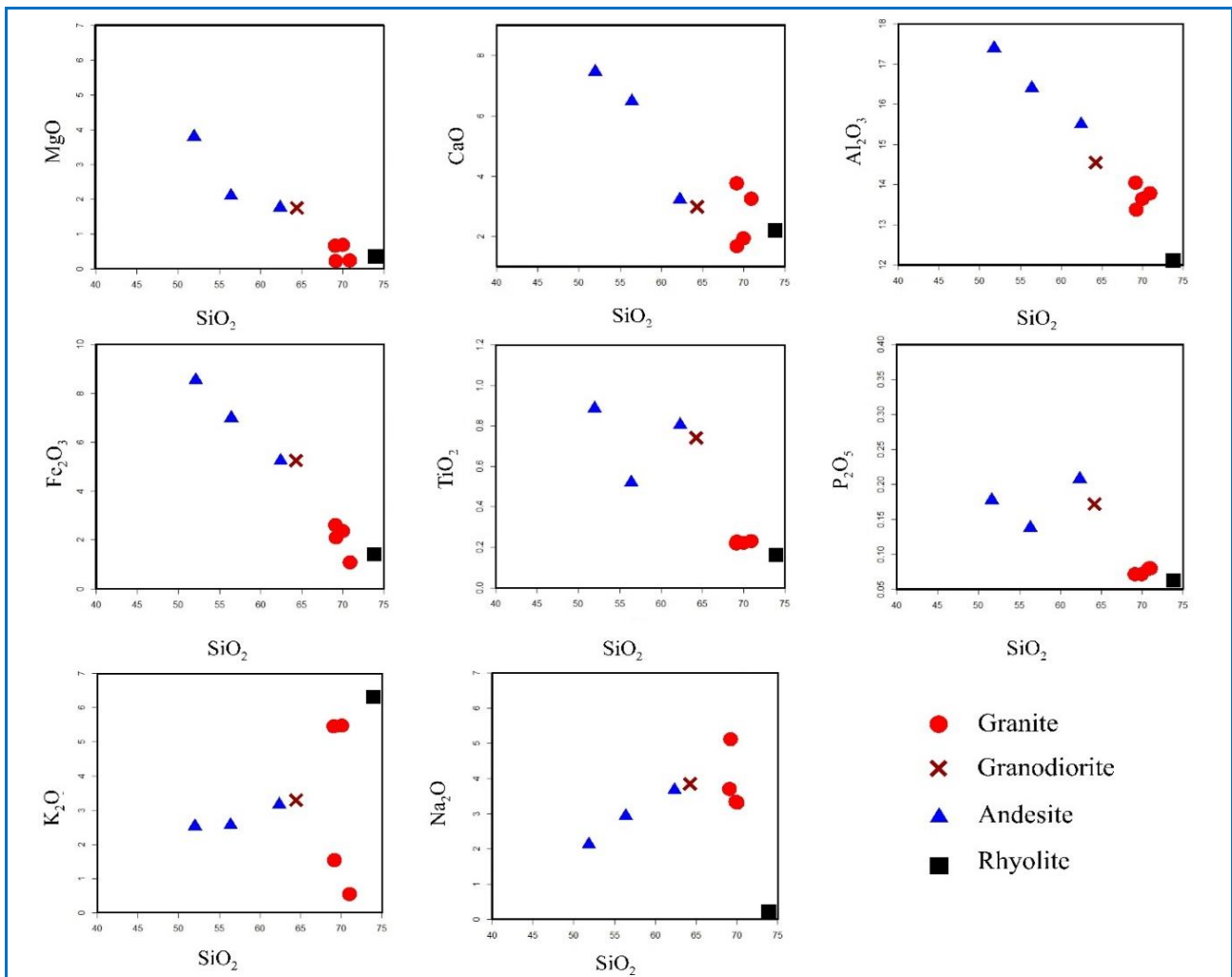




پیامد تمرکز سدیم در پلاژیوکلازهای سدیک، به‌ویژه آل‌بیت، در مراحل پایانی تبلور است. رفتار  $K_2O$  در این سنگ‌ها متغیر است و بازتابی از پیچیدگی رفتار پتاسیم هنگام رخداد فرایندهای ماگمایی است.

روند تغییرات اکسیدهای اصلی در نمودارهای هارکر، با تکامل ماگمایی از ترکیب بازیک به ترکیب اسیدی (ریولیت و گرانیت) سازگاری کامل دارد. این روند بیشتر تحت کنترل جدایش بلوری ماگمایی متوالی کانی‌های فرومیزین، پلاژیوکلاز و فازهای فرعی بوده است (Wilson, 1989; Carn and Pyle, 2001; Morata and Aguirre, 2003; Prabhakar et al., 2009)؛ هرچند از احتمال تأثیر فرایندهای ثانویه مانند آلیایش پوسته‌ای نیز نمی‌توان چشم‌پوشی کرد.

تقریباً کامل کانی‌های فرومیزین در مراحل آغازین تبلور ماگماست (Carn and Pyle, 2001).  $CaO$  در ریولیت‌ها بسیار کم است که نشان‌دهنده حذف پلاژیوکلازهای کلسیک و تمرکز مذاب بر ترکیب‌های فلسیک است (Morata and Aguirre, 2003).  $Al_2O_3$  نیز در این سنگ‌ها کاهش نشان می‌دهد که می‌تواند پیامد تبلور گسترده پلاژیوکلاز در مراحل آغازین جدایش بلورین باشد.  $Fe_2O_3$  در ریولیت‌ها مقدار کمی دارد که بازتاب جدایش مؤثر آهن در قالب کانی‌های فرومیزین، بیوتیت و اکسیدهای آهن است.  $TiO_2$  در این سنگ‌ها مقدارهای کمی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده خروج تیتانیوم از مذاب در قالب فازهای فرعی است.  $P_2O_5$  نیز کاهش چشمگیری دارد که با تبلور گسترده آپاتیت در طی تفریق ماگما سازگار است.  $Na_2O$  در ریولیت‌ها افزایش می‌یابد که



شکل ۱۳. نمودار تغییرات  $SiO_2$  در برابر اکسید عنصرهای اصلی برای سنگ‌های محدوده تلاهویی.

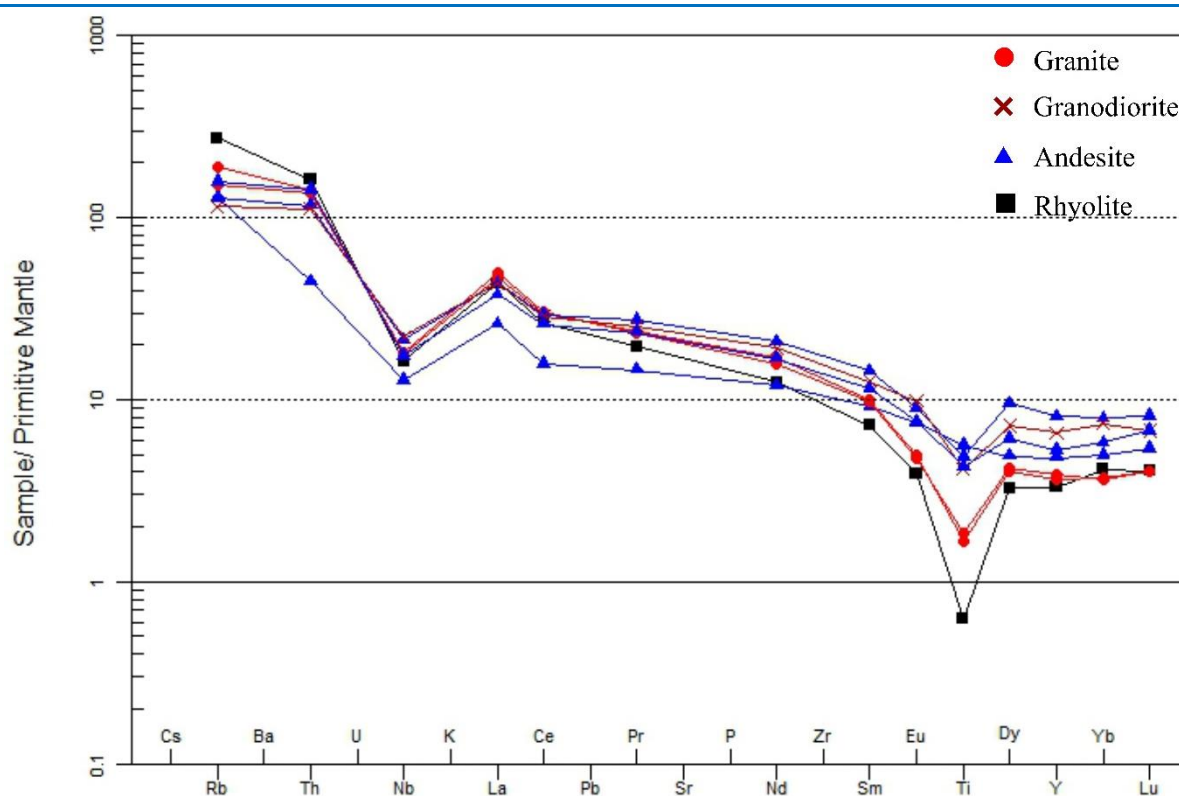
Figure 13. Variation diagram of  $SiO_2$  versus major element oxides for rocks from the Talahouieh area.

## زمین‌شیمی عنصرهای خاکی کمیاب

الگوی عنصرهای خاکی کمیاب نمونه‌های محدوده تلاهویی، نرمال شده به گوشته اولیه، غنی‌شدگی چشمگیر عنصرهای خاکی کمیاب سبک (LREE) نسبت به عنصرهای خاکی کمیاب سنگین (HREE) را همراه با آنومالی منفی یوروییم (Eu) نشان می‌دهد (جدول ۲؛ شکل ۱۴). این الگو نشان‌دهنده تفکیک رفتاری مشخص میان LREE و HREE در هنگام فرایندهای خاستگاه و تکامل ماگماست. سنگ‌های آندزیتی با غنی‌شدگی بارز LREE نسبت به HREE و حضور آنومالی منفی ضعیف Eu شناخته می‌شوند. این ویژگی‌ها می‌تواند بازتاب ذوب

بخشی یک منبع گوشته‌ای غنی شده باشد که در آن عنصرهای ناسازگار، به‌ویژه LREE، به‌طور ترجیحی وارد فاز مذاب شده‌اند؛ اما HREEها بیشتر در فازهای بجامانده منبع حفظ شده‌اند.

مقدار کم آنومالی منفی Eu در این سنگ‌ها نشان‌دهنده نقش اندک جدایش پلاژیوکلاز در مراحل آغازین تکامل ماگماست. سنگ‌های دولریتی، الگوی عنصرهای خاکی کمیاب مشابهی با آندزیت‌ها نشان می‌دهند که این ویژگی نشان‌دهنده خویشاوندی زایشی و احتمال خاستگاه ماگمایی یکسان برای این دو واحد سنگی است.



شکل ۱۴. نمودار عنکبوتی عنصرهای کمیاب بهنجار شده به ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989).

**Figure 14.** Primitive mantle-normalized spider diagram of trace elements (normalization values are from Sun and McDonough, 1989).

با غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE همراه است، اما آنومالی منفی Eu در آنها آشکارتر است. این ویژگی نشان‌دهنده نقش مؤثرتر فرایندهای تبلور بخشی، به‌ویژه جدایش پلاژیوکلاز، در هنگام تکامل ماگماهای اسیدی‌تر

شبهات شیب منحنی‌ها و نسبت LREE/HREE در این سنگ‌ها نشان می‌دهد تفاوت چشمگیری در منبع یا شرایط ذوب بخشی اولیه میان آنها وجود نداشته است. در سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی، الگوی REE همچنان

است. افزون بر این، غنی‌شدگی ناچیز در عنصر Tm می‌تواند پیامد تغییر در فازهای کنترل‌کننده عنصرهای خاکی کمیاب سنگین در مراحل پایانی تبلور دانسته شود. ریولیت‌ها الگوی مشابه سنگ‌های گرانیتی نشان می‌دهند که این ویژگی نشان‌دهنده ارتباط زایشی نزدیک و تکامل آنها از ماگماهای اسیدی هم‌خانواده یا حاصل از جدایش بلوری شدید ماگماهای حد واسط است. تداوم غنی‌شدگی LREE و تشدید آنومالی منفی Eu در این سنگ‌ها با پیشرفت فرایندهای جدایش بلوری سازگار است. در مجموع، الگوی عنصرهای خاکی کمیاب نمونه‌های بررسی شده، شامل غنی‌شدگی LREE، تهی‌شدگی نسبی HREE و آنومالی منفی Eu، بازتاب‌دهنده تأثیر همزمان ویژگی‌های منبع ماگمایی و فرایندهای تکامل ماگما بر ترکیب نهایی سنگ‌هاست و نقش مهمی در تفسیر خاستگاه و سیر تحول ماگمایی این واحدهای سنگی بازی می‌کند (Sun and McDonough, 1989).

and Gorton, 2002). با وجود گستردگی واحدهای آذرآواری در سطح، تمرکز بررسی‌ها بر واحدهای گدازه‌ای و توده‌های آذرین درونی، امکان بازسازی دقیق‌تر فرایندهای ماگمایی را فراهم کرده است. روند تغییرات اکسیدهای اصلی از دولریت بازیک به آندزیت و داسیت حد واسط و در پایان گرانیت و ریولیت اسیدی نشان‌دهنده یک تکامل ماگمایی سامان‌مند تحت کنترل جدایش بلوری اندک کانی‌هاست. کاهش منظم MgO و Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> با افزایش SiO<sub>2</sub> نشان‌دهنده حذف تدریجی کانی‌های فرومنیزین، پیروکسن و مگنتیت از مذاب و تمرکز این عنصرها در سنگ‌های حد واسط و بازیک است (Carn and Pyle, 2001; Prabhakar et al., 2009). روند کاهش CaO و TiO<sub>2</sub> نشان‌دهنده حذف پلاژیوکلازهای کلسیک و تمرکز فازهای Ti دار در مراحل آغازین تبلور است؛ اما کاهش P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> با تبلور آپاتیت در مراحل میانی و پایانی جدایش بلورین سازگار است (Morata and Aguirre, 2003). رفتار K<sub>2</sub>O و Na<sub>2</sub>O در هنگام تکامل ماگمایی پیچیده است و افزون بر جدایش بلوری ماگمایی، چه‌بسا بازتابی از شرایط فشار-دما و احتمال آمیختگی با پوسته‌های سدیک است. افزایش Na<sub>2</sub>O در سنگ‌های اسیدی تر (گرانیت و ریولیت) نشان می‌دهد پلاژیوکلازهای سدیک و پتاسیم‌فلدسپارها نقش مهمی در کنترل ترکیب نهایی دارند و تکامل ماگما از حالت حد واسط به اسیدی، تحت تأثیر همزمان جدایش پلاژیوکلاز و تمرکز فلدسپارها رخ داده است (Wilson, 1994; Middlemost, 1989). بهنجارسازی REE‌ها نسبت به گوشته اولیه، یک الگوی شاخص غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE را در همه واحدهای سنگی نشان می‌دهد که نشان‌دهنده یک خاستگاه گوشته‌ای غنی‌شده با عنصرهای ناسازگار است (Sun and McDonough, 1989). نسبت بالای LREE/HREE در دولریت‌ها و آندزیت‌ها نشان‌دهنده تبلور بخشی و ترجیحی LREE‌ها در مرحله آغازین ماگماتیسم است؛ اما HREE‌ها بیشتر در بقایای منبع به‌جای مانده‌اند. الگوی مشابه REE در دولریت‌ها و آندزیت‌ها، همراه با شیب منحنی‌های REE

افزون بر این، غنی‌شدگی ناچیز در عنصر Tm می‌تواند پیامد تغییر در فازهای کنترل‌کننده عنصرهای خاکی کمیاب سنگین در مراحل پایانی تبلور دانسته شود. ریولیت‌ها الگوی مشابه سنگ‌های گرانیتی نشان می‌دهند که این ویژگی نشان‌دهنده ارتباط زایشی نزدیک و تکامل آنها از ماگماهای اسیدی هم‌خانواده یا حاصل از جدایش بلوری شدید ماگماهای حد واسط است. تداوم غنی‌شدگی LREE و تشدید آنومالی منفی Eu در این سنگ‌ها با پیشرفت فرایندهای جدایش بلوری سازگار است. در مجموع، الگوی عنصرهای خاکی کمیاب نمونه‌های بررسی شده، شامل غنی‌شدگی LREE، تهی‌شدگی نسبی HREE و آنومالی منفی Eu، بازتاب‌دهنده تأثیر همزمان ویژگی‌های منبع ماگمایی و فرایندهای تکامل ماگما بر ترکیب نهایی سنگ‌هاست و نقش مهمی در تفسیر خاستگاه و سیر تحول ماگمایی این واحدهای سنگی بازی می‌کند (Sun and McDonough, 1989).

## بحث

ماگماهای کالک‌آلکانل عموماً در پهنه‌های فرورانش و کمان‌های آتشفشانی پدید می‌آیند و ویژگی اصلی آنها محتوای کمابیش بالای SiO<sub>2</sub> همراه با مقادیر متوسط Na<sub>2</sub>O و K<sub>2</sub>O است. این ماگماها در روند تکاملی خود، کاهش آهن را نشان می‌دهند و نسبت Fe/Mg آنها کم است (Irvine and Baragar, 1971). از دیدگاه کانی‌شناسی، حضور پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت شاخص است و در ترکیب‌های اسیدی تر کوارتز و پتاسیم‌فلدسپار فراوان دیده می‌شود (Gill, 1981). این سری ماگمایی به‌طور گسترده با پهنه‌های فرورانش اقیانوس-قاره و اقیانوس-اقیانوس ارتباط دارد و معمولاً با سامانه‌های کانه‌زایی پورفیری مس و طلا همراه است (Pearce, 1982; Richards, 2003). تحلیل داده‌های زمین‌شناسی و زمین‌شیمی محدوده تلاهویی نشان می‌دهد این سامانه یک ماگماتیسم کالک‌آلکانل تکامل‌یافته را نمایندگی می‌کند که در چارچوب کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش پوسته اقیانوسی و حاشیه فعال قاره‌ای پدید آمده است (Schandl

سنگ‌های رسوبی - آتشفشانی ائوسن، به‌ویژه توف‌هایی با ترکیب‌های متنوع و نهشته‌های جوان کواترنری هستند. در میان این واحدها، سنگ‌های آتشفشانی مانند آندزیت، ریولیت و داسیت و همچنین توده‌های آذرین درونی شامل گرانیت و گرانودیوریت به‌صورت پراکنده و با گسترش بسیار اندک حضور دارند. این موضوع نشان می‌دهد بخش بزرگی از ساختارهای سنگی محدوده متشکل از واحدهای آذرآواری هستند و سنگ‌های آذرین درونی و آتشفشانی، تنها نقش حاشیه‌ای در چارچوب زمین‌ساختی محدوده بازی کرده‌اند. فعالیت‌های گرمایی گسترده در این کانسار، به پیدایش و توسعه انواع دگرسانی‌های شاخص مانند آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، پروپیلیتیک و سیلیسی‌شدن انجامیده است. بیشتر این دگرسانی‌ها در واحدهای آذرآواری رخ داده‌اند که سنگ میزبان اصلی کانه‌زایی هستند و از دیدگاه ساختاری، روندی کلی در راستای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری را دنبال می‌کنند. چنین الگویی نشان‌دهنده کنترل ساختاری فرایندهای گرمایی و ارتباط مستقیم آنها با گسل‌ها و شکستگی‌های محدوده است که به‌عنوان مسیرهای اصلی صعود محلول‌های کانه‌دار رفتار کرده‌اند. از دیدگاه زمین‌شیمیایی، سنگ‌های محدوده تلاهویی ویژگی‌های درخور بررسی دارند که نقش مهمی در تفسیر محیط زمین‌ساختی کانسار بازی می‌کنند. تحلیل عنصرهای اصلی نشان می‌دهد تکامل ماگما از ترکیب بازیک (دولریت) به حد واسط (آندزیت و داسیت) و در پایان اسیدی (گرانیت و ریولیت) تحت تأثیر تبلور بخشی کانی‌های فرومینیزین و پلاژیوکلاز و تا اندازه‌ای آلیش پوسته‌ای محدود رخ داده است. روند تغییر  $\text{MgO}$ ،  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ،  $\text{CaO}$ ،  $\text{TiO}_2$  و  $\text{P}_2\text{O}_5$  با افزایش  $\text{SiO}_2$ ، نقش فرایندهای تکاملی ماگما و تمرکز عنصرهای اصلی را در کنترل ترکیب نهایی سنگ‌ها نشان می‌دهد. تحلیل عنصرهای خاکی کمیاب نیز نشان داد همه واحدهای سنگی از منبع گوشته‌ای غنی شده با LREE خاستگاه گرفته‌اند و همانگونه که یافته‌های پیشین نشان داده‌اند (Sun and McDonough, 1989)، تداوم تهی‌شدگی نسبی HREE و آنومالی منفی Eu در سنگ‌های اسیدی‌تر، نقش تبلور بخشی پلاژیوکلاز و مراحل پیشرفته تکامل ماگما را نشان می‌دهد. در

نزدیک به هم، نشان‌دهنده خویشاوندی زایشی و خاستگاه ماگمایی مشترک است. در سنگ‌های اسیدی‌تر (گرانیت، گرانودیوریت و ریولیت)، تشدید آنومالی منفی  $\text{Eu}^{2+}$  نشان‌دهنده نقش تعیین‌کننده تبلور بخشی پلاژیوکلاز در حذف  $\text{Eu}^{2+}$  از مذاب است؛ اما غنی‌شدگی اندک Tm چه‌بسا پیامد کنترل فازهای سنگین‌تر REE در مراحل پایانی تبلور است. این الگوهای REE به‌صورت مستقیم با سازوکارهای تبلور بخشی، آلیش پوسته‌ای محدود و تبلور کانی‌های کنترل‌کننده REE مرتبط هستند. افزون‌بر آن، غنی‌شدگی LREE و تهی‌شدگی نسبی HREE، در کنار آنومالی  $\text{Eu}^{2+}$ ، یک سیر تحول ماگمایی مشخص از بازیک به اسیدی را نشان می‌دهد که برای درک خاستگاه و شرایط تکاملی ماگما و تحلیل کانه‌زایی اهمیت دارد.

سیر تکاملی ماگمایی و ویژگی‌های زمین‌شیمیایی عنصرهای اصلی و REE، زمینه خوبی را برای پیدایش سامانه‌های گرمایی و کانه‌زایی رگه‌ای چندفلزی فراهم کرده است. تمرکز کانه‌زایی Cu-Pb-Zn-Ag در واحدهای توف و آندزیت، همراه با گسترش دگرسانی‌های آرژیلیک و سیلیسی، نشان‌دهنده نفوذ سیالات گرمایی غنی از فلزات و سیلیس در طول مسیر زمین‌ساختی است. ساختارهای راستالغز راستگرد، مسیرهای اصلی صعود و تمرکز سیالات را کنترل کرده‌اند و الگوی عمقی کانه‌زایی (سولفیدی در ژرفا، اکسیدی در سطح) بازتاب تکامل شیمیایی سیالات گرمایی و تأثیر دگرسانی - هوازدگی است. در مجموع، شواهد زمین‌شیمی، دگرسانی و کانه‌زایی نشان می‌دهد محدوده تلاهویی نمونه‌ای از یک سامانه ماگمایی - گرمایی تکامل‌یافته با کنترل ساختاری و لیتولوژیک است که ترکیب زمین‌شیمیایی دقیق عنصرهای اصلی و REE در آن، نقش کلیدی در درک خاستگاه ماگما، مسیر تکاملی و تمرکز عنصرهای فلزی دارد و راهبرد علمی محکمی را برای اکتشافات معدنی آینده ارائه می‌دهد.

## برداشت

بر پایه نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، واحدهای سنگی برون‌زدیافته در محدوده کانسار چندفلزی تلاهویی بیشتر شامل

پایان، داده‌های زمین‌شیمیایی و کانه‌زایی نشان می‌دهند  
تکامل یافته است که می‌تواند هدف خوبی برای اکتشافات  
معدنی آینده، به‌ویژه کانسارهای رگه‌ای چندفلزی باشد.  
محدوده تلاهویییه یک سامانه ماگمایی- گرمایی فعال و

## References

- Alavi, M. (1991) Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 983-992.
- Alavi, M. (1994) Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations. *Tectonophysics*, 229, 211-38. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(94)90030-2)
- Alavi, M. (2007) Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, 307(9), 1064-1095. <https://www.doi.org/10.2475/09.2007.02>
- Ayati, F., Yavuz, F., Asadi, H.H., Richards, J.P., and Jourdan, F. (2013) Petrology and geochemistry of calc-alkaline volcanic and subvolcanic rocks, Dalli porphyry copper-gold deposit, Markazi Province, Iran. *International Geology Review*, 55(2), 158-184. <https://doi.org/10.1080/00206814.2012.689640>
- Berberian, M., and King, G.C.P. (1981) Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210-265. <https://doi.org/10.1139/e81-019>
- Carn, S.A., and Pyle, D.M. (2001) Petrology and geochemistry of the Lamongan volcanic field, East Java, Indonesia: Primitive Sunda arc magmas in an extensional tectonic setting? *Journal of Petrology*, 42 (9), 1643-1683. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.9.1643>
- Fisher, R.V., and Schmincke, H.U. (1984) *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag.
- Gill, J.B. (1981) *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. 390 p. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, and New York. <https://doi.org/10.1180/minmag.1982.046.339.22>
- 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>
- Irvine, T.N., and Baragar, W.R.A. (1971) A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8, 523-548.
- McInnes, B.I.A., Evans, N.J., Belousova, E., and Griffin, W.L. (2003) Porphyry copper deposits of the Kerman belt, Iran: Timing of mineralization and exhumation processes. *Science Research Report*, Australia. CSIRO, 41.
- Middlemost, E.A.K. (1994) Naming material in the magma - igneous rock system. *Earth-Science Reviews*, 37 (3-4), 215-224. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(94\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(94)90029-9)
- Morata, D., and Aguirre, L. (2003) Extensional Lower Cretaceous volcanism in the Coastal Range (29°20'-30° S), Chile: Geochemistry and petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, 16 (6), 459-476. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2003.06.001>
- Pearce, J.A. (1982) Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries. *Orogenic andesites and related rocks*, 528-548.
- Peccerillo, A., and Taylor, S.R. (1976) Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 58, 63-81.
- Prabhakar, B.C., Jayananda, M., Shareef, M., and Kano, T. (2009) Petrology and geochemistry of late Archaean granitoids in the northern part of Eastern Dharwar Craton, southern India: Implications for transitional geodynamic setting. *Journal of the Geological Society of India*, 74, 299-317. <https://doi.org/10.1007/s12594-009-0137-2>
- Raeesi, D., Zhao, M., Babazadeh, S., Long, L.E., Hajsadeghi, S., and Modabberi, S. (2021) Synthesis on productive, sub-productive and barren intrusions in the Urumieh-Dokhtar magmatic arc, Iran,

- constraints on geochronology and geochemistry. *Ore Geology Reviews*, 132, 103997. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.103997>
- Richards, J.P. (2003) Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu-(Mo-Au) deposit formation. *Economic Geology*, 98(8), 1515-1533. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.98.8.1515>
- Schandl, E.S. and Gorton, M.P. (2002) Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments. *Economic Geology*, 97(3), 629-642.
- Shafiei, B., Haschke, M., and Shahabpour, J. (2009) Recycling of orogenic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran. *Mineralium Deposita*, 44(3), 265-283. <https://doi.org/10.1007/s00126-008-0216-0>
- Shahabpour, J., and Kramers, J.D. (1987) Lead isotope data from the Sar Cheshmeh porphyry copper deposit, Kerman, Iran. *Mineralim Deposita*, 22, 278-281.
- Sillitoe, R.H. (2010) Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3>
- Stöcklin, 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, S.S., and McDonough, W.F. (1989) Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. Geological Society, London, Special Publications, 42 (1), 313-345. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1989.042.01.19>
- Warr, L.N. (2021) IMA-CNMNC Approved Mineral Symbols. *Mineralogical Magazine*, 85, 291-320. <https://doi.org/10.1180/mgm.2021.43>
- Wilson, M. (1989) *Igneous Petrogenesis, a Global Tectonic Approach*, 466 p. 2<sup>nd</sup> Edition, Unwin-Hyman, London. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6788-4>
- Winter, J.D. (2010) *Principles of igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Pearson Education
- Yousefi, S.J., Ranjbar, H., Alirezaei, S., and Dargahi, S. (2018) Discrimination of sericite phyllic and quartz-rich phyllic alterations by using a combination of ASTER TIR and SWIR data to explore porphyry Cu deposits hosted by granitoids, Kerman copper belt, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(5), 717-727. <https://doi.org/10.1007/s12524-017-0745-z>