



Research Article

Geochemical explorations and introduction of stratabound copper in Yeylagh Samanloo area, west of Sabalan, NW Iran

Hadi Mohammadian^{*1} , Vartan Simmonds¹, Kamal Siahcheshm¹

1-Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 26 May 2023 Accepted: 11 Jan 2025

Extended Abstract

Introduction

The Yeilaq Samanloo area is located 19 km southwest of Meshginshahr and 22 km west of Sabalan in the West Alborz-Azarbaijan structural zone. Cenozoic igneous-pyroclastic rocks cover more than 95% of the area. The Eocene units are mainly composed of volcanic rocks, including andesite, trachy-andesite to trachy-basalt, tuff and shale layers. A granitoid intrusive body (granodiorite, monzonite, quartz monzonite) with Upper Oligocene age intruded the Eocene volcanic rocks and produced chlorite and epidote alteration in them, especially in the contact zone. A number of silica veins containing pyrite and chalcopyrite cross-cut both the granodiorite body and Eocene volcanic rocks, which host gold and copper mineralization. The youngest unit includes Sabalan lavas of trachy-andesite, basaltic andesite and andesite with Quaternary age, which have flowed unconformably on the Eocene volcanic rocks.

Materials and Methods

In this research, 65 samples were taken from stream sediments for geochemical studies. In order to check the anomalies revealed from stream sediment studies, 30 rock samples were taken for litho-geochemical studies and 10 petrological samples from the igneous rocks and were analyzed by XRF and ICP-MS (petrological samples), ICP-OES (geochemical samples of stream sediments) and Fire Assay (for gold) at Zarazma lab.

Results and Discussion

Based on the petrological diagrams, the volcanic rocks of the region mainly have andesitic to andesi-basaltic composition, high potassium calc-alkaline and shoshonitic nature, and meta-aluminous to per-aluminous affinity. The tectonic setting of these rocks is an active continental margin, and their trace and RE elements pattern is similar to the subduction-related rocks. Remote sensing and field studies show that the distribution of various alteration zones is not extensive. The chlorite-epidote (propylitic) alteration zone is the most widespread zone, mainly observed in the northeast and southeast of the area. Argillic and sericitic alterations are present in the central and southwestern parts, and the distribution of alunite-pyrophyllite alteration is scattered and very limited. Stream-sediment geochemical studies and litho-geochemical investigations upstream the observed anomalies led to the introduction of several Cu-Ag and precious and base metal mineralization areas for the first time in this region.

Citation: Mohammadian, H., Simmonds, V. and Siahcheshm, K., 2025. Geochemical explorations and introduction of stratabound copper, *Res. Earth. Sci.* 16(1), (169-188) DOI: 10.48308/esrj.2025.105350

* Corresponding author E-mail address: H.mohmmadian@tabrizu.ac.ir



Coincidence of geochemical anomalies with alteration zones shows that Cu anomalies are mostly associated with argillic and sericitic. The association of Au with argillic and sericitic alteration zones in the south of the area is noteworthy. But Ag mineralization is associated only with propylitic and to some extent, argillic alteration. Microscopic studies of rock samples showed that the Cu-Ag mineralization in the Samanloo area is stratabound, being associated with andesitic units of the Upper Eocene and includes pyrite, chalcopyrite, bornite, malachite, azurite, chalcocite, native copper and to a lesser extent, covellite, which occur as disseminations, open space fillings and replacements, especially within the mega-porphyrific andesite unit. In the rock samples of this area, the highest anomalies of elements are: Cu (67800 ppm), Ag (18 ppm) and Au (1088 ppb). Based on the obtained statistical correlations, the anomalous elements were divided into three groups: (1) Cu-Ag, (2) As-Sb-S-Au and (3) Pb-Zn-Fe, which are attributed to three genetic-lithologic groups. The first group is related to the granitoid body, especially the halo around it. The second group is directly related to pyroclastic units and Eocene lavas, especially mega-porphyrific andesites and chlorite-argillic alteration zone within it. The third group can be attributed to the silicic veins/veinlets of the Neogene tectono-magmatic activities and the infiltration of hydrothermal fluids into fractures; Au displays more considerable anomaly among the elements of this group.

Conclusion

Based on the characteristics of mineralization, including host rocks, stratabound nature, mineralogy, metal content and alteration, it can be concluded that the mineralization at Yeilagh Samanloo area is of Manto-type copper deposits. According to the structure, texture and mineralogy of the mega-porphyrific andesite unit, two phases can be considered for the hypogene mineralization at the Samanloo area: primary diagenetic stage and burial stage. Early diagenetic processes led to the formation of pyrite within the porphyritic andesite unit, which is the host of mineralization, and as a result, reducing conditions have appeared in this unit. In the next stage, under the influence of the burial process, oxidant saline fluids have migrated and washed Cu from the underlying Cu-rich volcanic units (trachy-andesite, tuff with shale layers) and deposited it in the reducing mega-porphyrific andesites.

Keywords: Manto-type, Stratabound copper, Stream sediment exploration, Volcano-sedimentary sequence, Yeilagh Samanloo.



اکتشافات ژئوشیمیایی و معرفی مس چینه کران در ییلاق سامانلو غرب سبلان، شمال غرب ایران

هادی محمدیان*¹، وارطان سیمونز¹، کمال سیاه چشم¹

۱- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(پژوهشی) دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۵ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۲۲

چکیده گسترده

مقدمه

منطقه ییلاق سامانلو در ۱۹ کیلومتری جنوب غرب مشگین شهر و ۲۲ کیلومتری غرب سبلان در زون ساختاری البرز غربی-آذربایجان واقع شده است. سنگ‌های آذرین-آذرآواری سنوزوئیک بیش از ۹۵ درصد مساحت محدوده را فرا گرفته‌اند. واحدهای ائوسن عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکی آندزیت تا تراکی بازالت و لابه‌های توف و شیل تشکیل شده‌اند. در شمال غرب محدوده مطالعاتی، توده نفوذی گرانیتوئیدی (گرانودیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزونیت) به سن الیگوسن بالایی به داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و باعث دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در آنها بویژه در زون تماس شده است. تعدادی رگه‌های سیلیسی حاوی پیریت و کالکوپیریت، هم توده گرانودیوریتی و هم سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع نموده که میزبان کانی‌سازی طلا و مس می‌باشند. جوانترین واحد، گدازه‌های سبلان با ترکیب تراکی آندزیتی، آندزی بازالتی و آندزیتی به سن کواترنری هستند که بطور ناهمسان بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جریان یافته‌اند.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای مطالعات ژئوشیمیایی تعداد ۶۵ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای برداشته شد. برای چک کردن آنومالی‌های حاصل از مطالعات رسوب آبراهه‌ای، ۳۰ نمونه سنگی جهت تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب برای مطالعات لیتوژئوشیمی و ۱۰ نمونه برای پترولوژی واحدهای خروجی منطقه تهیه شد و در آزمایشگاه زرازا با روش XRF و ICP-MS (نمونه‌های پترولوژی)، ICP-OES (نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای) و Fire Assay (برای طلا) مورد تجزیه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

بر اساس نمودارهای پترولوژیکی، سنگ‌های آتشفشانی منطقه عمدتاً ترکیب آندزیتی- آندزی بازالتی، سرشت کالک آلکالن با پتاسیم بالا و شوشونیتی و ماهیت متآلومینوس تا پرآلومینوس دارند. محیط تکتونیکی این سنگ‌ها، حاشیه فعال قاره‌ای است و الگوی عناصر کمیاب آنها، مشابه ویژگی‌های سنگ‌های وابسته به فرورانش است. مطالعات دورسنجی و صحرایی نشان می‌دهند که گسترش انواع زون‌های دگرسانی وسیع نمی‌باشد. زون دگرسانی کلریتی- اپیدوتی (پروپیلیتیک) بیشترین گسترش را داشته و عمدتاً در شمال شرق تا جنوب شرق محدوده مشاهده می‌شود. دگرسانی آرژیلیک و سربستی در مرکز محدوده و جنوب غرب آن گسترش دارند و گسترش کانی‌های دگرسانی آلونیت- پیروفیلیت پراکنده و بسیار محدود می‌باشد.

استناد: محمدیان، ه.، سیمونز، و. و سیاه چشم، ک.، ۱۴۰۴. اکتشافات ژئوشیمیایی و معرفی مس چینه کران در ییلاق سامانلو غرب سبلان، پژوهشهای دانش زمین: ۱۶(۱)، (۱۸۸-۱۶۹). DOI: 10.48308/esrj.2025.105350

E-mail: H.mohmmadian@tabrizu.ac.ir

* نویسنده مسئول:



مطالعات ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای و مطالعات لیتوژئوشیمیایی از بالادست آنومالی‌ها منجر به معرفی چند محدوده کانه‌زایی مس-نقره و فلزات قیمتی و پایه برای اولین بار در این منطقه شد. انطباق آنومالی‌های ژئوشیمیایی با زون‌های دگرسانی نشان می‌دهد که آنومالی‌های مس تا حدودی زیادی همراه با دگرسانی‌های آرژیلیک و سربستی و کمتر با دگرسانی پروپیلیتیک هستند. همراهی طلا با زون‌های دگرسانی آرژیلیک و سربستی در جنوب محدوده دارای اهمیت می‌باشد. اما کانی‌سازی نقره تنها با دگرسانی پروپیلیتیک و تا حدودی آرژیلیک همراه است. مطالعات میکروسکوپی نمونه‌های سنگی نشان داد که کانه‌زایی مس-نقره در منطقه سامانلو چینه‌کران بوده و با واحدهای آندزیتی ائوسن به ویژه ائوسن بالایی همراه است و شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت، مس خالص و به مقدار کمتر کوولیت می‌باشد که به شکل پراکنده و پراکنده فضای خالی و جانشینی عمدتاً در متن سنگ آندزیت مگاپورفیری تشکیل شده‌اند. در نمونه‌های سنگی این منطقه حداکثر آنومالی مس (۶۷۸۰۰ ppm)، نقره (۱۸ ppm) و طلا (۱۰۸۸ ppb) می‌باشد. بر پایه همبستگی‌های آماری به دست آمده عناصر ناهنجار به سه گروه (۱) Cu-Ag، (۲) As-Sb-S-Au و (۳) Pb-Zn-Fe تقسیم بندی شدند که به سه گروه زایشی-لیتولوژیکی در منطقه نسبت داده می‌شوند. گروه اول در ارتباط با توده گرانیتوئیدی به ویژه هاله پیرامون این واحد است. گروه دوم عناصر ارتباط مستقیمی با واحدهای آذرآواری و گدازه‌های ائوسن به ویژه آندزیت‌های مگاپورفیری و دگرسانی کلریتی-آرژیلیک درون این واحد دارد. گروه سوم را نیز می‌توان مربوط به رگه/رگچه‌های سیلیسی دوره پویایی تکتونوماگمایی نئوژن و نفوذ سیالات گرمایی در محل شکستگی‌ها دانست که در این گروه طلا دارای آنومالی قابل توجه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

بر اساس ویژگی‌های کانی‌سازی، از جمله سنگ‌های دربرگیرنده، حالت چینه‌کران، کانی‌شناسی، محتوای فلزی و دگرسانی می‌توان گفت که کانی‌سازی منطقه بیلاق سامانلو از نوع کانسارهای مس تیپ مانتو می‌باشد. با توجه به ساخت، بافت و کانی‌شناسی در واحد آندزیت مگاپورفیری می‌توان دو فاز برای رخدادهای کانه‌زایی هیپوژن (مرحله دیاژنز اولیه و محله تدفین) در منطقه سامانلو در نظر گرفت. فرایندهای دیاژنز اولیه موجب تشکیل پیریت در زمینه واحد آندزیت پورفیری میزبان کانه‌زایی و در نتیجه پیدایش شرایط احیایی در این واحد سنگی شده است. در مرحله بعدی تحت تأثیر فرایند تدفین سیالات شور اکسیدان تحرک پیدا کرده‌اند. این سیال‌ها مس را از واحدهای آتشفشانی غنی از مس زیرین (تراکی آندزیت، توف همراه با لایه‌های شیل) شسته و در واحد آندزیت مگاپورفیری دارای شرایط احیایی ته‌نشست داده‌اند.

واژگان کلیدی: اکتشافات رسوب آبراهه‌ای، آندزیت مگاپورفیری، تیپ مانتو، مس، بیلاق سامانلو.

مقدمه

است (Coop, 1973). ترتیب به کارگیری روش‌های مختلف ژئوشیمیایی برای کشف این نوع کانسارها عبارتند از کشف هاله‌های ثانویه از راه بررسی حوضه‌های آبریز و نمونه برداری از رسوبات آبراهه‌ای و پس از آن نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از سنگ درونگیر هاله‌ها (Geoffroy et al, 1985). برگر و همکاران (Berger et al, 2008) به وجود الگوی پراکندگی ژئوشیمیایی و منطقه‌بندی عناصر در بسیاری از کانسارها از جمله کانسارهای پورفیری، اسکارن و کانسارهای رگه‌ای فلزات اشاره کرده‌اند. با توجه به وجود تیپ‌های مختلف کانه‌زایی از جمله پورفیری و ایپی‌ترمال در منطقه مشگین‌شهر و به‌منظور ردیابی و کشف اندیس‌های احتمالی بیشتر، نخستین گام اکتشافی سیستماتیک در این منطقه که شامل اکتشافات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای در

محدوده اکتشافی بیلاق سامانلو در ورقه ژئوشیمیایی ۱:۱۰۰,۰۰۰ مشگین‌شهر و با فاصله هوایی ۱۹ کیلومتری جنوب غرب این شهرستان و ۲۲ کیلومتری غرب کوه ساوالان (سبلان) واقع شده است. این منطقه جزئی از ناحیه فلززایی آذربایجان می‌باشد و در زون ساختاری البرز غربی-آذربایجان واقع شده است (شکل ۱). واحدهای سنگی منطقه شامل واحدهای ائوسن (آندزیت مگاپورفیری، تراکی آندزیت با میان لایه‌های توف و شیل، جریان‌های گدازه‌ای مافیک)، توده نفوذی الیگوسن (گرانودیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزونیت) و واحدهای کواترنری (آندزیت-بازالت و گدازه‌های آندزیتی) می‌باشند. روش ژئوشیمیایی یکی روش‌های موفق اکتشافی برای کشف کانسارهای فلزی

متفاوتی از پرمین تا کواترنری برونزد دارند (Amini, 1994) که در این بین، سنگ‌های آذرین- آذرآواری سنوزوئیک بیش از ۹۵ درصد مساحت نقشه را فرا گرفته‌اند که آنها را می‌توان در سه بخش واحدهای ائوسن، واحدهای الیگوسن و واحدهای کواترنری تقسیم‌بندی کرد (شکل ۱). واحدهای ائوسن عمدتاً از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت، تراکی‌آندزیت تا تراکی‌بازالت و لایه‌های توف و شیل (با ضخامت کم) و گدازه‌های آندزیت مگاپورفیری تشکیل شده‌اند (واحدهای E^{P4} و E^{th} نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشگین‌شهر) (Amini, 1994) که در برخی نقاط ایران همانند معادن عباس‌آباد و کوه پلنگ سمنان (Rajabpour et al, 2016) با کانی‌سازی مس نوع مانتو همراهند (شکل ۲). در طی الیگوسن در شمال‌غرب محدوده مطالعاتی، توده نفوذی گرانودیوریت/ مونزونیت/ کوارتز مونزونیت به سن الیگوسن بالایی به داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن نفوذ کرده و باعث دگرسانی کلریتی و اپیدوتی در آنها بویژه در زون تماس با توده شده است. تعدادی رگه‌های سیلیسی حاوی پیریت و کالکوپیریت، هم توده گرانودیوریتی و هم سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع نموده که میزبان کانی‌سازی طلا و مس بوده که احتمالاً وابسته به فعالیت‌های گرمایی درجه حرارت پایین تا متوسط توده مذکور می‌باشند. در حاشیه شرقی و جنوب شرق محدوده مورد مطالعه گدازه‌های جوان ساوالان با ترکیب تراکی‌آندزیتی، آندزی‌بازالتی و آندزیتی به سن کواترنری بطور ناهمسان بر روی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن جریان یافته‌اند که نشان‌دهنده آخرین فعالیت‌های ماگمایی در محدوده مطالعاتی می‌باشند (Babakhani, 2008).

نتایج

سنگ‌نگاری

واحدهای ائوسن: سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و رسوبی ائوسن در مرکز و غرب منطقه گسترش دارند و ترکیب آنها شامل آندزیت‌های پورفیری آنالسیم‌دار، تراکی‌آندزیت تا تراکی‌بازالت همراه با با توف و واحد آندزیت مگاپورفیری می‌باشد. ضخامت این واحدها به صدها متر می‌رسد و می‌توان در سه دسته از هم تفکیک کرد:

ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ مشگین‌شهر است، توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۱ انجام شده است و در ادامه و با توجه به نتایج امید بخش بررسی یاد شده، بخش وسیعی از محدوده جنوب مشگین‌شهر و شمال سراب تحت پوشش اکتشافات ژئوشیمیایی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ (Maghsoodi et al, 2003, 2010) قرار گرفته است. مطالعات پهنه مشگین‌شهر (پهنه ساوالان- قره‌سو) طی سال‌های ۱۳۹۵-۱۳۹۸ توسط شرکت ممرادکو (به سرپرستی نگارنده) آخرین مطالعه گسترده در این منطقه می‌باشد که پژوهش حاضر بر پایه یافته‌های این مطالعات می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای مطالعات ژئوشیمیایی در منطقه ییلاق سامانلو به وسعت ۲۰ کیلومتر مربع پس از تبدیل داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از مطالعات ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی به لایه اطلاعاتی ژئوشیمیایی، اقدام به دورسنجی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نقشه دگرسانی و استخراج آبراهه‌های منطقه گردید. سپس نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۵۰۰۰ تهیه شد. تعداد ۶۵ نمونه از رسوبات آبراهه‌ای با الک ۸۰- مش و از نقاطی که از قبل بر روی آبراهه‌ها طراحی شده بود، برداشته شد. برای مطالعات لیتولوژی، دگرسانی و کانه‌زایی ۴۰ مقطع نازک و ۱۴ مقطع نازک- صیقلی، ۱۰ نمونه XRD از واحدهای سنگی منطقه تهیه گردید. برای چک کردن آنومالی‌های حاصل از مطالعات رسوب آبراهه‌ای، ۳۰ نمونه سنگی جهت تجزیه عناصر اصلی، فرعی و کمیاب برای مطالعات لیتوژئوشیمی و ۱۰ نمونه برای پترولوژی واحدهای خروجی منطقه تهیه شد و در آزمایشگاه زرازا (زنجان) به روش XRF و ICP-MS (نمونه‌های پترولوژی)، ICP-OES (نمونه‌های ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای) و مقدار طلا به روش Fire Assay مورد تجزیه و اندازه‌گیری قرار گرفتند.

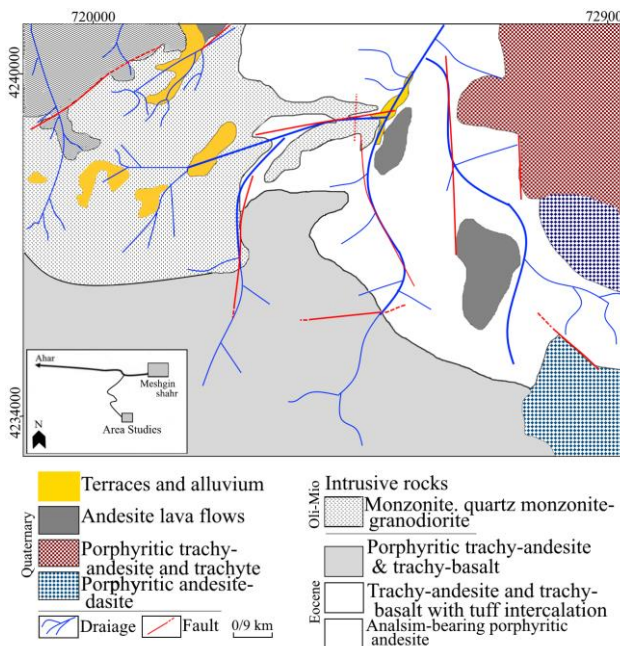
منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی

ورقه مشگین‌شهر از لحاظ تقسیم‌بندی پهنه‌های رسوبی - ساختاری ایران در پهنه البرز- آذربایجان و بخش غربی کوه آتشفشان جوان ساوالان قرار دارد. در این ورقه واحدهای

میکروسکوپی، کانی‌های درشت بلور در این واحد شامل پیروکسن، پلاژیوکلاز و گاه آنالسیم می‌باشند. این کانی‌ها آثار تجزیه به کانی‌های رسی و سریسیت و گاهاً پرشدگی با کانی‌های کدر را نشان می‌دهند. در نمونه‌های دگرسان شده اپیدوت ریز بلور فراوانترین کانی هستند. کانی‌های فرعی به شکل مجموعه‌های ریز و گاه متوسط بلور کوارتز، کمی کلریت و کانی‌های کدر اکسید آهن مشاهده می‌شوند (شکل ۳ الف).

آندزیت، آندزی‌بازالت آنالسیم‌دار: این واحد به سن ائوسن پایینی در مرکز تا جنوب شرق منطقه مورد مطالعه گسترش دارد. سنگ‌های این گروه بیشتر بافت پورفیری با خمیره میکرولیتی دارند که در برخی مقاطع نازک تجمع خوشه‌ای درشت بلورهای پیروکسن سبب ایجاد بافت گلومروپورفیری شده است. در رخنمون‌های صحرایی، این سنگ‌ها اغلب در مجاورت توده نفوذی گرانیتوئیدی الیگوسن، اپیدوتی و کربناتی شده‌اند به طوری که می‌توان برخی از آنها را متاولکانیک نامید (شکل ۲ الف). بر اساس مطالعات



شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه ییلاق سامانلو در غرب ساوالان با نمایش راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه و واحدهای سنگی.

Fig. 1: Geological map of the Yeylagh Samanloo area in the west of Sabalan, showing the access road to the study area and rock units.

اندازه تا ۵mm) (۱۰-۱۵ درصد) (ترکیب متوسط تا کلسیک) بصورت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار با ماکل و زونینگ بوده و در برخی از آنها ادخال‌های ریزبلور کانی کدر مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازها بر اثر دگرسانی، سریسیتی و کلریتی شده و کلسیت جانشین بخش‌هایی از آنها شده است. کلینوپیروکسن (اوژیت) (۱۰-۱۵ درصد) بصورت بلورهای منشوری و گاه تجمعات گلومروپورفیری بوده و در آنها تجزیه به کربنات و بمقدار کمتر سرپانتین رخ داده است. واحد توفی (ویتریک توف/ کریستال توف) این مجموعه از کانی‌های ریز بلور کوارتز، پلاژیوکلاز و اکسیدهای آهن تشکیل شده است که در زمینه شیشه‌ای یا بسیار ریز بلور قرار دارند (شکل ۳ پ).

واحد تراکی‌آندزیت، تراکی‌بازالت با میان‌لایه‌های توف: این واحد با رنگ تیره در شمال غرب منطقه گسترش دارد و شامل ردیف‌های از جریان‌های گدازه تراکی‌آندزیتی، گدازه‌های برشی، رسوبات شیلی تا توفی است (شکل ۲ الف). ضخامت این واحد ده‌ها متر است (شکل ۳ چ) و در مجاورت با توده نفوذی منطقه بر اثر محلول‌های گرمایی آرژیلیکی شده است. در برخی نمونه‌های دستی درشت بلورهای آنالسیم (تا ۱۰ درصد) و اولیوین (۵-۱۰ درصد) نیز به چشم می‌خورد. در مطالعات میکروسکوپی بافت سنگ‌ها میکرولیتی پورفیری تا مگا پورفیری است و درشت بلورهای آن از نوع پلاژیوکلاز (آندزین - لابرادوریت) و اوژیت است (شکل ۳ ب). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز (با

گرانودیوریت، مونزونیت و کوارتز مونزونیت دیده می‌شود. این سنگ‌ها با رنگ عمومی خاکستری متمایل به زرد مشخص بوده و توالی‌های مجاور به سن ائوسن را قطع کرده (شکل ۲ ب) و باعث دگرگونی مجاورتی و با ضخامت کم (۱۰ الی ۳۰ سانتی‌متر) در آنها شده‌اند. در محل کنتاکت، توالی‌های ائوسن به هورنفلس و متاولکانیک تبدیل شده‌اند که دارای کانه‌زایی (مالاکیت) نیز می‌باشند (شکل ۳ ث). نتایج طیف‌سنجی پرتوایکس نشان می‌دهد که کانی‌های ارتوز، میکروکلین، اوژیت، هورنبلد، میکا-ایلیت، هماتیت، کلریت، اپیدوت و اکتینولیت در زون دگرگونی مجاورتی داخل توالی‌های ائوسن حضور دارند (جدول ۱). بر اساس مطالعات میکروسکوپی، سنگ‌های نفوذی دارای بافت گرانولار متشکل از بلورهای نیمه شکل‌دار و در مواردی میکروگرانولار پورفیری و میرمیکیتی است. این سنگ‌ها به ترتیب فراوانی از کانی‌های پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، بیوتیت و گاهاً آمفیبول تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلازها از نوع سدیک، نیمه شکل‌دار و تا حدودی رسی و سریسیتی شده می‌باشند. آلکالی فلدسپارها از نوع ارتوز بوده و بافت پرتیتی دارند و در مواردی دچار دگرسانی رسی شده‌اند. آمفیبول‌ها اغلب از نوع هورنبلند سبز هستند ولی ترمولیت - اکتینولیت به ویژه در زون‌های دگرسانی در آنها یافت می‌شوند. کانی‌های فرعی و ثانویه این واحد شامل اسفن، تورمالین (با فراوانی نسبتاً زیاد در زون‌های دگرسانی)، بیوتیت، کلریت، سریسیت، کلسیت، اپیدوت و آپاتیت می‌باشند (شکل ۳ ج).

از کربنات و کانی‌های کدر (اکسید آهن)، میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و کمی شیشه بازیک تشکیل شده است. کانی‌های رسی، سرپانتین، اکسیدهای آهن و کربنات‌ها نیز جزو کانی‌های ثانویه این واحد هستند.

واحد آندزیت مگاپورفیری: این واحد بر روی واحدهای ائوسن پایینی قرار داشته و در جنوب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه گسترش دارد و شامل ضخامت‌های متفاوتی از آندزیتی با بافت میکروولیتی پورفیری تا مگاپورفیری است که در برخی نقاط دگرسان شده و دارای کانه‌زایی می‌باشد (شکل ۲ الف، ب). مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که پلاژیوکلاز (۴۰-۵۵ درصد)، آلکالی فلدسپار (۲۰-۱۵ درصد)، کوارتز و آمفیبول (۱۰-۵ درصد) فراوانترین کانی‌های سازنده سنگ هستند. پلاژیوکلازها بصورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با اندازه تا ۲ cm، با ماکل آلپیتی و کارلسباد دیده می‌شوند. آلکالی فلدسپار (ارتوز) بصورت بلورهای شکل‌دار مشاهده می‌شود. کوارتز بصورت متوسط تا درشت بلورهای بی‌شکل گاه دارای ادخال‌هایی از کانی‌های کدر است. آمفیبول (هورنبلند) بصورت کانی‌های بی‌شکل و کمی تجزیه شده به کربنات و جایگزین شده با اکسید آهن می‌باشد. بیوتیت‌های سوخته، کانی‌های رسی، کربنات بی‌شکل، اسفن گوه‌ای شکل، آپاتیت و کانی‌های کدر بی‌شکل (احتمالاً اکسید آهن)، کانی رسی و اپیدوت جزو کانی‌های فرعی و ثانویه این واحد سنگی هستند (شکل ۳ ت).

واحدهای الیگوسن: در شمال غرب محدوده مطالعاتی برونزد قابل ملاحظه‌ای از سنگ‌های نفوذی با ترکیب



شکل ۲: تصاویر صحرایی از رخنمون واحدهای ائوسن و الیگوسن در محدوده سامانلو مشگین‌شهر. الف: توالی سه واحد ائوسن به ترتیب سنی. ب: رخنمون واحد آندزیت مگاپورفیری بر روی واحد نفوذی الیگوسن.

Fig. 2: Field images of the outcrops of Eocene and Oligocene units in the Samanloo area, Meshginshahr. a: Sequence of three Eocene units in order of age. b: Outcrop of megaporphyrific andesite unit on Oligocene intrusive unit.

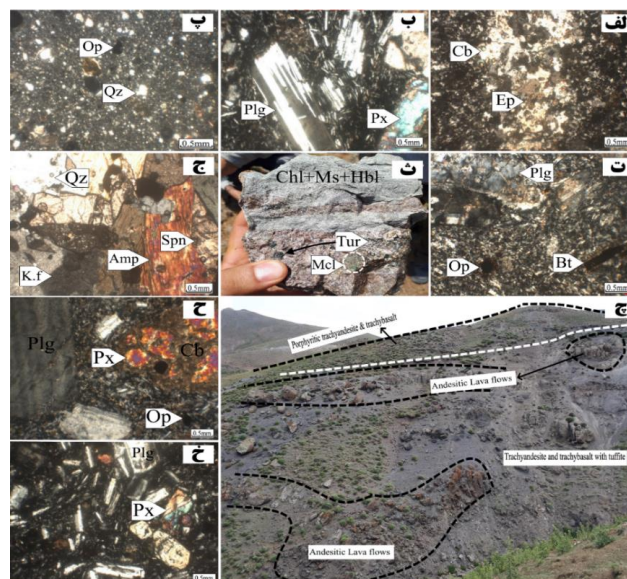
آندزیت‌های پورفیری تقسیم‌بندی کرد. این واحدها دارای بافت میکروولیتی پورفیری بوده و درشت‌بلورهای آنها پلاژیوکلاز (۱۰-۵ درصد)، پیروکسن (۱۵-۵ درصد) و در مواردی اولیوین (۱۰-۵ درصد) در خمیره ریز بلور متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز، شیشه، کوارتز، کربنات و گاه آمفیبول ثانویه، کلریت، کانی‌های رسی و کانی‌های کدر (اکسید آهن) می‌باشد (شکل ۳ ح، خ) (جدول ۱).

واحدهای کواترنری: این واحدها در منطقه مورد مطالعه گسترش زیادی ندارند و شامل جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب تراکی آندزیتی - تراکی بازالتی و فنولیتی به رنگ خاکستری تیره می‌باشند که واحدهای ائوسن را قطع کرده اند یا بر روی آنها مشاهده می‌شوند (شکل ۳ چ). واحدهای آذرین- آذرآواری کواترنری را می‌توان به سه واحد گدازه‌های آندزیتی، دایک و گدازه‌های آندزیتی بازالتی و تراکی

جدول ۱: نتایج آنالیز XRD نمونه‌های سنگی و زون‌های دگرسانی در محدوده مورد مطالعه.

Table 1: XRD analysis results of rock samples and alteration zones from the study area

Sample	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
S-16	Anorthite, Microcline, Augite	Hornblende, Mica – illite, Hematite, Chlorite	
S-14	Anorthite, Chlorite, Quartz, Microcline,	Hornblende, Mica – illite, Hematite, Actinolite, Epidote, Calcite	
S-1	Albite, Quartz, Orthoclase, Illite	Microcline, Chlorite, Hematite	Epidote
S-2	Albite, Quartz	Orthoclase, Hematite Chlorite,	Chlorite
S-3	Albite, Quartz	Orthoclase Chlorite Natrojarosite	Kaolinite
S-4	Quartz, Natroalunite	Muscovite, Goethite, Montmorill, Grossular	
S-5	Albite, Quartz, Orthoclase	Goethite, Jarosite, Tourmaline	Talc
S-6	Anorthite, Albite, Quartz, Augite, Magnetite	Mica – illite	Chlorite, Calcite
S-7	Albite, Kaolinite	Muscovite, Calcite	
S-8	Albite, Quartz, Calcite, Dolomite	Orthoclase, Illite, Hematite, Kaolinite	



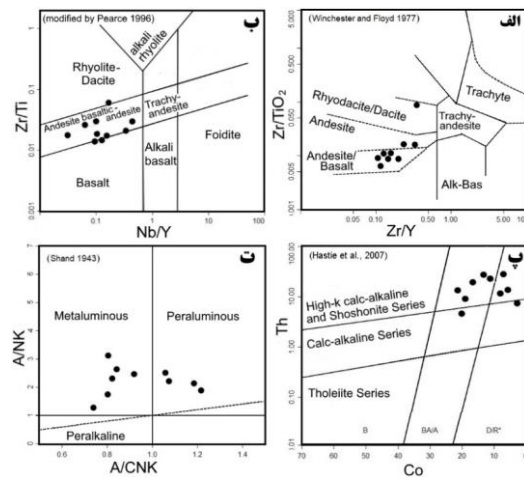
شکل ۳: تصاویر میکروسکوپی (XPL) و صحرایی از واحدهای سنگی. الف: واحد آندزیت آنالسیم‌دار دگرسان. ب: واحد تراکی آندزیت ائوسن با بافت تراکیتی. پ: واحد توف ائوسن. ت: واحد آندزیت مگاپورفیری با بلورهای درشت پلاژیوکلاز کربناتی و رسی شده و بیوتیت سوخته. ث: تشکل هورنبلند، مالاکیت، موسکویت و کلریت ثانویه در هاله مجاورتی و خود توده نفوذی. ج: واحد نفوذی گرانیتوئیدی الیگوسن سامانلو با بافت گرانولار. چ: رخنمون واحد گدازه‌ای کواترنری درون واحدهای ائوسن. ح: پیروکسن‌های کربناتی شده در زمینه ریز بلور در واحد آندزیتی بازالتی کواترنری. خ: گدازه‌های تراکی آندزیتی کواترنری با بافت جریان.

Fig. 3: Microscopic (XPL) and field images of rock units. a: Altered analcime-bearing andesite unit. b: Eocene trachy-andesite unit with trachytic texture. c: Eocene tuff unit. d: Megaporphyritic andesite unit with coarse plagioclase crystals altered to carbonate and clay minerals, and biotite. e: Formation of hornblende, malachite, muscovite and secondary chlorite in the contact halo and the intrusive body itself. f: Oligocene granitoid intrusive unit with granular texture in Samanloo. g: Outcrop of Quaternary lava unit on Eocene units. h: Pyroxenes altered to carbonate in a fine-grained groundmass of the Quaternary andesitic-basaltic unit. i: Quaternary trachyandesitic lavas with flow texture.

پترولوژی و پتروژنز واحدهای آذرین

به منظور شناخت ویژگی‌های ژئوشیمیایی، پترولوژی و جایگاه تکتونوماگمایی سنگ‌های خروجی منطقه، داده‌های ژئوشیمیایی واحدهای سنگی در نمودارهای پترولوژیکی پیاده شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. با توجه به اینکه سنگ‌های آذرین منطقه درجاتی از دگرسانی را متحمل شده‌اند، برای دقت در تعیین نوع سنگ‌ها و سایر ویژگی‌های ژئوشیمیایی از عناصر غیر متحرک استفاده شد. در این راستا، برای تعیین نوع سنگ‌ها از نمودار Zr/TiO_2 - Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977) و نمودار Zr/Ti - Nb/Y (Winchester and Floyd, 1977; modified by Pearce, 1996) که بر اساس عناصر غیرمتحرک استوار هستند، استفاده شد. طبق این نمودارها نمونه‌های آتشفشانی منطقه عمدتاً در محدوده سنگ‌های آندزیتی-آندزیتی بازالتی قرار می‌گیرند (شکل ۴ الف، ب). در نمودار Th/Co (Hastie et al, 2007) نیز بخش اعظم نمونه‌ها در محدوده سنگ‌های آندزیتی/آندزیت کالک آلکالن با پتاسیم بالا و شوشونیتی واقع می‌شوند (شکل ۴ پ). با توجه به نتایج این نمودارها بطور کلی می‌توان گفت که ماگمای مولد این سنگ‌ها دارای سرشت شوشونیتی و کالک آلکالن با پتاسیم بالا بوده و سری شوشونیتی ترم غالب در این منطقه است و همچنین دارای ماهیت متآلومینوس تا پراآلومینوس هستند (شکل ۴ ت). جهت تعیین محیط تکتونیکی این سنگ‌ها، از نمودارهای Zr/Al_2O_3 - TiO_2/Al_2O_3 (Muller and Groves, 1997) و نمودار Th/Ta (Schandle and Gorton, 2002) استفاده شد. در این نمودارها تمامی نمونه‌ها در محدوده قوس‌های ولکانیکی و حاشیه فعال قاره‌ای (active continental margin) واقع می‌شوند (شکل ۵ الف، ب). پیرس و نوری (Pearce and Norry, 1979) معتقدند اگر نسبت Zr/Y در گدازه‌ها بزرگتر از ۳ باشد، متعلق به کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای هستند و اگر نسبت آنها کمتر از ۳ باشد به کمان‌های آتشفشانی اقیانوسی تعلق دارند. در سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه این نسبت در اکثر نمونه‌ها بالاتر از ۴ می‌باشد، بنابراین محیط تکتونوماگمایی منطقه مورد مطالعه را می‌توان جزو محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای به شمار آورد. معین وزیری و احمدی (Moeinvaziri and Ahmadi, 2003) معتقدند که واحدهای پیروکلاستیک، آندزیتی و

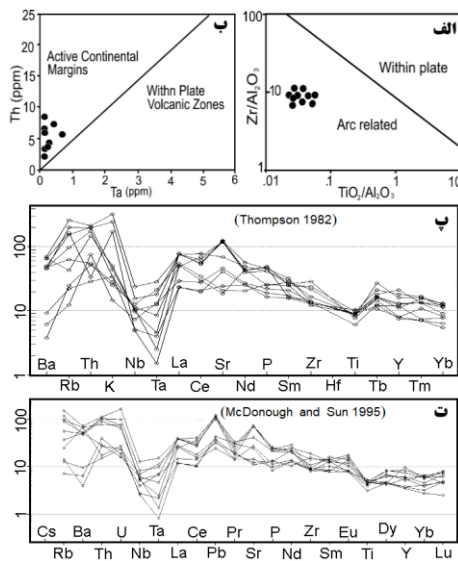
بازالتی به همراه مقادیری از رسوبات می‌تواند نشانگر محیط کشتی (ریفتی) باشد، زیرا بازالت‌ها پس از فرورانش پوسته اقیانوسی و ذوب شدن آن تشکیل شده‌اند. در نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب که نسبت به کندریت بهنجار شده اند (Thompson, 1982)، عناصر Nb, Ta, P و Ti آنومالی منفی و عناصر Rb, K, La, Ce, Zr و Sr آنومالی مثبت نشان می‌دهند (شکل ۵ پ) و در نمودار عنکبوتی عناصر HFSE، REE و LILE که بر اساس کاهش ناسازگاری از چپ به راست مرتب شده و نسبت به گوشته اولیه بهنجار شده‌اند (McDonough and Sun, 1995)، آنومالی مثبت Rb, Ba, Th, Zr و U و نیز آنومالی منفی از عناصر P, Ce, Nb, Ta, Ti و La به چشم می‌خورد (شکل ۵ ت). به اعتقاد ویلسون (Wilson, 1989) غنی‌شدگی Rb, Ba و Th و افت عناصر Nb و Ti در الگوی عناصر کمیاب از ویژگی‌های سنگ‌های وابسته به فرورانش است. کمبود عناصر HFSE نظیر Nb, Ti و Ta در این نوع سنگ‌ها احتمالاً بدلیل باقی ماندن این عناصر در داخل کانی‌هایی نظیر روتیل و اسفن در صفحه در حال فرورانش و در گوه‌های استنوسفری است (Foley et al, 2000; Brenan et al, 1994). آنومالی مثبت برای عناصر U, Pb و آنومالی منفی برای عناصر Nb و Ti از مشخصات توده‌های نفوذی در قوس‌های قاره‌ای محسوب می‌شود (Richards et al, 2001). آنومالی منفی Ti همچنین می‌تواند مربوط به تبلور بخشی اکسیدهای Fe و Ti یا جدایش کانی‌های فرومنیزین حاوی Ti (نظیر اسفن) باشد. دلیل دیگر برای تهی‌شدگی Ti می‌تواند فوگاسیته بالای اکسیژن باشد، چرا که برای ذوب فازهای بلورین Ti دار، زمانیکه فوگاسیته اکسیژن بالا باشد، حرارت‌های بالاتری نیاز هست. لذا این مسئله، یک محدودیت حرارتی برای ترکیب مذاب‌های پتاسیک ناشی از زون‌های فرورانش اعمال کرده و موجب آنومالی منفی Ti در مذاب‌های تولید شده می‌گردد (Edwards et al, 1996). به اعتقاد رولینسون (Rollinson, 1993) آنومالی منفی Nb و تمرکز بالای عناصر متحرک نظیر K می‌تواند به عنوان شاخص نقش پوسته قاره‌ای در تولید یا آرایش ماگماهای اولیه در نظر گرفته شود. تبلور بخشی آپاتیت نیز مسئول آنومالی منفی P بوده است. آنومالی مثبت Zr در برخی نمونه‌ها نیز بخاطر وجود زیرکن یا دخالت پوسته قاره‌ای است.



شکل ۴: نمودارهای مربوط به نامگذاری سنگ‌ها و سری ماگمایی واحدهای خروجی منطقه. الف، ب: ترکیب سنگ‌های موجود در منطقه سامانلو در محدوده آندزیت و آندزیت بازالت قرار می‌گیرد. پ: در نمودار Th/Co نمونه‌های مورد مطالعه جزو سنگ‌های سری شوسونیتی و کالک‌آلکان با پتاسیم بالا قرار می‌گیرند. ت: نمودار A/NK-A/CNK نشان می‌دهد که واحدهای سنگی منطقه دارای ماهیت متآلومینوس تا پآلومینوس هستند.

Fig. 4: Discrimination diagrams for classification and determining the magmatic series of the volcanic rocks of the study area. a, b: The composition of the rocks in the Samanloo area is in the range of andesite and basaltic andesite. c: In the Th/Co diagram, the studied samples plot in the shoshonitic and high-K calc-alkaline series. d: The A/NK-A/CNK diagram showing that rock units of the area are metaluminous to peraluminous in nature.

مطالعات دورسنجی



شکل ۵: تعیین محیط زمین ساختی و نمودارهای عنکبوتی تغییرات عناصر در واحدهای سنگی خروجی. الف: در نمودار Zr/Al_2O_3 - TiO_2/Al_2O_3 (Muller and Groves, 1997)، واحدهای خروجی در محدوده قوس‌های ولکانیکی قرار می‌گیرند. ب: در نمودار Th/Ta (Schandl and Gorton, 2002) تمامی نمونه‌ها در محدوده محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای واقع می‌شوند. پ: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت (Thompson, 1982) برای واحدهای خروجی. ت: نمودار عنکبوتی عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته برای واحدهای خروجی (McDonough and Sun, 1995).

Fig. 5: Tectonic setting and spider diagrams of elemental variations in the volcanic rocks. a: In the Zr/Al_2O_3 - TiO_2/Al_2O_3 diagram (Muller and Groves, 1997), volcanic rocks plot within volcanic arc setting. b: In the Th/Ta diagram (Schandl and Gorton, 2002), all samples fall within the active continental margin setting. c: Chondrite-normalized trace element spider diagram (Thompson, 1982) for volcanic rocks. d: Mantle-normalized trace element spider diagram for volcanic rocks (McDonough and Sun, 1995).

اصلی کانسارهای مس نوع مانتو در سایر کانسارهای مناطق مختلف جهان نیز شامل دگرسانی‌های کلریتی، اپیدوتی، آلیبتی، سیلیسی و کلسیتی است.

اکتشافات ژئوشیمی

بررسی‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراه‌های به عنوان ابزار اکتشافی مؤثر برای اکتشاف کانسارهای دارای هاله گسترده ژئوشیمیایی مثل کانسارهای پورفیری در بیشتر نقاط جهان به کار رفته است (Sinclair, 2007). لرنر (Learned, 1972) نشان داد که هاله‌های عناصر طلا، مس، روی، مولیبدن، منگنز و سرب در رسوب آبراه‌های برای شناسایی کانی‌زایی مس بسیار مفید هستند. هاله‌های این عناصر می‌تواند بیش از ۵ کیلومتر در اطراف کانسارهای مس گسترش یابد. در منطقه مورد مطالعه، بررسی‌های رسوب آبراه‌های در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ انجام شد. در ادامه مطالعات لیتوژئوشیمیایی در محدوده بیهنجاری‌های مورد شناسایی، صورت گرفت. برای طبقه‌بندی و جداسازی متغیرهای ژئوشیمیایی از روش Exploratory Data Analysis (EDA) با استفاده از چارک‌ها و پارامتر IQR استفاده گردید (Hassanipak and Sharafeddin, 2011) (جدول ۲). پارامتر IQR حاصل تفاضل چارک اول از چارک سوم ($IQR = Q3 - Q1$) می‌باشد. این روش وابسته به توزیع داده‌ها نیست و نیازی به نرمال‌سازی داده‌ها ندارد (Hassanipak, 2009; Hassanipak and Sharafeddin, 2011). در این طبقه‌بندی کلاس پنجم به عنوان آنومالی درجه یک و کلاس چهارم به عنوان آنومالی درجه دو مد نظر قرار گرفته است (جدول ۲). نقشه‌های ژئوشیمیایی به دست آمده نشان می‌دهد که مس در ۲۱ نمونه دارای آنومالی درجه یک و ۲ نمونه آنومالی درجه دو می‌باشد (شکل ۶ الف). بیشترین عیار ثبت شده مس در مطالعات لیتوژئوشیمیایی بر روی این بی‌هنجاری‌ها، نشانگر عیار بیش از ۶ درصد می‌باشد. مولیبدن تنها دارای یک نمونه بی‌هنجار درجه یک می‌باشد که حداکثر عیار آن ۷۹/۵ ppm است. لذا کانی‌سازی مولیبدن در منطقه دارای اهمیت نیست (شکل ۶ ب). نقره همانند مس دارای آنومالی قابل توجه می‌باشد. این عنصر دارای عیار تا ۱۸ ppm بوده که تعداد ۱۳ نمونه با عیار بیش از ۲ ppm و ۸ نمونه نیز بین ۱-۲ ppm نقره داشته‌اند. بطور کلی نمونه‌های بی‌هنجار نقره در تمام محدوده پراکنده شده‌اند اما تمرکز بسیار خوبی در بخش جنوبی به همراه

منطقه مورد مطالعه و اطراف آن تقریباً با سه سین داده‌های ماهواره استرو و دو سین لندست ۸ پوشش داده می‌شود. پس از انجام تصحیحات و پردازش‌های لازم بر روی تصاویر ماهواره‌ای از روشهای ترکیب رنگی کاذب و نسبت‌گیری باندی برای تفکیک زون‌های دگرسانی منطقه استفاده شد. در روش تصاویر ترکیب رنگی کاذب انتخاب ترتیب باندها در کانال‌های قرمز، سبز و آبی می‌باشد (Legg, 1992). این مفهوم اساس روش‌های دیگر را تشکیل می‌دهد. برای استفاده مطلوب از داده‌های چند طیفی، لازم است تا بهترین ترکیب باندی مشخص شود. یکی از روش‌های تعیین ترکیب باندی بهینه، فاکتور شاخص بهینه (OIF) می‌باشد (Jensen, 2011) که بر اساس واریانس و همبستگی بین باندهای مختلف محاسبه می‌شود (Chavez et al, 2010; Alavi-Panah, 2011; Safaei et al, 2005) معتقدند که ترکیب $(RGB=5/7, 3/1, 2/5)$ بهترین نتیجه را در تفکیک زونهای دگرسان نشان می‌دهد. با توجه به مقادیر OIF بدست آمده و همچنین تحقیقات پیشین (Sarmasti et al, 2013; Kaskhkoei Jahroomi and Qishlaqi, 2016; Qaid and Basavarajappa, 2010) ترکیب ۱-۵-۷ به ترتیب در کانال‌های RGB، به عنوان بهترین تصویر ترکیب رنگی در شناسایی لیتولوژی و دگرسانی منطقه انتخاب شد. یافته‌های حاصل نشان می‌دهد که در کل در منطقه سامانلو گسترش انواع زون‌های دگرسانی وسیع نمی‌باشد. زون دگرسانی کلریتی-اپیدوتی بیشترین گسترش را در بین انواع دگرسانی‌ها دارد و عمدتاً در شمال شرق تا جنوب شرق محدوده گسترش دارد. کانی‌های کائولینیت و سریسیت در مرکز محدوده و جنوب غرب آن گسترش دارند و گسترش کانی‌های دگرسانی آلونیت-پیروفیلیت پراکنده و بسیار محدود می‌باشد. به منظور صحت‌سنجی نتایج دگرسانی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای علاوه بر بررسی‌های صحرائی و تهیه مقاطع نازک، تعدادی نمونه جهت تجزیه XRD از زون‌های دگرسانی تهیه شد (جدول ۱). نتایج به دست آمده ضمن تایید یافته‌ها مشخص می‌کند که زون دگرسانی آلونیت-پیروفیلیت به گستردگی تصاویر ماهواره‌ای نیست. بر پایه مطالعات ترستا آگوئیلرا و همکاران (Tristá-Aguilera et al, 2006)، ویلسون و همکاران (Wilson et al, 2003a)، اسپینوزا و همکاران (Espinnoza et al, 1996)، ساتو (Sato, 1984) دگرسانی

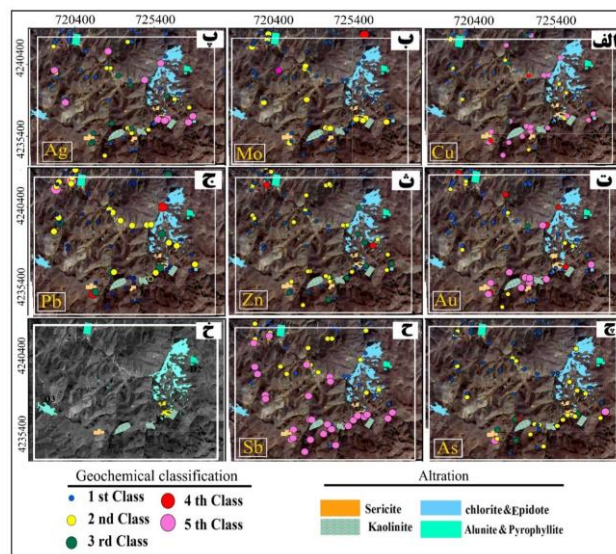
عیار قابل توجه نمی‌باشند، اما هر دو با هم همبستگی خوبی نشان می‌دهند. سرب در ۲ نمونه بی‌هنجاری درجه یک و ۱ نمونه بی‌هنجاری درجه دو نشان می‌دهد و عنصر روی نیز تنها در ۱ نمونه بی‌هنجاری درجه یک با عیار ۵۶۹ ppm و در ۲ نمونه آنومالی درجه دو دارد (شکل ۶، ج). آرسنیک با حداکثر عیار بیش از ۱۰۰ ppm در هفت نمونه حضور دارد که چهار نمونه آن در شمال غربی محدوده و از زون‌های دگرسان برداشته شده‌اند. بی‌هنجاری‌های این عنصر در سه بخش شمال غربی، شمال شرقی و بخش جنوبی بلوک گسترش یافته‌اند. این عنصر تا حدودی با مس و نقره همراهی نشان می‌دهد (شکل ۶، چ).

عنصر مس نشان می‌دهند (شکل ۶ پ). طلا در ۱۱ نمونه آنومالی درجه یک و ۱ نمونه آنومالی درجه دو نشان می‌دهد (شکل ۶ ت). توزیع بی‌هنجاری‌های طلا در بخش میانی و نیمه جنوبی است. تمرکز پنج نمونه آنومال که سه نمونه از آنها عیار بیش از ۱۶۰ ppb طلا دارند در بخش جنوبی محدوده مطالعاتی، نشانگر اهمیت کانه‌زایی این عنصر می‌باشد. بیشترین عیار طلای بدست آمده در مطالعات لیتوژئوشیمی در همین بخش نشانگر عیار بیش از ppm ۱/۲ است. بررسی‌های صحرایی نشان می‌دهد که عیار طلا در آبراهه‌های دارای رگه/رگچه‌های سیلیسی همراه با کانی‌سازی مالاکیت و کالکوپیریت و آزوریت قابل توجه می‌باشد. بی‌هنجاری‌های عنصر سرب و روی از لحاظ تعداد و

جدول ۲: طبقه‌بندی آماری متغیرهای ژئوشیمیایی

Table 2: Statistical classification of geochemical variables.

Class 1 (background)	$N \leq \text{Median}$
Class 2	$\text{Median} \leq n < Q3$
Class 3	$Q3 \leq n \leq Q3 + 1.5 \text{ IQR}$
Class 4 (2 nd grade anomaly)	$Q3 + 1.5 \text{ IQR} \leq n \leq Q3 + 3 \text{ IQR}$
Class 5 (1 st grade anomaly)	$Q3 + 3 \text{ IQR} \leq n$



شکل ۶: نقشه مقایسه‌ای پراکنندگی بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای و زون‌های دگرسانی محدوده مورد مطالعه. الف: مس، ب: مولیبدن، پ: نقره، ت: طلا، ث: روی، ج: سرب، چ: آرسنیک، ح: آنتیموان، خ: نقشه کلی زون‌های دگرسانی.

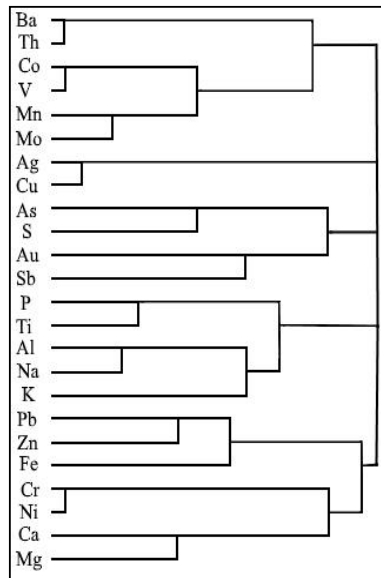
Fig. 6: Comparative maps showing the distribution of geochemical anomalies in the stream sediments and alteration zones of the study area. (a) Cu, (b) Mo, (c) Ag, (d) Au, (e) Zn, (f) Pb, (g) As, (h) Sb, (i) General map of alteration zones.

(شکل ۶ ج). آنتیمون در بخش جنوبی همراهی خوبی با بی‌هنجاری‌های Cu، Au و As نشان می‌دهد. انطباق آنومالی‌های ژئوشیمیایی با زون‌های دگرسانی (شکل ۶ خ) نشان می‌دهد که آنومالی‌های مس تا حدودی زیادی همراه

آنتیموان از نظر تعداد نمونه‌های پر عیار و آنومال قابل توجه می‌باشد، بطوریکه شش نمونه عیار بیش از ۵۰ ppm و سه نمونه عیار بیش از ۱۰۰ ppm دارند. بی‌هنجاری‌های این عنصر بطور کلی در بخش جنوبی و نیمه غربی قرار گرفته‌اند

انطباق کاملی با زون دگرسانی آرژیلیک، سریسیتی و آلونیتی دارد. بیهنجاری سرب و روی تا حدودی با دگرسانی پروپیلیتیک و آلونیت-پیروفیلیت همراه می‌باشد اما در حالت کلی از روند دگرسانی‌ها پیروی نمی‌کند.

با دگرسانی‌های آرژیلیک و سریسیتی و کمتر با دگرسانی پروپیلیتیک هستند. همراهی طلا با زون‌های دگرسانی آرژیلیک و سریسیتی در جنوب محدوده دارای اهمیت می‌باشد. اما کانی‌سازی نقره تنها با دگرسانی پروپیلیتیک و تا حدودی آرژیلیک همراه است. بیهنجاری‌های مولیبدن نیز



شکل ۷: دندروگرام حاصل از آنالیز خوشه‌ای نمونه‌های منطقه.

Fig. 7: Dendrogram obtained from cluster analysis of samples taken from the study area.

همبستگی بین عناصر برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، از متغیری بنام ضریب همبستگی استفاده می‌شود. در محاسبه ضریب همبستگی داده‌های ژئوشیمیایی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است (Hassanipak, 2009)، لذا با استفاده از تبدیل لگاریتمی تا حد امکان داده‌ها به نرمال نزدیک شدند. برای بررسی همبستگی بین عناصر از روش اسپیرمن و آنالیز خوشه‌ای استفاده شد. بررسی روابط همبستگی عناصر مهم در منطقه سامانلو به روش اسپیرمن نشان می‌دهد که مس تنها با عناصر $Ag(0.605)$ ، $Au(0.539)$ و $Ba(0.564)$ دارای همبستگی متوسط تا خوب می‌باشد. طلا در درجه اول با $Cu(0.539)$ و سپس با عناصر $Ag(0.437)$ ، $Sb(0.343)$ و $As(0.368)$ همبستگی متوسط تا ضعیفی دارد. عنصر روی در درجه اول با عناصر $Co(0.644)$ ، $Fe(0.509)$ و $Mn(0.523)$ و سپس با عناصر $Ba(0.487)$ ، $Cu(0.482)$ ، $Pb(0.433)$ و $V(0.468)$ سرب در درجه اول با $Fe(0.612)$ و سپس با عناصر

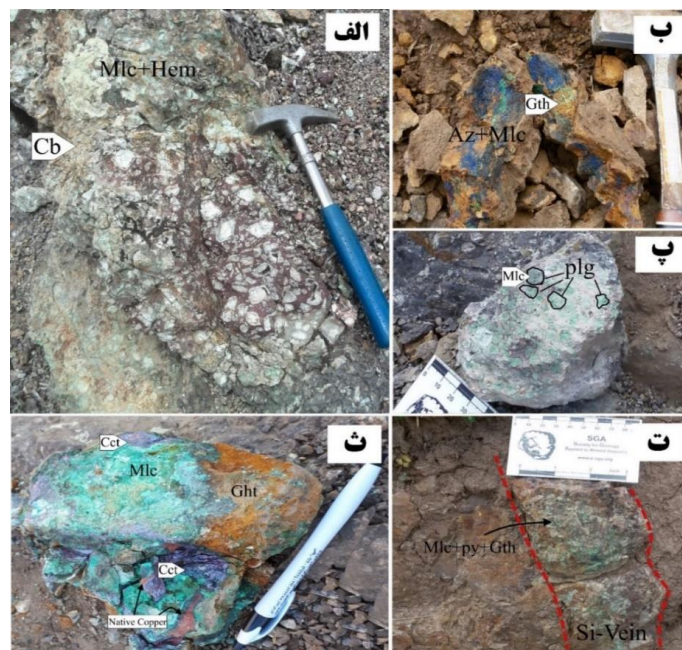
همبستگی خوبی دارد. اما مولیبدن جز با $Ca(0.612)$ و $S(0.417)$ همبستگی ندارد. آرسنیک با عناصر $Ag(0.451)$ ، $Cu(0.411)$ ، $S(0.410)$ و $Sb(0.385)$ تا حدودی همبستگی متوسط نشان می‌دهد. هدف از آنالیز خوشه‌ای عناصر، طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها و نمونه‌ها بر اساس بیش‌ترین تشابه درون گروهی و بیش‌ترین اختلاف بین گروهی است (Hassanipak, 2009). متغیرهایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، بیش‌ترین تشابه را با هم دارا بوده و خود گروه با گروه‌های دیگر بیش‌ترین تمایز را خواهد داشت. نتیجه این آنالیز برای نمونه‌ها و یا متغیرها یک دندروگرام است. این آنالیز با الگوریتم‌های مختلفی انجام می‌شود. در این مطالعه عناصر با روش اتصال پیرسون طبقه‌بندی شدند و دندروگرام آنها رسم گردید (شکل ۷). آنالیز خوشه‌ای عناصر منطقه نشانگر همبستگی عناصر به شکل (Ag, Cu) ، (K, Fe, Zn, Pb) ، (Cr, N, Ca, Mg) ، (Mo, Mn, V, Co) ، (Sb, Au, S, As) ، (Na, Al, Ti, P) می‌باشد. بر پایه همبستگی‌های آماری به دست

دانست که در این گروه طلا دارای آنومالی قابل توجه می باشد.

کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی

برای بررسی بی‌هنجاری‌های به دست آمده در منطقه مورد مطالعه از روش لیتوژئوشیمیایی استفاده شد. بررسی نمونه های سنگ بستر (لیتوژئوشیمی) در اغلب موارد برای تعیین هاله‌های پراکندگی اولیه مرتبط با نهشته‌های پنهان کاربرد دارد (Parsi et al, 2001). مطالعه الگوی توزیع منطقه‌ای هاله‌های ژئوشیمیایی اولیه نیز برای اکتشاف توده‌های پنهان و تشخیص عمق کانی‌سازی به کار می‌رود (Solovov, 1987). مطالعات صحرایی و لیتولوژیکی در مرحله کنترل بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی نشان داد که کانه‌زایی مس - نقره در منطقه سامانلو چینه‌کران بوده و با واحدهای آندزیتی ائوسن به ویژه ائوسن بالایی همراه است (شکل ۸ الف).

آمده میتوان عناصر مهم را در سه گروه؛ (۱) Pb-Zn-Fe، (۲) Cu- Ag و (۳) As-Sb-S-Au تقسیم‌بندی کرد که به سه گروه زایشی در منطقه نسبت داده می‌شود. گروه اول در ارتباط با توده گرانیتوئیدی به ویژه هاله پیرامون این واحد است و می‌تواند از نوع منسوب به نفوذی محسوب گردد که به صورت هاله هورنفلسی و رگه‌ای- گرمایی است. در این رده دگرسانی کلریت- اپیدوت (پروپیلیتیک) شاخص است که با قرابت Mg-Ca در نمودار خوشه‌ای مشخص می‌گردد. گروه دوم عناصر ارتباط مستقیمی با واحدهای آذرآواری و گدازه‌های ائوسن به ویژه آندزیت‌های مگاپورفیری و دگرسانی کلریتی- آرژلیک درون این واحد دارد. این عناصر به شکل چینه‌کران درون این واحد غنی شدگی نشان می‌دهند. گروه سوم از عناصر را نیز می‌توان مربوط به رگه/رگچه‌های سیلیسی دوره پویایی تکتونو- ماگمایی نفوژن و نفوذ سیالات گرمایی در محل گسستگی‌ها

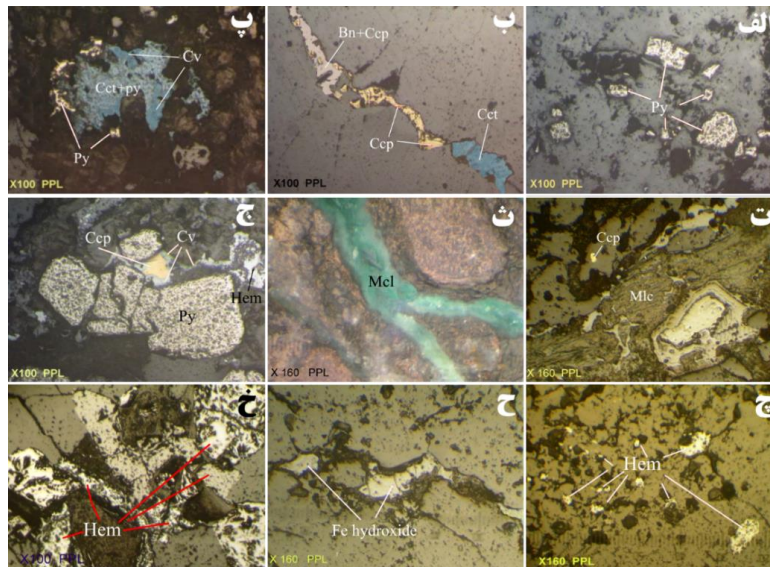


شکل ۸: تصاویر صحرایی از کانه‌زایی در منطقه سامانلو. الف: کانه‌زایی ملاکیت و آزوریت و تشکیل اکسیدهای آهن، کربنات و زئولیت به شکل پراکنده و پرکننده فضای خالی در واحد آندزیت مگاپورفیری. ب: تشکیل آزوریت و گوتیت در زون‌های اکسیدی. پ: جانشینی ملاکیت بجای پلاژیوکلاز در واحد آندزیت بازالت پورفیری. ت: رگه / رگچه‌های سیلیسی حاوی ملاکیت، آزوریت و دارای آنومالی طلا در واحد تراکی آندزیت-تراکی بازالت با لایه‌های توف که احتمالاً مجاری نفوذ سیالات کانه‌دار بوده‌اند. ث: قطعه هزارگرمی از مس خالص که در اطراف حاوی کالکوسیت، ملاکیت و گوتیت می‌باشد. (علائم اختصاری همه تصاویر از Whitney and Evans, 2010).

Fig. 8: Field images of mineralization in the Samanloo area. a: Malachite and azurite mineralization and the formation of iron oxides, carbonates, and zeolites in a dispersed and open space-filling form within the megaporphyritic andesite unit. b: Formation of azurite and goethite in the oxidized zones. c: Replacement of plagioclase by malachite within the porphyritic andesite-basalt unit. d: Silica veins/veinlets containing malachite and azurite with gold anomalies within the trachy-andesite to trachy-basalt unit, intercalated with tuff layers which may have acted as conduits for ore-bearing fluid. e: A 1,000-gram piece of pure native copper surrounded by chalcocite, malachite, and goethite. (All image abbreviations from Whitney and Evans, 2010).

گرمی نیز در برخی آبراهه‌های دارای آنومالی درجه یک مس یافت شده است (شکل ۹ ث). نتایج به دست آمده از تجزیه نمونه‌های سنگی نشان داد که کانه زایی طلا همراه با فازهای سولفیدی مس نیز مرتبط با رگه/رگچه‌های سیلیسی عمدتاً آغشته به گوتیت و لیمونیت می‌باشد. ضخامت این رگه/رگچه‌ها تا ۲۰ سانتی‌متر نیز می‌رسد اما گسترش کمی دارند (شکل ۹ ت).

کانه‌زایی مس-نقره به شکل پراکنده، پرشدگی شکستگی‌ها و فضای خالی، رگچه‌ای (ضخامت کمتر از ۲ میلی‌متر)، بادامکی (قطر حداکثر ۳ میلی‌متر) و جانشینی مس بجای پلاژیوکلاز رخ داده است (شکل ۸ ب، پ). در این زون‌ها علاوه بر کانه‌های مس، کلریت، کوارتز، هماتیت، کلسیت، کائولینیت و زئولیت نیز تشکیل شده‌اند. مس خالص همراه با مالاکیت و کالکوسیت در قطعاتی به وزن پنجاه تا هزار



شکل ۹: کانه‌زایی در منطقه سامانلو. الف: تشکیل پیریت‌های منفرد و پراکنده در داخل آندزیت‌های مگاپورفیری بعنوان میزبان اصلی کانه‌زایی. ب: تشکیل بورنیت، کالکوپیریت و کالکوسیت در یک رگچه (تصویر با Oil گرفته شده است). پ: تشکیل کالکوسیت‌های ثانویه و کوولیت در حاشیه پیریت. ت: اکسایش پیریت و تشکیل مالاکیت در یک رگچه سیلیسی. ث: تشکیل مالاکیت و آزوریت بر اثر فعالیت‌های سوپرن. ج: تشکیل جزئی کوولیت در حاشیه کالکوپیریت و حضور هماتیت حاصل از آزاد شدن آهن. چ: تشکیل هماتیت ثانویه حاصل از پیریت‌های پراکنده اولیه توسط سیالات اکسیدان. ح: تشکیل هیدروکسیدهای آهن از یک رگچه دارای پیریت اولیه بر اثر تماس سیال اکسیدان. خ: خردشدگی یک رگچه اولیه و حضور کانی‌های سولفیدی در آن که متعاقباً به هماتیت شده‌اند.

Fig. 9: Mineralization in the Samanloo area. a: Formation of disseminated pyrites within megaporphyritic andesites as the main mineralization host. b: Formation of bornite, chalcopyrite and chalcocite in a veinlet (image taken with immersion oil). c: Formation of secondary chalcocite and covellite at the margins of pyrite. d: Oxidation of pyrite and formation of malachite in a silica veinlet. e: Formation of malachite and azurite due to supergene processes. c: Formation of covellite at the margins of chalcopyrite and presence of hematite resulted from iron release. f: Formation of secondary hematite resulted from oxidation of primary dispersed pyrites by oxidizing fluids. h: Formation of iron hydroxides in a pyrite-bearing veinlet due to the contact with oxidizing fluids. i: Fracturing in a primary veinlet and presence of sulfide minerals in it, which have subsequently transformed into hematite

محدوده سامانلو شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت و به مقدار کمتر مس خالص، هماتیت، کوولیت و مگنتیت می‌باشند. پیریت به شکل پراکنده و پرکننده فضای خالی عمدتاً در واحد آندزیت مگاپورفیری تشکیل شده‌اند (شکل ۹ الف). محققین مختلف معتقدند که واکنش گوگرد حاصل از احیای سولفات آب دریا با آهن باعث تشکیل پیریت‌ها به صورت دانه

کانی‌شناسی و همبود

در کانسارهای نوع مانتو کانی‌های اصلی شامل بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، کوولیت، مس خالص، دیژنیت به همراه مقادیری اسفالریت و پیریت هستند (Oyarzun et al, 1998; Tristá-Aguilera et al, 2006; Ramirez et al, 2006; Oliveros et al, 2008; Kojima et al, 2003). مطالعات آزمایشگاهی نشان داد که کانی‌های کدر در

پراکنده و پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان آندزیتی شده است (Wilson et al, 2003; Kojima et al, 2009). احیایی سولفات آب دریا توسط میکرو ارگانسیم‌ها صورت می‌گیرد (Zentilli et al, 1997, Kojima et al, 2009). بورنیت، کالکوسیت و کالکوپیریت با فراوانی متوسط تا کم در محدوده سامانلو وجود دارند و بیشتر بصورت پرکننده فضاهای خالی به ویژه در رگه‌های سیلیسی تشکیل شده‌اند (شکل ۹ ب، پ). بنظر می‌رسد این کانی‌ها از لحاظ زمانی هم پاراژنز می‌باشند. تحت تأثیر فرآیند سوپرژن، در حاشیه پیریت، بورنیت و کالکوپیریت کانی‌های مالاکیت، کالکوسیت دودی، کوولیت و هماتیت تشکیل شده‌اند (شکل ۹ ت، ث). به نظر می‌رسد بخش عمده کالکوسیت در این کانسار اولیه باشد و بخش دیگری نیز به شکل ثانویه تشکیل شده است (شکل ۹ ب، پ و ج). تبدیل کالکوپیریت و بورنیت (که در ترکیب شیمیایی خود دارای آهن هستند) به کالکوسیت و کوولیت ثانویه، طی دگرسانی سوپرژن، سبب آزاد شدن آهن و تشکیل هماتیت ثانویه در پیرامون آنها شده است (شکل ۹ چ، خ). فرآیندهای بعد از کانه‌زایی همچنین باعث تبدیل پیریت پراکنده، رگچه‌ای و برشی به هماتیت شده است (شکل ۱۰ خ).

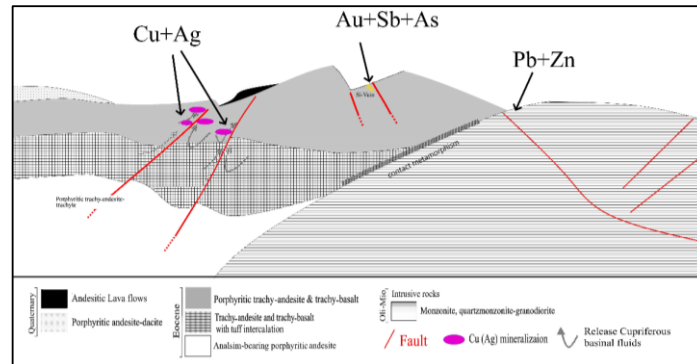
پیشنهاد مدل زایشی

نحوه تشکیل و ژنز در کانسارهای تیپ مانتو در دنیا بسیار مورد بحث است، اما بطور کلی محققین مختلف برای کانسارهای تیپ مانتو دو مدل زایشی دگرگونی و اپی ژنتیک-دیاژنتیک پیشنهاد کرده‌اند (Kojima et al, 2007; Tosdal and Munizaga, 2003; Kirkham, 1996). مدل دگرگونی، مس در درجات بالای دگرگونی سنگ مادر در طی آبدایی از آن خارج شده و در سنگ میزبان نهشته می‌شود. در مدل اپی ژنتیک-دیاژنتیک کانه زایی مس در ارتباط با دیاژنز می‌باشد. در این مدل شوره‌های حوضه‌ای، آب دریا و آب جوی، مس را از واحدهای مختلف شستشو می‌دهند و در واحد میزبان ته‌نشست می‌دهند (Cisternas and Hermosilla, 2006). ادامه فعالیت آتشفشانی و رسوبگذاری باعث ضخیم‌تر شدن توالی‌های سنگی و افزایش فشار و دما در سیال بین حوضه‌ای و شروع فرآیند دیاژنز تدفینی می‌شود و این به نوبه خود باعث تحرک سیالات شور در داخل توالی‌های آتشفشانی می‌گردد (Barnes, 1979). بر این اساس می‌توان دو مرحله کانه‌زایی هیپوژن

در این منطقه در نظر گرفت: a) مرحله دیاژنز اولیه، b) مرحله تدفین. در اواخر فعالیت آتشفشانی و در زمانی که آب دریا در سیستم در حال گردش است (مرحله دیاژنز اولیه) شوره‌های حوضه‌ای در امتداد گسل‌های نرمال به درون فضاهای خالی موجود در سنگ آندزیت پورفیری نفوذ کرده و به دام افتاده‌اند (Wilson, 2000, Wilson et al, 2003). سولفات آب دریا توسط باکتری‌های موجود احیا شده و گوگرد آن در واکنش با آهن و در فضاهای خالی موجود در سنگ تشکیل پیریت داده است (بصورت دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی در سنگ میزبان) (Wilson et al, 2003). بنابراین در این مرحله منشأ گوگرد از احیای باکتریایی سولفات آب دریا در مرحله دیاژنز اولیه است (Carrillo-Rosúa et al, 2006). در مرحله تدفین، دفن شدن واحدهای آتشفشانی منطقه و افزایش فشار موجب پیدایش رخساره ژئولیتی و همچنین تحرک سیالات اکسیدان شوره‌های حوضه‌ای (Barnes, 1979) در میان توالی آتشفشانی می‌شود. این سیالات به دلیل دمای نسبتاً بالای محیط و در اثر گردش در میان واحدهای سنگی آتشفشانی زیرین (توالی‌های ائوسن) از مس غنی می‌شوند. سیالات اکسیدان غنی از مس به سوی نقاط کم فشار و واحدهای بالایی حرکت می‌کنند. ورود این سیالات به واحد آندزیت پورفیری غنی از پیریت سبب احیا شدن آنها و ته‌نشست مس به شکل سولفیدی شده است (شکل ۱۰). برهمکنش سیالات اکسیدان با پیریت سبب آزاد شدن آهن و جاننشینی مس به جای آهن می‌شود، آهن آزاد شده نیز در نزدیک سولفیدهای مس تشکیل هماتیت می‌دهد. در بخش‌هایی، که شدت فرایند اکسایش توسط سیال زیاد است، پیریت‌ها به طور کامل توسط هماتیت جانشین می‌شوند. میزان بالای هماتیت در مجاورت سولفیدهای مس در واحد آندزیتی میزبان، حاصل رخداد این فرایند است (Kirkham, 1996; Wilson and Zentilli, 1999; Wilson, 2000; Wilson et al, 2003; Haggan et al, 2003; Tristán-Aguilera et al, 2006; Wilson and Zentilli, 2006). آنومالی‌های طلا و عناصر همراه (آنتیموان و آرسنیک)، با رگه/رگچه‌های سیلیسی-هماتیتی توده آندزیت مگاپورفیری همراه هستند. این رگه/رگچه‌ها احتمالاً در انتهای فرایند تدفین و با آغاز بالآمدگی (uplift) منطقه، که گسل خوردگی و فضاهای باز در سیستم افزایش می‌یابد، تشکیل شده‌اند. خردشدگی و تشکیل سولفیدها به شکل

واحد‌های ائوسن مشاهده می‌شوند، اما ارتباط واضحی بین این آنومالی‌ها با دگرگونی مجاورتی یافت نشد (شکل ۱۰).

پرکننده فضای خالی می‌تواند حاصل این مرحله باشد. آنومالی‌های روی و سرب گرچه به لحاظ مکانی در حاشیه و نزدیک توده نفوذی و به ویژه در کنتاکت این توده با



شکل ۱۰: مقطع عرضی از قسمت جنوبی منطقه سامانلو بر اساس نتایج بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی و همبستگی عناصر و مطالعات لیتوژئوشیمیایی و پیشنهاد مدل زایشی احتمالی برای کانه‌زایی در این منطقه برای سه گروه از عناصر (Cu+Ag, Au+Sb+As, Pb+Zn) است.

Fig. 10: Cross-section of the southern part of the Samanloo area, classified based on the results of geochemical anomalies and element correlations, litho-geochemical studies, and the proposed probable generative model for mineralization in this area for three groups of elements (Pb+Zn, Au+Sb+As, Cu+Ag).

جدول ۳: خلاصه نتایج آماری تعدادی از عناصر کانساری در نمونه‌های رسوب آبراهه‌ای منطقه بیلاق سامانلو (ppm).

Table 3: Summary of statistical results of a number of ore elements in stream sediment samples from the Yeylagh Samanloo area (ppm).

Minimum	Maximum	Mean	Median	Std. Deviation	Variance	Skewness	Kurtosis	
Au(ppb)	3.75	1088	21.75	3.75	108.766	11830.04	9.407	92.394
Ag	0.2	18.1	1.23	0.37	2.623	6.882	4.196	20.287
As	4.5	133.3	22.86	10.15	33.002	1089.192	2.702	6.294
Cu	7	67866.8	2267.56	65	7902.172	62444.324	6.097	44.584
Mo	0.7	79.5	3.214	1.32	8.465	71.658	7.572	65.548
Pb	5	97	20.81	18	15.269	233.128	2.561	8.551
Zn	6	569	80.1	70	64.079	4106.107	4.608	32.663
Sb	0.75	133.3	12.50	1.08	26.244	668.771	3.277	11.703

می‌باشد. این دگرسانی‌ها گسترش زیادی ندارند و محدود می‌باشند. یافته‌های به دست آمده از مطالعات ژئوشیمی رسوب آبراهه‌ای نشان داد که عناصر Cu, Ag, Co و Au در منطقه بیلاق سامانلو دارای اهمیت زمین‌شناسی اقتصادی-اکتشافی هستند و دیگر عناصر دامنه‌ای در حد غنی‌شدگی ژئوشیمیایی نشان می‌دهند. عناصر مهم کانساری در سه گروه: (۱) Pb- Zn- Fe, (۲) Cu- Ag, و (۳) As- Sb- S- Au در سه دسته‌بندی شدند که به سه گروه زایشی در منطقه نسبت داده می‌شوند. ارتباط مکانی شکستگی‌ها و گسل‌های نرمال و فضاهای خالی با کانی‌سازی در واحد آندزیت مگاپورفیری

نتیجه‌گیری

در منطقه سامانلو در جنوب مشگین‌شهر و غرب ساوالان واحدهای آذرین/ آذرآواری ائوسن و واحد نفوذی الیگوسن گسترش دارند. این واحدها دارای ماهیت شوشونیتی تا کالک‌آلکالن با پتاسیم بالا بوده که در موقعیت تکتونیکی قوس‌های ولکانیکی حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. یافته‌های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی رسوب آبراهه‌ای، دورسنجی و نیز بررسی‌های صحرائی در مرحله کنترل بی‌هنجاری‌ها نشان داد که این محدوده دارای دگرسانی‌های پروپیلیتی، آرژیلیک، آلونیت- پیروفیلیت و سریسیتی

مس را از واحدهای آتشفشانی غنی از مس زیرین (تراکی آندزیت، توف همراه با لایه‌های شیل) شسته و در واحد آندزیت مگاپورفیری دارای شرایط احیایی تهنشست داده‌اند. پی جویی واحد دارای کانه‌زایی (واحد آندزیت مگاپورفیری) می‌تواند به اکتشاف ذخایر جدید از کانسارهای مس تیب مانتو در این منطقه منجر شود. همچنین این الگوی اکتشافی می‌تواند برای اکتشاف کانسارهای مس در منطقه غرب ساوالان، پس از سیستم‌های پورفیری و اپی‌ترمال در نظر گرفته شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از حمایت‌های شرکت گسترش و نوسازی معادن خاورمیانه (ممرادکو) و همچنین از همکاری‌های معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز نهایت قدردانی خود را ابراز می‌دارند و از نظرات و پیشنهادهای ارزنده و سازنده‌ی داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

References

- Alavi-Panah, S.K., 2010. Evaluation of Landsat TM spectral bands in studies of Iran's deserts, *Journal of Natural Resources of Iran*, v. 25, p. 67-78 (In Persian).
- Amini, B., 1994. 1:100000 geological map of Meshginshahr, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian).
- Babakhani, A., 2008. The Sabalan volcano, report of the Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian).
- Barnes, H.L., 1979. Solubilities of ore minerals. In: *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, p. 404-410.
- Berger, B.R., Ayuso, R.A., Wynn, J.C. and Seal, R.R., 2008. Preliminary Model of Porphyry Copper Deposits, U.S. Geological Survey Open File Report, v. 2008-1321, 55 p.
- Brenan, J.M., Shaw, H.F., Phinney, D.L. and Ryerson, F.J., 1994. Rutile-aqueous fluid partitioning of Nb, Ta, Hf, Zr, U and Th: implications for high field strength element depletions in island-arc basalts: *Earth and Planetary Science Letters*, v. 128, p. 327-339.
- Carrillo-Rosua, F.J., Morales-Ruano, S., Morata, D., Boyce, A.J., Belmar, M., Fallick, A.E., Fenoll Hachali, P. and Munizaga, F., 2006. Sulfur isotope studies in Chilean Manto-type Cu-(Ag) deposits in the Coastal range of central Chile: *Ore Geology Reviews*, v. 56, p. 13-24.
- Chavez, P.S., Berlin, G.L. and Sowers, L.B., 2011. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios: *Journal of Applied Photographic Engineering*, v. 8, p. 23-30.
- Chica-Olmo, M., Abarca, F. and Rigol, J., 2002. Development of a Decision Support System based on remotesensing and GIS techniques for gold-rich area identification in SE Spain: *International Journal of Remote Sensing*, v. 23, p. 4801-4814.
- Cisternas, M.E. and Hermosilla, J., 2006. The role of bitumen in strata-bound copper deposit formation in the Copiapo area, Northern Chile: *Mineralium Deposita*, v. 41, p. 339-355.
- Coop, J.A., 1973. Geochemical Prospecting for Porphyry type mineralization-a review: *Journal of Geochemical exploration*, v. 2, p. 81-102.
- Edwards, M.A., Kidd, W.S.F., Li, J., Yue, Y. and Clark, M., 1996. Multi-stage development of the southern Ti bet detachment system near Khula Kangri: new data from Gonto La: *Tectonophysics*, v. 260, p. 1-20.
- Espinnoza, R.S., Veliz, G.H., Esquivel, L.J., Arias, F.J. and Moraga, B.A., 1996. The cupriferous province of the coastal ranges, Northern Chile. in Camus, F., Sillitoe, R.H., Petersen, R., (eds.) *Andean copper deposits: new discoveries, mineralization, styles and metallogeny: Society of Economic Geologists Special publication v. 5*, p. 19-32.
- Foley, S.F., Barth, M.G. and Jenner, G.A., 2000. Rutile/melt partition coefficients for trace

می‌تواند نشانگر عملکرد آنها در طی کانه‌زایی باشد (Wilson et al, 2003). کانی‌زایی در این منطقه همانند دیگر کانسارهای تیب مانتو تحت‌تأثیر فرایندهای مرتبط با ولکانیسم و دیاژنز تشکیل شده است. مطالعات میکروسکوپی نشان داد که در محدوده کانه‌دار بیلاق سامانلو کانی‌های کدر شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، آزوریت، کالکوسیت، مس خالص و به مقدار کمتر کوولیت هستند، که به شکل پراکنده و پراکنده فضای خالی و جان‌شینی عمدتاً در متن سنگ آندزیت مگاپورفیری تشکیل شده‌اند. با توجه به ساخت، بافت و کانی‌شناسی در واحد آندزیت مگاپورفیری می‌توان دو فاز برای رخداد کانه‌زایی هیپوژن (مرحله دیاژنز اولیه و محله تدفین) در منطقه سامانلو در نظر گرفت. فرایندهای دیاژنز اولیه موجب تشکیل پیریت در زمینه واحد آندزیت پورفیری میزبان کانه‌زایی و در نتیجه پیدایش شرایط احیایی در این واحد سنگی شده است. در مرحله بعدی تحت‌تأثیر فرایند تدفین سیالات شور اکسیدان تحرک پیدا کرده‌اند. این سیال‌ها

- elements and an assessment of the influence of rutile on the trace element characteristics of subduction zone magmas: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 64, p. 933-938
- Geoffroy, J.D. and Wingall, T.K., 1985. *Designing Optimal Strategies for Mineral Exploration*: Plenum Press, New York.
- Haggan, T., Parnell, J. and Cisternas, M.E., 2003. Fluid history of andesite-hosted Cu-S-Bitumen mineralization, Copiapu district, north central Chile: *Journal of Geochemical Exploration*, v. 78-79, p. 631-635.
- Hassanipak, A.A., 2009. *Principles of Geochemical Exploration*, Tehran University Press, 615 p (In Persian).
- Hassanipak, A.A. and Sharafeddin, S.M., 2011. *Exploratory data analysis*, Tehran University Press, 987 p (In Persian).
- Hastie, A.R., Kerr, A.C., Pearce, J.A. and Mitchell, S.F., 2007. Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements: development of the Th-Co discrimination diagram: *Journal of Petrology*, v. 48, p. 2341-2357.
- Hedenquist, J.W. and Browne, P.R.L., 1989. The evolution of the Waiotapu geothermal system New Zealand based on the chemical and isotopic composition of its fluids, minerals and rocks: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 53, p. 2235-2257.
- Jensen, J.R., 2011. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*, 3rd Ed, Prentice-Hall, series in geospatial information science, v. 2, p. 163-164.
- Juyzadeh, S., Brahimi, M., Akhgar, Sh., Shamshiri, M. and Ahrari, A.H., 2019. *Processing satellite images in ArcMAP*, Academic Publications.
- Kashkoei Jahroomi, M. and Qishlaqi, A., 2016. A new approach for hydrothermal alteration mapping by selecting and interpreting principal components in Landsat ETM+ images: *Economic Geology*, v. 8, p. 12-181 (In Persian).
- Kirkham, R.V., 1996. Volcanic red bed copper. In Eskstrand, O.R., Sinclair W.D. and Thrope, R.I. (eds.) *Geology of Canadian mineral deposit types*. Geological Survey of Canada, v. 8, p. 241-252.
- Kojima, S., Astudillo, J., Rojo, J., Trista, D. and Hayashi, K., 2003. Ore mineralogy, fluid inclusion and stable isotopic characteristics of stratiform copper deposits in the coastal Cordillera of northern Chile: *Mineralium Deposita*, v. 38, p. 208-216.
- Kojima, S., Trista, D., Guilera, A. and Ken-ichiro ayashi, H., 2009. Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits: *Resource Geology*, v. 59, p. 87-98.
- Kojima, S., Trista, A.D. and Hayashi, K.I., 2007. Genetic aspects of the manto-type copper deposits based on geochemical studies of North Chilean deposits: *Resource Geology*, v. 59, p. 87-98.
- Learned, R.E., 1972. Gold, a useful pathfinder element in the search for porphyry copper deposits in Puerto Rico: *Proceedings of the 4th International Geochemical Exploration Symposium*, London.
- Legg, C.A., 1992. *Remote Sensing and Geographic Information Systems: Geological Mapping, Mineral Exploration and Mining* (Wiley-Praxis Series in Remote Sensing). Ellis Harwood Publication, 166 p. Maghsoodi, A., Yazdi, M., Mehrpartou, M. and Vosoqi-Abdini, M., 2010. Introducing of Copper Porphyry Type and Gold Mineralization in Siliceous Veins at Mirkuh Ali Mirza Area, Sarab, by Geochemical Exploration: *Geosciences*, v. 81, p. 121-128.
- Maghsoodi, A., Younesi, S. and Nemati, M., 2003. Heavy mineral geochemical exploration in 1:100000 sheet of Meshgin-Shahr, Geological Survey of Iran (In Persian).
- McDonough, W.F. and Sun, S.S., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes: *Geological Society of London Special Publication*, v. 42, p. 313-345.
- Moeinvaziri, H. and Ahmadi, A., 2003. *Petrography and petrology of igneous rocks*, Kharazmi University Publication, 544 p (In Persian).
- Mohammadian, H., Calagari, A. A., Simmonds, V. and Siahcheshm, K., 2024. Surface and sub-surface studies on geology and characteristics of ore-forming fluids in the Niaz porphyry copper prospect, west of Meshginshahr. *Researches in Earth Sciences*, 15(1), 49-66 (In Persian).
- Muller, D. and Groves, D.I., 1997. *Potassic igneous rocks and associated gold-copper mineralization*: Springer, 342 p.
- Oliveros, V., Feraud, G., Aguirre, L., Ramirez, L., Fornary, M. and Palacios, C., 2008. Detailed $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of geologic events associated with the Mantos Blancos copper deposit, northern Chile: *Mineralium Deposita*, v. 43, p. 281-293.
- Oyarzun, R., Ortega, L., Sierra, J., Lunar, R. and Oyarzun, J., 1998. Cu, Mn, and Ag mineralization in the Quebrada Marquesa Quadrangle, Chile: the Talcuna and Arqueros districts, v. 33, p. 547-559.
- Parsi, E., Edward, J.M. and Allison, L.D., 2001. Alteration Zoning and primary geochemical dispersion Bronzewing lode-gold deposit, Western Australia: *Mineralium Deposita*, v. 36, p. 13-31.
- Pearce, J.A., 1996. Guide to basalt discrimination diagrams: in Wyman, D.A., (ed.), *Trace element*

- geochemistry of volcanic rocks: Applications for massive sulphide exploration: Geological Association of Canada, Short Course Notes, v. 12, p. 79-113.
- Pearce, J.A. and Norry, M.J., 1979. Petrogenetic implication of Ti, Zr, Y and Nb variations in volcanic rocks: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 69, p. 33-47.
- Qaid, M. and Basavarajappa, H.T., 2010. Application of Optimum Index Factor technique to landsat-7 data for geological mapping of North East of Hajjah, Yeman: American-Eurasian Journal of Scientific Research, v. 3, p. 84-91
- Rajabpour, Sh., Behzadi, M. and Rasa, A., 2016. Geochemistry, ore mineralogy and hydrothermal alteration characteristics of Kuh-Pang volcanic copper deposit in Saveh, middle part of Urmia-Dokhtar subduction zone. Researches in Earth Science, v. 25, p. 109-128 (In Persian).
- Ramirez, L.E., Parada, M.A., Palacios, C., Wittenbrink, J., Lehmann, B. and Sial, A.N., 2006. Magma sources of Mantos Blancos copper deposit, Coastal range of Northern Chile: Resource Geology, v. 58(2), p. 101-203.
- Richards, J.P., Boyce, A.J. and Pringle, M.S., 2001. Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization: Economic Geology, v. 96, p. 271-305.
- Rollinson, H., 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation: Longman, Essex, 384 p.
- Safaei, H., Ghasemi, A. and Taghipour, B., 2005. Identification of brecciated zones and their role in the distribution of altered areas in the south and southwest of Nain using digital satellite data processing و 21st Symposium of Earth Sciences, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran (In Persian).
- Sarmasti, N., Fathi, M.H., Fariba, A., Beigipour Motlagh, F. and Suzandepour, S.F., 2013. Application of the Optimum Index Factor (OIF) technique of ETM+ Landsat 7 data in evaluation of Kashan Salt crusts, Second International Symposium of Natural Hazards, Kharazmi University (In Persian).
- Sato, T., 1984. Manto type copper deposits in Chile, a review: Bulletin of the geological survey of Japan, v. 35, p. 565-582.
- Schandle, E.S. and Gorton, M.P., 2002. Application of high field strength elements to discriminate tectonic settings in VMS environments: Economic Geology, v. 97(3), p. 629-642.
- Sinclair, W.D., 2007. Porphyry deposits. In Goodfellow, W.D., ed., Mineral deposits of Canada: Geological Association of Canada Special Publication, v. 5, p. 223-243.
- Solovov, A.P., 1987. Geochemical Prospecting for Mineral Deposits: Moscow, 284 p.
- Taylor, B. and Martinez, F., 2003. Back-arc basin basalt systematics: Earth and Planetary Science Letters, v. 210, p. 481-497.
- Thompson, R.N., 1982. Magmatism of the British Tertiary Province: Scottish Journal Geology, v. 18, p. 49-107.
- Tosdal, R.M. and Munizaga, F., 2003. Lead sources in Mesozoic and Cenozoic Andean ore deposits, north-central Chile (30-34S): Mineralium Deposita, v. 38, p. 234-250.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S. and Ferraris, F., 2006. Re-Os isotope systematics for the Lince-Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile: Mineralium Deposita, v. 41, p. 99-105.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for Names of Rock-Forming Minerals: American Mineralogist, v. 95, p. 185-187.
- Wilson, M.B., 1989. Igneous Petrogenesis a Global Tectonic Approach: Springer Netherlands, 446 p.
- Wilson, N.S.F., 2000. Organic petrology, chemical composition, and reflectance of pyrobitumen from the El Soldado Cu deposit, Chile: International Journal of Coal Geology, v. 43, p. 53-82.
- Wilson, N.S.F., Zentilli, M. and Spiro, B., 2003. A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado mantotype Cu deposit, Chile; the essential role of bacteria and petroleum: Economic Geology, v. 98, p. 163-174.
- Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 1999. The role of organic matter in the genesis of the El Soldado volcanic-hosted manto-type Cu deposit, Chile: Economic Geology v. 94(7), p. 1115-1135.
- Wilson, N.S.F. and Zentilli, M., 2006. Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile: International Journal of Coal Geology, v. 65(1), p. 158-169.
- Winchester, J.A. and Floyd, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series their differentiation products using immobile elements: Chemical Geology, v. 20, p. 325-345.
- Zentilli, M., Munizaga, F., Graves, M.C., Boric, R., Wilson, N.S.F., Mukhopadhyay, P.K. and Snowdon, L.R., 1997. Hydrocarbon involvement in the genesis of ore deposits; an example in Cretaceous strata-bound (manto-type) copper deposits of central Chile: International Geology Review, v. 39, p. 1-21.