Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2025, Vol. 15(1): 127 - 151

Research Article

Petrography, geochemical, and genesis of the Kaolinitic and refractory clay deposit of Chah-Aliakbar, in the Tabas Block

Mahmoud Shoja Sangchouli[1], Shojaeddin Niroomand[2]*, Soroush Modabberi[2] , Mohsen Ranjbaran[1]

1- Faculty of geology/ university of Tehran
2- School of Science, economic geology and petrology department

Keywords: *Kaolinitic clay, refractory soil geochemistry, industrial soil, Chah-Aliakbar, Tabas Block*

1-Introduction

Kaolinitic and refractory clays are a group of non-metallic minerals that retain their physical and chemical properties at high temperatures and have special applications in industries such as metal smelting, ceramics, and foundry (Pohl, 2020). The Chah-Aliakbar kaolinitic clay deposit is located in the Iran-Central structural zone, north of the Tabas Block, 65 km northwest of the Tabas Golshan, and in part of the Permian horizon. Recent studies in the Tabas Block include the study of the stratigraphy of the Triassic and Jurassic systems in the north of the Tabas Block and the effect of active tectonics on the formation of rock facies in global, regional, and local scales.

Petrographic, mineralogical, and geochemical studies can be used to identify the constituent minerals and chemical composition of the mineral substance, as well as the depositional environment, mode of formation, and processes involved in the formation of the studied deposit. Mineralogical studies and related analyses can also determine this deposit's key and significant minerals. The abundance percentage of elements and the type of clay minerals are closely related to their applications in dependent industries. The studies and results from this research can significantly impact the economic decision-making process for extracting clay minerals from this area and their introduction into the industrial and commercial cycle. Additionally, the social consequences of exploiting and extracting from this mining area will not only supply raw materials for domestic industries but also create employment opportunities for the local workforce (directly or indirectly) and contribute to the region's economic growth. It is worth noting that all these studies can significantly contribute to the identification of similar sedimentary deposits in the Tabas Block.

2-Material and methods

Field investigations in the study area included field studies of the geology and stratigraphy of different formations and their comparison with the 1:100,000 scale map of the Halvan region, examination of various outcrops of the deposit, and preparation of 1:5000 scale map of the Chah-Aliakbar area. A total of 54 samples were collected from an area of 13.4 Km2 along several vertical profiles perpendicular to the extension of the mineral substance. Eight thin sections were prepared for petrographic and mineralogical studies in the workshop of the Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran and studied in the Economic Geology Laboratory of Tehran University using an Olympus polarizing microscope (transmitted light) model. 27 samples were analyzed to determine the percentage of major oxides by X-ray fluorescence (XRF) in the laboratory of the Geological Survey and Mineral Exploration Organization of Iran using a MAGIX-PRO device. In addition to completing the geochemical studies and identifying trace and rare earth elements, two samples were analyzed and chemically analyzed by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in the Applied Studies Center of the Geological Survey laboratory.

* Corresponding author: niroomand@ut.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2024.47511.2465
Received: 2024-08-01
Accepted: 2024-11-18

ISSN: 2717-0764

3-Results and discussions

Kaolinitic and hematitic shales and sandstones located at the base of the last limestone layer of the Khan Formation (Jurassic age) host the intended ore mineral of this deposit. In the studied area, they outcrop with an approximate length of about 1 Km and a transverse extension of 0.5 km. The results of X-ray diffraction (XRD) analysis on samples taken from the Chah-Aliakbar industrial and refractory clay indicate the presence of main minerals: kaolinite, hematite, and quartz, and minor minerals: rutile, anatase, and feldspar in the mineralogical composition of the Ore deposit. Microscopic studies of thin sections reveal the sorting and rounding of quartz grains in the sandstones of the Khan Formation, which host minerals and can be attributed to their mechanical transportation, and are considered clastic in origin. The clastic deposits of the Khan Formation were laid down in a high-energy coastal environment (Shadan and Hosseini Barzi, 2010). The high sorting of the sandstones indicates the effective role of waves in the depositional environment. The intrusion of such a volume of clastics into the sedimentary basin was due to alongshore currents caused by the oblique impact of waves on the shorelines. Monocrystalline quartz with wavy and straight extinction, with a frequency of 95%, constitutes the largest volume of clastic grains in the sandstones of the Khan Formation. The abundance of monocrystalline quartz in the clastic units could result from the high-energy depositional environment and sedimentary reworking. Based on the position of the samples taken from the Chah-Aliakbar deposit as interpreted on the A-CN-K and A-CNK-FM diagrams, the rapid advancement of the weathering process of the deposit can be observed. The significant reduction of Na2O, CaO, K2O, and MgO components in these diagrams indicates the progression of weathering in the deposit (Nesbitt and Young, 1984). The position of the mineral samples of the deposit on the Al2O3/TiO2 ratio diagram suggests a mafic and basaltic parent rock composition for this deposit. The high concentration of TiO2, with an average amount of 4.37 wt% in the mineral samples, confirms the role and influence of supergene solutions in forming this deposit (Maiza et al., 2003). To determine the type and conditions of the depositional basin of the Chah-Aliakbar deposit, considering the K/Rb ratio = 36.67, it can be concluded that the sedimentation of this deposit occurred in a marine environment (Campbell et al., 1965; Zawada et al., 1988).

4-Conclusion

Stratigraphic evidence, including the strati-bound placement of the mineral material between the limestone layers of the Khan Formation within a large syncline and aligned parallel to its axial trend, as well as the gradual boundary between the mineral layer and the overlying limestone layers of the Khan Formation, strengthens the possibility of that the Chah-Aliakbar deposit is sedimentary in origin. Also, the sorting and rounding of quartz grains in the ore of this deposit can be attributed to the reworking of sediments, providing further evidence of its sedimentary nature. The deposition of this deposit in a marine environment was influenced by the weathering of rocks and clay-bearing sediments during the reworking cycle, along with the transport of fine clay particles in colloidal form by water currents. The impact of waves in a high-energy coastal environment also likely played a role in forming this deposit.

5-References

Campbell, FA., Williams, GD., 1965. Chemical composition of shales of Mannville group (lower Cretaceous) of central Alberta, Canada AAPG Bulletin 49(1), 81-87.

Maiza, P., Pieroni, J., Marfil, D., Dominguez, SA., Mas, EA., Cravero, GR., 2003. Geochemistry of hydrothermal kaolins in the SE area of Los Menucos, Province of Rio Negro, Argentina. A Clay Odyssey 1, 123-130.

Nesbitt, H., Young, GM., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica et cosmochimica acta 48 (7), 1523-1534. https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3.

Pohl, WL., 2020. Economic geology: principles and practice. John Wiley & Sons.

Shadan, M., Hosseni Barzi, M., 2010. Depositional environment and diagenesis of the Khan Formation sandstones in Cheshmeh Bakhshi and Chahroof sections, Posht-e-Badam block. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches 26 (2), 105-128.

ISSN: 2717-0764

Seyed-Emami, K., Fürsich, FT., Schairer, G., 2001. Lithostratigraphy, ammonite faunas and palaeoenvironments of Middle Jurassic strata in North and Central Iran. Newsletters on Stratigraphy 163-184.

Seyed-Emami, K., Schairer, G., Fürsich, FT., Wilmsen, M., Majidifard, MR., 2002. Reineckeiidae (Ammonoidea) from the Callovian (Middle Jurassic) of the Shotori Range (East Central Iran). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte pp, 184-192.

Seyed-Emami, K., Fürsich, FT., Wilmsen, M., 2004. Documentation and significance of tectonic events in the northern Tabas Block (east-central Iran) during the Middle and Late Jurassic. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia 110 (1).

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Shoja Sangchouli, M., Niroomand, Sh., Modabberi, S., Ranjbaran, M,. 2025. Petrography, geochemical, and genesis of the Kaolinitic and refractory clay deposit of Chah-Aliakbar, in the Tabas Block. Adv. Appl. Geol. 15(1), 127-151.
DOI: 10.22055/aag.2024.47511.2465
https://aag.scu.ac.ir/article_19847.html

©2025 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

ISSN: 2717-0764

مقاله پژوهشی

سنگ‌نگاری، زمین‌شیمی و خاستگاه کانسار رس کائولینیتی و نسوز چاه‌علی‌اکبر در بلوک طبس

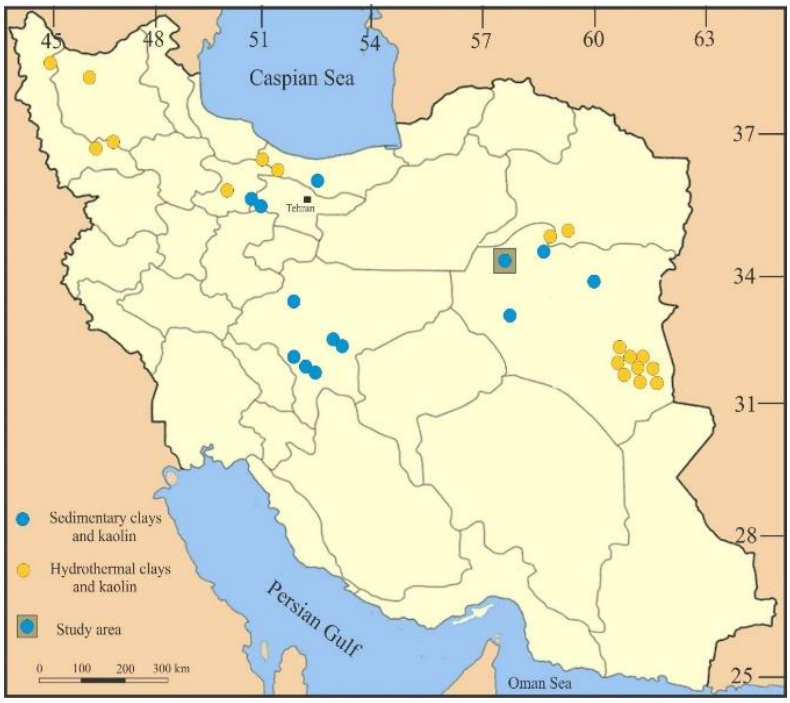
محمود شجاع سنگچولی
دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران
شجاع الدین نیرومند
هیئت علمی دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران
سروش مدبری
هیئت علمی دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران
محسن رنجبران
دانشکده زمین شناسی، پردیس علوم/دانشگاه تهران
niroomand@ut.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸

چکیده
کانسار رس کائولینیتی چاه‌علی‌اکبر از نظر موقعیت زمین‌ساختی در زون ساختاری ایران مرکزی، در قسمت شمالی بلوک طبس و فاصله ۶۵ کیلومتری شمال غرب شهر طبس‌گلشن، به صورت چینه‌کران، در مرز بین سازند خان و سازند سرخ‌شیل و در پرموتریاس تشکیل شده است. شیل‌ها و ماسه‌سنگ‌های واقع در قاعده آخرین لایه آهکی سازند خان (به سن جلفین) میزبان ماده معدنی این کانسار هستند. نتایج کانی‌شناسی نشان‌دهنده وجود کانی‌های کائولینیت، هماتیت و کوارتز به عنوان کانی‌های اصلی و آناتاز، روتیل به عنوان کانی‌های فرعی در کانسنگ کانسار است که از این میان کائولینیت به عنوان کانی باارزش اقتصادی مورد توجه قرار دارد. نتایج داده‌های زمین‌شیمیایی بیانگر اندیس دگرسانی شیمیایی (CIA) بیش از ۸۰ درصد برای این نمونه‌هاست که نشان از عملکرد شدید فرآیند هوازدگی شیمیایی در مراحل ابتدایی تشکیل این کانسار است، به صورتی که حذف کاتیون‌های ناپایدار (K^+، Na^+ و Ca^{2+}) و تبدیل اجزای ناپایدار به کانی‌های رسی پایدار مانند کائولینیت را در پی داشته است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر نهشت این کانسار در یک محیط دریایی و در اثر انتقال ذرات ریز رس به فرم کلوئیدی توسط آب‌های جاری بوده است. همچنین می‌توان نقش مؤثر امواج در یک محیط حاشیه ساحلی پرانرژی را در شکل‌گیری این کانسار پراهمیت دانست.

واژه‌های کلیدی: *رس کائولینیتی، خاک نسوز، کائولینیت رسوبی، چاه‌علی‌اکبر، بلوک طبس*

۱-مقدمه
رس‌های کائولینیتی و نسوز به دسته‌ای از مواد معدنی غیرفلزی گفته می‌شود که در دماهای بالا خواص فیزیکی و شیمیایی خود را حفظ می‌کنند. این‌گونه خاک‌ها دارای نقطه ذوب بالایی هستند و بدین سبب در صنایعی همچون ذوب فلزات، کاشی، سرامیک و ریخته‌گری کاربرد ویژه‌ای دارند (Pohl, 2020) . به طور کلی تمام خاک‌هایی که اصطلاح نسوز در مورد آن به کار می‌رود، در گروه کانی‌های رسی قرار دارند (Klein and Hurlbut, 1999). می‌توان کانسارهای کائولن و رس‌های نسوز ایران را از دیدگاه ویژگی‌های کانی‌شناختی و شرایط تشکیل، به دو نوع تقسیم کرد (Ghorbani, 2013)؛ الف- کانسارهای تیپ دگرسانی یا گرمابی که در ارتباط با فعالیت‌های آتشفشانی و عملکرد محلول‌های گرمابی تشکیل شده‌اند. ماگماتیسم ائوسن پسین و الیگوسن باعث افزایش گرادیان زمین‌گرمایی در بیشتر جاهای ایران شده و توده‌های ماگمایی بسیاری را در ژرفای کم جای داده است که از این رهگذر، محلول‌های گرمابی شکل می‌گیرند. منشأ شکل‌گیری این محلول‌ها یا به طور مستقیم از ماگما و یا در اثر گرم شدن آب‌های زیرسطحی به وسیله ماگما و به جریان افتادن آن‌ها است. این محلول‌ها بر اساس واقعیت‌های موجود دارای مقادیر زیادی یون سولفات‌اند و دگرسانی گسترده‌ای را ایجاد می‌کنند که به تشکیل کانسارهای رسی منجر می‌شود. اکثر این کانسارها در مناطق البرز، آذربایجان و همچنین در شرق ایران (کفترکوه)، گناباد، کاشمر و ساوه تمرکز یافته‌اند. ب- کانسارهای تیپ رسوبی که در رابطه با فرآیند هوازدگی، رسوب‌گذاری و دیاژنز سنگ‌های آتشفشانی به وجود آمده‌اند. این نوع کانسارها معمولاً در تناوب با لایه‌های آهکی و

دولومیتی، شیل و شیل‌های بیتومین دار و به طور کلی در تناوب با سنگ‌های رسوبی کم‌ژرفا قرار دارند و به طور معمول مربوط به پالئوزوئیک پسین - مزوزوئیک پیشین به‌ویژه پرمین- تریاس هستند (کانسار موردمطالعه در این بازه زمانی تشکیل شده است). همچنین تعدادی از آن‌ها نیز به کرتاسه تعلق دارند و در ناحیه آباده شیراز، شرق ایران (رباط خان، طبس، ناحیه گناباد)، شمال غربی (منطقه شاهین‌دژ)، البرز مرکزی (جنوب امین‌آباد در شرق تهران) و منطقه شهرضا واقع شده‌اند. شکل ۱، موقعیت قرارگیری کانسارهای رس کائولینیتی و نسوز نوع رسوبی و گرمابی را در نقشه ایران نشان می‌دهد. با وجود ظرفیت بسیار زیاد بلوک طبس از لحاظ وجود کانسارهای رسی تا کنون مطالعات سیستماتیک چندانی در خصوص زمین‌شیمی، نحوه تشکیل و کاربرد این ذخایر در صنعت صورت نگرفته و مطالعات انجام‌شده در مقیاس منطقه‌ای و ناحیه‌ای پیرامون توالی‌های چینه‌شناسی، تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و گزارش‌های مربوط به آن‌هاست که از جمله آن می‌توان گزارش نقشه‌های زمین‌شناسی طبس ۱:۲۵۰۰۰۰ (Aghanabati, 2004)، حلوان ۱:۱۰۰۰۰۰ (Sheikholeslami and Zamani, 1999) و طبس در مقیاس ۱: ۱۰۰۰۰۰ (Karimi Bavandpour and Hajihosaini, 2001) را نام برد. از مطالعات سالیان اخیر، مطالعه ردیف‌های سنگی سیستم‌های تریاس و ژوراسیک در شمال بلوک طبس و همچنین تأثیر زمین‌ساخت فعال بر تکوین رخساره‌های سنگی موجود در مقیاس‌های جهانی، منطقه‌ای و محلی، بر تکوین رخساره‌های سنگی موجود اشاره کرد (Seyed-Emami et al., 2001; Seyed-Emami et al., 2002; Seyed-Emami, 2004). در این پژوهش کوشش شده است که عوامل، شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، با استفاده از مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و زمین‌شیمیایی بررسی گردد.



شکل ۱- نقشه پراکندگی کانسارهای رس کائولینیتی و نسوز تیپ رسوبی و گرمابی ایران و موقعیت منطقه موردمطالعه بر روی آن، برگرفته از Ghorbani (۲۰۰۲) با تغییرات.

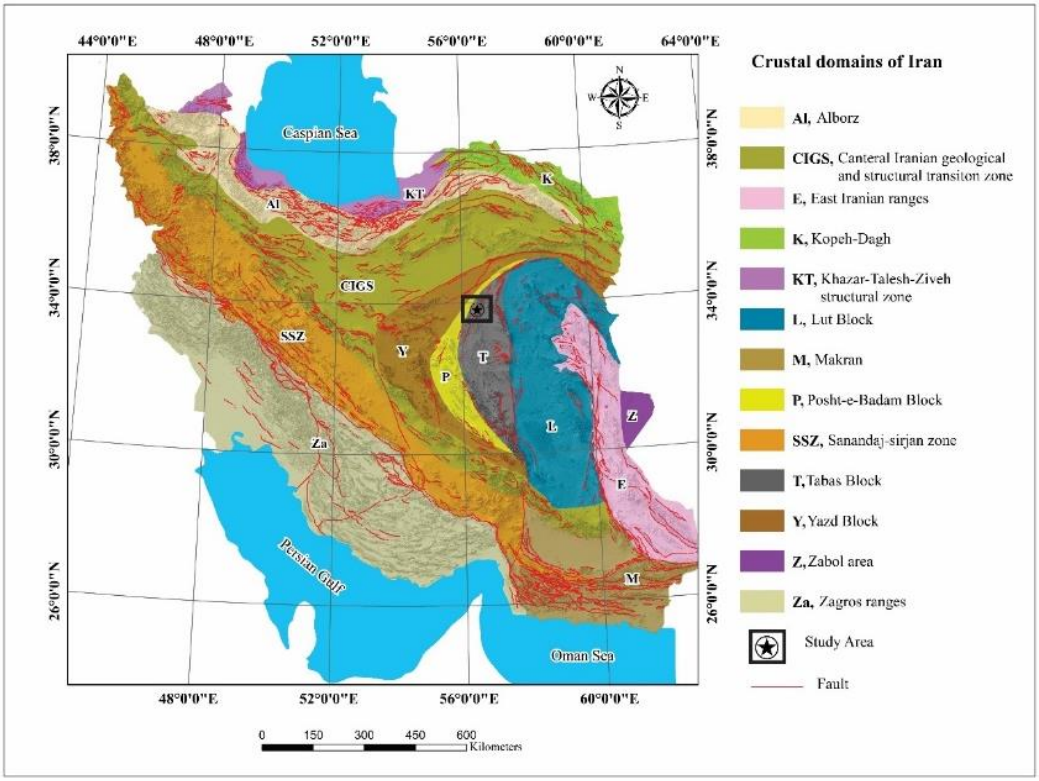
Fig. 1. Distribution map of kaolinite and refractory clay deposits of sedimentary and hydrothermal type in Iran and the location of the study area (with changes from Ghorbani, 2002).

۲- زمین‌شناسی

۲-۱- زمین‌شناسی عمومی

زون ایران مرکزی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین پهنه‌های ساختاری بوده و در آن، سنگ‌ها در همه ادوار از پرکامبرین تا کواترنر و چندین دوره کوهزایی، دگرگونی و ماگماتیسم را پشت سر گذاشته است (Aghanabati, 2004). در مورد تقسیم‌بندی بخش‌های داخلی ایران مرکزی اتفاق‌نظر وجود ندارد (Ghorbani, 2013). بلوک طبس در میان گسل نایبند در

شرق و گسل کلمرد - کوهبنان در غرب منطقه قرار دارد و بخشی از پهنه ساختاری ایران مرکزی است. توالی چینه‌شناسی متفاوت این بلوک نسبت به نواحی مجاور به سبب عملکرد تنش‌های زمین‌ساختی همگرا و بیشتر در راستای شرقی- غربی و همچنین نمود آن به صورت بالا آمدن زمین‌ها و فراخاست کوه‌ها است. این باور وجود دارد که سیمای ریخت‌شناسی و زمین‌ساختی کنونی این بلوک در گرو تجدید فعالیت ساختارهای گسلی و چین‌خوردگی کهن در چرخه زمین-ساختی آلپی است. تکاپوهای آتشفشانی مافیک و حد واسط هرچند ناچیز از ویژگی‌های پالئوزوئیک بلوک طبس است و از این نظر می‌توان بلوک طبس را با کوه‌های البرز مقایسه کرد. فرونشینی شدید از ویژگی‌های بلوک طبس است و در گذشته چنین گمان می‌رفت که این فرونشینی محدود به کوه‌های شتری و شیرگشت باشد اما در حال حاضر مشخص شده که بخش بیشتری از بلوک در پالئوزوییک و به‌ویژه در مزوزوئیک (تا کرتاسه) نشست درخور توجهی داشته است به گونه‌ای که در این بلوک حجم بزرگی از سنگ‌های فانروزوییک وجود دارند که ردیف‌های پالئوزوییک آن ۲ تا ۳ هزار متر و سنگ‌های مزوزوئیک آن گاهی تا ۱۰۰۰۰ متر ستبرا دارند (Aghanabati, 2004). تا پایان پالئوزوئیک هر دو بخش زاگرس و ایران مرکزی یک حوضه پلاتفرمی را تشکیل داده و به همین دلیل نهشته‌های پالئوزوئیک در آنان دارای تفاوت اندکی است. در گذر از دوران اول به دوران دوم زمین‌شناسی به سبب رخداد کوهزایی سیمرین پیشین، حوزه زاگرس از ایران مرکزی جدا شده و برای آن سرگذشتی مستقل رقم خورده است. در بیشتر نواحی ایران سنگ‌های حاوی سنگواره‌های آشکوب دورآشامین (Dorashamian) و بخش بالایی آشکوب جلفین وجود ندارد و مرز پرمین و تریاس ناپیوسته و از نوع دگرشیبی موازی (Unconformity) است و رخداد افق‌های هوازده و عدسی‌های بوکسیت و لاتریت در این زمان این دیدگاه را تائید می‌کند (Aghanabati, 2004). منطقه موردمطالعه از لحاظ تقسیمات زمین ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی، در شمال بلوک طبس، با مختصات طول جغرافیایی بین "۰۰ '۲۶ °۵۶ تا "۴۰ '۲۸ °۵۶ و عرض جغرافیایی "۲۰ '۴۹ °۳۳ تا "۴۰ '۵۰ °۳۳، در قسمت شمالی استان خراسان جنوبی و در فاصله ۶۵ کیلومتری شمال غرب شهر طبس گلشن قرار دارد (شکل ۲) و قسمتی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حلوان (Sheikholeslami and Zamani, 1999)است.



شکل ۲- موقعیت منطقه موردمطالعه در نقشه زون‌های ساختاری ایران، برگرفته از Aghanabati (۲۰۰۴) با اندکی تغییرات.

Fig 2. The location of the studied area in the structural zone map of Iran (with changes from Aghanabati, 2004).

۲-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مشاهدات صحرایی نشان‌دهنده آن است که منطقه از نظر تکتونیکی به‌هم‌ریخته و دارای چین‌خوردگی‌های زیادی است. با مشاهدات و بررسی‌های انجام‌شده به نظر نمی‌رسد تشکیل ماده معدنی ارتباطی با گسل‌ها داشته باشد، هرچند که گسل بزرگ کلمرد با طول بیش از ۵۰۰ کیلومتر از مجاورت شرقی این منطقه می‌گذرد و بسیاری از گسل‌های کوچک منطقه را می‌توان شاخه‌هایی فرعی از این گسل بزرگ دانست. می‌توان متصور شد که حرکات گسل کلمرد سرگذشت زمین‌شناسی رسوبات این منطقه را تحت تأثیر قرار داده و فشارهای ناشی از حرکات این گسل بزرگ باعث ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌هایی در محدوده موردمطالعه شده باشد. بر پایه بررسی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ حلوان، پیمایش‌های میدانی انجام‌شده و تهیه‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ کانسار چاه‌علی‌اکبر (شکل ۳) مهم‌ترین واحدهای سنگی مربوط به واحدهای رسوبی پرمین بالایی تا ژوراسیک بالایی هستند که در منطقه چاه‌علی اکبر برون‌زد دارند:

- سازند خان: در توالی چینه‌شناسی این محدوده قدیمی‌ترین سنگ‌ها و رسوبات با سن پرمین، مربوط به سازند خان هستند. نهشته‌های سازند خان در شمال و شمال شرق محدوده قرار دارد که از نمایی کلی به صورت آهک‌های خاکستری (شکل a۴) رنگ دیده می‌شوند و از نظر ریخت‌شناسی ساختاری مرتفع دارند. توالی مذکور از کانی‌های کربنات کلسیم یا از دولومیت تشکیل شده‌اند. بافت مشخص در آن‌ها آهک ریزدانه (میکرواسپاری) تشکیل شده و در نمونه دستی طیفی از رنگ‌های خاکستری تا خاکستری تیره و خاکستری مایل به زرد را نشان می‌دهند.

- سازند سرخ‌شیل: نهشته‌های این سازند با سن تریاس زیرین و با ناپیوستگی هم‌شیب بر روی قسمت فوقانی سازند خان قرار می‌گیرند. ترکیب توالی مذکور شامل سنگ آهک‌های رسی، شیل‌های آهکی قرمزرنگ و ماسه‌سنگ‌های کوارتزیتی آهن‌دار است. این سازند از لحاظ ریخت‌شناسی ساختاری کم ارتفاع دارد. از رنگ قرمز این سازند می‌توان در منطقه، به عنوان باند راهنما برای شناسایی ماده معدنی استفاده کرد و ماده معدنی موردمطالعه نیز در بسیاری از نقاط در بین این دو سازند برون‌زد دارد. در قسمت‌هایی از این محدوده توالی چینه‌شناسی سازند خان و سرخ‌شیل به صورت ساختار یک ناودیس بازمانده قدیمی به چشم می‌خورد (شکل a۴). - سازند شتری: این سازند با سن تریاس زیرین تا میانی از شمال تا جنوب منطقه گسترش دارد و با یک مرز تدریجی بر روی سازند سرخ‌شیل قرار گرفته است. ترکیب توالی مذکور شامل سنگ‌آهک و دولومیت‌های ضخیم لایه که به صورت تناوبی از نوارهای منظم و متناوب خاکستری روشن و تیره دیده می‌شود (شکل b۴).

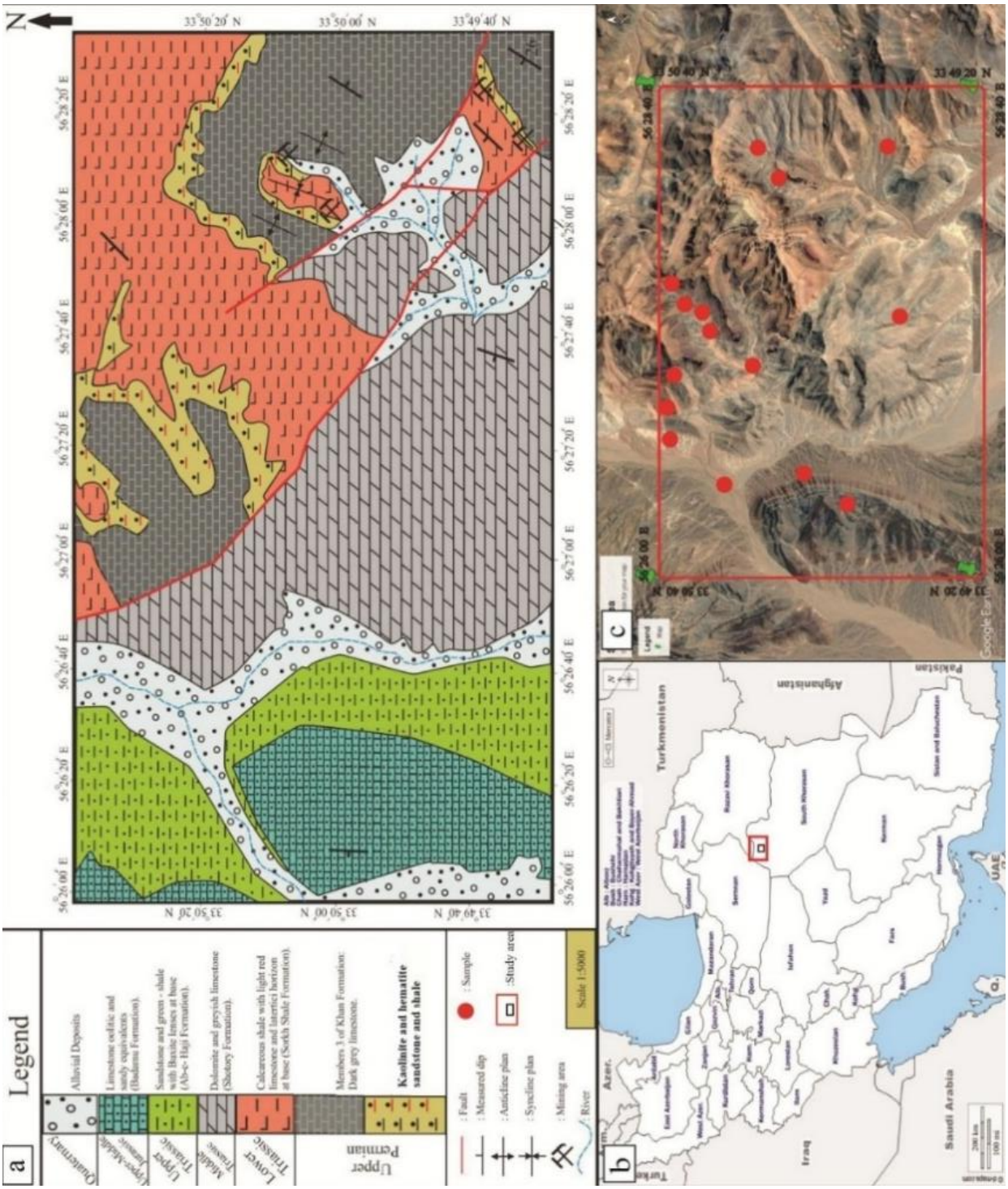
- سازند آب حاجی: با سن تریاس بالایی در قسمت شمال غربی و غرب تا جنوب غربی منطقه موردمطالعه واقع شده است. ترکیب توالی مذکور به طور عمده شامل شیل و ماسه‌سنگ‌های سبزرنگ است. از شمال به جنوب منطقه ضخامت این سازند کاهش می‌یابد (شکل c۴).

- سازند بادامو: به سن ژوراسیک میانی تا بالایی و در بخش شمال غربی و غرب تا جنوب غربی منطقه قرار دارد و از سنگ آهک ائولیتی و سنگ آهک ماسه‌ای با آثار لایه‌بندی متقاطع تشکیل شده است (شکل d۴).

- رسوبات عهد حاضر: رسوبات عهد حاضر (به سن کواترنری) به طور عمده قسمت‌هایی از شمال تا جنوب محدوده را شامل می‌شوند و به صورت آبرفت‌های رودخانه‌ای، پهنه‌های پوشیده از مواد تخریبی در اندازه‌های متفاوت (از ماسه تا قلوه‌سنگ) تشکیل شده‌اند و همچنین در آن‌ها لایه‌های سیلتی، رسی و ماسه‌ای دانه‌ریز دیده می‌شود (شکل a۴).

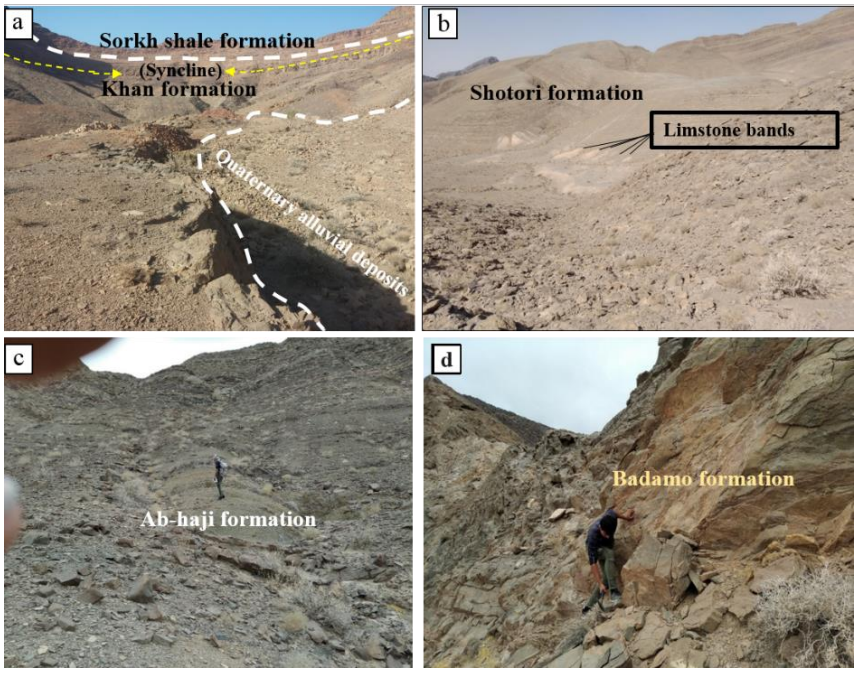
۲-۲-۱- جایگاه ماده معدنی

تشکیل ذخیره معدنی در حدفاصل سازند خان و سازند سرخ‌شیل به صورت چینه‌کران و لایه‌ای شکل در وقفه زمانی پرمو-تریاس با میزبانی ماسه‌سنگ‌ها رخ داده است. به طور دقیق‌تر ماده معدنی به صورت ماسه‌سنگ‌های کائولینیتی و هماتیتی با ضخامت حدود ۸ تا ۱۶ متر در قاعده آخرین لایه آهکی سازند خان (به سن جلفین) قرار دارد. از بخش بالایی به پایین سنگ‌آهک‌های خاکستری تیره‌رنگ تشکیل‌دهنده کمربالای ماده معدنی هستند که به طور متوسط در محدوده اکتشافی ۱۲ متر ضخامت دارند و رسوبات ماسه‌سنگی و شیلی تفکیک نشده تشکیل‌دهنده کمر پایین ماده معدنی است (شکل a۵ و b). شیب لایه‌ها حدود ۸ تا ۴۰ درجه است که در کارگاه اکتشافی شماره یک، در حدود ۲۶ درجه و جهت آن به سمت شمال غربی و در کارگاه اکتشافی شماره دو، شیب لایه‌ها در یال غربی ناودیس به سمت غرب و در حدود ۸ تا ۱۲ درجه و در یال شرقی آن به طرف شرق و در حدود ۱۲ تا ۲۵ درجه است. طول رخنمونی ماده معدنی در مجموع دو کارگاه اکتشافی در حدود یک کیلومتر و گسترش کانسار در جهت عرضی (شرقی- غربی) حدود ۵۰۰ متر می‌باشد.



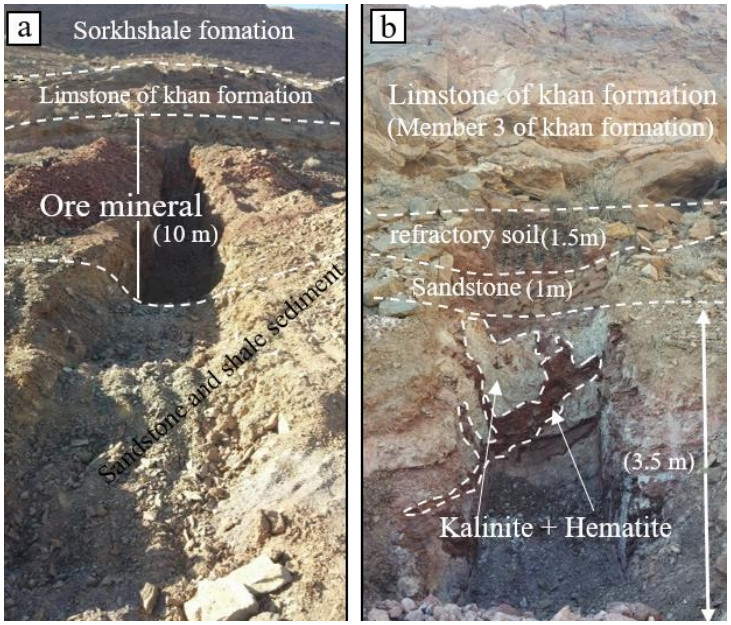
شکل ۳- (a) نقشه تهیه‌شده از محدوده کانسار چاه‌علی‌اکبر در مقیاس ۱:۵۰۰۰، (b) کادر قرمز رنگ نشان دهنده موقعیت منطقه موردمطالعه در نقشه‌ی استانی ایران و (c) موقعیت نمونه‌های برداشت‌شده از کانسار چاه‌علی‌اکبر درتصویرگوگل ارث.

Fig 3. (a) The 1:5000 geological map of the Chah-Aliakbar deposit, (b) The red box shows the location of the study area on the provincial map of Iran, (c) The location of the samples from the Chah-Aliakbar deposit on the Google Earth image.



شکل ۴- (a) موقعیت توالی‌های چینه‌شناسی سازند خان و سرخ‌شیل به شکل یک ناودیس و همچنین رسوبات عهد حاضر در بستر رودخانه (دید به سمت شمال شرقی)، (b) نمایی از سازند شتری همراه با تناوب تیره و روشن رنگ لایه‌های آهکی و دولومیتی (دید به سمت شمال)، (c) نمایی از سازند آب‌حاجی با رسوبات، ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سبزرنگ (دید به سمت غرب) و (d) نمایی نزدیک از سازند آهکی بادامو (دید به سمت شمال غربی).

Fig 4. (a) stratigraphic sequences of the Khan and Sorkh Shale Formations appeared as a syncline, as well as the Recent sediments in the river bed (View to the northeast), (b) A view of the Shotroi Formation with the dark and light alternation of limestone and dolomite layers (View to the north), (c) A view of Ab Haji Formation with sandstone and green shale sediments (View to the west), and (d) closeup view of the Badamo limestone Formation (View to the northwest).



شکل ۵- (a) موقعیت قرارگیری لایه ماسه‌سنگ میزبان ماده معدنی کانسار در بین لایه کمربالا و کمرپایین در نمایی کلی از یک رخنمون و (b) در نمایی نزدیک از یک ترانشه.

Fig 5. (a) The location of the sandstone layer hosting the deposit between the hanging wall and foot wall layers in a general view of an outcrop, and (b) a close-up view of a trench.

۳- روش پژوهش

جمع‌آوری اطلاعات، بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری به صورت پیمایشی و مطالعات دفتری و آزمایشگاهی در جهت اهداف پژوهش صورت پذیرفت. با بررسی‌های میدانی، نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی موردنظر این پژوهش در مقیاس ۱:۵۰۰۰ جهت نشان دادن پراکندگی واحدهای سنگ‌شناسی، تعیین جایگاه ماده معدنی، شناسایی گسل‌ها و دیگر ساختمان-های زمین‌شناسی، با استفاده از نرم‌افزار ArcGis ترسیم شد. در مجموع ۵۴ نمونه از منطقه‌ای به وسعت ۱۳/۴ کیلومترمربع و در امتداد چند پروفیل قائم و عمود بر گسترش ماده معدنی برداشت شد. از این تعداد ۸ نمونه مقطع نازک جهت انجام مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناختی در کارگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه و در آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه تهران با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان (نور عبوری) مدل Olympus مطالعه شد. سپس تعداد ۲۷ نمونه به منظور تعیین درصد اکسیدهای اصلی به روش فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور با دستگاه MAGIX-PRO انجام گرفت. همچنین برای تکمیل مطالعات زمین-شیمیایی و شناسایی عناصر فرعی و خاکی تعداد ۲ نمونه به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICPMS) در آزمایشگاه مرکز مطالعات کاربردی سازمان زمین‌شناسی مورد تجزیه شیمیایی و آزمایش قرار گرفت.

۴- کانه‌نگاری و سنگ‌نگاری

۴-۱- کانی‌شناسی

مطالعات صورت گرفته بر روی نمونه‌های برداشت‌شده از کانسنگ کانسار چاه‌علی‌اکبر که و آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) (جدول ۱) صورت گرفته بر روی آن‌ها نشان‌دهنده وجود کانی‌های: کوارتز + هماتیت + کائولینیت (به عنوان کانی-های اصلی) و روتیل + آناتاز + فلدسپار (به عنوان کانی‌های فرعی) در ترکیب کانی‌شناسی کانسنگ این کانسار است.

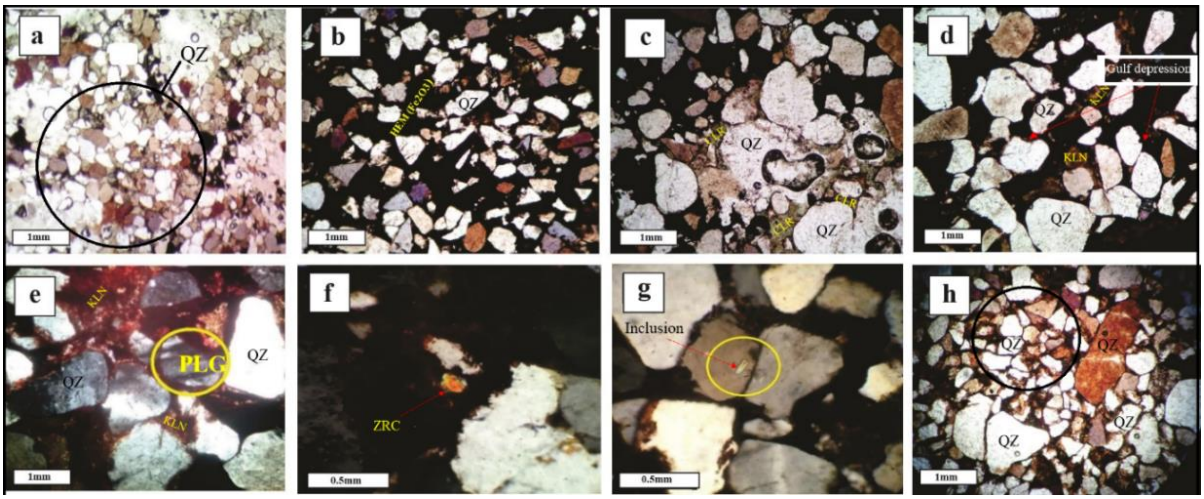
۴-۲- مطالعه مقاطع نازک

با مطالعه سنگ‌های رسوبی- آواری به‌ویژه ماسه‌سنگ‌ها می‌توان داده‌های ارزشمندی را از محیط رسوبی و جایگاه ژئودینامیکی گذشته به دست آورد (Rieser et al., 2005). ماسه‌سنگ‌های موردمطالعه سنگ‌نگاری در سازند خان، میزبان ماده معدنی هستند. رنگ آن‌ها در نمونه دستی به رنگ قرمز، خاکستری و خاکستری مایل به زرد دیده می‌شود. کوارتز تک‌بلوری با خاموشی موجی و مستقیم و با فراوانی ۹۵ درصد بیشترین کانی آواری تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگ‌های سازند خان از نظر تعداد به شمار می‌آید. بلورهای کوارتز در این ماسه‌سنگ‌ها در اندازه‌های گوناگون به صورت نیمه‌گرد شده و در بعضی نقاط، بصورت گردشده دیده می‌شود و به طور کلی دارای جورشدگی و گردشدگی خوبی است. به عبارتی بلوغ کانیایی و بافتی آن‌ها بالاست و فابریکی فشرده دارند (شکل a۶). همچنین مقادیر اندک کانی‌های رسی و به‌ندرت فلدسپات و کانی‌های مقاوم مانند زیرکن از دیگر اجزاء تشکیل‌دهنده آن‌ها است. حضور اجتماعاتی از کانی کلریت به عنوان سیمان در اطراف دانه‌های آواری کوارتز با اشغال فضای خالی باعث کاهش تخلخل در ماسه‌سنگ‌ها شده است (شکل b۶). بلورهای کوارتز به طور معمول در زمینه‌ای از سیمان اکسید آهن پراکنده‌اند (شکل c۶). همچنین در زمینه و بین بلورهای کوارتز تجمع کانی کائولینیت دیده می‌شود. بافت خلیجی بر روی سطوح دانه‌های کوارتز ناشی از پدیده انحلال است (شکل d۶) که به عنوان کانی اصلی و باارزش این کانسار موردنظر است. با توجه به نسبت اجزای اصلی تشکیل‌دهنده ماسه‌سنگی در دیاگرام مثلثی فولک (QFL)، می‌توان این ماسه‌سنگ‌ها را در محدوده کوارتز آرنایت قرار داد (Folk, 1980) فراوانی فلدسپارها در این ماسه‌سنگ‌ها بسیار ناچیز است، هرچند به ندرت کانی پلاژیوکلاز با هم‌رشدی پلی-سنتتیک شاخص که بر اثر فرسایش از بین نرفته در کنار بلورهای کوارتز دیده می‌شود (شکل e۶). زیرکن با برجستگی مشخص و با گردشدگی خوب در ماسه‌سنگ‌های میزبان ماده معدنی، از کانی‌های مقاوم و نادری است که در این ماسه‌سنگ‌ها دیده شد و به نظر می‌رسد که به علت مقاومت فیزیکی و شیمیایی، در فرایند حمل و نقل و رسوب‌گذاری حفظ شده است (شکل f۶). تعدادی از کوارتزها دارای میانبار هستند که دارای منشأ آذرین است (شکل g۷). در بعضی مقاطع دو نوع قطعات کوارتز در ماسه‌سنگ دیده می‌شود: ۱-گردشده با اندازه بزرگ‌تر (تا ۲ میلی‌متر) ۲- زاویه‌دار با اندازه کوچک‌تر (تا ۰/۵ میلی‌متر) که می‌تواند نشان‌دهنده محیطی با دو انرژی متفاوت باشد. (شکل h۷).

جدول ۱- نتایج آزمایش پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌های کانسنگ کانسار چاه‌علی‌اکبر.

Table 1. X-ray diffraction (XRD) test results of ore samples from the Chah-Aliakbar deposit.

SAMPEL.N	ROCK TYPE	XRD RESULTS
CHA- 27	Shale/sandstone	PYROPHILLITE + HEMATITE + KAOLINITE
CHA-33	Shale/sandstone	KAOLINITE+ HEMATITE + FELDESPAR
CHA-34	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-35	Shale/sandstone	KAOLINITE+ HEMATITE + GEHLENITE + FELDESPAR + ANATAZ + HALITE
CHA-36	Shale/sandstone	KAOLINITE+ HEMATITE + RUTILE + HALITE
CHA-37	Shale/sandstone	KAOLINITE+ HEMATITE + RUTILE
CHA-39	Shale/sandstone	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE + FELDESPAR
CHA-40	Shale/sandstone	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE+ ANATAZ
CHA-41	Shale/sandstone	QUARTZ+ KAOLINITE + HEMATITE+ FELDESPAR+ RUTILE
CHA-42	Shale/sandstone	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE + QUARTZ+ ILLITE
CHA-44	Shale/sandstone	KAOLINITE QUARTZ+ HEMATITE+ RUTILE
CHA-45	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-46	Shale/sandstone	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE
CHA-48	Shale/sandstone	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE+ HALITE
CHA-49	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-50	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE+ RUTILE
CHA-51	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE+ RUTILE
CHA-52	Shale/sandstone	HEMATITE + KAOLINITE
CHA-53	Shale/sandstone	KAOLINITE + HEMATITE+ RUTILE
CHA-54	Shale/sandstone	CALCITE + KAOLINITE



شکل ۶- (a) فابریک فشرده دانه‌های کوارتز در ماسه‌سنگ، همراه با گرد شدگی و جورشدگی خوب (نور XPL)، (b) سیمان هماتیتی (HEM) در بین بلورهای کوارتز (Q) (نور XPL)، (c) تجمع کانی کلریت (CLR) در بین بلورهای کوارتز (نور XPL)، (d) تجمع کانی کائولینیت (KLN) و هماتیت در بین بلورهای کوارتز با (Gulf depression) فرورفتگی‌های خلیجی (نور XPL)، (e) کانی پلاژیوکلاز (PLG) با هم‌رشدی مشخص پلی‌سنتتیک به همراه تجمع کانی کائولینیت در بین بلورهای کوارتز (نور XPL)، (f) کانی زیرکن (ZRC) با برجستگی و رنگ مشخص (نور XPL)، (g) میانبار در بلور کوارتز (نور XPL) و (h) بافت دانه‌درشت و دانه‌ریز کانی کوارتز در کنار هم (نور XPL).

Fig 6. (a) Compact fabric of quartz grains in sandstone, with rounding and good sorting (XPL light), (b) Hematite cement between quartz grains (XPL), (c) Chlorite accumulation between quartz grains (XPL light), (d) Kaolinite and hematite accumulation between quartz grains with Gulf depression (XPL), (e) Plagioclase with specific polysynthetic twinning along with kaolinite mineral accumulation between quartz grains (XPL), (f) Zircon with distinct relief and color (XPL), (i) inclusion in the quartz grains (XPL), snd (j) texture of coarse-grained and fine-grained quartz.

۵- زمین‌شیمی

زمین‌شیمی سنگ‌های رسوبی تابع پیچیده‌ای از متغیرهایی مانند ترکیب شیمیایی سنگ مادر، هوازدگی، حمل، جورشدگی فیزیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز است؛ بنابراین می‌توان از ترکیب شیمیایی کلی سنگ‌های رسوبی آواری به عنوان ابزاری مؤثر جهت شناخت فاکتورهایی که خواص رسوبات را در طی رسوب‌گذاری و بعد از آن کنترل می‌کنند استفاده نمود (Mclennan et al., 1990; Bock et al., 1994; Condie et al., 1995). همچنین از داده‌های زمین‌شیمیایی برای تعیین سنگ‌شناسی ناحیه منشأ (Das et al., 2006; ., 2007)، جایگاه زمین‌ساختی (Roser and Korsch, 1988) و هوازدگی شیمیایی (Fedo et al., 1995; Hessler and lowe, 2006). استفاده می‌شود. با استفاده از نتایج تجزیه زمین‌شیمیایی و همچنین رسم نمودارها سعی شده تا ضمن بررسی اثر هوازدگی شیمیایی و فرایندهای مؤثر بر شکل‌گیری ماسه‌سنگ‌های نام برده شده، به خاستگاه احتمالی، محیط و چگونگی تشکیل کانسار پرداخته شود.

۵-۱- عناصر اصلی

از آنالیز عناصر اصلی و تفسیر آن‌ها همراه با ترکیبات دیگر به منظور مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه‌های مدنظر با سنگ‌هایی که ترکیب آن‌ها با سنگ‌شناسی تجربی تهیه شده و همچنین برای تشخیص پارامترهایی که در شرایط تشکیل کانسنگ مؤثر است استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). مطالعه عناصر اصلی اغلب به ۱۰ عنصر (Si,Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) که به طور مرسوم در تجزیه شیمیایی به صورت اکسید بیان می‌شوند محدود می‌شود (Rollinson., 1993). در میان این اکسیدها Na2O، CaO، K2O و MgO از نظر زمین-شیمیایی متحرک و اکسیدهای TiO2 و Al2O3 غیر متحرک-اند (Bauluz et al., 2000). نتایج تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی کائولینیتی و هماتیتی کانسار چاه‌علی‌اکبر. مقادیر بر حسب درصد وزنی می‌باشند.
Table 2. Geochemical data of major elements for kaolinitic and hematitic sandstone samples from the Chah-Aliakbar deposit. All data are in wt.%.

SAMPEL.N	ROCK TYPE	L.O. I	TiO2	MnO	P2O5	K2O	Na2O	MgO	CaO	Fe2O3	Al2O3	SiO2
CHA- 07	Sandstone/Shale	9.3	5.6	<1	<1	0.3	<1	0.6	0.2	21.3	27.3	34.7
CHA- 11	Sandstone/Shale	1.9	0.8	<1	<1	<1	<1	0.7	0.9	13.6	4.7	77.2
CHA-19	Sandstone/Shale	3.5	1.9	0.2	0.1	<1	<1	0.9	0.6	31.7	6.5	54.1
CHA-26	Sandstone/Shale	4.3	1.7	n. d	0.3	0.6	0.3	<1	0.8	49.0	14.6	28.1
CHA-27	Sandstone/Shale	9.2	3.7	<1	<1	0.5	0.3	0.4	2.3	20.1	25.9	37.1
CHA-29	Sandstone/Shale	3.0	2.5	<1	0.2	0.3	0.1	0.4	0.6	24.5	14.1	54
CHA-33	Sandstone/Shale	12.4	7.3	<1	<1	<1	0.5	<1	0.2	5.4	34.2	39.2
CHA-34	Sandstone/Shale	8.5	2.8	<1	<1	0.4	0.4	1.1	0.4	53.9	16.1	16.5
CHA-35	Sandstone/Shale	12.5	7.0	n. d	0.2	0.8	1.1	<1	3.0	10.2	29.7	34
CHA-36	Sandstone/Shale	9.8	4.1	n. d	<1	1.1	2.3	<1	1.2	18.6	28.0	33.2
CHA-37	Sandstone/Shale	7.8	7.2	<1	<1	<1	1.6	<1	0.1	14.8	28.1	38.8
CHA-38	Sandstone/Shale	1.9	1.7	<1	<1	1.9	<1	0.6	0.4	14.9	6.0	74.2
CHA-39	Sandstone/Shale	6.5	5.3	n. d	0.1	0.1	2.4	0.3	1.0	15.8	25.4	40.2
CHA- 40	Sandstone/Shale	4.4	6.3	<1	0.2	1.2	<1	1.3	0.4	38.8	11.0	36.6
CHA- 41	Sandstone/Shale	6.5	6.0	n. d	0.1	0.9	2.5	0.4	0.8	15.3	24.6	42
CHA- 42	Sandstone/Shale	10.5	7.2	n. d	<1	0.6	2.1	0.3	2.0	13.1	29.0	34
CHA- 43	Sandstone/Shale	4.2	2.5	<1	0.1	0.6	0.5	1	0.4	30.1	12.4	47.8
CHA- 44	Sandstone/Shale	9.6	5.5	<1	0.2	0.6	0.9	<1	0.3	16.9	29.9	35.3
CHA- 45	Sandstone/Shale	8.3	3.4	n. d	<1	0.5	0.7	<1	0.3	39.9	21.2	25.3
CHA- 46	Sandstone/Shale	11.1	5.0	n. d	<1	0.8	1.0	<1	0.3	5.8	33.9	41.6
CHA- 47	Sandstone/Shale	8.1	1.7	<1	<1	0.1	0.1	0.2	0.6	18.2	8.0	62.6
CHA- 48	Sandstone/Shale	8.3	6.5	n. d	0.1	1.2	1.9	<1	0.4	13.7	29.4	37.9
CHA- 49	Sandstone/Shale	8.5	3.5	<1	0.3	0.4	0.5	0.5	0.8	60.6	16.5	18.3
CHA- 50	Sandstone/Shale	7.4	4.6	<1	0.3	0.9	1.3	<1	0.7	34.8	24.1	26.5
CHA- 51	Sandstone/Shale	8.6	5.1	n. d	0.1	0.7	1.2	<1	0.3	28.7	25.7	29.2
CHA- 52	Sandstone/Shale	5.5	2.1	n. d	<1	0.3	0.5	0.3	0.3	62.0	13.1	16.5
CHA- 53	Sandstone/Shale	10.0	7.0	<1	<1	1.4	1.9	<1	0.5	6.7	34.2	37.5

جدول ۳- نتایج تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای نمونه‌های ماسه‌سنگی کائولینیتی و هماتیتی کانسار چاه‌علی‌اکبر. مقادیر بر حسب گرم در تن (ppm) می‌باشند.

Table 3. Geochemical data of trace and rare earth elements for kaolinitic and hematitic sandstone samples from the Chah-Aliakbar deposit. All data are in ppm.

SAMPEL.N	ROCK TYPE	Ba	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Th	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	U	W	Mo
CHA-26	Sandstone/Shale	301.0	12.1	140.0	17.2	1043.0	142.1	20.2	98.2	606.0	24.1	53.3	10.7	5.32	1.72	0.80
CHA-27	Sandstone/Shale	11.5	12.9	129.0	18.1	1106.1	148.6	20.5	17.7	123.0	31.0	60.2	23.5	5.62	1.47	0.54

۶- بحث و بررسی

۶-۱- طبقه‌بندی زمین‌شیمیایی نمونه‌ها

استفاده از زمین‌شیمی و تجزیه عناصر اصلی توسط دستگاه آزمایش فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) نیز می‌تواند افزون بر روش‌های سنگ‌نگاری و تجزیه مودال، در طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی مؤثر باشد (Das et al;2006). رسم داده‌های حاصل از تجزیه زمین‌شیمیایی عناصر اصلی مربوط به نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر بر روی نمودار و بر اساس مطالعات انجام‌شده (Herron,1988)، نشان‌دهنده موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در محدوده شیل‌های آهن‌دار و ماسه‌سنگ آهن‌دار است (شکل ۷).

۶-۲- بررسی روند هوازدگی و اقلیم دیرین

در بررسی سازوکارهای رسوبی و هوازدگی، تفاوت بارزی در عملکرد عناصر اصلی مشاهده می‌شود. عناصری همانند: Ti و Al در مطالعات زمین‌شیمیایی جزو هیدرولیزات‌های پایدار هستند و رفتار نامتحرکی را نشان می‌دهند. تعداد دیگری از عناصر قلیایی و قلیایی خاکی مانندK, Na, Mg, Ca به دلیل دارا بودن پتانسیل یونی پایین با تشکیل کمپلکس‌های محلول از محیط شسته می‌شوند. میزان تحرک در شرایط هوازدگی چند نمونه از عناصر اصلی تحت شرایط Eh و PH ثابت به ترتیب زیر می‌باشند (Mason and Moore, 1982),

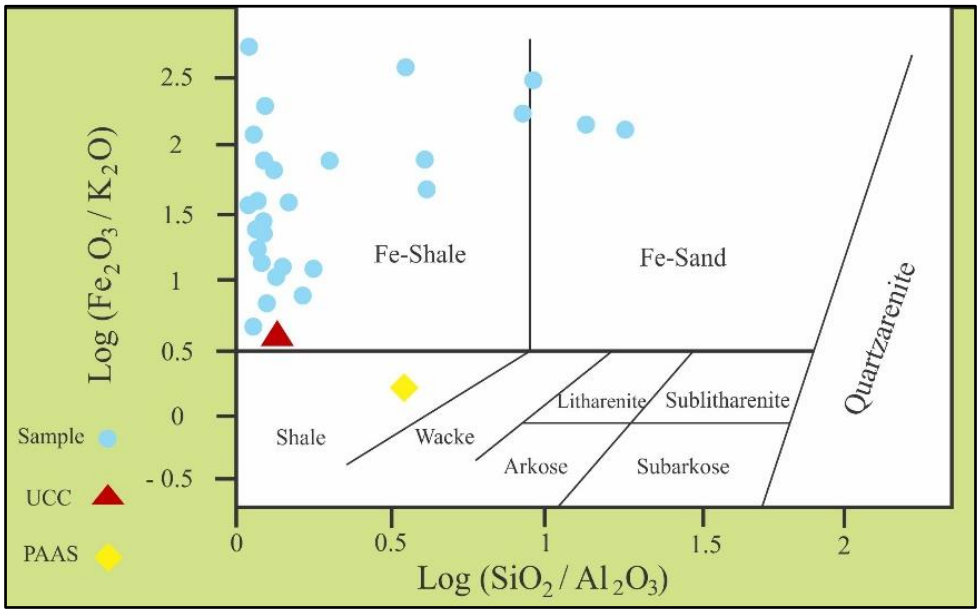
$TiO2 < Al2O3 < Fe2O3 < Si2O < MgO < CaO < K2O < Na2O$

توزیع عناصر اصلی می‌تواند بازتابی از کانی‌شناسی نمونه‌های موردبررسی باشد. با استفاده از نتایج داده‌های آزمایش XRF (جدول ۲) بر روی نمونه‌های ماسه‌سنگی کانسار چاه‌علی اکبر محاسبه مقادیر میانگین کل نمونه‌ها برای غلظت اکسید هر یک از عناصر اصلی نمونه‌های برداشت‌شده انجام و در مقابل آن، مقادیر متناظر نمونه‌های استانداردثبت شده حاصل از مطالعات تیلور (۱۹۸۱) برای PAAS (رسوبات آرکئن استرالیا)، NASC (ترکیب شیل آمریکای شمالی) و UCC (ترکیب پوسته بالایی) جهت بررسی روند هوازدگی و سایر مطالعات زمین‌شیمیایی قرار داده شد (جدول ۳).

میزان تهی‌شدگی کانسنگ رسی از ترکیبات Na_2O، CaO، K_2O، MgO، یا به بیان دیگر فقیر بودن کانسنگ کانسار چاه‌علی‌اکبر از این ترکیبات را می‌توان ناشی از عملکرد مؤثر فرآیند هوازدگی بر روی این کانسار دانست و هرچه مقدار این تهی شدگی بیشتر باشد نشان‌دهنده عملکرد شدیدتر و مؤثرتر فرآیند هوازدگی است. نتایج آنالیز مربوط به نمونه‌های برداشت‌شده از کانسار چاه‌علی‌اکبر نشان از تهی‌شدگی ماده معدنی این کانسار از اکسیدهای Na_2O، CaO، K_2O و MgO نسبت به مقادیر متناظر آن در نمونه‌های استاندارد ثبت‌شده PAAS، NASC و UCC دارد که گویای تحرک بالای این ترکیبات در خلال روند هوازدگی در کانسنگ این کانسار است که به صورت فروشست محیط را ترک کرده‌اند. غلظت Al_2O_3 در ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر بیشتر از مقادیر متناظر ثبت‌شده آن در نمونه‌های PAAS، NASC و UCC بوده و به عبارتی نشان‌دهنده غنی‌شدگی کانسنگ این کانسار از مقدار غلظت ترکیب Al_2O_3 است که می‌تواند ناشی از تحرک زمین‌شیمیایی کم عنصر آلومینیوم باشد که در هنگام فروشست و خارج شدن عناصر متحرک در محیط باقی مانده است. همچنین Ti جزو کم‌تحرک‌ترین عناصر از لحاظ خصوصیات زمین‌شیمیایی است و در برابر عوامل فرسایش و حمل و نقل بسیار مقاوم است. بدیهی است که این عنصر و اکسید آن (TiO_2) در خلال هوازدگی در محیط باقی مانده و در رسوبات متمرکز می‌شود. غلظت ترکیب TiO_2 در کانسنگ رسی کانسار چاه‌علی‌اکبر

درصد بسیار بالایی را با مقدار میانگین ۴/۳۷ wt% در کل نمونه‌های برداشت‌شده نشان می‌دهد که از مقدار غلظت میانگین آن در نمونه‌های استاندارد ثبت‌شده (PAAS، NASC و UCC) بسیار بالاتر است. همچنین مقدار میانگین غلظت ترکیب SiO_2 نمونه‌های برداشت‌شده از این کانسار در مقایسه با مقادیر این ترکیب در رسوبات آرکئن استرالیا، ترکیب شیل آمریکای شمالی و ترکیب پوسته فوقانی نشان از تهی‌شدگی کانسنگ کانسار چاه‌علی‌اکبر از ترکیب SiO_2 است ولی با این وجود همچنان مقادیر SiO_2 در این کانسار قابل‌توجه است. میزان میانگین غلظت ترکیب Al_2O_3 این کانسار بیشتر از مقادیر ثبت‌شده آن در PAAS، NASC و UCC است و نسبت به آن‌ها غنی‌شدگی نشان می‌دهد که می‌توان دلیل آن را فراوانی کانی‌های رسی در نمونه‌های موردمطالعه و مقاومت و عدم تغییر و تحرک زمین‌شیمیایی آلومینیم در ترکیب Al_2O_3 در خلال فرآیندهای هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی دانست، این در حالی است که Na_2O، CaO و K_2O به عنوان فازهای متغیر شناخته می‌شوند که در برابر فرآیندهای ذکرشده مقاومت کمی دارند (Getaneh, 2000). غنی‌شدگی بالای نمونه‌های موردمطالعه از ترکیب Fe_2O_3 نسبت به مقادیر آن در استانداردهای PAAS، NASC و UCC را می‌توان به قابلیت تحرک کم زمین‌شیمیایی عنصر Fe و نیز جایگزینی و تثبیت Fe^{+3} بجای Al^{+3} در مواضع اکتاهدری در ساختار ایلیت دانست (Brindley, 1970)، چنانچه وجود کانی ایلیت در نتایج آنالیز XRD (جدول ۱) نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر نشان داده شده است. هوازدگی شیمیایی بر روی عناصر اصلی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی آواری تأثیر زیادی دارد (Nesbitt and Young,1982; McLennan, 1993). تاریخچه هوازدگی سنگ‌های آواری را اغلب توسط محاسبه نسبت اکسیدهای متحرک Na_2O، CaO، K_2O به اکسید نا متحرک Al_2O_3 تخمین می‌زنند (Nesbitt and Young, 1984, 1989). اندیسی که در این رابطه بیشترین استفاده را دارد اندیس شیمیایی دگرسانی است (Nesbitt and Young, 1982). این اندیس توسط فرمول زیر به دست می‌آید و اکسیدها در آن به صورت نسبت مولی بیان می‌شود: $CIA=(Al_2O_3/Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)\times100$

روند هوازدگی را می‌توان با استفاده از نسبت‌های مولی عناصر و توسط مثلث A-CN-K ($CaO- Na_2O- K_2O$) (Al_2O_3-)، به دست آورد (Nesbitt and Young, 1984). در این نمودار با توجه به فاصله قرارگیری نمونه‌ها نسبت به قطب Al_2O_3، هرچه موقعیت نمونه‌ها به قطب Al_2O_3 نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده عملکرد شدیدتر هوازدگی شیمیایی در محیط رسوبات خواهد بود. انجام محاسبات بر مبنای غلظت اکسید عناصر اصلی نمونه‌های برداشت شده از کانسنگ کانسار چاه-علی‌اکبر و نمایش این داده‌ها بر روی نمودار A-CN-K (شکل ۸)، نشان داد که رسوبات هوازدگی بسیار شدیدی را متحمل شده‌اند به طوری که این هوازدگی در مقایسه با نمونه‌های استاندارد ثبت‌شده NASC, UCC و PAAS به‌مراتب بیشتر بوده و به‌گونه‌ای پیش رفته است که مؤلفه‌های Na_2O، CaO، K_2O، کاهش سریعی را در مقدار غلظت خود نشان می‌دهند. چنانکه در هوازدگی پیشرفته با حرکت ترکیب‌ها به سمت رأس A، افت آشکاری در K_2O بروز می‌کند (Nesbitt and Young, 1984). میزان بالای CIA منعکس‌کننده حذف کاتیون‌های ناپایدار (مانند: K^+، Na^+ و Ca^{2+}) نسبت به اجزای باقیمانده پایدار (Ti^{4+} و Al^{3+}) و نشان‌دهنده شرایط گرم و مرطوب است (Nesbitt and Young, 1989). روند هوازدگی نمونه‌های موردمطالعه کانسار چاه‌علی‌اکبر در شکل ۱۰ نشان داده شده است و طبق آن مشاهده می‌شود که تمامی نمونه‌ها اندیس دگرسانی شیمیایی (CIA) بالای ۸۰ درصد و تا حد ۱۰۰ درصد را به سمت رأس A نشان می‌دهند که این مقدار به‌مراتب بیشتر از مقادیر نمونه‌های استاندارد ثبت‌شده (NASC, UCC و PAAS) است، همچنین نمونه‌های موردمطالعه کانسار در محدوده نزدیک‌تری نسبت به رأس A قرار می‌گیرند. این روند نشان‌دهنده هوازدگی و دگرسانی شیمیایی شدید اجزای ناپایدار نمونه‌های موردمطالعه کانسار چاه‌علی‌اکبر و تبدیل تقریباً کامل آن‌ها تا حد ۱۰۰ درصد به کانی‌های رسی پایدار مانند کائولینیت است. همچنین می‌توان تأثیر تغییرات آب و هوا، شرایط اقلیمی گرم و مرطوب و نیز چرخه رسوبی مجدد را در شکل‌گیری چنین وضعیتی پراهمیت دانست.



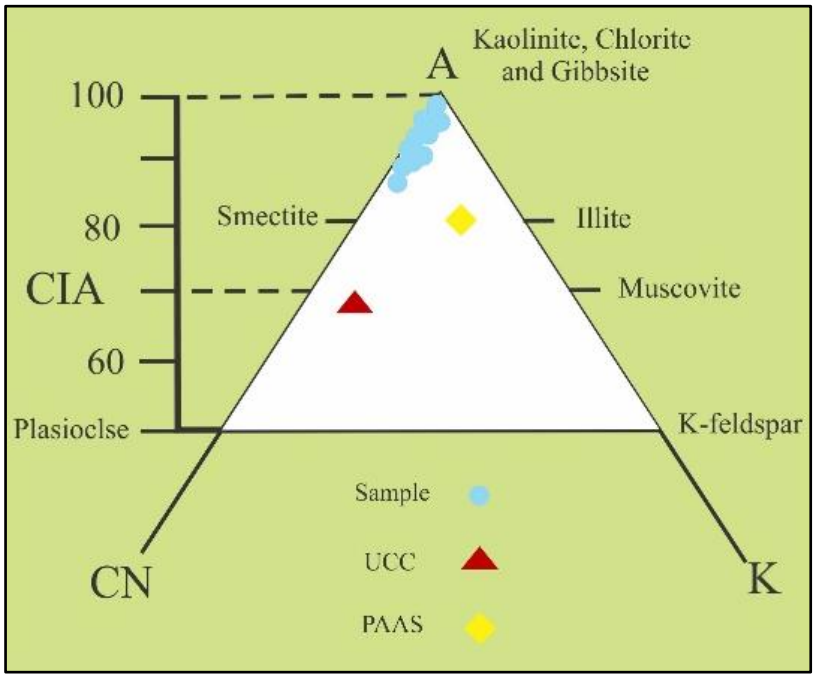
شکل ۷- طبقه‌بندی نمونه‌های برداشت‌شده از کانسنگ کانسار چاه‌علی‌اکبر بر روی نمودار Herron (۱۹۸۸) با تغییرات.

Fig 7. Classification of samples taken from the Chah-Aliakbar deposit on the Herron, 1988 diagram, with modifications.

جدول ۴- میانگین غلظت اکسیدهای اصلی حاصل از نتایج تجزیه‌ی شیمیایی نمونه‌های ماسه‌سنگی کائولینیتی و هماتیتی کانسار چاه‌علی‌اکبر و مقایسه با PAAS، NASC و UCC (بر اساس مطالعات Taylor (۱۹۸۱). مقادیر بر حسب درصد وزنی می‌باشند.

Table 4. The average concentration of the main oxides obtained from the chemical analysis of kaolinite and hematite sandstone samples of Chah-Aliakbar deposit and their comparison with the registered PAAS, NASC and UCC (based on the studies of Taylor, 1981). Values are in weight percent.

Wt%	Samples average	NASN	UCC	PAAS
SiO_2	38.9	64.8	60.6	62.8
AL_2O_3	21.24	16.9	15.9	18.9
Fe_2O_3	24.75	5.65	5.67	7.22
CaO	0.72	3.63	6.4	2.3
MgO	0.37	2.86	4.7	2.2
Na_2O	0.91	1.14	3.1	1.2
K_2O	0.60	3.93	1.8	3.7
P_2O_5	0.13	0.13	0.1	0.16
MnO	0.1	0.06	0.05	0.11
TiO_2	4.37	0.7	0.7	1.0

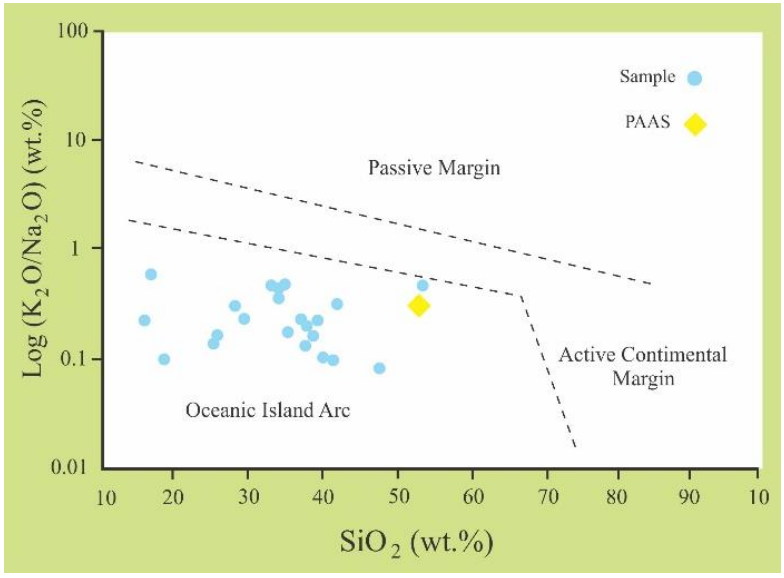


شکل ۸- روند هوازدگی نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر با توجه به اندیس شیمیایی دگرسانی (بر اساس مطالعات Nesbitt and Young (۱۹۸۴).

Fig 8. The weathering trend of Chah-Aliakbar deposit samples according to the chemical alteration index (based on the studies of Nesbitt and Young, 1984).

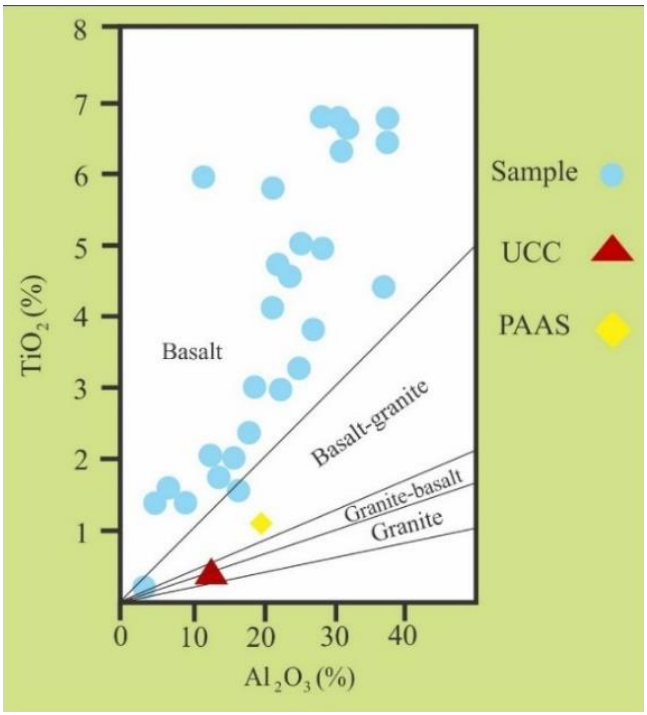
۶-۳- برخاستگاه، سنگ مادر و محیط رسوب‌گذاری

موقعیت تکتونیکی حوضه رسوبی و منطقه منشأ، عامل اصلی کنترل‌کننده ترکیب رسوبات آواری است و از هر برخاستگاه و موقعیت زمین‌ساختی، ماسه‌سنگ‌هایی با ترکیب معین به وجود می‌آید (Dickinson, 1985). می‌توان بر اساس مطالعات انجام-گرفته (Roser and Korsh, 1986) و با استفاده ترکیب شیمیایی ماسه‌سنگ‌ها و گل‌سنگ‌ها و قرار دادن نمونه‌ها در نمودار موردنظر که مؤلفه‌های محاسباتی آن شامل نسبت SiO2 در مقابل K2O / Na2O است، تعیین جایگاه زمین‌ساختی آن‌ها استفاده کردند. تقسیم‌بندی محیط‌های زمین‌ساختی این نمودار شامل حاشیه غیرفعال (Passive Margin)، حاشیه فعال قاره‌ای (Active continental Margin) و جزایر کمان-اقیانوسی (Ocean Island Arc) است. انجام محاسبات و قرارگیری موقعیت نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر در این نمودار نشان‌دهنده محیط زمین‌ساختی جزایر کمانی اقیانوسی برای نمونه‌ها است (شکل ۹). فراوانی و غنی‌شدگی بالای مقدار غلظت TiO2 در نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر نسبت به مقادیر این ترکیب در نمونه‌های استاندارد ثبت‌شده UCC و PAAS می‌تواند به دلیل سنگ منشایی با ترکیب مافیک برای نمونه های این کانسار باشد (Ekosse, 2001). قرارگیری داده‌های حاصل از محاسبات نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر بر روی نمودار، نشان از سنگ مادری با ترکیب بازالتی و مافیک برای این کانسار دارد. از محاسبه نسبت غلظت عناصر پتاسیم به روبیدیم (K/Rr) در مطالعات زمین‌شیمیایی می‌توان جهت تعیین شرایط محیط حوضه رسوبی استفاده کرد، بدین ترتیب که نسبت‌های بالاتر از ۲۵۶ بیانگر رسوب‌گذاری در آب‌های شیرین تا نیمه شور و مقادیر پایین‌تر از ۱۶۵ نشان‌دهنده رسوب‌گذاری کانسار در محیط دریایی است (Campbell et al., 1965; Zawada et al., 1988). با توجه به نتایج آزمایش تجزیه شیمیایی (جداول ۱ و ۲) بر روی نمونه‌های موردمطالعه کانسار چاه‌علی‌اکبر، مقدار نسبت K/Rb برابر با ۳۶/۶۷ بدست آمد که این مقدار نشان‌دهنده رسوب‌گذاری این کانسار در محیط دریایی است.



شکل ۹- نمودار جایگاه تکتونیکی نمونه‌های کانسار چاه‌علی‌اکبر (بر اساس مطالعات Roser and Korsh (۱۹۸۶).

Fig 9. Diagram of the tectonic setting of the Chah-Aliakbar deposit samples (based on the studies of Roser and Korsh, 1986 diagram).



شکل ۱۰- نمودار تعیین سنگ مادر کانسار چاه‌علی‌اکبر (بر اساس مطالعات Culler (۲۰۰۲).

Fig 10. The source rock determination of the Chah-Aliakbar deposit (based on the studies of Culler, 2002).

۶-۴- نقش چرخه رسوبی مجدد در شکل‌گیری کانسار چاه‌علی‌اکبر

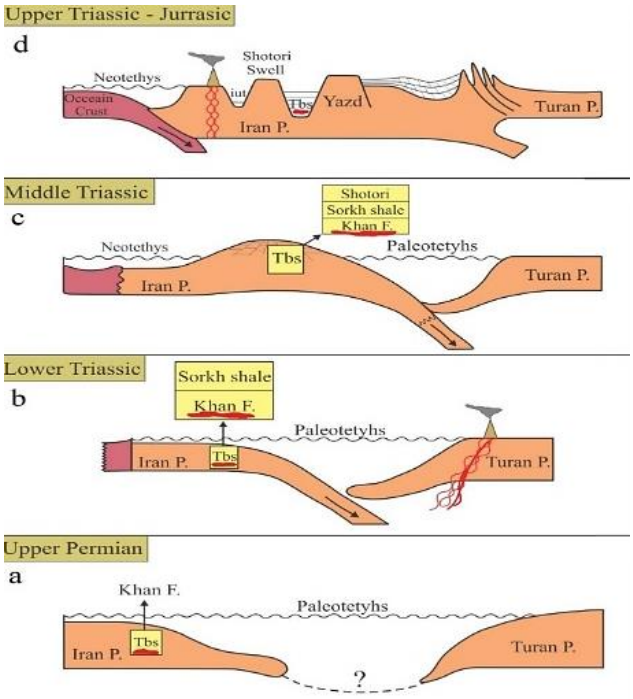
ترکیب سنگ‌های سیلیسی آواری متأثر از عوامل حمل و نقل، درجه هوازدگی، ویژگی‌های سنگ منشأ، پستی و بلندی محیط، اقلیم، فعالیت‌های تکتونیکی و اثرات دیاژنزی است (Mcbride, 1985; Von Eynatten, 2004; Whitmore et al., 2004). در مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک، جورشدگی و گردشدگی خوب دانه‌های کوارتز در ماسه‌سنگ‌های سازند خان که میزبان ماده معدنی موردنظر این

پژوهش هستند را می‌توان به حمل و نقل مکانیکی آن‌ها نسبت داد و این وضعیت را می‌توان ناشی از تحمل فرسایش و مسافت حمل طولانی بلورهای کوارتز در چرخه رسوبی مجدد دانست و منشأ آن‌ها را آواری در نظر گرفت که خود شاهدی برای تشکیل این ذخیره به صورت رسوبی است. وجود کانی‌های گرد شده و مقاوم در برابر عوامل فرسایش و حمل و نقل مانند زیرکن، نشان‌دهنده یک سنگ مادر اولیه آذرین برای این رسوبات است (شکل f۶). در مطالعات سنگ‌نگاری بر روی ماسه‌سنگ‌های میزبان ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر، بلورهای کوارتز دارای خاموشی موجی و مستقیم و به صورت تک‌بلور هستند و بر همین اساس می‌توان این طور استنباط کرد که این دانه‌ها دارای منشأ آذرین یا دگرگونی‌اند. کوارتز تک‌بلور با خاموشی موجی و مستقیم با فراوانی ۹۵٪ بیشترین حجم دانه‌های آواری را در ماسه‌سنگ‌های سازند خان تشکیل می‌دهد. فراوانی کوارتزهای تک‌بلور در واحدهای آواری می‌تواند نتیجه انرژی بالای محیط رسوب‌گذاری و چرخه رسوبی مجدد باشد (Shadan and Hosseni Barzi, 2010). همچنین در برخی نمونه‌های موردمطالعه بلورهای کوارتز دارای میانبار هستند (شکل i۷) و به نظر می‌رسد که این کانی از تأثیر هوازدگی و حمل و نقل در چرخه رسوبی مجدد مصون مانده و حفظ شده است. تجمع کانی کلریت (شکل b۶) به عنوان سیمان در اطراف دانه‌های آواری کوارتز، بافت خلیجی (شکل j۷) و آثار فشردگی در بافت و ساختار ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه از جمله شواهدی هستند که اثر پدیده‌های دیاژنزی را بر روی آن‌ها تائید می‌کند چنانکه مطالعات Shadan و Hosseini-Barzi (۲۰۱۰)، تبدیل رس‌های اولیه آهن‌دار به کلریت و نیز تشکیل کلریت به صورت حاشیه‌ای در اطراف بلورهای کوارتز را در طی مراحل دیاژنز تأخیری در رسوبات سازند خان و نیز پدیده‌های دیاژنزی دیگری مانند فشردگی (فیزیکی و شیمیایی)، انحلال و جانشینی در دانه‌های آواری را تائید می‌کند. وجود دو نوع شکل و اندازه در بلورهای کوارتز به صورت گردشده با اندازه بزرگ‌تر (تا ۲ میلی‌متر) و کوارتز زاویه‌دار با اندازه کوچک‌تر (تا ۰/۵ میلی‌متر) نشان‌دهنده تأثیر دو نوع انرژی متفاوت در محیط رسوب‌گذاری است (شکل j۷). جورشدگی بالای ماسه‌سنگ‌ها نشان‌دهنده نقش مؤثر امواج در محیط رسوب‌گذاری است. ورود چنین حجمی از رسوبات آواری به حوضه، توسط جریان‌های در امتداد ساحل بوده که ناشی از برخورد امواج به صورت مایل با خطوط ساحلی است (Reading 1996) و چنین به نظر می‌رسد که با حاکم بودن چنین شرایطی نهشته‌های آواری سازند خان در محیط حاشیه ساحلی پرانرژی برجای گذاشته شده است. مطالعات زمین‌شیمی ماسه‌سنگ‌های سازند خان نشان‌دهنده نقش فعال گسل کلمرد در شکل‌گیری چرخه‌های دوباره رسوبی و نرخ ورود رسوبات آواری به درون حوضه رسوب‌گذاری است (Shadan and Hosseini-Barzi, 2009).

۶-۵- شکل‌گیری کانسار و وضعیت تکامل تکتونیکی منطقه

تناوب ماسه‌سنگ‌ها و افق‌های لاتریتی حاکی از خروج پیاپی حوضه از آب و گسترش فرآیندهای خاک‌زایی در این نواحی است. حضور افق‌های لاتریتی در توالی‌های رسوبی بیانگر شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب به هنگام رسوب‌گذاری سازند خان است (Shadan and Hosseni-Barzi, 2010). لاتریت‌ها شامل رس‌های متشکل از هیدروکسیدهای آلومینیوم و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن هستند که اغلب در مناطق با آب و هوای گرم و مرطوب حاره‌ای تا نیمه‌حاره‌ای تحت بارش‌های طولانی‌مدت و تحمل هوازدگی شدید شیمیایی به وجود می‌آیند (Reading, 1996) و حضور آن‌ها در بین توالی‌های رسوبی بیانگر دوره‌هایی با وقفه رسوب‌گذاری است. با توجه به تکتونیک فعال محلی در منطقه موردمطالعه (Shadan and Hosseini-Barzi, 2010) و متعاقب آن تغییرات سطح آب دریا به طور محلی، به نظر می‌رسد با خارج شدن دوره‌ای حوضه رسوبی از آب، فرآیندهای خاک‌زایی در این نواحی منجر به گسترش قابل‌توجه لاتریت‌ها گردیده است (Shadan and Hosseni Barzi, 2010). اکثر زمین‌شناسان با فرآیندهای تمرکز و تجمع چندمرحله‌ای که مسئول تشکیل نهشته‌های کائولن و رس‌های کائولینیتی هستند مانند فرآیندهای تشکیل خاک و هوازدگی در آغاز این زنجیره اتفاق نظر دارند. رودخانه‌های زهکشی شده از زمین‌های مرتفع پشت ساحل برای تأمین پایدار و دائمی بارهای معلق پاسخ‌گو هستند. بار معلق رودخانه‌ها در اثر برخورد با دهانه‌های خلیجی ته‌نشست پیدا می‌کنند (Dill, 2016). افق‌های لاتریتی مرز سازند خان و سرخ‌شیل یک مرز فرسایشی و نشان‌دهنده یک عقب‌نشینی دریا در زمان پرمو- تریاس و یک محیط فرسایشی مرطوب با شرایط اقلیم حاره‌ای است. به نظر می‌رسد که نهشت کانسار چاه‌علی‌اکبر در محیط دریایی و در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب در فاصله زمانی بین پرمین

تا تریاس تحت تأثیر فرآیند هوازدگی سنگ‌ها و رسوبات حاوی رس‌ها در طی چرخه مجدد رسوبی همراه با انتقال ذرات ریز رس به صورت کلوئیدی و بار معلق و توسط جریان آب و برخورد این جریان‌ها با محیط دریایی رخ داده است. خروج پیاپی حوضه رسوبی از آب در اثر پیش‌روی و پس‌روی آب دریا و نقش مؤثر امواج در یک محیط حاشیه ساحلی (برخورد امواج با خطوط ساحلی) پرانرژی در شکل‌گیری این کانسار نقش داشته است. در شکل ۱۱ جایگاه و محیط تکتونیکی سازند خان که دربردارنده ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر در بلوک طبس است، از دوران پرمین بالایی تا ژوراسیک به صورت شماتیک نشان داده شده است.



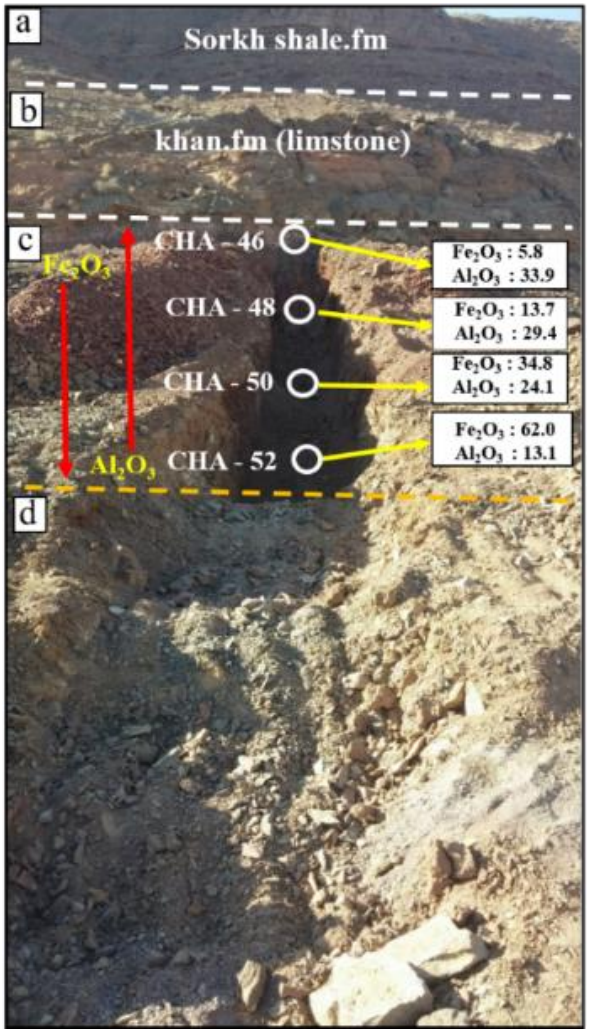
شکل ۱۱- نمایش وضعیت محیط تکتونیکی بلوک طبس و جایگاه سازند خان (Khan F.) در آن از دوران پرمین بالایی تا ژوراسیک به صورت شماتیک (با تغییرات بر اساس مطالعات Wilmsen و همکاران (۲۰۰۹).

Fig 11. Schematic representation of the tectonic setting of the Tabas Block and the location of the Khan Formation (Khan F.) from the Upper Permian to the Jurassic (with changes based on the studies of Wilmsen et al., 2009).

۶-۶- تأثیر فرآیند سوپرژن و شستشو در شکل‌گیری کانسار

به طور گسترده نشان داده شده که کائولن می‌تواند در طی تغییرات سوپرژن و هیپوژن از انواع مختلفی از سنگ‌های مادر ایجاد شود (Dill, 2016). شیمی کائولن توسط فاکتورهایی که شامل تغییر رنگ اولیه در سنگ میزبان است کنترل می‌شود و یکی از مواردی که از آن می‌توان برای تعیین منشأ محلول‌های دگرسان‌کننده استفاده کرد، میزان TiO2 در نمونه‌های دگرسان شده است. بدین صورت که اگر مقدار غلظت TiO2کمتر از یک درصد باشد، نهشته‌هایی با ماهیت هیپوژن و اگر بیشتر از یک درصد باشد نهشته‌هایی با ماهیت سوپرژن خواهیم داشت (Maiza et al., 2003). از آنجا که مقدار غلظت TiO2 در نمونه‌های موردنظر کانسار چاه علی‌اکبر بیشتر از ۱ درصد (۴/۳۷ wt%) است، چنین برداشت می‌شود که تشکیل رس کائولینیتی در این کانسار با عملکرد محلول‌های سوپرژن مرتبط است. پایین بودن تحرک ژئوشیمیایی عناصر Ti و Al (Mason and Moore, 1982) و رفتار نامتحرکی که طی سازوکار هوازدگی و حمل و نقل در چرخه رسوبی مجدد و همچنین در فرآیند سوپژن از خود نشان می‌دهند سبب بالا رفتن مقدار غلظت اکسید آن‌ها (Al2O3 و TiO2) در ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر نسبت به مقادیر نظیر این اکسیدها در استانداردهایی که پیش‌تر ذکر شد (UCC، NASC و

PAAS) شده است. با توجه به آنچه اشاره شد جهت تشخیص میزان تغییرات غلظت اکسیدهای عناصر اصلی در افق ماده - معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر، روند تغییرات میزان اکسید عناصر اصلی ترانشه‌ای در کارگاه اکتشافی شماره ۱ به طول ۲۸، عرض ۱/۲۰ و عمق متوسط ۱/۵ متر، شیب کف متوسط ۵ درجه به- طرف شیب ماده معدنی به‌طور متوسط ۲۴ درجه و به طرف شمال بررسی شد. ابتدای ترانشه تا ۸ متری آن شامل ماسه‌های تفکیک نشده سازند خان به عنوان کمرپایین ماده معدنی است. از این نقطه تا ابتدای سنگ‌آهک سازند خان که معرف کمربالای ماده معدنی است، به ترتیب نمونه‌های شماره CHA-52، CHA-50، CHA-48 و CHA-46 از لایه ماده معدنی در مسیری به طول ۲۰ متر به صورت تصادفی از کف و دیواره‌های ترانشه با فاصله نمونه‌برداری حدود ۵ متر برداشت شد که نتایج تجزیه شیمیایی آن در جدول آمده است. بررسی نتایج نشان‌دهنده روند کاهشی منظم غلظت Al2O3 نمونه‌ها و افزایش غلظت Fe2O3 آن‌ها از بخش زیرین آهک سازند خان به طرف کمرپایین ماده معدنی است. به نظر می‌رسد مقادیر عنصر Fe در ترکیب ذخیره معدنی بر اثر فرایند شستشو و به علت قابلیت تحرک زمین‌شیمیایی بیشتر نسبت به عنصر Al، از بخش زیرین کمربالای ماده معدنی به طرف کمرپایین حرکت کرده و سبب تجمع و افزایش غلظت ترکیب Fe2O3 و همچنین کاهش غلظت ترکیب Al2O3 در بخش‌های زیرین شده است (شکل ۱۲).



شکل ۱۲- (a) سازند سرخ‌شیل، (b) سنگ‌آهک بخش بالایی سازند خان (کمربالای ماده معدنی)، (c) طول لایه ماده معدنی در ترانشه و محل نمونه‌برداری و (d) رسوبات ماسه‌سنگ و شیل تفکیک‌نشده (کمرپایین ماده معدنی).

Fig 12. (a) Sorkh shale Formation, (b) Limestone of the upper part of the Khan Formation (Hanging wall of mineral deposit), (c) Length of the mineral material layer in the trench and the sampling site, and (d) Undifferentiated sandstone and shale sediments (Foot wall of mineral deposit).

نتیجه‌گیری

۱- شواهد زمین‌ساختاری و چینه‌شناسی موجود در منطقه موردمطالعه، نشان از رسوبی بودن این ذخیره دارد. مواردی مانند جای‌گیری لایه ماده معدنی در بین توالی‌های چینه-شناسی در یک ناودیس بزرگ و در امتدادی موازی با روند محور آن و همچنین قرارگیری آن در میان لایه‌های آهکی سازند خان و نیز مرز تدریجی بین افق ماده معدنی با لایه‌های آهکی فوقانی سازند خان، از جمله دلایلی است که نشان از رسوبی بودن این کانسار دارد. با تکیه بر شواهدی همچون فقدان سیستم‌های رگه‌ای (مانند رگه‌های مشاهده‌شده در کانسارهای هیدروترمال) و به تبع آن زونینگ و هاله‌های دگرسانی و عدم وجود هرگونه توده نفوذی در نزدیکی کانسار، می‌توان منشأ هیدروترمال (گرمابی) در مورد این ذخیره را رد کرد. بلوغ بافتی و کانیایی بالای ماسه‌سنگ‌های کوارتز آرنایتی میزبان ماده معدنی نتیجه تأثیر حمل و نقل مکانیکی دانه‌های آواری در فرآیند چرخه مجدد رسوبی است. همچنین نقش مؤثر برخورد امواج توسط جریان‌های در امتداد ساحل و ورود حجم بالای رسوبات آواری به حوضه رسوبی حائز اهمیت است.

۲- بررسی‌های زمین‌شیمیایی و رسم نمودارهای مربوط به آن نشانگر عملکرد شدید فرآیند هوازدگی شیمیایی در مراحل آغازین تشکیل این کانسار و در یک محیط فرسایشی مرطوب با اقلیم حاره‌ای است. بر اساس موقعیت قرارگیری نمونه‌های برداشت‌شده از کانسار چاه‌علی‌اکبر مطابق روند تفسیری در نمودار A-CN-K می‌توان عملکرد و پیشرفت سریع فرآیند هوازدگی کانسار را در این نمودار مشاهده کرد، ضمن این‌که مؤلفه‌های Na2O، CaO، K2O، MgO کاهش شدیدی را در مقدار خود نشان می‌دهند که گواه پیشرفت هوازدگی در کانسار است. هوازدگی بر اثر خروج پیاپی حوضه رسوبی از آب و عملکرد چرخه مجدد رسوبی سبب حمل ذرات رس به صورت کلوئیدی و نهشت آن‌ها در محیط دریایی شده است. همچنین نقش مؤثر امواج در یک محیط حاشیه ساحلی و همچنین عملکرد فرآیند سوپرژن و شستشو در شکل‌گیری این کانسار پراهمیت به نظر می‌رسد. نمودارهای زمین‌شیمیایی سنگ مادری با ترکیب بازالتی و همچنین محیط زمین‌ساختی جزایر کمان‌اقیانوسی را برای خاستگاه زمین‌شناختی کانسار چاه‌علی‌اکبر نشان می‌دهد.

۳- از لحاظ نحوه طبقه‌بندی و نام‌گذاری ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر، نکته‌ای که ذکر آن لازم به نظر می‌رسد این است که اگرچه ماده معدنی این کانسار در افق‌های به اصطلاح بوکسیتی و لاتریتی پرمو- تریاس قرار دارد و جزو خاک‌های آلومینیوم‌دار محسوب می‌شود، اما با توجه به مطالعات کانی-شناسی مقاطع نازک، آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) و عدم حضور کانی‌های کانسنگ آلومینیم (بوکسیت، بوهمیت و دیاسپور) در ترکیب کانی‌شناسی آن، نمی‌توان نام بوکسیت را برای ماده معدنی این کانسار در نظر گرفت و آن را در گروه کانسنگ‌های فلزی قرار داد. از طرفی بنا بر نظر Karimpour (۱۳۸۴) و به این دلیل که آستانه اقتصادی استخراج فلز آلومینیوم از کانسنگ ۳۰ درصد و میانگین غلظت ترکیب Al2O3 در ماده معدنی کانسار چاه‌علی‌اکبر برابر با ۲۱/۲۴ درصد است، می‌توان ماده معدنی این کانسار را در دسته خاک صنعتی و نسوز طبقه‌بندی کرد. در پایان شایان ذکر است که می‌توان از نتایج این مطالعات به‌منظور شناسایی ذخایر مشابه در سایر نواحی امیدبخش بلوک طبس و به‌خصوص ناحیه حلوان بهره برد.

مراجع

Aghanabati, SA., 2004. Geology of Iran, 1st edition, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, p. 586.

Bock, B., McLennan, SM., Hanson, GN., 1994. Rare earth element redistribution and its effects on the neodymium isotope system in the Austin Glen Member of the Normanskill Formation, New York, USA. Geochimica et Cosmochimica Acta 58 (23), 5245-5253.

Brindley, GW., Wardle, R., 1970. Monoclinic and triclinic forms of pyrophyllite and pyrophyllite anhydride. American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials 55(7-8), 1259-1272.

Bauluz, B., Mayayo, MJ., Fernandez-Nieto, C., Lopez, J.M.G., 2000. Geochemistry of Precambrian and Paleozoic siliciclastic rocks from the Iberian Range (NE Spain): implications for source-area weathering,

sorting, provenance, and tectonic setting. Chemical Geology 168 (1-2), 135-150. https://doi.org/10.1016/S0009-2541(00)00192-3.

Bracciali, L., Marroni, M., Pandolfi, L., Rocchi, S., 2007. Geological Society of America Special Paper 420 2007. Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry 420, 73.

Campbell, FA., Williams, GD., 1965. Chemical composition of shales of Mannville group (lower Cretaceous) of central Alberta, Canada AAPG Bulletin 49(1), 81-87.

Cullers, RL., 2002. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. Chemical geology 191(4), 305-327.https://doi.org/10.1016/S0009-2541(02)00133-X.

Condie, KC., Dengate, J., Cullers, RL., 1995. Behavior of rare earth elements in a paleoweathering profile on granodiorite in the Front Range, Colorado, USA. Geochimica et Cosmochimica Acta 59(2), 279-294. https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)00280-Y.

Das, BK., Al-Mikhlafi, AS., Kaur, P., 2006. Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implications for source-area weathering, provenance, and tectonic setting. Journal of Asian Earth Science 26(6), 649-668.https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2005.01.005.

Dickinson, WR., 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. Inprovenance of Arenites, 333-361.

Dill, HG., 2016. Kaolin: Soil, rock, and ore: From the mineral to the magmatic, sedimentary, and metamorphic environments. Earth-Science Reviews 161, 16-129. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.003.

Ekosse, G., 2001. Provenance of the Kgwakgwe kaolin deposit in Southeastern Botswana and its possible utilization. Applied Clay Science 20(3), 137-152. https://doi.org/10.1016/S0169-1317(01)00064-3.

Fedo, CM., Wayne Nesbitt, H., Young, GM., 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. Geology 23(10),921-924.https://doi.org/10.1130/0091-613(1995)023%3C0921:UTEOPM%3E2.3.CO;2.

Folk, RL., 1980. Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company.

Getaneh, W., 2002. Geochemistry, provenance, and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone, northern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences 35(2), 185-198. https://doi.org/10.1016/S0899-5362(02)00126-4.

Ghorbani, M., 2002. An Introduction to Economic Geology of Iran, p. 695.

Ghorbani, M., 2013. A summary of the geology of Iran. The economic geology of Iran: mineral deposits and natural resources 45-64.

Hessler, AM., Lowe, DR., 2006. Weathering and sediment generation in the Archean: an integrated study of the evolution of siliciclastic sedimentary rocks of the 3.2 Ga Moodies Group, Barberton Greenstone Belt, South Africa. Precambrian Research 151(3-4), 185-210.https://doi.org/10.1016/j.precamres.2006.08.008.

Herron, MM., 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. Journal of Sedimentary Research 58 (5), 820-829. https: //doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D.

Karimi Bavandpour, A., Hajihosaini, A., 2001. Geological Map of Tabas, 1:100,000 Series, Sheet 7357. Geological Survey of Iran.

Karimpoor, MH., 2005. Industrial Minerals and Rocks. Ferdowsi University of Mashhad Press 400.

Klein, C., Cornelius, SH., 1999. Manual of Mineralogy, Jhon Wiley & Sons. INC., Canadá.

McLennan, SM., Taylor, SR., McCulloch, MT., Maynard, JB., 1990. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: crustal evolution and plate tectonic associations. Geochimica et Cosmochimica Acta 54(7), 2015-2050.https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90269-Q.

McBride, EF., 1985. Diagenetic processes that affect provenance determinations in sandstone. In: Zuffa, G.G. (Ed.), Provenance of Arenites. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 95-113.

Maiza, P., Pieroni, J., Marfil, D., Dominguez, SA., Mas, EA., Cravero, GR., 2003. Geochemistry of hydrothermal kaolins in the SE area of Los Menucos, Province of Rio Negro, Argentina. A Clay Odyssey 1, p 123-130.

Mason, B., Moore, C, 1982. Principles of Geochemistry, John Wiley and Sons Ltd, 348 P.

McLennan, SM., Hemming, S., McDaniel, DK., Hanson, GN., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. https://doi.org/10.1130/SPE284-p21.

Nesbitt, H., Young, GM., 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature 299(5885), 715-717.

Nesbitt, H., Young, GM., 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles. The Journal of Geology 97(2), 129-147.

Nesbitt, H., Young, GM., 1984. Prediction of some weathering trends of plutonic and volcanic rocks based on thermodynamic and kinetic considerations. Geochimica et cosmochimica acta 48 (7), 1523-1534.https://doi.org/10.1016/0016-7037(84)90408-3.

Percival, JB., Aylesworth, J., Fritz, A., Domingues, EA., Mas, GR., Cravero, F., 2003. Analysis of colour rhythmites in sensitive marine clays (Leda Clay) from eastern Canada. 2001. A Clay Odyssey 1, 147.

Pohl, WL., 2020. Economic geology: principles and practice. John Wiley & Sons.

Rollinson, HR., 1993. A terrane interpretation of the Archaean Limpopo Belt. Geological Magazine 130(6), 755-765. https://doi.org/10.1017/S001675680002313X.

Reading, HG., 2009. Sedimentary environments: processes, facies and stratigraphy. John Wiley & Sons.

Rieser, AB., Neubauer, F., Liu, Y., Ge, X., 2005. Sandstone provenance of north-western sectors of the intracontinental Cenozoic Qaidam basin, western China: Tectonic vs. climatic control. Sedimentary Geology 177(1-2), 1-18. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.01.012.

Roser, BP., Korsch, RJ., 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. Chemical geology 67 (1-2), 119-139. https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90010-1.

Rollinson, HR., 2014. Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781315845548.

Roser, BP., Korsch, RJ., 1986. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO2 content and K2O/Na2O ratio. The Journal of Geology 94 (5), 635-650. https://doi.org/10.1086/629071.

Seyed-Emami, K., Fürsich, FT., Schairer, G., 2001. Lithostratigraphy, ammonite faunas and palaeoenvironments of Middle Jurassic strata in North and Central Iran. Newsletters on Stratigraphy 163-184.

Seyed-Emami, K., Schairer, G., Fürsich, FT., Wilmsen, M., Majidifard, MR., 2002. Reineckeiidae (Ammonoidea) from the Callovian (Middle Jurassic) of the Shotori Range (East Central Iran). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie-Monatshefte pp, 184-192.

Seyed-Emami, K., Fürsich, FT., Wilmsen, M., 2004. Documentation and significance of tectonic events in the northern Tabas Block (east-central Iran) during the Middle and Late Jurassic. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia 110(1).

Shadan, M., Hosseni Barzi, M., 2010. Depositional environment and diagenesis of the Khan Formation sandstones in Cheshmeh Bakhshi and Chahroof sections, Posht-e-Badam block. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches 26 (2), 105-128.

Shadan, M., Hosseini-Barzi, M., 2009. Geochemistry of Khan Formation sandstones in central Iran: implications for provenance studies. In 27th IAS Meeting of Sedimentology, Alghер: Italy 349.

Sheikholeslami, MR., Zamani, M., 1999. Geological Map of Halvan, 1:100,000 Series, Sheet 7257. Geological Survey of Iran.

Taylor, SR., McLennan, SM., 1981. The composition and evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 301(1461), 381-399. https://doi.org/10.1098/rsta.1981.0119.

Von Eynatten, H., 2004. Statistical modelling of compositional trends in sediments. Sedimentary Geology 171(1-4), 79-89. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.05.011.

Whitmore, GP., Crook, KA., Johnson, DP., 2004. Grain size control of mineralogy and geochemistry in modern river sediment, New Guinea collision, Papua New Guinea. Sedimentary Geology 171(1-4), 129-157. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2004.03.011.

Wilmsen, M., Fürsich, FT., Seyed-Emami, K., Majidifard, MR., Taheri, J., 2009. The Cimmerian Orogeny in northern Iran: Tectono-stratigraphic evidence from the foreland. Terra Nova 21(3), 211-218. https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.2009.00876.x

Zawada, PK., 1988. Trace elements as possible palaeosalinity indicators for the Ecca and Beaufort Group mudrocks in the southwestern Orange Free State. South African journal of geology, 91(1), 18-26.