Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Spring 2025, Vol. 15(2): 20 - 38

Research Article

Origin determination of alluvial sand deposits around the Dashkasan gold mine northeast of Qorveh

Hamidreza pakzad[1]*, Mehrdad Pasandi[1], Foad Krimian[1]
1-Department of Geology, University of Isfahan

Keywords: *Petrography, Heavy Minerals, Sediment Origin, Dashkasan Mine, Shour River.*

1-Introduction

The origin of siliceous clastic sediments can be investigated to reconstruct the geology, tectonics, and paleoenvironment of a region, as well as sediment transport processes from source to depositional basins (Tsikouras et al., 2011; Kasper-Zubillaga et al., 2013; Armstrong-Altrin et al., 2015). The composition of source rocks controls the geochemistry of sediments but is also a complex function of factors such as source rock composition, weathering, transportation, heavy mineral content, and diagenesis (Ingersoll, 1988; Ahmad et al., 2014). River basin formations are predominantly composed of heavy minerals, and because of the relationship between changes in the composition of these minerals and the source rocks of the sediments, interpreting the origin and distribution of sand sediments through mineralogical studies is feasible (Pakzad et al., 2014). The accuracy of interpreting the origin and distribution of sand-sized sediments is greatly enhanced through integrated mineralogical and geochemical studies, as the composition of heavy minerals in sediments is dependent on the formation conditions of source rocks (Martins et al., 2012; Moles & Chapman, 2019). The content of heavy minerals in sand-sized particles varies significantly due to source characteristics, sedimentary processes, and post-depositional dissolution. Analyzing heavy minerals helps mitigate the effects of changes during transportation that may obscure modal analysis results (Tsikouras et al., 2011).

The intrusive rocks of the Dashkasan area include shallow intrusions that appear at the surface as dacite and rhyodacite rocks (Agh-Dagh, Sari-Dagh, and Sari-Gunay), hosting hydrothermal mineralization of gold, antimony, and arsenic (Rastad et al., 2000). In the drainage basins of the Shur, Dashkasan, and Neyband rivers, the intrusion of hydrothermal fluids into rocks, as a natural factor, combined with mining activity in the Dashkasan arsenic-antimony-gold deposit, an anthropogenic factor, has concentrated elements in the sediments of the rivers. This research aims to analyze the sand sediments of the Shour, Dashkasan, and Neyband rivers through sedimentological and geochemical studies and to explore the relationship between the concentrations of the investigated elements and the lithology of the outcrops in the river basins.

2-Material and methods

Sediment samples from the Shour, Dashkasan, and Neyband rivers were collected from 30 stations at a depth of 20 cm. A geological map of the drainage basin was prepared using ArcGIS software. Medium-grain sands were separated through wet and dry sieving methods, and thin sections of these sediments were prepared for microscopic study. The abundance of sediment components in 31 samples was determined through point counting, and heavy minerals were separated from 7 samples using heavy liquid separation and studied under a dual-purpose microscope.

3-Results and discussions

Microscopic analysis revealed the presence of volcanic rock fragments, carbonate rock fragments, quartz, feldspar, metamorphic rock fragments, and non-opaque and opaque heavy minerals in the sediments.

* Corresponding author: hpakzad@sci.ui.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2025.48255.2480
Received: 2024-10-30
Accepted: 2025-04-29

ISSN: 2717-0764

Volcanic rock fragments, averaging 35.18%, were predominantly found in the Dashkasan River, composed mainly of andesite, dacite, and rhyodacite with porphyritic texture. Carbonate rock fragments (22.54%) included micritic and sparitic types sourced from limestone outcrops. Quartz grains (13.53%) and feldspar grains (13.39%) were derived from various igneous and metamorphic rocks in the drainage basins. Metamorphic rock fragments (6.68%) included mica schist and quartz schist. Light heavy minerals (5%) included hornblende, pyroxene, realgar, biotite, and epidote, while dark heavy minerals (3.6%) were mainly hematite and magnetite. Alteration studies indicated minimal weathering of feldspars and volcanic rock fragments, primarily affecting the outer surfaces. With increased weathering downstream, the highest degree of hydrothermal alteration was observed near subvolcanic domes (Agh-Dagh, Sari-Dagh, and Sari-Gunay). Geochemical analysis revealed enrichment in CaO, TiO2, P2O5, MnO, and MgO and depletion in Al2O3, Na2O, and K2O compared to the Upper Continental Crust. Ca enrichment was linked to carbonate rock fragments, Mn to magnetite, amphibole, and pyroxene minerals from basaltic rocks, and Fe to magnetite, hematite, and goethite from hydrothermal alteration. Ti enrichment was due to ilmenite in igneous rocks, and high Mg content was attributed to biotite, chlorite, amphibole, and pyroxene minerals. The depletion of Al, Na, and K suggests their release during weathering.

4-Conclusion

The porphyritic andesite, dacite, and rhyodacite rocks are the sources of feldspar and quartz minerals in the Dashkasan River sediments. The sources of these components in the Shour River include granite, diorite, quartz diorite, monzonite, basalt, quartz monzonite, and metamorphic rocks. The feldspar minerals have undergone argillaceous weathering, and the components display sericitization, chloritization, and argillic alterations in the source rock. The volcanic rock fragments originate from the Agh-Dagh, Sari-Dagh, and Sari-Gunay domes, which have the same composition, and argillic weathering traces are observed in these fragments. Low-grade metamorphic units, including quartzite, quartz-mica schist, and mica schist, from the Jurassic period serve as sources of metamorphic rock fragments. Carbonate grains are present in clay-free carbonate grains and microcrystalline grains with high clay content. These components originate from travertine, marl, and other limestone units exposed in the basin.

The heavy minerals in the Dashkasan River sediments derive from shallow intrusions. In contrast, the Shour River sediments originate from igneous and metamorphic rocks southwest of the basin. Samples taken near the Dashkasan antimony-arsenic mineral deposit contain more opaque heavy minerals than non-opaque ones. Gold is absent in placer form within the river sediments. The lack of placer formation in the riverine sediments is likely related to the petrographic characteristics of the rocks and the weathering conditions of the source rocks. The studied sediments show low weathering in the source rocks, as indicated by the ICV index and CIA index.

5-References

Tsikouras, B., Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Schaffer, M., 2011. Varietal heavy mineral analysis of sediment provenance, Lower Cretaceous Scotian Basin, eastern Canada. Sedimentary Geology 237 (3–4), 150-165.

Ahmad, A.H.M., Noufal, K.N., Masroor, A.M., Khan, T., 2014. Petrography and geochemistry of Jumara Dome sediments, Kachchh Basin: implications for provenance, tectonic setting and weathering intensity. Chinese Journal of Geochemistry 33, 9–23.

Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Balaram, V., Natalhy-Pineda, O., 2015. Petrography and geochemistry of sands from the Chachalacas and Veracruz beach areas, western Gulf of Mexico, Mexico: constraints on provenance and tectonic setting. Journal of South American Earth Sciences 64, 199-216.

Ingersoll, R.V., 1988. Tectonics of sedimentary basins. Geological Society of America Bulletin 100, 1704-1719.

ISSN: 2717-0764

Kasper-Zubillaga, J.J., Armstrong-Altrin, J.S., Carranza-Edwards, A., Morton-Bermea, O., Lozano-Santa-Cruz, R., 2013. Control in beach and dune sands of the Gulf of Mexico and the role of nearby rivers. International Journal of Geosciences 4, 1157-1174.

Martins, R., Azevedo, M.R., Mamede, R., Sousa, B., Freitas, R., Rocha, F., Quintino, V., Rodrigues, A.M., 2012. Sedimentary and geochemical characterization and provenance of the Portuguese continental shelf soft-bottom sediments. Journal of Marine Systems 91, 41-52.

Moles, N.R., Chapman, R.J., 2019. Integration of Detrital Gold Microchemistry, Heavy Mineral Distribution, and Sediment Geochemistry to Clarify Regional Metallogeny in Glaciated Terrains: Application in the Caledonides of Southeast Ireland. Economic Geology 114(2), 207–232.

Pakzad, H.R., Pasandi, M., Soleimani, M., Kamali, M., 2014. Distribution and origin of heavy metals in the sand sediments in a sector of the Oman Sea (the Sistan and Baluchestan province, Iran). Quaternary International 345, 138-147.

Rastad, A. Niroumand, Sh. Emami, M., Rashidnjad Omran, N. 2000. Origin of antimony, arsenic and gold ore deposits in the Dashkasan volcano-plutonic complex (East of Qorveh, Kurdistan province). Quarterly Journal of Geosciences 10(37), 2-32. https://www.sid.ir/paper/438650/fa

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Pakzad, H., Pasandi, M., Krimian, F., Origin determination of alluvial sand deposits around the Dashkasan gold mine northeast of Qorveh. Adv. Appl. Geol. 15 (2), 20-38.
DOI: 10.22055/aag.2025.48255.2480
https://aag.scu.ac.ir/article_20056.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

تعیین منشأ رسوبات ماسه‌ای آبرفتی اطراف معدن طلای داشکسن، شمال شرق شهرستان قروه

حمیدرضا پاکزاد
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان
مهرداد پسندی
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان
فواد کریمیان
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان
hpakzad@sci.ui.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹

چکیده
تعیین منشأ رسوبات و بررسی هوازدگی منطقه منشأ برای درک فرآیندهای رسوبی، بازسازی شرایط محیطی گذشته و ارزیابی پتانسیل منابع معدنی و هدایت راهبردهای اکتشافی ضروری است. رودخانه شور در شمال خاوری شهرستان قروه واقع در استان کردستان جریان دارد. سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی در حوضه آبریز این رودخانه رخنمون دارند. در توده‌های آذرین این منطقه کانه‌زایی هیدروترمال با سن میوسن بوقوع پیوسته است. برای مطالعه و تعیین منشاء رسوبات ماسه‌ای آبرفتی از رودخانه شور و سرشاخه‌های آن (رودخانه‌های داشکسن و نی‌بند) ۳۱ نمونه رسوب برداشت شده و به روش‌های الک مرطوب و خشک دانه بندی گردیدند. ماسه‌های رده ۱۲۰-۶۰ مش این رسوبات برای مطالعات میکروسکوپی، آنالیزهای شیمیایی و منشأیابی نمونه‌های رسوب انتخاب شدند. براساس مطالعات میکروسکوپی به ترتیب فراوانی خرده‌سنگ‌های کربناته، خرده‌سنگ‌های ولکانیکی، کانی‌های کوارتز، فلدسپات، خرده‌سنگ‌های دگرگونی، کانی‌های سنگین روشن و کانی‌های اوپاک شناسایی و تعیین درصد فراوانی گردیدند. کانی‌های سنگین تعداد ۷ نمونه به وسیله محلول بروموفورم جداسازی شده و طبق مطالعه مقاطع نازک صیقلی به ترتیب فراوانی شامل هورنبلند، پیروکسن، مگنتیت و هماتیت، بیوتیت، اپیدوت، رآلگار، اورپیمان، گوتیت و پیریت می‌باشند. اغلب دانه‌های ماسه نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده بوده و کرویت کم تا متوسط دارند. هنجارسازی اکسیدهای اصلی و عناصر کمیاب رسوبات با ترکیب پوسته بالایی زمین نشان می‌دهد که عناصر تیتانیوم، منگنز، کلسیم، فسفات، استرانسیوم و توریوم در اغلب نمونه‌ها فراوانی بیشتری نسبت به پوسته بالایی دارند. هنجار سازی عناصر نادر خاکی با این عناصر در کندریت بیانگر این است که نمونه‌های دارای اجزاء کربناته بیشتر واجد عناصر نادر خاکی کمتری هستند. رسوبات مورد بررسی بر اساس اندیس‌های ICV و CIA هوازدگی کمی در سنگ منشاء نشان می‌دهند. آب و هوای منطقه منشاء رسوبات بر اساس نمودار تعیین آب و هوای سنگ منشاء به صورت نیمه خشک و سرد می‌باشد که این آب و هوا با نتایج اندیس‌های ICV و CIA همخوانی دارد.

واژه‌های کلیدی: *پتروگرافی، کانی‌های سنگین، منشأ رسوبات، معدن داشکسن، رودخانه شور*

۱- مقدمه
منشأ رسوبات سیلیسی آواری می‌تواند برای بازسازی زمین‌شناسی، تکتونیک و اقلیم دیرینه یک منطقه و فرآیندهای انتقال رسوب از منشأ به حوضه‌های رسوبی مورد بررسی قرار گیرد (Armstrong-Altrin et al., 2017; Liyouck et al., 2023; Djibril et al., 2024; Khan et al., 2025). اندازه دانه، کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبات ماسه‌ای توسط عوامل مختلفی مانند باد، جریان‌های ساحلی، اقلیم، ترکیب سنگ منشأ و محیط تکتونیکی منطقه منشأ کنترل می‌شود (Abedini and Khosravi, 2022; Patel and Nath, 2023). ژئوشیمی رسوبات ابتدا توسط ترکیب سنگ‌های منشأ کنترل می‌شود، اما همچنین تابع پیچیده‌ای از متغیرهایی مانند ترکیب سنگ منشأ، هوازدگی، حمل و نقل، جداسازی فیزیکی، تمرکز کانی‌های سنگین و دیاژنز است (Ingersoll, 1988; Asadi et al., 2013; Ahmad et al., 2014; Armstrong-Altrin et al., 2015). با این حال، اثر نوع سنگ منشأ بر ترکیب رسوبات بیشتر از اثرات دیگر عوامل است (Dickinson, 1970). رسوبات حمل‌شده توسط رودخانه‌ها می‌توانند

ویژگی‌های زمین‌شناسی حوضه آبخیز را در طی فرآیندهای هوازدگی، فرسایش، حمل‌ونقل و رسوب‌گذاری نشان دهند (Meng et al., 2016; Chougong et al., 2021; Sayem et al., 2023). بنابراین، ژئوشیمی رسوبات آواری می‌تواند به عنوان ابزاری مؤثر برای تعیین عوامل کنترل‌کننده خواص رسوبات در طول و پس از رسوب‌گذاری به کار رود (Carranza-Edwards et al., 2009; Odoma et al., 2015; Armstrong-Altrin, 2015; Migani et al., 2015; Nikunj et al., 2023).

سازندهای حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ها عمدتاً حاوی کانی‌های سنگین هستند و به دلیل ارتباط تغییرات ترکیب این کانی‌ها با سنگ‌های منشأ رسوبات، تفسیر منشأ و توزیع رسوبات ماسه‌ای از طریق مطالعات کانی‌شناسی رسوبات میسر است (Pakzad et al., 2014; Lawton et al., 2024; Tangari et al., 2024). کانی‌های سنگین علی‌رغم فراوانی کم در رسوبات (کمتر از ۱ درصد)، نسبت به کانی‌های سبک برای تعیین منشأ رسوبات مزایای بسیاری دارند. کانی‌های سنگین دارای خواص هیدرودینامیکی متفاوتی در مقایسه با کانی‌های سبک مانند کوارتز و فلدسپات هستند و دامنه وسیع‌تری از سیلیکات‌ها، سولفات‌ها، سولفیدها، اکسیدها و فسفات‌ها را پوشش می‌دهند (Dill and Klosa, 2011). همچنین، این کانی‌ها به دلیل چگالی بالاتر نسبت به دانه‌های کوارتز همراه، ریزتر هستند (Tucker, 2001) و حمل‌ونقل آن‌ها توسط رواناب نسبت به کانی‌های سبک کندتر است. بنابراین، وقتی کانی‌های سبک به‌طور انتخابی از محیط خارج می‌شوند، تمرکز کانی‌های سنگین می‌تواند منجر به تشکیل رسوبات باقیمانده شود (Mange and Wright, 2007). عواملی مانند اقلیم، هوازدگی، فرسایش، توپوگرافی، فاصله حمل‌ونقل، نوع رسوب‌گذاری، دفن و دیاژنز می‌توانند تا حدودی اثرات سنگ منشأ را از بین ببرند (Ingersoll, 1988). خواص کانی‌های سنگین به ویژه ترکیب آن‌ها می‌تواند سنگ‌های منشأ را تعیین کند، زیرا این خواص مستقیماً از سنگ منشأ به ارث می‌رسند که نمی‌توانند از طریق هوازدگی، حمل‌ونقل و سایش مکانیکی تغییر یابند (Mange and Maurer, 1992; Meng et al., 2016; Joshi et al., 2021; Koyya, 2022). کانی‌های سنگین به دلیل اینکه عمدتاً متعلق به سنگ‌های منشأ خاصی هستند، می‌توانند به عنوان شاخص مناسبی برای منشأ مورد استفاده قرار گیرند، به شرطی که مناطق منشأ رسوب به‌طور مناسب متمایز شوند (Sevastjanova et al., 2012). بر این اساس، مطالعه بر روی کانی‌های سنگین به شناسایی منشأ احتمالی رسوبات کمک خواهد کرد، زیرا کانی‌های سنگین نسبت به تغییرات در طول هوازدگی و رسوب‌گذاری حساس نیستند (Morton and Hallsworth, 2007; Tsikouras et al., 2011).

مقدار کانی‌های سنگین در اندازه ماسه به دلیل عوامل مختلفی مانند منشأ، فرآیندهای رسوبی و انحلال پس از رسوب‌گذاری به‌طور قابل توجهی تغییر می‌کند. دقت تفسیر منشأ و توزیع رسوبات ماسه‌ای به کمک مطالعات تلفیقی کانی‌شناسی و ژئوشیمی این رسوبات بطور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد، زیرا ترکیب کانی‌های سنگین موجود در رسوبات به شرایط تشکیل سنگ‌های منشأ بستگی دارد (Morton, 1991; Kasper Zubillaga and Zolezzi Ruiz, 2007; Martins, et al., 2012; Moles and Chapman, 2019; Caracciolo, 2020) و تحلیل کانی‌های سنگین به حذف اثرات انحلال درون‌لایه‌ای در طی دیاژنز و همچنین تغییرات در طی حمل‌ونقل که ممکن است نتایج تحلیل مدال را مبهم کند، کمک می‌کند (Tsikouras et al., 2011).

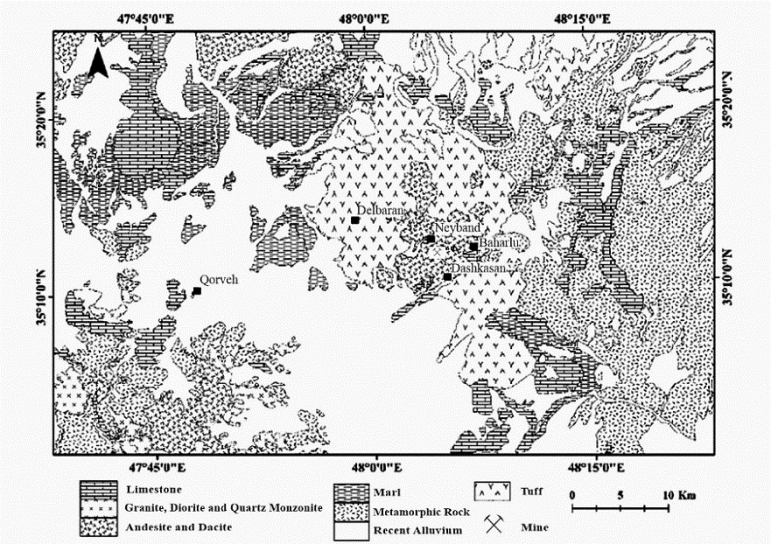
سنگ‌های نفوذی منطقه داشکسن شامل توده‌های نیمه عمیق بوده که در سطح زمین به صورت سنگ‌های داسیت و ریوداسیت (آق داغ، ساری داغ و ساری گونی) رخنمون دارند و میزبان کانه‌زایی هیدروترمال سه عنصر اصلی طلا، آنتیموان و آرسنیک هستند (Rastad et al., 2000). در حوضه آبریز رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند، نفوذ سیالات هیدروترمال در سنگ‌ها به عنوان عامل طبیعی و استخراج کانه از کانسار آرسنیک-آنتیموان-طلای داشکسن به عنوان عامل انسان‌زاد سبب تمرکز عناصر در رسوبات این رودخانه‌ها شده است. هدف از این تحقیق، بررسی رسوبات ماسه‌ای رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند به کمک مطالعات رسوب شناسی و ژئوشیمی و همچنین ارتباط بین غلظت عناصر مورد بررسی با لیتولوژی رخنمون در حوضه آبریز این رودخانه‌ها می‌باشد.

۲- ویژگی های زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند در شمال غرب کشور و استان کردستان واقع شده‌اند. حوضه آبریز رودخانه شور با مساحت ۲۰۰۹ کیلومتر مربع در بین طول‌های جغرافیایی °47 ′38 ″18 E و °48 ′30 ″10 E و عرض‌های جغرافیایی °34

N ″50 ′54 و N ″53 ′29 °35 قرار گرفته است. رودخانه شور یکی از بزرگترین و پر آب ترین شاخه‌های رودخانه تلوار است. رودخانه تلوار در شهرستان بیجار یکی از شاخه‌های اصلی قزل اوزن می‌باشد. حوضه رودخانه شور یکی از زیر حوضه‌های دریای خزر می‌باشد (Yamani et al., 2017). رودخانه‌های داشکسن و نی‌بند بخشی از حوضه آبریز رودخانه شور می‌باشند و به دلیل نزدیکی به کانسار داشکسن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. رودخانه داشکسن از روستای بهارلو شروع و پس از عبور از روستاهای داشکسن، جدی آقایه و زنگ آباد در نزدیکی جاده همدان-سنندج به رودخانه شور می‌ریزد. رودخانه نی‌بند نیز یکی از شاخه‌های رودخانه شور است که از روستای نی‌بند شروع و به رودخانه شور می‌ریزد.

منطقه مورد مطالعه در زون سنندج-سیرجان قرار گرفته است. سنگ‌های رخنمون یافته در حوضه آبریز رودخانه‌های مورد مطالعه دارای سنی متغیر از تریاس تا کوارترنری می‌باشند. به طور کلی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ‌های آهک، مارن، توف‌های آندزیت، سنگ‌های آذرین درونی شامل گرانیت، آمفیبول گرانیت، گرانودیوریت و کوارتز مونزونیت، سنگ‌های دگرگونی شامل کوارتز شیست و مسکویت شیست و همچنین سنگ‌های ساب ولکانیکی آندزیتی، داسیتی و ریوداسیت می‌باشند (شکل ۱). سنگ‌های ساب ولکانیکی در سطح زمین به صورت سه گنبد آق داغ، ساری داغ و ساری گونی رخنمون دارند و میزبان کانسار گرمابی داشکسن می‌باشند. مساحت هر یک از این واحدها برای حوضه‌های آبریز رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند به توسط نرم افزار ArcGIS محاسبه شده است (جدول ۱).



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Geological map of the study area

جدول ۱- مساحت واحدهای سنگی رخنمون یافته در حوضه آبریز رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند

Table 1. The area of outcropped rock units (km^2) in the catchment of Shour, Dashkasan and Neyband rivers.

Lithology	Shour river	Neyband river	Dashkasan river
Limestone	146.0	1.0	6.2
Tuff	180.0	20.0	50.0
Marl	160.3	0.0	0.0
Metamorphic Rock	97.2	0.0	10.5
Andesite	119.2	26.5	24.0
Granite	58.9	0.0	0.0

۳- مواد و روش‌ها

رسوبات رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند در ۳۰ ایستگاه و از عمق ۲۰ سانتیمتری نمونه‌برداری گردید (شکل ۲). نقشه زمین شناسی حوضه آبریز با استفاده از نرم افزار ArcGIS تهیه شد. لیتولوژی‌های رخنمون یافته در حوضه آبریز رودخانه‌های مورد مطالعه با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه کوهین (Khan Nazar et al., 2014) و قروه (Hosseini et al., 1999) تفکیک شد. ماسه‌های دانه متوسط به روش الک مرطوب و خشک جداسازی گردید. از این رسوبات مقاطع نازک جهت مطالعه میکروسکوپی رسوبات ماسه‌ای دانه متوسط تهیه شد و فراوانی اجزاء رسوب (کوارتز، فلدسپات، خرده‌سنگ‌های کربناته، خرده‌سنگ‌های ولکانیکی و خرده‌سنگ‌های کربناته) در ۳۱ نمونه به روش دانه شماری تعیین شد. کانی‌های سنگین ۷ نمونه با استفاده از محلول سنگین (بروموفورم) جداسازی و از این کانی‌ها مقاطع نازک صیقلی تهیه و با میکروسکوپ دو منظوره (دارای نور عبوری و انعکاسی) مطالعه گردید.

میزان عناصر Ca، Ti، P، Mn، Mg، Fe، Al، Na و K به روش ICP-OES اندازه‌گیری شد. هوازدگی منطقه منشأ از طریق محاسبه اندیس‌های هوازدگی CIA و ICV و نمودار مثلثی هوازدگی A-CN-K (Nesbitt and Young, 1982) و همچنین نمودار آب و هوای ناحیه سنگ منشأ (Weltje, 1994) تعیین گردید. علاوه بر روش شیمیایی، تعیین درجه هوازدگی سنگ منشأ و درجه دگرسانی ذرات فلدسپات با مطالعه مقاطع نازک انجام شد.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- اجزاء رسوب

اجزاء رسوبات رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند بر اساس مطالعات میکروسکوپی شامل خرده‌سنگ‌های ولکانیکی، خرده‌سنگ‌های کربناته، کوارتز، فلدسپات، خرده‌سنگ‌های دگرگونی، کانی‌های سنگین روشن و کانی‌های سنگین تیره می‌باشند. فراونی اجزاء رسوب به روش نقطه شماری تعیین شده است (جدول ۲).

میانگین فراوانی خرده سنگ‌های ولکانیکی در رسوبات مورد مطالعه ۳۵/۱۸٪ است و بیشترین فراوانی را در رسوبات رودخانه داشکسن دارند. این اجزاء شامل بلورهای درشت فلدسپات و کوارتز در زمینه شیشه‌ای می‌باشند (شکل a۳). ترکیب خرده سنگ‌های ولکانیکی اغلب آندزیتی، داسیتی و ریوداسیتی با بافت پورفیری است. گاهاً خرده سنگ‌های بازالتی با بافت میکرولیتی نیز در مقاطع مشاهده شده است. این اجزاء از توده‌های نیمه عمیق آق داغ، ساری داغ، و ساری گونی با ترکیب آندزیت، داسیت و ریوداسیت منشأ می‌گیرند. منشأ خرده‌سنگ‌های بازالتی از دو رخنمون سنگ‌های بازالتی با سن کوارترنر است که در حوضه آبریز رودخانه‌های شور و داشکسن رخنمون دارند.

میانگین فراوانی خرده سنگ‌های کربناته در رسوبات مورد مطالعه ۲۲/۵۴٪ است. این اجزاء شامل خرده‌های میکرایتی و اسپاریتی می‌باشند (شکل b۳)، خرده‌های میکرایتی در رودخانه داشکسن و خرده‌های اسپاریتی در رودخانه شور بیشترین فراوانی را دارند. منشأ خرده‌سنگ‌های کربناته سنگ‌های آهکی هستند که در حوضه آبریز رودخانه‌های شور، داشکسن و نی‌بند رخنمون گسترش دارند، این سنگها شامل تراورتن، مارن و سایر سنگ‌های کربناته به سن تریاس تا کوارترنری می‌باشند.

میانگین کوارتز در رسوبات مورد مطالعه ۱۳/۵۳٪ است. اغلب کوارتزها دارای خاموشی مستقیم هستند، اما کوارتزهایی با خاموشی موجی نیز مشاهده شده است (شکل c۳). منشأ کوارتزها در رسوبات رودخانه‌های داشکسن و نی‌بند از سنگ‌های آندزیت، داسیت، ریوداسیت و ماسه‌سنگ‌های با دگرگونی درجه پایین است. در رسوبات رودخانه شور این اجزاء از گرانیت، دیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت، کوارتز مونزونیت و سنگ‌های دگرگونی (کوارتزیت) که در حوضه آبریز رخنمون دارند همراه با کوارتزهایی که از رودخانه داشکسن به این رودخانه حمل شده‌اند، منشأ گرفته‌اند.

میانگین فراوانی فلدسپات‌ها در رسوبات مورد مطالعه ۱۳٪/۳۹ است. این ذرات اغلب از نوع پلاژیوکلاز با ماکل کالسباد هستند (شکل d۳) و گاهاً از نوع آلکالی فلدسپات با ماکل شطرنجی می‌باشند. منشا فلدسپات مشابه کوارتز، سنگ‌های آذرین و ماسه سنگ با دگرگونی درجه پایین است.

میانگین فراوانی خرده‌سنگ‌های دگرگونی در رسوبات مورد مطالعه ۶/۶۸٪ است. این ذرات شامل خرده‌سنگ‌های میکاشیست و کوارتز شیست می‌باشند (شکل e۳). منشأ این اجزاء در رودخانه داشکسن از شیست‌های ژوراسیک و در رودخانه شور از شیست‌های تریاس است. درصد فراوانی خرده‌سنگ‌های کوارتز شیست در رسوبات رودخانه داشکسن

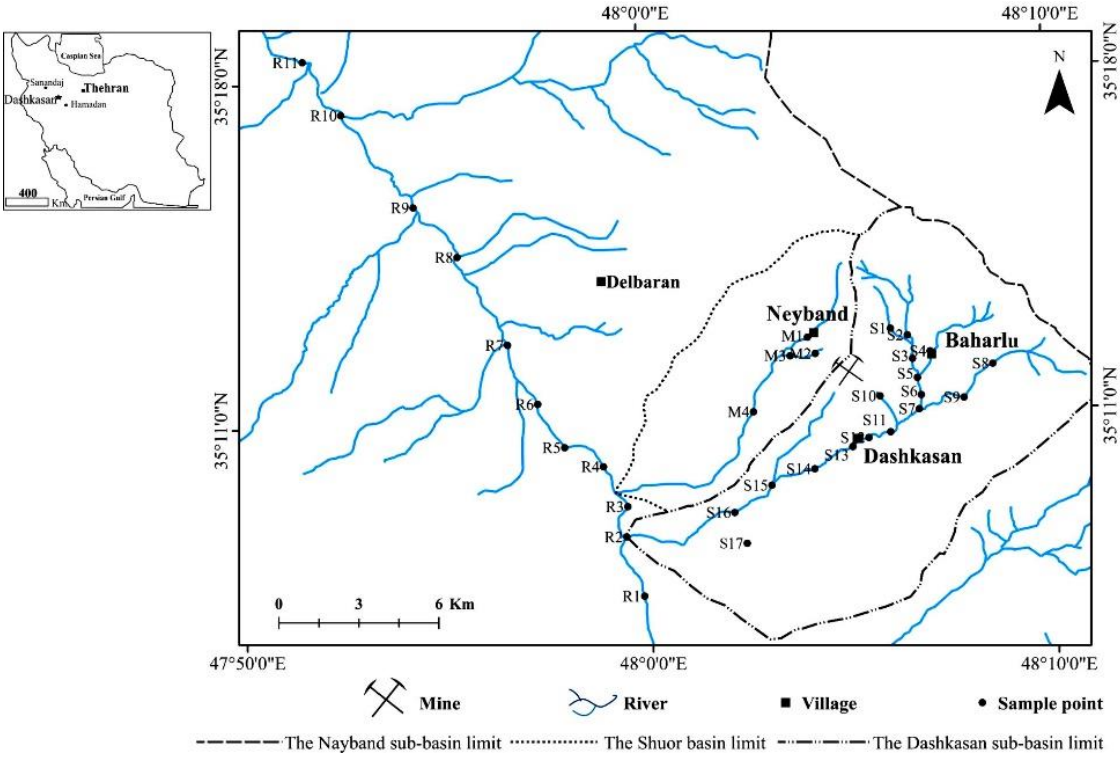
افزون‌تر است، در صورتی که خرده سنگ‌های میکاشیست در رسوبات رودخانه شور فراوانی بیشتری دارند.

کانی‌های سنگین روشن و تیره با میانگین‌های فراوانی به ترتیب ۵ و ۳/۶ درصد در رسوبات مورد مطالعه وجود دارند. بر اساس مطالعات مقاطع نازک صیقلی، کانی‌های سنگین روشن به ترتیب فراوانی شامل هورنبلند (شکل f۳ و g۳)، پیروکسن (شکل f۳)، رآلگار (شکل g۳)، بیوتیت (شکل g۳) و اپیدوت (شکل h۳) می‌باشند. کانی‌های سنگین تیره مشاهده شده در مقاطع نازک صیقلی غالباً هماتیت و مگنتیت می‌باشند (شکل i۳). بیشترین فراوانی کانی‌های سنگین تیره رسوبات در نزدیکی مناطق کانه‌زایی کانسار داشکسن است، در حالی که کانی‌های سنگین روشن در رسوبات رودخانه‌های شور و داشکسن در نزدیکی سایر منشأها مانند سنگ‌های گرانیت و توف فراوانی بالایی را نشان می‌دهند. بنابراین از مطالعات میکروسکوپی می‌توان نتیجه گرفت که کانی‌های سنگین تیره از کانسار داشکسن منشأ می‌گیرند و کانی‌های سنگین روشن با کانه‌زایی در کانسار داشکسن غیر مرتبط می‌باشند.

۴-۲- دگرسانی

مطالعات میکروسکوپی فلدسپات‌ها و خرده سنگ‌های ولکانیکی نشان می‌دهد که سطح دانه‌های این اجزاء در رسوبات رودخانه‌ای آرژلیکی شده است (شکل a۴, b و c). بطور کلی میزان هوازدگی این اجزاء کم بوده و تنها بر سطح دانه اثر کرده است و امکان دارد کانی‌های رسی حاصل هوازدگی در طول حمل و نقل از سطح دانه جدا شده باشند. درصد فراوانی فلدسپات‌ها و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی دارای دگرسانی ناشی از هوازدگی نسبت به کل فلدسپات‌ها و خرده‌سنگ‌ها تعیین شده است (جدول ۳). روند تغییرات درصد فراوانی هوازدگی فلدسپات‌ها و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی به سمت پایین دست رودخانه مشابه می‌باشد (شکل ۵). فراوانی اجزاء هوازده نسبت به غیر هوازده در نمونه‌های نزدیک سنگ‌های منشأ فلدسپات و خرده سنگ ولکانیکی کاهش می‌یابد که احتمالا به دلیل تأثیر هوازدگی محیط رودخانه می‌باشد. به عنوان مثال نمونه S10 در آبراهه واقع در دامنه توده ساب ولکانی ساری داغ برداشت شده است و این نمونه دارای کمترین درصد هوازدگی فلدسپات‌ها و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی می‌باشد.

فلدسپات‌های موجود در رسوبات مورد مطالعه دگرسانی‌های هیدروترمالی نیز علاوه بر دگرسانی ناشی از هوازدگی نشان می‌دهند که در اثر نفوذ سیالات گرمابی در سنگ منشأ این اجزاء به پدید آمده‌اند. این دگرسانی‌ها شامل سرسیتی شدن (شکل d۴ و f)، اپیدوتی شدن (شکل e۴) و کلریتی شدن (شکل d۴) می‌باشند. دگرسانی‌های فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک در منطقه معدنی داشکسن در گنبدهای ساب ولکانیک آق داغ، ساری داغ و ساری گونی مشاهده شده است (Rastad et al., 2000). فراوانی فلدسپات‌های دارای دگرسانی هیدروترمال نسبت به فراوانی کل این اجزاء در رسوب تعیین گردیده است. بیشترین فراوانی فلدسپات دارای دگرسانی هیدروترمال در رسوبات نمونه رسوب S10 می‌باشد. این نمونه از دامنه کوه ساری داغ برداشت شده که میزبان سیالات هیدروترمالی است. فراوانی دگرسانی‌های ناشی از هوازدگی و هیدروترمال در سایر نمونه‌ها نیز با فاصله از منشأ فلدسپات‌ها و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی ارتباط نشان می‌دهد. در نمونه‌های R7 تا R9 با ورود فلدسپات‌های تازه با سنگ منشأ گرانیتی به رسوبات رودخانه شور، درصد فلدسپات‌های دارای هوازدگی نسبت به فراوانی کل فلدسپات‌ها کاهش نشان می‌دهد.



شکل ۲- موقعیت نقاط نمونه برداری رودخانه‌های شور (R)، داشکسن (S) و نی‌بند (M)

Fig. 2. The location of sampling points along Shour (R), Dashkasan (S) and Neyband (M) rivers

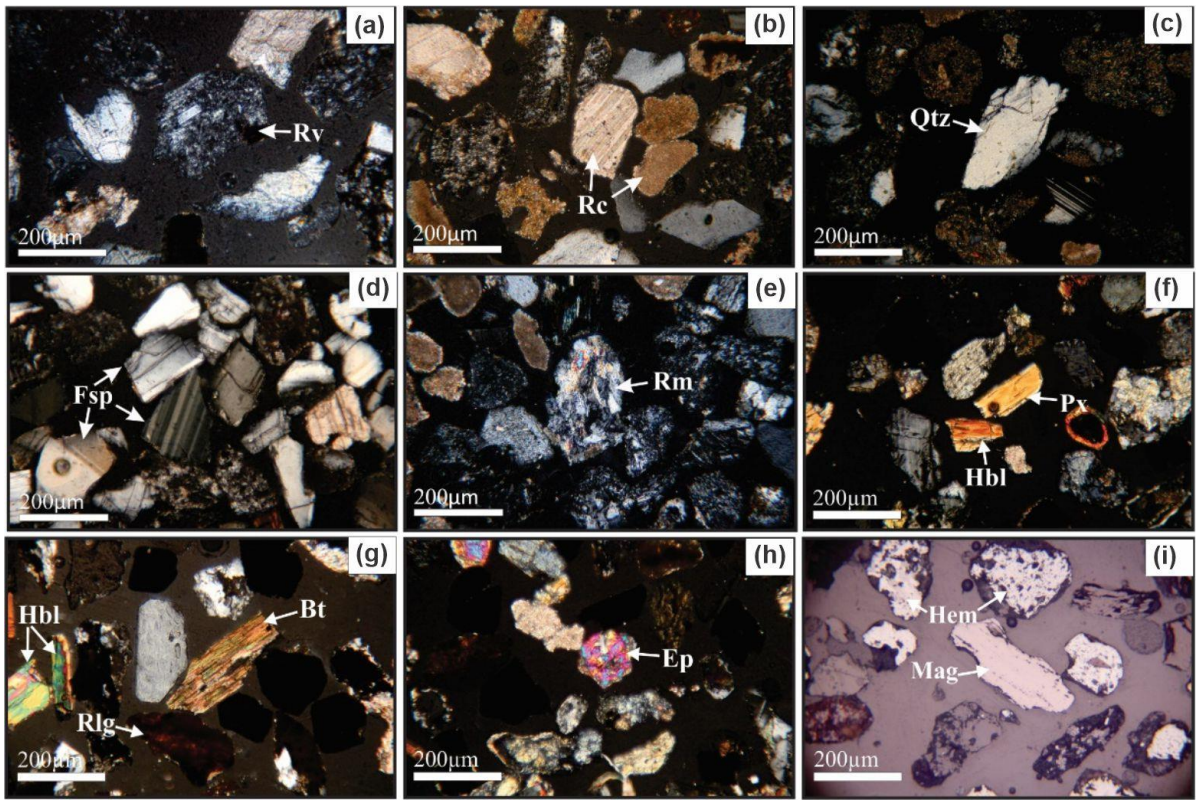
جدول ۲- درصد فراوانی اجزاء رسوبات رودخانه‌های شور (R)، داشکسن (S) و نی‌بند (M)

Table 2. Frequency percentage of sediment constituents of Shour (R), Dashkasan (S) and Neyband (M) rivers

Sample ID	Volcanic Rock Fragments	Carbonate Rock Fragments	Quartz	Feldspar	Metamorphic Rock Fragments	Non-Opaque Heavy Minerals	Opaque Heavy Minerals
S_1	8.66	59.90	6.68	14.36	2.23	4.70	3.47
S_2	37.70	6.15	21.80	11.45	5.31	12.20	5.30
S_3	53.50	10.15	22.60	5.70	0.52	3.90	3.64
S_4	36.80	2.80	17.50	23.90	5.30	7.60	6.10
S_5	39.00	3.81	21.45	22.90	2.85	7.40	2.62
S_6	65.00	1.40	12.50	12.50	2.00	4.17	1.40
S_7	53.00	11.14	5.57	22.81	2.70	2.12	2.65
S_8	15.43	13.50	11.90	17.36	33.12	5.47	3.22
S_9	25.97	19.48	6.82	14.29	26.95	3.57	2.92
S_{11}	29.74	10.00	11.32	15.26	21.84	5.00	6.84
S_{13}	30.79	33.00	11.82	9.11	4.93	7.14	3.20
S_{14}	37.44	22.56	11.28	14.10	10.26	2.56	1.79
S_{15}	41.25	7.25	15.50	15.25	7.50	5.50	7.75
S_{16}	50.59	9.41	16.94	10.12	5.88	4.00	3.06
M_1	44.88	7.80	21.95	15.12	1.22	3.66	5.37
M_2	68.27	9.59	3.32	3.69	2.95	1.48	10.7
M_3	70.73	6.23	5.96	2.98	1.63	3.25	9.21
M_4	54.02	3.60	21.61	7.48	0.00	4.16	9.14
R_1	0.00	93.04	3.00	2.00	0.00	1.47	0.49
R_2	5.37	80.00	6.34	1.95	0.98	2.44	2.93
R_3	49.36	6.19	16.97	12.6	2.57	7.71	4.63

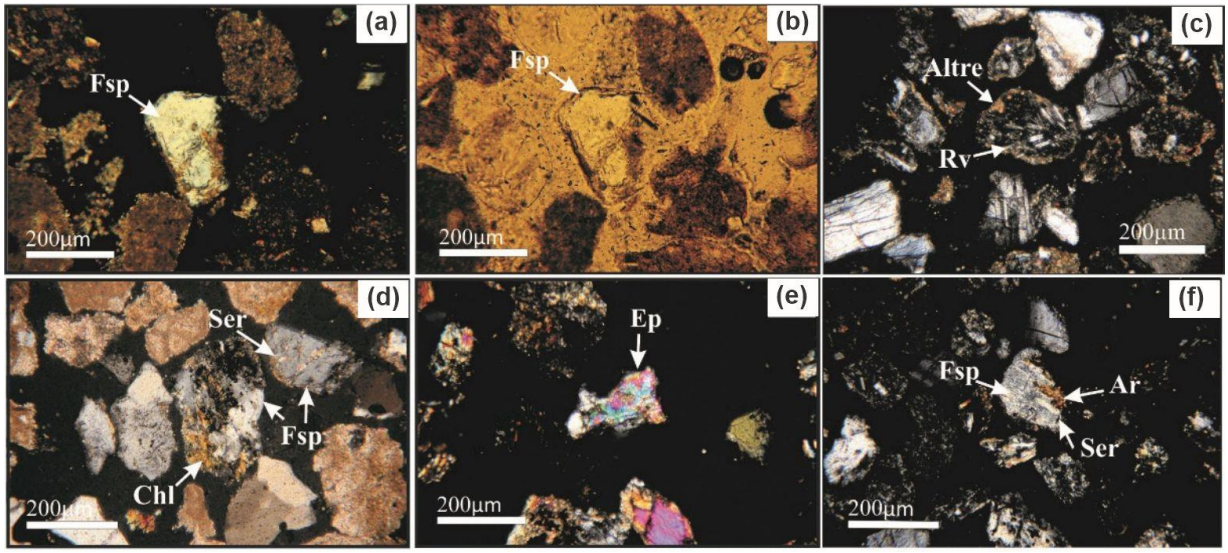
ادامه جدول ۲

R_{4A}	43.38	20.39	9.33	15.4	5.42	4.34	1.74
R_{4B}	48.42	7.92	16.52	18.33	0.00	3.85	4.98
R_5	21.43	60.71	7.38	4.76	1.90	2.86	0.95
R_6	21.21	32.73	14.55	16.97	5.76	7.88	0.91
R_7	28.82	18.79	12.77	24.11	9.93	5.67	0.00
R_8	23.93	11.10	20.71	21.36	12.14	10.36	1.40
R_9	25.36	17.30	18.25	25.59	4.50	7.35	1.66
R_{10}	17.7	39.4	15.1	15	8.8	3.54	0.44
R_{11}	6.63	45.86	21.55	8.29	11.05	6.63	0
Average	35.18	22.54	13.53	13.39	6.68	5.07	3.62



شکل ۳- تصویر میکروسکوپی اجزاء تشکیل دهنده رسوبات مورد مطالعه: (a) خرده‌سنگ ولکانیکی (Rv)، (b) خرده‌سنگ کربناته (Rc)، (c) کوارتز (Qtz)، (d) فلدسپات (Fsp)، (e) خرده‌سنگ کربناته (Rc)، (f) کانی‌های هورنبلند (Hbl) و پیروکسن (Px)، (g) کانی‌های هورنبلند (Hbl)، بیوتیت (Bt) و رآلگار (Rlg) و (h) اپیدوت (Ep)، (i) هماتیت (Hem) و مگنتیت (Mag) (علائم اختصاری بر اساس Whitney and Evans, 2010)

Fig. 3. Microscopic images of the studied sediments constituent: (a) Volcanic rock fragments (Rv), (b) Carbonate rock fragments (Rc), (c) Quartz (Qtz), (d) Feldspar (Fsp), (e) Metamorphic rock fragments (Rm), (f) Hornblende (Hbl) and Pyroxene (Px), (g) Hornblende (Hbl), Biotite (Bt) and Realgar (Rlg), and (h) Epidote (Ep), (i) Hematite (Hem) and Magnetite (Mag) (Abbreviations based on Whitney and Evans, 2010)



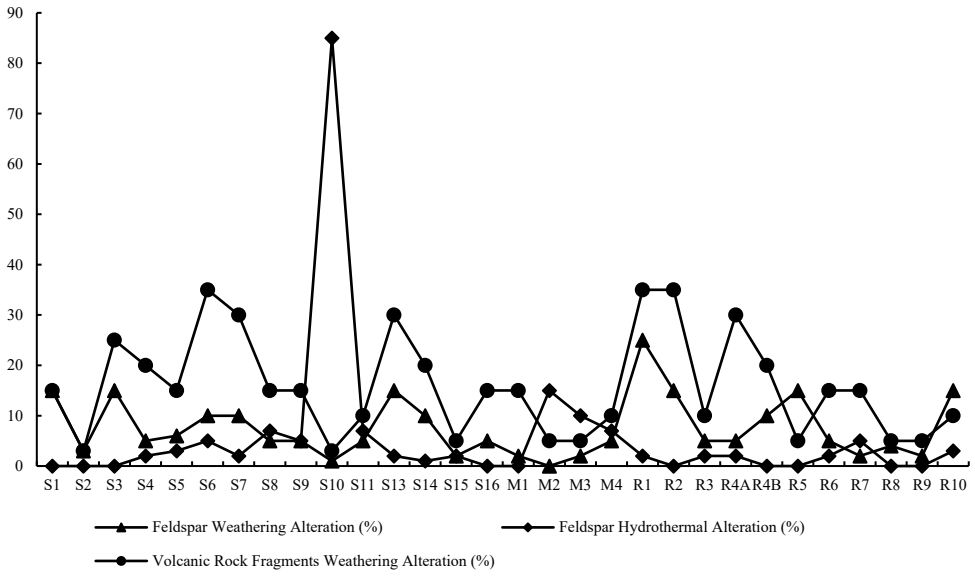
شکل ۴- تصاویر میکروسکوپی دگرسانی‌های: (a) و (b) هوازدگی فلدسپات (XPL) و (PPL)، (c) هوازدگی خرده سنگ ولکانیکی (XPL)، (d) دگرسانی سرسیتی و کلریتی فلدسپات (XPL)، (e) اپیدوتی شدن فلدسپات (XPL) و (f) سرسیتی شدن و آرژیلیکی شدن (XPL) (علائم اختصاری بر اساس Whitney and Evans, 2010)

Fig. 4. The microscopic images of alterations: (a) and (b) Weathering of feldspar (XPL) and (PPL), (c) Weathering of volcanic rock fragments (XPL), (d) Sericite and chlorite alteration of feldspar (XPL), (e) Epidoteization of feldspar (XPL), and (f) Sericitization and argillization (XPL) (Abbreviations based on Whitney and Evans, 2010)

جدول ۳- درصد فراوانی دگرسانی ناشی از هوازدگی و هیدروترمال در فلدسپات‌ها و خرده سنگ‌های ولکانیکی

Table 3. Frequency percentage of weathering and hydrothermal alteration of feldspars and volcanic fragments

Sample ID	Feldspar Weathering Alteration	Feldspar Hydrothermal Alteration	Volcanic Rock Fragments Weathering Alteration	Sample ID	Feldspar Weathering Alteration	Feldspar Hydrothermal Alteration	Volcanic Rock Fragments Weathering Alteration	Sample ID	Feldspar Weathering Alteration	Feldspar Hydrothermal Alteration	Volcanic Rock Fragments Weathering Alteration
S_1	15	0	15	S_{11}	5	7	10	R_2	15	0	35
S_2	3	0	3	S_{13}	15	2	30	R_3	5	2	10
S_3	15	0	25	S_{14}	10	1	20	R_{4A}	5	2	30
S_4	5	2	20	S_{15}	2	2	5	R_{4B}	10	0	20
S_5	6	3	15	S_{16}	5	0	15	R_5	15	0	5
S_6	10	5	35	M_1	2	0	15	R_6	5	2	15
S_7	10	2	30	M_2	0	15	5	R_7	2	5	15
S_8	5	7	15	M_3	2	10	5	R_8	4	0	5
S_9	5	5	15	M_4	5	7	10	R_9	2	0	5
S_{10}	1	85	3	R_1	25	2	35	R_{10}	15	3	10



شکل ۵- نمودار فراوانی دگرسانی‌های هیدروترمالی و هوازدگی در فلدسپات‌ها و خرده سنگ‌های ولکانیکی

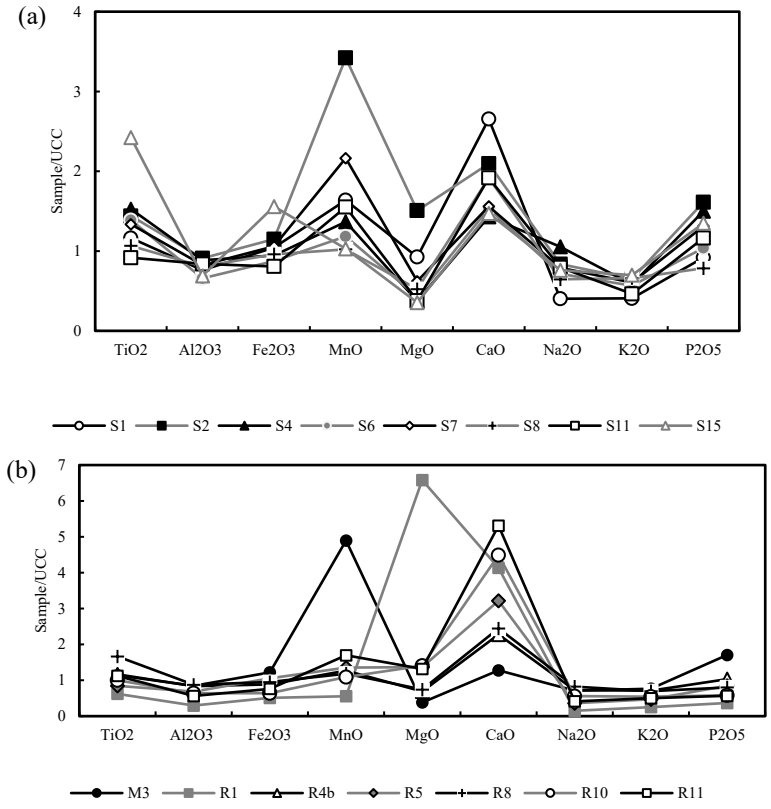
Fig. 5. Frequency diagram of hydrothermal alterations and weathering in feldspars and volcanic rock fragments

۴-۳- عناصر اصلی رسوبات و بهنجار سازی آنها با پوسته قاره‌ای بالایی (UCC)

میانگین عناصر اصلی رسوبات مورد بررسی نسبت به پوسته قاره‌ای (Upper Continental Crust) بالایی به ترتیب فراوانی شامل CaO (۱۰/۵ ppm)، TiO2 (۰/۶۳ ppm)، P2O5 (۰/۲۱ ppm)، MnO (۰/۱۲ ppm)، MgO (۲/۵۸ ppm)، Fe2O3 (۴/۸ ppm)، Al2O3 (۱۱/۲ ppm)، Na2O (۲/۵۳ ppm) و K2O (۱/۹ ppm) می‌باشد. اکسیدهای این عناصر بر اساس میانگین غلظت عناصر در پوسته قاره‌ای بالایی (UCC) (Taylor and McLennan, 1995) بهنجار شده است (شکل ۶).

CaO در نمونه‌های رودخانه داشکسن غنی‌شدگی ۱/۵ تا ۲/۵ برابر دارد، درحالیکه نمونه‌های رودخانه شور غنی‌شدگی ۱/۳ تا ۵/۳ برابر را نشان می‌دهند. عنصر کلسیم در سنگ‌های کربناته بیشتر به فرم کانی کلسیت CaCO3 وجود دارد (De Vos et al., 2006). سنگ‌های کربناته مانند تراورتن و مارن در حوضه آبریز رودخانه شور و داشکسن رخنمون گسترده‌ای دارند و به همین دلیل کلسیم دارای غنی‌شدگی زیادی نسبت به پوسته بالایی زمین است. TiO2 در تمام نمونه‌های رودخانه داشکسن غنی‌شدگی کمی نسبت به مقادیر این عنصر در پوسته بالایی (UCC) نشان می‌دهد، در حالی که در نمونه‌های رودخانه شور غنی‌شدگی ندارد و مقادیر آن حدوداً مشابه پوسته قاره‌ای بالایی است (شکل ۶). تیتانیوم در کانی‌های آمفیبول، پیروکسن، میکا، گارنت و مگنتیت جانشین آهن و منیزیوم می‌شود (De Vos et al., 2006). این کانی‌ها در سنگ‌های ساب ولکانیک حوضه رودخانه داشکسن وجود دارند. P2O5 در نمونه‌های رودخانه داشکسن غنی‌شدگی کمی دارد، اما در نمونه‌های رودخانه شور بجز نمونه M3 که ۱/۹ برابر پوسته غنی‌شدگی دارد، در بقیه نمونه‌ها غنی‌شدگی نشان نمی‌دهد. کانی‌هایی مانند آپاتیت و منزونیت که در ترکیب خود مقادیر زیادی فسفر دارند در مقاطع میکروسکوپی مشاهده نگردید، ولی فسفر می‌تواند در ساختار کانی‌هایی چون پیروکسن، آمفیبول و میکا جانشین شود (De Vos et al., 2006). بنابراین به احتمال زیاد غنی‌شدگی فسفر در نمونه‌های داشکسن می‌تواند به علت حضور مقادیر زیاد کانی‌های پیروکسن، میکا و آمفیبول باشد. MnO در نمونه‌های رودخانه داشکسن غنی‌شدگی نشان می‌دهد و مقدار MnO در نمونه S2 حدود سه و نیم برابر بیشتر از پوسته قاره‌ای بالایی است، ولی در نمونه‌های رودخانه شور بجز نمونه M3 که ۵ برابر پوسته قاره‌ای بالایی غنی‌شدگی دارد، غنی‌شدگی کمتری دارد. منگنز عنصری نسبتاً فراوان در پوسته زمین است و اغلب به همراه آهن در ساختار بلوری کانی‌هایی مانند مگنتیت، آمفیبول، پیروکسن و کلسیت قرار می‌گیرد (De Vos et al., 2006). غنی‌شدگی زیاد منگنز در نمونه‌ها احتمالا به علت جانشین شدن در ساختار این کانی‌ها می‌باشد. MgO

در اغلب نمونه‌های رودخانه شور نسبت به پوسته قاره‌ای غنی‌شدگی دارد. به عنوان مثال نمونه R1 ۶/۶ برابر غنی‌شدگی نشان می‌دهد. منیزیم در نمونه‌های رودخانه داشکسن بجز نمونه S2 غنی‌شدگی نشان نمی‌دهد. منیزیم در ساختار دولومیت $CaMg(CO_3)_2$ در سنگ‌های کربناته وجود دارد (De Vos et al., 2006). غنی‌شدگی زیاد این عنصر در رسوبات رودخانه شور و نمونه S2 از رسوبات رودخانه داشکسن به دلیل نزدیکی به سنگ‌های منشأ کربناته می‌باشد. همچنین در مقاطع نازک این نمونه‌ها بخصوص نمونه R1 خرد سنگ کربناته بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها مشاهده گردید. Fe_2O_3 در نمونه‌های S1، S2، S7، S15، M3 و R5 غنی‌شدگی کمی نسبت به پوسته بالایی دارد و در سایر نمونه‌ها فاقد غنی‌شدگی می‌باشد (شکل ۶). عنصر آهن بعد از آلومینیوم فراوانترین عنصر پوسته زمین است و در ساختار بلوری کانی‌های مختلف حضور دارد (De Vos et al., 2006). غنی‌شدگی نمونه‌های مذکور نسبت به آهن بخاطر وجود کانی‌های مگنتیت، هماتیت، گوتیت و اکسید آهن است که در مقاطع میکروسکوپی تهیه شده قابل مشاهده است. Al_2O_3 در همه نمونه‌ها نسبت به پوسته قاره‌ای بالایی تهی‌شدگی نشان می‌دهد. آلومینیم یکی از فراوان‌ترین عناصر پوسته زمین می‌باشد و در کانی‌های رسی حضور دارد (De Vos et al., 2006). اغلب سنگ‌های منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آذرین یا کربناته هستند و در مقایسه با سنگ‌هایی مانند شیل میزان آلومینیوم کمتری دارند و به همین دلیل این عنصر در همه نمونه‌ها غلظتی کمتر از پوسته زمین دارد. مقادیر Na_2O و K_2O در همه نمونه‌ها نسبت به پوسته بالایی تهی‌شدگی نشان می‌دهند. این اکسیدها اغلب در گرانیت‌ها و یا شیل‌ها تمرکز بالایی دارند و چون بیشتر سنگ‌های حوضه رودخانه مورد مطالعه ولکانیکی غیر اسیدی هستند، فراوانی Na_2O و K_2O در نمونه‌های رسوب کمتر از میانگین آنها در پوسته قاره‌ای است. دلیل دیگر می‌تواند آزاد شدن Na^+ و K^+ در اثر هوازدگی باشد.



شکل ۶- اکسیدهای اصلی (a): نمونه‌های رودخانه داشکسن (S) و (b): نمونه‌های رودخانه شور (R) و نی‌بند (M) که نسبت به مقادیر پوسته قاره‌ای بالایی (UCC)، (Taylor and MCLennan, 1995) بهنجار شده‌اند

Fig. 6. Major oxides of the samples from (a) Dashkasan (S), (b) Shour (R) and Neyband (M) rivers normalized relative to values of the Upper Continental Crust (UCC) (Taylor and MCLennan, 1995)

۵- اندیس‌های هوازدگی رسوبات

در این تحقیق برای تعیین میزان هوازدگی رسوبات سیلیسی آواری از اندیس دگرسانی شیمیایی (CIA) (Nesbitt and Young, 1984) استفاده شده است. براساس اندیس CIAهرچقدر شدت هوازدگی بیشتر باشد، کانی‌های رسی بیشتری تولید می‌شود و در نتیجه میزان Al در رسوبات افزایش می‌یابد (Dalai et al., 2004). میزان بالای این اندیس مبین حذف کاتیون‌های ناپایدار از قبیل +Ca، +Na و +K نسبت به اجزای پایدار مثل +Ti4 و +Al3 در طی هوازدگی است. از طرفی مقدار کم CIA نشان‌دهنده نبود دگرسانی شیمیایی و شرایط آب و هوایی خشک است. اندیس CIA طبق رابطه ذیل محاسبه می‌شود (اکسیدها در این رابطه به صورت نسبت مولکولی است):

$$CIA=AL_2O_3/(Al_2O_3+CaO+K_2O+Na_2O)*100$$

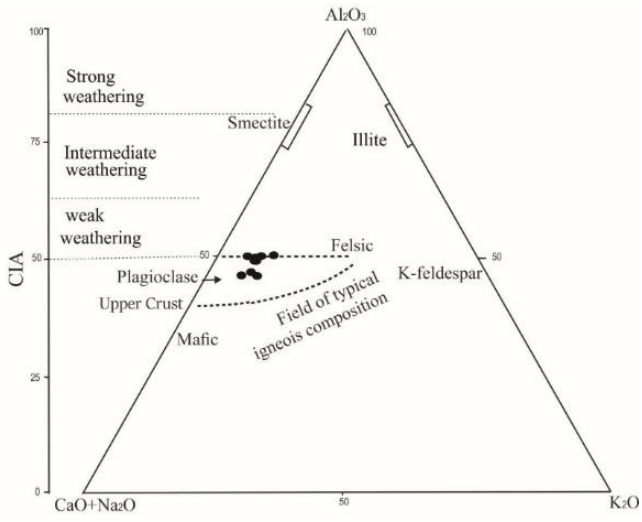
CaO در این فرمول در پیوند با کانی‌های سیلیکاته است (Nesbitt and Young, 1984). به دلیل این که فراوانی خرده سنگ‌های کربناته در رسوبات نسبتاً بالا می‌باشد، فراوانی Na2O بجای CaO در این فرمول استفاده شده است (Madhavaraju et al., 2016). مقدار میانگین این اندیس برای رسوبات مورد مطالعه ۴۸/۶۲ می‌باشد (جدول ۴) که بیانگر میزان دگرسانی شیمیایی کم است. هوازدگی کم رسوبات با توجه به آب و هوای سرد شهرستان قروه و ۱۰۴ روز یخبندان در طول سال (Bakhtiari Nejad, 2009) و همچنین مطالعات میکروسکوپی تأیید می‌شود.

برای تفسیر هوازدگی از نمودار مثلثی (A-CN-K) K2O-Na2O+CaO-Al2O3 نیز می‌توان استفاده کرد. در این نمودار اکسیدها به صورت نسبت مولکولی بکار می‌روند (Madhavaraju et al., 2016). ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها بر روی نمودار مثلثی مذکور نشان‌دهنده محدوده هوازدگی کم برای نمونه‌ها می‌باشد (شکل ۷) که با نتایج اندیس CIA مطابقت دارد. بر اساس نمودار Nesbitt and Young (۱۹۸۴) پلاژیوکلاز در ترکیب رسوب غالب می‌باشد که توسط مطالعات مقاطع نازک نیز تأیید می‌گردد.

جدول ۴- مقادیر CN (Na2O+CaO), K2O, Al2O3 و اندیس‌های هوازدگی CIA و ICV نمونه‌های مورد مطالعه

Table 4. Amounts of CN (Na2O+CaO), K2O, Al2O3 and weathering indices of CIA and ICV in the studied samples

Sample	CIA	ICV	CN	K_2O	Al_2O_3
S_2	22.5	1.9	28.9	9.8	61.3
S_4	45.2	1.7	34.7	8.34	56.94
S_6	46.1	1.5	31.8	11	57.2
S_7	49.4	1.6	29.6	9.9	60.6
S_{11}	50.6	1.4	30.1	7.6	62.2
S_{15}	45	1.4	28.4	14.4	57.2
M_3	50	8.1	26.4	12.3	61.2
R_{4B}	50.7	2.4	27.1	11.6	61.2
R_8	49.4	1.7	29	10.7	60.3



شکل ۷- نمودار مثلثی تعیین روند هوازدگی (A-CN-K) (Nesbitt and Young, 1984) برای رسوبات مورد مطالعه

Fig. 7. Triangular diagram (A-CN-K) (Nesbitt and Young, 1984) for determining the weathering process of the studied sediments

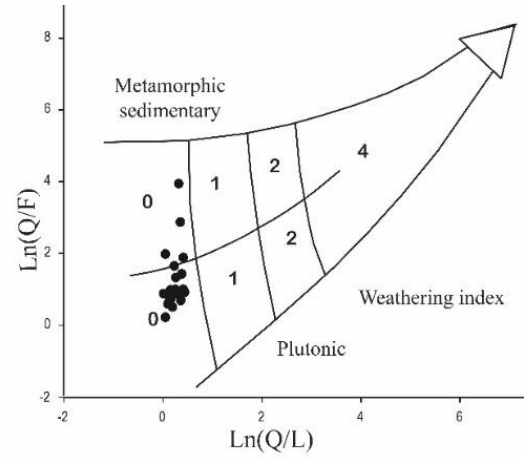
برای تعیین میزان هوازدگی و این که رسوبات مربوط به چرخه اول رسوب‌گذاری یا حاصل چرخه مجدد هستند، می‌توان از اندیس تغییرات ترکیب (ICV) استفاده کرد (Cox et al., 1995). این اندیس فراوانی آلومینیوم را نسبت به سایر کاتیون‌ها نشان می‌دهد. در کانی‌هایی که حاوی رس بیشتری می‌باشند، ICV بیشتر است. بر این اساس نمونه‌های فاقد رس ICV بیشتر از ۱ دارند و حاصل چرخه اول رسوبگذاری هستند و نمونه‌هایی که دارای کانی‌های رسی فراوان هستند، ICV کمتر از ۱ دارند و محصول چرخه مجدد یا رسوبات به شدت هوازده از چرخه اول در نظر گرفته می‌شوند (Cullers and Podkovyrov, 2002). اندیس تغییرات ترکیب طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$ICV=\frac{CaO+K_2O+Na_2O+Fe_2O_3+MgO+TiO_2}{Al_2O_3}$$

میانگین ICV برای نمونه‌های مورد مطالعه ۱/۶ است (جدول ۴) و این مقدار ICV نشان می‌دهد که هوازدگی در حوضه رسوبی کم بوده و رسوبات حاصل از چرخه اول رسوبگذاری هستند.

۶- آب و هوای ناحیه سنگ منشأ

از داده‌های حاصل از نقطه شماری مقاطع میکروسکوپی برای تعیین آب و هوای ناحیه سنگ مادر استفاده شده است. ترسیم داده‌های حاصل از نقطه شماری مقاطع میکروسکوپی روی نمودار آب و هوایی (Weltje, 1998) Ln(Q/L) - Ln(Q/F) نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها در محدوده صفر قرار گرفته‌اند که بیانگر آب و هوای نیمه خشک و سرد برای رسوبات مورد مطالعه است (شکل ۸). میانگین دما و بارش سالیانه ۱۰/۶ درجه سانتی گراد و ۴۰۰ میلیمتر در سال در شهرستان قروه (Bakhtiari Nejad, 2009)، آب و هوای سرد و نیمه خشک را برای منطقه تأیید می‌کند. اغلب نمونه‌های مورد مطالعه بر روی نمودار در محدوده سنگ‌های پلوتونیک قرار گرفته‌اند. وجود توده‌های نیمه عمیق آندزیتی و بازالتی و همچنین توده‌های عمیق گرانیتی در حوضه آبریز رودخانه مؤید محدوده مذکور می‌باشد. ۴ نمونه از رسوبات بر روی این نمودار در محدوده سنگ منشأ رسوبی و دگرگونی قرار گرفته است و سنگ منشأ این نمونه‌ها شیست‌ها و کربنات‌های رخنمون یافته در حوضه آبریز رودخانه هستند.



Semi-quantitative Weathering index		Relif: High Mountains 0	Relif: Moderate Hills 1	Relif: Low Plains 2
Climate (precipitation)	(Semi-)arid Mediterranc 0	0	0	0
	Temperate Subhumid 1	0	1	2
	Tropical Humid 2	0	2	4

شکل ۸- نمودار تعیین آب و هوای منطقه سنگ منشأ (Weltje., 1998) با استفاده از داده‌های نقطه شماری مقاطع رسوبات مورد مطالعه

Fig. 8. The diagram for determination of source rock region climate (Weltje, 1998) using point count data of the studied sediment sections

۷- نتیجه گیری

آندزیت‌های پورفیری، داسیت و ریوداسیت رخنمون در حوضه آبریز رودخانه داشکسن منشأ کانی‌های فلدسپات و کوارتز در رسوبات این رودخانه هستند. منشأ این اجزاء در رودخانه شور سنگ‌های گرانیت، دیوریت، کوارتز دیوریت، مونزونیت، بازالت، کوارتز مونزونیت و سنگ‌های دگرگونی می‌باشند. کانی‌های فلدسپات در اثر هوازدگی آرژیلیکی شده‌اند. همچنین این اجزاء اثرات دگرسانی سرسیتی، کلریتی و آرژیلیکی در سنگ منشأ را نشان می‌دهند.

خرده سنگ‌های ولکانیکی از گنبدهای آق داغ، ساری داغ و ساری گونی که دارای همان ترکیب هستند منشأ می‌گیرند و آثار هوازدگی آرژیلیکی در این اجزاء مشاهده می‌شود. واحدهای سنگ دگرگونی درجه پایین کوارتزیت، کوارتز میکاشیست و میکاشیست به سن ژوراسیک منشأ خرده سنگ‌های دگرگونی می‌باشند. دانه‌های کربناته به دو شکل دانه‌های کربنات فاقد رس و دانه‌های میکرو بلورین با مقادیر بالای رس هستند. این اجزاء از سنگ‌های تراورتن، مارن و سایر واحدهای آهکی رخنمون یافته در حوضه آبریز منشأ می‌گیرند.

کانی‌های سنگین موجود در رسوبات رودخانه داشکسن از توده‌های نیمه عمیق و در رسوبات رودخانه شور از سنگ‌های آذرین و دگرگونی جنوب غربی حوضه آبریز نشأت می‌گیرند. نمونه‌هایی که از نزدیکی توده معدنی آنتیموان-آرسنیک-داشکسن برداشت شده‌اند دارای کانی‌های سنگین تیره بیشتری نسبت به کانی‌های سنگین روشن هستند.

طلا به صورت پلاسری در رسوبات ماسه‌ای رودخانه وجود ندارد. عدم تشکیل پلاسر در رسوبات رودخانه‌ای احتمالاً می‌تواند به ویژگی‌های پتروگرافی سنگ‌ها و شرایط هوازدگی سنگ منشأ مرتبط باشد. کانی‌های حاوی عنصر طلا در شرایط آب و هوای منطقه تجزیه شده و طلا احتمالاً به صورت عنصری آزاد شده است. رسوبات مورد مطالعه بر اساس اندیس‌های ICV و CIA هوازدگی کم در سنگ منشأ را نشان می‌دهند.

مراجع

Abedini, A., Khosravi, M., 2022. Geochemical constraints on the Zola-Chay river sediments, NW Iran: Implications for provenance and source-area weathering. Arabian Journal of Geosciences 15(18), 1515. https://doi.org/10.1007/s12517-022-10822-y

Ahmad, A.H.M., Noufal, K.N., Masroor, A.M., Khan, T., 2014. Petrography and geochemistry of Jumara Dome sediments, Kachchh Basin: implications for provenance, tectonic setting and weathering intensity. Chinese Journal of Geochemistry 33, 9–23. https://doi.org/10.1007/s11631-014-0656-4

Armstrong-Altrin, J.S., Nagarajan, R., Balaram, V., Natalhy-Pineda, O., 2015. Petrography and geochemistry of sands from the Chachalacas and Veracruz beach areas, western Gulf of Mexico, Mexico: constraints on provenance and tectonic setting. Journal of South American Earth Sciences 64, 199-216. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.012

Armstrong-Altrin, J.S., Lee, Y.I., Kasper-Zubillaga, J.J., Trejo-Ramírez, E., 2017. Mineralogy and geochemistry of sands along the Manzanillo and El Carrizal beach areas, southern Mexico: implications for palaeoweathering, provenance and tectonic setting. Geological Journal 52(4), 559-582. https://doi.org/10.1002/gj.2792

Asadi, S., Moore, F., Keshavarzi, B., 2013. The nature and provenance of Golestan loess deposits in northeast Iran. Geological Journal 48, 646–660. https://doi.org/10.1002/gj.2466

Bakhtiari Nejad, M., 2009. Evaluation of heavy metals pollution in soils of the Dasksen gold mine, Qorveh, Kurdistan, M.Sc. Thesis. Bu-Ali Sina University. Iran.

Caracciolo, L., 2020. Sediment generation and sediment routing systems from a quantitative provenance analysis perspective: Review, application and future development. Earth-Science Reviews 209, 103226. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103226

Carranza-Edwards, A., Kasper Zubillaga, J.J., Rosales-Hoz, L., Morales de la Garza, E.A., Lozano-Santa Cruz, R., 2009. Beach sand composition and provenance in a sector of the southwestern Mexican Pacific. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 26, 433-447. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1026-87742009000200013.

Chougong, D.T., Bessa, A.Z.E., Ngueutchoua, G., Yongue, R.F., Ntyam, S.C., Armstrong-Altrin, J.S., 2021. Mineralogy and geochemistry of Lobé River sediments, SW Cameroon: Implications for provenance and weathering. Journal of African Earth Sciences 183, 104320. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2021.104320

Cox, R., Lowe, D.R., Cullers, R., 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta 59(14), 2919-2940. https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9

Cullers, R.L., Podkovyrov, V.N., 2002. The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia. Precambrian Research 117(3), 157-183. https://doi.org/10.1016/S0301-9268(02)00079-7

Dalai, T.K., Rengarajan, R., Patel, P.P., 2004. Sediment geochemistry of the Yamuna River System in the Himalaya: Implications to weathering and transport. Geochemical Journal 38(5), 441-453. https://doi.org/10.2343/geochemj.38.441

De Vos, W., Tarvainen, T., Salminen, R., Reeder, S., De Vivo, B., Demetriades, A., 2006. Geochemical Atlas of Europe. Part 2 — Interpretation of geochemical maps, Additional Tables, Figures, Maps and related publications. Geological Survey of Finland, Espoo, Finland, P. 692. http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/articles2.php

Dickinson, W.R., 1970. Interpreting detrital modes of greywacke and arkose. Journal of Sedimentary Research 40(2), 695-707. https://doi.org/10.1306/74D72018-2B21-11D7-8648000102C1865D

Dill, H.G., Klosa, D., 2011. Heavy mineral-based provenance analysis of Mesozoic continental- marine sediments at the western edge of the Bohemian Massif, SE Germany: with special reference to Fe-Ti minerals and the crystal morphology of heavy minerals. International Journal of Earth Sciences 100, 1497–1513. https://doi.org/10.1007/s00531-010-0567-5

Djibril, K.N.G., Yiika, L.P., Etutu, M.E.M.M., Eric, B.E., Mengu, E.E., Jean-Lavenir, N.M., Armstrong-Altrin, J.S., 2024. Geochemistry of sediments from the Mugheb River, Bamenda, Cameroon Volcanic Line: implications for provenance, paleoweathering and tectonic setting. Arabian Journal of Geosciences 17(12), 331. https://doi.org/10.1007/s12517-024-12148-3

Hosseini, M., Musouri, F., Kariminia, M., Soheili, M., Masoumi, R., Ghomeishi, A., 1999. 1:100000 map of Qorveh, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

Ingersoll, R.V., 1988. Tectonics of sedimentary basins. Geological Society American Bulletin 100, 1704-1719. https://doi.org/10.1130/0016-7606(1988)100<1704:TOSB>2.3.CO;2

Joshi, K.B., Banerji, U.S., Dubey, C.P., Oliveira, E.P., 2021. Heavy minerals in provenance studies: An overview. Arabian Journal of Geosciences 14, 1330. https://doi.org/10.1007/s12517-021-07687-y

Kasper Zubillaga, J.J., Zolezzi Ruiz, H., 2007. Grain size, mineralogical and geochemical studies of coastal and inland dune sands from El Vizcaíno Desert, Baja California Peninsula, Mexico. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas 24, 423-438. https://rmcg.geociencias.unam.mx/index.php/rmcg/article/view/704

Khan Nazar, N.H., Jalali, A., Saeedi, A., Helmi, F., Mohtat, T., Bahreh, M., Ghaemi. J., Zohrab, Y., Hadadan, M., 2014. 1: 100,000 Geological maps of Kohin, Geological Survey of Iran, Map No. 5660, Tehran, Iran.

Khan, R., Das, S.C., Saha, A., Alam, K.M.N., Al-Amin, A., Aldawood, S., Haydar, M.A., Saha, S., Karim, M.M., Khan, M.H.R., Idris, A.M., 2025. Geochemical characteristics of quaternary sediments in the St. Martin Island, Bangladesh: implication for provenance, weathering and sedimentary processes. Acta Geochimica 1-26. https://doi.org/10.1007/s11631-024-00742-x

Koyya, N.M.K., 2022. Nature and provenance of heavy mineral distribution at Krishna river delta, east coast of India. Journal of the Indian Association of Sedimentologists 39(1), 52-63. https://doi.org/10.51710/jias.v39i1.206

Lawton, T.F., Juárez-Arriaga, E., Stockli, D.F., Fildani, A., 2024. Modern sand provenance and transport across the western Gulf of Mexico margin. GSA Bulletin 136(3-4), 1127-1150. https://doi.org/10.1130/B37002.1

Liyouck, P.R., Ngueutchoua, G., Armstrong-Altrin, J.S., Sonfack, A.N., Ngagoum, Y.S.K., Bessa, A.Z.E., et al., 2023. Petrography and geochemistry of the Sanaga river sediments, central Cameroon: Constraints on weathering, provenance, and tectonic setting. Journal of African Earth Sciences 199, 104840. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2023.104840

Madhavaraju, J., Tom Milu, Lee Yong, I.L., Balaram, V., Ramasamy, S., Carranza-Edwards, A., Ramachandran, A., 2016. Provenance and tectonic settings of sands from Puerto Peñasco, Desemboque and Bahia Kino beaches, Gulf of California, Sonora, México. Journal of South American Earth Sciences 71, 262-275. https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.08.005

Mange, M.A., Maurer, H.F.W., 1992. Heavy minerals in colour. Chapman and Hall, London, P. 156.

Mange, M., Wright, D., 2007. Heavy minerals in use: Developments in Sedimentology 58. Elsevier, Amsterdam, P. 1328.

Martins, R., Azevedo, M.R., Mamede, R., Sousa, B., Freitas, R., Rocha, F., Quintino, V., Rodrigues, A.M., 2012. Sedimentary and geochemical characterization and provenance of the Portuguese continental shelf soft-bottom sediments. Journal of Marine Systems 91, 41-52. https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2011.09.011

Meng, Q., Zhang, W., Zhang, J., Zhang, Z., Wu, T., 2016. Heavy mineral analysis to identify sediment provenance in the Dan River drainage, China. Geosciences Journal 20 (4), 449–462. https://doi.org/10.1007/s12303-015-0071-9

Migani, F., Borghesi, F., Dinelli, E., 2015. Geochemical characterization of surface sediments from the northern Adriatic wetlands around the Po River delta. Part I: bulk composition and relation to local background. Journal of Geochemical Exploration 156, 72-88. https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.05.003

Moles, N.R., Chapman, R.J., 2019. Integration of Detrital Gold Microchemistry, Heavy Mineral Distribution, and Sediment Geochemistry to Clarify Regional Metallogeny in Glaciated Terrains: Application in the Caledonides of Southeast Ireland. Economic Geology 114(2), 207-232. https://doi.org/10.5382/econgeo.2019.4628

Morton, A.C., 1991. Geochemical studies of heavy minerals and their application to provenance research. In: Morton, A.C., Todd, S.P., Haughton, P.D.W., (Eds.) Developments in Sedimentary Provenance Studies. Geological Society of London Special Publication 57, 31–45. https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1991.057.01.04

Morton, A.C., Hallsworth, C.R., 2007. Stability of detrital heavy minerals during burial diagenesis. In: Mange, M., Wright, D.K., (Eds.) Heavy Minerals in Use: Developments in Sedimentology 58, 215–245. https://doi.org/10.1016/S0070-4571(07)58007-6

Nesbitt, H., Young, G., 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

Nikunj, K., Shivam, M., Chandrakant, G., More, L., 2023. Texture and major element geochemistry of channel sediments in the Orsang and Hiren River Basins, Gujarat, India: Implications for provenance and weathering. Journal of the Indian Association of Sedimentologists 40(II), 57-67. https://doi.org/10.51710/jias.v40iII.310

Odoma, A.N., Obaje, N.G., Omada, J.I., Idakwo, S.O., Erbacher, J., 2015. Mineralogical, chemical composition and distribution of rare earth elements in clay-rich sediments from southeastern Nigeria. Journal of African Earth Sciences 102, 50-60. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.10.013

Pakzad, H.R., Pasandi, M., Soleimani, M., Kamali, M., 2014. Distribution and origin of heavy metals in the sand sediments in a sector of the Oman Sea (the Sistan and Baluchestan province, Iran). Quaternary International 345, 138-147. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.03.031

Patel, D.K., Nath, S., 2023. Geochemistry of Stream Sediments from Eastern Ghats Mobile Belt, India: Implications on Sediment Type, Maturity, Source-area Weathering and Provenance. Journal of the Geological Society of India 99(10), 1361-1371. https://doi.org/10.1007/s12594-023-2483-x

Rastad, A. Niroumand, Sh. Emami, M., Rashidnjad Omran, N. 2000. Origin of antimony, arsenic and gold ore deposits in the Dashkasan volcano-plutonic complex (East of Qorveh, Kurdistan province). Quarterly Journal of Geosciences 10(37), 2-32. https://www.sid.ir/paper/438650/fa

Sayem, A.S.M., Rokonuzzaman, M., Shahriar, M.S., Abdullah, R., Bari, Z., Hossen, M.S., 2023. Major and trace element geochemistry of the Atrai River sediments from the Bengal Basin (Bangladesh): implication for provenance, chemical weathering, and tectonic setting in the southeastern Himalaya. Arabian Journal of Geosciences 16(8), 487. https://doi.org/10.1007/s12517-023-11599-4

Sevastjanova, I., Hall, R., Alterton, D., 2012. A detrital heavy mineral viewpoint on sediment provenance and tropical weathering in SE Asia. Sedimentary Geology 280, 179-194. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2012.03.007

Tangari, A.C., Cirillo, D., De Luca, R., Miriello, D., Pugliese, E., Le Pera, E., 2024. Heavy Minerals Distribution and Provenance in Modern Beach and Fluvial Sands of the Betic Cordillera, Southern Spain. Geosciences 14(8), 208. https://doi.org/10.3390/geosciences14080208

Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1995. The geochemical evolution of the continental crust. Reviews Geophysics 33(2), 241-265. https://doi.org/10.1029/95RG00262

Tsikouras, B., Pe-Piper, G., Piper, D.J.W., Schaffer, M., 2011. Varietal heavy mineral analysis of sediment provenance, Lower Cretaceous Scotian Basin, eastern Canada. Sedimentary Geology 237 (3–4), 150-165. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2011.02.011

Tucker, M.E., 2001. Sedimentary Petrology: An Introduction to the Origin of Sedimentary Rocks. Blackwell Science, Oxford

Weltje, L., 1998. Mixture toxicity and tissue interactions of Cd, Cu, Pb, and Zn in earthworms (Oligochaeta) in laboratory and field soils: a critical evaluation of data. Chemosphere 36(12), 2643-2660. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(97)10228-4

Whitney, D.L., Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. American Mineralogist 95(1), 185-187. https://doi.org/10.2138/am.2010.3371

Yamani, M., Gorabi Gh., A., Mohammadkhan, Sh., Ganjaeian, H., 2017. The Evaluation of the Land Capabilities of the Shor River's Basin (Qorveh City) for the Development of the Urban Areas Using Fuzzy and ANP Models. Hydrogeomorphology 12, 1-23. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_6944.html