

Research Paper



Reconstructing the Sequence of Discharge and Paleotemperature of Jajroud Basin Based on Geochemistry and Sedimentology of Terraces



Mojtaba Yamani*¹, Shahnaz Joudaki ²



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/hyd.2023.55387.1680

Reference to this article: Yamani; Mojtaba, Joudaki; Shahnaz, (2023). Reconstructing the Sequence of Discharge and Paleotemperature of Jajroud Basin Based on Geochemistry and Sedimentology of Terraces. *Hydrogeomorphology*, 10(37): 44– 62.

Keywords

Paleo-discharge,
Sedimentary
Geochemistry,
Terrace, Quaternary,
Jajroud Basin,
Northeast of Tehran

Receive Date: 2023/02/16

Accept Date: 2023/10/21

Available: 2023/12/00

A B S T R A C T

Terraces are important archives for paleontology. In this research, the paleotemperature changes and discharge frequency of Jajroud basin in the northeast of Tehran have been investigated based on the sedimentology and geochemistry characteristics of the reservoirs. First, the sediment samples were analyzed with calcimetry, EC, XRF, and PH techniques, and then these data were correlated with the indices of salinity, chemical weathering, acidity, and maturity of the sedimentary layers of the defenses. The results show three periods of flow rate changes, during the alternation of cold and warm periods. One is at the peak of the glacial period when the accumulation of precipitation in the form of snow and ice in the mountainous part of the basin brought about a decrease in discharge (before the Holocene). In the second stage, by passing from the glacial period to the warm period (about 11 to 8 thousand years ago), Jajrud has experienced its highest flow. Because the melting of glaciers has been accompanied by rainfall. These conditions have also led to severe floods. The existence of very coarse-textured layering in the early Holocene Terraces is the result of the dominance of these conditions. In the third stage, the dominance of recent warm and dry conditions (8 thousand years ago until now) has been associated with the lack of glacial and the decrease in river flow. Because today Jajrud discharge is only supplied by rainfall and the occurrence of periodic floods is also a direct result of exceeding the thresholds of the intensity and duration of rainfall. Recent floods have also occurred in the lower reaches of the Jajrud basin and affect only the area of the Rote sub basin to the outlet of the basin. The findings indicate that the geochemical studies of the reservoirs can provide valuable data to recover the dynamic changes of flow and discharge during the Quaternary period and can be generalized to other similar basins.

* **Corresponding Author:** Mojtaba Yamani

E-mail:myamani@ut.ac.ir

1. Professor ,Faculty of Geography, Department of physical Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. PhD student, Faculty of Geographical Sciences and planning, University of Isfahan, Iran. shila.joudaki@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Sedimentary terraces are important archives for reconstructing the paleo evolutions of a basin. The characteristics of the texture, layer structure, sedimentary sequence and volume of secondary mineral deposits such as calcium carbonate are different in each sedimentary layer. By examining these differences in sedimentology, it is possible to understand the sedimentation conditions of that layer in the past. In this research, the aim is to recover the paleotemperature and discharge changes of the Jajroud basin located in the northeast of Tehran based on their sedimentological and geochemical characteristics.

Methodology

In this research, first, the river terraces were morphometry in 5 intervals during field work. Then, 12 sediment samples were collected from the identified terraces by a selective method. In the next step, geochemical analyzes using calcimetry (Caco), determination of acidity (pH) and electrical conductivity (EC) have been performed on sediment samples. Also, to identify the conditions during deposition, the mineralogical characteristics of the samples have been measured by XRF technique. Then, to reconstruct the paleo flow force, granulometry has been performed on the deposits. In the final stage of the field findings, the physical and geochemical data of the sediments have been integrated and related, and the paleo conditions of temperature dominating the basin, as well as the flow force in flood and calm states (predominance of paleo cold and warm periods) have been recovered.

Results and Discussion

Sedimentary data are the key to reconstruct past and present processes. These data can interpret and analyze the paleo conditions of the sedimentary environment, dominant and influential processes during the time and stages of sedimentation (Yamani 2021; 141). Terraces are an excellent natural laboratory for the reconstruction of paleo geomorphic processes (Torabi Gol Sefidi, 2013). The combination of field findings and sedimentology shows that the volume of lime deposition has increased suddenly since the early Holocene. Also, the average sedimentary texture of the layers related to this period is coarse and the thickness of flood layers is also increasing. On the other hand, the middle layers of the terraces are accompanied by an increase in the percentage of calcium carbonate and indicate the arrival of the warm period. On the contrary, the upper layers of the terraces, due to the decrease in the amount of lime between the deposits, indicate the dominance of the conditions of a cold and wet period with a noticeable decrease in temperature. The results of the electrical conductivity (EC) examination are also compatible with the findings of calcium and confirm the above results. In addition, XRF tests and mineralogical conditions also confirm the sequence of these two periods. These findings are followed by alternating cold and warm periods in Jajrud basin.

Conclusions

The results show that three periods of temperature and flow rate changes occurred during the Holocene period in Jajrud basin and before that. One at the peak of the glacial period, when the accumulation of snow and ice in the mountainous part led to a decrease in flow (before the Holocene). In the second stage, by passing from the glacial period to the warm period (11 to 8 thousand years ago), Jajrud has experienced its highest discharge. Because the melting of glaciers has been accompanied by rainfall. The existence of very coarse layering in the early Holocene terraces indicates the occurrence of floods in this period. In the third stage, the dominance of recent warm and dry conditions (8 thousand years ago until now) and the lack of glacial reserves have led to a decrease in river flow. Because today Jajrud discharge is only supplied by rainfall and the occurrence of periodic floods is also a direct result of exceeding the thresholds of the intensity and duration of rainfall. Based on this, the geochemical studies of the terraces can provide valuable data to recover the dynamic changes of flow and discharge during the Quaternary period and can be generalized to other similar basins.

References

- Torabi Golsefidi, H.(1994). Investigating the formation and evolution of the soils along Sefidroud River in central Gilan, Master's thesis, Isfahan University of Technology, Faculty of Agriculture, p. 13.
- Yamani, M. (2021). Research Methods and Techniques in Geomorphology, First Edition, University of Tehran Press, Tehran, Iran, pp141-200.



مقاله پژوهشی



بازسازی تناوب دبی و دمای دیرینه حوضه جاجرود بر اساس ژئوشیمی و رسوب‌شناسی پادگانه‌ها



مجتبی یمانی* و شهناز جودکی^۲



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت‌یافته قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: یمانی، مجتبی؛ جودکی، شهناز؛ (۱۴۰۲). بازسازی تناوب دبی و دمای دیرینه حوضه جاجرود بر اساس ژئوشیمی و رسوب‌شناسی پادگانه‌ها، هیدروژئومورفولوژی، ۱۰ (۳۷): ۶۲ - ۴۴.

DOI:10.22034/hyd.2023.55387.1680



چکیده

پادگانه‌ها آرشیوهای مهمی برای دیرینه‌شناسی به شمار می‌روند. در این پژوهش، تغییرات دمای دیرینه و تناوب دبی حوضه جاجرود در شمال شرق تهران بر اساس ویژگی‌های رسوب‌شناسی و ژئوشیمی پادگانه‌ها بررسی شده است. ابتدا با تکنیک‌های کلسیمتری، EC، XRF و PH نمونه‌های رسوبی آنالیز و سپس این داده‌ها با اندیس‌های میزان شوری، هوازدگی شیمیایی، اسیدیته و بلوغ لایه‌های رسوبی پادگانه‌ها ارتباط داده شده‌اند. نتایج نمایانگر سه دوره تغییرات دبی جریان، طی تناوب دوره‌های سرد و گرم است. یکی در اوج دوره یخچالی که انباشت بارش به صورت برف و یخ در بخش کوهستانی حوضه کاهش دبی را به همراه داشته است (قبل از هولوسن). در مرحله دوم، با گذر از دوره یخچالی به دوره گرم (حدود ۱۱ تا ۸ هزار سال قبل) جاجرود بیشترین دبی خود را تجربه کرده است. زیرا ذوب یخچال‌ها با دبی بارش توأم بوده است. این شرایط منجر به وقوع سیلاب‌های شدیدی نیز شده است. وجود لایه‌بندی بسیار درشت‌بافت در پادگانه‌های اوایل هولوسن نتیجه تسلط این شرایط است. در مرحله سوم با تسلط شرایط گرم و خشک اخیر (۸ هزار سال پیش تاکنون) با فقدان ذخایر یخچالی و کاهش دبی رودها همراه بوده است. زیرا امروزه دبی جاجرود صرفاً از بارش تأمین می‌شود و وقوع سیلاب‌های دوره‌ای نیز نتیجه مستقیم خروج از آستانه‌های شدت و مدت بارش‌ها است. سیلاب‌های اخیر نیز در پایین دست حوضه جاجرود به وقوع پیوسته و صرفاً محدوده سرشاخه روتنه تا خروجی حوضه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. یافته‌ها بیانگر آن هستند که مطالعات ژئوشیمی پادگانه‌ها می‌تواند داده‌های ارزشمندی را برای بازیابی تغییرات دینامیکی جریان و دبی، طی دوره کواترنری فراهم کرده و قابل تعمیم به سایر حوضه‌های مشابه است.

کلیدواژه‌ها

دبی دیرینه، ژئوشیمی، پادگانه رود، کواترنری، حوضه جاجرود، شمال شرق تهران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

* نویسنده مسئول: مجتبی یمانی

رایانامه: myamani@ut.ac.ir

۱- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه ریزی، دانشگاه اصفهان، ایران. shila.joodaki@yahoo.com

مقدمه

پادگانه‌های رودخانه‌ای عمدتاً ناشی از اثر متقابل و پیچیده تغییرات آب‌وهوا، تکتونیک و سطح اساس هستند (گرین و گریگور،^۱ ۱۹۸۷، بول و همکاران،^۲ ۱۹۸۸، ولدکمپ و ورمیولن،^۳ ۱۹۸۹). این عوامل خارجی به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم در ترکیب رسوبات حاصله منعکس می‌شوند. ترکیب رسوبات نیز توسط عوامل محلی مانند فرایندهای جور شدگی، هوازگی پس از رسوب‌گذاری و غیره کنترل می‌شود. تغییرات عمده در یک سیستم رودخانه‌ای نه تنها دانه‌بندی و کانی‌شناسی (مینرالوژی) رسوبات را تغییر می‌دهد، بلکه میزان رسوب حمل شده به رودخانه را نیز تغییر می‌دهد. ترکیب کل نمونه به‌صورت کمی چنین تغییراتی را منعکس می‌کند (کروونبرگ،^۴ ۱۹۹۰).

بررسی رسوبات پادگانه‌ها ما را در تشخیص ماهیت این پادگانه‌ها یاری می‌نماید (صالحی‌پور میلانی و همکاران،^۵ ۱۳۹۴: ۱۴۴). از این رو پادگانه‌ها به‌عنوان یکی از لندفرم‌های محیط‌های آبرفتی و میراثی از چینه‌شناسی، به‌منظور درک زمان تکتونیک و آب‌وهوایی به‌طور گسترده توسط ژئومورفولوژیست‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد (جعفری و عباسی،^۶ ۱۳۹۷: ۱).

در زمینه پادگانه‌ها تحقیقات بسیاری در سراسر جهان صورت گرفته است از آن جمله؛ کانت و همکاران^۵ (۲۰۱۵) به ارائه یک چارچوب کروئواستراتیگرافی^۶ از پادگانه‌ها و آبرفت‌ها در امتداد رودخانه اوهایو^۷ در جنوب غربی هند و غرب کنتاکی در آمریکا پرداختند. آن‌ها در این پژوهش از سن‌سنجی OSL و نقشه‌برداری آلواستراتیگرافی استفاده نمودند تا بینشی در مورد ماهیت پاسخ‌های رودخانه‌ای به تغییرات اقلیمی در هولوسن بی‌دست آورند. جیا و همکاران^۸ (۲۰۱۵) به بررسی مکانیزم‌های تکتونیک و اقلیمی در پادگانه‌های رودخانه‌ای کواترنری پایانی در منطقه کوهستانی لانگشان^۹، مغولستان مرکزی در شمال چین پرداختند. آن‌ها در این پژوهش بیان نمودند که پادگانه‌های رودخانه‌ای در زهکشی عرضی محدوده لانگشان، پاسخ ژئومورفیک اولیه به برخاستگی تکتونیک محلی و تغییرات اقلیمی را نشان می‌دهند. سن‌سنجی با استفاده از OSL (لومینسانس نوری) و همچنین مورفومتری پادگانه انجام شده است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که رسوب‌گذاری در درجه اول در طول دوره‌های سرد آخرین مرحله یخچالی رخ داده و برش نیز در طول تغییر از مراحل اقلیمی سرد به گرم رخ داده است. تجزیه و تحلیل‌های ژئومورفیک نشان داد که ارتفاع پادگانه توسط برخاستگی تکتونیک در منطقه کنترل می‌شده است. توماس کولب^{۱۰} (۲۰۱۷) در رساله دکتری خود با عنوان پادگانه‌های رودخانه‌ای پلیستوسن بالایی و میانی در دره رودخانه آباندونند^{۱۱} در فرانکونیای^{۱۲} علیا (آلمان) کروئولوژی و نیروهای محرک، به بررسی توسعه سیستم زهکشی راین، تاریخچه رودخانه‌ای باواریای شمالی پرداخت. هدف کلی این رساله ایجاد یک چارچوب زمانی قابل‌اعتماد برای مراحل تکاملی پلیستوسن میانی و پایانی سیستم زهکشی محلی است که مبتنی بر روش‌های تاریخ‌گذاری عددی جدید است. در پژوهش علاوه بر تحلیل‌های لیتولوژیکی از گراول رودخانه‌ای و ارزیابی مدل رقومی زمین با وضوح بالا، تمرکز روش شناختی بر روی استفاده از روش‌های نوین تاریخ‌گذاری لومینسانس است. وی بیان نمود که نتایج رساله تا حدی با برآوردهای سنی مطالعات قبلی در تضاد است و تکامل چشم‌انداز بسیار پیچیده‌تر از آنچه قبلاً تصور می‌شد را نشان می‌دهد. به‌طور خاص، یافته‌های وی یک مرحله تکاملی اضافی را پیشنهاد می‌کند که دوره زمانی از ۲۰ تا ۳۰ هزار سال قبل را دربر می‌گیرد. توماس کولب و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی به بررسی پادگانه‌های دره رودخانه تریب‌گاست^{۱۳} در بخش شمال شرقی باواریا^{۱۴} در آلمان پرداختند. در این پژوهش از روش سن‌سنجی OSL (لومینسانس نوری) و روش IRSL استفاده شد. هدف از این پژوهش ارائه یک ترتیب زمانی برای سه سطح پادگانه بالایی رودخانه از توالی ۵ پادگانه رودخانه‌ای، که دارای یک تاریخچه پیچیده رسوبی در پلیستوسن بود. نتایج این پژوهش نشان داد که نتایج عددی حاصل از اندازه‌گیری‌های IRSL می‌تواند یک چارچوب زمانی مقدماتی برای شناسایی مراحل مختلف تکامل منطقه ایجاد کند. تامپسون و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی تغییر شکل پادگانه‌های رودخانه‌ای در شمال شرقی حاشیه پامیر، شمال غربی چین در حوضه تاریم^{۱۱} با استفاده از سن‌سنجی OSL و

1 Green and Gregor

2. Boll et al

3 Veldkamp and Vermeulen

4 Kroonenberg

5 Counts et al

6 Chronostratigraphic

7 Ohio River

8 Jia et al

9 Langshan

10 Thomas Kolb

11 Abandoned River

12 Franconia

13 Trebgaast valley

10 Thompson et al

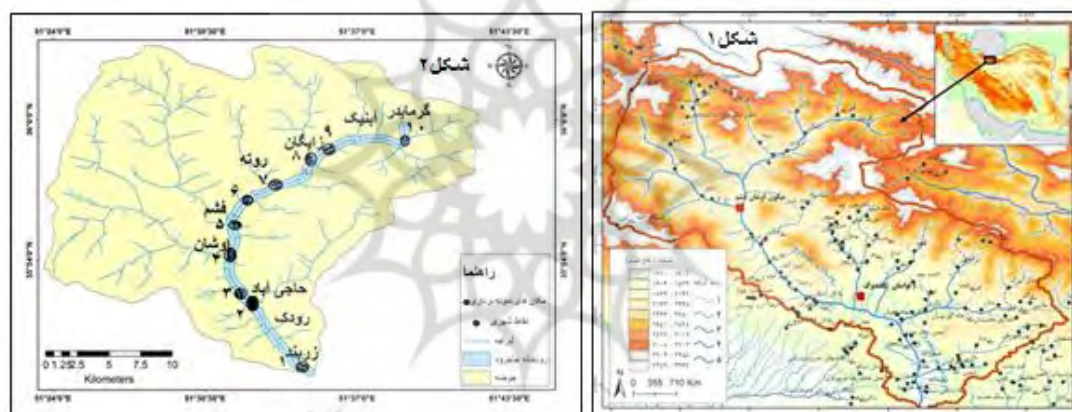
11 Tarim River

دانه‌های کوارتز و تاریخ‌گذاری نجومی ^{10}Be پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات اقلیمی بر تشکیل پادگانه‌ها در حاشیه حوضه تاریخ مؤثر بوده است، علاوه بر این تکتونیک نیز مؤثر بوده است و نرخ کوتاه شدگی محاسبه‌شده از این پادگانه‌های تغییر شکل یافته ۲/۱ الی ۶/۴ میلی‌متر بوده است. هدف از انجام این پژوهش بازسازی تغییرات دبی دیرینه رودخانه جاجرود در ارتباط با تغییرات دما در کواترنری پایانی با استفاده از روش‌های رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی پادگانه‌ها است.

مواد روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز جاجرود، در شمال شرقی شهرستان تهران، بین طول ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه الی ۵۱ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی واقع شده است. البرز از نظر چینه‌شناسی و تکتونیک اختصاصات یکنواخت نداشته و به واحدهای مختلف کپه داغ و البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی و آذربایجان تقسیم می‌شود. حوضه آبریز جاجرود در یال جنوبی البرز مرکزی قرار گرفته است. مساحت آن ۱۸۹۰ کیلومتر مربع است که از این مساحت حدود ۷۱۰ کیلومتر مربع آن در بالادست سد لتیان و ۱۱۸۰ کیلومتر مربع آن در پایین دست سد لتیان قرار گرفته است. طول شاخه اصلی جاجرود حدود ۴۲ کیلومتر است. از نظر زمین‌شناسی توف سبز بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده و به لحاظ زمین‌ساخت تحت تأثیر راندگی مشاء-فشم قرار گرفته است که دارای راستای شرق-جنوب شرقی، غرب-شمال غرب است (یمانی، ۱۳۹۰، ۵۴) (شکل ۱ و ۲).



شکل (۱): نقشه ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه جاجرود و نقشه ۲ موقعیت مکان‌های نمونه‌برداری پادگانه‌ها
 Fig (1): Map 1 Geographical Location of the Study Area, Map 2 Location of Terraces Sampling Sites.

روش تحقیق

در این پژوهش به منظور بازسازی شرایط دمای دیرینه و تناوب جریان‌های سیلابی در حوضه جاجرود از آنالیزهای شیمیایی و بررسی‌های چینه‌شناسی رسوبات پادگانه‌ها استفاده شده است. بدین منظور از پادگانه‌های دره جاجرود در ۱۲ نقطه در مجموع ۱۳ نمونه به روش انتخابی و از طریق هم‌ترازی پادگانه‌ها در طرفین دره برداشت شده است (شکل ۱ سمت چپ و شکل ۲). این نمونه‌برداری به روش عمقی و از سکناس‌های پادگانه‌ای موجود برداشت شده است. برای دستیابی به تغییرات دما در تناوب رسوب‌گذاری پادگانه‌ها، آزمایش‌های کلسیمتری بر روی نمونه‌های رسوبی به روش برنارد انجام گرفته است. در این روش از نسبت اسیدکلریدریک (۱۰٪) و آب مقطر (۹۰٪)، مقدار گاز کربنیک متصاعد شده اندازه‌گیری و سپس بر اساس آن درصد کربنات کلسیم موجود در نمونه رسوبی اندازه‌گیری شده است. در مرحله بعد برای اندازه‌گیری اسیدپتیه و هدایت الکتریکی هر نمونه، ابتدا عصاره اشباع توسط دستگاه سانتریفیوژ از نمونه‌های رسوبی تهیه و با استفاده از دستگاه PH سنج، اسیدپتیه و سپس هدایت الکتریکی (EC) رسوب اندازه‌گیری و با شرایط دمایی و دبی محیط رسوب‌گذاری ارتباط داده شده است. علاوه بر این، برای تفکیک ویژگی‌های کانی‌شناسی نمونه‌های رسوبی از تکنیک XRF در آزمایشگاه دانشگاه اصفهان باهدف تعیین محیط رسوبی بهره‌گیری شده است. در این روش، عناصر اصلی، Fe_2O_3 ، SiO_2 ، Al_2O_3 ، CaO ،

شوری، هوازگی شیمیایی، رسیدگی رسوب، و میزان اسیددیده جهت بازسازی تغییرات دیرینه جریان رودخانه ارتباط داده شده‌اند. MgO ، K_2O ، P_2O_5 ، Na_2O ، TiO_2 و MnO با طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس XRF اندازه‌گیری شدند. سپس اندیس‌های میزان



شکل (۲): مکان‌های نمونه‌برداری از رسوبات پادگانه‌های دره جاجرود

Fig (2): Sample Sites of the River Terraces.

بحث و یافته‌ها

داده‌های رسوبی کلیدهای بازسازی گذشته و فرایندهای کنونی هستند. موضوع برداشت لایه‌های رسوبی و تفسیر آن‌ها از نظر محیط نهشته‌گذاری، فرایندهای تأثیرگذار در زمان نهشته‌گذاری، توصیف ساختمان رسوب‌شناسی و چینه‌شناسی، شرایط محیطی زمان نهشته‌گذاری و مواردی از این قبیل، داده‌هایی هستند که در تحلیل‌های ژئومورفولوژی کاربرد فراوانی دارند (یمانی ۱۴۰۰: ۱۴۱). پادگانه‌ها یک آزمایشگاه طبیعی عالی برای آزمایش خاک و پروسه‌های پدولوژی بوده و توالی آن‌ها مناطق سودمند و مفیدی برای پدولوژیست‌ها است مخصوصاً وقتی که سن پادگانه مشخص باشد (ترابی گل‌سفیدی، ۱۳۷۳: ۱۳).

این پژوهش، به دنبال بازسازی تناوب دبی دیرینه رود جاجرود در کواترنری پسین بر اساس مطالعات رسوب‌شناسی، شامل کارهای ژئوشیمی رسوبات مانند XRF، کلسیمتری، PH و EC سنجی نمونه‌های رسوبی می‌باشد. لذا این پژوهش در دو بخش صورت پذیرفته است. بخش نخست به بازسازی شرایط دمای دیرینه بر اساس آزمایش‌های کلسیمتری، PH سنجی و EC پرداخته است. در بخش دوم نیز به بررسی و تحلیل نتایج، آزمایش‌های XRF و بازسازی شرایط دمای دیرینه بر اساس اندیس‌های نسبت سدیم به پتاسیم (شوری)، میزان هوازگی شیمیایی رسوبات (CIA)، اندیس تنوع ترکیبی (ICV)، اندیس نسبت آلکانی به آلومینیم، درجه رسیدگی رسوبات و میزان اسیددیده می‌پردازد.

بازسازی شرایط دمای دیرینه حوضه جاجرود بر اساس، کلسیمتری، PH سنجی و EC (هدایت الکتریکی) رسوبات پادگانه‌ها
*یافته‌های کلسیمتری

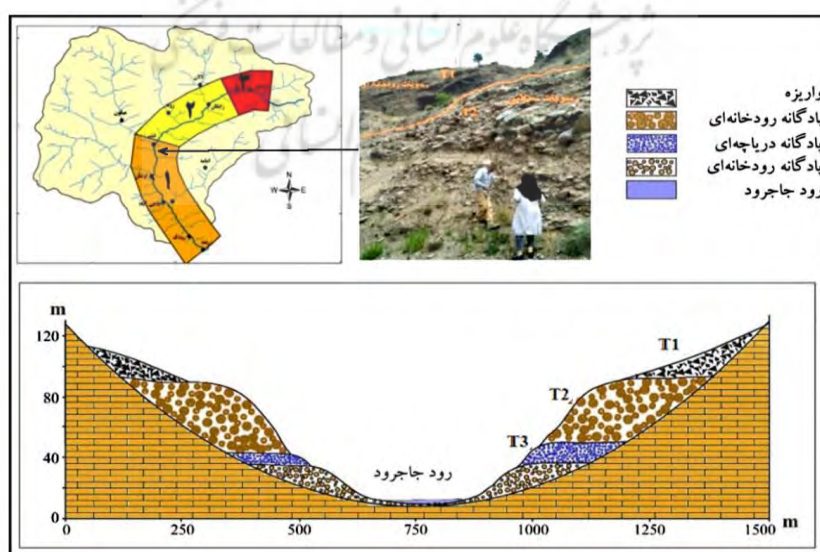
کربن معدنی در خاک عموماً به صورت کانی‌ها کلسیت، دولومیت و کلسیت منیزیم‌دار یافت می‌گردد. رسوب‌های آهکی، فراوان‌ترین رسوب‌های شیمیایی هستند و اغلب با مواد دیگر به خصوص رس و ماسه، مخلوط و خیلی کم به صورت خالص دیده می‌شود (معمد، ۱۳۷۴). در این پژوهش، میزان کربنات کلسیم موجود در نمونه‌های رسوبی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. میزان کربنات کلسیم و کمیت آن در مناطق مختلف و همچنین در لایه‌های متفاوت رسوبی، با بسیاری از موارد از جمله اقلیم و میزان بارندگی و همچنین بافت رسوبی و اندازه ذرات خاک، در رابطه است. مقادیر رسوب‌گذاری کربنات کلسیم می‌تواند به‌عنوان شاهد مناسبی از تغییرات دما و رطوبت محیط، مورد استفاده قرار گیرد (لک و تقی‌زاده، ۱۳۹۳: ۱۸۴). جدول شماره ۱ داده‌های کلسیمتری را برای نمونه‌های برداشت‌شده نشان می‌دهد (شکل ۴).

جدول (۱): نتایج آزمایش‌های EC, TDS, PH, Caco3 رسوبات پادگانه‌ها

Table (3): Result of the Sediment Tests of the Terraces

%caco ₃	PH	EC	TDS	Sample
12.5	6.5	320	150	6
8.2	6.8	240	110	7
15	6.4	960	470	5
27.5	6.6	650	320	3
14	7.7	200	90	5
32.2	7.1	830	410	4
8.2	7.3	280	130	6
4.5	7.3	320	150	4
13	7.3	480	230	3
11.2	7.2	580	280	3
7.2	7.3	600	290	10
11.5	7.1	180	80	3
6.5	7.7	350	170	8

بر اساس جدول ۱ میزان کربنات کلسیم در لایه‌های رسوبی پادگانه‌ها در طول مسیر دره جاجرود متفاوت می‌باشد و این کاهش و افزایش کربنات کلسیم در لایه‌های یک پادگانه نشان‌دهنده تناوب دوره‌های خشک و مرطوب می‌باشد. در پادگانه ۳۹۸ اوشان (شماره ۴) که مرتفع‌ترین پادگانه در طول دره جاجرود می‌باشد میزان کربنات کلسیم در لایه‌های آن به ترتیب از قدیم به جدید T1، T2 و T3؛ در اوج دوره یخچالی ۱۳ درصد، در دوره گذر از یخچالی به دوره گرم ۴/۵ و ۳۲/۵ در شرایط آب‌وهوایی از حدود ۸ هزار سال پیش تاکنون و با تسلط شرایط آب‌وهوایی گرم و خشک می‌باشد (شکل ۳).



شکل (۳): موقعیت مرتفع‌ترین پادگانه دره جاجرود در مقطع عرضی و ساختمان پادگانه بر اساس ژنز رسوبی در محل خروجی دره اوشان.

Fig (3) the location of the Highest Terraces in the Jajroud Valley in the Cross-Section and the Structure of the Terraces Based on the Sedimentary Genesis at the Outlet of the Oshan Valley.

پادگانه‌های این بازه از سه سطح پادگانه به ترتیب از قدیم به جدید T1، T2 و T3 تشکیل شده‌اند. رسوبات پادگانه T1 عمدتاً آبرفت دانه‌ریز هستند و T2 آبرفت با بافت درشت و سیلابی و T3 رسوبات با بافت ریز است (شکل ۳). از آنجاکه رسوب‌گذاری دریاچه‌ها در محیط بسیار آرام‌تری نسبت به محیط‌های پرتلاطم رودخانه‌ای انجام می‌گیرد، بنابراین، نهشته‌های دریاچه‌ای در این بازه عموماً ریزدانه‌تر و از نظر بافت، درجه‌ی همگنی بالاتری دارند. علاوه بر این، نهشته‌های دریاچه‌ای چینه‌بندی بسیار منظم‌تری نسبت به نهشته‌های رودخانه‌ای دارند و این سه ویژگی وجه تمایز نهشته‌های این دو محیط محسوب می‌شود. علاوه به راین ضخامت زیاد لایه‌ها در پادگانه‌های این بازه، تابع دو متغیر اصلی است. یکی طول مدت نهشته‌گذاری در شرایط پایدار و دوم نیروی جریان در اثنای نهشته‌گذاری یک‌لایه است. هر قدر ضخامت لایه‌ها افزایش‌یابد، نشان می‌دهد که طول مدت نهشته‌گذاری در شرایط پایدار رودخانه تداوم بیشتری دارد و یا نیروی جریان افزایش داشته است (یمانی، ۱۳۹۹)؛ بنابراین با مشاهده متوسط دبی سالیانه روشن می‌گردد که بالاترین میزان دبی مربوط به ایستگاه فشم است که در زیر حوضه‌های گرماب دره و لواسان استقرار دارد. با توجه به دبی زیر حوضه‌های جاجرود که در فشم (بازه ۱) بیشترین دبی را داشته‌ایم به همین خاطر است که مرتفع‌ترین پادگانه‌ها را در منطقه فشم داریم. همچنین با توجه به لایه‌بندی رسوبات باید به دوره‌های سیلابی رودخانه که هم‌زمان با دوره‌های بین یخچالی و گرم شدن اقلیم و افزایش بارش و در نتیجه افزایش سطح آب رودخانه و همچنین ذوب یخچال‌ها در دوره بین یخچالی که خود باعث افزایش سطح آب رودخانه و در نتیجه پادگانه‌های مرتفع‌تر شده است (شکل ۳).

بر اساس شکل ۴ بیشترین درصد کربنات کلسیم در پادگانه شماره ۵ (خروجی اوشان-فشم) وجود دارد و کمترین مقدار آن در نمونه شماره ۹ (گرما بدر) و شماره ۹ (زایگان) منطقه مطالعاتی وجود دارد.

*سنجش PH^۱ رسوبات پادگانه‌های دره جاجرود

از آنجایی که میزان اسیدی و بازی بودن رسوب تا حدودی نمایانگر محیط رسوب‌گذاری در گذشته می‌باشد. بدین معنی که هر قدر نهشته در محیط مرطوب یا خشک رسوب کرده باشد، به ترتیب نسبت اسیدی بودن یا قلیایی بودن آن تغییر می‌کند (یمانی، ۱۴۰۰)، بنابراین با توجه به (شکل ۴) یعنی نمودار تغییرات درصد PH در رسوبات پادگانه‌ها نشان‌دهنده سه دوره تغییرات آب‌وهوایی خشک و مرطوب در پادگانه شماره ۵ (اوشان) می‌باشد.

*بازسازی شرایط دمای دیرینه حوضه آبریز جاجرود بر اساس نتایج کلسیمتری، PH و میزان شوری (EC)

نتایج کلسیمتری نهشته‌های پادگانه‌ای حوضه آبریز جاجرود نشان داد که با تغییرات دمای دیرینه در حوضه آبریز جاجرود مرتبط است، لایه‌هایی که درصد کربنات کلسیم یا آهک آن‌ها افزایش نشان می‌داد نشان‌دهنده فرارسیدن دوره گرم است و در دوره سرد و مرطوب، رسوب‌گذاری آهک متوقف شده یا کاهش نشان می‌داد. همچنین هدایت الکتریکی یا درجه شوری رسوبات پادگانه‌ها با مقدار کربنات کلسیم محلول تحت تأثیر دوره‌های سرد و گرم ارتباط مستقیمی نشان می‌دهد. از آنجایی که میزان PH یا اسیدی و بازی رسوب می‌تواند تا حدودی نمایانگر محیط رسوب‌گذاری در گذشته باشد؛ بدین معنی که هر قدر نهشته در محیط مرطوب یا خشک رسوب کرده باشد به ترتیب، نسبت اسیدی بودن یا قلیایی بودن آن تغییر می‌کند. همچنین میزان شوری یا هدایت الکتریکی EC که در جدول ۱ نشان داده شده است شاخصی است که تأثیر آن بر روی گیاهان به‌طور غیرمستقیم و در نتیجه کاهش جذب رطوبت به‌وسیله ریشه گیاهان دارای اهمیت می‌باشد. شوری خاک با افزایش غلظت املاح محلول افزایش می‌یابد. هدایت الکتریکی با افزایش غلظت املاح محلول به علت وجود یون‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به جدول میزان شوری رسوبات پادگانه‌ها از بازه سوم تا بازه اول کاهش می‌یابد و این نشانگر اثر تغییرات دمای دیرینه دوره‌های بارانی و مرطوب در ژنز پادگانه‌های دره جاجرود در پایین دست منطقه مطالعاتی می‌باشد. یعنی در پایین دست رودخانه جاجرود ژنز پادگانه‌ها بیشتر تابع تغییرات دمای دیرینه بوده است. از این رو رسوبات پادگانه‌های دره جاجرود در سه بازه‌ی مورد مطالعه که در (شکل ۱) نشان داده شده است؛ سه دوره تغییرات دمای دیرینه از مرطوب به خشک در دره جاجرود قابل تشخیص

می‌باشد. یکی در اوج دوره یخچالی مقارن با کاهش دبی رودخانه است (قبل از هولوسن). زیرا بارش به صورت برف در ارتفاعات کوهستانی و حوضه‌های مرتفعی مانند جاجرود انباشته می‌شده است از این رو دبی و نوسانات سیلابی بسیار کاهش داشته است. در مرحله بعد گذر از دوره یخچالی به دوره گرم (احتمالاً بین ۱۱ تا ۸ هزار سال قبل) جاجرود بیشترین دبی خود را تجربه کرده است. زیرا نه تنها یخچال‌ها به سرعت در حال ذوب شدن بوده‌اند بلکه ذوب یخچال‌ها توأم با دبی بارش در حوضه روی می‌داده است. این شرایط منجر به وقوع سیلاب‌های شدیدی نیز هم می‌شده است. وجود لایه‌بندی بسیار درشت‌بافت در پادگانه‌های اوایل هولوسن نتیجه تسلط این شرایط است. در مرحله سوم با تسلط شرایط گرم و خشک اخیر (از حدود ۸ هزار سال پیش تاکنون) مجدداً دبی رودها به تدریج کاهش یافته است. زیرا در شرایط کنونی یخچال‌های حوضه جاجرود از میان رفته‌اند و دبی رودخانه صرفاً از بارش‌های فصلی و ذوب برف زمستانی در ارتفاعات تأمین می‌شود. تغییرات دبی و وقوع سیلاب‌های دوره‌ای نیز نتیجه مستقیم بارش با شدت و مدت آستانه‌ها است. این سیلاب‌ها اغلب پایین دست حوضه جاجرود را از حدود سرشاخه روته تا خروجی حوضه تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل ۴. الف) درصد تغییرات کربنات کلسیم، ب) میزان PH، ج) میزان TDC و EC در نمونه‌های مورد مطالعه و د) جدول میزان PH خاک‌ها در آمریکا.

Fig (4): A: Percentage Changes Caco3, B: Percentage Change PH, J: EC, TDS, D: Table Amount PH Soli of the American.

*اندازه‌گیری هدایت الکتریکی رسوب (EC)!: بر اساس شکل ۴ ج) بیشترین میزان شوری خاک را در نمونه شماره ۸ و نمونه شماره ۷ یعنی (فشم و اوشان) شاهد هستیم و کمترین میزان آن را در نمونه شماره ۱ یعنی زربند وجود دارد. همچنین این میزان کاهش و افزایش شوری خاک شاخصی برای شناسایی دوره‌های سرد و گرم‌دره جاجرود می‌باشد.

تجزیه و تحلیل نمونه‌های رسوبی بر اساس نتایج آزمایش‌های ژئوشیمی رسوبی XRF^۲

فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه به دست آمد (جدول ۲). در نمونه شماره ۹ (زایگان) SiO₂ با میانگین ۶۱/۰۲ درصد، بیشترین فراوانی را در مقایسه با سایر اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد و پس از آن عناصر CaO، Fe₂O₃، Al₂O₃، MgO، K₂O، MnO و TiO₂، Na₂O، P₂O₅ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

همچنین به منظور بازسازی شرایط دمای دیرینه حوضه آبریز جاجرود در محدوده شمال شرق تهران، اندیس‌های متفاوتی جهت برآورد میزان شوری، هوازدگی شیمیایی، رسیدگی رسوب و همچنین اسیدیتته نمونه‌های مورد مطالعه، استفاده گردید (جدول ۳) که در ادامه به شرح آن پرداخته شده است (جدول ۴).

جدول (۲): فراوانی اکسیدهای عناصر اصلی در نمونه‌های مورد مطالعه.

Table (2): Abundance of Oxides of Main Elements in the Study Samples.

نمون ه	Sio2	Al2o3	CaO	Fe2o3	K2o	Mg o	Na2 o	Tio2	P2o 5	Mn o	Bao	So3	Cuo	Zro 2	Sro	Zno	Loi	Total
388 Ous	49.10	13.30	10.7	6.85	3.09	2.58	0.98 6	0.83	0.17	0.15	0.05	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01	11.8	99.85
393 Gar	55.55	16.70	4.35	8.34	3.00	1.35	0.43	1.17	0.12	0.12	0.04	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	8.48	99.83
396 Fas	42.87	10.50	18.1	6.09	2.45	2.68	1.15	0.71	0.18	0.11	0.03	0.05	0.02	0.02	0.02	0.01	14.7	99.83
399 Zar	52.45	10.80	13.5	5.086	3.09	1.83	1.70	0.54	0.17	0.16	0.06	0.04	0.02	0.01	0.03	0.01	10.1	99.84
395 Zay	61.02	13.00	5.36	6.09	4.29	2.25	0.45	0.80	0.14	0.10	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	6.19	99.89
394 Zay	52.93	12.00	8.53	8.02	2.53	2.76	0.82 4	0.91	0.17	0.14	0.03	0.07	0.02	0.02	0.01	0.01	10.7	99.82
397 -1F	33.61	8.20	23.4	5.88	1.70	3.91	0.69 2	0.54	0.14	0.13	0.05	0.10	0.02	0.01	0.02	0.01	21.2	99.76
397 -2F	45.80	12.40	14.4	6.345	3.06	2.39	0.83 6	0.77	0.14	0.14	0.05	0.31	0.02	0.01	0.01	0.01	12.9	99.84
398 Ous	56.91	12.20	10.6	5.82	3.36	2.66	1.03	0.61	0.19	0.23	0.05	0.07	0.02	0.03	0.01	0.02	6.08	99.91
384 -1H	57.45	10.30	8.81	7.000	2.79	2.31	1.14 0	0.78	0.15	0.11	0.05	0.05	0.02	0.02	0.01	0.01	8.77	99.82
385 Ous	49.94	8.79	15.2	5.59	2.47	2.41	1.03	0.59	0.16	0.14	0.04	0.06	0.02	0.01	0.02	0.01	13.2	99.85
384 -2H	46.09	10.80	15.5	6.59	3.45	3.76	0.60	0.98	0.15	0.12	0.05	0.08	0.02	0.03	0.02	0.03	11.5	99.88

جدول (۳): نسبت‌های هوازدگی و پدوژنز رسوب (فیدو و همکاران ۱۹۹۵).

et al 1966 Table(3): Molecular Weathering and Pedogenesis Ratio Fedo.

نسبت	فرمول	فرایندهای پدوژنیک
Soda to Potash	Na ₂ O / K ₂ O	شوری
Alkalis to Alumina	(Na ₂ O+K ₂ O)* Al ₂ O ₃	شوری
CIA	Al ₂ O ₃ / (Al ₂ O ₃ +CaO+Na ₂ O+K ₂ O)*100	هوازدگی شیمیایی
ICV	ICV= (Fe ₂ O ₃ + K ₂ O + Na ₂ O + CaO + MgO + MnO + TiO ₂) / Al ₂ O ₃	هوازدگی شیمیایی
Maturity	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	رسیدگی رسوب
Silica / Sesquioxides	SiO ₂ / (Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃)	هوازدگی شیمیایی
Provenance	TiO ₂ / Al ₂ O ₃	اسیدیتته

جدول (۴): اندیس‌های مورد محاسبه جهت بازسازی شرایط دمایی دیرینه دوره کواترنری در حوضه آبریز جاجرد

Table (4): Index calculated to reconstruction the paleotemperature conditions of the Quaternary in the basin Jajrud

نمونه	soda to potas	Alkalis to Alumin	CIA	ICV	Maturity	Silica/Sesquioxide	Provenance
اوشان 388.	0.319	54.21	211.097	1.892	3.691	2.436	16.02
گرمايدر 393.	0.04	57.281	146.586	1.123	3.326	2.771	14.27
فشم 396.	0.469	37.8	306.666	2.98	4.082	2.584	14.788
زربند 399.	0.55	51.732	269.351	2.398	4.856	3.301	20
زايگان 395.	0.104	61.62	177.692	1.487	4.693	3.196	16.25
زايگان 394.	0.325	40.248	197.533	1.976	4.41	2.643	13.186
فشم 1- 397.	0.407	19.614	414.536	4.42	4.098	2.387	15.185
فشم 2- 397.	0.273	48.31	247.548	2.253	3.693	2.443	16.103
اوشان 398.	0.306	53.558	222.868	1.992	4.664	3.158	20
حاجي آباد 1- 384.	0.408	40.479	223.689	2.227	5.577	3.32	13.205
اوشان 385.	0.417	30.765	312.741	3.12	5.681	3.472	14.898
حاجي آباد 2- 384.	0.173	43.74	281.018	2.87	4.267	2.65	11.02

اندیس نسبت سدیم به پتاسیم (شوری)

افزایش میزان سدیم، غلظت پتاسیم موجود را کاهش داده (نگوچوا و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۰۹) و به همین دلیل، نسبت پتاسیم به سدیم کاهش پیدا می‌کند (برت و همکاران، ۲۰۱۴). به همین دلیل هرچه نسبت سدیم به پتاسیم بیشتر بوده، نشان‌دهنده دوره‌های خشک‌تر و در مقابل، کاهش این نسبت، نشان‌دهنده دوره‌های مرطوب‌تر می‌باشد (رابطه ۱).

$$\text{Soda to Potash} = \text{Na}_2\text{O} / \text{K}_2\text{O} \quad (1)$$

در جدول ۴، میزان این اندیس در نمونه‌های رسوبات پادگانه‌ها ذکر گردیده است. در پادگانه‌های شماره ۱۰ (گرما بدر) بیشتر میزان این نسبت ۰.۰۴ می‌باشد که نشان‌دهنده دوره‌های خشک‌تر، به دلیل حاکمیت آب‌وهوای سرد و خشک در دوران اوج یخچالی می‌باشد. این میزان از نمونه شماره ۱۰ به سمت نمونه‌های شماره ۴ (۰.۴۰۷)، روند افزایشی داشته، و از شماره ۴ به سمت شماره ۲ در حاجی‌آباد (۰.۱۷۳) مجدداً روند کاهشی داشته است. که این نشان‌دهنده حاکمیت آب‌وهوای مرطوب در دوران گذر از یخچالی به دوره گرم و دوران تسلط شرایط گرم و خشک بین یخچالی در نمونه‌های شماره ۴ و ۵ و ۶ و ۷ می‌باشد.

در شکل ۵ الف) میزان نسبت سدیم به پتاسیم موجود در نمونه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است. نسبت سدیم به پتاسیم در بازه اول روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده افزایش میزان خشکی در دوران یخچالی می‌باشد. کاهش میزان این نسبت در دوران بین یخچالی در بازه ۲ نشان‌دهنده آب‌وهوای مرطوب در این دوران است.

تعیین میزان هوازگی شیمیایی رسوبات CIA^۳ رتال جامع علوم انسانی
 هوازگی شیمیایی تأثیر زیادی بر ژئوشیمی عناصر اصلی و کانی‌شناسی رسوبات سیلیسی آواری می‌گذارد (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲: ۷۱۶). هوازگی شیمیایی باعث تخلیه عناصر خاکی و قلیایی شده و باعث افزایش Al₂O₃ می‌شود (گاریسیا و همکاران، ۲۰۰۴). هوازگی سنگ‌های آواری را می‌توان از طریق محاسبه نسبت اکسید غیر متحرک Al₂O₃ به اکسیدهای متحرک Na₂O و CaO و K₂O تخمین زد (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲). افزایش CIA با درجه هوازگی شیمیایی رابطه مستقیم دارد. مقدار پایین CIA نشان‌دهنده این است که دگرسانی وجود نداشته و یا خیلی کم بوده و منعکس‌کننده شرایط آب‌وهوایی خشک است، در حالی که CIA متوسط و بالا نشان‌دهنده درجه هوازگی متوسط و شدید است (نسبیت و یانگ، ۱۹۸۲؛ فیدو و همکاران، ۱۹۹۵: ۹۲۳).

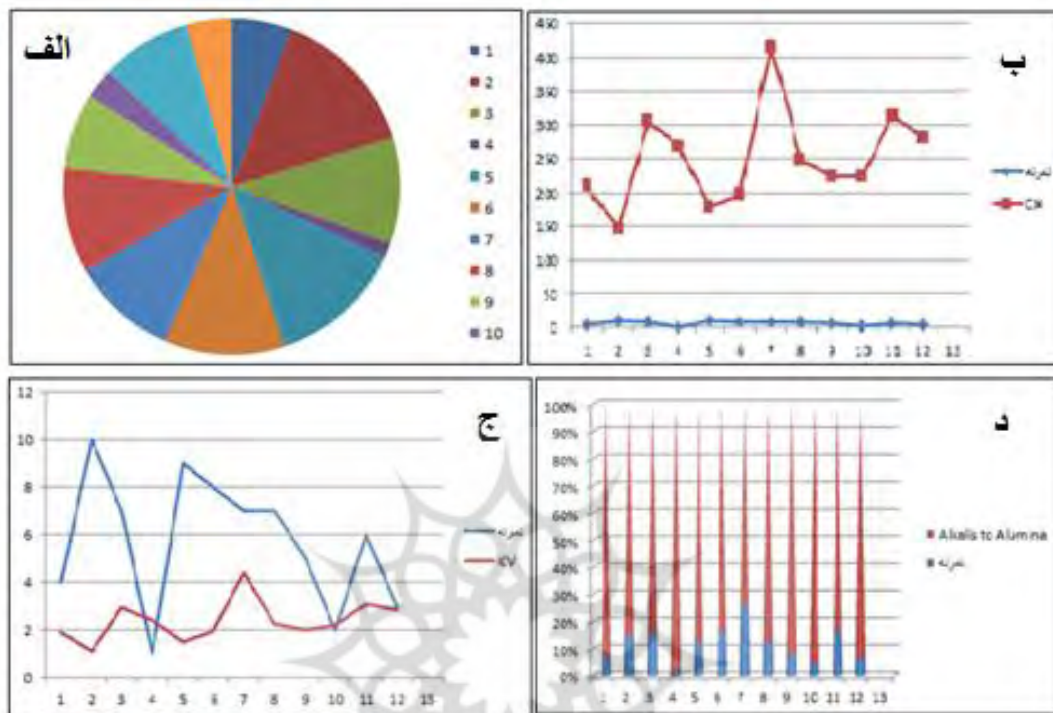
1 Nguetchoua et al
2 Byrt et al

3 Chemical of Alteration index
4 Nesbitt and Young

5 Garcia and Young
6 Fidow et al

به منظور تعیین دقیق میزان CIA و حذف سیمن‌های کربناتی، نمونه‌های با CaO بالاتر از پنج درصد در نظر گرفته نمی‌شوند (رابطه ۲) (نسبت، ۲۰۰۳؛ گارسیا و همکاران، ۲۰۰۴؛ باتومیکی و همکاران، ۲۰۰۶). از آنجاکه میزان CaO در تمام نمونه‌های مورد مطالعه بیش از پنج درصد می‌باشد، در محاسبه این اندیس حذف گردیده است (شکل ۵، ب).

$$CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) * 100 \quad (2)$$



شکل ۵: الف: نسبت سدیم به پتاسیم در نمونه‌های مورد مطالعه (شماره‌های لژاند موقعیت نمونه برداری‌ها را در شکل ۲ نشان داده است. ب: میزان هوازدگی شیمیایی رسوبات در نمونه‌های مورد مطالعه، ج: میزان اندیس تنوع ترکیبی در نمونه‌های مورد مطالعه، د: نسبت آلکالی به آلومینیم در نمونه‌های مورد مطالعه

Fig (5): A: Soda to Potash Ratio in the Samples. B: The Amount of the Chemical Weathering of Sediments in the Study Samples. C: Amount ICV in the Study Samples. D: Ratio Alkali to Alumina.

بر اساس شکل (۶) که میزان CIA را در رسوبات پادگانه‌های دره جاجرود نشان می‌دهد، بیشترین میزان آن در بازه شماره ۲ وجود دارد که بر اساس ساختمان چینه‌شناسی و مورفومتری پادگانه‌ها در این بازه گویای حاکمیت دوران گرم و مرطوب در این بازه می‌باشد. همچنین کمترین میزان هوازدگی شیمیایی در بازه شماره ۳ به دلیل وجود آب‌وهوای سرد و خشک وجود دارد.

اندیس تنوع ترکیبی (ICV)

جهت مشخص کردن رسوبات مربوط به چرخه اول و یا حاصل از چرخه مجدد، اندیس تنوع ترکیبی (ICV) توسط کاکس و همکاران^۲ (۱۹۹۵) تعریف شد.

نمونه‌هایی که دارای کانی‌های رسی فراوان هستند، ICV کمتر از یک داشته و همراه با هوازدگی شیمیایی نهشته می‌شوند (رابطه ۳). درحالی‌که نمونه‌های فاقد رس، ICV بالاتری نسبت به نمونه‌های رسی دارند. به نمونه‌هایی با ICV بیش از یک، رسوبات چرخه اول

گفته می‌شود، اما در صورتی که ICV کمتر از یک باشد، به آن رسوب، رسوبات چرخه مجدد یا به شدت هوازده از چرخه اول رسوبی گفته می‌شود^۱ (کولرز، ۲۰۰۲: ۳۱۶).

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3 \quad (3)$$

دامنه تغییر این اندیس در بازه شماره ۱ از ۳ تا ۴ در فشم می‌باشد و کمترین میزان آن در نمونه شماره ۳۹۳ گرما بدر (به معنای بیشترین میزان هوازدگی) و بیشترین آن در نمونه شماره ۳۹۷-۱ (به معنای کمترین میزان هوازدگی) وجود دارد (جدول ۴). روند کاهشی و افزایشی میزان این اندیس تقریباً مشابه روند اندیس نسبت سدیم به پتاسیم بوده و وجود حداکثری این اندیس در نمونه شماره ۳۹۷ (مانند نسبت سدیم به پتاسیم)، میزان کمتر هوازدگی شیمیایی و خشکی بیشتر آب‌وهوا را نشان می‌دهد (در دوره یخچالی) (شکل ۵، ج).

اندیس نسبت آلکالی به آلومینیم

اندیس نسبت آلکالی به آلومینیم^۳، تغییرات شوری لایه‌های رسوبی را بازگو می‌کند. افزایش آن، نشان‌دهنده کاهش رطوبت و افزایش شوری، و کاهش آن، نشان‌دهنده افزایش رطوبت و کاهش شوری می‌باشد (رابطه ۴).

$$Alkalis\ to\ Alumina = (Na_2O + K_2O) * Al_2O_3 \quad (4)$$

در شکل شماره ۵ کمترین میزان این اندیس مربوط نمونه شماره ۷ به فشم حدود (۲۰) و بیشترین میزان آن متعلق به نمونه شماره ۱۰، یعنی گرما بدر، هم‌زمان با دوره یخچالی و دوران کنونی می‌باشد (شکل ۵، د).

درجه رسیدگی رسوبات

به منظور اندازه‌گیری میزان رسیدگی رسوبات^۴ از نسبت سیلیکون دی‌اکسید به آلومینیوم اکسید استفاده می‌شود (رابطه ۵) (پوتر، ۱۹۷۸: ۴۳۷).^۵ اگر میزان آن در نمونه‌های رسوبی بیش از ۵ الی ۶ باشد، نمایان‌کننده میزان بالای رسیدگی رسوب بوده، و در صورتی که کمتر از این مقدار باشد، رسیدگی کم نمونه‌های رسوبی را نشان می‌دهد. میزان درجه رسیدگی رسوب، طی فرایند حمل‌ونقل، هوازدگی و چرخه مجدد، و به واسطه افزایش کوارتز نسبت به کانی‌هایی با مقاومت کمتر، از جمله فلدسپات‌ها، افزایش پیدا می‌کند (روزر و همکاران^۳، ۱۹۹۶). درجه رسیدگی اندک رسوبات، نشان از مسافت کم حمل و نزدیک بودن حوضه رسوب‌گذاری به منهای رسوبات است (ولی پور هفشجانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۰).

$$Maturity = SiO_2 / Al_2O_3 \quad (5)$$

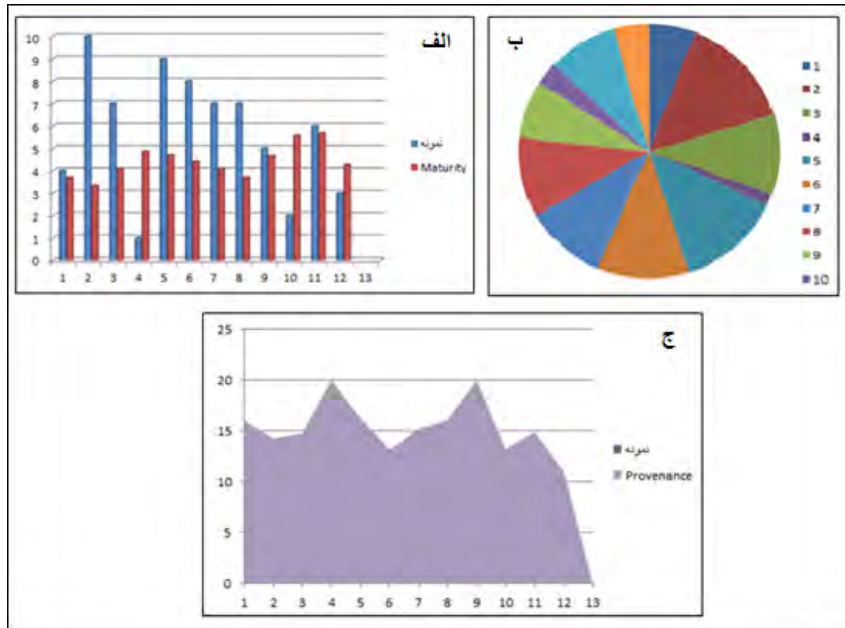
درجه رسیدگی رسوب در ترانسه شماره یک از ۴/۳۷۷ در نمونه یک تا ۵/۱۱۵ در نمونه ۱۰ متغیر می‌باشد. عدد به دست آمده از این نسبت در تمام نمونه‌های این ترانسه به‌غیر از نمونه شماره ۱۰ که هم‌زمان با دوره نوسنگی بدون سفال است، کمتر از پنج بوده که نشان‌دهنده رسیدگی کمتر لایه‌های رسوبی این ترانسه می‌باشد (جدول ۴).

دامنه تغییر این نسبت در بازه شماره ۱، از (۵ تا ۶) بوده، کمترین میزان آن در بازه شماره ۳ یعنی گرما بدر وجود دارد. در شکل ۶ الف) درجه رسیدگی رسوب در نمونه‌های مورد مطالعه در هر ۳ بازه و از نظر زمانی به صورت پیوسته، نمایش داده شده است. همان‌گونه که در نمودار مشخص است، نمونه‌های رسوبی متعلق به دوره‌های قدیمی‌تر دارای رسیدگی بیشتری بوده است. از لایه‌های زیرین رسوبی به سمت لایه‌های جدیدتر، این نسبت در ابتدا دارای نوسانات کمی بوده، از بازه ۱ تا بازه ۳، ۱۱ دارای روند نزولی بوده و پس از آن کمی روند افزایشی یافته، سپس دوباره دارای روند کاهشی می‌شود و همراه با نوسانات کمی به روند کاهشی خود طی دوره‌های متأخرتر ادامه می‌دهد. همان‌گونه که گفته شد، یکی از معیارهای رسیدگی نمونه‌های رسوبی، مسافت طی شده از منهای به سمت حوضه رسوب‌گذاری است و یکی از دلایل عدم رسیدگی در رسوب، کوتاه بودن این مسافت طی شده می‌باشد. به همین دلیل، یکی از علل کاهش درجه رسیدگی رسوب در نمونه‌های بازه ۳، می‌تواند مسافت کوتاه مابین منهای رسوب و حوضه رسوب‌گذاری باشد و درشت‌دانه بودن و زاویه‌دار بودن بسیاری از نمونه‌های رسوبی در این ترانسه، مصداقی برای این امر است (شکل ۶، الف).

1 Index of Compositional Variability
2 Cullers & Podkovyrov

3 Alkalist to Alumina
4 Maturity

5 Potter



شکل (۶): الف) نسبت سیلیکون دی اکسید به آلومینیم اکسید در نمونه‌های مورد مطالعه، ب) نسبت بین سیلیکات و به اکسید آلومینیم و اکسید آهن در نمونه‌های مورد مطالعه (شماره‌های لژاند موقعیت نمونه برداری‌ها است که در شکل ۱ سمت چپ نشان داده است).

ج) نسبت بین تیتانیوم و آلومینیم در نمونه‌های مورد مطالعه

Fig (6): A: Ratio Maturity B: Ratio Silica/Sesquioxide C: RatioTiO₂/Al₂O₃ (The Numbers in the Legend are the Positions of the Samples Shown in Figure 1 on the Left).

سبب سیلیکات به اکسید آهن و اکسید آلومینیم

میزان هوازگی شیمیایی خاک‌ها از نسبت بین سیلیکات موجود در خاک به اکسید آلومینیم و اکسید آهن به دست می‌آید (رابطه ۶) (مایچنین، ۱۹۶۶) که به نسبت Silica/Sesquioxide شناخته شده است (مایچنین، ۱۹۶۶، تانسر و لوهنس، ۱۹۷۷). این نسبت به منظور برآورد میزان هوازگی شیمیایی نمونه‌های رسوبی استفاده می‌شود و هرچه عدد به دست آمده کمتر باشد، نشان دهنده هوازگی بیشتر و در نتیجه رطوبت بیشتر هوا در زمان تشکیل آن افق رسوبی است. خاک‌های لاتریتی به شدت هوازده و غنی از آهن و سسکیواکسید آلومینیم هستند که بسته به میزان درجه هوازگی و تجزیه، حاوی میزان سیلیس و کائولینیت متفاوتی می‌باشند (کاکس و همکاران، ۱۹۹۵: ۲۱۹).
هرچه عدد به دست آمده کمتر باشد (کمتر از دو)، نشان دهنده لاتریتی بودن خاک آن نمونه رسوبی و در نتیجه هوازده تر بودن آن لایه می‌باشد (جدول ۴).

$$(۶) \text{Silica} / \text{Sesquioxides} = \text{SiO}_2 / (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

جدول (۵): طبقه بندی خاک بر اساس میزان سیلیس / سسکیواکسید (کاکس و همکاران، ۱۹۹۵)

Table (5): Soil Classification Based Silica/Sesquioxide (Cox et al).

Soil Type	SILICA : SESQUIOXIDE
Laterite Soil	1.33 or less
Lateritic Soil	1.33 – 2.00
Non-Laterite	2.00 and over

شاخص موردنظر برای تمام نمونه‌های برداشت‌شده از هر ۳ بازه محاسبه گردید و نتایج نشان‌دهنده لاتریتی نبودن خاک تمام نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد از آن جهت که عدد به‌دست‌آمده در تمام لایه‌ها بیش از ۲ است. همچنین در شکل (۱۰)، روند افزایشی و کاهشی این نسبت نمایش داده شده است که به صورت کلی، به سمت زمان حال روند کاهشی داشته و نشان‌دهنده وجود رطوبت بیشتر در دوره‌های بین یخچالی می‌باشد (شکل ۶، ب).

منشأ یابی

نسبت بین تیتانیوم و آلومینیوم، شاخصی مفید جهت بررسی میزان اسیدیته رسوب (شلدون و تابور، ۲۰۰۹)^۱ و منشا یابی است زیرا میزان تیتانیوم، مابین سنگ‌های مختلف ممکن است کاملاً متغیر باشد (رابطه ۷) (لی، ۲۰۰۰)^۲. به‌طور کل، هرچه ماده اصلی مافیک‌تر باشد، نسبت تیتانیوم به آلومینیوم بالاتر است (مینارد، ۱۹۹۲: ۲۸۳)^۳. علاوه بر این، از آنجایی که هر دو عنصر نسبتاً بی‌حرکت هستند، باید در طول پدوژنز در PH های تقریباً خنثی (۵/۵-۸) ثابت باقی بمانند (شلدون، ۲۰۰۶). در شرایط نزدیک به خنثی، آلومینیوم کمی متحرک‌تر از تیتانیوم بوده (لی، ۲۰۰۰) اما هر دو این عناصر در شرایط PH اسیدی، بیشترین تحرک را دارا می‌باشند (شلدون و تابور، ۲۰۰۹).

هرچه عدد به‌دست‌آمده از این شاخص بیشتر باشد، نشان‌دهنده تغییرات PH به سمت قلیایی شدن و دوره‌های اقلیمی مرطوب‌تر بوده، و در مقابل، هرچه عدد به‌دست‌آمده کمتر باشد، نمایان کننده محیط اسیدی و دوره‌های اقلیمی خشک‌تر می‌باشد.

$$\text{Provenance} = \text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3 \quad (7)$$

دامنه این شاخص در نمونه شماره ۲ از (۱۵-۲۰) متغیر بوده، که متعلق به دوران یخچالی و دروان تسلط شرایط گرم و خشک می‌باشد. نمودار نشان می‌دهد که روند این شاخص در نمونه‌های شماره ۱ تا ۶، از دوران یخچالی به سمت دوره‌های متأخرتر دارای روند افزایشی بوده هرچند دارای نوسان‌های جزئی نیز می‌باشد و این امر شرایط اقلیمی پایدارتری را نشان می‌دهد. شکل ۶، ج نسبت بین تیتانیوم و آلومینیوم در نمونه‌های مورد مطالعه را، در منطقه مطالعاتی و از نظر زمانی به‌صورت پیوسته، نمایش می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، از شماره‌های ۱ تا ۶، افزایش کمی در این شاخص وجود داشته، و سپس با نوسان‌های جزئی، دارای روند کاهشی شده که نمایانگر اسیدی شدن محیط و خشک‌تر شدن شرایط اقلیمی می‌باشد (شکل ۶، ج).

۴ نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی رسوبات پادگانه‌ها می‌تواند به کمی‌سازی آسان ترکیب رسوبات آن‌ها منتهی شده و امکان پردازش آماری داده‌ها را فراهم سازد. همچنین قادر است، شناسایی و کمی‌سازی عوامل تعیین‌کننده ترکیب رسوبات را تسهیل کند.

نتایج کلسیمتری نهشته‌های پادگانه‌ای حوضه آبریز جاجرود نشان‌دهنده آن است که تغییرات نسبت کربنات کلسیم با تغییرات دمای دیرینه در حوضه آبریز جاجرود مرتبط است، لایه‌هایی که درصد کربنات کلسیم یا آهک آن‌ها افزایش دارد، نشان‌دهنده فرارسیدن دوره گرم‌تری است. برعکس در دوره سرد و مرطوب، رسوب‌گذاری آهک متوقف شده یا کاهش نشان می‌دهد. همچنین هدایت الکتریکی یا درجه شوری رسوبات پادگانه‌ها (EC) با مقدار کربنات کلسیم محلول تحت تأثیر دوره‌های سرد و گرم ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. علاوه بر آزمایش‌های فوق، نتایج ژئوشیمی رسوبی (XRF) بر روی نهشته‌های پادگانه‌ها، با موضوع نهشته‌گذاری کانی‌های مختلف مرتبط با تغییرات دما و اقلیم است. این یافته‌ها با تناوب دوره‌های سرد و گرم حاکم بر حوضه جاجرود انطباق پیدا می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سه دوره تغییرات دمای دیرینه از مرطوب به خشک در این حوضه قابل‌شناسایی است. یکی در اوج دوره یخچالی مقارن با کاهش دبی رودخانه می‌باشد (قبل از هولوسن). زیرا بارش به‌صورت برف در ارتفاعات کوهستانی و حوضه‌های مرتفعی مانند جاجرود انباشته می‌شده است از این رو دبی و نوسانات سیلابی بسیار کاهش داشته است. در مرحله بعد یعنی گذر از دوره یخچالی به دوره گرم (احتمالاً بین ۱۱ تا ۸ هزار سال قبل) جاجرود بیشترین دبی خود را تجربه کرده است. زیرا نه‌تنها یخچال‌ها به‌سرعت در حال ذوب شدن

بوده‌اند بلکه ذوب یخچال‌ها توأم با دبی حاصل از بارش سالانه در حوضه روی می‌داده است. این شرایط منجر به وقوع سیلاب‌های شدیدی نیز می‌شده است. وجود لایه‌بندی بسیار درشت‌بافت در پادگان‌های اوایل هولوسن نتیجه تسلط این شرایط است. در مرحله سوم با تسلط شرایط گرم و خشک اخیر (از حدود ۸ هزار سال پیش تاکنون) همراه است. در این دوره مجدداً دبی رودها به تدریج کاهش یافته است. زیرا در شرایط کنونی یخچال‌های حوضه جاجرود از میان رفته‌اند و دبی رودخانه صرفاً از بارش‌های فصلی و ذوب برف زمستانی در ارتفاعات تأمین می‌شود. تغییرات دبی و وقوع سیلاب‌های دوره‌ای نیز نتیجه مستقیم بارش با شدت و مدت آستانه‌ها است. این سیلاب‌ها اغلب پایین‌دست حوضه جاجرود را از حدود سرشاخه روته (به دلیل افزایش ضریب انشعاب) تا خروجی حوضه تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین با تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده از ژئوشیمی رسوبی (XRF)، مشاهده می‌شود که با بالاآمده سطح آب رودخانه جاجرود در دوره بین یخچالی و پایین رفتن آن در دوره یخچالی، میزان عناصر رسوبی در پادگان‌ها تغییر پیدا کرده است. شاخص‌ترین عنصر که هم‌زمان با افزایش سطح آب رودخانه، همبستگی مستقیم نشان می‌دهد Cao است. افزایش میزان Cao در رسوبات دریاچه‌ای پادگان‌ها در بیشتر موارد، به دلیل افزایش میزان سهم رسوبات شیمیایی و بیوشیمیایی از جمله پوسته‌های صدف در رسوبات است که حاوی کربنات کلسیم می‌باشند. علاوه بر آن میزان استرانسیوم (Sr)، گوگرد (S)، سزیم (Sc)، همبستگی مثبتی با افزایش سطح آب رودخانه نشان می‌دهد. سایر عناصر اصلی سیلیس (SiO₂)، آلومینیوم (Al₂O₃)، اکسید منیزیم (MgO)، اکسید آهن (Fe₂O₃)، تیتانیوم (TiO₂)، اکسید پتاسیم (K₂O)، اکسید سدیم (Na₂O) و گوگرد (S) هم‌زمان با افزایش سطح آب رودخانه کاهش می‌یابد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان تغییرات شرایط محیط رسوب‌گذاری در رسوبات پادگان‌های دره جاجرود را بازسازی نمود (جدول ۲).

با توجه به تحقیقات گذشته، لازم به یادآوری است که پژوهش‌های محدودی در زمینه ژئوشیمی رسوبی و پادگان‌ها در ایران و خارج از ایران انجام شده است. ولدکمپ و کرونینرگ (۱۹۹۳) در پژوهشی با استفاده از ژئوشیمی رسوبی XRF یک مدل سه‌بعدی از تشکیل و تحول پادگان‌ها در کامپیوتر شبیه‌سازی نمودند. محمدی (۱۳۸۹) به بررسی رسوب‌شناسی و ژئوشیمی نهشته‌های پلاایای جازموریان پرداختند. لیکن در خصوص تغییرات دبی جریان رودخانه و بازسازی دمای دیرینه محیط با استفاده از ژئوشیمی رسوبی XRF پادگان‌ها و اندیس‌های ذکر شده در این پژوهش، در تحقیقات گذشته کاری انجام نشده است. این پژوهش همچنین نشان می‌دهد که ژئوشیمی رسوبات پادگان‌ها می‌تواند منجر به تولید داده‌های جدید و موردعلاقه در تحقیقات کواترنری شود. باین‌حال، تفسیر عوامل ژئوشیمیایی تنها در صورتی می‌تواند انجام شود که کانی‌شناسی رسوبات شناخته شده باشد. بنابراین، ژئوشیمی رسوبی مکمل پترولوژی رسوبی است اما نمی‌تواند جایگزین آن شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- Cullers RL, Podkovyrov V.M. (2002). The source and origin of terrigenous sedimentary rocks in the Mesoproterozoic Ui group, southeastern Russia, *Precambrian Research* 117:157–183.
- Cox, R., Low, D.R, Culler, R.L. 1995. The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern united states, *Geochimica cosmochimica Acta*, 59, 219-294.
- Fedo, C.M., Nesbitt, H.W, Young, G.M.1995. Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance, *Geology*, 23, 921-924.
- Green, C.P.MC Gregor, D.F.M, 1987, River terraces: a stratigraphic record of environmental change. In Gardiner, V., (Ed), 1986, international geomorphology 1986, part I, John Wiley and Sons Ltd.
- Jafari, Gholam Hassan; Abbasi, Mehdi; (2017), Investigating the role of lithology and tectonics in the process of topographic evolution of Qezal-Ozan river terraces, *Hydrogeomorphology*, No. 14, pp. 1-22.
- Jessica, A.T., Chen, J., Yang, H., Li, T., Bookhagen, B., Burbank, D., 2018. Coarse- versus fine – grain quartz OSL and cosmogenic ¹⁰Be dating of deformed fluvial terraces on the northeast pamir margin, northwest china, *Quaternary Geochronology*, 46,1-15.
- Kroonenberg, S.B., 1990. Geochemistry of Quaternary fluvial sands from different tectonic regimes, vol 84, no ¼, p 88-91.
- Kolb, R., 2017. Middle and upper Pleistocene fluvial terraces in an abandoned valley in upper Franconia(Germany): chronology and driving forces, Dissertation, zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor der Naturwissenschaften(Dr. rer. nat.) an der Fakultät für Biologie, Chemie und Geowissenschaften der Universität Bayreuth Bayreuth, Germany, Dezember 2017.
- Lak, Razieh, Taghizadeh, Mojtaba. (2013). Investigation of Holocene sedimentary facies and determination of sedimentation rate in North-Eastern Persian Gulf (case study: South of Bandar Abbas), *Geological Sciences*, 24, No. 94, pp. 183-192.
- Li, Y.-H., 2000. A Compendium of Geochemistry. Princeton University Press, Princeton. 475 pp.
- Liyan Jia, Xujiao zhang, zexin He, xiangli He, Fadong wu, Yiqun zhou, lianzhenfu, Junxiang zhao.(2015). Late quaternary climatic and tectonic mechanism driving river terrace development in an area mountain uplift: a case study in the langshan area, inner Mongolia, northern china, *Geomorphology* 234(2015) 109-121.
- Maynard, J.B., 1992. Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols. *Journal of Geology* 100, 279–289.
- Nathan D.Sheldon, Neil J.Tabor.(2009). Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols. *Earth – Science Reviews* 95(2009).1-52.
- Nesbitt HW (2003) Petrogenesis of Siliciclastic Sediments and Sedimentary Rocks. In: Lenz DR (Ed.), *Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks*. Geotext 4, Geological Association of Canada, Newfoundland, 39-51.
- Nesbitt, H., Young, G., (1982). Early proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715-717.
- Ngueutchoua, G., Ngantchu, L., Youbi, M., NgosIII, S. 2017. Geochemistry of cretaceous Mudrock and sandstones from douala sub-basin, kumba area, southwest Cameroon: constraints on provenance, source rock weathering, paleo-oxidation conditions and tectonic environment, *international journal of geosciences*, 8, 393-424.
- Paul, Edwin potter.(1978). Petrology and chemistry of modern Big River sands, the journal of Geology, vol 86, No.4, pp 423-449.
- Ronald c., count, Madhav K.Murari, lewise A.owen , shanon A.Mahang, Michele Greenan.(2015). Late quaternary chronostratigraphic frame work of terraces and alluvium along the lower ohio River, south western Indian and western Kentucky, USA, *Quaternary science Reviews* 110(2015) 72-91.

- Roser, B. P., Cooper, R.A., Nathan, S., Tulloch, A. J., 1996. Reconnaissance sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting of the lower Paleozoic terranes of the West Coast and Nelson, New Zealand: J. of Geology and Geophysics, 39:1-16.
- Tuncer, E.R, Lohnes, R.A, (1977). An engineering classification for certain basalt- derived lateritic soils, Engineering Geology, vol.11, Issue4,pp319-339.
- Veldkamp, A., S.E.J.W. Vermeulen, 1989, River terrace formation , modeling , and 3-D graphical simulation . Earth surface. Processes and landforms, vol 14, 641-654.
- Mohammadi, Ali (2010), Sedimentology and Geochemistry of Jazmurian Playa Deposits, Jurnal of Arid Biome, Quarterly, Year 1, No 1.pp 68-79.
- Salehipour Milani, Alireza; Yamani, Mojtaba; Moghimi, Ibrahim; Lak, Razieh; Jafar Beglou, Mansour; (2014), Reconstruction of paleohydrology and paleoecology of Lake Urmia in the Quaternary (with the study of lake defenses), Hydrogeomorphology, No. 4, pp. 143-170.
- Torabi Golsefidi, H.(1994). Investigating the formation and evolution of the soils along Sefidroud River in central Gilan, Master's thesis, Isfahan University of Technology, Faculty of Agriculture, p. 13.
- Yamani, M. (2021). Research Methods and Techniques in Geomorphology, First Edition, University of Tehran Press, Tehran, Iran, pp141-200.
- Yamani, Mojtaba; Ali Akbar Shamsipour; Maryam Jafari Aghdam; (2010), Pleistocene snow reconstruction in Jajrud basin, Physical Geography Research, 76: pp. 35-50.
- Boll, J., thewissen, T.J.W., Meijer, E.L., and Kroonenberg, S.B, 1988, A simulation of the development of river terraces, zeitschrift for Geomorphologie, 32, 31-45.

