Shahid Chamran University of Ahvaz
OPEN ACCESS Adv. Appl. Geol. Winter 2026, Vol. 15 (4): 106 - 125

Research Article

Sedimentology, sedimentary facies, and sedimentation model of the Sarney River, Minab County, southeast of Iran

Mojtaba Ansarifar[1], Hamidreza Masoumi[1]*, Mohammadsadegh Dehghanian[1], Mohammad Reza Gharibreza[2], Jafar Rahnemarad[3]

1- Department of Geology, BA.C. Islamic Azad University, Bandar Abbas, Iran
2- River and Coastal Engineering Research Group, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran
3- Department of Geology, Zah.C. Islamic Azad University, Zahedan, Iran

Keywords: *Sedimentology, Sedimentary facies, Architectural elements, Grain-size analysis, Sarney River.*

1-Introduction

The Sarney River, located east of Minab in southern Iran, represents an active fluvial system in the Makran structural zone that preserves a diverse array of sedimentary facies and depositional elements. As in many arid to semi-arid regions, rivers play a fundamental hydrological and geomorphological role, controlling regional drainage, groundwater recharge, and the redistribution of sediments from tectonically active uplands to downstream plains. The river extends approximately 65 km and drains an area that is strongly influenced by both natural geomorphic processes and human activities. Understanding sediment characteristics and depositional behavior in systems such as the Sarney River is essential for interpreting hydrological dynamics, sediment-routing mechanisms, and environmental changes that shape Quaternary alluvial landscapes.

The fluvial sediments of the Sarney River reflect a wide range of hydrodynamic regimes, from high-energy gravelly braided reaches in the upstream mountainous part of the basin to mixed gravel–sand systems and ultimately to meandering sand-dominated channels downstream. The composition and texture of sediments are controlled by several factors, including bedrock lithology, weathering intensity, channel incision, and sediment supply from tributaries and eroding terraces. Previous research on fluvial systems in Iran and globally has demonstrated that grain-size trends, sedimentary structures, textural maturity, and architectural elements are reliable indicators of fluvial dynamics and depositional processes. Similar approaches are applied here to the Sarney River to determine the main controls on sediment transport and deposition.

The region's climate is dominantly arid with an annual De Martonne aridity index of approximately 5.44, confirming that ephemeral to seasonal hydrological regimes prevail. This climatic setting, combined with steep gradients in the upper reaches and tectonically active terrain, generates episodic high-discharge floods capable of transporting coarse sediments, producing scour-and-fill structures, and developing multiple erosional and depositional discontinuities along the channel course. Such features provide valuable information about the temporal variability of sediment supply and flow energy.

Given the presence of diverse lithologies—including marl, shale, sandstone, conglomerate, and Quaternary alluvial deposits—the Sarney River offers an ideal natural laboratory for investigating the interaction of tectonics, climate, and sedimentation. The primary objective of the present study is to analyze the sedimentological characteristics of the river's deposits through grain-size analysis, identification of

* Corresponding author: hamidreza.masoumi@iau.ac.ir
DOI: 10.22055/aag.2026.51228.2549
Received: 2025-11-23
Accepted: 2026-02-04

ISSN: 2717-0764

sedimentary facies, and architectural elements, and ultimately to reconstruct a depositional model for the entire river course. This analysis provides insights into the dynamic processes operating in the watershed, including patterns of downstream fining, facies transitions, and the distribution of geomorphic units such as channel fills, bars, levees, and floodplains. Understanding these relationships is essential not only for geological interpretation but also for environmental and water-resource planning in arid regions of southern Iran.

2-Materials and Methods

To evaluate the sedimentary characteristics of the Sarney River, 20 sediment samples were collected systematically along the active river channel, from upstream mountain sections to the downstream meandering plain. Sampling was performed at depths of 30–50 cm within the channel bed to minimize the influence of recent surface reworking. The geographic position of each sample site was recorded using GPS based on UTM coordinates to ensure accuracy in spatial analysis. Samples were transferred to the laboratory with minimal disturbance to preserve their natural texture and composition.

After air-drying, all samples were subjected to dry-sieving analysis following the method of Lewis and McConchie (1994). Grain-size fractions were separated at 0.5 φ intervals, and the weight percentage of each size class was measured using a precision digital balance. Grain-size statistical parameters—including mean, median, sorting, skewness, and kurtosis—were calculated according to Folk's (1980) classification. The grain-size distribution was then plotted using TriPlot software to determine sediment types and textural classes.

Because the largest fraction (>15%) of the coarsest gravel components in the first two sampling intervals exceeded the sieve limits, samples with grain sizes larger than 15 mm were excluded from detailed statistical treatment. Nonetheless, qualitative data from coarser materials were used in facies interpretations. In addition to laboratory analysis, extensive field observations were conducted to document sediment structures, bedding geometries, erosional surfaces, and lateral and vertical facies relationships.

Sedimentary facies were classified based on the schemes of Miall (1996, 2000, 2006) and Li et al. (2021), which emphasize grain size, sedimentary structures, and depositional textures. Facies associations were subsequently grouped into architectural elements following the hierarchical fluvial classification framework proposed by Miall (2013) and Ford & Pyles (2014). These elements helped differentiate between channel fills, gravel bars, sand bars, and fine-grained floodplain deposits.

Longitudinal and cross-sectional river profiles were constructed using Google Earth elevation data to examine channel morphology, slope variations, and the distribution of geomorphic features along the river course. These data were used to correlate sedimentary discontinuities—identified based on grain-size trends, abrupt changes in facies, and shifts in depositional style.

3-Results and discussions

3-1- Grain-size characteristics

Grain-size analysis reveals significant downstream fining from coarse gravel in the upstream sections to silt-dominated sediments near the river mouth. Gravel content decreases from more than 80% in sample 1 to less than 1% in samples 19 and 20. Sand and mud proportions exhibit complementary trends, with mud fractions increasing considerably in the lower reaches. Sorting values range from moderately good to extremely poor (0.55–4.33 σ), indicating highly variable flow conditions. The weakest sorting occurs in the midstream zone, where tributary inputs add large volumes of poorly sorted fine material.

Skewness values range from strongly fine-skewed to strongly coarse-skewed. Most upstream samples show positive skewness due to an abundance of fine particles produced by intense weathering of marl, shale, and ophiolitic rocks. In contrast, negative skewness values in the central and lower reaches reflect winnowing of fines during episodes of high stream power.

Kurtosis values range widely from platykurtic to very leptokurtic, suggesting that grain-size distributions are controlled by alternating high-energy and low-energy depositional events. Overall, the

ISSN: 2717-0764

grain-size results indicate that although a general downstream fining trend exists, several discontinuities interrupt this trend due to geomorphic and sediment supply variations.

3-2- Sedimentary discontinuities

Four major discontinuities and five continuity intervals were identified along the river. The first discontinuity corresponds to the emergence of a major fault and the head of the Sarney dam lake. The second is triggered by the deposition of fine-grained flood sediments associated with slack-water zones near the dam. The third discontinuity reflects sediment influx from tributaries draining soft lithologies, and the fourth corresponds to incision into older terraces with abundant fine-grained material. These discontinuities significantly influence facies distributions and river morphology along the basin.

3-3- Sedimentary facies

Ten sedimentary facies were identified:

Gravelly facies:

Gcm, Gms, Gm, Gh, Gp

These facies represent high-energy streamflow, debris-flow deposition, and coarse bar migration. Gcm and Gm are characteristic of the proximal braided reaches. Gms reflects matrix-rich debris-flow deposits, whereas Gh and Gp represent bar accretion and bedform migration under steady but high stream power.

Sandy facies:

Sh, St, Sm

These facies occur in the mid- to downstream reaches and document traction-dominated flows (Sh), dune migration (St), and rapid sediment dumping during flow deceleration or collapse (Sm).

Fine-grained facies:

Fr, Fm

These facies correspond to floodplain muds, over bank deposits, and abandoned-channel fills. Fr contains root traces, indicating vegetation colonization during low-energy floodplain stability.

3-4- Architectural elements:

Five architectural elements were documented:

CH: Channel fills dominated by Gcm, Gh, and Sh
SG: Gravity-flow dominated deposits containing Gcm and Gms
GB: Gravel bars characterized by Gh, Gms, and Sh
SB: Sandy bedforms (Sh, Sm) representing meandering-channel bars
FF: Fine-grained floodplain deposits composed of Fm, Fr, and Sm

Each architectural element corresponds to a distinct geomorphic setting and reflects transitions in river energy, sediment load, and channel morphology.

3-5- Depositional model

A three-part depositional model is recognized along the Sarney River:

1. Upstream gravelly shallow braided river
   High channel gradient, coarse gravel load, and Gcm–Gh facies dominate.
2. Middle gravelly braided river with gravity-flow deposits
   SG architectural elements and abundant Gms facies reflect slope failures, tributary contributions, and episodic debris-flow events.
3. Downstream meandering river
   Lower gradient, sand-dominated deposits (Sh, St, Sm), with floodplain facies (Fm, Fr), characterize the final reach before entering the coastal plain.

ISSN: 2717-0764
CC BY

4-Conclusion

The sedimentological study of the Sarney River reveals a complex interaction of hydrodynamic processes, lithologic controls, and geomorphic features. Grain-size analyses show a general downstream fining trend with major textural transitions influenced by tributary inputs, terrace erosion, and seasonal flood dynamics. Ten sedimentary facies and five architectural elements reflect the diversity of depositional environments along the river course. Based on facies assemblages and architectural configurations, the depositional model includes an upstream shallow braided gravel system, a mid-reach gravelly braided system with debris-flow contributions, and a downstream meandering sand-dominated channel. These findings provide a comprehensive understanding of sediment routing and fluvial dynamics in arid to semi-arid river systems of southern Iran.

5- References

Folk, R.L., 1980 .Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, p.184.

Ford, G.L., Pyles, D.R., 2014 .A hierarchical approach for evaluating fluvial systems: Architectural analysis and sequential evolution of the high net-sand content, middle Wasatch Formation ,Uinta Basin, Utah. American Association of Petroleum Geologists 98, 1273-1304. https://doi.org/10.1306/12171313052

Lewis, D.W., McConchie, D., 1994. Analytical Sedimentology: Champion & Hall, London ,p. 197.

Li, P., Chen, Sh., Xu, C., Du, J., Wu, D., 2021. Sedimentary characteristics and spatial differentiations of the sedimentary facies in the Yellow River sub-delta lobes during the different historical period. Regional Studies in Marine Science 47, 101997. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101997

Miall A.D., 2013. Fluvial depositional systems. Spriger, Switzerland, 316p.

Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer, Berlin, p. 582.

Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer, Berlin, p. 582.

Miall, A.D., 2000. Principle of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, p. 668.

Miall, A.D., 2006. The Geology of Fluvial Deposits-Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:
Ansarifar, M., Masoumi, H., Dehghanian, M., Gharibreza, M., Rahnemarad, J., 2026. Sedimentology, sedimentary facies, and sedimentation model of the Sarney River, Minab County, southeast of Iran. Adv. Appl. Geol. 15 (4), 106-125.
DOI: 10.22055/aag.2026.51228.2549
https://aag.scu.ac.ir/article_20524.html

©2026 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

رسوب‌شناسی، رخساره‌های رسوبی و مدل رسوب‌گذاری رودخانه‌ی سرنی، شهرستان میناب، جنوب خاوری ایران

مجتبی انصاری فر
گروه زمین شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
حمیدرضا معصومی
گروه زمین شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
محمدصادق دهقانیان
گروه زمین شناسی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران
محمدرضا غریب رضا
گروه تحقیقات مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیز داری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
جعفر رهنما راد
گروه زمین شناسی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
hamidreza.masoumi@iau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۱/۱۵

چکیده

رودخانه‌ی سرنی با طول تقریبی ۶۵ کیلومتر در خاور میناب (جنوب ایران) قرار دارد. جهت انجام مطالعات رسوب‌شناسی تعداد ۲۰ نمونه‌ی رسوب از کانال فعال رودخانه برداشت شده است که پس از خشک شدن به روش غربال خشک، دانه‌بندی و معیارهای رسوب‌شناسی (میانه، میانگین، جورشدگی، کج‌شدگی و کشیدگی) بررسی شده است. براساس محاسبه‌ی این معیارها، عمدتاً جورشدگی خوب، متوسط تا بسیار بد، کج‌شدگی به شدت به سمت دانه ریز تا به شدت به سمت دانه درشت و دامنه کشیدگی پهن تا بسیار کشیده دیده می‌شود، همچنین در این رودخانه ۴ انقطاع رسوب‌گذاری و ۵ تداوم رسوب‌گذاری شناسایی شده است. در رودخانه‌ی سرنی ۱۰ رخساره رسوبی، گراول دانه پشتیبان (Gcm)، گراول با لایه‌بندی افقی (Gh)، گراول با چینه‌بندی چلیپایی (Gp)، گراول ماتریکس‌دار بدون لایه‌بندی (Gms)، گراول دانه پشتیبان بدون لایه‌بندی (Gm)، ماسه با لایه‌بندی افقی (Sh)، ماسه با چینه‌بندی چلیپایی (St)، ماسه با طبقه‌بندی توده‌ای، دانه درشت تا ریز فاقد لایه‌بندی (Sm)، گل و سیلت توده‌ای حاوی ریشه‌ی گیاهان (Fr)، سیلت و گل توده‌ای (Fm) و ۵ عنصر ساختاری CH, SG, GB, SB و FF شناسایی گردید. انقطاع رسوب‌گذاری در روند ریز شوندگی به سمت پائین دست به علت ورود شاخه‌های فرعی تغذیه کننده و همچنین فرسایش تراس‌های قدیمی‌تر است. براساس مجموعه‌های رخساره‌ای و عناصر ساختاری، مدل رسوبی رودخانه سرنی در بالادست بریده-بریده کم‌عمق گراولی، در قسمت میانی بریده- بریده گراولی با رسوبات ثقلی و در قسمت پائین دست و رودخانه مئآندری است.

واژه‌های کلیدی: *رخساره‌ی رسوبی، عناصر ساختاری، رسوب‌شناسی، رودخانه‌ی سرنی، میناب*

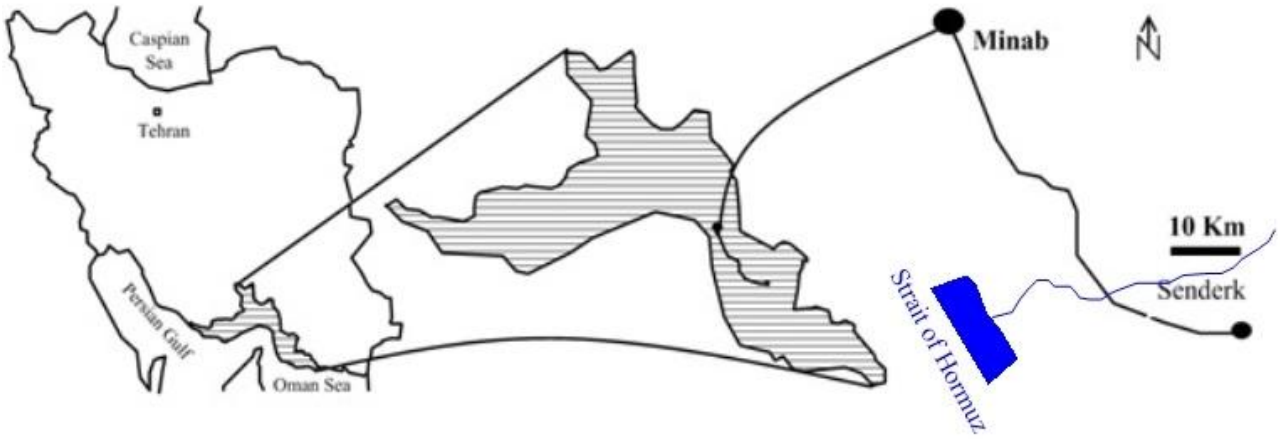
۱-مقدمه

رودخانه‌ها به‌عنوان شریان‌های حیاتی هر کشور، نقش بی‌بدیلی در تأمین منابع آب و حمایت از اکوسیستم‌ها و فعالیت‌های انسانی ایفا کرده و این منابع آبی نه تنها به‌عنوان زهکش طبیعی آب‌های سطحی مناطق مختلف عمل می‌کنند، بلکه مسئول انتقال رسوبات از نواحی منشأ به حوضه‌های آبرفتی نیز می‌باشند (Nicols, 2009). ویژگی‌های رسوبی نهشته‌های کانالی، از جمله اندازه‌ی ذرات و ساختار بافتی آن‌ها، تحت تأثیر عوامل متعددی مانند نوع ذرات منشأ، دبی آب، تغییرات اقلیمی و شیب کانال رودخانه قرار دارند (Mousavi-Harami, 2014). به طور معمول، فرآیندهای جورشدگی و سایش سبب کاهش اندازه‌ی ذرات بستر رودخانه از مناطق بالادست به سمت پایین‌دست می‌شوند (Ferguson, 2007). با این حال، این روند پیچیدگی‌هایی نیز دارد که ناشی از تغییرات شیب بستر، جنس

و شکل ذرات رسوبی، ورود سرشاخه‌های فرعی، مورفولوژی کانال و سایر عوامل است (Rice and Church, 2010)، که به طور مستقیم بر بافت رسوبی و فرآیندهای رودخانه‌ای تأثیرگذارند (Okeyode and Jibiri, 2012). یکی از عوامل کلیدی در تغییرات ریخت‌شناختی رودخانه‌های آبرفتی، حمل و نقل رسوبات به صورت بار بستر است که نقش مهمی در پویایی این سامانه‌ها دارد (Haddadchi et al., 2012). حوضه‌های آبریز در نواحی خشک و نیمه‌خشک، با تولید سیلاب‌های فصلی، اهمیت ویژه‌ای در مدیریت منابع آب و کاهش خسارات ناشی از حوادث طبیعی دارند. شناخت دقیق رسوب‌شناسی این حوضه‌ها، چه در شرایط فعلی و چه از طریق مطالعه رخساره‌های رسوبی ثبت شده در دیواره‌های کانال، می‌تواند به پیش‌بینی بهتر و کنترل مؤثر این رویدادها کمک شایانی نماید (Snelder et al., 2011). پژوهش‌های متعددی در ایران و سایر نقاط جهان به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که از جمله می‌توان به مطالعات Rice and Church (۲۰۱۰)، Poursoltani and Moeini Saleh (۲۰۱۳)، Shariat Rad (۲۰۱۳)، Mortazavi-Mehrizi و همکاران (۲۰۱۸)، Xu و همکاران (۲۰۲۰)، Li و همکاران، Zhang و همکاران (۲۰۲۳) و Noura (۲۰۲۳) اشاره کرد. در این راستا، هدف اصلی این پژوهش، مطالعه ویژگی‌های بافتی رسوبات، تعیین تداوم رسوب‌گذاری و انقطاع رسوب‌گذاری، تحلیل رخساره‌های رسوبی و عناصر ساختاری، و نهایتاً تفسیر شرایط رسوب‌گذاری به منظور ارائه مدلی کاربردی از فرآیندهای رسوبی رودخانه سرنی واقع در شرق استان هرمزگان (جنوب ایران) است همچنین می‌تواند گامی مؤثر در درک بهتر سازوکارهای رسوبی و مدیریت پایدار منابع آبی منطقه محسوب شود.

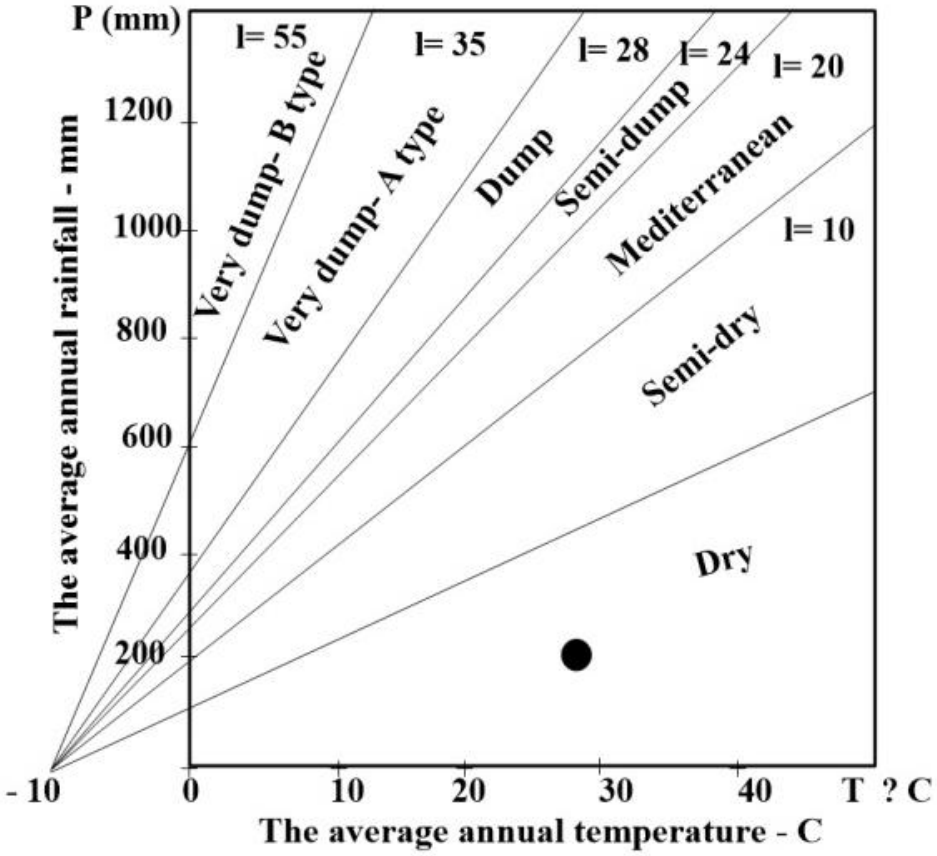
حوزه آبریز رودخانه‌ی سرنی در حد فاصل مختصات جغرافیایی ۵۷ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۵۷ درجه ۵۱ دقیقه طول شرقی و ۲۶ درجه و ۲۶ دقیقه تا ۲۶ درجه و ۰۸ دقیقه عرض شمالی واقع شده که قسمتی از حوضه‌ی آبی میناب بوده و دارای مساحتی در حدود ۷۰۶ کیلومترمربع، در قسمت خاوری استان هرمزگان می باشد (Yamani et al., 2018). کانال اصلی رودخانه‌ی سرنی، دارای طول تقریبی ۶۵ کیلومتر می باشد (Nohegar, 2013).

با استفاده از مقادیر بارش‌ها و میانگین دمای سالانه حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه، ضریب خشکی دومارتن منطقه برابر با ۵/۴۴ محاسبه گردید. با توجه به این که حدود میزان دما ۲۷/۱ درجه سانتیگراد و بارندگی متوسط سالانه منطقه ۲۰۲ میلیمتر است، منطقه‌ی مورد مطالعه بطور کلی دارای اقلیم خشک می‌باشد (Sadr et al., 2014). در شکل (۲) وضعیت اقلیم منطقه مورد مطالعه در اقلیم نمای دومارتن نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به رودخانه‌ی سرنی

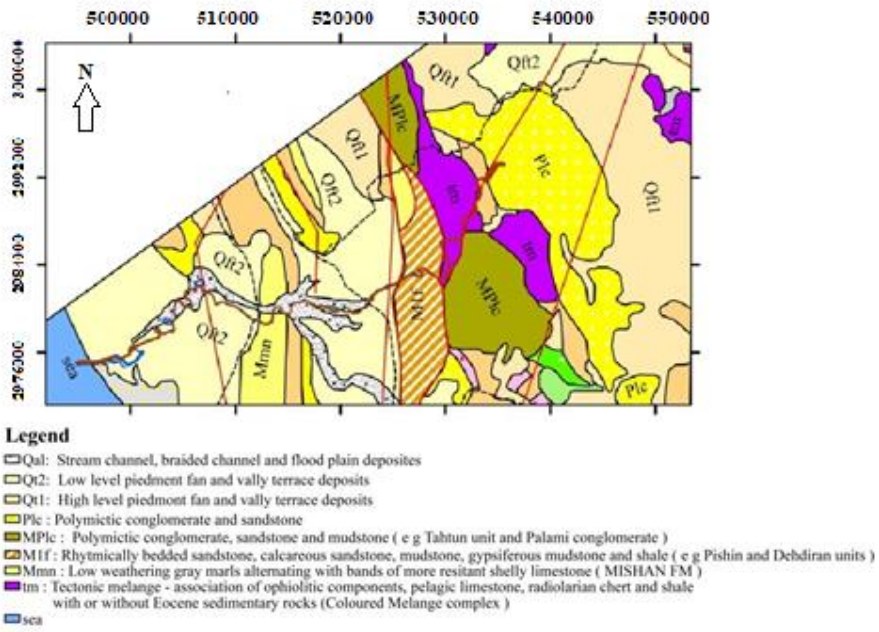
Figure 1. Geographical location and access routes to the Sarney River.



شکل ۲- نمایش وضعیت اقلیم حوضه‌ی آبریز مورد مطالعه در اقلیم نمای دومارتن
Figure 2. Climatic conditions of the studied watershed based on the De Martonne aridity index.

۲-زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در حاشیه‌ی غربی زون ساختاری مکران واقع شده است که براساس تقسیمات ساختاری-زمین‌شناسی ایران (Aghanabati, 2004) جای می‌گیرد. سنگ‌شناسی غالب در این منطقه شامل واحدهای مهم مکران است که عبارتند از: واحد مارنی گوشی با سن میوسن میانی، واحد ماسه‌سنگی خِکو مربوط به میوسن میانی تا پسین، واحد ماسه‌سنگی تیاب از میوسن پسین، واحد کنگلومرایی میناب به سن پلیوسن و همچنین نهشته‌های کواترنری (Aghanabati, 2004). از نظر ساختاری، مهم‌ترین گسل منطقه، گسل زندان است که در نزدیکی ساختگاه سد واقع شده و با راستای تقریبی N160E و شیبی تند به سمت شمال‌شرق و تقریباً قائم، مرز غربی زون مکران را تشکیل می‌دهد. علاوه بر آن، تعدادی گسل فرعی نیز به موازات گسل زندان منشعب شده‌اند که فرآیند حرکتی همه‌ی آن‌ها مانند گسل زندان بوده و عمدتاً از نوع معکوس با احتمال وجود مؤلفه راستگرد هستند. از جمله این گسل‌ها می‌توان به گسل‌های پالامی، میناب، دراز، شم و سگر اشاره کرد که هر یک نقش مهمی در ایجاد ساختارهای منطقه ایفا می‌کنند. این ویژگی‌های ساختاری و رسوبی، زمینه‌ی مناسبی برای بررسی فرآیندهای رسوب‌گذاری و جنبانده رودخانه سرنی فراهم می‌آورند و اهمیت زیادی در تحلیل‌های زمین‌شناسی و آب شناسی منطقه دارند.



شکل ۳- نقشه‌ی زمین شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه (Drawing by the authors, adapted from: McCall et al., 1983).
Figure 3. Geological map of the study area (Drawing by the authors, adapted from McCall et al., 1983).

۳-مواد و روش‌ها

تعداد ۲۰ نمونه‌ی رسوب از بستر کانال اصلی رودخانه سرنی از بالادست تا پائین دست برداشت شده است (شکل ۴). نمونه‌برداری به کمک بیلچه‌ی نمونه‌گیر از عمق ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متری برداشت و موقعیت جغرافیایی هر نمونه با GPS بصورت UTM مشخص شده است (حتی الامکان سعی شد پیوستگی نمونه برداری از نظر رژیم جریانی حفظ گردد). پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه و حذف رطوبت اولیه، با استفاده از غربال خشک و با فواصل ۰/۵ فی تا حد سیلت (۴فی) به روش Lewis and McConchie (۱۹۹۴) دانه‌سنجی انجام و نمونه‌های تفکیک شده در هر رده با استفاده از ترازوی دیجیتال توزین گردید. مشخصه‌های اندازه‌گیری ذرات (میانه و میانگین قطر ذرات، کج‌شدگی، کشیدگی و جورشدگی) تعیین و نتایج حاصل از دانه‌بندی با استفاده از نرم افزار Triplot مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. براساس میزان فراوانی ذرات در اندازه‌های مختلف، نوع رسوبات براساس رده‌بندی Folk (۱۹۸۰) مشخص گردیده است. از آنجائی که وزن ذرات با قطر کمتر از ۴ فی در نمونه‌های بازه اول و دوم رودخانه (از ابتدا تا روستای کریان) کمتر از ۵٪ کل وزن نمونه رسوب بود، از انجام تجزیه و تحلیل پیپت برای نمونه های ۱ تا ۱۵ صرف نظر شده است. براساس شواهد بدست آمده در بازدید صحرایی، رخساره‌های رسوبی موجود در دیواره‌های رودخانه جهت تعیین نوع رخساره‌ها و تعیین نوع ساختاری با کمک تقسیم‌بندی Miall (۱۹۹۶، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۶) شناسایی شدند و براساس همان منابع و طبق کدگزاری نام‌گذاری گردیده است (Li et al., 2021)، که بر اساس شکل هندسی توده‌های رسوبی، سطوح محصور کننده آن‌ها و اندازه دانه‌ها است (Ford and Pyles, 2014). سطح مقطع طولی و عرضی رودخانه در محیط Illustrator ترسیم شد (شکل ۵). همان گونه که مشهود است از بالادست به سمت پائین دست، ارتفاع کاهش یافته است.

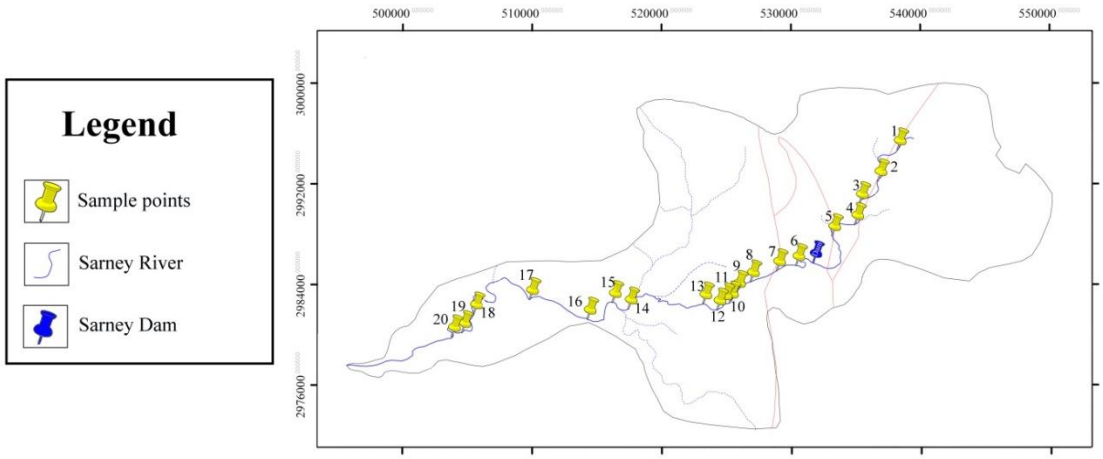
۴-بحث و نتایج

۴-۱- تجزیه و تحلیل اندازه ذرات

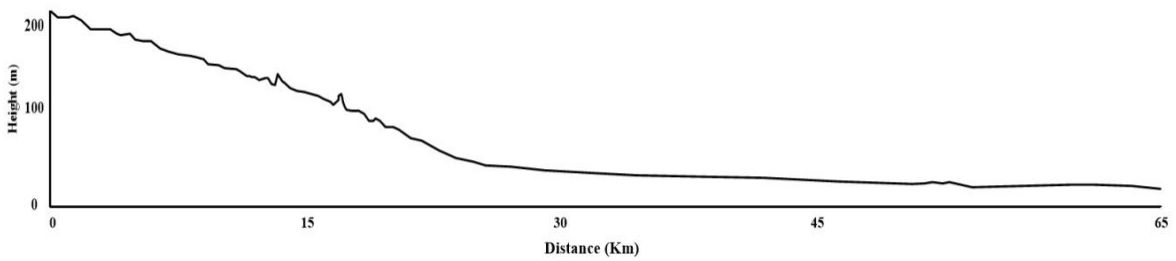
تجزیه و تحلیل اندازه‌ی ذرات جهت شناسایی نوع جریان و فرآیندهای رسوبی و تعیین محیط رسوبی به کار می‌رود (Martin-Vide et al., 2015). توزیع اندازه‌ی ذرات به عوامل مختلفی همچون ویژگی‌های سنگ‌شناسی، فرآیندهای هوازدگی و جورشدگی در هنگام حمل و نقل بستگی دارد (Noura, 2023). در (جدول-۱)، مختصات جغرافیایی، فاصله از نقطه شروع و تجزیه و تحلیل اندازه ذرات در نمونه‌های برداشت شده از کانال اصلی رودخانه‌ی سرنی نوشته شده است.

مطابق شکل ۶، رسوبات براساس مثلث Folk(۱۹۸۰) نام‌گذاری شده‌اند. مطابق شکل ۶، می‌توان گفت به ترتیب حدود ۲۵ درصد رسوبات از نوع گراول ماسه‌ای، حدود ۲۰ درصد از نوع ماسه‌ی گراولی، حدود ۲۰ درصد از نوع گل ماسه‌ای، حدود ۱۰ درصد از نوع گل ماسه‌ای با کمی گراول، حدود ۱۰ درصد از نوع سیلت، حدود ۵ درصد از نوع گراول ماسه‌ای گلی و حدود ۵ درصد از نوع گراول است.

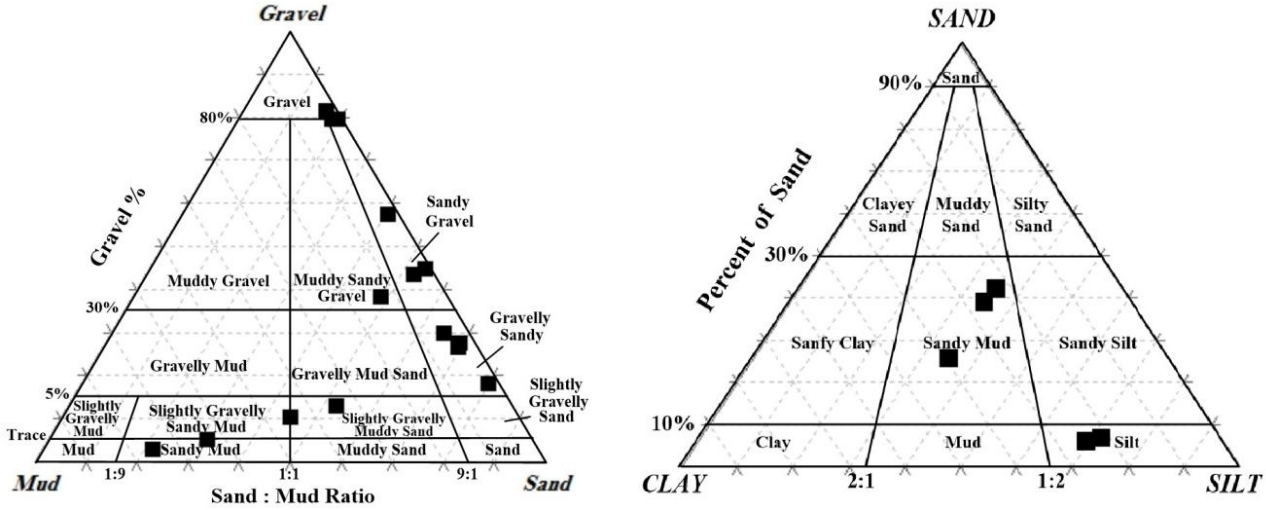
دامنه‌ی جورشدگی رسوبات از ۰.۵۵ تا ۴.۳۳ فی بوده و بیشتر رسوبات دارای جورشدگی بسیار بد (۴۵ درصد) و جورشدگی بد (۲۵ درصد) قرار می‌گیرند (جدول ۲). افزایش ذرات ریزدانه (گل) نسبت به ذرات درشت دانه (گراول و ماسه) به سمت پائین دست رودخانه باعث جورشدگی ضعیف‌تری نسبت به رسوبات بالادست رودخانه گردیده است که می‌توان به فصلی بودن رودخانه و آشفتگی جریان در طول مسیر رودخانه و تغییرات رژیم جریان در طی زمان نسبت داد. درشتی ذرات در بالادست را می‌توان به انرژی زیاد رودخانه نسبت داد به طوری که باعث خروج ذرات دانه ریز و انتقال آن‌ها به سمت پائین دست شده است. مقدار کج‌شدگی رسوبات بین ۰.۴۸- تا ۰.۹ متغیر است که بیانگر این است که کج‌شدگی بیشتر رسوبات (حدود ۳۵ درصد) به سمت دانه‌ریز است، که افزایش میزان کج‌شدگی به سمت پائین دست می‌تواند ناشی از افزایش ذرات دانه ریز مانند گل و کاهش ذرات در اندازه گراول و ماسه و نبودن زمان کافی جهت شست‌وشوی دانه‌ریزها باشد. تغییرات کشیدگی به سمت پائین دست به دلیل جورشدگی بسیار کم ذرات، نسبت به بالادست و بخش‌های میانی رودخانه، دارای روند کاهشی است (شکل ۷). در مجموع مطالعه‌ی رسوب‌شناسی این رودخانه نشان می‌دهد که روند تغییرات اندازه ذرات بطور کامل از الگوی نمایی کاهش به سمت پائین دست پیروی نمی‌کند و در برخی نقاط بنا به شرایط سنگ‌شناسی و تفاوت در حساسیت به فرسایش‌پذیری واحدهای زمین‌شناسی و همچنین اضافه شدن رسوب از دیواره کانال و آبراهه‌های در طول مسیر تغییراتی داشته است (شکل ۸).



شکل ۴- موقعیت برداشت نمونه‌های رسوبی در طول رودخانه‌ی سرنی.
Figure 4. Location of sediment sampling sites along the Sarney River.

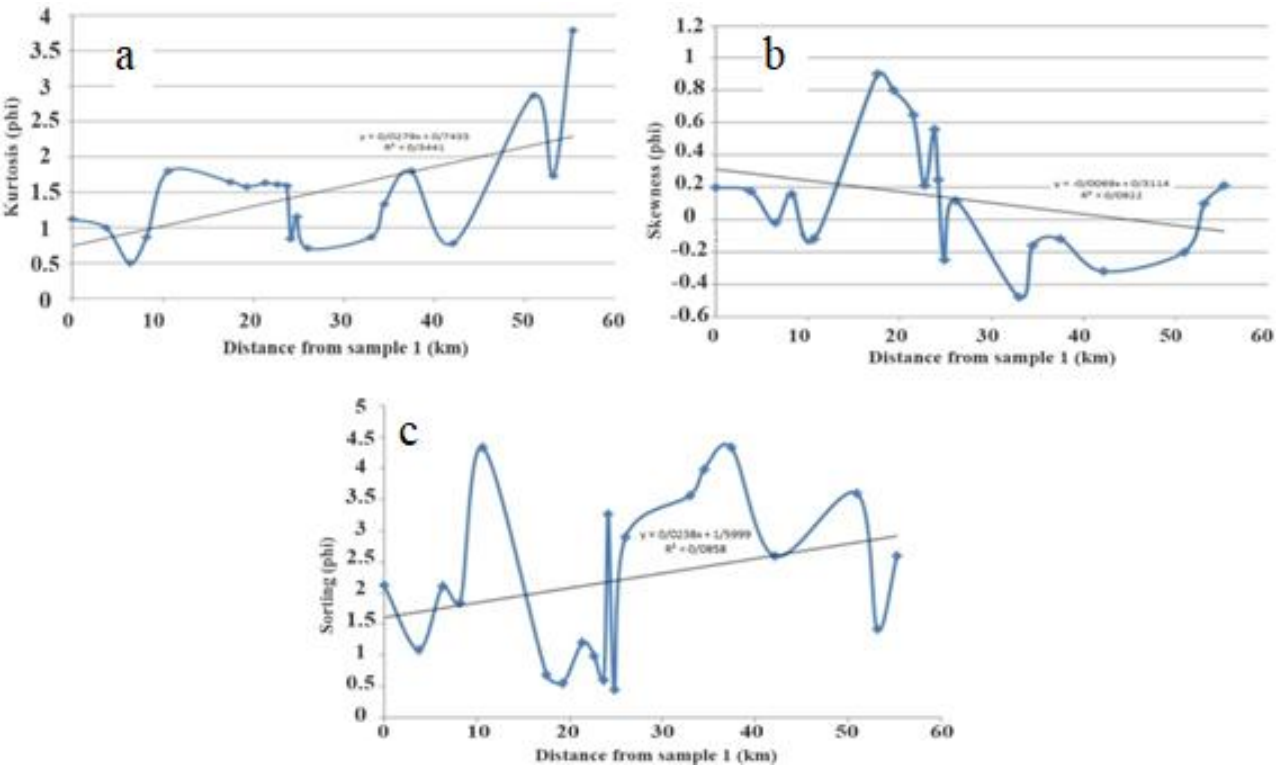


شکل ۵- پروفیل طولی و عرضی رودخانه‌ی سرنی
Figure 5. Longitudinal and transverse profiles of the Sarney River.



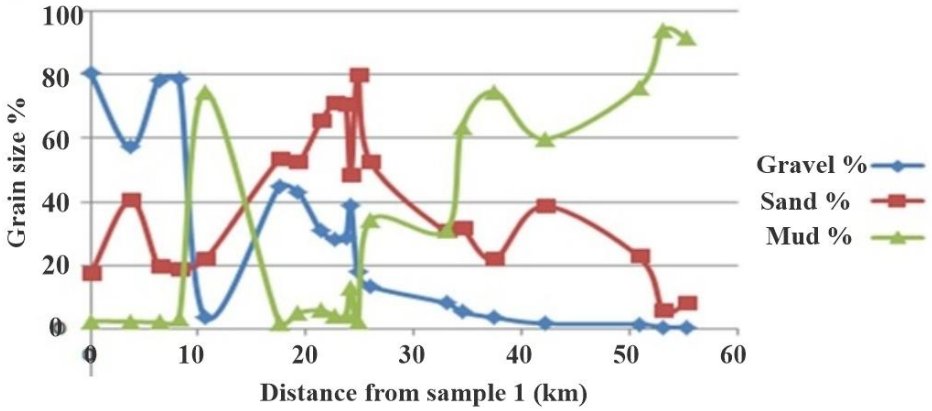
شکل ۶- رسوبات رودخانه‌ی سرنی براساس نامگذاری (Folk, 1980)

Figure 6. Classification of Sarney River sediments based on Folk (1980).



شکل ۷- (a) تغییرات کشیدگی، (b) تغییرات کج‌شدگی و (c) تغییرات جورشدگی از بالادست تا پائین دست رودخانه‌ی سرنی

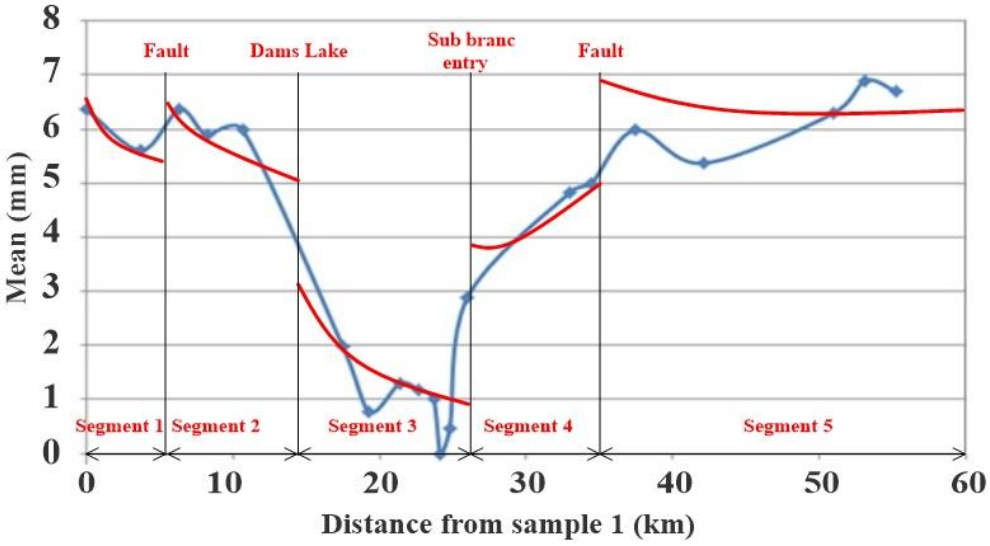
Figure 7. (a) Downstream variations of kurtosis, (b) skewness, and (c) sorting along the Sarney River.



شکل ۸- درصد تغییرات اندازه ذرات از بالادست تا پائین‌دست رودخانه‌ی سرنی

Figure 8. Downstream variations in particle-size percentages along the Sarney River.

در طول رودخانه‌ی سرنی ۴ انقطاع رسوب‌گذاری رسوبی و در نتیجه ۵ تداوم رسوب‌گذاری قابل مشاهده است (شکل ۹). تداوم رسوب‌گذاری اول نمونه‌های ۱ و ۲ را شامل می‌شود که در فاصله ۳.۷ کیلومتری این دو نمونه روند ریزشوندگی تدریجی ذرات قابل مشاهده است و با پیدایش گسل انقطاع رسوب‌گذاری اول دیده می‌شود. تداوم رسوب‌گذاری دوم از نمونه ۳ تا ۵ که با ظهور گسل و ابتدای دریاچه سد سرنی انقطاع رسوب‌گذاری دوم تشخیص داده شده است و دارای روند ریزشوندگی تدریجی است اما با ورود به دریاچه سد و وجود رسوبات سیلابی در کانال اصلی، ریزدانه می‌شود. تداوم رسوب‌گذاری سوم از نمونه ۶ تا ۱۳ را دربر می‌گیرد و با ورود شاخه‌های فرعی انقطاع رسوب‌گذاری سوم شناسایی شده و این روند قطع می‌شود. تداوم رسوب‌گذاری چهارم حد فاصل دو نمونه‌ی ۱۴ و ۱۵ با ظهور گسل و انقطاع رسوب‌گذاری، روند قطع شده است. تداوم رسوب‌گذاری پنجم از نمونه ۱۶ تا نمونه ۲۰ را دربر گرفته که کاملا ریزدانه هستند. علاوه بر موارد فوق، عواملی همچون فعالیت‌های زمین‌ساختی، شرایط آب و هوایی، شیب بستر، تولید رسوب و تغییرات کانال توسط انسان و همچنین انتقال رسوب از شاخه‌های فرعی تاثیر انکارناپذیری بر تداوم رسوب‌گذاری دارند.



شکل ۹- تغییرات طولی میانگین قطر ذرات و شناسایی انقطاع رسوب‌گذاری

Figure 9. Longitudinal variations in mean grain size and identification of sedimentation discontinuities along the Sarney River.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اندازه‌ی دانه‌ها از بالادست تا پایین‌دست رودخانه‌ی سرنی

Table 1. Results of grain-size analysis from the upstream to downstream reaches of the Sarney River.

No	UTM	Distance from sample (1) (Km)	Gravel %	Sand %	Mud %	Sediment in Folk classification	Mean (mm)	Median (mm)	Sorting (σ)	Kurtosis (σ)	Skewness (σ)
1	534334 2992247	0	80.76	16.84	2.31	Gravel	6.36	7.21	2.129	1.12	0.2
2	532970 2989796	3.74	57.19	40.37	2.22	Sandy Gravel	5.61	6.58	1.093	1.001	0.176
3	531657 2987983	6.37	78.44	19.52	1.94	Sandy Gravel	6.36	6.38	2.116	0.5	-0.02
4	531339 2986327	8.23	78.61	18.48	2.91	Muddy Sandy Gravel	5.89	7.33	1.85	0.87	0.159
5	529701 2985437	10.68	3.46	21.81	74.73	Sandy Mud	5.98	6.30	4.33	1.8	-0.12
6	527443 2982969	17.52	44.65	53.31	1.89	Sandy Gravel	1.97	3.10	0.69	1.65	0.9
7	525786 2982654	19.28	43.1	52.3	4.99	Sandy Gravel	0.77	0.97	0.55	1.58	0.8
8	523917 2981773	21.38	30.86	65.34	5.73	Sandy Gravel	1.29	1.59	1.2	1.63	0.65
9	522943 2980932	22.67	27.97	71.1	4.1	Gravelly sand	1.18	1.83	0.99	1.61	0.21
10	522435 2980090	23.69	28.47	70.45	3.9	Gravelly sand	1.00	1.21	0.61	1.59	0.56
11	521995 2979938	24.16	38.78	48.16	13.06	Gravelly sand	-0.01	1.00	3.26	0.84	0.25
12	521546 2979542	24.80	18.11	79.73	2.16	Gravelly sand	0.47	1.02	1.7	1.16	-0.25
13	520544 2980014	26.01	13.27	52.38	34.35	Slightly Gravelly Muddy Sand	2.89	3.80	3.48	0.71	0.12
14	515226 2979604	32.99	7.96	30.43	30.87	Slightly Gravelly Sandy Mud	4.83	5.01	3.57	0.87	-0.48
15	514092 2980111	34.46	5.2	31.6	63.28	Slightly Gravelly Sandy Mud	5.00	5.62	3.98	1.33	-0.16
16	512313 2978799	37.42	3.46	21.81	74.73	Sandy Mud	5.98	6.20	4.33	1.80	-0.12
17	508204 2980345	42.09	1.57	38.58	59.84	Sandy Mud	5.37	7.20	2.59	0.78	-0.32
18	504219 2979207	50.92	1.34	2.46	76.2	Sandy Mud	6.29	7.00	3.60	2.87	-0.20
19	503394 2977727	53.14	0.33	5.59	94.08	Silt	6.90	7.03	1.42	1.74	0.10
20	502650 2977399	55.26	0.41	7.79	91.8	Silt	6.71	7.15	2.6	3.79	0.21

جدول ۲- تفسیر معیارهای بافتی رسوبات

Table 2. Interpretation of sediment textural parameters.

Sample No.	Sorting (σ)	Sorting Description	Kurtosis (σ)	Kurtosis Description	Skewness (σ)	Skewness Description
1	2.129	Very poorly sorted	1.12	Leptokurtic	0.20	Fine-kewed
2	1.093	Poorly sorted	1.001	Mesokurtic	0.176	Fine-skewed
3	2.116	Very poorly sorted	0.50	Very platykurtic	-0.02	Nearly symmetrical
4	1.85	Poorly sorted	0.87	Platykurtic	0.159	Fine-skewed
5	4.33	Extremely poorly sorted	1.80	Very leptokurtic	-0.12	Coarse-skewed
6	0.69	Moderately well sorted	1.65	Very leptokurtic	0.90	Strongly fine-skewed
7	0.55	Moderately well sorted	1.58	Very leptokurtic	0.80	Strongly fine-skewed
8	1.20	Poorly sorted	1.63	Very leptokurtic	0.65	Strongly fine-skewed
9	0.99	Moderately sorted	1.61	Very leptokurtic	0.21	Fine-skewed
10	0.61	Moderately well sorted	1.59	Very leptokurtic	0.56	Strongly fine-skewed
11	3.26	Very poorly sorted	0.84	Platykurtic	0.25	Fine-skewed
12	1.70	Poorly sorted	1.16	Leptokurtic	-0.25	Coarse-skewed
13	3.48	Very poorly sorted	0.71	Platykurtic	0.12	Fine-skewed
14	3.57	Very poorly sorted	0.87	Platykurtic	-0.48	Strongly coarse-skewed
15	3.98	Very poorly sorted	1.33	Leptokurtic	-0.16	Coarse-skewed
16	4.33	Extremely poorly sorted	1.80	Very leptokurtic	-0.12	Coarse-skewed
17	2.59	Very poorly sorted	0.78	Platykurtic	-0.32	Strongly coarse-skewed
18	3.60	Very poorly sorted	2.87	Very leptokurtic	-0.20	Coarse-skewed
19	1.42	Poorly sorted	1.74	Very leptokurtic	0.10	Nearly symmetrical
20	2.60	Very poorly sorted	3.79	Extremely leptokurtic	0.21	Fine-skewed

معمولاً در محیط‌های رودخانه‌ای از بالادست به سمت پایین دست، ضریب جورشدگی بـه تدریج کاهش یافته و جورشدگی بهتر می‌شود، اما در مورد رودخانه‌ی سرنی، جورشدگی به طور منظم به سمت پایین دست بهتر نشده و به علت همان عوامل مؤثر در ظهور انقطاع رسوب‌گذاری با بی‌نظمی‌هایی همراه است.

اکثر نمونه‌ها دارای جورشدگی بسیار بد بوده که دلالت بر رژیم جریان در بخش‌های اصلی رودخانه دارد که امکان جورشدگی رسوبات وجود ندارد و یا به عبارتی چون رودخانه‌ی مورد مطالعه فصلی است، این وضعیت معرف آشفتگی جریان در طول مسیر دیده می‌شود.

کج‌شدگی رسوبات عمدتاً مثبت است که این حالت در محیط‌های رودخانه، طبیعی بوده و حکایت از عدم زمان کافی جهت شست‌وشوی ذرات ریزدانه توسط جریان آب دارد؛ از طرفی از جمله دلایل ظهور کج‌شدگی مثبت در این رسوبات، جریان‌های آشفته، تغذیه رودخانه از سرشاخه‌ها و انشعابات فرعی و همچنین ناپایداری ذرات حاصل از فرسایش واحدهای سست همچون افیولیتی، شیل و مارن که به تولید رسوب ریزدانه منجر می‌شوند اشاره نمود. کج‌شدگی منفی در برخی نقاط احتمالاً به علت شیب بسیار تند بستر و بالا بودن شدت جریان در این نقاط است؛ به‌طوری که سبب افزایش نسبت ذرات درشت‌دانه به ریز ریزدانه و شسته‌شدن ذرات دانه‌ریز و در نتیجه کج‌شدگی منفی رسوبات شده است.

۴-۲- رخساره‌های رسوبی

مطالعه رخساره‌های رسوبی به تعیین محیط‌رسوبی و شناسایی فرآیندهای رسوب‌گذاری و نوع جریان کمک می‌نماید (Zhang et al., 2023). توزیع اندازه‌ی دانه‌ها در رسوب به ویژگی‌های سنگ منشأ، سایش و جورشدگی آن‌ها هنگام حمل و نقل و فرآیندهای هوازدگی بستگی دارد (Leli et al., 2021). با توجه به شواهد صحرایی که در طول مسیر حرکت از بالادست به سمت پایین دست انجام گرفت. رخساره‌های رسوبی براساس اندازه در سه گروه رخساره‌های گراولی، رخساره‌های ماسه‌ای و رخساره‌های گلی شناسایی و نامگذاری شدند.

۴-۲-۱- رخساره‌های گراولی (Gravelly Lithofacies):

این مجموعه شامل رخساره‌های Gp, Gms, Gcm, Gm و Gh می‌باشد.

رخساره Gcm: Clast-Suported, massive Gravel

این رخساره دارای گراول توده‌ای و دانه‌پشتیبان است و فراوان‌ترین رخساره رسوبی موجود در رودخانه سرنی است. این رخساره متوسط اندازه ذرات ۵/۵ سانتی متر بوده و ذرات غالباً زاویه‌دار و کمتر گردشده با جورشدگی بسیار ضعیفی در کنار هم قرار گرفته‌اند. این رخساره غالباً با رخساره‌های رسوبی Sh و Fr همراه است (شکل ۱۰- b, e). این رخساره ممکن است توسط جریان‌های خطی و آشفته (Zhang et al., 2023) و همچنین جریان‌های خرده‌دار با پلاستیسیته‌ی کاذب و ویسکوزیته و بار رسوبی بالا بر جای گذاشته شده باشد (Miall, 2006) و اغلب در نواحی پرانرژی و پرشیب نزدیک به منشأ بر جای گذاشته می‌شود (Leli et al., 2021).

رخساره Gms: گراول ماتریکس‌دار بدون لایه‌بندی

در این رخساره، گراول‌ها در زمینه‌ای ماتریکسی پراکنده و طبقه‌بندی تدریجی ندارند. ماتریکس گلی فراوان، ویژگی مهم این رخساره است و گاهی فاقد ماتریکس گلی می‌باشد. فراوانی ماتریکس، کاهش آب در سیالی که رسوب را منتقل می‌کند، ریزش دیواره‌های کانال و جابه‌جا شدن توده‌های رسوبی تحت تأثیر نیروی وزن را از عوامل مؤثر در تشکیل این رخساره عنوان کرده‌اند (Li et al., 2021). ذرات درشت گراول در زمینه‌ی گلی پراکنده‌اند و جورشدگی ضعیفی را نشان می‌دهند. حضور ذرات درشت در بین لایه‌های ریز نشان دهنده حمل و نقل توسط جریان‌های سیلابی می‌باشد (Xu et al., 2020). در این رخساره رسوبات فاقد لایه‌بندی و ایمبریکاسیون بوده، در بخش میانی رودخانه‌ی مورد مطالعه دارای گسترش و تقریباً به طور ناگهانی بر روی نهشته‌های گلی قرار گرفته‌اند. وجود چنین رخساره‌هایی نتیجه جریان‌های خرده‌دار با ویسکوزیته بالا (Zhang et al., 2023). و مربوط به بخش ابتدایی یا میانی مخروط‌افکنه‌ها می‌باشند و در تمام توالی‌های چینه‌شناسی مخروط‌افکنه‌ها حضور دارند (Li et al., 2021). غلبه رسوبات جریانی خرده‌دار مؤید آب و هوای نیمه‌خشک می‌باشد (Miall, 2000).

رخساره Gh: رخساره گراول دانه‌پشتیبان با طبقه‌بندی افقی Clast Suported, Horzontally Stratified Gravel

این رخساره از ذرات دانه‌درشت تشکیل شده و دارای لایه‌بندی افقی و ماتریکس ماسه‌ای است. این رخساره اغلب در کف کانال

به شکل رسوبات باقیمانده، مهاجرت سدهای طولی به شکل اشکال بستر طولی یا رسوبات غربالی تشکیل می‌شود (Miall, 2013). دانه‌ها اغلب فابریک ایمبریکاسیون نشان می‌دهند. این رخساره در منطقه مورد مطالعه‌ی به همراه رخساره‌های Gmm و Fr مشاهده شده است (شکل ۱۰- a).

رخساره Gm: گراول

در این رخساره کنگلومرای دانه‌پشتیبان بدون لایه‌بندی یا با لایه‌بندی ضعیف با اشکال هندسی عدسی عریض، گوه‌ای و کانالی مشاهده می‌گردند که نتیجه جریان با انرژی بالا، ته‌نشست در رودخانه‌های بریده بریده گراولی با شیب تند در مناطق نیمه خشک می‌باشد.

رخساره Gp: (گراول با چینه بندی چلیپایی - مسطح)

در این رخساره تغییرات جورشدگی نتیجه تغییرات هیدرودینامیک جریان و انتقال ذرات آواری در بستر رودخانه است. تشکیل چینه بندی چلیپایی-مسطح در رسوبات گراولی می‌تواند مرتبط به حرکت دانه‌ها در سدهای گراولی نسبت داد همچنین سرعت جریان آب و میزان حمل رسوب نیز نقش مهمی در این فرآیند دارد. شیب طبقات در رخساره گراولی با چینه بندی چلیپایی- مسطح به بیش از ۳۰ درجه می‌رسد و نشان دهنده‌ی قدرت بالای جریان آب و حمل زیاد رسوب در مسیر کانال‌های رودخانه‌ای است.

۴-۲-۲- رخساره‌های ماسه‌ای

رخساره‌های ماسه‌ای در محیط‌های رودخانه‌ای در نتیجه‌ی حمل و نقل رسوبات ماسه به وسیله جریان‌های کششی و به صورت نوبتی تشکیل می‌شوند (Miall, 2013).

رخساره Sh: ماسه با لامینه های افقی

در این رخساره ذرات ماسه در اندازه ریز تا خیلی درشت را شامل می‌شود و گاهاً ذرات گراولی هم دیده می‌شود. ذرات ماسه دارای جورشدگی نسبتاً خوب و گردشدگی خوب هستند که می‌تواند به دلیل حمل مسافت بیشتر ذرات رسوبی این رخساره باشد. لایه‌های ماسه در این رخساره به حالت افقی تشکیل گردیده است (شکل ۱۰- b, e) و ویژگی مهم این رخساره به شمار می‌رود (Noura, 2023). جدایش خطی هم در سطح لامیناسیون می‌تواند وجود داشته باشد (Remo et al., 2016). همچنین این رخساره می‌تواند در بخش‌های بالایی پشته‌های کانالی یا داخل کانال رودخانه تشکیل شود و علت تشکیل در داخل کانال رودخانه را مربوط به مرحله نهایی فروکش کردن سیلاب‌های فصلی مرتبط می‌دانند (Khalifa and Catuneanu, 2008). این رخساره در رژیم جریانی پایین و بالا تشکیل می‌شود (Noura, 2023).

رخساره Sm: (ماسه با طبقه‌بندی توده‌ای)

در این رخساره ذرات ماسه بیشتر در اندازه متوسط تا درشت را شامل می‌شود که فاقد لایه بندی بوده و حالت توده‌ای دارند همچنین گردشدگی و جورشدگی ذرات، نسبتاً خوب است. Miall (۲۰۰۰) دلیل توده ای بودن این رخساره را سقوط دیواره کانال بر اثر نیروی گرانش می داند در حالی که Tewari (۲۰۱۱) و Miall (۲۰۰۶) رسوبگذاری سریع در نتیجه فروکش کردن جریان سیلابی را علت آن می دانند. (Deynouxa و همکاران (۲۰۰۵) دلیل آن را به هم ریختگی زیستی و یا از بین رفتن سطح تماس لامیناسیون‌ها بر اثر فرآیندهای دیاژنزی می دانند. علت تشکیل این رخساره، سرعت بالای رسوب‌گذاری عنوان شده است (Noura, 2023).

رخساره St: (ماسه با چینه بندی چلیپایی)

این رخساره به وسیله نهشته‌های ماسه‌ای-ماسه‌سنگی ریز تا درشت و چینه بندی چلیپایی عدسی و رنگ خاکی دیده می‌شود. شکل هندسی آن ها عمدتاً بصورت عدسی، گوه‌ای، به سمت بالا مقعر بوده و غیرقرینه می‌باشد. این رخساره عمدتاً یک مرز بالایی و پائینی مشخص دارد که بطور جانبی به کنگلومرای توده‌ای تبدیل می‌شود. همچنین وجود آن بر روی گراول باقیمانده و رخساره Gm به احتمال زیاد بیانگر توسعه آن به عنوان یک نتیجه از مهاجرت تپه های سه بعدی در کانال‌ها تحت شرایط رژیم جریانی بالا است (شکل ۱۰- b).

۴-۲-۳- رخساره‌های گلی

رخساره‌های گلی در رودخانه‌های مئاندری و اغلب در محل خروجی رودخانه و در محل اتصال به دشت سیلابی، تشکیل می‌شوند (Martin et al., 2015).

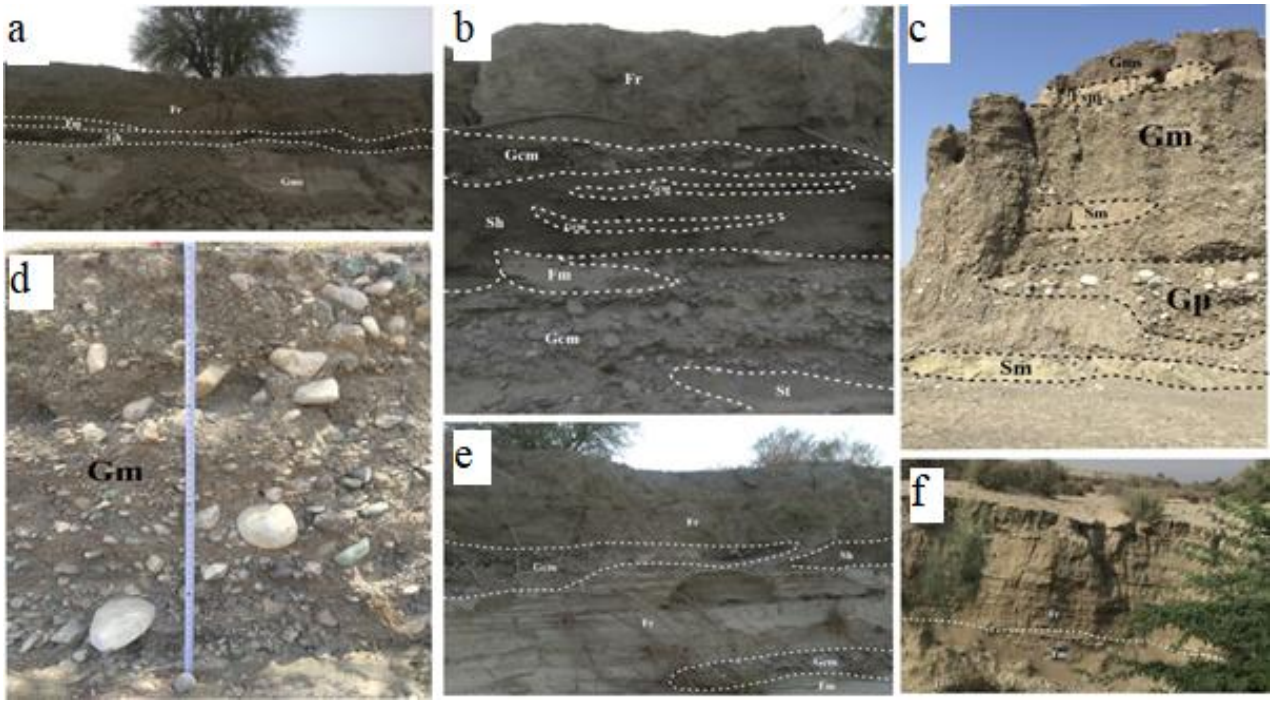
رخساره Fm: (سیلت و گل توده ای)

طبقات گلی که به حالت توده‌ای دیده می‌شوند و ساختار رسوبی اولیه رسوبات این رخساره در کانال‌های قدیمی و از جریان‌های کم انرژی ته‌نشین شده‌اند. ضخامت این طبقات به طور معمول از ۱۰ تا ۵۰ سانتی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۱۰- e, f, e). در مواردی که این رخساره با ضخامت کم دیده شود، نشان می‌دهد که این رسوبات مربوط به رسوب‌گذاری بار معلق در دشت سیلابی و یا مربوط به پوشش گلی بین سدهای ماسه‌ای و

گراولی داخل رودخانه می‌باشد (Miall, 2013). این رخساره نشانه ته‌نشست سریع ذرات سیلت و رس در شرایط اکسیداسیون در زمان رسوب‌گذاری و یا پس از آن را نشان می‌دهد (Zhang et al., 2023). رسوبات گلی و توده‌ای نسبتاً ضخیم نشان دهنده‌ی نهشته شدن این رسوبات توسط سیلاب‌های صفحه‌ای در طی سیلاب اصلی می‌باشد (شکل ۱۰- c).

رخساره Fr: (سیلت و گل توده‌ای دارای ریشه گیاه)

رخساره گلی که در دشت‌های سیلابی حاوی پوشش گیاهی، رایج بوده و نشان دهنده توسعه‌ی خاک در آب و هوای مرطوب می‌باشد (Miall, 2006). به دلیل از بین رفتن ساختارهای رسوبی اولیه توسط آشفتگی‌های زیستی ایجاد شده توسط گیاهان، طبقات به حالت توده‌ای دیده می‌شوند (شکل ۱۰- a, b, e, f). این رخساره در خارج از کانال رسوبی تشکیل می‌گردد (شکل ۱۰- f).



شکل ۱۰- رخساره‌های رسوبی موجود در رودخانه‌ی سرنی

Figure 10. Sedimentary facies identified in the Sarney River.

۴-۳- عناصر ساختاری

قسمت‌های اصلی محیط‌های رودخانه‌ای شامل کانال‌ها و سدهای رسوبی می‌باشند که از آن‌ها به‌عنوان عناصر ساختاری رودخانه یاد می‌شود (Ford and Pyles, 2014). عناصر ساختاری بر اساس محیط رسوبی طبقه‌بندی شده Catuneanu(۲۰۰۶) و شامل اشکال فرسایش و رسوب‌گذاری هستند که موجب تفکیک عناصر ساختاری می‌شوند (Leli et al., 2021)

عنصر ساختاری FF

این عنصر شامل رخساره‌های دانه ریز Fm و Fr و رخساره ماسه ریزدانه Sh است. رسوبات این عنصر بیشتر به صورت توده‌ای دیده می‌شوند و در سطح آن‌ها پوشش گیاهی قابل مشاهده است. عنصر FF از رسوب‌گذاری ذرات دانه‌ریز به فرم معلق و در خارج از کانال (دشت سیلابی) و یا فرم رسوبات پوششی بر روی سدهای گراولی شکل گرفته‌اند (Mortazavi et al., 2018). این رسوبات در محیط آرام و در نتیجه کاهش انرژی ته نشین شده اند (Miall, 2006).

عنصر ساختاری CH

رسوباتی که در کانال رودخانه‌ها نهشته می‌شوند عمدتاً گراول و ماسه هستند و از نظر هندسی عدسی شکل می‌باشند (Miall, 2006). رخساره‌های رسوبی Sh, Gcm, Sh و Sm در این ساختار شکل گرفته‌اند (Miall, 2013). شکل هندسی این

ساختار براساس عمق، پیچش و نسبت عرض به عمق تغییر می‌کند (Li et al., 2021).

عنصر ساختاری SB

اشکال لایه‌ای که غالباً دارای رسوبات ماسه‌ای هستند و شامل رخساره‌های Sh و Sm بوده و در رژیم‌های جریانی متوسط تشکیل شده‌اند. این اشکال به صورت رسوبات پرکننده کانال یا پوششی بر روی سدهای درون کانال مشاهده می‌شوند و طیف وسیعی از شرایط جریانی را نشان می‌دهند (Miall, 2013).

عنصر ساختاری GB

این عنصر شامل سدهای گراولی و اشکال لایه‌ای گراولی بوده و رخساره‌های Gh, Gms, Gcm و Sm را شامل و به صورت رسوبات باقیمانده کف کانال و در نتیجه مهاجرت سدهای گراولی در بالادست رودخانه تشکیل شده است. این رسوبات نمایانگر رودخانه‌ای با پیچش کم و شکل بستر بریده بریده و بار بستر گراولی است (Deynouxa et al., 2005).

عنصر ساختاری SG

جریان گرانشی رسوبی به ویژه در مخروط‌افکنه‌ها اهمیت محلی دارند (Mousavi Harami, 2014). این عنصر شامل ذرات گراول فراوان به شکل ورقه‌ای و ضخیم می‌باشد که توسط جریان‌های خرده‌دار و در مخروط‌افکنه‌های نزدیک به منشأ ته‌نشین شده‌اند و رخساره‌های Gms و Gcm را شامل می‌شود.

جدول ۳- عناصر ساختاری شناسایی شده در رودخانه‌ی سرنی

Table 3. Architectural elements identified in the Sarney River.

عنصر ساختاری	نماد	مجموعه رخساره‌های رسوبی	تفسیر	محیط رسوبی
کانال	CH	Gcm, Gh, Sh	رسوبات پرکننده کانال بصورت لنز یا ورقه‌ای	نزدیک به منشأ، رودخانه بریده بریده با بستر ماسه‌ای
جریان های گراویته‌ای	SG	Gcm, Gms	جریان خرده‌دار و نزدیک به منشأ	نزدیک به منشأ، محیط مخروط افکنه و جریان خرده‌دار
سدهای گراولی با بستر لایه‌ای	GB	Sh	سدهای گراولی عدسی شکل در کف کانال	نزدیک به منشأ تا منطقه میانی، رودخانه بریده بریده با بستر ماسه‌ای تا گراولی
شکل بستر ماسه‌ای	SB	Sh, Sm	عدسی شکل و یا لایه‌ای	کانال پر شده، محیط رودخانه مئاندری با بار ماسه ای تا گراولی
خارج از کانال	FF	Fm, Fr, Sm	رسوبات ریز توده‌ای و ورقه-ای شکل خارج از کانال بصورت بین لایه‌ای	منطقه پائین دست رودخانه، محیط رودخانه مئاندری با بار معلق و محیط دشت سیلابی

۴-۴- مدل رسوبی

بطور کلی رسوبات دانه درشت گراولی، ماسه‌ای و دانه ریز، جورشدگی بد تا خیلی بد، فقدان فسیل، رنگ روشن رسوبات، حضور آثار گیاهی نشان دهنده‌ی این است که رسوبات کواترنری منطقه مورد مطالعه در محیط رودخانه‌ای و زیر محیط‌های کانال، خارج کانال و دشت سیلابی نهشته شده‌اند. هر کدام از رخساره‌ها براساس ویژگی‌هایی که دارند در شرایط رسوبی خاصی نهشته شده‌اند و رسوبات دانه‌ریز در رژیم جریانی پایین رسوب می‌کنند (Tewari et al., 2011). رخساره‌های دانه‌ریز احتمالاً در مواقع سیلاب و در دشت سیلابی با مقیاس کوچک و بصورت افقی یا مورب ته‌نشین شده‌اند همچنین نبود رسوبات درشت دانه گراولی نشان می‌دهد که این رسوبات اغلب در محیط رودخانه‌های مئاندری با شیب کم و جریان آرام برجای گذاشته می‌شوند. رخساره Sm در نتیجه ته‌نشینی سریع ذرات ماسه‌ای معلق ریزشی از دیواره کانال و در مرحله عقب نشینی سیلاب که منجر به از بین رفتن چینه‌بندی شده، شکل گرفته

است یا توسط جریان‌های توده‌ای یا جریان‌های خرده‌دار و یا جریان‌های ثقلی ایجاد شده‌اند. بر این اساس ۴ مدل رودخانه‌ای از مدل‌های ارائه شده Miall (۲۰۰۶) را می‌توان برای رودخانه‌ی سرنی در نظر گرفت:

رودخانه بریده بریده گراولی با رسوبات جریان ثقلی

این رسوبات بیشتر تحت تاثیر جرایان گراویته‌ای برجای گذاشته می‌شوند. عنصر سختاری اصلی این رودخانه‌ها، SG است که معرف انرژی بالای جریان بوده و معمولاً در بالادست رودخانه‌ها مشاهده می‌شوند.

رودخانه بریده بریده کم عمق با بستر گراولی

این حالت در قسمت بالادست رودخانه، تا قبل از سد سرنی قابل مشاهده است. عمق کمتر از یک متر و پیچش بسیار کم کانال و رسوبات درشت دانه و در برخی قسمت‌ها مقدار کمی ریزدانه بر جای گذاشته شده است و دلیل آن را می‌توان کاهش شدت انرژی در فصول کم باران و در نتیجه پائین رفتن سطح آب رودخانه نسبت داد (Miall, 2006). از رخساره‌های شاخص این بخش از کانال می‌توان به Gcm, Sh و Fm اشاره نمود.

رودخانه مئآندری با بار ماسه ای

رسوبات این قسمت از رودخانه اغلب در اندازه ماسه، حاوی مقدار اندکی گراول و جز رودخانه‌های کم انرژی محسوب می‌شوند (Miall, 2013) همچنین رخساره Sm و Sp و عنصر ساختاری SB در این قسمت رودخانه تشکیل شده‌اند.

رودخانه مئاندری با بار ریزدانه

بخش انتهایی رودخانه‌ی سرنی حالت مئآندری دارد، چرا که اغلب رسوبات در اندازه سیلت و ماسه ریزدانه می‌باشند. از رخساره‌های رسوبی تشکیل شده در این بخش می‌توان به Fr, Fm, Sh و Gcm نام برد.

جدول ۴- خلاصه‌ای از انواع مدل‌های رسوبی شناسایی شده در رودخانه‌ی سرنی بر اساس رده‌بندی (Miall, 2006)

Table 4. Summary of depositional models identified in the Sarney River based on the classification of Miall (2006).

عناصر ساختاری	مجموعه رخساره رسوبی	نوع رسوبات	قدرت حمل رسوبات	پیچش رودخانه	نوع رودخانه
GB, CH	Gh, Gcm, Sh	گراول با کمی ماسه	زیاد	کم	بریده بریده کم عمق با بار گراولی
SG	Gcm, Gms, Sh	گراول با مقدار کمی ماسه	زیاد	کم	بریده بریده گراولی با رسوبات جریان ثقلی
SB	Sh, Sm	ماسه با کمی ریزدانه	متوسط تا پائین	زیاد	مئآندری با بار ماسه ای
FF	Fm, Fr, Sh	ماسه ریز، گل، سیلت	پائین	زیاد	مئآندری با بار معلق

۵-نتیجه گیری

مطالعات رسوب‌شناسی رودخانه سرنی منجر به شناسایی ۴ انقطاع رسوب‌گذاری و ۵ تداوم رسوب‌گذاری شد، اما بطور کلی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد اندازه ذرات از بالادست به پایین دست کاهش می‌یابد. از تغییرات عمده این رودخانه می‌توان به تغییرات شیب، ظهور سنگ بستر، عرض کانال، فرسایش‌های آبی-بادی، دخالت های بشر و احداث سد بر روی رودخانه نام برد. انقطاع رسوب‌گذاری روند ریزشوندگی به سمت پائین دست به علت ورود شاخه‌های فرعی تغذیه کننده و همچنین فرسایش تراس‌های قدیمی‌تر است. براساس محاسبه معیارهای اندازه ذرات رسوبی، عمدتاً جورشدگی خوب متوسط تا بسیار بد، کج شدگی به شدت به سمت دانه ریز تا به شدت به سمت دانه درشت و دامنه کشیدگی پهن تا بسیار کشیده دیده می‌شود. در رودخانه‌ی سرنی ۱۰ رخساره رسوبی، گراول دانه پشتیبان (Gcm)، گراول با لایه‌بندی افقی (Gh)، گراول با چینه بندی چلیپایی (Gp)، گراول ماتریکس‌دار بدون لایه‌بندی (Gms)، گراول دانه پشتیبان بدون لایه‌بندی (Gm)، ماسه با لایه‌بندی افقی (Sh)، ماسه با چینه‌بندی چلیپایی (st)، ماسه با طبقه‌بندی توده‌ای، دانه درشت تا ریز فاقد لایه‌بندی (Sm)، گل و سیلت توده‌ای حاوی ریشه گیاهان (Fr)، سیلت و گل توده‌ای (Fm) و ۴ عنصر ساختاری مشاهده گردید. براساس مجموعه‌های رخساره‌ای و عناصر ساختاری، مدل رسوبی رودخانه‌ی سرنی در بریده-بریده کم عمق گراولی در بالادست، بریده- بریده گراولی با رسوبات ثقلی در قسمت میانی و رودخانه مآ در قسمت پائین دست است.

مراجع

Aghanabati, A., 2004. Geology of Iran: Geological and Mineral Discovery Organization of the country, 2nd edition, p. 172. (In Persian).

Catuneanu, O., 2006. Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam, First Edition. Elsevier, p. 375.

Deynoux, M., Çiner, A., Monod, O., Karabıyıkoglu, M., Manatschal, G., Tuzcu, S., (2005). Facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fan-delta complexes in the tectonically active Miocene Köprüçay Basin, Isparta Angle, Turkey. Sedimentary Geology 173(1-4), 315-343. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2003.12.013

Ferguson, R., 2007. 2 Gravel-bed rivers at the reach scale. Developments in Earth Surface Processes 11, 33-53. https://doi.org/10.1016/S0928-2025(07)11112-3

Folk, R.L., 1980. Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, p.184.

Ford, G.L., Pyles, D.R., 2014. A hierarchical approach for evaluating fluvial systems: Architectural analysis and sequential evolution of the high net-sand content, middle Wasatch Formation, Uinta Basin, Utah. American Association of Petroleum Geologists 98, 1273-1304. https://doi.org/10.1306/12171313052

Haddadchi, A., Omid, M., Dehghani, A., 2012. Assessment of bed-load predictors based on sampling in a gravel bed river. Journal of Hydrodynamics, Ser. B 24(1), 145-151. https://doi.org/10.1016/S1001-6058(11)60229-1

Khalifa M., Catuneanu Q., 2008. Sedimentary of the Bahariya Formation (Early Cenomanian), Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. Journal of African Earth Sciences 51(2), 89-103. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2007.12.004

Leli, I.T., Stevaux, J.C., Assine, M.L., 2021. Architecture, sedimentary facies and chronology of a composite island: A model from the Upper Paraná River, Brazil. Geomorphology 372, 107457. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107457

Lewis, D.W., McConchie, D., 1994. Analytical Sedimentology: Champion & Hall, London, p. 197.

Li, P., Chen, Sh., Xu, C., Du, J., Wu, D., 2021. Sedimentary characteristics and spatial differentiations of the sedimentary facies in the Yellow River sub-delta lobes during the different historical period. Regional Studies in Marine Science 47, 101997. https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.101997

Martín-Vide, J.P., Plana-Casado, A., Sambola, A., Capape, S., 2015. Bedload transport in a river confluence. Geomorphology 250, 15-28. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.07.050

McCall, G.G.H., Morgan, K.H., Huber, H., 1983. Geological Quadrangle Map of Minab, 1:250,000 Series, Sheet J 13, Geological Survey of Iran, Tehran.

Miall A.D., 2013. Fluvial depositional systems. Spriger, Switzerland, 316p.

Miall, A.D., 1996. The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology. Springer, Berlin, p. 582.

Miall, A.D., 2000. Principle of Sedimentary Basin Analysis. Springer-Verlag, p. 668.

Miall, A.D., 2006. The Geology of Fluvial Deposits-Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum.

Mortazavi Mehrizi, M., Fayazi Borojni, M., Khaneh Bad, M., 2018. geochemical study of sediments of the Molid River, southeast of Qain, in order to determine the rate of weathering, the level of contamination of sediments, and environmental risk assessment of metallic elements, Journal of Applied Sedimentology 7 (14), 121-109.

Mousavi Harami, R., 2014. Sedimentology, 13th edition: Astan Quds Razavi Publishing House, Mashhad, p. 181 (In Persian).

Nicols, G., 2009. Sedimentology and Stratigraphy, Blackwell Science Ltd, p. 355.

Nohegar, A., 2013. Geomorphic evolutions of river network components in the formation and evolution of deltas, a case study: deltas north of the Strait of Hormuz (Shor, Jalabi and Hassan Langhi). Geographical Research Quarterly 27(3), 110-135. (In Persian)

Noura, M.R., 2023. Study of texture, architectural elements, and sedimentary model of Mianroud mountain river, Mirjaveh, Southeast of Iran. Applied Sedimentology 11(21), 129-143. (In Persian). https://doi.org/10.22084/psj.2022.25739.1336

Okeyode, I., Jibiri, N., 2012. Grain Size Analysis of the Sediments from Ogun River, South Western Nigeria. Earth Science Research 2(1), 43-51. https://doi.org/10.5539/esr.v2n1p43

Poursoltani, M., Moeini Saleh, M., 2013. Sedimentological study of Motr-Abad and Solh-Abad rivers, No-Bahar watershed, Central Iran. Sedimentary Facies 5(2), 169-184. (In Persian) https://doi.org/10.22067/sed.facies.v5i2.12766

Remo, J.W.F., Heine, R.A., Ickes, B.S., 2016. Particle size distribution of main channel-bed sediments along the upper Mississippi River, USA. Geomorphology 264, 118-131. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.04.012

Rice, S.P., Church, M., 2010. Grain-size Sorting within River Basin Relation to Downstream Fining along a Wandering Channel. Sedimentology 57(1), 232-251. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2009.01108.x

Sadr, S.A., Rahnemarad, J., Ansarifar, M., Barkhordari, M., 2014. Investigation of water leakage from the foundation of the Sarnī earth dam, southeast Iran. In Proceedings of the National Conference on Geology and Exploration of Natural Resources (in Persian).

Shariat Rad, S. 2013. Sedimentology and Geomorphology of the Northern part of Mokhtaran Plain, South of Khorasan. Master's Thesis, Birjand University, 174 p. (In Persian).

Snelder, T.H., Lamouroux, N., Pella, H., 2011. Empirical modeling of large-scale patterns in river bed surface grain size. Geomorphology 127(3-4), 189-197. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.015

Tewari, P., Rajkonwar, C., Lalchawimawii, L.P., Malsawma, J., Ralte, V.Z., Patel, S.J., 2011. Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram, India, and their palaeoenvironmental significance. Journal of Earth System Science 120, 1127-1143. https://doi.org/10.1007/s12040-011-0131-0

Xu, H., Chen, J., Cui, Zh., Chen, R., 2020. Sedimentary facies and depositional processes of the Diexi Ancient Dammed Lake, Upper Minjiang River, China. Sedimentary Geology 398, 105583. https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2019.105583

Yamani, M., Elmizadeh, H., Maqsoodi, M., Moghimi, A., Nohegar, A., 2018. Investigation of changes in river meandering and riverbed instability in the northern plain of the Strait of Hormuz, Humanities Quarterly. Spatial planning and geomatics 14(4), 215-232. (In Persian)

Zhang, L., Hou, M., Chen, A., Zhong, H., Ogg, J.G., Zheng, D., 2023. Construction of a fluvial facies knowledge graph and its application in sedimentary facies identification. Geoscience Frontiers 14, 2. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2022.101521