

مطالعه شاخص‌های رسوب‌شناسی آبرفت‌های رودخانه خرم‌رود (شهرستان خرم‌آباد) و ارزیابی مناسب بودن آن‌ها برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن

امین جمشیدی^{۱*}، مصطفی صداقت‌نیا^۲ و سعید علیقلی^۴

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- دانشجوی دکترا رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

۳- کارشناس آزمایشگاه مرکزی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۴- گروه زمین‌شناسی مهندسی، مؤسسه فناوری، علم و پایایی، دانشگاه فدراسیون، بالارات ۳۳۵۰، وی آی سی، استرالیا

نویسنده مسئول: Jamshidi.am@lu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۳/۶/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

نوع مقاله: پژوهشی

چکیده

هدف از پژوهش حاضر، بررسی شاخص‌های رسوب‌شناسی رسوبات رودخانه خرم‌رود (شهرستان خرم‌آباد، استان لرستان) به روش لحظه‌ای، تعیین منشأ رسوبات و شناخت عامل حمل آن‌ها و در نهایت ارزیابی پتانسیل رسوبات رودخانه مذکور برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن می‌باشد. در این راستا تعداد ۱۵ نمونه به صورت نظام‌مند از رسوبات کف و دیواره کانال رودخانه برداشت گردید. بر اساس آنالیز دانه‌بندی، رسوبات در چهار گروه ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای گلی و ماسه گلی گراولی قرار دارند. میانگین جورشدگی رسوبات ۲/۲۱ فی می‌باشد که بیانگر جورشدگی بسیار بد رسوبات است. میانگین شاخص کشیدگی ذرات ۱/۸۲ و میانگین کج‌شدگی آن‌ها ۰/۱۳ بوده که گویای کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه‌ریز است. حرکات کششی، جهشی و معلق به عنوان مهم‌ترین مکانیسم‌های حرکت رسوبات شناخته شدند. اجزاء آواری رسوبات شامل کوارتز، فلدسپات و خرده سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی می‌باشند. فرسایش سنگ‌های رسوبی تاقدیس خرم‌آباد را می‌توان به عنوان منشأ اصلی خرده‌سنگ‌های رسوبی رودخانه در نظر گرفت. منشأ سایر ذرات نظیر کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی را می‌توان به حمل و انتقال آن‌ها از منشأ بالادستی رودخانه نسبت داد. رودخانه خرم‌رود از نوع مآندری با پیچش کم می‌باشد که در بازه‌های زمانی مورد هجوم سیلاب‌های قوی و مخرب قرار گرفته به طوری که جورشدگی بسیار بد رسوبات در ارتباط با این سیلاب‌ها می‌باشد. در پایان نتایج دانه‌بندی نشان داد از ۱۵ نمونه رسوب مورد مطالعه، ۲ نمونه از آن‌ها قابلیت استفاده به عنوان سنگدانه بتن را دارند.

واژگان کلیدی: رودخانه خرم‌رود، آبرفت، رسوب‌شناسی، روش لحظه‌ای، سنگدانه بتن

۱- پیشگفتار

منشأ اولیه خود دارای فاصله زمانی هستند به طوری که چرخه حمل آن‌ها متنوع بوده و حتی ممکن است فازهای رسوب‌گذاری آن‌ها متعدد باشد (اسملی و اسملی، ۱۹۸۳). در چند دهه گذشته اهمیت مطالعات محیط‌های رودخانه‌ای برای درک بهتر انرژی زیرسطحی به خوبی اثبات شده است (کوربت و همکاران، ۲۰۱۹). بسیاری از ذخایر هیدروکربنی جهان از پرکامبرین تا پلیوسن در رسوبات رودخانه‌ای مشاهده شده‌اند (مپال، ۲۰۰۶؛ کوربت و همکاران، ۲۰۱۹). علاوه بر جنبه‌های اقتصادی، این محیط‌ها از نظر رسوب‌شناسی نظیر ارتباط فرآیندها و اشکال بستری (Bedforms) (بست و فیلدینگ، ۲۰۱۹)،

محیط‌های رودخانه‌ای شامل سیستم‌های پیچیده‌ای از فرسایش، حمل و نقل و رسوب‌گذاری هستند که سبب شکل‌گیری اشکال سطحی متنوعی می‌شوند (مپال، ۲۰۰۰). این محیط‌ها سیستم‌های دینامیکی متأثر از شرایط اقلیمی، فیزیوگرافی حوضه آبریز، رخدادهای زمین‌ساختی، زمین‌شناسی، سرعت و عمق جریان و حمل و نقل رسوب هستند که همه در شکل‌گیری رخساره‌های رسوبی نقش دارند (دمولین، ۲۰۱۱؛ پترسون و همکاران، ۲۰۱۱). دانه‌های ماسه‌ای از نظر زایشی و اندازه در ارتباط تنگاتنگی با منشأشان هستند (تاکر، ۲۰۰۱). این دانه‌ها با

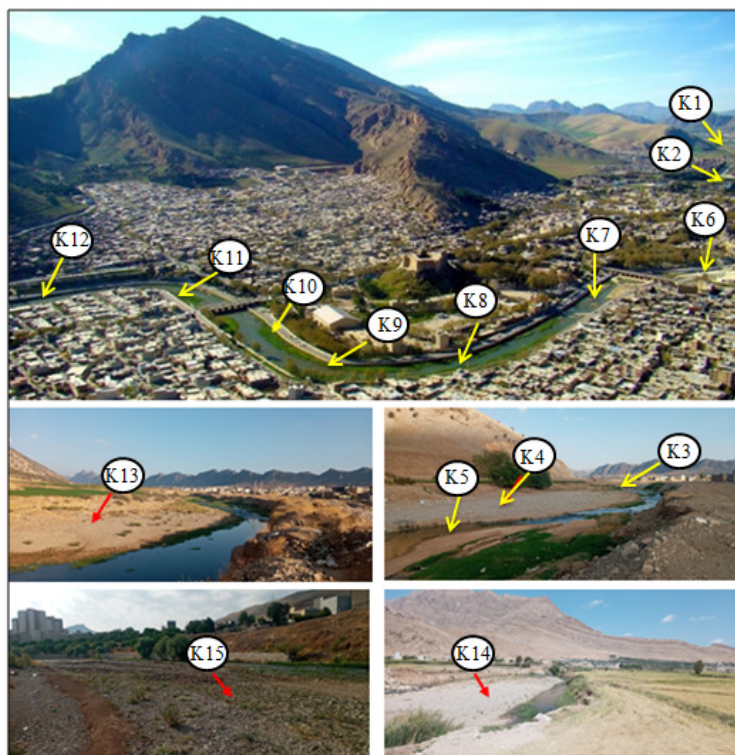
تجزیه و تحلیل ریخت‌شناسی (اون و همکاران، ۲۰۱۵)، مدیریت و تکامل رودخانه‌ها در پاسخ به عملکرد انسانی و اقلیمی (آدلوی و ساندهرجان، ۲۰۱۹) مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. رسوبات عمدتاً محصول فرسایش مواد تشکیل دهنده پوسته سنگی زمین هستند که در اثر عواملی مانند نیروهای هیدرودینامیکی از محل تولید دور شده و در محل دیگری تجمع می‌یابند. در طی ته‌نشینی ذرات رسوبی، نظم و ترتیبی در آن‌ها به شکل یک ساختار مشخص حاصل می‌شود. به هر میزان نیروهای مؤثر در ته‌نشینی ذرات رسوبی متفاوت و متغیر باشند، این ساختمان نیز پیچیده و با تغییرات همراه خواهد بود. رسوبات رودخانه‌ای بسته به نوع سازندهای زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و فرآیندهای فرسایشی حکم‌فرما بر حوضه آبریز و از سوی دیگر وضعیت توپوگرافی، از تنوع زیادی برخوردار هستند. فاصله کم حوضه آبریز تا رودخانه، بر روند حمل رسوبات درشت‌دانه تأثیر داشته و موجب فراوانی گراول (گرانول، پبل، کابل و بولدر) در یک گستره خاص می‌شود. معمولاً در مواردی که فاصله مذکور زیاد باشد، رسوبات ریزدانه همچون ماسه، سیلت و رس وجود دارند. علاوه بر این، بخشی از رسوبات نیز به شکل محلول در آب توسط رودخانه حمل می‌شوند.

اندازه ذرات رسوب نشانگری از شرایط بیرونی و ذاتی محیط در پاسخ به تغییرات ژئومورفیکی و اقلیمی است که این به نوبه خود منعکس کننده تعادل مورفودینامیکی محیط رسوبی است (گوپتا و همکاران، ۲۰۰۲؛ آرنز و همکاران، ۲۰۰۲؛ واتسون و همکاران، ۲۰۱۳؛ زیلنسکی و همکاران، ۲۰۱۸)، بنابراین دانه‌بندی ذرات رسوب، ابزاری مناسب برای درک بهتر و دقیق‌تر فرآیندهای مورفودینامیکی و ژئومورفیکی محسوب می‌شود (سوهاق و همکاران، ۲۰۲۴). جنس سنگ‌ها، فعالیت‌های زمین‌ساختی، ساختارهای زمین‌شناسی و شرایط اقلیمی از جمله عواملی هستند که در تشکیل محیط رسوبی رودخانه‌ای و بار رسوبی حاصل از آن تأثیر می‌گذارند (دی‌گویلیو و همکاران، ۲۰۰۳؛ گارنیری و پیروتا، ۲۰۰۸؛ ساها و باساک، ۲۰۲۰). شاخص‌های آماری رسوبات به گونه مستقیم، بیانگر شرایط هیدرولیکی و هیدرولوژیکی حاکم بر آن‌ها می‌باشد (بلات و پی، ۲۰۰۸). نظر به متفاوت بودن جنس، اندازه و شکل ذرات رسوب در محیط‌های رسوبی مختلف، مطالعات دانه

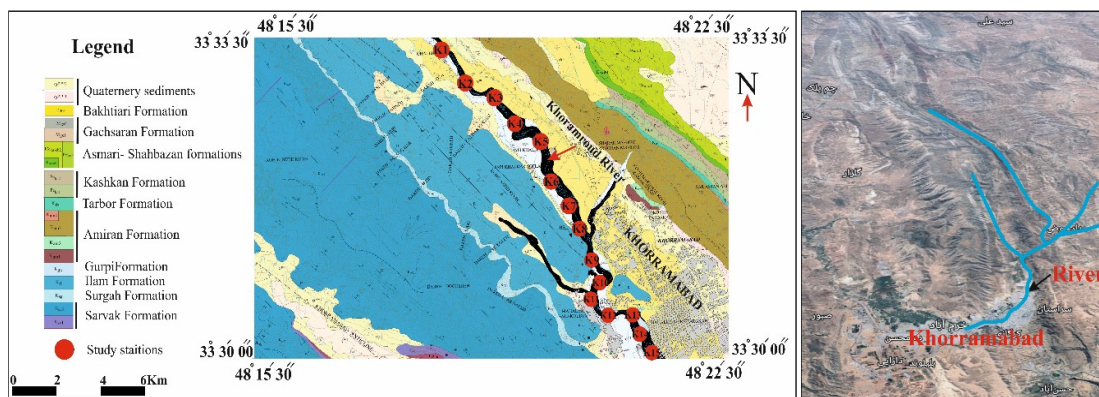
سنجی و تحلیل نمونه‌های رسوبی و مطالعه آن‌ها در بستر رودخانه‌ها می‌تواند اطلاعات با ارزشی در ارتباط با رخدادهای اقلیمی، زمین‌ساختی دوره کواترنر و تعیین منشأ رسوبات رودخانه فراهم کند (وندربرق، ۲۰۰۳؛ ماوو و همکاران، ۲۰۰۹؛ آمارجوف و همکاران، ۲۰۱۵؛ سوهاق و همکاران، ۲۰۲۴). رودخانه خرم‌رود (شهرستان خرم‌آباد، استان لرستان) یکی از زیرشاخه‌های رودخانه کشکان است که در نهایت به رودخانه کرخه می‌ریزد. با توجه به اینکه بخشی از این رودخانه از مرکز شهرستان خرم‌آباد عبور می‌کند، تاکنون پژوهشی در ارتباط با شاخص‌های رسوب‌شناسی، منشأ رسوبات و چگونگی حمل آن‌ها در این بخش از رودخانه انجام نشده است. از اینرو، مطالعه حاضر سعی در بررسی شاخص‌های رسوب‌شناسی آبرفت‌های رودخانه خرم‌رود (در بخش‌های عبوری از مرکز شهرستان خرم‌آباد)، تعیین منشأ رسوبات و شناخت ساز و کار حمل آن‌ها دارد. همچنین در بخش دیگری از مطالعه حاضر، به ارزیابی مناسب بودن رسوبات رودخانه خرم‌رود برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن پرداخته شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه شامل بخشی از رودخانه خرم‌رود خرم‌آباد به طول ۱۸ کیلومتر می‌باشد که از مرکز شهرستان خرم‌آباد عبور می‌کند. شکل ۱، موقعیت رودخانه خرم‌رود و گسترش رسوبات کف کانال رودخانه را نشان می‌دهد. این رودخانه از زیرشاخه‌های مهم رودخانه کشکان است که در نهایت به رودخانه کرخه متصل می‌شود. بر اساس نقشه زمین‌شناسی منطقه که بخشی از نقشه ۱/۲۵۰۰۰ شهرستان خرم‌آباد است، واحدهای سنگ‌چینه‌ای دوران میان‌زیستی و نوزیستی رخنمون دارند. واحدهای دوران میان‌زیستی شامل سازندهای سروک (کربناته-مارنی)، ایلام (کربناته-مارنی)، گورپی (شیلی-مارنی) و امیران (تخریبی) و واحدهای دوران نوزیستی شامل سازندهای تاربور (کربناته)، کشکان (تخریبی)، آسماری-شهبازان (کربناته-دولومیتی)، گچساران (تبخیری-کربناته) و همچنین رسوبات آبرفتی جوان می‌باشند که این واحدهای سنگ‌چینه‌ای در حوزه آبریز و همچنین در مسیر رودخانه خرم‌رود قرار گرفته‌اند (شکل ۲). گسترش سازندهای ناحیه مورد مطالعه در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.



شکل ۱. موقعیت رودخانه خرم‌رود نسبت به شهرستان خرم‌آباد و گسترش رسوبات کف کانال رودخانه (دید به سمت غرب)
Fig. 1. The location of Khorramrood River in Khorramabad city and the spread of river channel bottom sediments (View to the west)



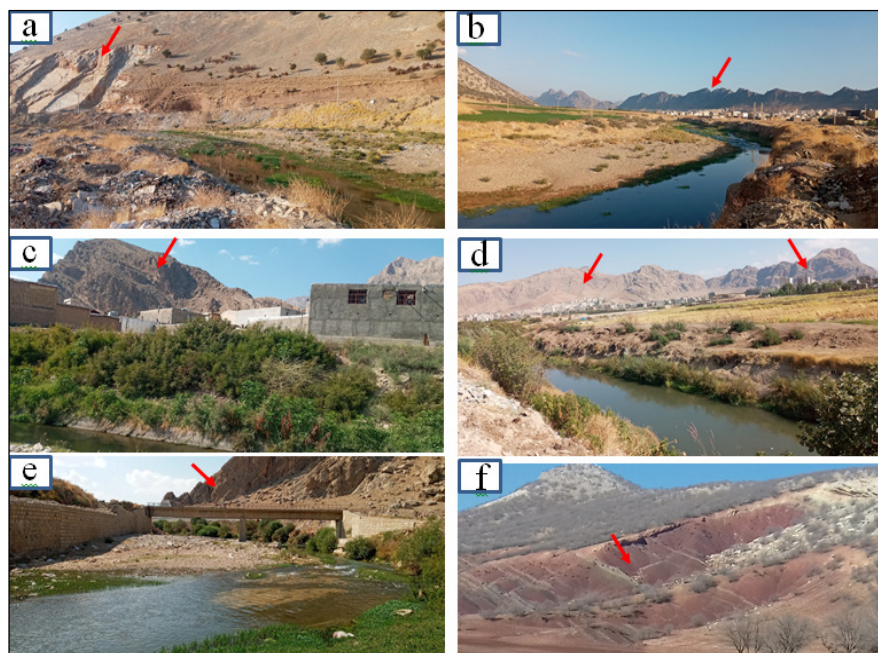
شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۲۰۱۱) به همراه تصویر ماهواره‌ای گسترش حوزه آبریز رودخانه خرم‌رود. مکان‌های نمونه‌برداری روی شکل با دایره قرمز رنگ و با کدهای K1 تا K15 نشان داده شده‌اند.

Fig. 2. Geological map of the study area (Geological organization of the country, 2011) along with satellite images of the expansion of the Khorramrood river basin. The locations of the sampling points are shown with red circles and codes K1 to K15.

۳- روش مطالعه

آبی (فصل تابستان) انجام شد. تعداد ۱۵ نمونه با فواصل بین ۵۰۰ متر تا ۱ الی ۱/۵ کیلومتری به صورت نقطه‌ای از کف کانال رودخانه در ژرفای ۵ الی ۲۰ سانتی‌متری انجام گرفت. همچنین نمونه‌برداری در برخی از ایستگاه‌ها از دیواره کانال رودخانه صورت گرفته است (شکل ۴).

برای رسیدن به اهداف پژوهش حاضر، ابتدا نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ و نقشه توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ شهرستان خرم‌آباد مورد بررسی قرار گرفت. سپس یک مسافت ۲۳ کیلومتری از مسیر رودخانه خرم‌رود مورد نمونه‌برداری قرار گرفت. نمونه‌برداری در فصل خشک و کم



شکل ۳. نمایی از سازندهای منطقه مورد مطالعه (تاق‌دیس خرم‌آباد): (a) ایلام (دید به سمت جنوب باختری)، (b) امیران (دید به سمت شمال)، (c) سورگاه (دید به سمت جنوب باختری)، (d) گرو و سروک (دید به سمت جنوب باختری)، (e) آسماری (دید به سمت جنوب خاوری) و (f) کشکان (دید به سمت شمال)

Fig. 3. A view of the formations of the study area (Khorramabad anticline) a) Ilam (view to the southwest) b) Amiran (View to the north) c) Surgah (view to the southwest) d) Garoo and Sarvak (view to the southwest) e) Asmari (View to the southeast) f) Kashkan (View to the north)



شکل ۴. عملیات نمونه‌برداری و بخشی از رسوبات جمع‌آوری شده از کف کانال رودخانه برای آنالیز دانه‌بندی

Fig.4. Sampling and part of the sediments taken from the bottom channel of the river for gradation analysis

اضافی و شاخ و برگ و مواد زائد نمونه‌ها جدا شدند و پس از کوارتر کردن (چهار بخش کردن)، یک چهارم نمونه در گرمخانه با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت تا رطوبت آن از بین برود. نمونه‌های خشک شده با دقت ۰/۰۱ گرم با ترازوی دیجیتال وزن شدند. مطالعات دانه‌سنجی با استفاده از روش غربال خشک و با فواصل

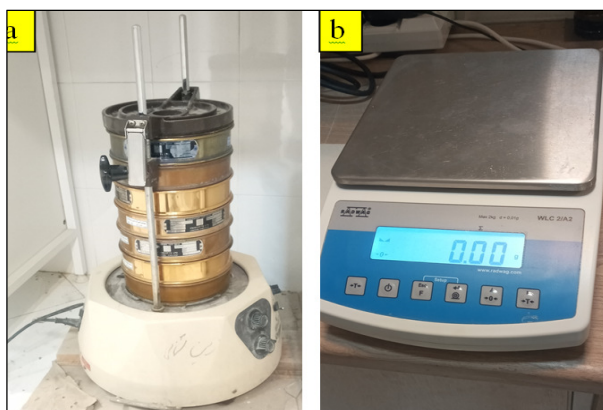
در برخی از ایستگاه‌های نمونه‌برداری نظیر K15، K12، K11، K6، K4، K3 که نسبت به سایر ایستگاه‌ها حاوی مقادیر بیشتری گراول بودند، جهت دقت در مطالعات گردشگری، کرویت و فرم رسوبات در هر کدام از ایستگاه‌ها دو نمونه برداشت شده است. نمونه‌ها در کیسه‌های پارچه‌ای نگهداری و به آزمایشگاه انتقال داده شدند. مواد

عکس‌برداری مدل Olympus-DP71 در آزمایشگاه صورت گرفت. در نهایت، جهت ترسیم منحنی‌های دانه‌بندی از نرم‌افزار اکسل 2016 Excel استفاده شد.

۴- نتایج

نتایج آنالیز دانه‌بندی به صورت فراوانی وزنی ذرات، فراوانی تجمعی ذرات، فراوانی نوع هر ذره رسوبی و طبقه‌بندی نمونه‌ها به ترتیب در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده‌اند.

کوچک‌تر از ۱۰ مش تا بزرگ‌تر از ۲۳۰ مش (کارور، ۱۹۷۱) انجام شد. الک‌های به کار برده شده برای آنالیز دانه‌بندی شامل الک‌های ۱۰، ۱۸، ۳۵، ۶۰، ۱۲۰ و ۲۳۰ مش می‌باشند. دانه‌بندی توسط دستگاه لرزاننده در آزمایشگاه رسوب‌شناسی صورت گرفت (شکل ۵). جهت مطالعات کانی‌شناسی بر روی ذرات ماسه‌ای تعداد ۱۵ نمونه رسوب انتخاب شده و از آن‌ها مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شد. مطالعه مقاطع نازک رسوبی توسط میکروسکوپ پلاریزان Olympus-BX51 مجهز به دوربین



شکل ۵. ابزار استفاده شده برای دانه‌بندی نمونه‌ها؛ (a) دستگاه لرزاننده و (b) ترازوی دیجیتال
Fig. 5. Devices used for the samples gradation, a) vibrating device, b) digital balance

جدول ۱. نتایج آنالیز دانه‌بندی رسوبات: فراوانی وزنی ذرات

Table 1. The results of the gradation analysis of sediments: weight frequency of grains

(230 <) Pan	230	120	60	35	18	10	10 <	Sieve number (mesh)	
4 >	4	3	2	1	0	-1	-1 >	Sieve number (phi)	
0.063 >	0.063	0.125	0.25	0.50	1	2	2 >	Diameter of sieve (mm)	
Frequency of grains for each class (%)								Initial mass (gr)	Sample No.
5.21	12.43	9.46	16.99	17.28	12.63	8.97	16.83	1251.32	K1 (Channel wall)
6.92	14.23	10.11	15.71	10.03	15.10	12.05	15.70	1246.87	K2 (Channel wall)
5.47	15.37	10.43	15.00	12.35	9.97	16.04	15.19	1237.52	K3 (Channel wall)
5.14	10.28	11.97	11.09	14.07	11.85	10.37	24.76	1085.90	K4 (Channel bottom)
8.02	9.21	15.56	14.36	21.90	12.96	11.64	18.81	1223.65	K5 (Channel bottom)
4.38	12.99	12.74	14.39	9.92	13.58	14.61	17.25	1220.84	K6 (Channel wall)
5.59	12.14	10.38	12.24	14.77	15.66	12.19	16.84	1190.25	K7 (Channel wall)
7.29	14.06	12.54	15.71	12.28	8.94	12.22	16.81	1250.29	K8 (Channel bottom)
4.72	13.64	13.57	9.58	15.94	12.99	11.35	17.92	1176.81	K9 (Channel bottom)
9.27	10.51	11.87	13.55	12.60	11.50	11.77	18.58	1068.36	K10 (Channel bottom)
5.71	11.33	11.13	18.13	12.40	15.09	11.09	19.87	1012.35	K11 (Channel bottom)
7.56	10.08	9.90	17.00	10.80	13.33	14.42	16.74	1169.21	K12 (Channel bottom)
8.06	10.77	10.70	11.72	10.23	18.06	10.09	20.04	1099.50	K13 (Channel bottom)
6.28	14.92	14.87	13.29	9.84	12.74	15.50	12.14	1198.98	K14 (Channel bottom)
5.26	13.47	12.34	9.57	14.11	14.30	10.04	20.72	1225.29	K15 (Channel bottom)

جدول ۲. نتایج آنالیز دانه‌بندی رسوبات: فراوانی تجمعی ذرات

Table 2. The results of the gradation analysis of sediments: cumulative frequency of grains

(230 <) Pan	230	120	60	35	18	10	10 <	Sieve number (mesh)	
4 >	4	3	2	1	0	-1	-1 >	Sieve number (phi)	
0.063 >	0.063	0.125	0.25	0.50	1	2	2 >	Diameter of sieve (mm)	
Cumulative frequency of grains for each class (%)								Initial mass (gr)	Sample No.
99.80	94.59	82.16	72.70	55.71	38.43	25.80	16.83	1251.32	K1
99.85	92.93	78.70	68.59	52.88	42.85	27.75	15.70	1246.87	K2
99.82	94.35	78.97	68.55	53.55	41.20	31.23	15.19	1237.52	K3
99.53	94.39	84.11	72.14	61.05	46.98	35.13	24.76	1085.90	K4
99.77	91.75	82.53	66.97	52.62	43.41	30.45	18.81	1223.65	K5
99.85	95.47	82.49	69.75	55.36	54.44	31.86	17.25	1220.84	K6
99.80	94.21	82.07	73.63	59.45	44.69	29.03	16.84	1190.25	K7
99.85	92.56	78.50	65.96	50.25	37.97	29.03	16.81	1250.29	K8
99.71	94.99	81.35	67.78	58.20	42.26	29.27	17.92	1176.81	K9
99.65	90.38	79.87	68.00	54.45	41.84	30.35	18.58	1068.36	K10
99.79	94.08	82.75	73.63	58.45	46.05	30.96	19.87	1012.35	K11
99.83	92.27	82.19	72.28	55.28	44.49	31.16	16.74	1169.21	K12
99.67	91.61	80.84	70.14	58.42	84.19	30.13	20.04	1099.50	K13
99.58	93.30	78.38	63.51	50.22	40.38	27.64	12.14	1198.98	K14
99.81	94.55	81.08	68.74	59.17	45.06	30.76	20.72	1225.29	K15

جدول ۳. نتایج آنالیز دانه‌بندی رسوبات: فراوانی نوع هر ذره رسوبی و طبقه‌بندی نمونه‌ها

Table 3. The results of the gradation analysis of sediments: frequency of grains and classification of the samples

Sample No.	M (%)	S (%)	G (%)	S/M	Sediment type
K1	5.21	68.81	25.81	13.20	gS
K2	6.92	65.19	27.76	9.40	gS
K3	5.47	63.14	31.23	11.52	sG
K4	5.14	59.27	35.14	11.51	sG
K5	8.02	61.32	30.46	7.64	gmS
K6	4.38	63.66	31.86	14.52	sG
K7	5.59	65.22	29.04	11.65	gS
K8	7.29	63.54	29.04	8.71	gmS
K9	4.72	65.73	29.27	13.91	gS
K10	9.27	60.05	30.36	6.47	msG
K11	5.71	63.15	30.97	11.04	sG
K12	7.56	61.13	31.17	8.07	msG
K13	8.06	61.51	30.13	7.63	msG
K14	6.28	65.68	27.65	10.45	gS
K15	5.26	63.81	30.76	12.12	sG

۵- بحث

۵-۱- طبقه‌بندی رسوبات

بر اساس نتایج آنالیز دانه‌بندی، رسوبات رودخانه خرم‌رود مطابق با طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴)، رسوبات مورد مطالعه رودخانه خرم‌رود در در چهار گروه ماسه گراولی (gS)، گراول ماسه‌ای (sG)، گراول ماسه‌ای گلی (msG) و ماسه گلی گراولی (gmS) قرار دارند. طبقه‌بندی رسوبات مورد مطالعه به صورت شماتیک در شکل ۶ نمایش داده شده‌اند.

۵-۲- شاخصه‌های رسوب‌شناسی

به‌طور کلی بافت در رسوبات آواری نشانگر انواع فرآیندهای تأثیرگذار از زمان هوازدگی و جدایش دانه‌ها از سنگ منشأ تا زمان ته‌نشست رسوب است که در صحرا و یا با استفاده از مطالعات میکروسکوپی قابل بررسی است. با استفاده از

شاخص‌های رسوب‌شناسی می‌توان بلوغ بافتی یک رسوب را ارزیابی کرد (گودی و میدلتون، ۲۰۰۶). علاوه بر روش ترسیمی برای محاسبه شاخص‌های رسوب‌شناسی، از روش لحظه‌ای نیز می‌توان استفاده کرد (مک‌براید، ۱۹۷۱). از آنجایی که برای محاسبه شاخصه‌های رسوب‌شناسی بر اساس روش لحظه‌ای از روابط ریاضی استفاده می‌شود، بنابراین دقت آن به مراتب بیشتر از روش ترسیمی می‌باشد. شاخص‌های رسوب‌شناسی شامل میانگین ($\bar{\alpha}$)، جورشدگی (σ)، کج‌شدگی (Sk) و کشیدگی (K) رسوبات به روش لحظه‌ای به ترتیب با استفاده از روابط زیر محاسبه شدند (مک‌براید، ۱۹۷۱):

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum f \cdot m}{n} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(m - \bar{\alpha})^2}{100}} \quad (2)$$

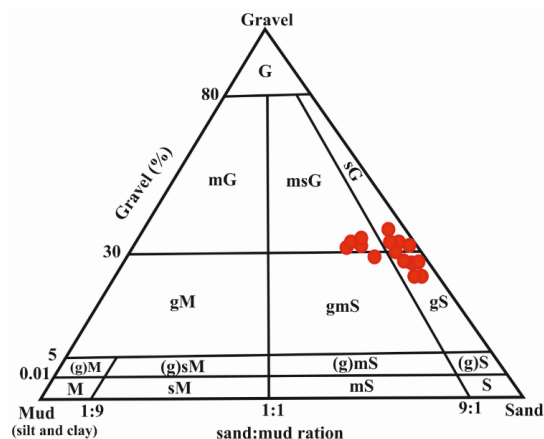
دارند، بنابراین در رده ماسه درشت قرار می‌گیرند. جورشدگی رسوبات بین ۲/۱۱ تا ۲/۲۹ فی (میانگین: ۲/۲۱ فی) است که بیانگر جورشدگی خیلی بد یا بد می‌باشد. کج‌شدگی رسوبات از ۰/۰۲ - تا ۰/۲۸ (میانگین: ۰/۱۳) تغییر می‌کند که دلالت بر کج‌شدگی به سمت ذرات دانه-ریز می‌باشد. کشیدگی رسوبات از ۱/۷۴ تا ۱/۹۹ (میانگین: ۱/۸۲) متغیر است که از نوع خیلی کشیده است. این نوع کشیدگی بیانگر جورشدگی خوب ذرات می‌باشد و در برخی از نمونه‌ها مانند نمونه‌های K1، K2 و K3 قابل مشاهده است.

$$Sk = \frac{\sum f(m - \bar{\alpha})^3}{100\sigma^3} \quad (3)$$

$$K = \frac{\sum f(m - \bar{\alpha})^4}{100\sigma^4} \quad (4)$$

که در آن‌ها، m نقطه‌ی وسط، f فراوانی هر رده رسوبی و n مجموع فراوانی رده‌های رسوبی است.

در جدول ۴ مقادیر شاخص‌های رسوب‌شناسی محاسبه شده بر اساس روابط ۱ تا ۴ ارائه شده‌اند. میانگین قطر ذرات رسوبی بین ۰/۲۹ تا ۰/۸۲ فی (میانگین: ۰/۵۷ فی) می‌باشد. با توجه به اینکه قطر ذرات بین صفر تا ۱ فی قرار



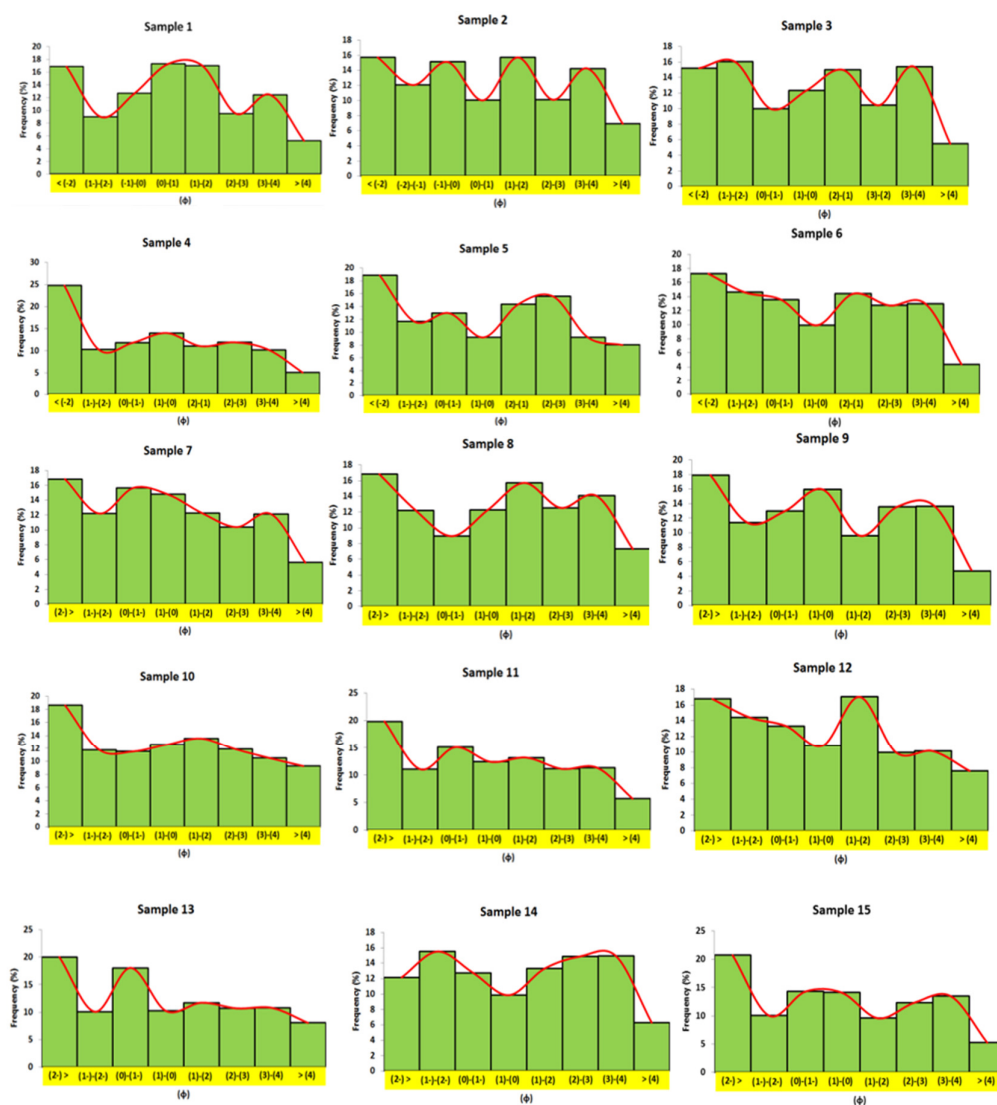
شکل ۶. طبقه‌بندی نمونه‌های برداشت شده رسوبات رودخانه خرم‌رود در محدوده مورد مطالعه بر اساس فولک (۱۹۷۴) (ماسه گراولی gS، گراول ماسه‌ای sG، گراول ماسه‌ای گلی msG، ماسه گلی گراولی gmS)

Fig. 6. Sediments classification of Khorramrood River in studied area based on Folk (1974) (gS gravelly sand, sG sandy gravel, msG muddy sand gravel, gmS gravelly mud sand)

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های رسوب‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه

Table 4. The values of sedimentological indices of the samples

Sample No.	$\bar{\alpha}$ (φ)	σ (φ)	Sk	K
K1	0.62	2.11	0.06	1.99
K2	0.69	2.22	0.09	1.81
K3	0.66	2.21	0.07	1.76
K4	0.29	2.24	0.24	1.83
K5	0.62	2.26	0.08	1.80
K6	0.51	2.18	0.13	1.78
K7	0.51	2.16	0.19	1.91
K8	0.78	2.25	-0.02	1.78
K9	0.56	2.19	0.10	1.80
K10	0.64	2.29	0.13	1.81
K11	0.45	2.21	0.19	1.84
K12	0.54	2.21	0.19	1.88
K13	0.49	2.27	0.23	1.85
K14	0.82	2.19	0.007	1.74
K15	0.39	2.24	0.28	1.82
Max	0.82	2.29	0.28	1.99
Min	0.29	2.11	-0.02	1.74
Average	0.57	2.21	0.13	1.82



شکل ۷. نمودارهای ستونی (هیستوگرام) و منحنی‌های نرمال رسوبات (مشاهده می‌شود که دنباله منحنی‌های نرمال غالباً به سمت رسوبات دانه ریز کج شده‌اند).

Fig. 7. Histogram diagrams and normal curves of sediments (it can be seen that the sequence of normal curves is often tilted towards fine-grained sediments)

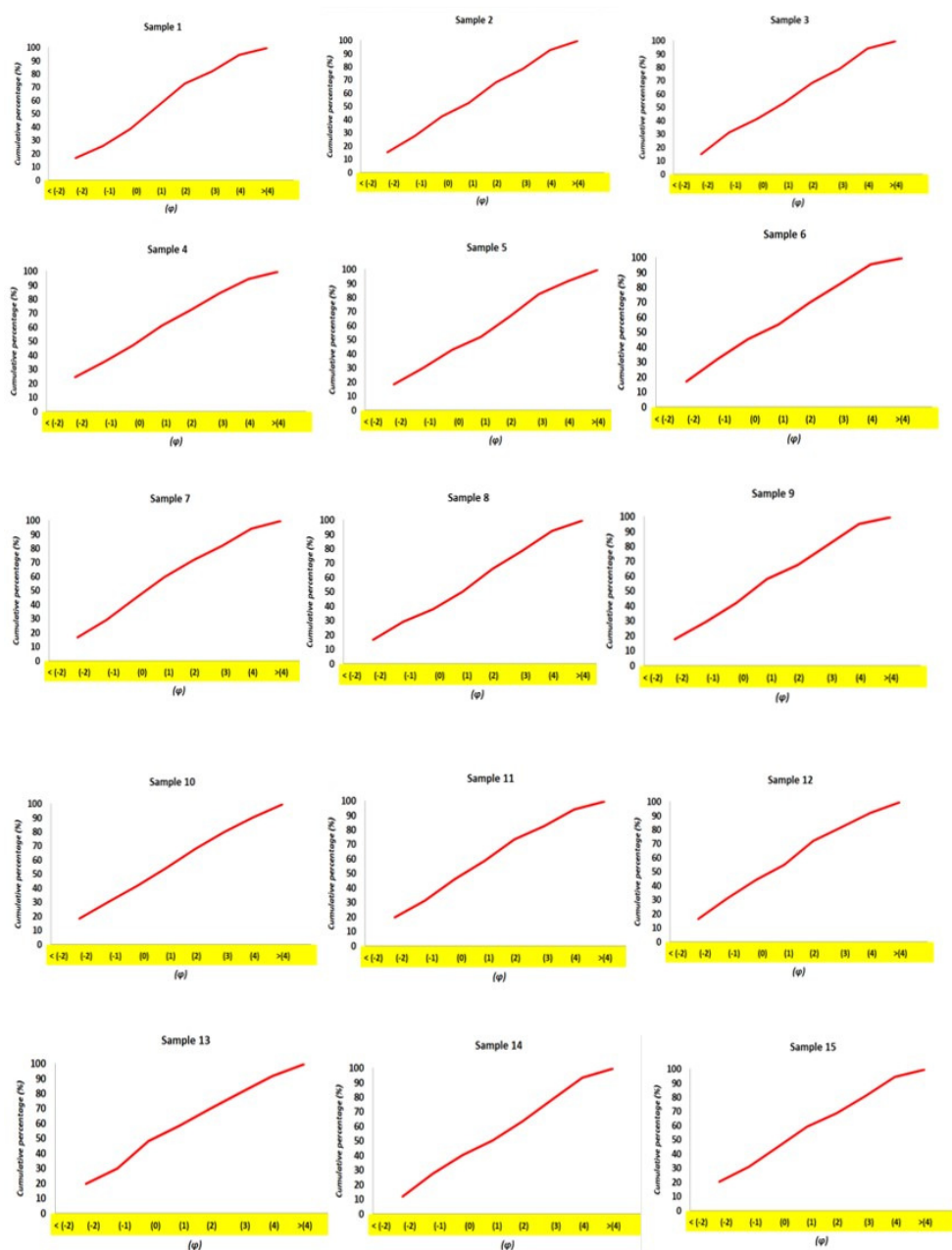
گراولی و همچنین یک یا چند مد دیگر مانند ماسه متوسط و بعضاً بسیار درشت قرار دارند.

بر اساس داده‌های درصد تجمعی رسوبات، منحنی‌های تجمعی آن‌ها ترسیم و در شکل ۸ نمایش داده شدند. شیب منحنی تجمعی، جورشدگی رسوبات را نشان می‌دهد به طوری که منحنی با شیب زیاد حکایت از انحراف معیار کمتر و جورشدگی بهتر رسوب دارد و برعکس. از سوی دیگر اگر ذرات از نظر اندازه در گروه‌های مختلف قرار گیرند، شکستگی در منحنی ایجاد می‌شود (موسوی حرمی، ۲۰۰۵). در شرایطی که درصد ذرات درشت افزایش

شکل ۷ نمودارهای ستونی (هیستوگرام) نمونه‌های غربال شده را نشان می‌دهد. از متصل کردن نقاط وسط نمودارهای هیستوگرام، منحنی‌های توزیع درصد فراوانی هر نمونه ترسیم شده است. از شکل ۷ مشاهده می‌شود که تعدد مراکز تجمع در هیستوگرام‌ها (مدها) نشان دهنده جورشدگی ضعیف رسوبات و تعدد منشأ آن‌ها است. بنابراین اگر هیستوگرامی دارای دو مد باشد، ممکن است رسوب از دو منشأ سرچشمه گرفته باشد (موسوی حرمی، ۲۰۰۵). بر اساس شکل ۷ مشاهده می‌شود که هیچ کدام از نمونه‌ها تک‌منشایی نیست و همه آن‌ها در کنار یک مد

با جورشدگی خوب حاصل شده‌اند (فولک، ۱۹۸۰؛ ساهو و شارما، ۲۰۲۳). بر اساس منحنی‌های تجمعی ارائه شده در شکل ۸، هر دو نوع منحنی سهمی و لگاریتمی در نمونه‌های مورد مطالعه قابل مشاهده هستند. همچنین اکثر نمودارها دو یا سه شکستگی از خود نشان داده‌اند به هر حال، صرفاً فراوانی ریزدانه‌ها سبب افزایش شیب منحنی در نمودارهای تجمعی ذرات شده است.

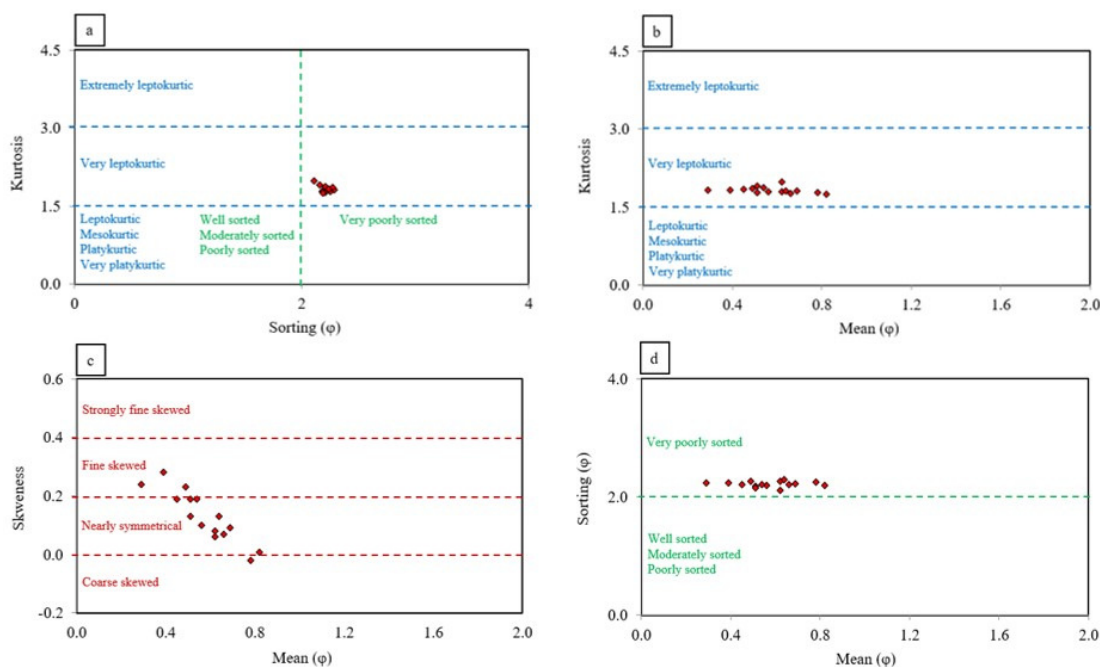
یابد، منحنی موازی با محور X خواهد شد. بر اساس شکل، این نوع منحنی را سهمی می‌نامند و نشان دهنده محیطی مانند رودخانه است که برای مدت کمی انرژی زیاد بوده و رسوبات جورشدگی کمی دارند. در طرف مقابل، در حالتی که منحنی در یک بخش از رسوب دارای شیب تند باشد، یک منحنی لگاریتمی حاصل می‌شود که نشان می‌دهد انرژی بصورت پیوسته و مدام بالا بوده و در نتیجه رسوبات



شکل ۸. منحنی‌های تجمعی رسوبات (نقاط شکست در نمودارها بیانگر مکانیسم‌های مختلف حمل و نقل و رسوب‌گذاری می‌باشند).
Fig. 8. Cumulative curves of sediments (break points in the graphs represent different transport and deposition mechanisms)

در رده کج‌شدگی تقریباً متقارن قرار گرفته‌اند. در شکل ۹d، اندازه میانگین رسوبات در برابر جورشدگی ترسیم شده است. از این شکل می‌توان مشاهده کرد که اندازه میانگین رسوبات از ۰/۲۹ تا ۰/۸۲ فی تغییر می‌کنند و از منظر جورشدگی از نوع جورشدگی خیلی بد^۵ می‌باشند. به طور کلی در رخصاره‌های محیط‌های تخریبی از مناطق بالا دست به سمت پایین دستی یک روند معنی‌داری بین توزیع اندازه ذرات و منحنی کشیدگی رسوبات وجود دارد و به سمت مناطق پایین دست منحنی فراوانی پهن‌تر می‌شود (داودی و همکاران، ۱۴۰۱). به هر حال چنانچه ارتباط معناداری بین توزیع اندازه ذرات و کشیدگی منحنی فراوانی وجود نداشته باشد می‌تواند ناشی از منشأهای متفاوت برای رسوبات باشد.

در شکل ۹ شاخص‌های رسوب‌شناسی رودخانه خرم‌رود به صورت نمودارهای دوماحوره ترسیم شده‌اند. در شکل ۹a، جورشدگی رسوبات در برابر کشیدگی ترسیم شده است و بر اساس این نمودار رسوبات در رده جورشدگی خیلی بد^۱ و خیلی کشیده^۲ قرار می‌گیرند. شکل ۹b، اندازه میانگین رسوبات در برابر کشیدگی را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، اندازه میانگین رسوبات بین ۰/۲۹ تا ۰/۸۲ فی و از منظر کشیدگی، از نوع خیلی کشیده^۳ قرار می‌گیرند. میانگین اندازه رسوبات در برابر کج‌شدگی در شکل ۹c نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، اندازه میانگین رسوبات در رده ۰/۲۹ تا ۰/۸۲ فی و از دیدگاه کج‌شدگی در رده‌های کج‌شدگی منفی^۴، کج‌شدگی تقریباً متقارن^۵ و کج‌شدگی منفی^۶ قرار می‌گیرند. به هر حال، غالب نمونه‌ها



شکل ۹. نمودار دو محوره توزیع شاخص‌های رسوبات رودخانه خرم‌رود: (a) جورشدگی و کشیدگی، (b) میانگین و کشیدگی، (c) میانگین و کج‌شدگی و (d) میانگین و جورشدگی

Fig. 9. Biaxial graphs of the distribution of statistical indices of Khorramrood River sediments, a) Sorting and kurtosis, b) Mean and Kurtosis, c) mean and Skewness, d) mean and sorting

فرعی به درون کانال اصلی است (اشلاگر و همکاران، ۲۰۰۹؛ آمارجوف و همکاران، ۲۰۱۵؛ آران و همکاران، ۲۰۱۹؛ سوهاق و همکاران، ۲۰۲۴). مطالعه اشلاگر و همکاران (۲۰۰۹)، بر این نکته تأکید دارد که آبراهه‌های

در امتداد مسیر رودخانه، ناهنجاری‌هایی در نمودارها دیده می‌شود که در ارتباط با ناپیوستگی رسوبی در طول مسیر رودخانه است (اشلاگر و همکاران، ۲۰۰۹). عدم پیوستگی رسوبی در طول مسیر رودخانه‌ها به دلیل ورود شاخه‌های

⁵ Nearly symmetrical

⁶ Fine skewed

⁷ Very poorly sorted

¹ Very poorly sorted

² Very leptokurtic

³ Very leptokurtic

⁴ Coarse skewed

شده، گرد شده و خوب گرد شده قابل تشخیص است (فولک، ۱۹۸۰). با استفاده از رابطه ۵، گردشگری ذرات محاسبه و در شکل ۱۰ به صورت شماتیک ارائه شده‌اند. مطابق با این شکل، دانه‌های گراولی و رابلی از نظر گردشگری در رده‌های خیلی زاویه‌دار، زاویه‌دار، نیمه زاویه‌دار، نیمه گرد شده، گرد شده و خوب گرد شده قرار دارند. گردشگری دانه‌ها در طیف‌های مختلف به مقاومت دانه‌ها در برابر عوامل سایش و سازوکار حمل آن‌ها بستگی دارد. تغییرات شدید گردشگری در ایستگاه‌های به دلیل منشأهای متفاوت رسوبات می‌باشد. رسوبات منشأ گرفته از سازندهای تخریبی منطقه مورد مطالعه نظیر سازندهای کشکان و سازند امیران تأمین کننده رسوبات با گردشگری بالا برای رودخانه خرم‌رود می‌باشند به عبارتی دیگر رسوبات منشأ گرفته از این سازندها از ابتدا گردشگری بالایی داشته‌اند. در طرف مقابل، سازندهای کربناته منطقه مورد مطالعه اغلب به دلیل حمل کوتاه مدت دارای گردشگری پایین‌تری می‌باشند. از دلایل دیگر گردشگری رسوبات با منشأ متفاوت می‌توان به آبراهه‌های متعدد گسترش یافته در منطقه اشاره کرد که پس از مسافتی کوتاه وارد رودخانه خرم‌رود می‌شوند.

فرعی می‌توانند پیچیدگی‌های زیادی بر روی روند رسوبات رودخانه‌های بزرگ ایجاد کند، هر چند دبی آب نیز تأثیر قابل توجه‌ای دارد. اکثر آبراهه‌های فرعی به دلیل شیب زیاد و شدت جریان در آن‌ها قادر به حمل رسوبات دانه درشت‌تر هستند. این رسوبات وقتی وارد کانال اصلی می‌شوند بر نحوه تغییر مشخصه‌های اندازه دانه‌ها تأثیر می‌گذارند (رحمان و همکاران، ۲۰۱۸؛ ساهیدوزمان، ۲۰۲۴).

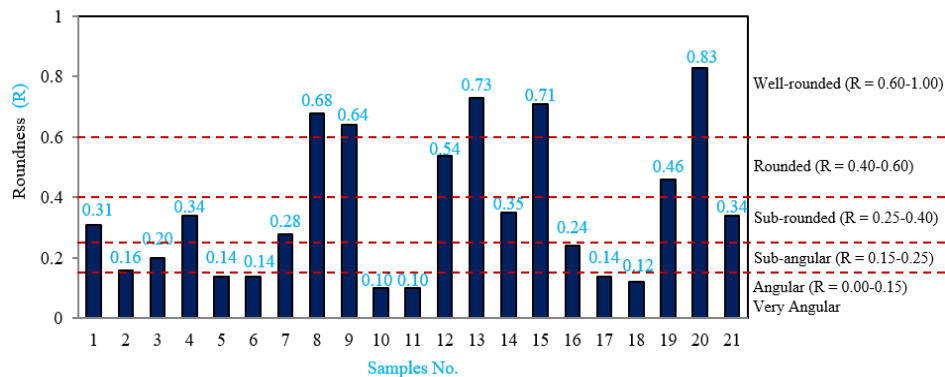
۵-۳- ریخت‌شناسی رسوبات درشت دانه

گردشگری: بر اساس رابطه ۵، گردشگری دانه از نسبت شعاع تیزترین گوشه آن (r_i) به شعاع بزرگ‌ترین دایره‌ای که می‌تواند در خود جای دهد (R_m) به دست می‌آید (فولک، ۱۹۷۴):

$$R = \frac{r_i}{R_m} \quad (5)$$

که در آن، R گردشگری و r_i و R_m به ترتیب شعاع دایره در تیزترین گوشه دانه و شعاع بزرگ‌ترین دایره محاط در دانه هستند.

بر اساس طبقه‌بندی دانه‌ها بر اساس مقدار R توسط پتی‌جان (۱۹۴۹)، دانه‌ها معمولاً در شش رده گردشگری شامل خیلی زاویه‌دار، زاویه‌دار، نیمه زاویه‌دار، نیمه گرد



شکل ۱۰. طبقه‌بندی گردشگری دانه‌های گراولی و رابلی نمونه‌های مورد مطالعه بر اساس پتی‌جان (۱۹۴۹) (مشاهده می‌شود که دانه‌ها در رده‌های خیلی زاویه‌دار، زاویه‌دار، نیمه زاویه‌دار، نیمه گرد شده و گرد شده قرار دارند).

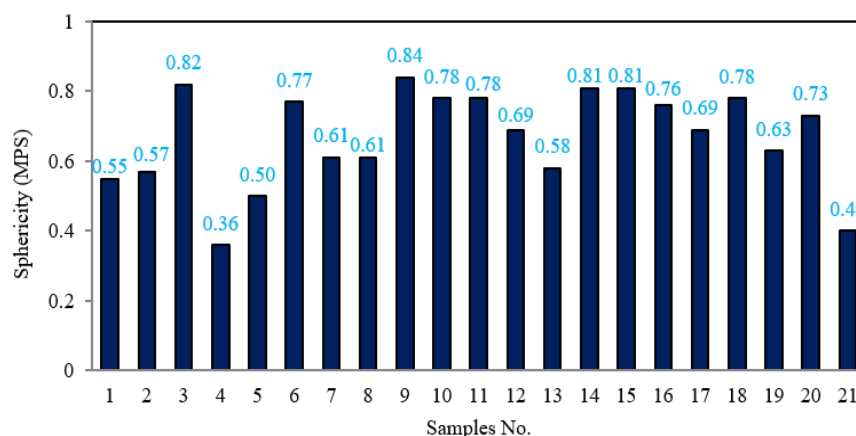
Fig. 10. Roundness classification of the gravel and rubble grains of the studied samples according to Pettijohan (1949) (it can be seen that the grains are classified as very angular, angular, sub-angular, sub-rounded, rounded, and well-rounded).

برابر یک باشد آن دانه کرووی خواهد بود. برای تعیین کرویت دانه از رابطه ۶ (اسنید و فولک، ۱۹۵۸) استفاده می‌شود:

$$MPS = \sqrt[3]{S^2/L \times I} \quad (6)$$

کرویت: میزان شباهت یک دانه به کره را کرویت می‌گویند. در هر دانه سه قطر کوتاه، متوسط و بلند وجود دارد که به عنوان قطرهای اصلی شناخته می‌شوند. هر چه اندازه سه قطر اصلی یک دانه به هم نزدیک‌تر باشد آن دانه به کره نزدیک‌تر است. نسبت بین سه قطر اصلی اگر

کشیده، بین ۰/۶۳ تا ۰/۶۶ کمی کشیده، بین ۰/۶۶ تا ۰/۶۹ متوسط، بین ۰/۶۹ تا ۰/۷۲ کمی کروی، بین ۰/۷۲ تا ۰/۷۵ کروی و بیشتر از ۰/۷۵ خیلی کروی می‌باشند (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷). نتایج کرویت دانه‌های گراولی و رابلی در شکل ۱۱ ارائه شده‌اند. مطابق با نتایج ارائه شده در این شکل، دانه‌های گراولی و رابلی در تمامی رده‌های کرویت مطابق با طبقه‌بندی پتی‌جان و همکاران (۱۹۸۷) قرار می‌گیرند.



شکل ۱۱. طبقه‌بندی کرویت دانه‌های گراولی و رابلی (مشاهده می‌شود که دانه‌ها در رده‌های کرویت کم و تا حدودی کروی قرار دارند).
Fig. 11. Sphericity classification of the gravel and rubble grains (it can be seen that the grains are in the classes of low sphericity and somewhat spherical).

را نسبت به سایر فرم‌ها داشته‌اند. از سوی دیگر کمترین فراوانی با ۴/۸ درصد مربوط به فرم پهن فشرده می‌باشد. اصطلاح فرم برای توصیف سه‌بعدی یک دانه که از نسبت سه اندازه خطی شامل ضخامت (قطر کوتاه)، پهنای (قطر متوسط) و طول (قطر بلند) دانه به دست می‌آید به کار می‌رود (بلوت و پیه، ۲۰۰۸). فرم دانه در هنگام حمل و نقل تغییر حاصل می‌کند و این تغییرات به ترکیب کانی‌شناسی، اندازه، شکل اولیه، مسافت حمل شده، میزان سایش، خوردگی و یا انحلال دانه‌ها بستگی دارد (موسوی حرمی و همکاران، ۲۰۰۴؛ ساها و همکاران، ۲۰۱۷؛ آران و همکاران، ۲۰۱۹). در مسیر اصلی رودخانه خرم‌رود ذرات به شکل کشیده از بالادست تا پایین‌دست رودخانه به عنوان فراوان‌ترین شکل ذرات دیده می‌شوند.

که در آن، MPS کرویت و S، I و L به ترتیب قطرهای کوتاه، متوسط و بلند دانه هستند. بر اساس رابطه ۶، مقادیر کرویت دانه‌های گراولی و رابلی رسوبات مورد مطالعه محاسبه شدند. هر چه عدد کرویت به ۱ نزدیک‌تر باشد به معنای این است که اندازه قطرهای کوتاه، متوسط و بلند به هم نزدیک‌تر هستند و بنابراین شکل یک دانه به کره نزدیک‌تر و از کرویت بالاتری برخوردار خواهد بود. معمولاً اگر مقدار کرویت (MPS) کمتر از ۰/۶ باشد دانه خیلی کشیده، بین ۰/۶ تا ۰/۶۳

فرم: رابطه‌ی بین سه بعد دانه شامل S (قطر کوتاه)، I (قطر متوسط) و L (قطر بلند) را فرم دانه می‌گویند. بر اساس مقادیر S، I و L، شاخص‌های S/L، $(L-I)/(L-S)$ و $\sqrt{S^2/L} \times I$ به دست می‌آیند که از آن‌ها برای طبقه‌بندی فرم دانه‌ها مطابق با شکل ۱۲ استفاده می‌شود. شاخص‌های اشاره شده برای دانه‌ها محاسبه و روی شکل ۱۲ پلات شدند. مطابق این شکل، دانه‌های گراول در طیفی از فرم‌های خیلی کشیده^۱، کشیده^۲، کشیده فشرده^۳، خیلی تیغه‌ای^۴، هم‌بعد^۵، پهن فشرده^۶ و تیغه‌ای فشرده^۷ قرار دارند. فراوانی مربوط به هر یک از این فرم‌ها برای دانه‌های رسوبات محاسبه و به صورت نمودار هیستوگرام در شکل ۱۳ نمایش داده شده‌اند. فرم‌های از نوع کشیده فشرده و کشیده به ترتیب با ۲۸/۶ و ۲۳/۸ درصد بیشترین فراوانی

^۵ Compact

^۶ Compact platy

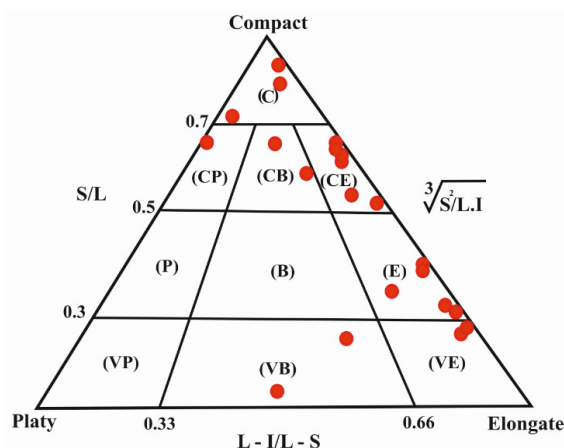
^۷ Compact bladed

^۱ Very elongate

^۲ Elongate

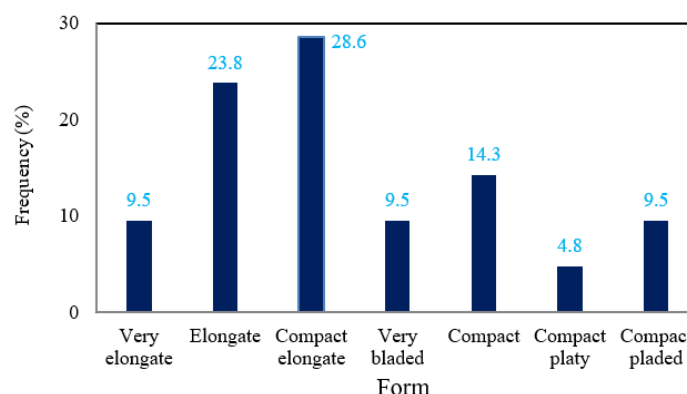
^۳ Compact elongate

^۴ Very bladed



شکل ۱۲. طبقه‌بندی فرم دانه‌های گراولی و رابلی (اسنید و فولک، ۱۹۵۸)

Fig. 12. Form classification of the gravel and rubble grains (Sneed and Folk, 1958)



شکل ۱۳. فراوانی فرم دانه‌ها (مشاهده می‌شود که دانه‌ها در طیف وسیعی از انواع فرم‌ها قرار دارند. بیشترین فراوانی متعلق به نوع کشیده فشرده و کشیده و کمترین فراوانی مربوط به فرم پهن فشرده هستند).

Fig. 13. The frequency of the grains form (it can be seen that the grains are in a wide range of forms. The highest frequency belongs to the compact elongate and elongate forms, and the lowest frequency is for form of compact platy).

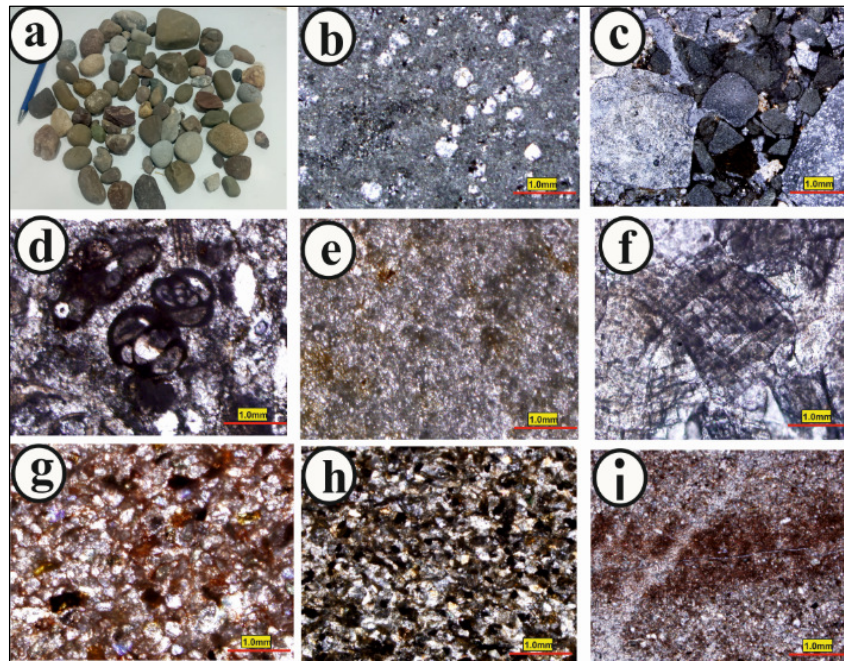
ریزشوندگی توسط ناپیوستگی‌هایی قطع می‌شود. ورود منابع جانبی، تغییر لیتولوژی، برداشت شن و ماسه رودخانه‌ای، وجود گسل در مسیر و افزایش شیب بستر شش عامل ایجاد ناپیوستگی در روند ریزشوندگی به سمت پایین دست رودخانه‌ها می‌باشند. همچنین این پژوهشگران بیان کردند که منابع نقطه‌ای (مانند شاخه‌های فرعی) موجب پرش موقتی در روند ریزشوندگی و منابع خطی (مانند مخروط‌افکنه) موجب روند درشت‌شوندگی موقتی در مسیر رودخانه‌ها می‌شوند. داودی و همکاران (۱۴۰۱)، رسوب‌شناسی، رخساره‌ها و مدل رسوبی مخروط‌افکنه آبیک استان قزوین را مطالعه کردند. نتایج دانه‌سنجی رخساره‌ها نشان داد اندازه‌ی رسوبات مخروط‌افکنه‌ی آبیک، تغییرات وسیعی را از گراول تا رس نشان می‌دهد و بافت

در مطالعات گذشته برخی پژوهشگران به بررسی مشخصه‌های بافتی رسوبات آواری پرداخته‌اند. فرینگز (۲۰۰۸) و ونکاتسان و سینگراسوبرامانیا (۲۰۱۶)، روند ریزشوندگی رسوبات به سمت پایین دست رودخانه‌ها را در رودخانه‌های دارای بارهای ماسه‌ای فراوان و بزرگ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که کاهش اندازه دانه‌ها در طول مسیر رودخانه می‌تواند بر اثر سایش و برخورد آن‌ها با یکدیگر حاصل شده است. همچنین کاهش شدت جریان رودخانه که تحت عنوان جورشدگی هیدرولیکی و یا حمل انتخابی ذرات در کانال رودخانه مطرح می‌شود نیز باعث کاهش اندازه دانه‌ها در پایین دست شده است. بهبهانی و خدابخش (۱۳۹۷)، در یک مطالعه جامع و کامل تحلیل رسوب‌شناختی سیستم‌های رودخانه‌ای ایران را مورد بررسی قرار دادند. به عقیده این پژوهشگران، روند

شاخه‌های فرعی روند کاهش درصد وزنی گراول کمتر است. روند تغییرات درصد وزنی ماسه و گل در رودخانه میانرود بیانگر یک روند افزایشی است. بررسی نمودار تغییرات جورشدگی نمونه‌ها در مسیر رودخانه میانرود نشان دهنده بهبود نسبی جورشدگی از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه است. میانگین جورشدگی در طول مسیر اصلی رودخانه ۱/۸۸ فی را نشان می‌دهد و از نظر توصیفی جورشدگی بد دارند که این جورشدگی در رابطه با نوع جریان سیلابی رودخانه است.

رسوبات این مخروط‌افکنه عمدتاً گراول و گراول ماسه‌ای با جورشدگی ضعیف و کج‌شدگی مثبت است.

نورا (۱۴۰۲)، مطالعه بافتی، عناصر ساختاری و مدل رسوبی رودخانه کوهستانی میانرود، میرجاوه (جنوب خاوری ایران) را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد روند تغییرات درصد وزنی گراول در رودخانه میانرود از ۹۷/۰۷ به ۴۹/۹۲ درصد است. در این رودخانه به دلیل شیب زیاد، سنگ منشأ ولکانو کلاستیک‌های آذرین (به‌ویژه داسیت و آندزیت) می‌باشند که مقاومت بیشتری در مقابل ریزشوندگی نشان می‌دهند و از سوی دیگر به دلیل ورود



شکل ۱۴. تصاویر مقاطع نازک میکروسکوپی قطعات دانه درشت، (a) نمونه رسوبات گراولی و رابلی که از آن‌ها مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده است. (b) مقطع نازک قطعه چرتی، (c) مقطع نازک قطعه میکروکنگلومرایی که قطعات آن غالباً چرتی می‌باشند. (d و e) مقطع نازک قطعات کربناته (در این تصویر، میکروفسیل نیز مشاهده می‌شود). (f) مقطع نازک قطعه دولومیتی، (g و h) مقطع نازک از قطعات ماسه‌سنگی، (i) مقطع نازک قطعه سیلتستونی.

Fig. 14. Images of microscopic thin sections of the coarse grain pieces (gravel and rubble), a) Gravel and rubble sediments to prepare of microscopic thin sections, b) Thin section of a chert piece, c) Thin section of a piece of micro-conglomerate whose pieces are mostly chert, d, e) Thin section of carbonate pieces (Microfossils can also be seen in this image), f) Thin section of dolomite piece, g, h) Thin section of sandstone fragments i) Thin section of siltstone fragment.

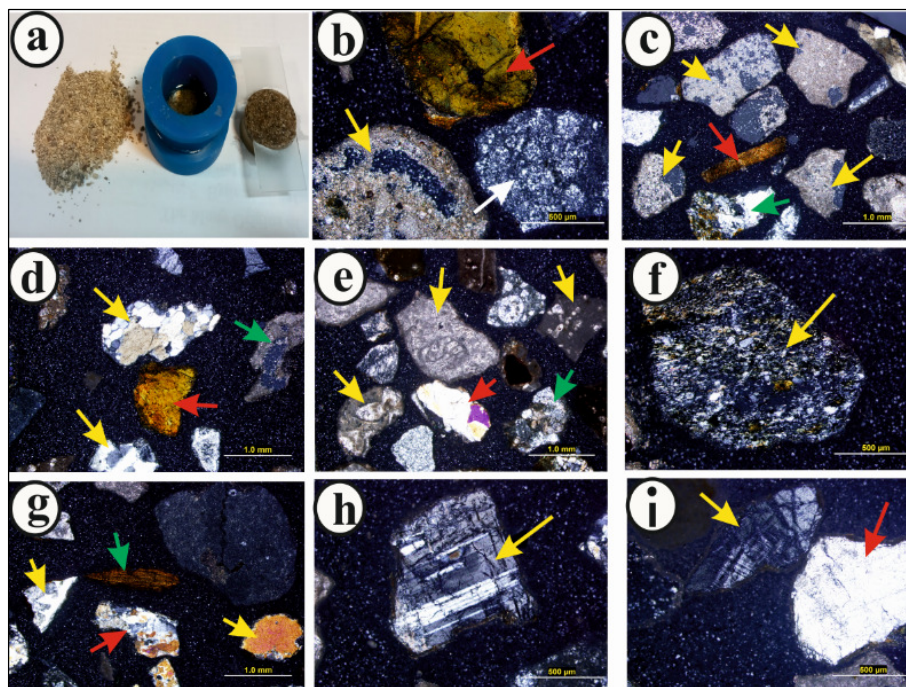
هوازدهگی، فراهم کننده رسوبات منطقه بوده‌اند. این رسوبات به‌عنوان پرکننده مناطق فرورفته پایین دست ارتفاعات عمل کرده‌اند. برای تعیین منشأ رسوبات، مطالعات کانی‌شناسی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان روی ۱۵ عدد مقطع نازک تهیه شده از ذرات رسوبی در اندازه ۱ فی انجام شد. در شکل ۱۴، نمونه رسوبات درشت‌دانه برای مطالعات سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی نشان

۴-۵- سنگ‌نگاری و کانی‌شناسی

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰ شهرستان خرم‌آباد، پراکندگی سازندهای منطقه مورد مطالعه شامل توالی‌هایی از نهشته‌های دوران میان زیستی و نوزیستی می‌باشند (مطیعی، ۲۰۰۳). فراوانی سنگ‌های رسوبی (سنگ‌های آهکی و آواری) در توالی‌های مربوط به این دوران‌ها بیشترین مقدار بوده به طوری که تحت تأثیر عوامل مختلف

سهم قطعات رسوبی بیش از ۹۵ درصد می‌باشد. قطعات رسوبی شامل خرده‌سنگ‌های چرتی، کربناته، ماسه‌سنگی، سیلتستونی و دولومیتی هستند که فرسایش سازندهای تاقدیس خرم‌آباد سهم عمده‌ای در تشکیل آن‌ها داشته‌اند. منشأ خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی به سازندهای آواری نظیر کشکان و امیران نسبت داده می‌شود.

داده شده است. در این تصاویر، مقاطع نازک قطعات چرتی (شکل ۱۴b)، میکروکنگلومرایبی (شکل ۱۴c)، کربناته (شکل ۱۴d,e)، دولومیتی (شکل ۱۴f - ۱۴g,h) و سیلتستونی (شکل ۱۴i) ارائه شده است. در رسوبات مورد مطالعه، ذرات دانه‌درشت (گراول و رابل) عمدتاً شامل قطعات رسوبی، آذرین و دگرگونی هستند که



شکل ۱۵. مطالعات کانی‌شناسی بر روی قطعات دانه متوسط ماسه‌ای (کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر)، (a) نمونه ماسه قبل از قالب‌گیری توسط رزین، (b) مقطع نازک خرده‌سنگ‌های چرتی (پیکان سفید)، کربناته (پیکان زرد) و خرده‌سنگ آذرین (پیکان قرمز)، (c) مقطع نازک خرده‌سنگ‌های کربناته (پیکان‌های زردرنگ)، خرده‌سنگ چرتی (پیکان سبز) و پیکان قرمز رنگ در تصویر یک قطعه کانی بیوتیت را نشان می‌دهد (به زاویه دار بودن برخی خرده‌سنگ‌ها توجه شود). (d) مقطع نازک کوارتز پلی کریستالین (پیکان‌های زردرنگ)، خرده‌سنگ آذرین (پیکان قرمز) و خرده‌سنگ سیلتستونی (پیکان سبز)، (e) خرده‌سنگ‌های کربناته (پیکان‌های زردرنگ) که در آن‌ها میکروفسیل نیز مشاهده می‌شود (پیکان قرمز یک کوارتز پلی کریستالین و پیکان سبز یک قطعه چرتی را نشان می‌دهند). (f) مقطع نازک خرده‌سنگ دگرگونی، (g) مقطع نازک خرده‌سنگ‌های چرتی (پیکان‌های زرد رنگ)، پیکان قرمز یک کوارتز پلی کریستالین و پیکان سبز یک قطعه کانی بیوتیت را نشان می‌دهد (به زوایای تیز قطعه چرتی و بیوتیت توجه شود. زاویه‌دار بودن این قطعات بیانگر حمل کوتاه مدت از محل منشأ می‌باشد). (h) فلدسپات پلاژیوکلاز (به سالم بودن و زاویه‌دار بودن دانه توجه شود). (i) فلدسپات پتاسم‌دار (میکروکلین، پیکان زردرنگ) و دانه کوارتز (پیکان قرمز).

Fig. 15. Mineralogical studies on pieces of medium-grain sand (smaller than 2 mm), a) Sand sample before molding by resin, b) Thin section of rock-fragments of chert (white arrow), carbonate (yellow arrow) and igneous (red arrow), c) The thin section of the rock-fragments of carbonate (yellow arrows) and chert (green arrow), and the red arrow shows a piece of biotite mineral (Pay attention to the angularity of some rock-fragments), d) Thin section of polycrystalline quartz (yellow arrows), igneous rock-fragments (red arrow), and siltstone rock-fragments (green arrow), e) Carbonate rock-fragments (yellow arrows) in which microfossils are also observed (The red and green arrows shows a polycrystalline quartz and a piece of chert, respectively), f) Thin section of metamorphic rock-fragments g) Thin section of chert rock-fragments (yellow arrows), the red arrow shows a polycrystalline quartz and the green arrow shows a piece of biotite mineral (Pay attention to the sharp angles of cherty and biotite pieces. The angularity of these pieces indicates short-term transportation from their origin) h) Plagioclase feldspar (note that the grain is fresh and angular), i) Potassium-rich feldspar (microcline, yellow arrow) and quartz grain (red arrow).

آواری کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ تشکیل شده‌اند (شکل ۱۵). کوارتز به عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانی شناسایی شده در رسوبات است به طوری که ۵۵ تا ۶۵ درصد کل رسوبات را تشکیل می‌دهد. اندازه دانه‌های

فراوانی یک کانی در رسوبات به فراوانی، پایداری مکانیکی و ثبات شیمیایی سنگ منشأ بستگی دارد (تاگر، ۲۰۰۱). مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع نازک ذرات ماسه‌ای منطقه مورد مطالعه نشان داد که این رسوبات از دانه‌های

عنوان منشأ اصلی خرده‌سنگ‌های رسوبی رودخانه خرم‌رود در نظر گرفت. همچنین منشأ سایر ذرات نظیر کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی را می‌توان به انتقال و حمل آن‌ها از منشأ بالادستی رودخانه خرم‌رود نسبت داد. در طول مسیر رودخانه علاوه بر میزان بالارفتن گردش‌دگی، کرویت نیز افزایش می‌یابد. بالا بودن کرویت و گردش‌دگی برخی دانه‌های گراولی در مسیر رودخانه خرم‌رود تنها به عامل حمل و نقل (موسوی‌حرمی و همکاران، ۲۰۰۴) و سایش دانه‌ها در اثر برخورد با یکدیگر در طی حمل در مسیر رودخانه (فرینگز، ۲۰۰۸) مرتبط نمی‌باشد بلکه به دلیل حمل مجدد این گراول‌ها نیز در ارتباط است. روند تغییرات اندازه دانه‌ها از الگوی نمایی کاهش به سمت پایین دست رودخانه به طور کامل پیروی نکرده است که می‌تواند به دلایلی از جمله ورود رسوبات درشت جانبی از شاخه‌های فرعی، افزایش شیب بستر، نمایان شدن سنگ بستر، تغییر در سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی و پویایی زمین‌ساختی از جمله وجود گسل‌ها در مسیر رودخانه باشد.

۵-۵- ارزیابی مناسب بودن رسوبات برای استفاده به

عنوان سنگدانه بتن

بتن به عنوان یک مصالح ساختمانی از ترکیب مواد مختلفی تشکیل شده است. از دیدگاه کلی می‌توان بتن را ترکیبی از یک ماده چسباننده (خمیر سیمان) و مصالح سنگی (سنگدانه) در نظر گرفت. خمیر سیمان شامل سیمان، آب و حباب‌های ریز هوا بوده و سنگدانه نیز شامل ریزدانه‌ها (رس و سیلت) و درشت‌دانه‌ها (ماسه و شن) می‌شود. البته امروزه در اکثر پروژه‌ها از مواد افزودنی (عمدتاً روان‌کننده‌ها و فوق روان‌کننده‌ها) برای ارتقاء کیفیت بتن و حصول مشخصات فنی مورد نظر نیز استفاده می‌شود.

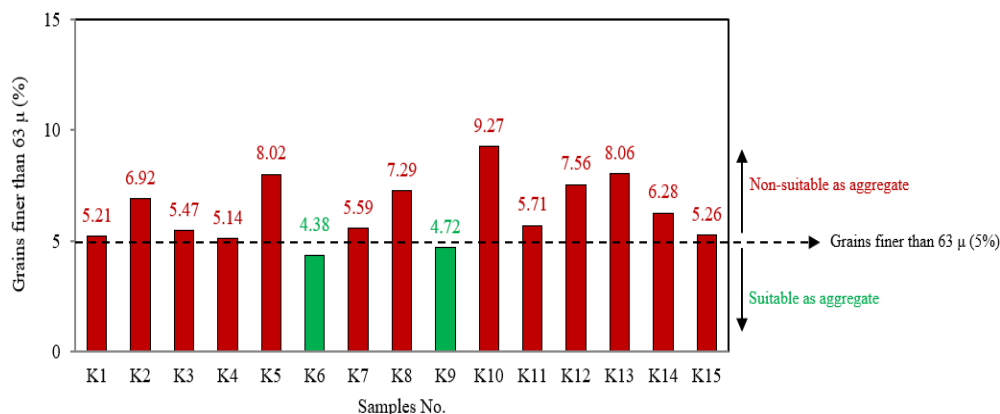
در میان محققان، بتن برترین مصالح ساختمانی قرن بیستم بوده است. مواد اولیه آن به آسانی قابل دسترس بوده و با توجه به ماهیت سیال بودن بتن، می‌توان اشکال مختلف سازه‌ای را با آن ساخت. این ماده با محیط زیست سازگار و به لحاظ اقتصادی با صرفه است. بتن از دیدگاه مشخصات فنی نیز از مقاومت خوبی برخوردار است و می‌تواند با دوام باشد. بدیهی است که برای تولید بتن مناسب باید از مصالح مصرفی مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی استفاده کرد (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲). باید توجه داشت که

کوارتز در حد سیلت تا ماسه درشت متغییر بوده و غالباً دارای خاموشی مستقیم و موجی هستند. بالا بودن نسبت کوارتز پلی‌کریستالین (Qp) به کوارتز مونوکریستالین (Qm) بیانگر حمل کوتاه مدت برای رسوبات منطقه مورد مطالعه است. مقادیر کوارتز (تک‌بلوری و چندبلوری) در نمونه‌های مورد مطالعه حداکثر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد. به دلیل سختی کم فلدسپات‌ها، پایداری مکانیکی آن‌ها کمتر از کوارتز بوده و علاوه بر این به دلیل رخ قوی و سهولت در هیدرولیز، دارای پایداری شیمیایی کم‌تری نسبت به کوارتز هستند. مقدار فلدسپات بین ۵ تا ۱۰ درصد بوده و از سوی دیگر فلدسپات‌های پتاسیم‌دار (میکروکلین) به علت پایداری شیمیایی بیشتر نسبت به پلاژیوکلاز، از فراوانی بیشتری برخوردارند. بر اساس مطالعات مقاطع نازک میکروسکوپی، فلدسپات‌ها سالم بوده و هوازدگی اندکی را نشان می‌دهند که دلالت بر حمل کوتاه مدت رسوبات دارد. ترکیب خرده‌سنگ‌ها اساساً به نوع سنگ منشأ و مقاومت دانه‌ها در طی حمل و نقل وابسته است (تاکر، ۲۰۰۱). خرده‌سنگ‌ها نماینده فابریک و پاراژنز سنگ مادر هستند (گاززانتی و ویزولی، ۲۰۰۳؛ دیناس و همکاران، ۲۰۲۳). خرده‌سنگ‌ها عمدتاً شامل خرده-سنگ‌های رسوبی از نوع ماسه‌سنگی (۱۵ تا ۲۰ درصد)، سیلتستونی (۱۰ تا ۱۵ درصد)، کربناته (۲۰ تا ۲۵ درصد) و چرتی (۱۵ تا ۲۰ درصد) می‌باشند. از سوی دیگر خرده-سنگ‌های آذرین (آندزیتی) و دگرگونی (شیستی) دارای فراوانی بین ۳ تا ۵ درصد هستند. با توجه به اینکه خرده-سنگ‌ها اکثراً رسوبی (ماسه‌سنگی، کربناته و چرتی) هستند لذا سنگ منشأ رسوبات را می‌توان به فرسایش سنگ‌های رسوبی تاقدیس خرم‌آباد نسبت داد. همچنین وجود مقادیر اندک خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی ناشی از فرسایش سازندهای آواری نظیر سازند کشکان و امیران رخمون یافته در منطقه دانست زیرا که رسوبات تأمین کننده این سازندها منشأ رادیولاریتی دارند. به هر حال بخش عمده خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی دارای منشأ بالادست هستند که توسط رودخانه به مناطق پایین دست حمل شده‌اند. فراوانی کوارتز پلی‌کریستالین و فلدسپات‌های سالم و غیرهوازده و همچنین گردش‌دگی و کرویت ضعیف تا متوسط دانه‌ها بیانگر فرسایش در نزدیک منشأ و حمل و نقل کوتاه مدت رسوبات است. در مجموع، فرسایش سنگ‌های رسوبی تاقدیس خرم‌آباد را می‌توان به

۱۶ نمایش داده شده است. از این شکل می‌توان مشاهده کرد که از ۱۵ نمونه رسوب برداشت شده از مکان‌های مختلف مسیر رودخانه خرم‌رود، صرفاً دو نمونه مقادیر کمتر از ۵ درصد ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون دارند. این نمونه‌ها با کدهای K6 و K9 در شکل ۱۶ نمایش داده شده‌اند که به ترتیب حاوی ۴/۳۸ و ۴/۷۲ درصد ریزدانه هستند. بنابراین از دیدگاه دانه‌بندی، رسوبات برداشت شده از مناطق مربوط به این نمونه‌ها در مسیر رودخانه خرم‌رود برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن مناسب هستند. به هر حال، سایر نمونه‌ها به دلیل اینکه مقدار ریزدانه آن‌ها بیشتر از ۵ درصد است معیار فنی لازم از دیدگاه دانه‌بندی را برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن ندارند. باید توجه کرد که اگرچه رسوبات آبرفتی برخی مناطق مسیر رودخانه خرم‌رود قابلیت استفاده به عنوان سنگدانه را ندارند، به هر حال با استفاده از دستگاه‌های سنگ‌شکن (برای خرد کردن ذرات درشت به ذرات ریز) و سرنده/شستشو (برای جدایش ذرات ریز از ذرات درشت)، می‌توان دانه‌بندی آن‌ها را به گونه‌ای تغییر داد که امکان استفاده به عنوان مصالح سنگدانه را داشته باشند.

استفاده از مصالح مرغوب شرط لازم برای تولید بتن خوب است ولی به تنهایی کافی نیست. به عبارتی با استفاده از مصالح مناسب نیز بتن‌هایی با کیفیت نامناسب تولید می‌شوند. موارد متعددی از پروژه‌های عمرانی که مدتی پس از بهره‌برداری دچار مشکلات جدی شده‌اند مؤید این مطلب است. سنگدانه بین ۵۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن را در بر می‌گیرد، بنابراین کیفیت آن‌ها از اهمیت قابل‌ملاحظه‌ای در بتن برخوردار است (پالم و همکاران، ۲۰۱۶).

سنگدانه‌های مصرفی در بتن باید به طور کلی دارای چنان کیفیتی باشند که بتوان از آن‌ها بتنی مرغوب، مقاوم و بادوام تهیه کرد. یکی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای انتخاب سنگدانه مناسب، دانه‌بندی آن است که لازم است معیارهای فنی مورد نظر استانداردهای بین‌المللی را داشته باشد. بر این اساس، ضروری است که میزان ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون (عبوری از الک شماره ۲۳۰) حداکثر ۵ درصد وزنی کل سنگدانه را تشکیل داده باشند. البته هر چه مقدار ذرات کوچک‌تر از ۶۳ میکرون کمتر باشد، سنگدانه مناسب‌تری برای تهیه بتن فراهم خواهد داشت. بر اساس نتایج دانه‌بندی، مقدار بخش ریزدانه (کوچک‌تر از ۶۳ میکرون) رسوبات مورد مطالعه در شکل



شکل ۱۶. طبقه‌بندی نمونه‌های رسوب مورد مطالعه بر اساس بخش ریزدانه (کوچک‌تر از ۶۳ میکرون) برای ارزیابی مناسب بودن آن‌ها به عنوان سنگدانه بتن

Fig. 16. Classification of studied sediment samples based on fine grain part (finer than 63 μ) to assess their suitability as concrete aggregate

که به سنگدانه‌های کوهی معروف هستند، در صورتی که سنگدانه‌های گردشده توسط فرآیندهای طبیعی مانند عمل آب‌های جاری (رودخانه) تشکیل می‌شوند و از آن‌ها به عنوان سنگدانه‌های طبیعی نام برده می‌شود.

علاوه بر دانه‌بندی، شکل ذرات سنگدانه روی مقاومت و کارایی بتن تأثیر بسزایی دارد (بشر و همکاران، ۲۰۰۳؛ استون و همکاران، ۲۰۰۹). به طور کلی شکل ذرات سنگدانه در دو گروه شامل گوشه‌دار و گردشده قرار می‌گیرند. سنگدانه‌های گوشه‌دار معمولاً به صورت مصنوعی توسط دستگاه‌ها و ابزاری مانند سنگ‌شکن تهیه می‌شوند

رسوبات در رودخانه خرم‌رود شناخته شدند. اجزای آواری رسوبات رودخانه خرم‌رود شامل کوارتز (تک‌بلوری و چندبلوری) بین ۱۰ تا ۲۰ درصد، فلدسپات بین ۵ تا ۱۰ درصد، خرده‌سنگ‌های نوع ماسه‌سنگی (۱۵ تا ۲۰ درصد)، سیلتستونی (۱۰ تا ۱۵ درصد)، کربناته (۲۰ تا ۲۵ درصد) و چرتی (۱۵ تا ۲۰ درصد) و خرده‌سنگ‌های آذرین (آندزیتی) و دگرگونی (شیستی) بین ۳ تا ۵ درصد می‌باشند. بر این اساس، فرسایش سنگ‌های رسوبی تاقدیس خرم‌آباد منشأ اصلی خرده‌سنگ‌های رسوبی رودخانه خرم‌رود هستند. همچنین منشأ سایر ذرات نظیر کوارتز، فلدسپات و خرده‌سنگ‌های آذرین و دگرگونی را می‌توان به انتقال و حمل آن‌ها از منشأ بالا دست رودخانه خرم‌رود در نظر گرفت. روند تغییرات اندازه دانه‌ها از الگوی نمایی کاهش به سمت پایین دست رودخانه به طور کامل پیروی نکرده است. این موضوع می‌تواند به دلایلی از جمله ورود رسوبات درشت جانبی از شاخه‌های فرعی، افزایش شیب بستر، نمایان شدن سنگ بستر، تغییر در سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی و پویایی زمین‌ساختی از جمله وجود گسلش‌ها در مسیر رودخانه مرتبط دانست. در نهایت، مطابق با نتایج بررسی‌های دانه‌بندی رسوبات برداشت شده از رودخانه خرم‌رود، برخی از مناطق مسیر رودخانه پتانسیل مناسبی به عنوان مصالح سنگدانه‌ای برای استفاده در بتن دارند. این موضوع دارای دو مزیت برجسته خواهد بود: یکی لای‌روبی و در نتیجه کاهش احتمال سیلابی شدن رودخانه خرم‌رود در مرکز شهر خرم‌آباد و دوم، دسترسی آسان و کم‌هزینه به منابع سنگدانه طبیعی به عنوان جایگزینی برای منابع مصنوعی حاصل از دستگاه‌های سنگ‌شکن دامنه کوه‌ها (که عامل مهمی در آسیب به محیط زیست است).

۷- تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی تحت عنوان "بررسی خصوصیات رسوب‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی رسوبات آبرفتی رودخانه خرم‌رود (شهرستان خرم‌آباد، استان لرستان) به منظور استفاده از آن‌ها به عنوان سنگدانه در بتن" با شماره "۱۴۰۴-۳۰-۵-۴-۱۴۰۲" و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه لرستان انجام شده است. نویسندگان کمال تشکر و قدردانی را از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه لرستان دارند.

البته باید توجه کرد که آب‌های جاری نیز می‌توانند در بردارنده ذرات رسوبی گوشه‌دار باشند که این موضوع به مسافت حمل آن‌ها بستگی دارد. بتن کاربردهای مختلفی شامل بدنه سدهای بتنی، کانال‌های انتقال آب، اسکلت منازل مسکونی، دیوارهای حایل نگهدارنده دامنه جاده‌ها، سنگفرش پیاده‌روها و ... دارد. با توجه به کاربرد بتن، برخی خصوصیات آن مانند مقاومت، کارایی، دوام در برابر سولفات و یخبندان و ... از اولویت بیشتری برخوردار هستند. مقاومت یکی از مهمترین و حیاتی‌ترین خصوصیات بتن در اکثر پروژه‌های ساخت و ساز است. مقاومت به شدت متأثر از شکل سنگدانه‌های تشکیل‌دهنده آن است. سنگدانه‌های گوشه‌دار به دلیل امکان درگیر شدن بهتر ذرات با یکدیگر و برقراری اصطکاک بیشتر بین آن‌ها، منجر به تولید بتنی مقاوم‌تر خواهند شد. به همین دلیل توصیه می‌شود در مواردی که مقاومت خیلی بالا برای بتن مد نظر باشد از سنگدانه‌های گوشه‌دار استفاده شود. بر اساس شکل ۱۶، از میان مناطق نمونه‌برداری محدوده مورد مطالعه، صرفاً دو منطقه با کدهای K6 و K9 از منظر دانه‌بندی معیار اولیه مورد نیاز برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن را دارند. با توجه به بررسی شکل ذرات، نمونه‌های آبرفت برداشت شده از مناطق K6 و K9 به ترتیب شکل هندسی گوشه‌دار و خوب گردشده دارند. با مقایسه شکل هندسی ذرات، می‌توان گفت در شرایطی که هدف تولید یک بتن با مقاومت بالاتر باشد، استفاده از آبرفت‌های منطقه K6 نسبت به منطقه K9 برای استفاده به عنوان سنگدانه بتن ارجحیت خواهد داشت.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج آماری نشان داد که طیفی از انواع ذرات رسوبی در آبرفت‌های رودخانه خرم‌رود در اندازه‌های مختلف با میانگین قطر ذرات ۰/۵۷ فی (ماسه درشت) وجود دارد. بر اساس نتایج آنالیز دانه‌بندی، رسوبات رسوبات در چهار گروه ماسه گراولی، گراول ماسه‌ای، گراول ماسه‌ای گلی و ماسه گلی گراولی قرار دارند. میانگین جوشدگی رسوبات ۲/۲۱ فی می‌باشد که بیانگر جوشدگی بسیار بد آن‌ها است. میانگین شاخص کشیدگی (K) ذرات ۱/۸۲ و میانگین کج‌شدگی (Sk) آن‌ها ۰/۱۳ بوده و گویای کج‌شدگی به سمت رسوبات دانه ریز است. حرکات کششی، جهشی و معلق به عنوان مهم‌ترین مکانیسم‌های حرکت

References

- Adeloye, A. J., Soundharajan, B. S (2019) Effect of dynamically varying zone hedging policies on surface water reservoir operational performance during climate change. Geological Society, London, Special Publications, 488: 277–289. doi.org/10.1144/SP488.1.
- Aharipour, R., Mosadegh, H (2011) Principles of sedimentology. Alavi press. 362 p. (In Persian).
- Amarjouf, N., Hammadi, A., Oujdi, M., Rezqi, H (2015) Sedimentological, geochemical and morphoscopic characterization of sediments from Nador Harbor (Morocco). Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Terre, 36: 1–11.
- Arens, S. M., Van boxel, J. H., Abuodha, J. O. Z (2002) Changes in grain size of sand in transport over a foredune. Earth Surface Processes and Landforms, 27: 1163–1175. doi.org/10.1002/esp.418.
- Arun, T. J., Prasad, K. R., Aneesh, T. D., Limisha, A. T., Sreeraj, M.K., Srinivas, R (2019) Studies on the textural characteristics of sediments from Periyar River Basin, Kerala, Southern India. International Journal of Applied Environmental Sciences, 14(5): 495–526.
- Behbahani, R., Khodabakhsh, S (2018) Sedimentological analysis of fluvial systems. New Finding in Applied Geology, 12 (24): 102–124. doi.org/10.22084/nfag.2018.2455 (In Persian).
- Beshr, H., Almusallam, A. A., Maslehuddin, M (2003) Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete. Construction and Building Materials, 17: 97–103. doi.org/10.1016/S0950-0618 (02)00097-1.
- Best, J., Fielding, C. R (2019) Describing fluvial systems: linking process to deposits and stratigraphy. Geological Society, London, Special Publications, 488: 152–166. doi.org/10.1144/SP488-2019-056.
- Blott, S. J., Pye, K (2008) Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. Sedimentology, 55: 31–63. doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00892.x.
- Carver, R. E (1971) Procedures in Sedimentary Petrology. Wiley Interscience, New York, 653 p.
- Corbett, P., Owen, A., Hartley, A., Pla- Pueyo, S., Barreto, D., Hackney, C (2019) River to reservoir: geoscience to engineering. Geological Society of London, 488. doi.org/10.1144/SP488 488.
- Davoudi, V., Khodabakhsh, S., Bahramabadi, B (2022) Sedimentology, facies and depositional model of the alluvial fan of Abyek, Qazvin. Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches E-ISSN: 2423-8007, 38: 35-58.
- Debnath, J., Sahariah, D., Lahon, D., et al., (2023) Assessing the impacts of current and future changes of the planforms of river Brahmaputra on its land use-land cover. Geoscience Frontiers, 14 (4): 101557.
- Demoulin, A (2011) Basin and river profile morphometry: A new index with a high potential for relative dating of tectonic uplift. Geomorphology, 126: 97–107. doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.10.033.
- Di Giulio, A., Ceriani, A., Ghia, E., Zucca, F (2003) Composition of modern stream sand driven from sedimentary source rocks in a temperate climate (Northern Apennines, Italy). Sedimentary Geology, 158: 145–161. doi.org/10.1016/S0037-0738 (02)00264-6.
- Folk, R. L (1974) Petrology of sedimentary rocks. Hemphill Publishing Company Austin, Texas, 182 p.
- Frings, R. M (2008) Downstream fining in large sand-bed rivers; Earth- Science Reviews, 87: 158-193.
- Garzanti, E., Vezzoli, G (2003) A classification of metamorphic grains in sands based on their composition and grade. Journal of Sedimentary Research, 73: 830–837.
- Goudie, A., Middleton, N (2006) Desert Dust in the Global System. Springer, 288 p.
- Guarnieri, P., Pirrotta, C (2008) The response of drainage basins to the late Quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messin Strait (NE Sicily). Geomorphology, 95: 260–273. doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.013.
- Gupta, A., Hock, L., Xiaojing, H., Ping, C (2002) Evaluation of part of the Mekong River using satellite imagery. Geomorphology, 44: 221–239. doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00176-3.
- Mao, L., Cavalli, M., Comiti, F., Marchi, L., Lenzi, M.A., Arattani, M (2009) Sediment transfer processes in two Alpine catchment of contrasting morphological settings. Journal of Hydrology, 364: 88–98. doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.10.021.
- McBride, E. F (1971) Mathematical treatment of size distribution data. Procedure in sedimentary petrology: John Wiley & sons, New York, pp 109–127.
- Miall, A. D (2006) Case studies of oil and gas fields in fluvial reservoirs. In: The Geology of Fluvial Deposits. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Motiei, H (2003) Geology of Iran: Stratigraphy of Zagros. Geological Survey of Iran Publication. 536 p (In Persian).
- Moussavi Harami, R (2005) Sedimentology. Astan Qods Publication. 474 p (In Persian).
- Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., Khanebad, M (2004) Analysis of controls downstream fining along three gravel-bed rivers in the Band-e-Golestan drainage basin NE Iran. Geomorphology, 61: 143–153. doi.org/10.1016/j.geomorph.2003.12.005.
- Noura, M. R (2023) Study of texture, architectural elements and sedimentary model of Mianroud

- mountains river. Mirjaveh. Southeast Iran. *Journal of applied sedimentology*, 11(21): 129–143. doi.org/10.22084/psj.2022.25739.1336 (In Persian).
- Owen, A., Nichols, G. J., Hartley, A. J., Weissmann, G. S., Scuderi, L. A (2015) Quantification of a distributive fluvial system: the salt wash DFS of the morrison formation, SW USA. *Journal of Sedimentary Research*, 85: 544–561. doi.org/10.2110/jsr.2015.35.
- Palm, S., Proske, T., Rezvani, M., Hainer, S., Muller, C., Graubner, C. A (2016) Cements with a high limestone content–Mechanical properties, durability and ecological characteristics of the concrete. *Construction and Building Materials*, 119: 308–318. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.009.
- Peterson, C. D., Minor, R., Peterson, G. L., Gates, E. B (2011) Pre-and post-Missoula flood geomorphology of the Pre-Holocene ancestral Columbia River Valley in the Portland forearc basin, Oregon and Washington, USA. *Geomorphology*, 129: 276–293. doi:10.1016/j.geomorph.2011.02.022.
- Pettijohn, F. J (1949) *Sedimentary Rocks*. Harper and Brothers, New York, 526 p.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., Siever, R (1987) *Sand and sandstone*. Springer-Verlag. New York. 553 p.
- Rahman, M., Dustegir, M., Karim, R (2018) Recent sediment flux to the Ganges-Brahmaputra-Meghna delta system. *Science of the Total Environment*, 643: 1054–1064. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.147.
- Saha, S., Basak, S. B (2020) Sedimentology of the fluvial deposits, the Old Brahmaputra River, Mymensingh, Bangladesh. *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics*, 8(1): 11–18. doi.org/10.9790/0990-0801031118.
- Saha, S., Roy, M. K., Reza, A. H. M. S (2017) Textural characteristics of the sediments of the Tista River, Rangpur, Bangladesh. *Journal of Life & Earth Sciences*, 12: 73–79.
- Sahiduzzaman, M (2024) Grain size analysis and depositional environment for Brahmaputra River sand of Kurigram District, Bangladesh. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 13(2): 1378–1390.
- Sahoo, S., Sharma, A (2023) Turbulent flow mechanisms in meandering channels with sediment transport. *Water Practice Technology*, 18(3): 484–500.
- Schlunegger, F., Badoux, A., Mc Ardell, B. W., Gwerder, C., Schnydrig, D., Riek-zapp, D., Molnar, P (2009) Limits of sedimentation transfer in an alpine debris-flow catchment, Illgraben, Switzerland. *Quaternary Science Reviews*, 20: 1097–1105.
- Singh, R., Kumar, R., Bahuguna, I. M (2020) Grain size analysis of dune and bar sediments of the Shyok River between Khalsar and Hunder village, Karakoram Range, Ladakh, India. *Journal of the Geological Society of India*, 95(2): 183–189.
- Smalley, I. J., Smalley, V (1983) Loess material and Loess deposits: formation, distribution and con sequences. *Brookfield and Ahlbrandt*, 51–68.
- Sneed, E. D., Folk, R. L (1958) Pebbles in the lower Colorado river, Texas, a study in particle morphogenesis. *The Journal of Geology*, 66: 114–150. doi.org/10.1086/626490.
- Sohag, A., Roy, M. K., Islam, Md. M., Rahman, Z., Ahmed, F., Alim, A., Arafath, Md. Y (2024) Textural Characteristics and Depositional Regime of the Shitalakshya River Sediments, Bangladesh. *Geofluids*, 957253, doi.org/10.1155/2024/1957253.
- Stow, D. A.V., Nicholson, U., Kearsley, S., Tatum, D., Gardiner, A., Ghabra, A., Jaweesh, M (2020) The Pliocene-Recent Euphrates river system: Sediment facies and architecture as an analogue for subsurface reservoirs. *Energy Geoscience*, 1: 174–193.
- Stroeven, P., Hu, J., Guo, Z (2009) Shape assessment of particles in concrete technology: 2D image analysis and 3D stereological extrapolation. *Cement and Concrete Composites*, 31: 84–91.
- Tucker, M. E (1991) *Sedimentary petrology: an Introduction to the origin of sedimentary rocks*. Blackwell, 260 p.
- Tucker, M. E (2001) *Sedimentary Petrology (3rd Edition)*. Blackwell, Oxford 260 p.
- Vendenberghe, J (2003) Climate forcing of fluvial system development: an evolution of ideas. *Quaternary Science Reviews*, 22: 2053–2060. doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00213-0.
- Venkatesan, S., Singarasubramanian, S. R (2016) Textural analysis of surface sediments in Arasalar River, Tamil Nadu and Pondicherry Union Territory, India. *International Journal of Applied Research*, 2(12): 164–171.
- Watson E. B., Pasternack, G. B., Gray, A., Goni, M., Woolfolk, A. M (2013) Particle size characterization of historic sediment deposition from a closed estuarine lagoon, Central California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*: 126: 23–33.
- Zhang, Y., Gu, L., Zhang, Q (2022) Durability of manufactured sand concrete in atmospheric acidification environment. *Case Studies in Construction Materials*, 17: e01613.
- Zieliński, P., Sokołowski, R. J., Jankowski, M., Standzikowski, K (2018) The climatic control of sedimentary environment changes during the Weichselian – An example from the Middle Vistula Region (eastern Poland). *Quaternary International*, 501: 120–134.

Study of sedimentological indices of alluviums of Khorramrood River (Khorramabad city) and evaluation of their suitability for use as concrete aggregate

A. Jamshidi^{1*}, M. Sedaghatnia^{2,3} and S. Aligholi⁴

1- Assoc. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2- Ph. D., student sedimentology and sedimentary rocks, Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran

3- Expert of the Central Laboratory of Lorestan University, Khorramabad, Iran

4- Dept., of Engineering Geology, Institute of Innovation, Science and Sustainability, Federation University, Ballarat 3350, VIC, Australia 3350, VIC, Australia

* Jamshidi.am@lu.ac.ir

Received: 2024.9.13 Accepted: 2025.2.18

Abstract

The aim of the study present is to investigate the sedimentological parameters of the sediments of Khorramrood River (Khorramabad city, Lorestan Province) using the moment's method, and determining the origin and how they are transported. In this regard, 15 samples were systematically taken from the bottom and wall sediments of the river channel from depths between 5 and 20 cm. Next, a number of 15 microscopic thin-sections from the sediment grains with a size of 1 ϕ were prepared for mineralogical composition studies with aim determining the source rock of the sediments. The statistical analyses revealed that there are a range of sedimentary grains with the different sizes, with an average diameter of 0.57 ϕ (coarse sand), in Khorramrood River. According to the results of gradation analysis, the sediments fall into the four groups including gS gravel sand (33.33%), sG sand gravel (33.33%), msG sand gravel (20.00%), and gmS sand gravel (13.33%). The average of sediments sorting was equal to 2.21 ϕ , indicating the very bad sorting of sediments. The average of elongation index (K) and skewness (Sk) of the grains is 1.82 and 0.13, respectively, showing that they are skewed towards fine-grained sediments. According to the investigations, stretching, jumping, and suspension were identified as the most main mechanisms of sediment movements. The detrital components of the sediments include quartz, feldspar, and sedimentary rock-fragments (such as sandstone, carbonate, and chert) and with the less amounts igneous and metamorphic rock-fragments. Based on these findings, the erosion of sedimentary rocks belonging to Khorramabad anticline can be considered as the main source of Khorramrood river sediments. Finally, the gradation results showed that among the studied sediment samples, 2 of them have the potential to be used as concrete aggregate.

Keywords: Khorramrood River, Alluvium, Sedimentology, Moment's method, Concrete aggregate

Introduction

River environments include complex systems of erosion, transport and sedimentation that cause the formation of various surface landscapes. These environments are dynamic systems affected by climatic conditions, catchment basin physiography, tectonic events, geology, flow speed and depth, and sediment transport, all of which play a role in the formation of sedimentary facies.

Many of the world's hydrocarbon reserves from the Precambrian to the Pliocene have been observed in river sediments. Besides economic aspects, river environments were investigated by various researchers in regard of sedimentology, such as the relationship

between processes and bedforms, morphological analyses, management and evolution of rivers in response to human activates and climatic changes.

Khorramrood River (Khorramabad city) is one of the sub-branches of the Kashkan River (Lorestan Province) which eventually flows into the Karkhe River (Khuzestan Province). Given that a part of this river passes through the center of Khorramabad city, so far study was not done regarding the parameters of sedimentology, the origin of sediments and how they are transported in this river. Therefore, the present study aims to investigate the sedimentological parameters of the alluviums of Khorramrood River (in the parts

passing through the center of Khorramabad city), determining the origin of sediments and identify the how they are transported.

Geographical location and geology of the region

The studied area includes a part of Khorramrood River in the center of Khorramabad city (Lorestan Province) with a long of 18 km. Figure 1 shows the location of Khorramrood River and the part of sediments on the bottom of the river channel. This river is one of the main sub-branches of the Kashkan River, which eventually flows into the Karkheh River. Based on geological map of the area, which is part of the 1/25000 map of Khorramabad city, there are some of outcrops belonging to formations of the geological second and third periods. The second period units include Sarvak, Ilam, Gurpi, and Amiran formations and the third period units include Tarbor, Kashkan, Asmari-Shahbazan, and Gachsaran formations. Also, part of the outcrops of study area includes young alluvial sediments.

Methodology of study

In order to achieve the goals of the present study, the sampling was carried out at a distance of 23 km from the Khorramrood River. The 15 samples were taken every 1 to 1.5 km from the wall and bottom of the river channel at a depth of 5 to 20 cm. Gradation analysis were performed using the dry method on sediments between 10 to 230 mesh. The mineralogical composition of the sand particles through microscopic thin-sections studies were carried out. Finally, based on the obtained data, the results have been analyzed.

Results and discussion

The results of gradation analysis show that the studied sediments of Khorramrood River are classified into four groups: gravelly sand, sandy gravel, clayey sand gravel, and gravelly clayey sand based on the classification of Folk (1974).

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum f.m}{n}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum f(m-\bar{\alpha})^2}{100}}$$

$$Sk = \frac{\sum f(m-\bar{\alpha})^3}{100\sigma^3}$$

$$K = \frac{\sum f(m-\bar{\alpha})^4}{100\sigma^4}$$

where, m is the middle point, f and n are the frequency of each sedimentary class and total frequency of sedimentary classes, respectively. In Table 4, the values of sedimentological parameters determined from the equations 1-4 are presented. The average diameter of sediment grains is between 0.29 and 0.82 (average: 0.57 ϕ). Considering that the diameter of the grains is between 0 and 1 ϕ , those are classified as coarse sand. The skewness of the sediments varies from -0.02 to 0.28 (average: 0.13), which indicates the skewing towards fine-grained sediments. Elongation of sediments is from 1.74 to 1.99 (average: 1.82), showing very elongated. This type of elongation indicates the good sorting of the grains as that be seen in some sediments such as samples No. 1, 2 and 3.

Conclusions

The statistical analyses showed that there are a range of sedimentary grains in Khorramrood River with the different sizes, with an average diameter of 0.57 ϕ . According to the results of gradation analysis, the sediments fall into the four groups including gravel sand, sand gravel, sand gravel, and sand gravel. The stretching, jumping, and suspension were identified as the most main mechanisms of sediment movements. The detrital components of the sediments include quartz, feldspar, and sedimentary rock-fragments (such as sandstone, carbonate, and chert) and with the less amounts igneous and metamorphic rock-fragments. Based on these findings, the erosion of sedimentary rocks belonging to Khorramabad anticline can be considered as the main source of Khorramrood river sediments. Finally, according to the results of studies on the grain size distribution of sediments collected from the Khorramrood River, some areas of the sampling have good potential as aggregate materials for use in concrete.