

تأثیر روند ریزشوندگی به سوی پایین دست رسوبات رودخانه‌ای (مطالعه موردی: رودخانه راین در جنوب شرقی کرمان)

مهلا معاذالهی؛ دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

محمد خانه‌باد*؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
رضا موسوی حرمی؛ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
اسداله محبوبی؛ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۲۲

چکیده

رودخانه راین در جنوب شرق کرمان قرار دارد و یکی از رودخانه‌های دائمی با طول تقریبی ۱۴ کیلومتر است. این پژوهش با هدف بررسی رسوبات رودخانه راین از نظر روند ریزشوندگی، بافت و رخساره‌های رسوبی انجام گرفته است. به منظور بررسی پارامترهای رسوبی، تعداد ۴۲ نمونه از بستر اصلی کانال رودخانه برداشته شد. رسوبات این رودخانه عمدتاً دارای جورشدگی بد و بسیار بد، کج‌شدگی منفی تا بسیار مثبت و کشیدگی متوسط و پهن است. میان‌بند ۲۲/۶۲۷ تا ۰/۲۶۷ و میانگین بین ۱۴/۹۲۸ تا ۰/۳۵۷ میلی‌متر در تغییر است. این اعداد نشان‌دهنده کاهش میزان ذرات دانه درشت در حد گراول و از طرفی افزایش ذرات دانه ریزتر به سمت پایین دست است. این رودخانه بستر گراولی ماسه‌ای دارد و پیوستگی رسوبی در آن دیده می‌شود. فرم دانه‌های این رودخانه بیشتر به صورت تیغه‌ای و تیغه‌ای هم‌بعد است. بررسی رخساره‌های رسوبی این رودخانه نشان‌دهنده رخساره‌های گراولی (Gmm, Gmc, Gh, Gp, Gmg) و ماسه‌ای (Sm) و گلی (F1) است. رخساره‌های موجود در چهار عنصر ساختاری کانال (CH)، جریان گراولیت‌ای (SG)، بار گراولی و اشکال لایه‌ای (GB) و رسوبات ریز خارج از کانال (FF) تشکیل شده است. بر اساس نتایج حاصل، مدل رسوبی رودخانه راین رودخانه‌ای بریده‌بریده با بستر گراولی ماسه‌ای است.

کلیدواژه‌ها: پارامترهای رسوب‌شناسی، رودخانه راین، ریزشوندگی به سمت پایین دست، کرمان.

مقدمه

مشخصه بسیاری از رودخانه‌ها این است که به سمت پایین دست اندازه دانه‌های بستر کاهش می‌یابد. این پدیده ریزشوندگی به سمت پایین دست شناخته شده است. علل ریزشوندگی به سمت پایین دست موضوع مورد مطالعه برای چندین دهه بوده است، زیرا تغییرات اندازه دانه تحت تأثیر حمل و نقل رسوب، اندازه بستر و جورشدگی هیدرولیکی ایجاد می‌شود (فرینگ و همکاران، ۲۰۱۰: ۸۳۱). اندازه ذرات یکی از ویژگی‌های مهم رودخانه‌ها و یکی از فاکتورهای اصلی است که مورفولوژی کانال و هیدرولیک را کنترل می‌کند (موهتر و همکاران، ۲۰۱۷: ۶۸۵).

دو فرایند برای کاهش اندازه ذرات ریزشونده به سمت پایین دست رودخانه با بستر گراول وجود دارد: (۱) سایش دانه‌های منفرد که باعث کاهش اندازه دانه می‌شود، و (۲) جورشدگی هیدرولیکی یا حمل و نقل انتخابی که در تشخیص نوع حمل و نقل استفاده می‌شود (موسوی حرمی و همکاران، ۲۰۰۴: ۴۷۴). رسوبات رودخانه‌ها از فرسایش سنگ‌های

قدیمی تر، نظیر سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و یا حرکت مجدد رسوبات ایجاد می‌شود. برخی به‌راحتی فرسایش می‌یابد، در حالی که بعضی دیگر، به‌خصوص سنگ‌های آذرین و دگرگونی، تنها زمانی به‌راحتی دچار فرسایش می‌شود که در سطح رسوبات رودخانه واقع شده باشد (جاشوا و اوپیانجو، ۲۰۱۰: ۴۹۸؛ اوکیدو و جیبری، ۲۰۱۲: ۴۳).

یکی از اجزای مهم سیستم رودخانه‌ای تأثیر هیدرولیک در نزدیکی بستر و مقاومت در برابر جریان، میزان حمل و نقل رسوبات و توزیع اندازه دانه است (پاول و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۴۹۴). کاهش اندازه مواد بستر گراولی با افزایش فاصله به سمت پایین دست، به علت سایش در طول حمل و نقل، سایش گراول در محل، هوازدگی، افزایش انتقال رسوبات با اندازه‌های ریزتر و آثار شاخه‌های فرعی است (پیزوتو، ۱۹۹۵: ۷۵۳).

ویژگی‌های بافتی رسوبات به‌طور گسترده تحت تأثیر چندین فاکتور است، شامل ناحیه منشأ، آب‌وهوا، مسافت و انرژی انتقال رسوب در محیط‌های ته‌نشست (کومار مایتی و میتی، ۲۰۱۶: ۱۱۲۸). نرخ تغییر اندازه دانه از پیامدهای مهم تغییرات به سمت پایین دست و حمل و نقل رسوبات (رید و همکاران، ۱۹۹۷: ۹۵) و نیز زیست‌بوم رودخانه است (پتس و همکاران، ۲۰۰۰: ۲۴۹). افزایش میزان رسوبات در رودخانه نقش مهمی در حمل و نقل مواد موجود در بستر ایفا می‌کند. به‌علاوه، اطلاعات مربوط به وزن و اندازه ذرات رسوب باعث افزایش اطلاعات مربوط به حمل و نقل رسوبات و مشکلات مربوط به آن می‌شود (باراسا و همکاران، ۲۰۱۶: ۱).

دو روش مختلف برای شناخت رسوبات وجود دارد: (۱) آنالیز رخساره‌ای، و (۲) استفاده از رویکردهای سنتی در آنالیز اندازه ذرات (فلود و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۸؛ کرومباین، ۱۹۳۸: ۸۴). ترکیب و ویژگی‌های فیزیکی رسوبات و سنگ‌های رسوبی بیشتر بر اثر فرایندهای شیمیایی در طول هوازدگی، حمل و نقل و دفن (دیاژنز) کنترل می‌شود (برولکی، ۲۰۱۰: ۵۰۸). بنابراین، درک ویژگی‌های فیزیکی رسوبات و سنگ‌های رسوبی در درک فرایندهای فیزیکی و شیمیایی بر ته‌نشست‌های رسوبی مؤثر است. توزیع اندازه ذرات از رسوبات آواری اطلاعات مستقیمی از تغییرات نوع حمل و نقل و محیط رسوبی فراهم می‌کند (لیو و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۱؛ واندنبرگ، ۲۰۱۳: ۱۸). بررسی‌های متعددی درباره بافت و رخساره‌های رسوبی رودخانه‌ها صورت گرفته است، از جمله خدای و همکاران (۱۳۸۵)، فیاضی بروجنی و همکاران (۱۳۹۵)، خانه‌باد و همکاران (۱۳۹۴)، پاسبان و همکاران (۱۳۹۱).

این مقاله به بررسی ریزشوندگی به سمت پایین دست و فاکتورهایی مؤثر بر آن در حوضه آبریز رودخانه راین با مساحت ۱۱۴/۵۸ کیلومتر مربع، عرض متوسط ۲/۴۴ کیلومتر و شیب متوسط ۱۸/۴۰ درصد واقع در جنوب شرقی کرمان می‌پردازد که ممکن است الگویی در تفسیر سنگ‌های سیلیسی-آواری قاره‌ای در ادوار گذشته زمین‌شناسی استفاده شود. سه هدف اصلی در منطقه مورد مطالعه عبارت است از مطالعه تغییرات بافتی به سمت پایین دست، شناسایی مدلی برای ریزشوندگی به سمت پایین دست، شناسایی رخساره‌های رسوبی رودخانه راین.

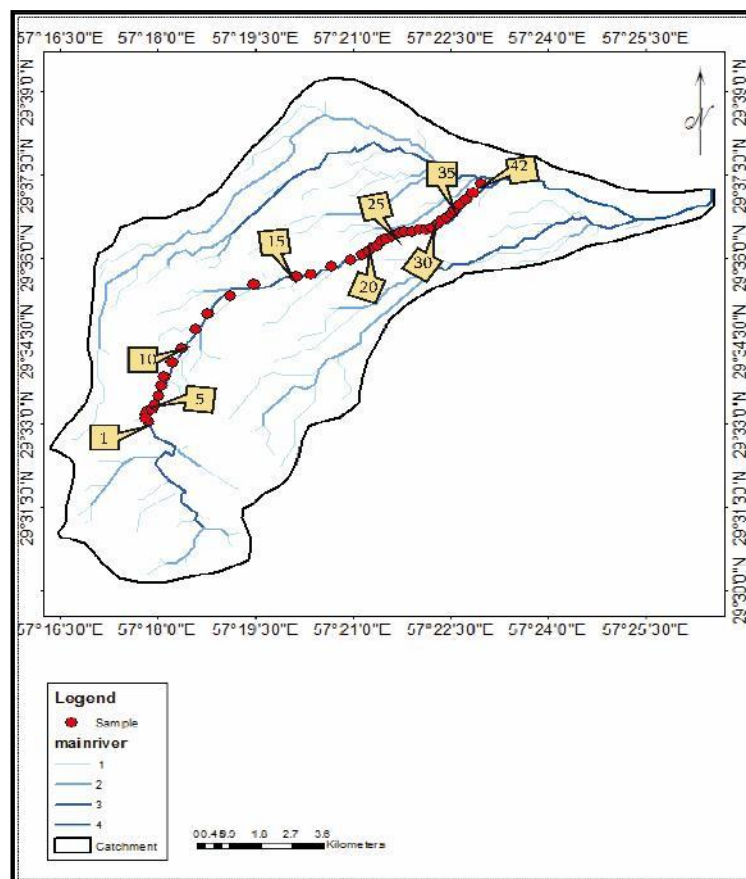
مواد و روش‌ها

طی عملیات صحرایی، تعداد ۴۲ نمونه به کمک بیلچه زمین‌شناسی از کانال اصلی رودخانه برداشت و موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها با GPS ثبت شد (شکل ۱). نمونه‌های جمع‌آوری شده به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن، با استفاده از غربال خشک و با فواصل ۰/۵ فی (از ۵/۵- فی تا ۴ فی) غربال شد. سپس، وزن رسوب روی هر الک با ترازو اندازه‌گیری شد و از نظر اندازه در دسته‌های مختلف قرار گرفت و با استفاده از نرم‌افزار اکسل پارامترهای آماری مختلف محاسبه شد (جدول ۱).

تعداد ۱۰ مقطع نازک از رسوبات قرارگرفته روی الک ۱ فی (۰/۵ میلی‌متر) برای بررسی ترکیب رسوبات و سایش تهیه شد. پارامترهای بافتی رسوبات شامل میانه، میانگین، جورشدگی، کج‌شدگی و کشیدگی رسوبات، با استفاده از روش ترسیم جامع فولک (۱۹۸۰: ۱۸۴) محاسبه شد (جدول ۱).

رودخانه راین در استان کرمان واقع شده است. این رودخانه در ۱۴ کیلومتری جنوب غربی راین و بر دامنه‌های جبهه شرقی کوه هزار فرومی ریزد. طول آن تقریباً ۲۴/۳۸ کیلومتر است. آبشار راین از ریزش رودخانه‌ای پدیدمی‌آید که سرچشمه‌های آن در ارتفاعات بالادست و از دل دامنه‌ها و دیواره‌های برف‌گیر هزار جریان می‌یابد. این حوضه آبریز به رودخانه‌های تهرود، بره‌سوز و سوراخ مار متصل می‌شود.

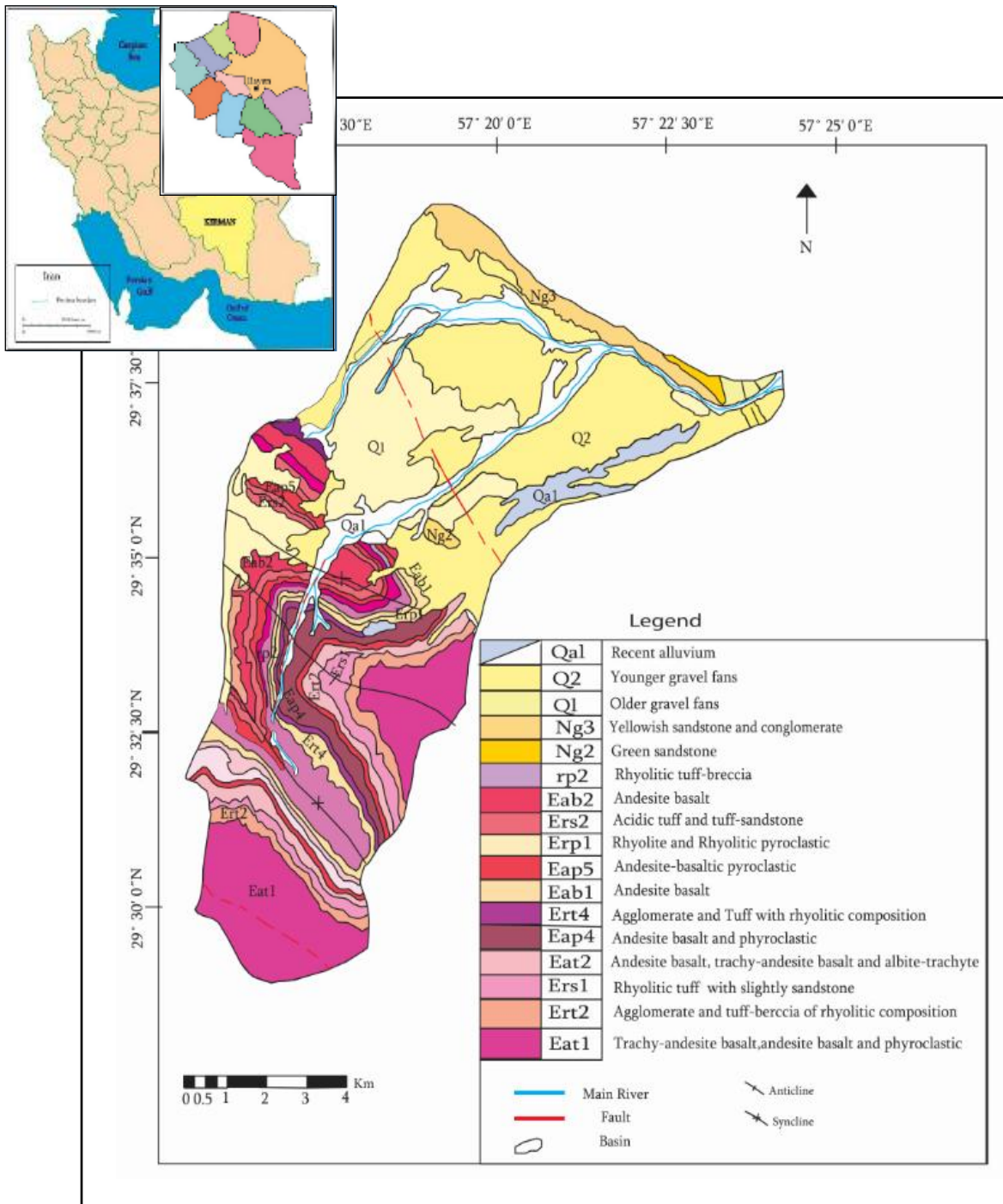
منطقه مورد مطالعه قسمتی از مجموعه آتشفشانی هزار (از نظر تقسیمات زمین شناسی بخشی از کمربند ارومیه - دختر) است که در جنوب کرمان قرار دارد (شکل ۲). این مجموعه، آخرین فاز آتشفشانی ائوسن را در کرمان نشان می دهد، شامل تناوبی از گدازه، مواد آذرآواری و رسوبات سیلیسی-آواری. گدازه ها شامل آندزیت بازالتی، بازالت آندزیتی و بازالت؛ نهشته های آذرآواری از نظر غیر ژنتیکی شامل برش و ماسه سنگ های آذرآواری؛ و سنگ های رسوبی شامل سنگ آهک، سیلتستون و ماسه سنگ است (شکل ۲). این سنگ ها به احتمال زیاد حاصل فوران های مکرر آتشفشان های مرکب قدیمی (با سن ائوسن) است که به صورت دوره ای فعالیت داشته و فوران های آن بسیار انفجاری بوده است (احمدی پور و ملکی، ۱۳۸۸: ۴۷). قدیمی ترین واحد سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه، از گدازه آندزیت بازالت پورفیریک و مواد آذرآواری تشکیل شده است. واحد بعدی، گدازه از جنس تراکی بازالت است. سپس، نهشته های آذرآواری، ماسه سنگ های ولکانیکی و گدازه وجود دارد. نهشته های آذرآواری این واحد حاوی قطعات نیمه گرد شده از جنس آندزیت، ماسه سنگ و قطعات مختلف است. به سمت بالا، تناوبی از توف ها و گدازه های آندزیتی وجود دارد (فیشور و اسکمینک، ۱۹۸۴: ۳۱۲؛ کاز و رایت، ۱۹۹۱: ۳۵۷).



شکل ۱. حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه و محل نمونه برداری رسوبات از بالادست (جنوب غرب) به سمت پایین دست (شمال شرق) رودخانه راین

جدول ۱. پارامترهای رسوبی اندازه‌گیری شده

شماره نمونه	فاصله (km)	میانه (mm)	میانگین (mm)	جورشدگی (فی)	کج‌شدگی	کشیدگی	شیب (%)	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	نامگذاری رسوبات
۱	۰	۱۷/۱۴۸	۱۳/۲۳۲	۱/۷۷۹	-/۳۸۵	۱/۰۴۶	۱۸/۵۷	۸۵/۹۸۶	۱۳/۸۵۱	۰/۱۷۹	گراول
۲	۰/۰۶	۱۹/۴۲۷	۱۴/۸۵۶	۱/۹۸۲	-/۴۰۵	۱/۰۶۸	۲۴	۸۵/۳۱۷	۱۴/۵۰۰	۰/۱۸۲	گراول
۳	۰/۲	۱۶	۱۴/۷۵۳	۱/۷۰۰	-/۱۹۲	-/۷۳۲	۲۵	۸۹/۲۸۵	۱۰/۵۲۱	۰/۱۹۲	گراول
۴	۰/۳۱	۱۰/۱۹۶	۸/۴۷۳	۲/۱۷۵	-/۲۲۹	-/۷۲۱	۲۰/۸۳	۷۴/۳۵۱	۲۵/۴۸۱	۰/۱۶۶	گراول
۵	۰/۴۱	۱۲/۹۹۶	۱۲/۴۰۶	۱/۷۰۹	-/۱۹۷	-/۹۶۴	۱۰/۸۳	۸۵/۳۶۶	۱۴/۳۵۵	۰/۲۹۸	گراول
۶	۰/۵۷	۲۲/۶۲۷	۱۴/۹۲۸	۲/۰۰۷	-/۵۲۹	-/۹۳۹	۱۰	۸۴/۶۱۸	۱۵/۰۸۸	۰/۲۹۳	گراول
۷	۰/۷۶	۱۲/۹۹۶	۱۱/۷۱۲	۱/۷۲۹	-/۱۹۲	-/۹۳۰	۴/۷۳	۸۶/۰۳۴	۱۳/۵۱۵	۰/۴۴۵	گراول
۸	۱/۰۵	۵/۰۹۸	۵/۷۱۹	۲/۲۴۶	-/۰۱۵	-/۹۴۷	۱۱/۷۸	۶۷/۷۱۷	۳۲/۲۸۲	۰/۶۸۶	گراول
۹	۱/۴۱	۴/۷۵۶	۴/۴۸۷	۲/۶۳۸	-/۱۳۵	-/۱۰۸۶	۳/۷۸	۶۳/۱۶۲	۳۴/۹۵۱	۱/۸۸۶	گراول ماسه‌ای
۱۰	۱/۷	۵/۶۵۶	۴/۶۴۶	۲/۵۰۲	-/۲۳۷	-/۸۸۸	۵/۷۱	۶۵/۹۴۸	۳۲/۷۴۲	۱/۳۰۹	گراول ماسه‌ای
۱۱	۲/۲۳	۴/۹۹۳	۵/۱۸	۱/۹۱۹	-/۰۲۸	-/۰۰۸	۴/۹۰	۶۹/۸۸۴	۲۹/۷۳۱	۰/۳۸۳	گراول ماسه‌ای
۱۲	۲/۷۲	۴/۹۲۴	۵/۴	۲/۰۸۰	-/۰۱۱	-/۹۲۸	۴/۰۸	۶۷/۱۵۵	۳۲/۰۸۴	۰/۷۵۹	گراول ماسه‌ای
۱۳	۳/۴۸	۴/۵۹۴	۴/۴۸۷	۲/۵۳۲	-/۱۲۴	-/۰۳۰	۵	۶۲/۵۰۶	۳۶/۱۰۶	۱/۳۸۷	گراول ماسه‌ای
۱۴	۴/۰۸	۳/۰۳۱	۵/۴	۲/۰۷۲	-/۰۲۱	-/۹۳۱	۴/۲۶	۶۸/۲۱۷	۳۱/۰۳۰	۰/۷۵۱	گراول ماسه‌ای
۱۵	۴/۸۷	۵/۲۷۸	۲/۳۵	۲/۰۹۶	-/۲۶۲	-/۳۱۸	۴/۶۸	۵۱/۴۳۶	۴۶/۴۰۵	۲/۱۵۷	گراول ماسه‌ای
۱۶	۵/۵۸	۱/۷۷۷	۴/۷۵۶	۲/۶۳۲	-/۱۵۶	-/۹۵۲	۴/۸۵	۶۴/۱۲۲	۳۴/۰۹۰	۱/۷۸۷	گراول ماسه‌ای
۱۷	۶/۶۵	۱/۴۱۴	۱/۵۸	۲/۴۳۵	-/۱۲۶	-/۱۵۱	۴/۰۷	۳۸/۲۷۳	۸۵/۰۵۱	۳/۶۷۵	گراول ماسه‌ای
۱۸	۷/۰۴	۱/۶۸۱	۱/۳۱۹	۲/۲۳۴	-/۰۲۸	-/۹۳۵	۳/۹۴	۳۴/۴۰۶	۶۳/۳۶۳	۲/۲۲۹	گراول ماسه‌ای
۱۹	۷/۶۲	۴	۱/۵۳۳	۲/۴۴۴	-/۰۹۹	-/۰۰۵	۳/۹۴	۳۷/۹۱۹	۵۸/۴۴۴	۳/۶۳۶	گراول ماسه‌ای
۲۰	۸/۱۴	۴/۹۲۴	۲/۶۰۹	۲/۶۸۷	-/۳۲۷	-/۹۳۹	۵/۳۴	۵۶/۵۵۷	۴۰/۱۳۸	۳/۲۰۴	گراول ماسه‌ای
۲۱	۸/۴۸	۲/۱۱۴	۳/۴۴۱	۲/۶۱۷	-/۳۰۱	-/۸۷۶	۴/۰۳	۶۱/۵۹۲	۳۸/۱۷۸	۱/۲۲۸	گراول ماسه‌ای
۲۲	۸/۶۷	۱/۵۱۵	۱/۶۹۳	۱/۸۹۲	-/۲۴۰	-/۰۹۵	۳/۵۲	۳۶/۸۳۳	۶۱/۹۷۹	۱/۱۸۶	گراول ماسه‌ای
۲۳	۸/۸۶	۱/۵۱۵	۱/۴۱۴	۱/۹۲۵	-/۰۷۰	-/۹۶۶	۱/۵	۳۲/۷۶۳	۶۶/۱۲۷	۱/۱۰۹	گراول ماسه‌ای
۲۴	۸/۹۹	۲/۳۹۴	۲/۰۵	۲/۱۱۶	-/۱۰۱	-/۹۹۳	۶/۶۶	۴۵/۱۵۷	۵۳/۷۰۲	۱/۱۴۰	گراول ماسه‌ای
۲۵	۹/۱۵	۱/۸۴	۱/۶۵۴	۲/۳۳۴	-/۰۹۳	-/۱۰۰	۳/۵۷	۳۲/۲۷۲	۶۰/۸۲۵	۱/۹۰۲	ماسه گراولی
۲۶	۹/۳۱	۲/۳۳۹	۲/۲۹۱	۲/۱۱۵	-/۰۶۹	-/۰۱۸	۳/۱۲	۴۵/۱۷۳	۵۳/۶۴۵	۱/۱۸۰	ماسه گراولی
۲۷	۹/۴۶	۱/۶۷	۱/۵۴۳	۱/۸۵۷	-/۰۷۴	-/۱۶۷	۳/۱۲	۳۱/۰۰۴	۶۷/۶۹۰	۱/۰۰۵	ماسه گراولی
۲۸	۹/۶۴	۱/۵۱۵	۱/۳۳۷	۲/۰۹۵	-/۰۶۵	-/۹۱۰	۴	۳۵/۷۵۷	۶۳/۲۴۰	۱/۰۰۲	ماسه گراولی
۲۹	۹/۸	۲/۰۷	۱/۹۰۹	۱/۹۴۸	-/۰۷۰	-/۱۴۷	۴/۷۰	۳۹/۷۶۱	۵۹/۹۵۹	۰/۲۷۹	ماسه گراولی
۳۰	۹/۹۷	۰/۹۰۱	۱	۱/۹۱۷	-/۱۲۱	-/۹۳۸	۴/۳۷	۲۱/۹۵۰	۷۷/۷۳۲	۰/۳۱۶	ماسه گراولی
۳۱	۱۰/۱۸	۱/۳۱۹	۱/۲۵۹	۱/۷۰۶	-/۰۹۵	-/۰۵۲	۵/۵۵	۲۴/۲۵۲	۷۵/۲۵۴	۰/۴۹۱	ماسه گراولی
۳۲	۱۰/۳۶	۱/۵۴۷	۱/۳۲۸	۱/۸۸۱	-/۱۸۵	-/۹۳۳	۴	۳۰/۱۳۴	۶۸/۶۲۱	۱/۲۴۳	ماسه گراولی
۳۳	۱۰/۵۱	۱/۰۹	۱/۰۹۶	۱/۷۲۸	-/۰۵۶	-/۹۴۷	۳/۵	۲۱/۸۱۰	۷۷/۴۵۰	۰/۷۳۹	ماسه گراولی
۳۴	۱۰/۶۸	۰/۶۱۵	۰/۷۵۸	۱/۶۴۰	-/۰۴۴	-/۰۱۰	۴	۱۳/۴۷۴	۸۵/۷۸۳	۰/۷۴۲	ماسه گراولی
۳۵	۱۰/۸۴	۱/۲۳۱	۱/۲۵۹	۱/۹۳۲	-/۰۳۲	-/۱۵۹	۲/۳۵	۲۵/۴۷۹	۷۳/۴۹۴	۱/۰۲۶	ماسه گراولی
۳۶	۱۱	۱/۲۷۴	۱/۱۲۱	۱/۶۶۵	-/۱۷۴	-/۹۲۴	۴/۳۷	۲۱/۸۶۱	۷۷/۴۶۳	۰/۶۷۴	ماسه گراولی
۳۷	۱۱/۱۷	۱/۶۸۱	۱/۵۳۲	۱/۹۴۳	-/۰۶۰	-/۳۱۳	۴	۳۰/۴۴۲	۶۸/۶۰۱	۰/۹۵۵	ماسه گراولی
۳۸	۱۱/۳۳	۲/۲۹۷	۱/۹۷۶	۱/۶۳۹	-/۱۸۱	-/۲۱۹	۳/۸۸	۳۸/۶۲۰	۶۱/۱۳۷	۰/۲۴۲	ماسه گراولی
۳۹	۱۱/۵۲	۱/۳۶۶	۰/۹۷۷	۲/۳۹۸	-/۲۱۶	-/۸۷۸	۴/۳۷	۲۸/۵۰۵	۶۷/۷۷۱	۳/۷۳۲	ماسه گراولی
۴۰	۱۱/۷۸	۱/۱۴۸	۰/۹۷۷	۲/۳۳۳	-/۰۸۱	-/۸۷۳	۳/۳۳	۲۹/۵۸۰	۶۷/۸۱۹	۲/۵۹۹	ماسه گراولی
۴۱	۱۲/۰۷	۰/۲۶۷	۰/۳۵۷	۱/۸۴۱	-/۰۳۱۷	-/۸۹۷	۳/۴۶	۷/۲۰۲	۸۸/۶۱۸	۴/۱۷۹	ماسه
۴۲	۱۲/۴۲	۱	۰/۹۵۶	۲/۴۹۳	-/۰۱۶	-/۷۶۴	۳/۲۱	۳۱/۵۱۲	۶۶/۱۶۱	۲/۳۲۵	ماسه گراولی



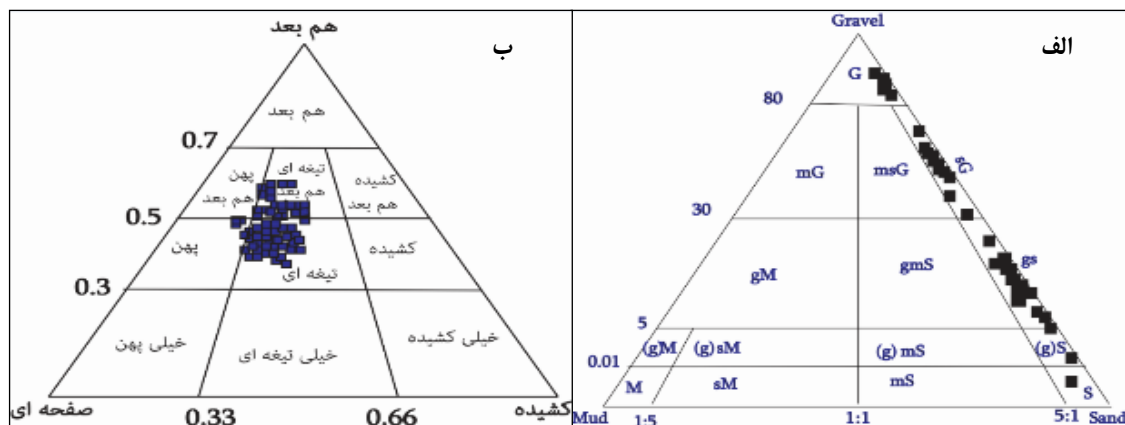
شکل ۲. موقعیت زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه راین (جوکوویچ و دیمیتروویچ، ۱۹۷۳)

یافته‌های پژوهش

تغییرات بافتی به سمت پایین دست

توزیع اندازه ذرات در رسوب به اختصاصات سنگ منشأ، فرایندهای هوازدگی، سایش و جورشدگی انتخابی آن‌ها هنگام حمل و نقل بستگی دارد و بر انواع رخساره‌های رسوبی تأثیرگذار است (سنلدر و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۸۹). پس از آنالیز رسوبات و محاسبه درصد گل، ماسه و گراول، رسوبات بر اساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۸۰) نامگذاری شد (شکل ۳ الف؛

جدول ۱). اندازه‌گیری متوسط اندازه ذرات ثابت می‌کند که بیشتر رسوبات این رودخانه از نوع گراول ماسه‌ای و ماسه گراولی است.



شکل ۳. الف) نامگذاری رسوبات بر اساس مثلث فولک (۱۹۸۰)، ب) نمودار تغییرات اندازه اسنید و فولک (۱۹۵۸)

شکل دانه با ترکیب آن و نوع حرکت و مسافت حمل شده ارتباط مستقیم دارد. برای تعیین شکل ذرات رسوبی، قطر بزرگ، متوسط و کوچک ذرات باقی مانده روی غربال ۴- فی با استفاده از کولیس در تمامی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد که در تمام رسوبات رودخانه وجود دارد. روی دیباگرام مثلی اسنید و فولک (۱۹۵۸) مشخص شد که بیشتر ذرات در محدوده تیغه‌ای و تیغه‌ای هم بعد قرار می‌گیرد (شکل ۳ ب) و علت آن ترکیب رسوبات و شکل اولیه آن‌هاست، به طوری که با توجه به منشأ آندزیتی رسوبات، تیغه‌ای و تیغه‌ای هم بعد بودن تا پایین دست حوضه مشاهده می‌شود.

بحث

ترکیب رسوبات

بر اساس مطالعات صورت گرفته، این حوضه از سه تیپ لیتولوژی تشکیل شده است که تعدادی مقاطع میکروسکوپی از رسوبات موجود در کانال اصلی مطالعه و مشخص شد:

- بیشتر کانی‌های سازنده رسوبات بستر این رودخانه مربوط به سنگ‌های آذرین آتشفشانی و خرده‌های آتشفشانی است، شامل دو نوع گدازه (بازالت آندزیتی الیوین دار و بازالت آندزیتی، شکل ۴ الف، ب).
- نمونه سنگ‌های این رسوبات در نمونه دستی، خاکستری رنگ است و در الیوین‌های موجود در آن، آثار دگرسانی شدید قابل مشاهده است. در این سنگ‌ها بافت پورفیری و گلومروپورفیری قابل مشاهده است. بافت پورفیری حاصل قرارگیری درشت بلورهای پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن در خمیره‌ای از ریزبلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن، کانی‌های تیره و مواد نهان بلور است. بعضی سنگ‌های منطقه زینولیت‌های آندزیتی دارد (شکل ۴ ج).
- با مطالعه مقاطع نازک تهیه شده مشخص شد که رسوبات رودخانه بیشتر از خرده‌های آتشفشانی است، شامل کانی‌های پیروکسن، آمفیبول، الیوین، پلاژیوکلاز، اپک و کوارتز (شکل ۴).
- هر چه به سمت پایین دست رودخانه پیش می‌رویم، از مقدار کانی‌های ناپایدار کاسته و نیز خرد شدن به قطعات کوچک‌تر در اثر حمل و نقل بیشتر می‌شود. برای مثال، به سمت پایین دست کانی پیروکسن کاهش می‌یابد و نیز گردشگی در رسوبات بیشتر می‌شود.
- به سمت پایین دست به دلیل سایش رسوبات گرد یا از زاویه دار بودن آن‌ها کاسته می‌شود.



شکل ۴. تصویر صحرایی از سنگ‌های مشاهده شده در منطقه. الف) بازالت آندزیتی، ب) آندزیت، ج) زینولیت‌های آندزیت موجود در لیتولوژی‌های منطقه مورد مطالعه

مدل ریزشوندگی به سمت پایین دست رودخانه راین

مطالعات رسوب‌شناسی در طول کانال اصلی این حوضه نشان می‌دهد که روند تغییر اندازه ذرات از الگوی نمایی کاهش به سمت پایین دست به طور کامل پیروی می‌کند. از علل ریزشوندگی رسوبات به سمت پایین دست رودخانه راین به شرح زیر است.

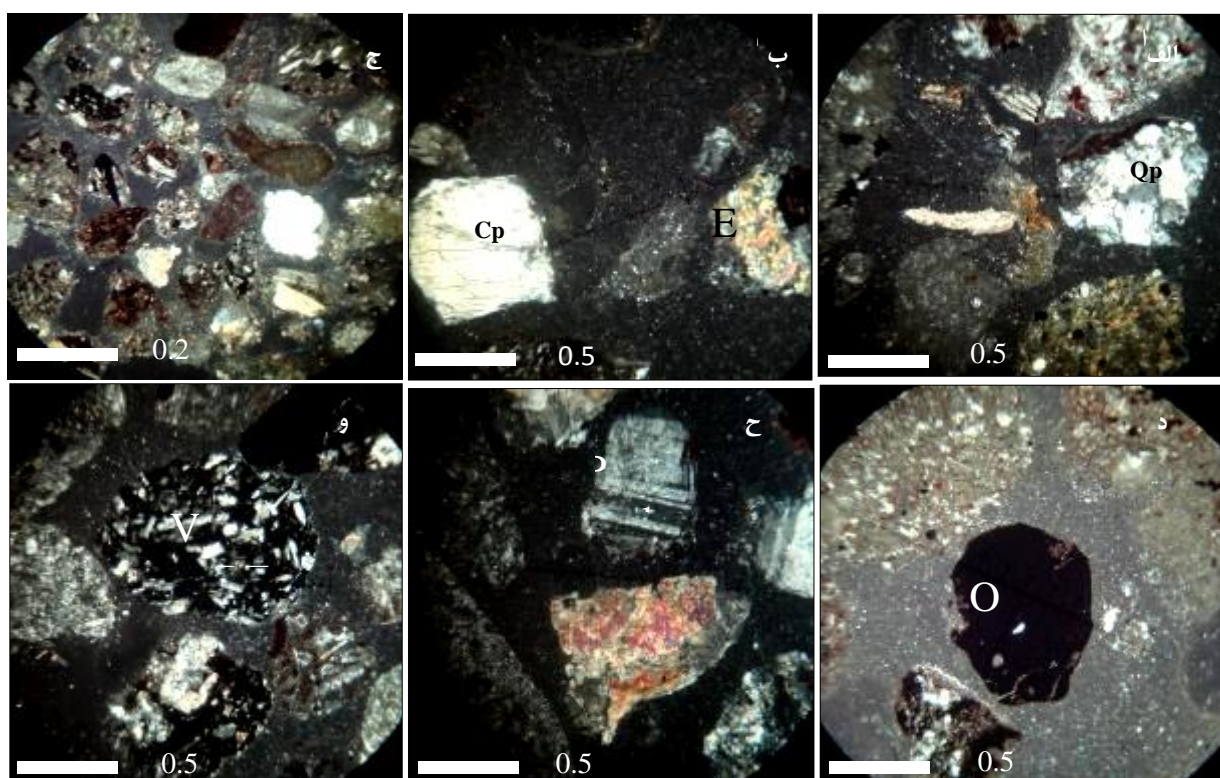
الف) عوامل ژئومورفولوژیکی

۱. کاهش ارتفاع به سمت پایین دست که در پروفیل طولی رودخانه راین نشان داده شده است (شکل ۵ الف).
۲. کاهش شیب توپوگرافی به سمت پایین دست که تغییرات شیب در طول رودخانه راین نشان‌دهنده کاهش تدریجی شیب در طول کانال اصلی رودخانه است (شکل ۵ ب).

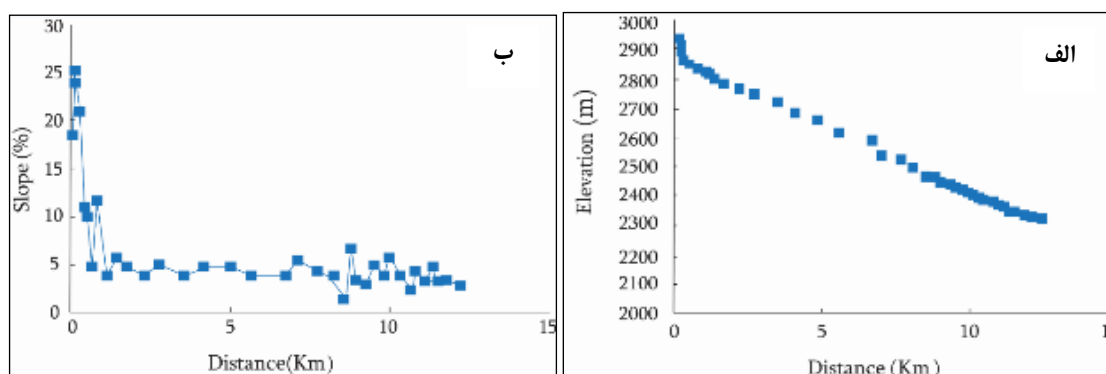
ب) عوامل رسوب‌شناسی

۱. سایش که در ارتباط با ترکیب کانی‌شناسی رسوبات منطقه است. سایش رودخانه‌ای در ارتباط با عملکرد فرایندهای مکانیکی حین حمل و نقل است که باعث کاهش اندازه ذرات، به‌ویژه دانه‌درشت، در طول رودخانه می‌شود (چارچ، ۱۹۷۸: ۴۰). سایش دلالت بر پوشش سطح ذرات دارد. ارتباط دو سطح به صورت تماس اصطکاکی، به خصوص زمانی که سطحی سخت‌تر از دیگری باشد، به طور اساسی بر پیل‌ها و ذرات بزرگ اثر می‌گذارد. در نتیجه، اندازه ذرات به سمت پایین دست کاهش می‌یابد. سایش به دلیل اینکه چندین نوع لیتولوژی را شامل می‌شود، در نتیجه نشان‌دهنده حمل و نقل انتخابی ذرات است (پلوملی، ۱۹۴۸: ۵۲۶؛ بردلی و همکاران، ۱۹۷۲: ۱۲۶۱). سایش ایجادشده بر اثر اصطکاک که در اثر برخورد ذره با ذره و ذره با سنگ‌بستر ایجاد می‌شود در ریزشوندگی به سمت پایین دست نقش

مهمی ایفا می‌کند. تکرار سایش باعث کاهش اندازه و گردشگری ذرات می‌شود (بولارد و همکاران، ۲۰۰۴: ۱۱۰۳). سایش شامل فرایندهایی از جمله ورقه‌ای شدن، ساییده شدن، شکستگی و برخورد ماسه‌ها به همدیگر است. مهم‌ترین عامل مؤثر بر نرخ سایش، جنس، اندازه و شکل اولیه ذرات است (برتولی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۴۸). بر این اساس، در بالادست رودخانه راین اندازه ذرات درشت‌تر و ذرات دارای زاویه بیشتر است. در عوض هر چه به سمت پایین دست حرکت می‌کنیم، ذرات دانه‌ریزتر و زاویه آن‌ها کمتر و گرد شده می‌شود. به سمت پایین دست از میزان خرده‌های رسوبی و کانی پیروکسن به دلیل فرایند سایش کاسته می‌شود و کانی‌هایی مانند کوارتز باقی می‌ماند. رسوبات دارای بافت پورفیری در طول کانال اصلی رودخانه دچار سایش بیشتری نسبت به خرده‌سنگ‌های با بافت شیشه‌ای می‌شود.



شکل ۵. تصاویر مقاطع میکروسکوپی. الف) Qp کوارتزبلی کریستالین، ب) Ep اپیدوت، Cp سربانتین موجود در مقاطع، ج) Qm کوارتزهای منوکریستالین و خرده‌های آتشفشانی، د) Opq کانی اپک، ح) Plg پلاژیورکلاز که به مقدار زیاد در مقاطع مشاهده شد، Px پیروکسن، و) VRF خرده‌سنگ‌های آتشفشانی که در تمامی مقاطع مشاهده شد



شکل ۶. الف) پروفیل طولی رودخانه راین از بالادست تا پایین دست، ب) تغییرات شیب در طول رودخانه راین

۲. جورشدگی هیدرولیکی^۱ یا حمل و نقل انتخابی^۲ که وابسته به عوامل زیر است:

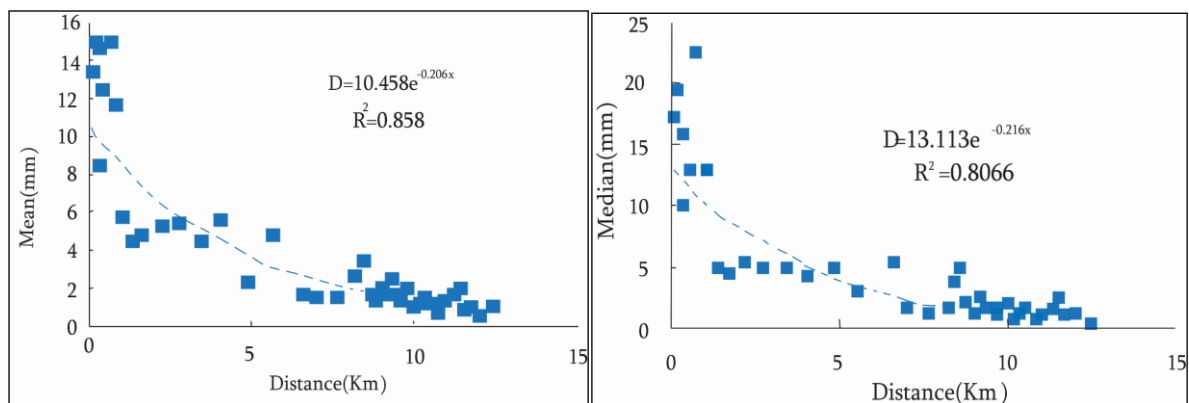
- اندازه ذرات که بر اساس آن ذرات دانه درشت در فواصل کمتر و ذرات دانه ریز در فواصل بیشتر از منشأ بر جای گذاشته می‌شود.
- شکل ذرات که بستگی به میزان زاویه دار بودن اولیه ذرات دارد. بر اساس آن به سمت پایین دست از مقدار زاویه دار بودن ذرات کاسته و ذرات گرد شده یا نیمه گرد شده می‌شود.
- وزن مخصوص ذرات (چگالی) که در رسوبات رودخانه راین بین ۲/۵ تا ۲/۸ در تغییر است. بر این اساس، ذرات با وزن مخصوص بیشتر مسافت کمتری و ذرات با وزن مخصوص کمتر مسافت بیشتری حمل می‌شود.

به طور کلی، قطر میانه به طور نمایی طبق قانون کرومباین (۱۹۳۷) در این رودخانه، کاهش می‌یابد.

$$D=13.113 e^{-0.216x}, R^2=0.806$$

در این معادله، D قطر میانه بر حسب میلی‌متر، x فاصله پایین دست از ایستگاه نخست بر حسب کیلومتر و ضریب کاهش اندازه دانه در فواصل مطالعه شده 0.216 Km^{-1} است.

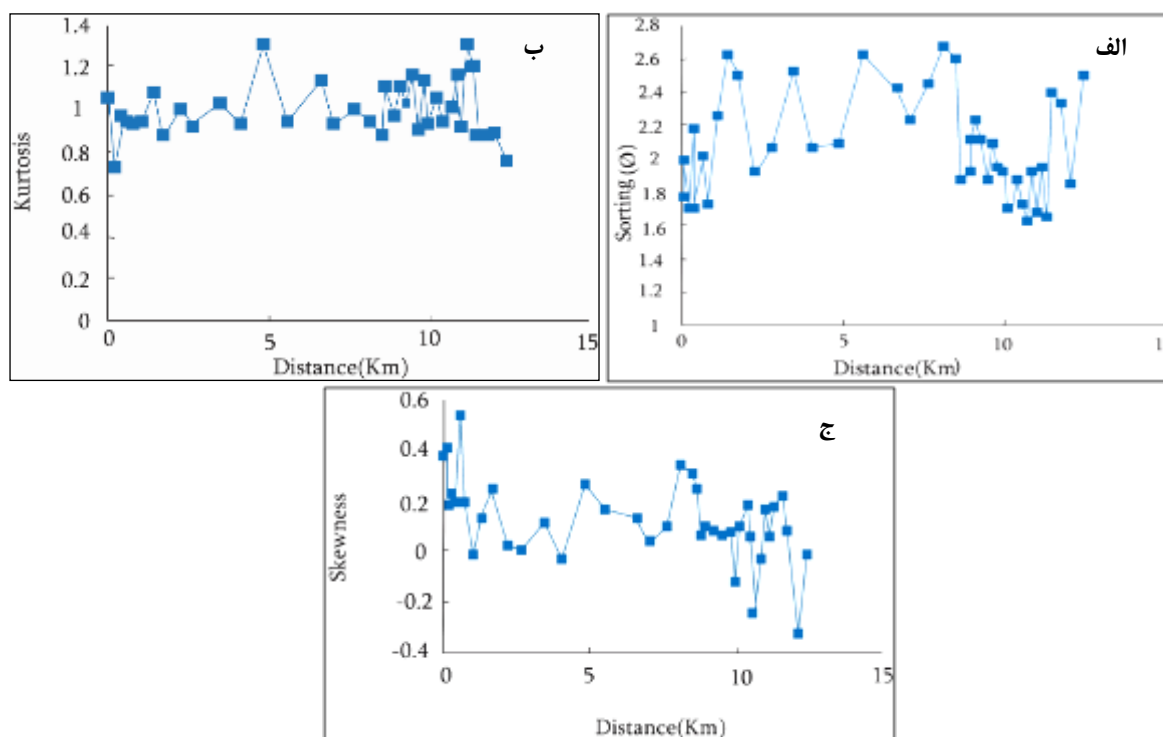
رسم تغییرات میانه و میانگین، اندازه ذرات بر حسب میلی‌متر از بالادست به سمت پایین دست در رودخانه راین نشان می‌دهد که میانه بین ۲۲/۶۲۷ تا ۰/۲۶۷ و میانگین بین ۱۴/۹۲۸ تا ۰/۳۵۷ میلی‌متر در تغییر است (جدول ۱). کاهش میانگین و میانه از بالادست به طرف پایین دست رودخانه ($R^2=0.806, 0.858$) نشان‌دهنده کاهش میزان ذرات دانه درشت در حد گراول و از طرفی افزایش ذرات دانه ریزتر در حد ماسه است (شکل ۷). مطالعات رسوب‌شناسی در طول کانال اصلی رودخانه راین مشخص می‌کند که روند تغییر اندازه دانه، به جز در موارد جزئی که قابل چشم‌پوشی است، از الگوی نمایی کاهش به سمت پایین دست پیروی می‌کند (شکل ۷). این پیوستگی رسوبی در طول رودخانه نشان‌دهنده تأثیر نداشتن یا تأثیر قابل چشم‌پوشی عواملی مانند تغییرات ناگهانی شیب بستر ناشی از تغییرات سنگ‌شناسی، ورود سرشاخه‌های فرعی و رخداد سیلاب‌ها در طول بستر کانال رودخانه است. حالت ریزشوندگی به طرف پایین دست که در بیشتر رودخانه‌های با بار بستر گراولی حکم فرماست در اینجا نیز به خوبی مشهود است.



شکل ۷. تغییرات میانه و میانگین بر حسب میلی‌متر از بالادست تا پایین دست رودخانه راین

فرایند جورشدگی طبیعی در نتیجه تمرکز دانه‌های درشت در قسمت بالادست و دانه‌های ریزتر در قسمت‌های پایین تر ایجاد می‌شود (پارکر، ۱۹۹۱: ۱۳۱). با توجه به آنالیز اندازه دانه‌ها، جورشدگی نمونه‌ها از ۱/۶۴ تا ۲/۶۳ فی در تغییر است که جورشدگی بد تا بسیار بد را نشان می‌دهد (شکل ۸ الف).

1. hydraulic sorting
2. selective transport



شکل ۸. الف) تغییرات جورشدگی به سمت پایین دست رودخانه راین، ب) تغییرات کشیدگی به سمت پایین دست رودخانه راین، ج) تغییرات کج شدگی به سمت پایین دست رودخانه راین

کشیدگی پارامتر بافتی مهمی در تشخیص محیط‌های مختلف است (ماسون و فولک، ۱۹۵۸: ۲۱۱). کشیدگی از بسیار پهن تا کشیده نشان‌دهنده این است که رسوبات به جورشدگی دست یافته است. تغییر در کشیدگی متأثر از ویژگی‌های جریان در طول ته‌نشست است (کومار مایتی و میتی، ۲۰۱۶: ۱۱۲۸). منحنی کشیدگی رسوبات مطالعه‌شده از متوسط تا پهن با دامنه (از ۰/۰۰۷ تا ۱/۳۱۸) در تغییر است (شکل ۸ ب). هر چه جورشدگی رسوبات به سمت بد و بسیار بد پیش می‌رود، از نظر کشیدگی، منحنی رسوبات حالت پهن و بسیار پهن می‌گیرد که نشان‌دهنده رابطه مستقیم بین جورشدگی و کشیدگی است (شکل ۸ ب).

کج شدگی مربوط به انرژی محیط است (دوئین، ۱۹۶۴: ۸۶۴). کج شدگی منفی با انرژی زیاد و شسته شدن ذرات دانه‌ریز و کج شدگی مثبت با انرژی کم محیط در ارتباط است (فریدمن، ۱۹۶۱: ۵۱۴). رسوبات این رودخانه غالباً کج شدگی مثبت دارد، به جز چند نقطه که دارای کج شدگی منفی است؛ بدین معنا که ذرات دانه‌ریز تر فراوانی نسبی بیشتری نسبت به ذرات دانه‌درشت در نمونه رسوبی دارد (موسوی حرمی، ۱۳۹۰: ۴۷۴). کج شدگی نمونه‌ها از منفی تا کج شدگی بسیار مثبت (از -۰/۳۱ تا ۰/۵۲) در تغییر است، ولی اکثر نمونه‌ها کج شدگی بسیار مثبت دارد. این حالت در محیط‌های رودخانه‌ای طبیعی است و حکایت از نبودن فرصت کافی برای شست‌وشوی ذرات دانه‌ریز با جریان آب دارد (رایس، ۱۹۹۹: ۳۲). تعداد کمی از نمونه‌ها کج شدگی منفی نشان می‌دهد که علت احتمالی آن شیب بسیار تند بستر و بالابودن شدت جریان در این رودخانه است، به طوری که باعث شسته شدن ذرات ریز از محیط و افزایش نسبت ذرات دانه‌درشت به دانه‌ریز و در نتیجه کج شدگی منفی رسوبات شده است (معادلهی و همکاران، ۱۳۹۵: شکل ۸ ج). به‌طور کلی، تغییرات جورشدگی نشان‌دهنده تغییر شدت جریان در طول کانال اصلی رودخانه است. میزان این سه پارامتر بر اساس تغییرات شیب، تغییر عرض کانال، ظهور سنگ‌بستر، فرسایش با شدت‌های مختلف و میزان رسوبات وارده مختلف در رودخانه راین در حال تغییر است.

رخساره‌های رسوبی رودخانه راین

مطالعه رخساره‌های رسوبی و آنالیز اندازه دانه‌ها به شناخت محیط رسوبی و شناسایی فرایندهای رسوبگذاری و نوع جریان کمک می‌کند (سنلدر و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۸۹).

با توجه به شواهد و مطالعات صحرایی که در طول مسیر حرکت از بالادست تا پایین دست رودخانه اصلی انجام گرفت، رخساره‌های رسوبی در سه گروه رخساره‌های گراولی (Gmm, Gcm, Gmg, Gh, Gp)، ماسه‌ای (Sm) و دانه‌ریز (Fl) شناسایی و نامگذاری شد که در ادامه بررسی می‌کنیم.

رخساره Gmm (گراول با لایه‌بندی توده‌ای، با ماتریکس فراوان)

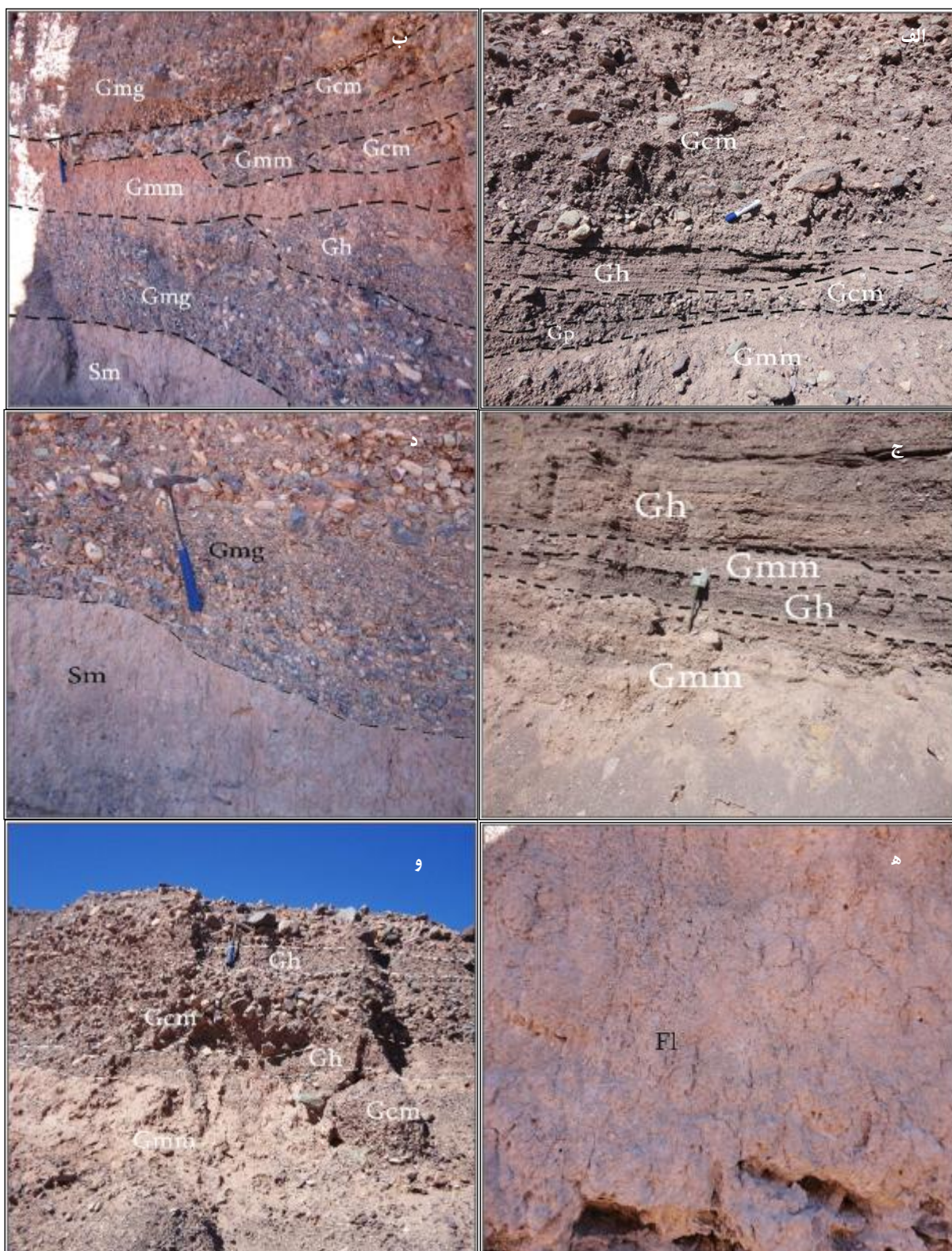
این رخساره نشان‌دهنده طبقات ضخیمی است که حالت توده‌ای دارد و به دلیل نزدیکی به منشأ کاملاً زاویه‌دار است. گراول‌هایی در اندازه بسیار درشت تا ریز را شامل می‌شود و به‌طور عمده از ماتریکس تشکیل شده است. رسوبات دانه‌ریز ماسه‌ای و گلی فضای بین دانه‌های گراولی را پر کرده است. این رسوبات فاقد لایه‌بندی است و طبقه‌بندی تدریجی نیز در آن‌ها دیده نمی‌شود. این رسوبات به دلیل ته‌نشست ناگهانی و نزدیکی به منشأ کاملاً زاویه‌دار است و گراول‌هایی از اندازه بسیار درشت تا ریز در آن رسوب می‌کند (برتولدی و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۴۸؛ کاستیک و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴۳). این رخساره در اثر جریان‌های خطی و آشفته، همچنین جریان‌های خرده‌دار با پلاستیسیته کاذب و ویسکوزیته و بار رسوبی بالا برجای گذاشته می‌شود (کوزون و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۶۶؛ شکل ۹ الف). رخساره Gmm در رودخانه راین در اکثر نقاط مشاهده شده است که همراه با رخساره‌های (Gh, Gp) در منطقه است. این رخساره بیشتر در بالادست و میانه رودخانه راین مشاهده می‌شود.

رخساره Gcm (گراول با لایه‌بندی توده‌ای، با قطعات فراوان)

این رخساره دارای جورشدگی ضعیف است که بخش اصلی آن از پیل‌های گراولی تشکیل شده و رخساره گراولی با زمینه گلی است. به‌طور وسیعی، در سری‌های بالایی ایجاد می‌شود. خرده‌ها به‌صورت نیمه‌زاویه‌دار تا گردشده وجود دارد و دارای جورشدگی ضعیف و خیلی ضعیف است. ایمرکاسیون در ذرات دانه‌درشت دیده می‌شود. چندین لایه با ضخامت زیاد از (Gcm) وجود دارد. این رخساره نشان‌دهنده انرژی بالای محیط هنگام رسوبگذاری است و از ته‌نشست ذرات ریز جلوگیری می‌کند. به دلیل تشکیل در انرژی بالا و شرایط جریان آشفته، حالت توده‌ای دارد (کاستیک و همکاران، ۲۰۰۵: ۱۴۳). این رخساره مربوط به کف کانال یا پایین‌ترین بخش سدهای رسوبی است و معمولاً در رودخانه‌های بریده‌بریده با بستر گراولی تشکیل می‌شود (دینوکس و همکاران، ۲۰۰۵: ۳۱۵؛ سایدیکو و روبرت، ۲۰۱۰: ۳۰۱). این رخساره در طول کانال حوضه آبریز راین ته‌نشست کرده و نشانگر انرژی نسبتاً بالای حاصل از تأثیرات فیزیوگرافی حوضه مانند شیب بالا و افزایش شدت جریان است (شکل ۹ الف، ب).

رخساره Gp (گراول دارای طبقه‌بندی مورب مسطح)

این رخساره دارای گراول‌های با لایه‌بندی مورب مسطح است (شکل ۹ الف، ب). این رخساره به‌صورت میان‌لایه‌هایی با ضخامت کم در منطقه مشاهده شده است. رسوبگذاری ذرات تشکیل‌دهنده این رخساره رسوبی نیز با جریان‌های کششی و حمل‌ونقل ذرات به‌صورت باربستر انجام شده است. احتمالاً مهاجرت اشکال لایه‌ای بزرگ‌مقیاس متقاطع گراولی با خط‌الرأس مستقیم در داخل کانال به تشکیل این رخساره رسوبی منجر می‌شود. تشکیل طبقات مورب مسطح در این رخساره مؤید حمل‌ونقل آهسته‌تر ذرات گراولی است که به برافزایی عمودی این رخساره منجر می‌شود (سریدار و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۴۰؛ میال، ۲۰۰۶: ۵۸۲). این رخساره دارای کنتاکت فوقانی با رخساره Gmm است و بیشتر در پایین دست رودخانه راین دیده می‌شود.



شکل ۹. رخساره‌های رسوبی موجود در رودخانه راین. الف) رخساره Gmm، Gp، Gh، و Gcm در منطقه، ب) رخساره Gcm و Gh، ج) رخساره Gmm و Gh، د) رخساره Sm و Gmg، ه) رخساره Gmc، Gmm، Gh، و Fl در پایین دست رودخانه راین

رخساره Gh (گراول با قطعات فراوان، با لایه بندی افقی)

دانه‌ها عموماً در اندازه پیل و ماتریکس بیشتر از ماسه است. این رخساره قطعات فراوان دارد و بر اثر مهاجرت سدهای طولی و یا به شکل رسوبات باقیمانده در کف کانال تشکیل می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۰۰؛ میال، ۲۰۰۶: ۵۸۲). بافت و فابریک این رخساره نشان‌دهنده رسوبگذاری جریان‌های کشتی پراثری با عمق کم و تمرکز بالای رسوب است که حمل و نقل ذرات گراولی به صورت باریستر انجام شده و رسوبگذاری تحت شرایط فروکش جریان رخ داده است (اپلوسی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۵؛ میال، ۲۰۰۶: ۵۸۲؛ سریدار و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۴۰؛ قوش، ۲۰۱۴: ۸۱). این رخساره بیشتر در قسمت میانه و پایین دست منطقه مشاهده شده است و کنتاکت با رخساره‌های Gcm و Gmg دارد (شکل ۹ الف، ب).

رخساره Gmg (گراول با طبقه بندی تدریجی، با ماتریکس فراوان)

این رخساره دارای درصد گراول بیشتر و گردشگی بهتر، ولی در شرایط مشابه (Gmm) تحت تأثیر جریان‌هایی با قدرت بالا تشکیل می‌شود و از توپوگرافی منطقه تبعیت و به فرم پهن و گسترده رسوب‌گذاری می‌کند. چون سرعت کم است، در نتیجه نرخ رسوب‌گذاری زیاد است، اما فرسایش ندارد. این رخساره دانه بندی تدریجی نرمال تا معکوس دارد (شکل ۹د). این رخساره دارای کنتاکت با رخساره‌های Gcm، Gh و Sm است.

رخساره Sm (ماسه توده‌ای)

در این رخساره اندازه دانه‌ها از ماسه ریز تا درشت به فرم توده‌ای در تغییر است. لایه بندی در این دانه‌ها وجود ندارد (شکل ۹د). رخساره Sm تحت تأثیر جریان ثقی در دیواره کانال اصلی رودخانه تشکیل شده است. رسوبات این رخساره بیشتر در پایین دست حوضه بیشتر دیده می‌شود. همراه با رخساره Gcm در منطقه وجود دارد. نبود رسوبات در اندازه گراول در این قسمت دیواره کانال نشان‌دهنده کاهش انرژی است.

رخساره FI (دارای لامینه‌هایی از ماسه، سیلت و گل)

این رخساره به طور متناوب با رخساره (Gh) در قسمت پایین دست رودخانه راین مشاهده می‌شود. این رخساره در دشت‌های سیلابی در سرعت‌های بسیار پایین جریان آب و در اثر رسوبگذاری ذرات معلق به وجود می‌آید. ممکن است بر اثر جریان‌های کشتی ضعیف نیز بر جای گذاشته شود (لوپز-گومز و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۲۰؛ میال، ۲۰۰۶: ۵۸۲؛ شکل ۹ح). وجود رخساره‌های درشت گراولی همراه با سطح فرسایشی در قاعده و وجود لایه‌های ماسه‌ای متوسط تا درشت‌دانه در این رخساره نشان‌دهنده سیلابی شدن و کانالی شدن جدید در این نهشته‌های دانه ریز است (اپلوسی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۵؛ بریج، ۱۹۸۴: ۵۸۳). این رخساره در پایین دست رودخانه راین مشاهده شده است که در آن به شدت جریان کاهش می‌یابد.

رخساره‌های رسوبی در جدول ۲ و عناصر ساختاری و مجموعه رخساره‌های شناسایی شده در رودخانه راین در جدول ۳ نشان داده است. مدل رسوبی مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد.

مدل رسوبی

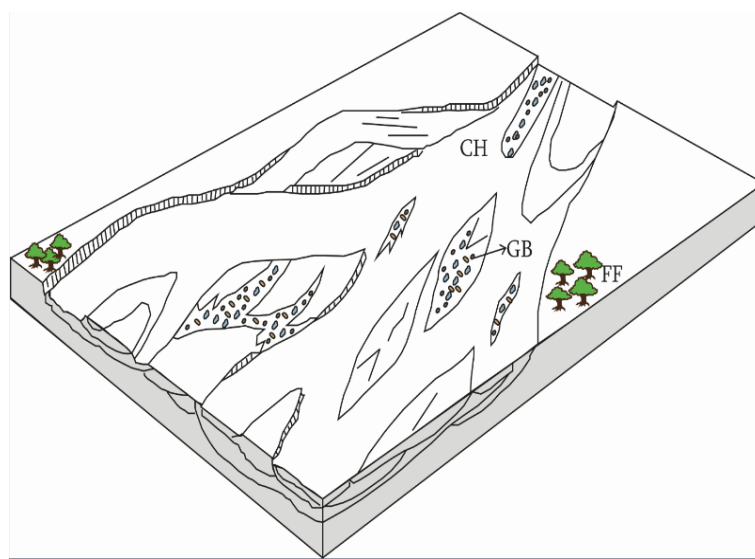
کانال‌ها و سدهای رسوبی اجزای اصلی فرایندهای رسوبگذاری در محیط‌های رودخانه‌ای است که عناصر ساختاری رودخانه‌ها و محیط‌های رسوب‌گذاری نامگذاری شده است. با توجه به رخساره‌های رسوبی شناسایی شده، بر مبنای کدهای رخساره‌ای میال (۲۰۰۶)، رسوبات دانه درشت رودخانه راین در رودخانه‌ای بریده بریده بر جای گذاشته شده است (شکل ۱۰).

جدول ۲. رخساره‌های شناسایی شده در رودخانه راین با استفاده از کدهای رخساره‌ای میال (۲۰۰۶)

گروه رخساره	کد رخساره	توصیف رخساره	تفسیر
گراولی	Gmm	گراول توده‌ای با زمینه ماتریکس	جریان‌های خرده‌دار پلاستیک، انرژی بالا
	Gcm	گراول توده‌ای زمینه قطعات درشت	جریان خرده‌دار به فرم پلاستیک کاذب (حرکت به فرم بارستر با جریان آشفته)
	Gmg	گراول با طبقه‌بندی تدریجی	دارای ماتریکس فراوان
	Gh	گراول با طبقه‌بندی افقی	مهاجرت سدهای طولی یا به شکل رسوبات باقی‌مانده در کف کانال
	Gp	گراول‌های دارای طبقه‌بندی	دارای بستر انحنادار، رشد دلتایی از سدهای قدیمی باقی‌مانده
ماسه‌ای گلی	Sm	ماسه دانه‌ریز تا درشت توده‌ای	نهبشته‌های جریان‌های گراویته‌ای - رسوبی
	Fl	رخساره ماسه‌ای، سیلتی، گلی دارای لامیناسیون	رسوبات کانال‌های متروکه و دشت‌های سیلابی

جدول ۳. عناصر ساختاری موجود در منطقه (میال، ۲۰۰۶)

عناصر	مجموعه رخساره‌های رسوبی	تفسیر
CH	Gmm، Gmg، Gh، Sm، Gcm	معرف رسوبات پرکننده کانال، مرز پایین فرسایشی، دارای شکل هندسی به صورت عدسی و گسترده
SG	Gmg و Gcm، Gmm	جریان خرده‌دار در نواحی نزدیک به منشأ، وجود ساختارهای ورقه‌ای شکل ضخیم، مرزهای فرسایشی،
GB	Gp و Sm	حاصل مهاجرت سدهای گراولی یا به صورت رسوبات باقی‌مانده در کف کانال، معمولاً دارای شکل
FF	Fl	حای رسوبات ریز خارج از کانال، فرم توده‌ای و ورقه‌ای



شکل ۱۰. مدل رسوبی رودخانه راین

رسوبات این رودخانه بیشتر به صورت درشت‌دانه است و به فرم بار بستر حمل می‌شود. این رخساره در اثر پایین رفتن سطح آب رودخانه، به دلیل کم شدن انرژی آب در فصل‌های کم‌باران در بعضی قسمت‌ها مقدار کمی رسوبات ماسه‌ای برجای گذاشته است (میال، ۲۰۰۶: ۵۸۲). رسوبات گراولی این کانال احتمالاً با جریان‌های کششی حمل شده است (فویکس و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۴۲). ضخامت زیاد رسوبات گراولی نسبت به رسوبات ماسه‌ای و گلی نشان‌دهنده کانال‌های بریده‌بریده با پیچش کم و نزدیک به منشأ است (اوپلوسی و همکاران، ۲۰۰۵: ۴۵؛ فویکس و همکاران، ۲۰۱۳: ۳۴۲). این نوع رودخانه در بالادست حوضه آبریز راین تشکیل می‌شود که رسوبات منطقه نزدیک به منشأ است. پیچش کانال در این بخش کم است. از مجموعه رخساره‌های موجود در این بخش می‌توان به Sm، Gp، Gmm، Gcm و Gh، و Fl اشاره کرد. عنصر ساختاری GB در این بخش تشکیل می‌شود. عنصر ساختاری CH رسوبات داخل کانال را شامل می‌شود که غالباً دانه‌درشت است.

نتیجه گیری

بررسی تغییرات اندازه دانه با استفاده از پارامترهای بافتی در رسوبات رودخانه راین نشان دهنده روند ریزشوندگی به سمت پایین دست است. مواردی همچون جورشدگی بد و بسیار بد، کج‌شدگی تقریباً متقارن تا بسیار مثبت و کشیدگی پهن و بسیار پهن این موضوع را تأیید می‌کند. دو فرایند برای توضیح کاهش اندازه دانه‌ها به طرف پایین دست این رودخانه با بستر گراولی در نظر گرفته شده است. جورشدگی هیدرولیکی کاهش می‌یابد که بر اساس آن، دانه‌های ریزتر سریع‌تر و بیشتر از دانه‌های درشت حمل می‌شود. همچنین سایش اندازه ذرات منفرد با توجه به جنس آن‌ها نیز کاهش می‌یابد. با توجه به قانون کرومباین (۱۹۳۷)، میانه و میانگین از بالادست به سمت پایین دست رودخانه راین کاهش می‌یابد ($R^2 = 0.806, 0.858$) که نشان دهنده کاهش میزان ذرات دانه درشت در حد گراول و از طرفی افزایش ذرات دانه ریزتر در حد ماسه است.

مطالعات رسوب‌شناسی در رودخانه راین نشان می‌دهد که این رودخانه پیوستگی رسوبی دارد و از یک رودخانه اصلی و چند آبراهه فرعی تغذیه می‌شود. بر اساس تقسیم‌بندی فولک، این رودخانه بیشتر از رسوبات گراولی، گراولی ماسه‌ای و ماسه‌ای گراولی تشکیل شده است. بر اساس مطالعات صورت گرفته مشخص شد این حوضه از سه تیپ لیتولوژی تشکیل شده است، شامل تنابویی از گدازه، مواد آذرآواری و رسوبات تخریبی. گدازه‌ها شامل آندزیت بازالتی، بازالیت آندزیتی و بازالیت است. این حوضه از رخساره‌های گراولی Gp و Gh ، Gmc ، Gmm ، رخساره ماسه‌ای Sm و رخساره گلی FI تشکیل شده است. بر اساس مجموعه رخساره‌ها و عناصر ساختاری، مدل رسوبی این رودخانه بریده بریده با بستر گراولی ماسه‌ای است.

سپاسگزاری

از دانشگاه فردوسی مشهد برای در اختیار گذاشتن امکانات صحرائی و آزمایشگاهی (طرح پژوهشی شماره ۳، کد ۳/۴۱۸۴۹) سپاسگزاریم.

منابع

- احمدی پور، ح. و ملکی، ل. (۱۳۸۸). آتشفشان‌شناسی و منشأ تشکیل مجموعه آتشفشانی هزار واقع در جنوب غرب راین (استان کرمان). فصلنامه زمین‌شناسی ایران. ۳(۱۰): ۵۸-۴۷.
- پاسیان، ع، محمودی قرایی، م.ح، محبوبی، ا.، خانه‌باد، م. و تقدیسی نیکبخت، س. (۱۳۹۱). بررسی رخساره‌های رسوبی و تغییرات ریزشوندگی رسوبات به طرف پایین دست حوضه سرغایه سرنیش (جنوب مشهد). نشریه علمی-پژوهشی رخساره‌های رسوبی. ۵(۲): ۱۶۸-۱۵۳.
- خانه‌باد، م، حاجیان، ن.، موسوی حرمی، ر. و محبوبی، ر. (۱۳۹۴). بررسی بافت، رخساره‌های رسوبی و روند ریزشوندگی رسوبات در رودخانه‌ی فاروب رومان (شمال شرق نیشابور). نشریه هیدروژئومورفولوژی. ۵: ۱۱۹-۱۴۰.
- خدای، م، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر. و فیض‌نیا، س. (۱۳۸۶). تجزیه رخساره‌های سنگی و مدل رسوبی رودخانه لاتشور، جنوب خاور تهران. مجله علوم زمین. ۱۶(۶۳).
- فیاضی بروجنی، م، مرتضوی مهریزی، م. و خانه‌باد، م. (۱۳۹۶). بررسی رخساره‌های رسوبی و الگوی برانبارش رسوبات در رودخانه مولید (جنوب شرق قاین). ۳۳(۱): ۱۲۸-۱۰۱.
- معادالهی، م، خانه‌باد، م، موسوی حرمی، ر. و محبوبی، ا. (۱۳۹۵). بررسی ریزشوندگی به سمت پایین دست در گراول‌های رودخانه راین واقع در جنوب شرق کرمان. سی‌وینجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. موسوی حرمی، ر. (۱۳۹۰). رسوب‌شناسی. چاپ سیزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۷۴ ص.
- Ahmadipor, H. and Maleki, L. (2009). Volcanology and origin of Hezar volcanic formation in southwest of Rayen (Kerman province). *Iranian Journal of Geology Quarterly*. 3(10): 47-58. [in Persian]
- Barasa, B., Kakembo, V. and Karl, T. (2016). Characterization of artisanal gold mining activities in the tropics and their impact on sediment loading and stream flow in the Okame River catchment, Eastern Uganda. *Environmental Earth Sciences*. 75(14): 1-13.
- Bertoldi, W., Zanoni, L. and Tubino, M. (2010). Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river: The Tagliamento River (Italy). *Geomorphology*. 114: 348-360.
- Bjørlykke, K. (2010). Chapter 3 Sedimentary Geochemistry: How Sediments are produced. In Bjørlykke, K. (ed.). *Petroleum geoscience: From sedimentary environments to rock physics*. Heidelberg, Springer, 508 pp.
- Bradley, W.C., Fahnestock, R.K. and T Rowekamp, E. (1972). Coarse sediment transport by flood flows on Knik

- River, Alaska. Geological Society of America Bulletin. 83(5): 1261-1284.
- Bridge J.S. (1984). Large-scale facies sequences in alluvial overbank environments. *Journal of Sedimentary Petrology*. 54: 583-588.
- Bullard, J.E., McTainsh, G.H. and Pudmenzky, C. (2004). Aeolian abrasion and modes of fine particle production from natural red dune sands: an experimental study. *Sedimentology*. 51(5): 1103-1125.
- Cas, R.A. and Wright, J.V. (1991). Subaqueous pyroclastic flows and ignimbrites: an assessment. *Bulletin of Volcanology*. 53(5): 357-380.
- Church, M. (1978). Attrition (abrasion), fluvial. In *Sedimentology*, Springer Netherlands: 40-42.
- Deynoux, M., Inerb, C.A., Mondoc, O., Karab, A., VyVkoglyud, M. and Manatschala, G. (2005). Sevim tuzeu facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fandelta complexes in the tectonically active miocene, ay basin, isparta angle, Turkey. *Sedimentary Geology*. 173(12): 315- 343.
- Djokovic, I. and Dimitrijevic, M.N. (1973). Geological Map of Iran (1:100 000) Series, Sheet 7449-Rayen.
- Duane, D.B. (1964). Significance of skewness in recent sediments, western Pamlico Sound, North Carolina. *Journal of Sedimentary Petrology*. 34: 864-874.
- Fayazi Borujeni, M., Mortazavi Mehrizi, M. and Khanehbad, M. (2017). The investigation of sedimentary facies and stacking pattern in the Mulid River (Southeastern Qayen). 33(1): 101-128. [in Persian]
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.U. (1984). Alteration of volcanic glass. In *Pyroclastic Rocks*, Springer Berlin Heidelberg: 312-345.
- Flood, R.P., Orford, J.D., McKinley, J.M. and Roberson, S. (2015). Effective grain size distribution analysis for interpretation of tidal-deltaic facies: West Bengal Sundarbans. *Sedimentary Geology*. 318: 58-74.
- Foix, N., Paredes, M.I. and Giacosa, R.E. (2013). Fluvial architecture variations linked to changes in accommodation space: Río Chico Formation (Late Paleocene), Golfo San Jorge basin, Argentina. *Sedimentary Geology*. 294: 342- 355.
- Folk, R.L. (1980). *Petrology of sedimentary rocks*. Hemphill Publishing Company Austin, Texas, 184 pp.
- Frideman, G.M. (1961). Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of Sedimentary Petrology*. 31: 514-529.
- Frings, R.M., Ottevanger, W. and Sloff, C.J. (2010). Downstream fining in sand-bed rivers. *River Flow*: 831-837.
- Ghosh, S. (2014). Palaeogeographic significance of ferruginous gravel lithofacies in the Ajay- damodar interfluvial, West Bengal, India. *International Journal of Geology*. 4: 81-100.
- Joshua, E.O. and Oyebanjo, O.A. (2010). Grain-size and heavy mineral analysis of river Osun sediments. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 4(3): 498-501.
- Khanehbad, M., Hajian, N., Moussavi Harami, R. and Mahboubi, R. (2016). Texture, sedimentary facies and sediments trend in the Faroub Roman River (northeast Neyshabur). *Journal of Hydrogeomorphology*. 2(5): 119-140. [in Persian]
- Khoddami, M., Mahboubi, A., Moussavi-Harami, R. and Feiznia, S. (2007). Lithofacies analysis and depositional model of Lateshur River, South East Tehran. *Scientific Quarterly Journal Geosciences*. 63: 110-123. [in Persian]
- Kim, S.B., Kim, Y.G., Jo, H.R., Jeang, K.S. and Cjough, S.K. (2009). Depositional facies, architecture and environments of the Sihwa formation (lower Cretaceous), midwest Korea with special reference to dinosaur eggs. *Cretaceous Research*. 30(5): 100-126.
- Kostic, B., Becht, A. and Aigner, T. (2005). 3D sedimentary architecture of a Quaternary Gravel Delta (SW Germany), implications for hydrostratigraphy. *Sedimentary Geology*. 181(29): 143-171.
- Kosun, E., Poisson, A., Ciner, A., Wernli, R. and Monod, O. (2009). Syn-tectonic sedimentary evolution of the Miocene atallar Basin, southwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*. 34: 466-479.
- Krumbein, W.C. (1938). Size frequency distribution of sediments and the normal phi curve. *Journal of Sedimentary Petrology*. 8: 84-90.
- Krumbein, W.C. (1937). Sediments and exponential curves. *The Journal of Geology*. 45(6): 577-601.
- Kumar Maity, S. and Maiti, R. (2016). Analysis of sedimentation in connection to grain size and shear stress at lower reach of the Rupnarayan river, West Bengal, India. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. 45(9): 1128-1137.
- Liu, X., Vandenberghe, J., An, Z., Li, Y., Jin, Z., Dong, J. and Sun, Y. (2016). Grain size of Lake Qinghai sediments: implications for riverine input and Holocene monsoon variability. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 449: 41-51.
- López-Gómez, J., Arche, A., Vargas, H. and Marzo, M. (2010). Fluvial architecture as a response to two-layer lithospheric subsidence during the Permian and Triassic in the Iberian Basin, eastern Spain. *Sedimentary Geology*. 223(3): 320-333.
- Maazallahi, M., Khanehbad, M., Mossavi Harami, R. and Mahboubi, A. (2017). Downstream fining in the gravels of Rayen River, southeast of Kerman. *Thirty fifth Congress of Geology Science, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran*. [in Persian]
- Mason, C.C. and Folk, R.L. (1958). Differentiation of beach, dune and Aeolian flat environments by size analysis, Mustang Island, Texas. *Journal of Sedimentary Petrology*. 28: 211-226.
- Miall, A.D. (2006). *The geology of fluvial deposits-sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*. Springer-Verlag, Berlin, 582 pp.
- Mohtar, W.H.M.W., Bassa, S.A. and Porhemmat, M. (2017). Grain size analysis of surface fluvial sediments in rivers in Kelantan, Malaysia. *Sains Malaysiana*. 46(5): 685-693.
- Moussavi-Harami, R. (2011). *Sedimentology*. Thirteen Edition, Astan Quds Razavi Publications, Mashhad, 474 pp. [in Persian]
- Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., and Khanehbad, M. (2004). Analysis of controls on downstream fining along three gravel-bed rivers in the Band-e-Golestan drainage basin NE Iran. *Geomorphology*. 61(1): 143-153.
- Okeyode, I.C. and Jibiri, N.N. (2012). Grain size analysis of the sediments from Ogun River, south western Nigeria. *Earth Science Research*. 2(1): 43-51.

- Oplustil, S., Martínek, K. and Tasáryová, Z. (2005). Facies and architectural analysis of fluvial deposits of the Nýřany Member and the Týnec Formation (Westphalian D – Barruelian) in the Kladno-Rakovník and Pilsen basins. *Bulletin of Geosciences*. 80: 45-66.
- Parker, G. (1991). Selective sorting and abrasion of river Gravel. *Journal of Hydraulic Engineering*. 117(2): 131-147.
- Paseban, E., Mahmoudi Gharaei, M.H., Mahboubi, A., Khanehbad, M. and Taghdisi Nikbakht, S. (2012). Analysis of sedimentary facies and sediment fining in Sarghayeh-Sarnish watershed (South of Mashhad). *Semiannual Sedimentary Facies*. 5(2): 153-168. [in Persian]
- Petts, G.E., Gurnell, A.M., Gerrard, A.J., Hannah, D.M., Hansford, B., Morrissey, I. and Smith, B.P. (2000). Longitudinal variations in exposed riverine sediments: a context for the ecology of the Fiume Tagliamento, Italy. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. 10(4): 249-266.
- Pizzuto, J.E. (1995). Downstream fining in a network of gravel-bedded rivers. *Water Resources Research*. 31(3): 753-759.
- Plumley, W.J. (1948). Black Hills terrace gravels: a study in sediment transport. *The Journal of Geology*. 56(6): 526-577.
- Powell, M., Ockelford, A.P. Rice, S., K. Hillier, J., Nguyen, T., Reid, I., J. Tate, N. and Ackerley, D. (2016). Structural properties of mobile armors formed at different flow strengths in gravel-bed rivers. *Journal of Geophysical Research Earth Surface*. 121: 1494-1515.
- Reid, I., Bathurst, J.C., Carling, P.A., Walling, D. and Webb, B.W. (1997). Sediment erosion, transport and deposition. In: Thorne, C.R., Hey, R.D., Newson, M.D. (Eds.), *Applied Fluvial Geomorphology for River Engineering and Management*. Wiley, Chichester: 95-135.
- Rice, S. (1999). The nature and controls on downstream fining within sedimentary links. *Journal of Sedimentary Research*. 69(1): 32-39.
- Siddiqui, A. and Robert, A. (2010). Thresholds of erosion and sediment movement in bedrock channels. *Geomorphology*. 118(14): 301-313.
- Sneed, E.D. and Folk, R.L. (1958). Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. *Journal of Geology*. 66(8): 114-150.
- Snelder, T.H., Lamouroux, N. and Pella, H. (2011). Empirical modeling of large scale patterns in river bed surface grain. *Geomorphology*. 127(15): 189-197.
- Sridhar, A., Chamyal, L.S., Bhattacharjee, F. and Singhvi, A.K. (2013). Early Holocene fluvial activity from the sedimentology and palaeohydrology of gravel terrace in the semi-arid Mahi River Basin, India. *Journal of Asian Earth Sciences*, 66: 240-248.
- Vandenbergh, J. (2013). Grain size of fine-grained windblown sediment: A powerful proxy for process identification. *Earth-Science Reviews*. 121: 18-30.