

## بررسی سرشاخه‌های باختری رودخانه قره‌چای براساس نوع رودخانه و رخساره‌های رسوبی

سعید خدابخش<sup>۱\*</sup>، حسن محسنی<sup>۱</sup>، مژگان حسام‌زاده<sup>۲</sup>، ملیحه مهاجروطن<sup>۲</sup> و لیلا کرم‌الهی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان

۲- کارشناس ارشد رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبی، دانشگاه بوعلی‌سینا

\*Skhodabakhsh@yahoo.com

دریافت: ۹۱/۱۱/۱ پذیرش: ۹۲/۱/۱۷

### چکیده

رودخانه‌ها یکی از مهم‌ترین منابع آب شیرین سطحی به شمار می‌روند؛ علاوه بر آن سازه‌های بسیاری بر روی آن‌ها و یا در کنار آن‌ها قرار دارند. بیش‌تر اطلاعات پایه در مورد رودخانه‌ها در رابطه با الگوی کانال و رسوبات بر جای گذاشته آن‌ها است. معتبرترین روش شناخت الگوی کانال بر مبنای شاخص‌های کمی (غیر توصیفی) است؛ در کنار آن، رخساره‌های رسوبی رودخانه‌ها اطلاعات مهمی در زمینه شرایط حمل دانه‌ها و انرژی آن‌ها در اختیار قرار می‌دهند. در این پژوهش، الگوی سرشاخه‌های باختری رودخانه قره‌چای بر اساس شاخص‌های ریخت‌شناسی (سطح I و II روش روسگن به همراه شاخص‌های هندسی دیگر) و رخساره‌های رسوبی (رده‌بندی مایل) مورد بررسی قرار گرفته است.

حوضه آبخیز رودخانه قره‌چای با مساحت ۱۴۴۵۵ کیلومتر مربع یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه نمک است که بیش از ۷۶٪ آن در استان همدان واقع شده است. این رودخانه عمدتاً تک کانال است؛ پیش از اغلب بین ۱ تا ۱/۵، گودافتادگی ۱/۱ تا ۲، نسبت پهنا به عمق از کمتر از ۱۰ تا ۷۰ و شیب از ۰/۰۲ تا ۰/۰۱ متغیر است. در بخش کوهستانی کانال با بستر V شکل و گود افتاده (تیپ‌های A و G) دیده می‌شود. در بخش دشت، کانال متقارن و پهن (نسبت پهنا به عمق  $>10$ ) است؛ در این بخش حوضه تیپ‌های B، C و F (به سوی پایین‌دست) وجود دارند؛ گاهی در بازه‌های کوتاهی تیپ چند کانال (D) جایگزین دو تیپ اخیر می‌شود. بستر قره‌چای در بخش‌های کوهستانی شنی (رخساره‌های Gms و Gm) است؛ در دشت، رخساره‌های ماسه‌ای (Sm، Sh، St) فراوان‌تر است. رخساره‌های گلی (Fm و Fl) در بخش‌های پایین دست گسترش بیش‌تری دارند. این رخساره‌ها عمدتاً در شرایط رژیم جریان پایینی و ابتدای رژیم جریان بالایی بر جای گذاشته شده‌اند.

**واژه‌های کلیدی:** قره‌چای، رودخانه، رده بندی روسگن، رخساره، دریاچه نمک قم

### مقدمه

نیمرخ طولی، تغییر شکل آن در طول زمان و حتی قدرت حمل مواد و انرژی سیلاب‌ها دست یافت. بررسی ریخت‌شناسی رودخانه برای شناخت وضعیت کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن در آینده ضروری است و تنها از این طریق می‌توان عکس‌العمل طبیعی رودخانه را نسبت به تغییرات طبیعی یا اقدامات ناشی از اجرای طرح‌ها و اصلاح مسیر و حفاظت و تثبیت دیواره پیش‌بینی نمود. تغییرات ریخت‌شناسی در رودخانه‌ها پدیده‌ای غیر قابل اجتناب می‌باشد. این تغییرات در طول سالیان و به تدریج بر اثر عوامل طبیعی و یا به صورت ناگهانی و تشدید شونده بر اثر دخالت‌های بشری رخ می‌دهند. تغییرات ریخت‌شناسی عمدتاً به صورت‌های تخریب کناره و بستر، رسوب‌گذاری در حاشیه و یا داخل کانال و مهاجرت آن‌ها رخ می‌دهد. از این رو مجموعه اطلاعات ریخت‌شناسی و رسوب‌شناسی

رودخانه‌ها یکی از پویاترین و تغییر شکل‌پذیرترین عوامل طبیعی روی زمین هستند و در زمان‌های کوتاهی بارها موقعیت، شکل، اندازه و مسیر خود را تغییر می‌دهند. رودخانه‌ها را شاهراه‌های حیاتی کشورها نامیده‌اند؛ طرح موضوعات بی‌شمار پژوهشی بر روی آن‌ها [۸] نمایانگر اهمیت و کاربرد آن‌ها است. رودخانه‌ها علاوه بر کاربرد به عنوان منبع انرژی و آب شیرین، به دلیل وجود بسیاری ذخایر معدنی (مانند اورانیوم، مس، طلا و...)، [۳۲]، مصالح ساختمانی (شن و ماسه) و پیت در رسوبات آن‌ها دارای اهمیت زیادی هستند.

یکی از مباحث کلیدی در پژوهش‌های انجام شده در این زمینه، ریخت‌شناسی رودخانه است. به کمک آن می‌توان به مجموعه اطلاعات مفیدی از شکل هندسی، فرم بستر،

ایران) و از حوضه‌های آندروئیک (درون‌ریز) کشور محسوب می‌گردد (شکل ۱). مساحت کل حوضه قره‌چای ۱۴۴۵۵ کیلومتر مربع است که ۱۱۰۰۰ کیلومتر مربع آن در استان همدان واقع شده است [۱]. دشت‌های همدان بهار، کبودرآهنگ و رزن- قهاوند (به ترتیب با وسعت ۲۴۹۲، ۳۴۴۸ و ۳۰۸۵ کیلومترمربع) در مسیر این رودخانه قرار دارند. مهم‌ترین سرشاخه‌های رودخانه قره‌چای در استان همدان شامل یلفان، آبشینه، صالح‌آباد، بهادر بیگ، تاسران، خمیگان، دمق، قروه و شوند است. سرشاخه دیگری به نام شراء (از استان مرکزی) در طول مسیر به آن می‌پیوندد (شکل ۲). مجموعه شاخه‌های سیمینه‌رود و رودخانه شراء مشترکاً رودخانه قره‌چای را تشکیل می‌دهند. شاخه اصلی قره‌چای در بخش مرکزی دشت و در جهت باختر به خاور جریان دارد و دریافت‌کننده شاخه‌های فرعی از بلندی‌های اطراف است. خروجی رودخانه در خاور منطقه است؛ جایی که قره‌چای پس از پیوستن شاخه شراء، به سوی دریاچه نمک قم به مسیر خود ادامه می‌دهد. از میان شاخه‌های رودخانه قره‌چای، شاخه یلفان در امتداد گسلی با همین نام جریان دارد. شاخه‌های جنوبی عمدتاً از سنگ‌های پلوتونیک و دگرگونی عبور می‌کنند (۶]. شکل ۳) در حالی که شاخه‌های شمالی از میان سنگ‌های ولکانیک، مارنی و آهکی سنوزویک می‌گذرند [۲]. مسیر رودخانه عمدتاً توسط شرایط مورفولوژی و زمین‌شناسی منطقه کنترل شده است. به عنوان مثال می‌توان به انحراف ایجاد شده در شاخه دمق به علت قرارگرفتن رخنمون سنگی در مسیر آن و یا ایجاد شاخه یلفان در یک دره گسله اشاره کرد. طول شاخه یلفان- سیمینه‌رود تا ایستگاه عمرآباد (خروجی استان) حدود ۱۳۰ کیلومتر و ارتفاع و شیب میانگین حوضه به ترتیب ۱۹۲۷ متر و ۰/۶ درصد می‌باشد. کم‌ترین ارتفاع منطقه (۱۶۱۹ متر) در دشت‌های کبودرآهنگ و رزن- قهاوند و بیش‌ترین ارتفاع در جنوب استان (قله الوند = ۳۵۸۰ متر) واقع شده است [۴]. در این پژوهش شاخه‌های یلفان، صالح‌آباد، بهادر بیگ، خمیگان، دمق، قروه و شوند از رودخانه قره‌چای بررسی شده‌اند.

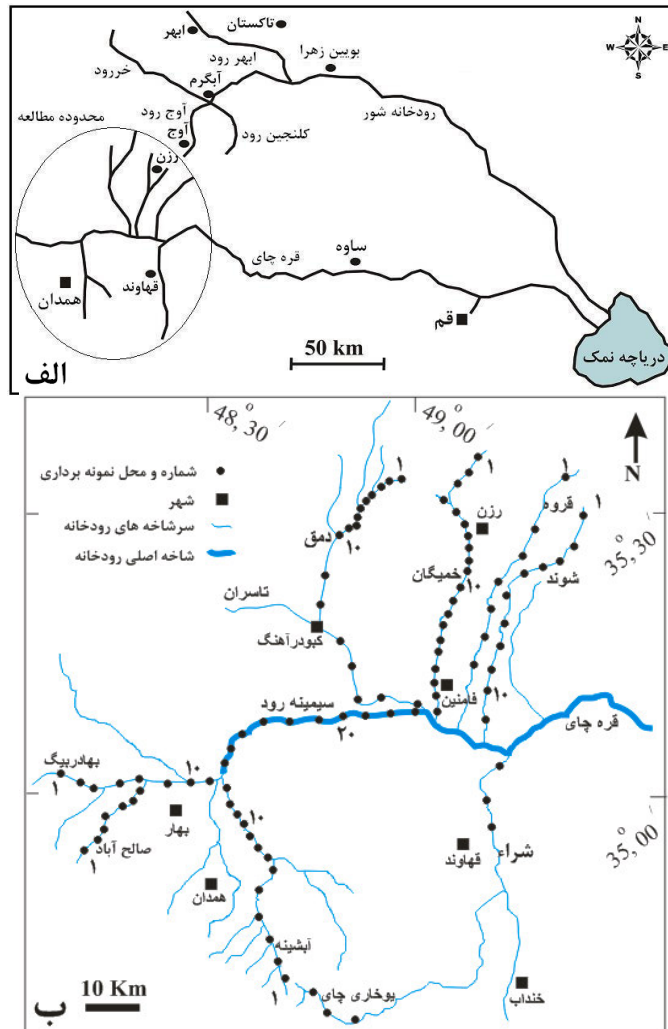
می‌تواند بسیاری از فرآیندهای حاکم بر این محیط پویا را روشن کند. برخی از مهم‌ترین کاربردها در این زمینه عبارتند از: ۱- تاثیر شرایط زمین‌شناسی و ریخت‌شناسی منطقه بر نوع رودخانه، ۲- شناخت نوع فعالیت رودخانه (به عنوان مثال: فرسایش، حمل و رسوب‌گذاری) در بازه‌های مختلف آن، ۳- بررسی آورد سالانه رسوب و منشا آن‌ها، ۴- بررسی روند فرسایش و یا مهاجرت کانال و عناصر ساختاری داخل آن‌ها، ۵- پهنه‌بندی سیلاب و ۶- بهره‌برداری اقتصادی به عنوان منبع آب شیرین (سطحی و زیرزمینی)، منابع شن، ماسه و پلاسر [۵ و ۳۳].

مهم‌ترین موضوع در زمینه ریخت‌شناسی رودخانه‌ها الگوی رده‌بندی آن‌ها بر مبنای شاخص‌های کمی (غیر توصیفی) است. صرف‌نظر از انبوه مطالعات موردی بر روی رودخانه‌های دنیا (از جمله این مقاله) یافتن الگوی کاربردی مناسب اهمیت زیادی دارد. اولین پژوهش‌ها با استفاده از شاخص‌های کمی ریخت‌شناسی بر روی رودخانه توسط [۱۷، ۱۹، ۱۵ و ۳۱] بر مبنای برخی شاخص‌های هندسی مانند پیچش، شیب، ابعاد و الگوی کانال بنا نهاده شده است. رده‌بندی روسگن [۳۰] پس از گذشت دو دهه هم‌چنان جامع‌ترین روش رده‌بندی ریخت‌شناسی رودخانه‌ها است و شامل چهار سطح است. رده‌بندی انجام شده این مقاله در سطح‌های I (شکل هندسی کانال) و II (مواد بستر) می‌باشد. دو سطح III و IV مربوط به مطالعات عمرانی (مانند پایداری کانال) هستند.

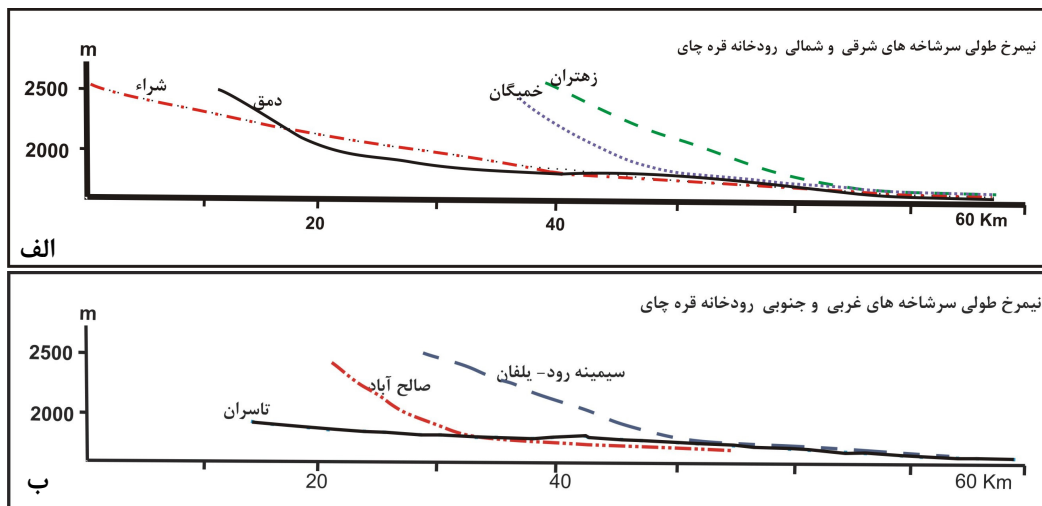
رودخانه قره‌چای و شاخه‌های فرعی آن مهم‌ترین رودخانه بخش مرکزی و شمالی استان همدان به شمار می‌رود و سازه‌های عمرانی مهمی بر روی آن و یا در کنار آن قرار دارند (سدهای در حال بهره‌برداری اکباتان و آبشینه و نیز سد در حال ساخت شنجور، بیش از ۱۰ طرح تغذیه مصنوعی و چندین طرح پخش سیلاب و بند انحرافی، [۳]. این پژوهش اطلاعات پایه را برای ادامه کارهای عمرانی و پژوهشی در رابطه این رودخانه (کانال) و یا حاشیه آن در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

### موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

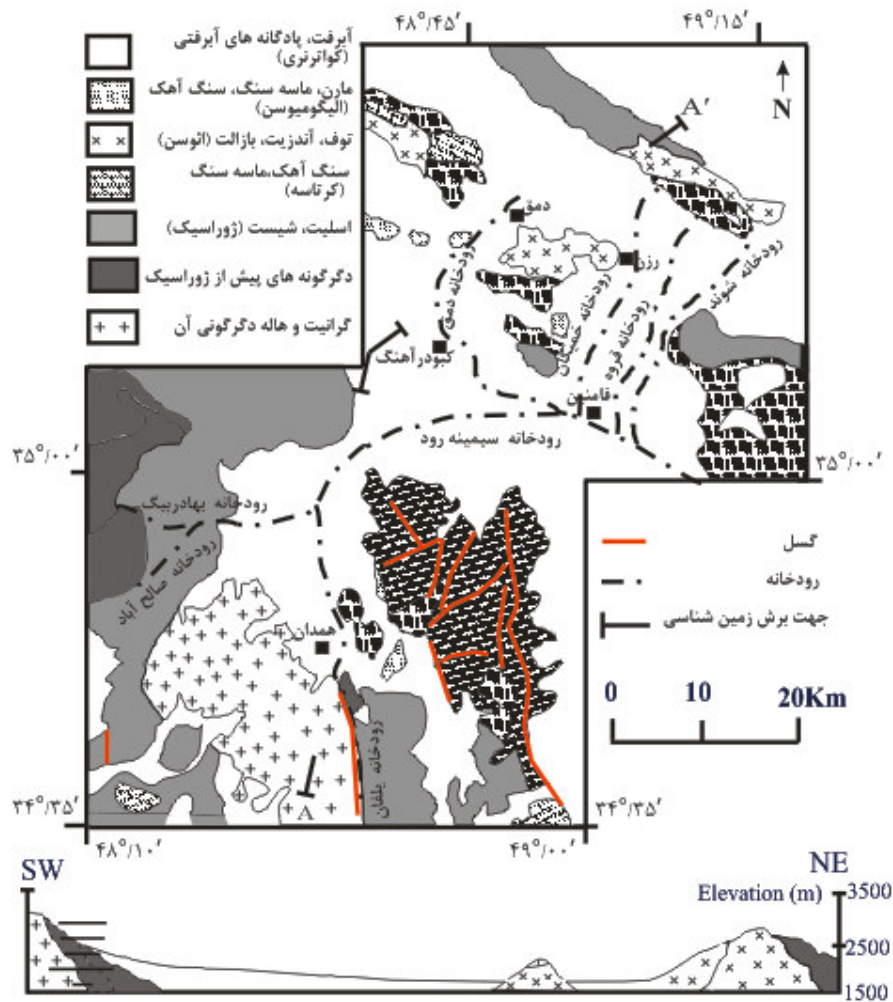
حوضه آبخیز رودخانه قره‌چای یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز دریاچه نمک (واقع در حوضه آبریز مرکزی



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های حوضه آبریز دریاچه نمک، ب) موقعیت مناطق نمونه‌برداری در شاخه‌های رودخانه قره‌چای



شکل ۲. برش طولی سرشاخه‌های رودخانه قره‌چای: الف) زهتران، خمیگان، دمق و شرا، ب) یلفان، سیمینه‌رود، صالح آباد و تاسران



شکل ۳. نقشه و برش زمین‌شناسی منطقه مطالعه (با تغییرات عمده پس از [۲] و [۶])

### اهداف و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش تعیین نوع رودخانه، مطالعه و ارتباط آن با ویژگی‌های بافتی رسوبات بستر است. نوع رودخانه بر مبنای شاخص‌های سطح یک و دو روسگن [۳۰] به همراه با اطلاعات تکمیلی دیگر شامل نیمرخ‌های طولی و عرضی، طول موج، شعاع پیچش، دامنه نوسان، زاویه مرکزی پیچش و نوع پیچش [۹] تعیین شده است. پلان افقی رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای<sup>۱</sup> ترسیم شده است؛ شاخص‌های هندسی از روی نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور، بلوک ۱۴، ورقه‌های همدان، کبودراهنگ، دمق و رزن) و برداشت‌های صحرائی از کانال رودخانه محاسبه

شده‌اند. در بخش رسوب‌شناسی مسایل بافت و دانه‌سنجی رسوبات، رخساره‌های رسوبی [۲۲ و ۲۳] مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری به روش نقطه‌ای به فاصله میانگین ۲ کیلومتر از بستر، دیواره و پهنه سیلابی رودخانه در ۵۷ ایستگاه انجام گرفته است. آزمایشات دانه‌بندی رسوبات دانه‌درشت و متوسط به روش‌های غربال (به فاصله ۱ فی)، پیپت و تخلیه‌ای<sup>۲</sup> انجام شد. این آزمایش برای رسوبات دانه‌ریز توسط دستگاه دانه‌سنجی لیزری<sup>۳</sup> در گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا انجام شد. ترسیم نقشه‌ها با نرم افزار Corel Draw و ترسیم نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفته است.

<sup>۲</sup> decantation

<sup>۳</sup> Fritsch A22, Compact Laser particle size analyser

<sup>۱</sup> ۲۰۰۷ spot

## شاخص‌های هندسی

زویای باز و دامنه منظم) و دریاچه هلالی است (شاخه‌های سیمینه رود و خمیگان، شکل ۵).  
 ۴- در شاخه یلفان- سیمینه رود، پیچش با روند ملایمی افزایش می‌یابد؛ نوسانات کوتاهی در روند وجود دارد؛ این نوسانات همراه با تغییر تپ رودخانه است (شکل ۶)؛ پس از ناپیوستگی تپ اصلی بار دیگر غالب می‌شود.  
 ۵- در شاخه‌های خمیگان، شوند، دمق و قروه پیچش با آهنگ نسبتاً ثابتی (به همراه یک گسستگی) کاهش می‌یابد. دامنه نوسان کوتاه است.  
 ۶- پیوستن شاخه‌های فرعی موجب کاهش پیچش می‌شود (به عنوان مثال رودخانه خمیگان، شکل ۶).

## نسبت پهنا به عمق

نسبت پهنا به عمق از تقسیم پهنای کانال به ژرفای کانال در حالت بیشینه دبی تعریف می‌شود.  
 رودخانه‌های با مقادیر کم‌تر از ۱۲ در رده کم پهنا قرار می‌گیرند. در صورتی که این نسبت بیش‌تر از ۱۲ باشد رودخانه در دسته متوسط یا بالا رده‌بندی می‌شود [۳۰].  
 این شاخص در رودخانه‌های منطقه، از ۱۰ تا بیش از ۵۰ (به ترتیب رودخانه‌های صالح‌آباد و خمیگان) متغیر است (شکل ۶).

## گود افتادگی بستر

این شاخص از نسبت پهنای منطقه سیلاب‌گیر به پهنای سطح آب در حالت بیشینه دبی سالانه محاسبه می‌شود. در صورتی که محاسبه پهنای منطقه سیلاب‌گیر از مشاهدات صحرایی ممکن نباشد، می‌توان آن را معادل پهنای کانال در ارتفاع معادل دو برابر عمق آب در حالت بیشینه دبی در نظر گرفت (جدول ۲). این شاخص مشخص می‌کند که رودخانه تا چه حد در جهت ژرفای بستر گسترش دارد. اگر این نسبت از ۱/۴۱ تا ۲/۲ باشد رودخانه از نوع بستر کمی گود و بیش از ۲/۲ رودخانه از نوع بستر بسیار کم گود با پهنه طغیانی بسیار گسترده می‌باشد [۳۰].

مهم‌ترین عامل تغییرات گودافتادگی، جنس بستر و دیواره کانال است؛ رسوبات دانه‌ریز و چسبنده امکان حفر عمودی بستر و ایجاد دیواره‌های بلند و پرشیب را فراهم می‌کنند.

در رده‌بندی روسگن [۳۰]، نوع رودخانه‌ها در چهار سطح انجام می‌شود. دو سطح I و II به ترتیب بر مبنای شاخص‌های کمی و کیفی ریخت‌شناسی و بافت رسوبات تعیین می‌شود (جدول‌های ۱ تا ۴ و شکل ۴). شاخص‌های ریخت‌شناسی بر اساس شکل هندسی کانال است که از پلان‌های افقی و جانبی (عرضی) رودخانه محاسبه می‌شوند. در این مرحله الگوهای اصلی کانال با کدهای A تا F نام‌گذاری می‌شوند. در شرایط ایده‌آل، رودخانه‌های تک کانال، سیر تکاملی از الگوهای A/G/F به سوی الگوهای B/C/E/F نشان می‌دهند. رودخانه‌های چند کانال نیز در گروه جداگانه (الگوهای D/DA) قرار می‌گیرند. هر رودخانه با توجه به شرایط محیطی خود، بخشی از انواع رودخانه در این رده‌بندی را شامل می‌شود. در مرحله بعد، بافت رسوبات بستر نیز بر مبنای اندازه ذرات غالب (گراول، ماسه و ...) در آزمایش‌های دانه‌سنجی محاسبه و بر اساس جدول‌های تعیین شده رده‌بندی می‌شود. در این مرحله کد عددی بافت (از ۱ تا ۶، به ترتیب کاهش اندازه ذرات از گراول تا رس) به کد الگوی کانال به صورت پسوند افزوده می‌شود (به عنوان مثال: الگوی D1 = کانال شاخه شاخه با سدهای رسوبی و رسوبات گراولی). در دو سطح III و IV این رده‌بندی اهداف تخصصی‌تر مانند پایداری کانال و شرایط رسوب‌گذاری ارزیابی می‌شوند.

## پیچش

پیچش نمایانگر نسبت طول قوس رودخانه (d) به طول موج ماند (d) می‌باشد (جدول ۲). بررسی پیچش کانال در بخش‌های مختلف منطقه مطالعه نشان می‌دهد:

۱- طول موج پیچش کانال شاخه یلفان- سیمینه رود از بالادست به پایین دست کاهش می‌یابد (میانگین به ترتیب ۱۷۹ و ۳۱۹ متر)؛ در همین راستا دامنه نوسان پیچش نیز افزایش می‌یابد (میانگین به ترتیب ۱۷۹ و ۳۱۹ متر،  $n = 14$ )

۲- پیچش در بالادست (تپ‌های رودخانه: B,A) تک فاز با زویای باز (منظم یا نامنظم) و یا تند است.

۳- در بخش‌های مرکزی دشت (تپ‌های F,G-B) همراه با کاهش شیب، پیچش‌های متنوعی در کانال مشاهده می‌شود: مهم‌ترین آن الگوی ماندری (پیچش تک فاز با

در مقابل رسوبات دانه درشت و دانه متوسط به دلیل غیرچسبنده بودن و ریزش سریع دیواره چنین شرایطی را ندارند. الحاق شاخه‌های فرعی موجب بستر گود افتاده‌تر (کاهش عدد گودافتادگی) می‌شود. این شاخص در رودخانه‌های منطقه، از ۱ تا ۳ متغیر است.

**شیب**

در این پژوهش شیب کانال از نسبت شیب دره (اختلاف ارتفاع در یک فاصله افقی) به پیچش کانال [۳۰] محاسبه شده است. این شاخص در رودخانه‌های منطقه، از ۰/۰۸ تا کم‌تر از ۰/۰۲ متغیر است.

جدول ۱. سطح‌ها و معیارهای روش رده‌بندی روسگن [۳۰] در مورد رودخانه‌ها

سطح	معیار - هدف	شرح
سطح I	توصیف ریخت‌شناسی رودخانه: ۱- الگوی آبراهه (تک مجرا، چند مجرا و شریانی) ۲- مشخصات هندسی کانال (جدول ۲)	معرفی ۸ تیپ اصلی از A تا G
سطح II	توصیف ریخت‌شناسی رودخانه: نوع مواد بستر	معرفی تیپ‌های فرعی رودخانه‌ها از A1 تا A6 و از G1 تا G5
سطح III	ارزیابی پایداری کانال و شرایط جریان	ارزیابی توانایی آبراهه در حفظ شرایط موجود بر مبنای فرسایش کناری، ابعاد جریان، جریان واریزه‌ای، پایداری بستر و ...
سطح IV	صحت سنجی نتایج سطح‌های پیشین	تحلیل وضعیت رسوب‌گذاری، جریان آب و پایداری کانال رودخانه در ابعاد مختلف، استفاده از داده‌های رسوب‌سنجی و داده‌های هیدرولیکی و هیدروگراف

جدول ۲: روش محاسبه شاخص‌های هندسی رودخانه‌ها در سطح ۱ رده‌بندی روسگن [۳۰]

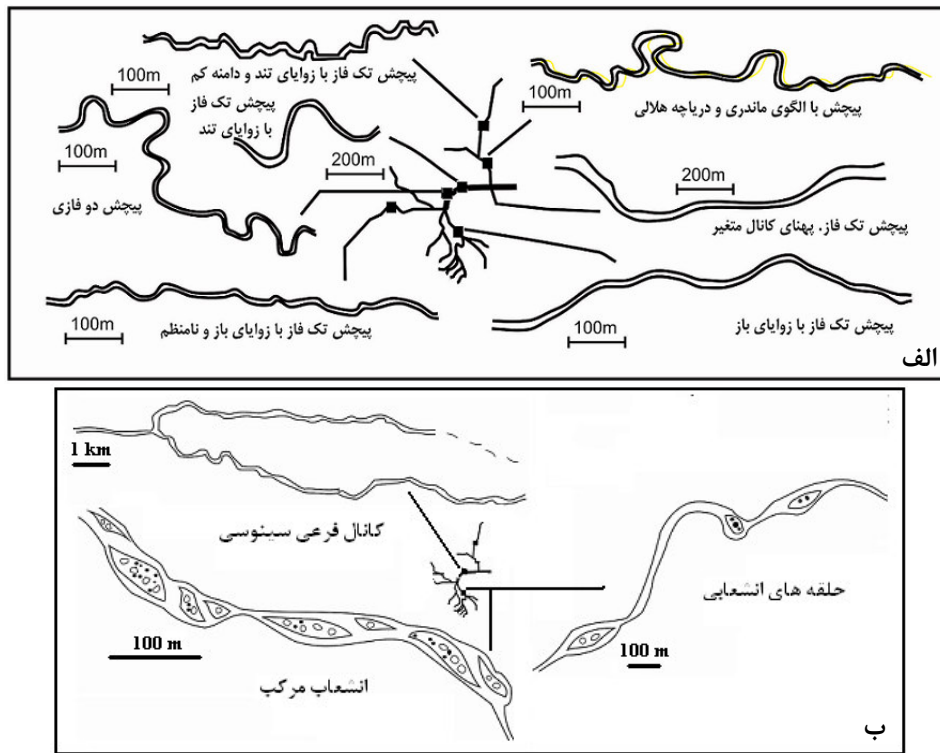
شاخص	توضیحات
پیچش (Si) 	نسبت طول رودخانه (d) به طول موج پیچش آن ( $d'$ ) که (طول موج پیچش) = فاصله افقی بین دو بخش متناظر از دو پیچ متوالی
شیب (SI) 	نسبت اختلاف ارتفاع (شیب توپوگرافی) به پیچش
نسبت پهنا به عمق $W/D$ 	نسبت پهنای کانال در حالت بیشینه دبی سالانه (bank full) به عمق کانال در همین حالت
نسبت گود افتادگی (Er) 	نسبت پهنای منطقه سیلابگیر (flood plain) به پهنای سطح آب در حالت بیشینه دبی سالانه (bank full) = پهنای رودخانه در ارتفاع معادل دو برابر عمق آب در حالت بیشینه دبی

جدول ۳. کد تیپ‌های اصلی رودخانه در شاخه‌های رودخانه قره‌چای (محل ایستگاه‌ها در شکل ۱)

قروه		شوند		دمق		خمیگان	
تیپ	ایستگاه	تیپ	ایستگاه	تیپ	ایستگاه	تیپ	ایستگاه
G4	۱	G4	۱	G4c	۱	G4	۱
D4	۲	B4	۲	G5c	۲	G4c	۲
G5c	۳	D4	۳	B5c	۳	B5c	۳
F4	۴	D4	۴	F5	۴	D4	۴
G4c	۵	F4	۵	G5c	۵	D4	۵
G4c	۶	D4	۶	G5c	۶	G4c	۶
G4c	۷	B5c	۷	B5c	۷	G4c	۷
		F5	۸	B4c	۸	B4c	۹
		D <sub>A5</sub>	۹	B4c	۹	B4c	۱۲
		B5c	۱۰	B4c	۱۰	F4	۱۳
		B5c	۱۱	F5	۱۱	F4	۱۴
				B5c	۱۲	B4c	۱۵
				F5	۱۳	G4c	۱۶
				F5	۱۴	B4c	۱۷
				B5c	۱۵	B4c	۱۸
				C5	۱۶	B5c	۱۹
		<u>بهادریگ</u>		<u>صالح</u>		<u>یلفان-سیمینه رود</u>	
				<u>آباد</u>			
		تیپ	ایستگاه	تیپ	ایستگاه	تیپ	ایستگاه
		A2	۱	A1	۱	A1a+	۱
		B4c	۳	A2	۲	A2	۲
		F4	۴	B3c	۳	A3	۳
		C5c	۵	C4c	۴	A3	۴
				B4c	۵	B3c	۵
				B5c	۶	G4c	۶
						B4c	۷
						D	۸
						G5c	۹
						G5c	۱۰
						G5c	۱۴
						G5c	۱۷
						G5c	۲۲

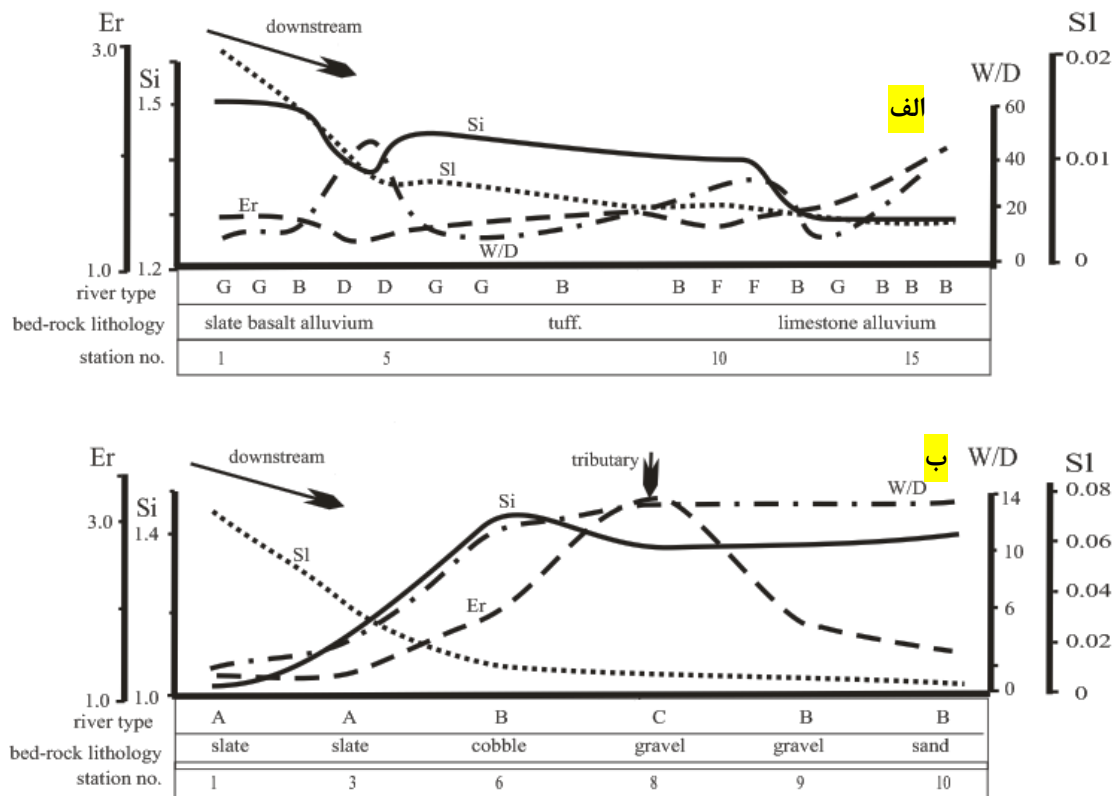
	آبراهه تک شاخه					آبراهه چند شاخه		
نسبت E	< ۱/۴		۱/۴-۲/۲		> ۲/۲			
نسبت پهنای به گودی	کم < ۱۲		متوسط > ۱۲		خیلی کم < ۱۲	متوسط به زیاد > ۱۲		خیلی زیاد > ۴۰
ضریب مارپیچی	کم < ۱/۲		متوسط > ۱/۲		زیاد > ۱/۵	متوسط به زیاد > ۱/۲		بسیار پایین
الگوی رودخانه	A		G		F	B		E
شیب	محدوده شیب		محدوده شیب		محدوده شیب	محدوده شیب		محدوده شیب
ممالح بستر	A1a+ A1		G1 G1c		F1b F1	B1a B1 B1c		E1b E1
بستر صلب	A2a+ A2		G2 G2c		F2b F2	B2a B2 B2c		E2b E2
صخره	A3a+ A3		G3 G3c		F3b F3	B3a B3 B3c		E3b E3
قلوه سنگ	A4a+ A4		G4 G4c		F4b F4	B4a B4 B4c		E4b E4
شن	A5a+ A5		G5 G5c		F5b F5	B5a B5 B5c		E5b E5
ماسه	A6a+ A6		G6 G6c		F6b F6	B6a B6 B6c		E6b E6
رس								

شکل ۴. طبقه‌بندی رودخانه بر اساس ادغام سطح I و II [۳۰]



شکل ۵. الف) انواع شکل‌های پیچش و ب) برخی عناصر مورفولوژیکی خاص در بخش‌های مختلف رودخانه قره‌چای (نام‌های توصیفی بر مبنای چیتال، ۱۹۷۰)





شکل ۶. روند تغییرات چهار شاخص هندسی رده‌بندی روسگن [۳۰] در امتداد شاخه‌های خمیگان (الف) و صالح‌آباد (ب)، تغییرات تپ عمده ناشی از کاهش شیب، تغییر لیتولوژی بستر و پیوستن شاخه فرعی است (SI = شیب، Si = پیچش، Er = گودافتادگی بستر، W/D = نسبت پهنا به عمق).

به زیرگروه‌های با شماره افزایشدهنده ۱ تا ۶ (به ترتیب کاهش اندازه ذرات بستر) تقسیم می‌شود. پنج تپ کانال (A, G, B, D و F) در شاخه اصلی رودخانه قره‌چای شناخته شده است (شکل‌های ۶ و ۷). تپ‌های A, G, B و F تک کانال و تپ D چند کانال است؛ تپ اخیر با حلقه‌های کوچک انشعابی و یا پشته‌های گراولی منفرد با طول کم‌تر از ۱۰۰ متر، نسبت انشعاب کمی بیش از ۱ (شاخه‌های سیمینه‌رود و خمیگان) مشخص می‌شوند (شکل ۵). تپ‌های G و B فراوان‌ترین آن‌ها هستند: تپ A: ۷/۴٪، تپ G: ۳۷/۰٪، تپ B: ۲۹/۶٪، تپ D: ۱۶/۶٪، تپ F: ۱۴/۸٪. با این وجود عوامل زیادی موجب می‌شود متناسب با شرایط زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی و ... هر منطقه بخشی از تپ‌های اصلی مدل وجود داشته باشند. مقایسه تکامل تپ‌ها از بخش کوهستانی به مرکز دشت در شاخه‌های مختلف منطقه نشان می‌دهد توالی ایده‌آل به صورت زیر است: G-B-D/F (چپ به راست).

### نوع (تپ) رودخانه

نوع رودخانه قره‌چای بر اساس معیارهای سطح I و II [۳۰]، رده‌بندی شده است. معیارهای سطح I چهار شاخص هندسی (پیچش، شیب، گودافتادگی بستر و نسبت پهنا به عمق) و در سطح II نوع ذرات بستر است (جدول‌های ۱ و ۲). در سطح I تپ اصلی رودخانه شناخته می‌شود؛ معمولاً هم زمان با کاهش شیب از بالا دست به سوی پایین دست تپ‌های متداول در مناطق تبدیل تدریجی تپ‌های کوهستانی (A و G) به تپ‌های متداول در پهنه‌های کم شیب دشت (E تا F) انتظار می‌رود. تپ‌های چند کانال (DA و D) در شرایط خاص (افزایش بار بستر) پدید می‌آیند (جدول‌های ۱ و ۲). به سوی پایین دست، میزان گودافتادگی بستر کاهش یافته و بر مقدار پیچش و پهنای رودخانه افزوده می‌شود (شکل ۴)؛ این پدیده واکنش رودخانه به تغییر در عوامل محیطی آن است [۳۷]. در سطح II، هر تپ بر اساس جنس بستر

## ویژگی‌های بافتی

رودخانه‌ها در طول مسیر خود ذرات متنوعی را با توجه به انرژی خود حمل می‌کنند. بررسی‌های انجام شده بر روی روند ریزشوندگی در طول کانال رودخانه‌های با بار بستر گراولی نشان داده است که با حرکت به سمت پایین دست، اندازه ذرات به صورت نمایی کاهش می‌یابد [۱۱]، ۱۲، ۲۶ و ۲۸]. روند تغییرات به سمت پایین دست به جورشدهگی انتخابی و سایش بستگی دارد که البته این روند در اثر ورود رسوبات جانبی دانه درشت از کانال‌های فرعی و ریزش دامنه‌ها ممکن است تغییر کند [۷، ۲۹، ۳۵ و ۳۸]. علاوه بر آن تغییرات شیب بستر در طول رودخانه، جنس، اندازه و شکل رسوبات، وضعیت متفاوت شکل کانال و دخالت انسان در سیستم طبیعی رودخانه‌ها از عوامل مؤثر در تغییر بافت رسوبی و شرایط حاکم بر فرآیندهای رودخانه‌ای می‌باشد [۱۲، ۱۶، ۱۸ و ۲۴].

بررسی اندازه دانه در منطقه مطالعه نشان دهنده آن است که در تمام شاخه‌ها درصد گراول به سوی پایین دست روندی کاهشی نشان می‌دهد؛ در محل الحاق شاخه‌های فرعی گسستگی در این روند دیده می‌شود. این گسستگی با افزایش درصد گراول و سپس ادامه روند ریزشوندگی مشخص می‌شود (شکل ۸). روند تغییرات ماسه و گل با افزایش تدریجی (خلاف روند تغییرات گراول) به سوی پایین دست دیده می‌شود؛ شیب تغییرات ماسه بیش از گل است.

مهم‌ترین تمایز شاخص‌های آماری رسوبات در بخش‌های مختلف رودخانه بین نمونه‌های بستر و پهنه سیلابی دیده می‌شود؛ نمونه‌های بستر نسبت به نمونه‌های پهنه سیلابی و دیواره درشت‌تر، کج‌شدگی نسبی منفی‌تر و دامنه تغییرات جورشدهگی وسیع‌تر هستند. مقایسه رسوبات بستر در شاخه‌ها قره‌چای نشان می‌دهد رسوبات شاخه‌های جنوبی بافت درشت‌تری دارند؛ بر اساس رده‌بندی بافتی فولک (۱۹۸۴)، بیش از ۹۲٪ رسوبات بستر شاخه‌های جنوبی گراول ماسه‌ای گلی، گراول ماسه‌ای و گراول هستند، این رقم در شاخه‌های شمالی به ۷۲٪ کاهش می‌یابد و در مقابل رسوبات ماسه‌ای (ماسه گلی گراولی، ماسه گلی با کمی گراول و ماسه گراولی ۲۵٪ رسوبات را تشکیل می‌دهند. این موضوع نشان می‌دهد واحدهای سنگی واقع در حوضه‌های شمالی (عمدتاً گرانیت و مجموعه سنگ‌های دگرگونی)، رسوبات

دانه درشت‌تری تولید کرده‌اند. احتمالاً این تفاوت در بافت رسوبات دو ناحیه، به دلیل پایداری بیش‌تر سنگ‌های بخش جنوبی منطقه در برابر فرسایش بوده است.

## رخساره‌های رسوبی

شناخت مجموعه رخساره‌های رسوبی مهم‌ترین عامل برای بازسازی محیط رسوبی دیرینه است [۲۵] که بر اساس ساختار و بافت رسوبات تقسیم‌بندی می‌شوند. تشکیل رخساره‌های رسوبی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله اندازه دانه، عمق جریان، سرعت جریان، گرانروی جریان و دما است [۳۴] رخساره‌های منطقه مطالعه به روش مایل [۲۲ و ۲۳] طبقه‌بندی و تشریح شده‌اند (شکل‌های ۹ تا ۱۱). در این روش رخساره‌های سنگی (لیتوفالسیس) بر اساس دو شاخص بافت و ساخت رده‌بندی می‌شوند. در این پژوهش مجموعاً هشت رخساره سنگی در قالب سه گروه رخساره‌های دانه درشت، متوسط و ریز شناخته شده‌اند.

## گروه رخساره‌های دانه درشت

رخساره گراول زمینه پستی‌بان (Gms): این رخساره یکی از فراوان‌ترین رخساره‌های رسوبی در منطقه مورد مطالعه است. اندازه دانه‌های چارچوب بسیار متغیر (عمدتاً پیل‌های درشت)، بافت چند مدی با جورشدهگی بد است (شکل ۱۰). مقدار زمینه نسبتاً کم (در اندازه ماسه‌ریز) است و لایه‌بندی مشاهده نمی‌شود. چنین رخساره‌هایی معمولاً ناشی از جریان‌های خرده‌دار با گرانروی زیاد هستند [۲۲]. و خاص بخش‌های بالای مخروط‌های آبرفتی [۲۵] و یا بخش‌های نزدیک به منشا رودخانه‌های شاخه شاخه است. این رخساره در منطقه مطالعه به صورت ضخیم لایه در الگوی شاخه شاخه (تیپ D) دیده می‌شود (شکل‌های ۹ و ۱۱). در سایر الگوها به صورت رخساره فرعی (کم ضخامت‌تر) مربوط به رسوبات برجای مانده کف کانال<sup>۱</sup> وجود دارد. این رخساره اغلب همراه رخساره‌های گلی مشاهده می‌شود (شکل ۹).

رخساره گراول دانه‌پستی‌بان (Gm): این رخساره با جورشدهگی بد، مرز ناگهانی، ساخت توده‌ای و به ندرت لایه‌بندی بسیار خام مشخص می‌شود. این رخساره عمدتاً

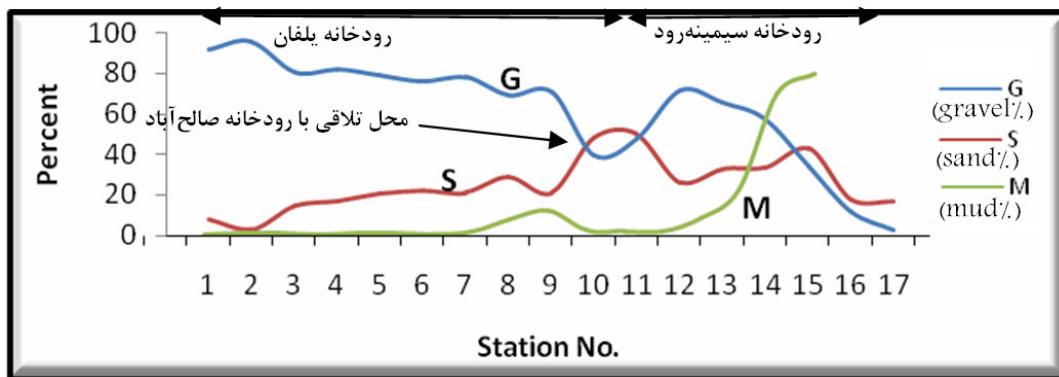
<sup>1</sup> channel-lag deposit

گراول‌ها که به طور محلی به وسیله ماسه پر شده است، معمولاً هنگامی که سرعت کاهش یافته، جایگزین شده است. تشکیل این رخساره بیانگر انرژی بالای محیط (شرایط آشفته) در هنگام رسوبگذاری بوده است [۲۷].

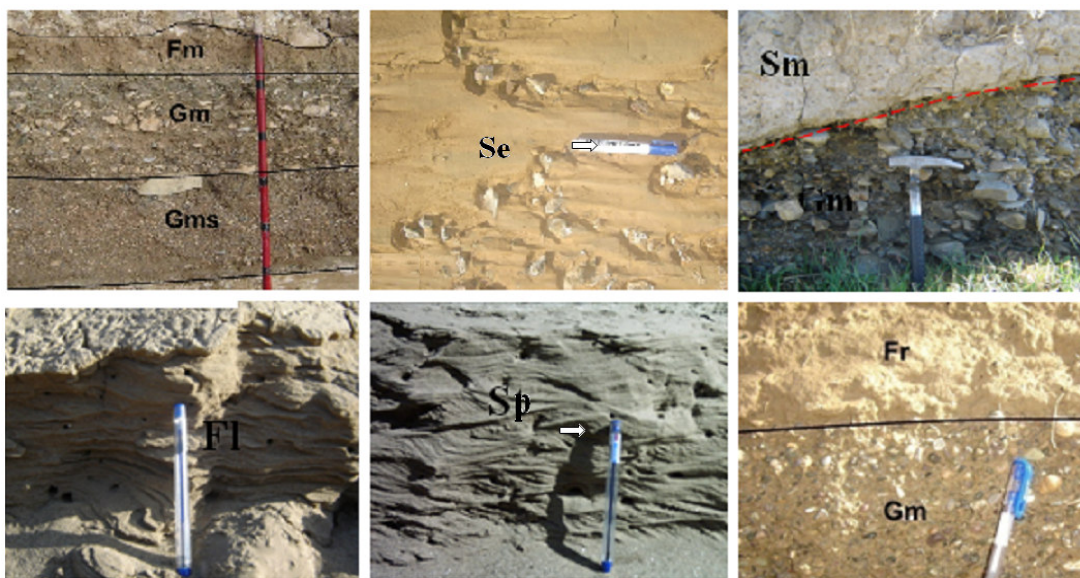
همراه با رخساره‌های گلی و گاهی ماسه‌ای دیده می‌شوند. ضخامت این رخساره تا نیم‌متر می‌رسد (شکل ۹). فابریک بدون زمینه با جدایش ماسه از گراول در این رخساره نمایانگر رسوب‌گذاری جریان بار بستر گراولی در طی سیلاب‌های غربال کننده است. فضای باقی‌مانده در بین



شکل ۷. تصویر چهار الگوی کانال در منطقه مطالعه: A3 (ایستگاه ۳، رودخانه یلفان)، G4 (ایستگاه ۱، رودخانه خمیگان)، B5c (ایستگاه ۶ رودخانه صالح آباد) و D4 (ایستگاه ۸ رودخانه یلفان)



شکل ۸. روند تغییرات درصد گراول (G)، ماسه (S) و گل (M) در بستر کانال رودخانه یلفان - سیمینه‌رود؛ ناپیوستگی در روند ریزشوندگی گراول نتیجه پیوستن شاخه صالح آباد است.



شکل ۹. رخساره‌های رسوبی رودخانه قره‌جای در منطقه مطالعه (کدها بر اساس مایل، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۶). رخساره‌ها: Gms = گراول زمینه پشته‌بند، Gm = گراول دانه پشته‌بند، Sm = ماسه با لایه‌بندی توده‌ای، Sp = ماسه با لایه بندی مورب صفحه‌ای (پیکان = جهت جریان)، Se = ماسه با آثار فرسایشی (آثار مانع، پیکان = جهت جریان)، Fm = گل توده‌ای، Fr = گل با ریشه گیاهان.

رخساره‌های دیگر بهتر است (شکل‌های ۹ و ۱۱). این رخساره هنگامی که نرخ رسوب‌گذاری سریع بوده است بر جای گذاشته شده است [۲۱]. این رخساره شاخص رودخانه‌های شاخه‌شاخه غنی از ماسه و با نسبت انشعاب کم نیز است [۲۰]. رخساره ماسه با سطوح فرسایشی (Se): در این رخساره آثار فرسایشی بر روی بستر ناشی از وجود موانع در مسیر جریان باقی مانده‌اند؛ گاهی حفرات فرسایشی با گل و گاهی با ماسه پر شده‌اند. این رخساره در شرایط رژیم پایین ایجاد شده و اغلب به همراه دیگر رخساره‌های ماسه‌ای دیده می‌شود.

#### گروه رخساره‌های دانهریز

این گروه شامل چهار رخساره Fl و Fm است: رخساره گل دارای لامیناسیون (Fl): در این رخساره اندازه دانه‌ها در حد سیلت است؛ در بعضی قسمت‌ها ماسه ریز و رس (کمتر از ۱۵ درصد) نیز وجود دارد. لامیناسیون موازی مهم‌ترین ساخت رسوبی این رخساره است (شکل ۹). ترک‌های گلی گاهی همراه با ریپل‌های کوچک مقیاس (در بخش‌های ماسه‌ای) و آثار حرکت موجودات از مهم‌ترین ساخت‌های رسوبی در این رخساره به شمار می‌روند. این رخساره اغلب در انرژی پایین جریان آب و در نتیجه جریان‌های تعلیقی حاصل شده است [۲۱ و ۳۴].

#### گروه رخساره‌های دانه متوسط

این گروه شامل چهار رخساره Sp، Sh، Sm و Se است: رخساره ماسه‌ای با طبقه‌بندی مورب صفحه‌ای (Sp): ضخامت این رخساره از ۱ تا ۰/۵ متر متغیر است و بیش‌تر ذرات تشکیل دهنده آن در اندازه ماسه متوسط تا ریز و جورشدگی آن‌ها خوب است (شکل ۹). این رخساره بر اثر مهاجرت ریپل‌مارک‌های جریانی با قله صاف تا کمی سینوسی (ریپل‌های دو بعدی) تشکیل شده است [۱۳]. و در بالا و پایین به وسیله رخساره‌های Gm و Sm محصور شده است.

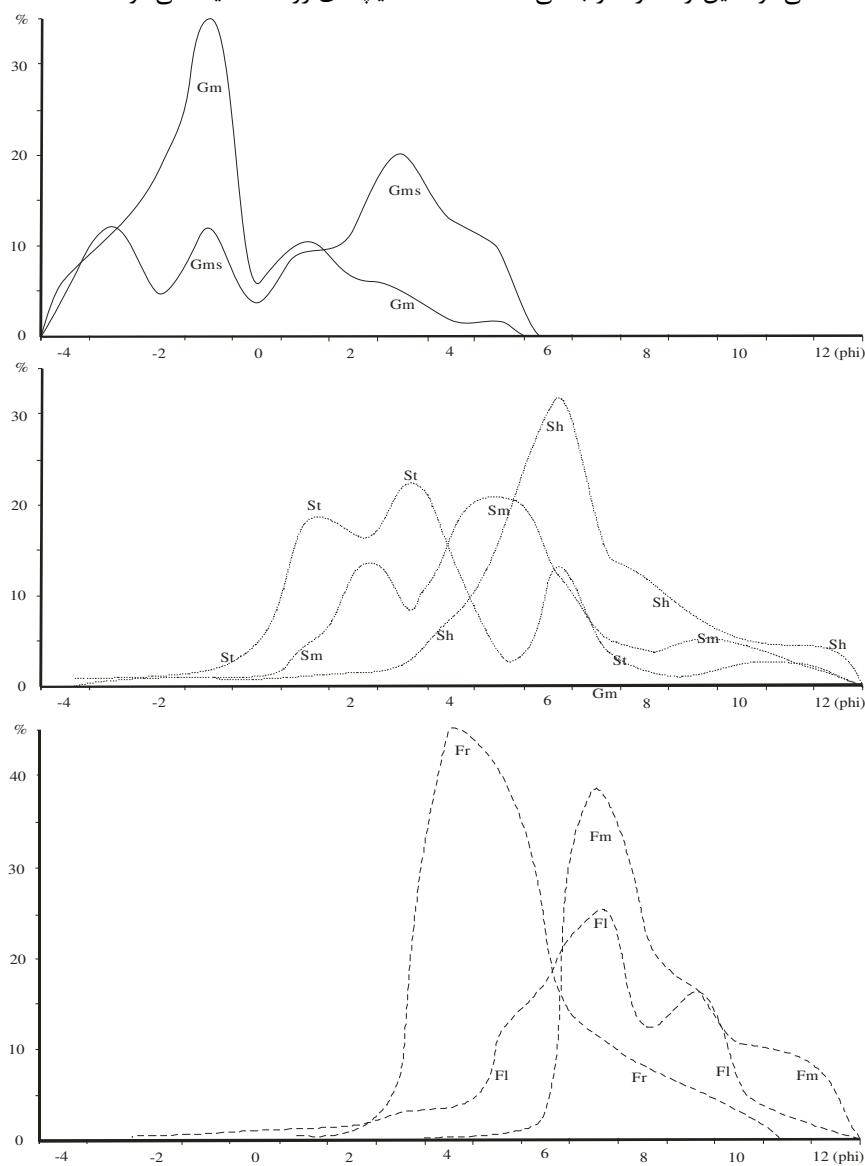
رخساره ماسه با لامیناسیون افقی (Sh): این رخساره از ذرات ماسه‌ای در اندازه متوسط تا ریز تشکیل شده است و نسبت به رخساره‌های گراولی از جورشدگی بهتری برخوردارند. دلیل این مسئله مسافت و زمان زیادتر حمل دانه‌های ماسه‌ای نسبت به دانه‌های گراولی است. در منطقه مطالعه این رخساره با لامیناسیون افقی و جدایش خطی در بین سطح لامیناسیون مشخص می‌شود (شکل ۹). ضخامت مجموعه لامینه‌ها چند سانتی‌متر است. این گونه رخساره در شرایط رژیم‌های جریانی پایین تشکیل می‌شود [۱۴]. رخساره ماسه با طبقه‌بندی توده‌ای (Sm): این رخساره فاقد هر نوع ساختمان رسوبی است و عمدتاً حالت توده‌ای دارد. اندازه دانه‌ها اغلب در حد ماسه متوسط تا درشت و جورشدگی آن‌ها نیز نسبت به

به صورت بین لایه‌ای با رخساره‌های گراولی قرار گرفته است (شکل‌های ۹ و ۱۱).

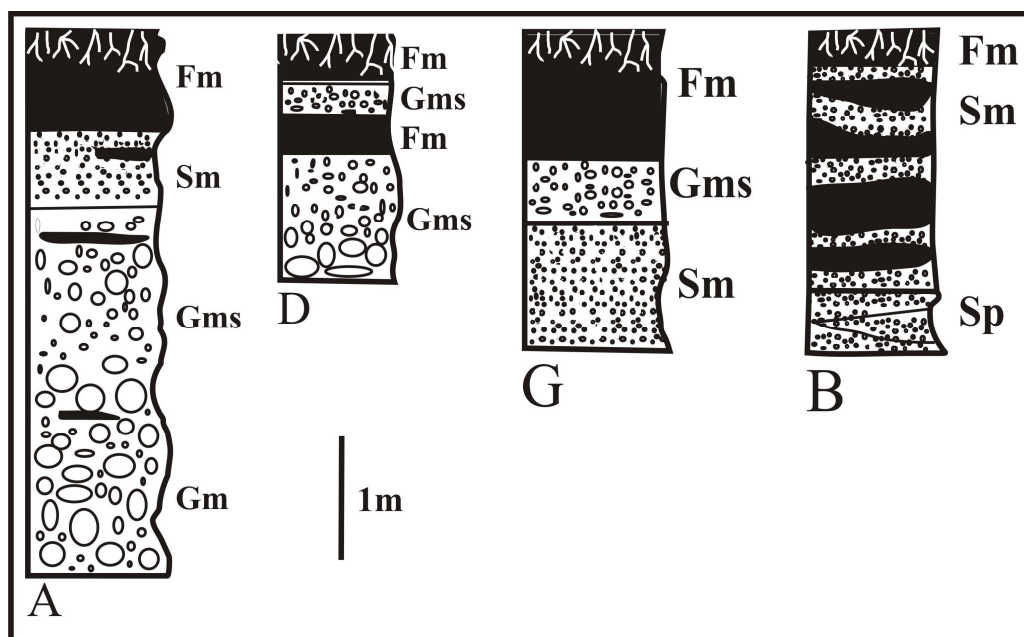
نکته مهم دیگر ارتباط رخساره‌های رسوبی با تیپ رودخانه است. در منطقه مطالعه رخساره‌های گراولی (Gms و Gm) فراوانی و ضخامت بیشتری در بخش‌های بالادست (تیپ‌های A و G) و تیپ‌های با بار بستر بالا (تیپ D) دارند. رخساره‌های ماسه‌ای (St, Sh, Sm) شاخص تیپ‌های با پیچش بالا (تیپ‌های B, C و F) هستند. رخساره‌های گلی (Fm, Fl) در دشت سیلابی همه تیپ‌های رودخانه دیده می‌شوند.

این رخساره گسترش کمی دارد و ضخامت آن چند سانتی‌متر است (شکل ۹).

رخساره گل توده‌ای (Fm): این رخساره در پهنه سیلابی دیده می‌شود و معرف لایه‌های گلی حاوی ریشه گیاهان است (شکل ۹). آثار ساخت‌های رسوبی اولیه بر اثر فعالیت‌های زیستی گیاهان همراه با آشفستگی زیستی از بین رفته است و طبقات حالت توده‌ای به خود گرفته‌اند. این رخساره از فراوانی بالایی در منطقه مطالعه برخوردار است و عمدتاً در دشت سیلابی و یا بخش‌های بالایی دیواره کانال مشاهده می‌شود. این رخساره در بعضی نقاط



شکل ۱۰. توزیع عمومی اندازه دانه‌ها در رخساره‌های رسوبی رودخانه قره‌چای در منطقه مطالعه (کدها بر اساس مایل، ۱۹۹۴ و ۲۰۰۶)، بیش‌تر رخساره‌ها بافت چندمدی دارند که نشان از وجود چندین منشأ برای آنها است.



شکل ۱۱. نمایش شماتیک مجموعه رخساره‌های اصلی در تیپ‌های رودخانه قره‌چای، تصویر صحرایی تیپ‌ها در شکل ۷، رخساره‌ها: = Gms گراول زمینه پستیپان، Gm = گراول دانه پستیپان، Ms = ماسه با لایه‌بندی توده‌ای، Sp = ماسه با لایه بندی مورب صفحه‌ای، Fm = گل توده‌ای

جدول ۴. مقایسه فراوانی بافت و شاخص‌های آماری شاخه‌های شمالی و جنوبی رودخانه قره‌چای (تعداد داده‌ها برای کد بافتی ۸۹ و برای شاخص‌های آماری ۳۸)

Ski	Si (φ)	Mz (φ)	mS	(g)mS	(g)M	gmS	gS	sG	msg	G	
۰/۲	۲/۰	۲/۷	۱/۹	۳/۹	۱/۹	۱۷/۶	۱/۹	۲۳/۵	۳۹/۲	۹/۸	شاخه‌های شمالی
۰	۲/۷	-۰/۹				۵/۲	۲/۶	۳۴/۲	۳۶/۸	۲۱/۰	شاخه‌های جنوبی

### نتیجه‌گیری

رخساره‌های داخل کانال اغلب گراولی (Gm و Gms) و ماسه‌ای (Sm، Sh و St) هستند. رخساره‌های گراولی خاص الگوی شاخه‌شاخه (تیپ D) و نزدیک به منشأ است. رخساره‌های ماسه‌ای عمدتاً در شرایط رژیم پایین ته‌نشست شده‌اند. رخساره‌های گلی (Fl، Fm) در رسوبات دشت سیلابی فراوان‌ترند. این رسوبات حاصل ته‌نشست از جریان‌های تعلیقی رژیم پایین ناشی از سرریز کانال و هنگام فروکش کردن سیلاب ته‌نشست شده‌اند.

بررسی ریخت‌شناسی بر روی رودخانه قره‌چای منجر به شناسایی پنج تیپ اصلی شامل A، G، F، B، D شده است. تیپ‌های A و G در بازه‌های کوهستانی و سایر تیپ‌ها در بازه‌های کم شیب (دشت) وجود دارند. اغلب تیپ‌ها تک کانال با پیچش کم (مانند توسعه نیافته) هستند؛ تنها تیپ چند کانال، تیپ D است که در بازه‌های نسبتاً محدود بیش‌تر در شاخه‌های شمالی دیده می‌شود.

## منابع

- Interpretation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, no. 12, 84-115.  
Hey, River response to hydraulic structures, Paris, UNESCO.
- [15] Khan, H.R (1971) Laboratory studies of alluvial river channel patterns. Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins.
- [16] Landwehr, K and Rhoads, B. L (2003) Depositional response of a headwater stream to channelization, east central Illinois, USA. *River. Res. Applic* 19, 77-100.
- [17] Lane, E.W (1957) A study of the shape of channels formed by natural streams flowing in erodible material. Missouri River Division Sediment Series No. 9, U.S. Army Engineer Division, Missouri River, Corps of Engineers, Omaha.
- [18] Le Pera, E and Sorriso-Valvo, M (2000) Weathering, erosion and sediment composition in a high gradient river, Calabria, Italy. *Earth. Sur. Pro. Landform*, 25, 277-299.
- [19] Leopold, L.B., and Wolman, M.G (1957) River patterns: braiding meandering and straight, U.S. Geol.Surv.Prof., 262-B, 39-85.
- [20] Martin, Ch.A.L. and Turner, B.R (1998) Origins of massive-type sandstones in braided river systems, *Earth-Science Reviews* 44 \_1998. 15-38.
- [21] Miall, A.D (1996) *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*. Springer-Verlag, New York, 582.
- [22] Miall, A.D (2000) *Principle of Sedimentary Basin Analysis* (3<sup>rd</sup> edition), Springer Verlag New York, 668.
- [23] Miall, A.D (2006) *The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis and petroleum geology*, Springer, 582p.
- [24] Moussavi-Harami, R., Mahboubi, A., and Khanebad, M (2004) Analysis of controls on downstream fining along three gravel-bed rivers in the Band- e- Golestan drainage basin NE Iran. *Geomorphology*, 61, 143- 153.
- [25] Nichols, G (2009) *Rivers and alluvial fans*, Ch. 9 of Nichols, G.(ed.) *Sedimentology and stratigraphy*. Wiley-Blackwell.
- [26] Parker, G (1991) Selective sorting and abrasion of river gravel. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(7), 150-171.
- [27] Petit, F., F. Gol, G. Houbrechts, and A.A. Assani (2005) Critical specific stream power in gravel bed rivers: *Geomorphology*, v.69.
- [28] Rengers, F., and Wohl, E (2007) Trends of grain sizes on gravel bars in the Rio Chagres, Panama., *Geomorphology*, 83, 282-293.
- [29] Rice, S. and Church, M (1998) Grain size along two gravel-bed rivers: statistical variation, spatial pattern and sedimentary links.
- [۱] ایلدرمی، ع (۱۳۷۴) پژوهشی در فرآیندهای فرسایشی و ممیزی مناطق آسیب‌پذیر حوضه قره‌چای (همدان)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز، ۴۰۹ صفحه.
- [۲] بلورچی، م حاجیان، ج (۱۳۷۶) نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کبودرآهنگ، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۳] خدابخش، س و وفايي، ه (۱۳۸۹) فعالیت‌ها، چالش‌ها و آینده منابع آب استان همدان (کتاب)، شرکت آب منطقه ای همدان، ۱۶۳ ص.
- [۴] سلحشور، ف (۱۳۸۵) نقش عوامل زمین‌شناسی در شدت رسوب‌دهی بار معلق زیر حوضه‌های رودخانه قره‌چای در همدان، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته رسوب‌شناسی و سنگ‌شناسی رسوبي، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ۱۴۲ ص.
- [۵] وزارت نیرو (۱۳۸۴) راهنمای پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها، نشریه شماره ۳۷، ۱۰۴ ص.
- [6] Amidi, M. and Majidi, B (1977) Geological Map of Hamedan, scale 1/250000. Geol. Survey of Iran, Rep. No.40, 263-278.
- [7] Benda, L., Andras, K., Miller, D., and Bigelow, P (2004) Confluence effects in rivers: interactions of basin scale network geometry, and disturbance regimes. *Water Resources Research*, 40, 1029-1040.
- [8] Blum, M.D., Marriott, S.B. and Leclair, S.F (2005) *Fluvial sedimentology VII*, Spec. Publ. no. 35, Int. Assoc.Sedimentologists, 589p.
- [9] Brice, J.C (1984) Planform properties of meandering rivers, in: Elliot, C.M. (Ed.), *Proceedings of the Conference - Rivers '83*, American Society of Civil Engineers, New Orleans, 1-1 5.
- [10] Chitale, S.V (1970) River Channel Patterns. *JHD, Proc. ASCE.*, 96, 201-222.
- [11] Ferguson, R.I., and Wathen, S.J (1998) Tracer pebble movement along a concave river profile: virtual velocity in relation to grain size and shear stress. *Water Resource Research* 34, 2031-2081.
- [12] Gomez, B., Rosser, B.J., Peacock, D.H., Hicks, D.M., and Palmer, J.A (2001) Downstream fining in a rapidly aggrading gravel bed river. *Water Resources Research*, 37(6), 1813-1823.
- [13] Harms, J.C., Southard, J.B. and Walker, R.G (1982) *Structure and Sequence in Clastic Rocks*. SEPM Short Course 9.
- [14] Harms, J.G. and Fahnstock, R.K (1965) Classification, bedforms and flow phenomena (with an example from the Rio Grande). In Middleton, G.V. (Ed.), *Primary Sedimentary Structures and their Hydrodynamic*

- Earth Surface Processes and Landforms, 23, 345-363.
- [30] Rosgen, D.L (1994) A classification of natural rivers: Catena, v. 22, p. 169-199.
- [31] Schumm, S.A (1977) The Fluvial System. Wiley, New York, 338 pp.
- [32] Selley, R.C (2000) Applied sedimentology, Academic Press, 521p.
- [33] Simons, D.B. and Senturk, F. 1992 Sediment transport technology, Book Crafters Inc., Chelsea, U.S.A.
- [34] Tucker, M.E (2001) Sedimentary Petrology. Third Edition, Blackwell, Oxford, 260p.
- [35] Surian, N (2002) Downstream variation in grain size along an Alpine river analysis of controls and processes, Geomorphology, 43.
- [36] Syvitski, J.P.M (2007) Principles, methods and application of particle size analysis, Cambridge Univ. Press, 368p.
- [37] Wang, X.M., Hho, J., Hao, R. and Cao, Sh.F (2011) Sediment transport dynamics in river network induced by water diversion, In: Ginsberg, S.S. (ed.) Sediment transport, Intech, 334 p.
- [38] Wohl, E.E., and Pearthree, P.A (1991) Debris flows as geomorphic agents in the Huachuca Mountains of southeastern Arizona. Geomorphology, 4, 273- 292.