

بررسی تغییرات اندازه ذرات و ترکیب رسوبات به طرف پایین دست رودخانه بقیع (شمال غرب نیشابور)

حسام کاویان، دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

محمد خانه‌باد، استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران*

اسدالله محبوبی، استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

رضا موسوی حرمی، استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

چکیده

حوضه آبریز ماروسک با مساحتی برابر ۱۳۱/۸۷ کیلومتر مربع در شمال غرب شهرستان نیشابور قرار دارد. رودخانه بقیع به عنوان یکی از شاخه‌های اصلی این حوضه آبریز با طولی معادل ۲۰/۱ کیلومتر مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت انجام مطالعات رسوب‌شناسی تعداد ۳۲ نمونه رسوب از وسط کانال فعال رودخانه برداشت شده است که پس از خشک شدن توسط روش غربال خشک جهت دانه‌بندی مورد آزمایش قرار گرفته است. پس از دانه‌بندی نمونه‌ها، پارامترهای آماری (میانه، میانگین، جورشدگی، کج شدگی و کشیدگی) محاسبه شدند. در رسوبات این رودخانه ۳ ناپیوستگی رسوبی تشخیص داده شده است. ناپیوستگی اول و دوم به ترتیب به دلیل ورود رسوبات مخروط افکنه و ورود کانال فرعی به داخل کانال اصلی و ناپیوستگی سوم به دلیل تغییر در لیتولوژی سازند در مسیر کانال اصلی رودخانه هستند. برای تعیین درصد فرسایش سازندهای منطقه و تعیین میزان تولید رسوب هر یک از آن‌ها، تست سایش لس آنجلس انجام شد. به طوری که سازند دلیچای با لیتولوژی کربناته و همچنین گسترش زیاد آن در مقایسه با سنگ‌های ولکانیکی (بازالت و آندزیت) به‌عنوان بیشترین تولیدکننده رسوب وارد به رودخانه تعیین شد. در بررسی رخساره‌های رسوبی نهشته‌های مورد مطالعه رخساره رسوبی دانه درشت (Gmm, Gcm)، رخساره رسوبی دانه متوسط (Sh) و رخساره رسوبی دانه ریز (Fm) شناسایی شدند. با توجه به رخساره‌های رسوبی عناصر ساختاری SG، SB و FF شناسایی شده است. مدل رسوبی ارائه شده برای این رودخانه شامل رودخانه بریده بریده گراولی با رسوبات جریان ثقلی و رودخانه بریده بریده کم عمق با بار بستر گراولی است.

کلیدواژه‌ها: پیوستگی رسوبی، رخساره‌های سنگی، ترکیب رسوبات، رودخانه بقیع، نیشابور

مقدمه

رودخانه‌ها سیستم‌های پویایی هستند که همواره در حال تغییر و دگرگونی هستند (مقیمی ۱۳۸۸). در نتیجه تعامل عوامل پیچیده شامل جریان آب، انتقال رسوب، تغییر شکل بستر و ... کانال‌های رودخانه به طور مستمر در حال تکامل‌اند (Sun et al. 2015). مقاومت در برابر جریان یکی از عوامل اصلی کنترل هیدرولیک جریان در رودخانه‌هاست (Powell 2014). رودخانه‌ها کانال‌هایی هستند که به عنوان زهکشی آب‌های سطحی مناطق اطراف عمل کرده و همزمان رسوبات را از ناحیه منشأ به حوضه‌های آبرفتی انتقال می‌دهند (Ferguson 2008). علاوه بر این، سیستم‌های رودخانه‌ای می‌توانند مکان رسوب‌گذاری و تجمع ذرات آواری در کانال‌ها و دشت‌های سیلابی هستند. اندازه ذرات آواری و ساختمان رسوبی در نهشته‌های کانالی، به وسیله ذرات آواری منشأ، شیب رودخانه، دبی و تغییرات فصلی جریان کنترل می‌شود (Nicols 2009). حمل و نقل رسوبات به صورت بار بستر یکی از فاکتورهای مهم در تعیین تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌های آبرفتی است (Haddadchi et al. 2012). در صورت نبود تأثیرات پیوستگی، آب انتقال‌دهنده حاوی رسوب باعث به وجود آمدن رودخانه بریده بریده می‌شود (Reitz et al 2014). نهشته‌های رودخانه‌ای همچنین شاخص مهم فرایندهای تکتونیک و شرایط آب و هوای زمان رسوب‌گذاری هستند (Miall 2006). ژئومورفولوژی رودخانه ارتباط نزدیکی با نقش رودخانه‌ها در شکل‌دهی مورفولوژی زمین دارد (Schumm 1963). به کمک مورفولوژی رودخانه می‌توان اطلاعاتی از شکل کلی، ابعاد و وضعیت هیدرولیکی، راستا و نیم‌رخ طولی بستر و نیز روند و مکانیزم تغییرات رودخانه، به دست آورد (یمانی و همکاران ۱۳۸۵). مهاجرت کانال رودخانه به وسیله تغییر پشته‌ها و تالوگ و تنظیم مقاطع عرضی مشخص می‌شود. این تغییرات معمولاً همراه با تکامل متناوب سدها و حوض‌ها توسط ته‌نشینی رسوب و فرسایش به وجود می‌آیند (Schumm et al. 1987; Seminara 2006; Van de Wiel et al. 2011; Parker et al. 2011). به طور کلی، در مقیاس زمانی نسبتاً کوتاه (کم‌تر از یک سال) بیش تر روند فرسایش و رسوب‌گذاری در هر

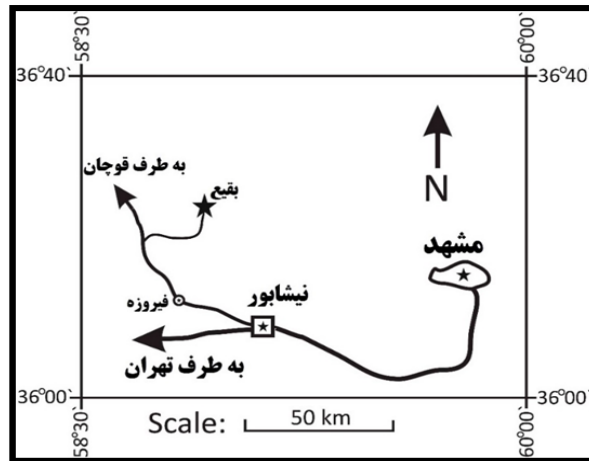
رودخانه تابع تعادل بین متغیرهای وابسته (بار رسوبی و دبی) و متغیرهای مستقل (نظیر شیب و مورفولوژی کانال) است، به طوری که هرگونه تغییر در متغیرهای مستقل، با تغییر در متغیرهای وابسته جبران می‌شود (Coates 1980). امروزه حوضه‌های آبریز نقش بسیار مهمی در تولید سیلاب‌های فصلی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک ایفا می‌کنند. اطلاع از وضعیت رسوب‌شناسی حال حاضر حوضه‌های آبریز و حتی گذشته این حوضه‌ها (که به صورت رخساره‌های رسوبی در دیواره کانال ثبت شده است) می‌تواند کمک شایانی در مهار و کنترل هرچه بهتر این عوامل طبیعی و در عین حال مخرب ایفا کند. پژوهش‌های زیادی در زمینه رسوب‌شناسی و ذرات رسوبی رودخانه در ایران و سایر نقاط جهان انجام شده است که از مطالعات انجام گرفته در ایران می‌توان به مطالعات پورسلطانی و معینی صالح (۱۳۹۱)، رستمی‌زاده و همکاران (۱۳۸۶) اشاره کرد. از کارهای انجام شده در خارج از کشور می‌توان به مطالعات Radoane et al. (2008) و (Rice and Church 2010) اشاره نمود. هدف از انجام این مطالعه بررسی تغییرات طولی اندازه ذرات به طرف پایین دست حوضه آبریز رودخانه بقیع و نیز مطالعه فرسایش‌پذیری سازندهای موجود در حوضه و رخساره‌های سنگی و ترکیب رسوبات است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز ماروسک با مساحتی برابر با ۱۳۱/۸۷ کیلومتر مربع و محیطی به طول ۵۱/۸۰ کیلومتر در دسته حوضه‌های با مساحت متوسط قرار می‌گیرد. این حوضه آبریز در طول شرقی "۱۲'۳۴°۵۸" تا "۴۸'۴۳°۵۸" و در عرض شمالی "۳۶'۳۰'۳۶" تا "۴۷'۳۷'۳۶" در بخش شمال غربی شهرستان نیشابور قرار دارد (شکل ۱). حوضه آبریز ماروسک از دو شاخه رودخانه اصلی تشکیل شده است. رودخانه بقیع با طول ۲۰/۱ کیلومتر در بخش شرقی این حوضه آبریز قرار دارد که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته است. رودخانه بقیع در ابتدا با امتداد شمالی - جنوبی جریان دارد و پس از طی مسافت ۷/۳ کیلومتر امتداد شمال شرق - جنوب غربی به خود

غربی نقشه زمین‌شناسی اخلمد با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ (پورلطیفی ۱۳۸۵) و در بخش غربی نقشه زمین‌شناسی مشهد با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (افشارحرب و همکاران ۱۳۶۵) قرار دارد.

می‌گیرد و پس از طی ۵/۶ کیلومتر دیگر امتداد شرقی- غربی به خود می‌گیرد و ادامه مسیر را در همین امتداد تا پایان مسیر ادامه می‌دهد. موقعیت جغرافیایی این حوضه در بخش جنوب



شکل ۱- راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه

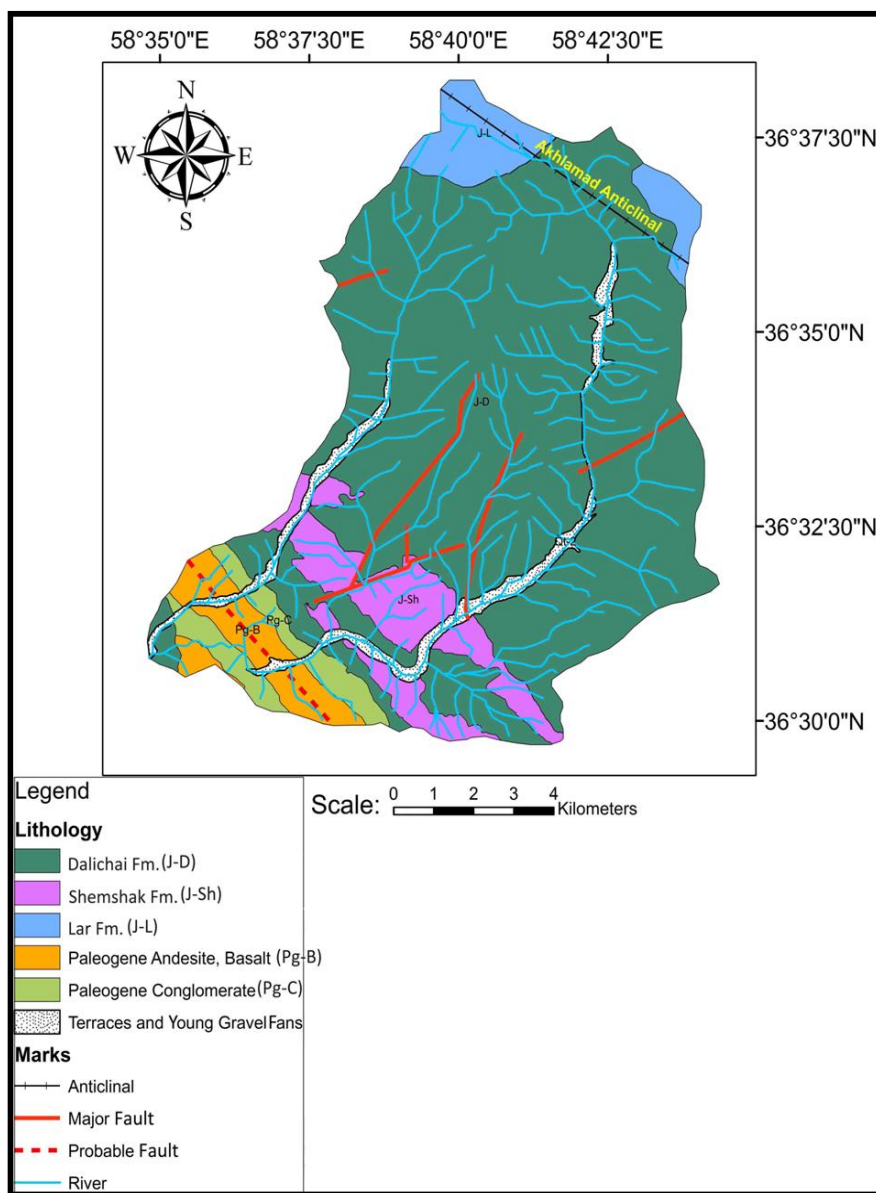
زمین‌شناسی منطقه

مزدوران، کنگلومرای پالئوژن و بازالت و آندزیت پالئوژن می‌باشد (شکل ۲). سنگ‌های ژوراسیک کپه داغ، به جز حالت‌های استثنایی، رخساره یکسان با سنگ‌های همزمان در البرز دارند. این شباهت به اندازه‌ای است که تعیین و حتی برآورد مرز میان کپه داغ و البرز خاوری را دشوار می‌سازد (آقانباتی ۱۳۸۵). بر اساس آخرین مطالعات انجام شده (رنوفیان ۱۳۹۳) زون ساختاری بینالود و البرز شرقی در طی ژوراسیک ارتباط دریایی خوبی داشته و ایالت پالئوجغرافیای واحدی را می‌ساخته‌اند، بنابراین با توجه به شباهت‌های زیست‌چینه‌ای و سنگ‌چینه‌ای بین ردیف‌های رسوبی ژوراسیک میانی- بالایی بینالود و البرز شرقی و شباهت کمتر بین این ردیف‌ها و زون کپه داغ، به نظر می‌رسد استفاده از اسامی سازندهای البرز شرقی (دلیچای و لار) مناسب‌تر از استفاده از اسامی سازندهای کپه داغ (چمن بید و مزدوران) برای این ردیف‌ها در زون ساختاری بینالود است. بر این اساس در این مطالعه از سازندهای کشف رود، چمن بید و مزدوران با عناوین شمشک، دلیچای و لار استفاده می‌شود. با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه و بازدیدهای صحرائی انجام شده در منطقه

منطقه مورد مطالعه در بخش میانی و باختری رشته کوه بینالود قرار دارد. واحد زمین‌ساختی بینالود دارای روند شمال باختری- جنوب خاوری بوده و در بین واحدهای ساختمانی کپه داغ در شمال، ایران مرکزی در جنوب و البرز در باختر محصور شده است (نبوی ۱۳۵۵). روند عمومی این رشته‌کوه‌ها از البرز پیروی می‌کند. این رشته‌کوه‌ها که ادامه خاوری رشته‌کوه‌های البرز در نظر گرفته می‌شوند، از سبزوار تا مشهد گسترش دارند. ردیف‌های رسوبی ژوراسیک میانی تا پسین در بخش باختری رشته‌کوه‌های بینالود دارای گسترش و ستبرای زیادی هستند. بر اساس تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵)، منطقه مورد مطالعه در بخش غربی زون بینالود قرار دارد. در منطقه مورد مطالعه، قدیمی‌ترین ردیف‌های دارای رخنمون شامل توالی‌هایی از ماسه‌سنگ، شیل، آرژیلیت و رس‌های زغال‌دار به رنگ خاکستری تیره تا سیاه به سن ژوراسیک میانی است. با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اخلمد (پورلطیفی ۱۳۸۵) سازندهای منطقه از قدیم به جدید شامل سازندهای کشف رود، چمن بید، آهک‌های ضخیم لایه

میان لایه‌هایی از شیل و مارن با فسیل آمونیت فراوان است. این سازند بر روی سازند شمشک و زیر سازند لار قرار دارد. سازند لار اساساً از آهک و آهک‌های دولومیتی متخلخل ضخیم لایه تشکیل شده است (درویش‌زاده ۱۳۸۹).

سازند شمشک عمدتاً از ماسه‌سنگ و شیل‌های سیلتی-رسی تشکیل شده است. بر اساس فسیل‌های موجود سن سازند شمشک اوایل ژوراسیک میانی تعیین شده است. سازند دلیچای عمدتاً از آهک‌های خاکستری تیره تا تیره دانه ریز با



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز ماروسک. اقتباس از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اکلمد (پورلطیفی ۱۳۸۵) با تغییراتی از رئوفیان (۱۳۹۳)

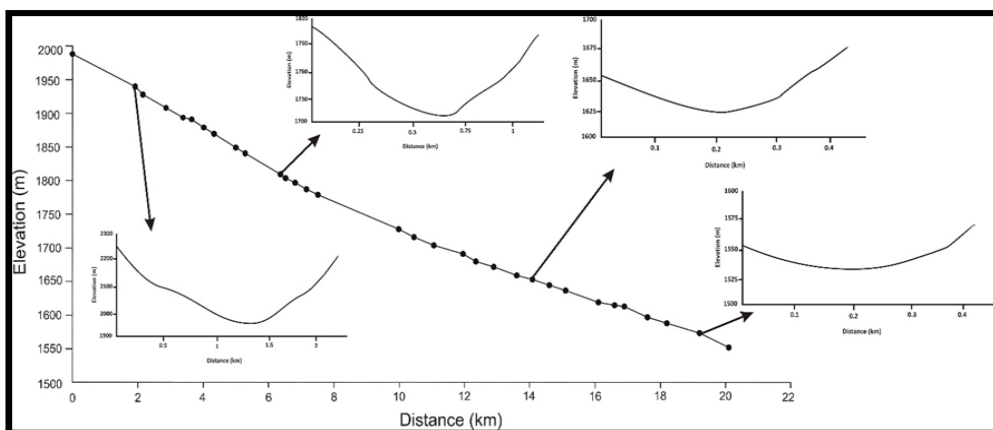
روش مطالعه

در دو دهه اخیر بررسی بر روی عوامل موثر بر تغییرات بافت و رخساره‌های رسوبی رودخانه‌های کشور شتاب بیشتری

گرفته است. یکی از مسائل مورد توجه، بررسی عوامل ایجاد ناپیوستگی در روند ریز شوندگی به سوی پایین دست در رودخانه‌هاست (خدابخش و همکاران ۱۳۹۲). در این مطالعه

میانگین، کج شدگی، جورشدگی و کشیدگی (Folk 1980) توسط نرم افزار Excel رسم و پارامترهای اندازه ذرات بر حسب فی محاسبه شده اند. با استفاده از داده های ارتفاع و فواصل نمونه ها پروفیل طولی رودخانه و همچنین در بازدید صحرایی پروفیل عرضی ۴ نقطه از رودخانه رسم شده است (شکل ۳). همانطور که از نیمرخ عرضی رودخانه به سمت پایین دست پیداست رودخانه به سمت پایین دست عریض شده و اختلاف ارتفاع دیواره های کناری رودخانه نیز کمتر شده است. برای بررسی جنس و ترکیب ذرات رودخانه تعداد ۸ مقطع نازک از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه تهیه و مطالعه شده است. همچنین جهت تعیین درصد سایش پذیری و رسوب دهی سازندهای منطقه، با انجام آزمایش تست سایش لس آنجلس درصد سایش پذیری برای هرکدام از این سازندها مشخص شده است. در طول عملیات صحرایی در منطقه مورد مطالعه از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه، با بررسی و شناسایی رخساره های رسوبی در طول کانال، تیپ رخساره ها و عوامل تشکیل دهنده آنها شناسایی شد. این مطالعه بر اساس رخساره های دیواره کانال انجام گرفته است که در واقع نشان دهنده رژیم های جریان حاکم بر کانال رودخانه در گذشته می باشد که کانال رودخانه در آن جریان داشته است.

روش نمونه برداری به صورت استاندارد و با توجه مطالعات انجام گرفته در این زمینه انجام شده است. بدین منضمورتعداد ۳۲ نمونه رسوب در فاصله ای به طول ۲۰/۱ کیلومتر از مسیر رودخانه بقیع از بالادست تا پایین دست از کف کانال اصلی برداشت شده است که در هر نقطه به کمک بیلچه نمونه گیر از حجمی استوانه ای شکل به قطر ۲۰ و عمق ۲۵ سانتی متر نمونه برداشت و موقعیت جغرافیایی هر نمونه با GPS مشخص شده است. به منظور حفظ پیوستگی نمونه های برداشت شده در طول رودخانه، نمونه برداری از قسمت فعال کانال رودخانه انجام شده است که رابطه نزدیکی با رژیم جریانی حال حاضر رودخانه دارد. پس از انتقال نمونه ها به آزمایشگاه و حذف رطوبت اولیه، با استفاده از روش غربال خشک و با فواصل ۰/۵ فی تا حد سیلت (۴ فی) به روش لويس و مک کونچی (۱۹۹۴) دانه سنجی انجام شد. پس از انجام این مرحله وزن نمونه های تفکیک شده در هر رده با استفاده از ترازوی MettlerP162 تا حد ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. از آنجائیکه وزن ذرات با قطر کمتر از ۴ فی در تمامی نمونه های مورد مطالعه کمتر از ۰/۵٪ کل وزن نمونه رسوب بود از انجام آنالیز پیبت برای نمونه ها صرف نظر شده است. نمودارهای داده های بدست آمده از آنالیز اندازه ذرات (نمودارهای تجمعی و هیستوگرام) و پارامترهایی نظیر میانه،



شکل ۳- نیمرخ طولی و نیمرخ عرضی به سمت پایین دست رودخانه بقیع

نتایج و بحث

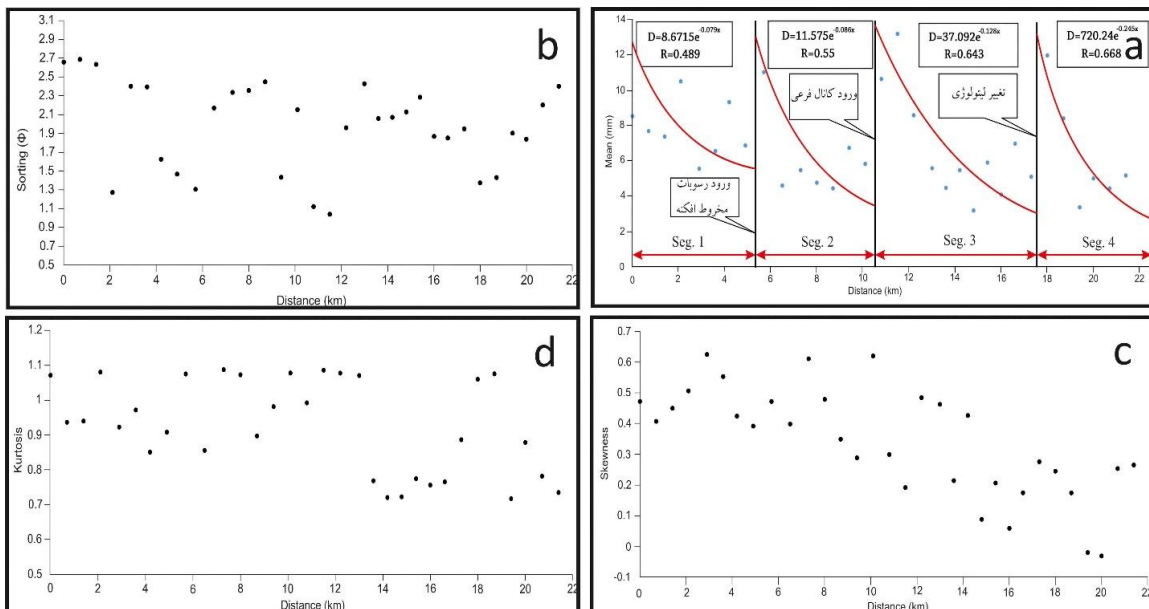
آنالیز اندازه ذرات

مطالعه رخساره‌های رسوبی و آنالیز اندازه ذرات را می‌توان برای تعیین محیط رسوبی و شناسایی فرآیندهای رسوب‌گذاری و نوع جریان به کار برد. توزیع اندازه ذرات در رسوبات به اختصاصات سنگ منشأ، فرایندهای هوازدگی، سایش و جورشدگی انتخابی آن‌ها در طی حمل و نقل بستگی دارد (Snelder et al. 2011). غالباً در ریز شونددگی ذرات به سمت پایین دست رودخانه جورشدگی هیدرولیکی و سایش دو عامل اصلی هستند. عوامل زمین ریخت‌شناسی مانند کاهش شیب بستر رودخانه یکی از عوامل کنترل‌کننده جورشدگی هیدرولیکی است، به طوری که با کاهش شیب رودخانه، قدرت حمل رسوبات کم شده و باعث ته‌نشست انتخابی ذرات درشت و حمل ذرات ریز می‌گردد (Rengers & Wohl 2007). جورشدگی هیدرولیکی به شکل، اندازه و چگالی ذرات وابسته است (Parker 1991 a, b). اندازه ذرات علاوه بر جورشدگی هیدرولیکی به فرایند سایش نیز بستگی دارد. سایش فرایندی ترکیبی است که شامل ورقه‌ای شدن، ساییده شدن، شکستگی و برخورد ماسه‌ها به همدیگر (Sand blasting) است (Lewin & Brewé 2002). رودخانه بقیع رودخانه‌ای با بار بستر گراولی است که نتایج حاصل از غربال نمونه‌ها نشان می‌دهد که رسوبات این رودخانه عمدتاً از نوع گراولی ماسه‌ای هستند. میانگین اندازه ذرات از بالا دست تا پایین دست رودخانه تغییرات بسیار نامنظمی را نشان می‌دهد (شکل ۴-ا). در رسوبات این رودخانه از سمت بالا دست به سمت پایین دست آن ۳ ناپیوستگی رسوبی و ۴ پیوستگی رسوبی تشخیص داده شده است. یکی از روش‌های مناسب برای بررسی روند ریز شونددگی در چنین رودخانه‌هایی

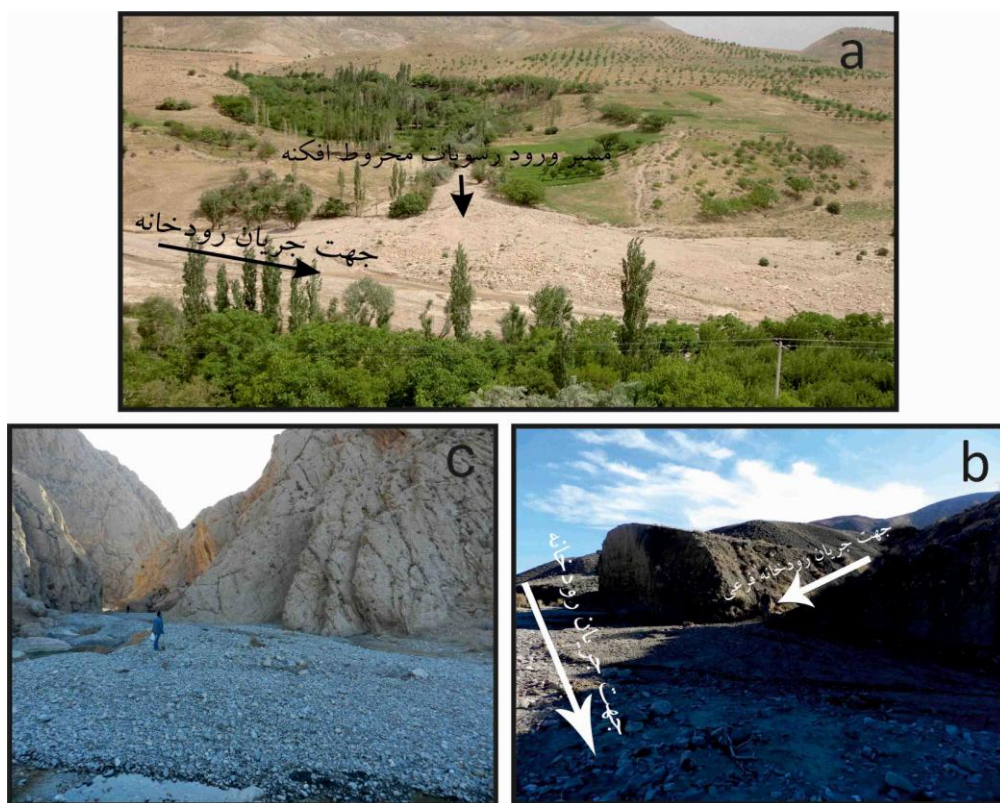
(رودخانه دارای ناپیوستگی رسوبی)، تقسیم رودخانه به پیوستگی‌های رسوبی مجزا بر اساس ناپیوستگی‌های شناسایی شده است (Rice and Church 2010). در ارتباط با ناپیوستگی‌های رسوبی عوامل متعددی از قبیل بار رسوبی و نوع رودخانه و همچنین تغییرات سنگ شناسی، شرایط آب و هوایی (Lewis et al. 2009)، پدیده‌های ژئومورفولوژیکی (ساختارهای زمین‌شناسی) و فعالیت‌های تکتونیکی تأثیری انکارناپذیر دارند (Sear and Newson 2003). ناپیوستگی اول مربوط به ورود مخروط افکنه به داخل کانال اصلی رودخانه است (شکل ۵-ا). ناپیوستگی دوم مربوط به ورود شاخه فرعی به رودخانه است (شکل ۵-ب) و ناپیوستگی سوم مربوط به تغییر لیتولوژی در مسیر کانال است (شکل ۵-ج). یکنواختی یا جورشدگی عبارت است از این که ذرات تشکیل‌دهنده رسوب یا سنگ، تا چه اندازه به یکدیگر نزدیک هستند. جورشدگی در رسوبات این رودخانه روند خاصی را نشان نمی‌دهد و جورشدگی آن‌ها از جورشدگی بد تا جورشدگی بسیار بد است (شکل ۴-ب). نوسانات شدید در جورشدگی ذرات را می‌توان به ناپیوستگی‌های رسوبی در طول میسر کانال نسبت داد به این صورت که پس از یک پیوستگی رسوبی که روند ریز شدن رخ می‌دهد توسط یکی از عوامل ایجاد ناپیوستگی ذراتی با میانگین قطر بیشتر نسبت به ذرات رسوبی در محل ناپیوستگی وارد کانال اصلی رودخانه می‌شوند و با در هم آمیخته شدن ذرات با قطرهای متفاوت جورشدگی کاهش می‌یابد. کج‌شدگی ذرات رودخانه بقیع از $0/03$ تا $0/624$ (Strongly fine Skewd) در تغییر است به طوری که اکثر نمونه‌ها کج‌شدگی مثبت دارند که به علت ورود ذرات دانه‌ریز در بین ذرات درشت‌تر بوده که سبب می‌شود دنباله منحنی ذرات به سمت ذرات دانه ریز کشیده

شده و در نتیجه نمونه‌های این رودخانه کج‌شدگی مثبت دارند (شکل ۴- c). کج‌شدگی مثبت به علت وجود مقادیر زیادی مواد معلق، از قبیل سیلت و رس، در رودخانه است که پس از رسوب‌گذاری مقداری از این ذرات در داخل رسوبات باقی می‌ماند. رودخانه‌هایی که مقادیر زیادی ذرات دانه درشت را باخود حمل می‌کنند ممکن است دارای کج‌شدگی منفی است (موسوی حرمی ۱۳۹۰). با توجه به طبقه‌بندی فولک ۱۹۷۴ در مورد کشیدگی ذرات رسوبی و داده‌های به دست آمده در مورد کشیدگی رسوبات مورد مطالعه که در محدوده ۰/۷۲۱ تا ۱/۸۸ است، کشیدگی در محدوده پهن (Platykurtic) تا متوسط (Mesokurtic) قرار می‌گیرد که کشیدگی در این محدوده با داده‌های حاصل از جورشدگی همخوانی کامل دارد (شکل ۴- d). در جدول ۱ با توجه به درصد تجمعی تمام نمونه‌های آنالیز شده درصد گراول، ماسه و گل برای هر کدام از نمونه‌ها به دست آمده و بر روی مثلث نام‌گذاری فولک

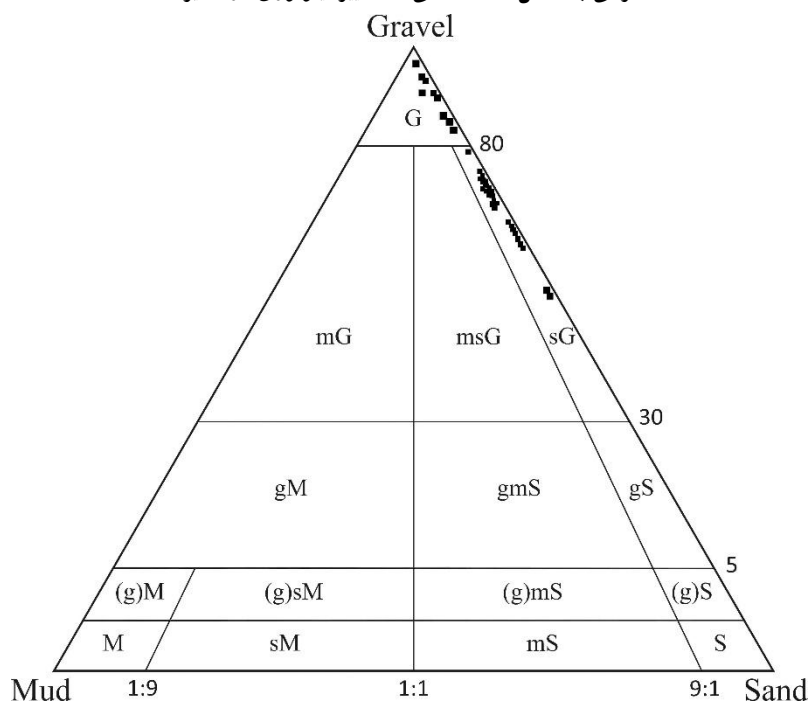
نام‌گذاری برای تمام نمونه‌ها انجام شده است که باتوجه به ناپیوستگی‌هایی که در مسیر رودخانه از بالا دست به سمت پایین دست وجود داشت در محل ناپیوستگی‌ها درصد گراول بالا رفته که باعث شده نام‌گذاری رسوبات تغییر کند. همان‌طور که در جدول مشخص است در محل ایجاد ناپیوستگی‌ها نمونه‌های رسوبی از گراول ماسه ای (SG) به رسوبات گراولی (G) تبدیل شده‌اند (شکل ۶). تغییرات درصد اجزای تشکیل دهنده رسوبات رودخانه به صورت نقطه‌ای تغییرات نامنظمی را از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه نشان می‌دهد که این تغییرات نامنظم به ناپیوستگی‌های رسوبی در طول کانال رودخانه ارتباط دارد، اما این تغییرات به صورت خطی کاهش در میزان گراول و افزایش در میزان ماسه و گل به سمت پایین دست را کاملاً نشان می‌دهد (شکل ۷).



شکل ۴- نمودارهای پارامترهای رسوبی ذرات رسوبی رودخانه بقیع از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه. a: میانگین (خطوط قرمز نشان دهنده ناپیوستگی‌های رسوبی در بین ناپیوستگی‌های رسوبی است). b: جورشدگی. c: کج‌شدگی. d: کشیدگی.



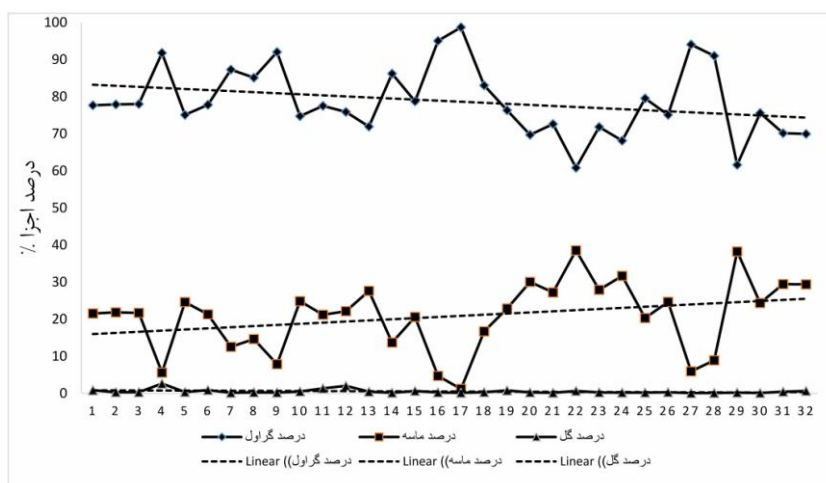
شکل ۵- عوامل ایجاد ناپیوستگی در مسیر کانال اصلی رودخانه از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه. a: ورود رسوبات مخروط افکنه. b: ورود کانال فرعی به داخل کانال اصلی. c: تغییر لیتولوژی در مسیر کانال



شکل ۶- محل نمونه‌های برداشت شده بر روی مثلث نام‌گذاری فولک (۱۹۸۰)

جدول ۱- نتایج حاصل از آنالیز اندازه ذرات از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه بقیع

شماره نمونه	میان (mm)	میانگین (mm)	جورشدهگی (phi)	کج شدگی	ضریب کشیدگی	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	نام گذاری رسوبات
۱	۱۴/۲۲	۸/۵۱	۲/۶۵	۰/۴۷	۱/۰۷	۷۷/۶۴	۲۱/۵۳	۰/۸۳	گراول ماسه‌ای
۲	۱۱/۸۷	۷/۶۷	۲/۶۸	۰/۴۰	۰/۹۳	۷۷/۹۱	۲۱/۸۳	۰/۲۶	گراول ماسه‌ای
۳	۱۲/۱۲	۷/۳۶	۲/۶۳	۰/۴۴	۰/۹۴	۷۸/۰۲	۲۱/۷۰	۰/۲۸	گراول ماسه‌ای
۴	۱۳/۲۶	۱۰/۴۸	۱/۲۷	۰/۵۰	۱/۰۸	۹۱/۷۹	۵/۵۸	۲/۶۳	گراولی
۵	۱۱/۴۷	۵/۵۴	۲/۴۰	۰/۶۲	۰/۹۲	۷۵/۰۹	۲۴/۵۸	۰/۳۳	گراول ماسه‌ای
۶	۱۲/۱۲	۶/۵۴	۲/۳۹	۰/۵۵	۰/۹۷	۷۷/۸۲	۲۱/۲۹	۰/۸۹	گراول ماسه‌ای
۷	۱۲/۹۹	۹/۳۱	۱/۶۲	۰/۴۲	۰/۸۵	۸۷/۲۹	۱۲/۵۶	۰/۱۵	گراولی
۸	۸/۷۵	۶/۸۶	۱/۴۶	۰/۳۹	۰/۹۰	۸۵/۱۴	۱۴/۶۲	۰/۲۴	گراولی
۹	۱۳/۴۵	۱۱	۱/۳۰	۰/۴۷	۱/۰۷	۹۲/۰۲	۷/۸۲	۰/۱۶	گراولی
۱۰	۶/۹۶	۴/۵۹	۲/۱۶	۰/۳۹	۰/۸۵	۷۴/۷۲	۲۴/۸۲	۰/۴۶	گراول ماسه‌ای
۱۱	۱۰/۳۳	۵/۴۶	۲/۳۳	۰/۶۱	۱/۰۸	۷۷/۵۰	۲۱/۲۰	۱/۳۰	گراول ماسه‌ای
۱۲	۷/۶۲	۴/۷۵	۲/۳۵	۰/۴۷	۱/۰۷	۷۵/۸۶	۲۲/۱۲	۲/۰۲	گراول ماسه‌ای
۱۳	۶/۴۹	۴/۴۳	۲/۴۴	۰/۳۴	۰/۸۹	۷۱/۹۴	۲۷/۶۳	۰/۴۳	گراول ماسه‌ای
۱۴	۷/۷۲	۶/۷۲	۱/۴۳	۰/۲۸	۰/۹۸	۸۶/۲۱	۱۳/۶۵	۰/۱۴	گراول ماسه‌ای
۱۵	۱۱/۳۹	۵/۸۱	۲/۱۵	۰/۶۲	۱/۰۷	۷۸/۷۵	۲۰/۶۰	۰/۶۵	گراول ماسه‌ای
۱۶	۱۲/۱۲	۱۰/۶۲	۱/۱۲	۰/۳۰	۰/۹۹	۹۵/۰۶	۴/۷۰	۰/۲۴	گراولی
۱۷	۱۴/۶۲	۱۳/۱۷	۱/۰۴	۰/۱۹	۱/۰۸	۹۸/۶۹	۱/۱۶	۰/۱۵	گراولی
۱۸	۱۲/۸۱	۸/۵۷	۱/۹۵	۰/۴۸	۱/۰۷	۸۳/۰۳	۱۶/۷۰	۰/۲۷	گراولی
۱۹	۹/۱۸	۵/۵۷	۲/۴۲	۰/۴۶	۱/۰۷	۷۶/۳۴	۲۲/۸۶	۰/۸۰	گراول ماسه‌ای
۲۰	۵/۵۷	۴/۴۶	۲/۰۵	۰/۲۱	۰/۷۶	۶۹/۷۰	۳۰/۰۵	۰/۲۵	گراول ماسه‌ای
۲۱	۸/۵۷	۵/۴۶	۲/۰۷	۰/۴۲	۰/۷۲	۷۲/۶۴	۲۷/۲۱	۰/۱۵	گراول ماسه‌ای
۲۲	۳/۴۳	۳/۱۸	۲/۱۲	۰/۰۸	۰/۷۲	۶۰/۸۲	۳۸/۵۳	۰/۶۵	گراول ماسه‌ای
۲۳	۶/۸۶	۵/۸۹	۲/۲۸	۰/۲۰	۰/۷۷	۷۱/۸۳	۲۷/۹۲	۰/۲۵	گراول ماسه‌ای
۲۴	۴/۲۵	۴/۰۸	۱/۸۶	۰/۰۶	۰/۷۵	۶۸/۱۳	۳۱/۶۷	۰/۲۰	گراول ماسه‌ای
۲۵	۸	۶/۹۶	۱/۸۵	۰/۱۷	۰/۷۶	۷۹/۵۳	۲۰/۲۷	۰/۲۰	گراول ماسه‌ای
۲۶	۶/۷۲	۵/۰۹	۱/۹۴	۰/۲۷	۰/۸۸	۷۵/۱۰	۲۴/۶۲	۰/۲۸	گراول ماسه‌ای
۲۷	۱۳/۴۵	۱۱/۹۵	۱/۳۷	۰/۲۴	۱/۰۶	۹۴/۰۵	۵/۹۰	۰/۰۵	گراولی
۲۸	۹/۳۸	۸/۳۹	۱/۴۳	۰/۱۷	۱/۰۷	۹۱/۰۲	۸/۸۹	۰/۰۹	گراولی
۲۹	۳/۳۶	۳/۳۶	۱/۹۰	-۰/۰۱	۰/۷۱	۶۱/۶۱	۳۸/۲۳	۰/۱۶	گراول ماسه‌ای
۳۰	۴/۸۵	۴/۹۹	۱/۸۴	-۰/۰۳	۰/۸۷	۷۵/۵۸	۲۴/۳۳	۰/۰۹	گراول ماسه‌ای
۳۱	۶/۰۶	۴/۴۳	۲/۲۰	۰/۲۵	۰/۷۸	۷۰/۱۳	۲۹/۴۳	۰/۴۴	گراول ماسه‌ای
۳۲	۶/۹۶	۵/۱۶	۲/۴۰	۰/۲۶	۰/۷۳	۶۹/۹۴	۲۹/۴۱	۰/۶۵	گراول ماسه‌ای

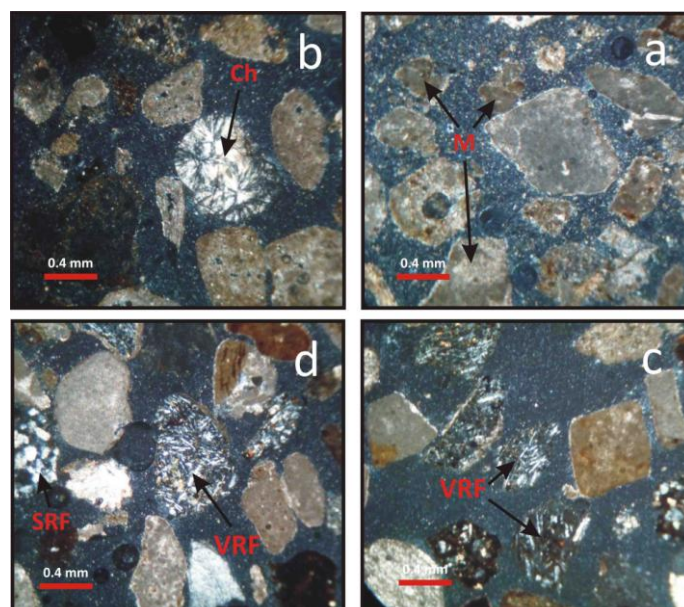


شکل ۷- تغییرات هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده رسوبات رودخانه بقیع از بالا دست به سمت پایین دست رودخانه

ترکیب و درصد سایش رسوبات

جهت بررسی تغییر جنس رسوبات و نقش لیتولوژی‌های منطقه مورد مطالعه در طول رودخانه بقیع، مقاطع میکروسکوپی از رسوبات کف کانال اصلی تهیه و مطالعه شد. بررسی مقاطع میکروسکوپی نمونه‌های رودخانه نشان‌دهنده کاهش دانه‌های کربناته به سمت پایین دست رودخانه و

افزایش خرده‌های ماسه سنگی و خرده‌های ولکانیکی می‌باشد. افزایش خرده‌های ولکانیکی به سمت پایین دست رودخانه در اثر فرسایش بازالت و آندزیت‌های پالئوژن است. این خرده‌ها دارای بافت میکرولیتی (کاه گلی) هستند. ائیدهای موجود در مقاطع در اثر فرسایش سازند کربناتی لار که ارتفاعات منطقه را در بر گرفته‌اند حاصل می‌شوند (شکل ۸).



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی از ترکیب ذرات رسوبی رودخانه بقیع. a: ذرات کربناته و میکریتی (M) در بالا دست رودخانه. b: کلسدونی (Ch) به همراه ذرات کربناته و میکریتی بالا دست رودخانه. c, d: خرده‌های ماسه‌سنگی (SRF) و خرده‌های ولکانیکی (VRF) با بافت میکرولیتی (کاه گلی).

است. پس از قرار دادن نمونه‌ها و تعداد ۱۲ گوی فولادی در داخل دستگاه لس آنجلس دستگاه را بر روی ۵۰۰ دور تنظیم کرده و پس از اتمام مراحل سایش در داخل دستگاه لس آنجلس نمونه را به صورت کامل از دستگاه خارج کرده و دو باره به منظور از بین بردن رطوبت نمونه را ۱۲ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه قرار داده و سپس با عبور مواد خشک شده از الک ۱/۷ میلی‌متر و وزن کردن مواد عبوری از روی این الک، وزن عبوری از وزن اولیه کم شد و با توجه به رابطه ۱ درصد سایش برای هر نمونه به دست آمده است.

به منظور تعیین درصد سایش ذرات در رودخانه، نمونه‌ها برای انجام تست لس آنجلس (روش A) آماده‌سازی شدند (جدول ۲). در مرحله اول به منظور از بین بردن رطوبت ذرات نمونه‌ها را به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از بیرون آوردن از دستگاه آون ذرات با اندازه بزرگ‌تر از ۳- فی در هر نمونه به طور مجزا از غربال‌های ۴/۷۵-، ۴/۲۵-، ۳/۷۵- و ۳/۲۵- فی عبور داده شده و با توجه به جنس ذرات باقی‌مانده روی هر غربال ذرات جدا سازی شدند. برای هر نمونه با توجه به استاندارد آزمایش، ۵ کیلوگرم از هر نمونه برای آزمایش جدا شده

جدول ۲- تست سایش لس آنجلس بر اساس استانداردهای A, B, C and D

Sieve Sizes from ASTM Designation: E 11		Weight of Indicated Size in Grams Aggregate Grading			
Passing	Retained On	A	B	C	D
37.5mm(1.5")	25.0mm(1")	1,250±25			
25.0mm(1")	19.0mm(3/4")	1,250±25			
19.0mm(3/4")	12.5mm(.5")	1,250±25	2,500±10		
12.5mm(1/2")	9.5mm(3/8")	1,250±25	2,500±10		
9.5mm(3/8")	6.3mm(1/4")			2,500±10	
6.3mm(1/4")	4.75mm(#4)			2,500±10	
4.75mm(#4)	2.36mm(#8)				5,000±10
Total		5,000±10	5,000±10	5,000±10	5,000±10
Number of Spheres		12	11	8	6

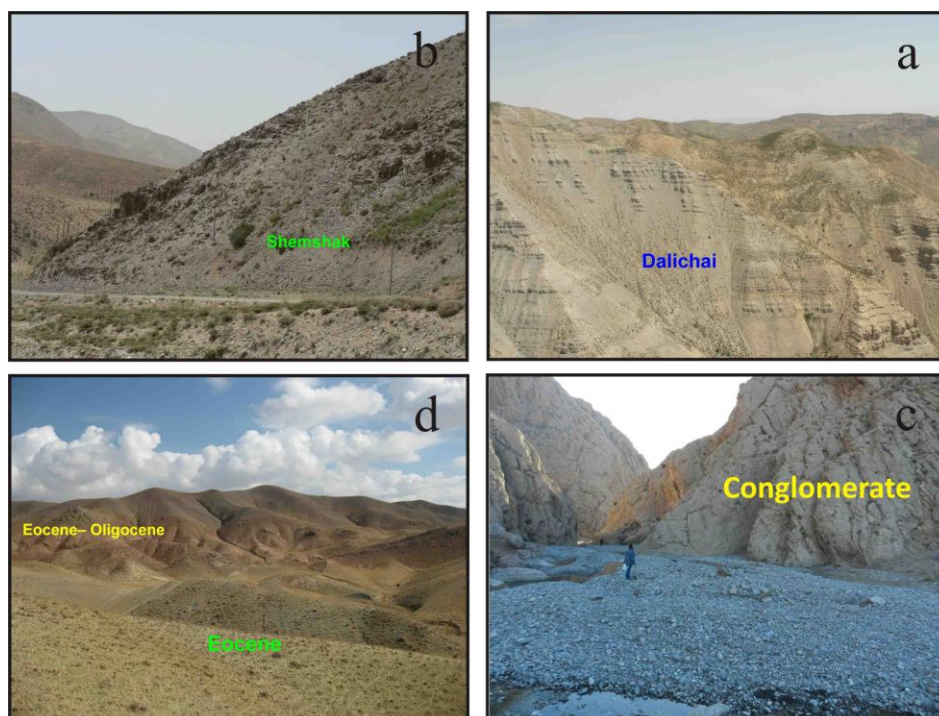
رسوبات سازندهای دلیچای، شمشک، کنگلومرای پالئوژن و آندزیت‌های پالئوژن به ترتیب ۳۹/۲، ۳۳/۸، ۲۱/۷ و ۲۸/۸ است. با توجه به لیتولوژی سازند دلیچای و نتایج حاصل از تست سایش لس آنجلس و همچنین گسترش خیلی زیاد این سازند در رودخانه بقیع بیشترین رسوب تولیدی در این رودخانه مربوط به این سازند است (شکل ۹).

$$X = \frac{W1 - W2}{W1} \times 100$$

رابطه ۱:

که X میزان سایش بر حسب درصد، W1 وزن اولیه نمونه خشک شده، W2 وزن نمونه خارج شده از دستگاه لس آنجلس که از الک ۱/۷ میلی‌متر عبور داده شده است (فهمی فر و سروش ۱۳۸۰).

به علت رخنمون بسیار کم سازند لار در منطقه، از انجام آزمایش تست سایش لس آنجلس برای این سازند صرف‌نظر شد. درصد سایش حاصل از تست لس آنجلس برای هریک از



شکل ۹- سازندهای مورد آزمایش در تست سایش لس آنجلس. a: دلچای. b: شمشک. c: کنگلومرای پالئوژن. d: آندزیت‌های پالئوژن

رخساره‌های سنگی

یک رخساره سنگی بر اساس ویژگی‌های سنگ‌شناسی نظیر ترکیب، اندازه ذرات، نوع لایه‌بندی و ساختارهای رسوبی تعریف می‌شود. هر رخساره سنگی نشان‌دهنده یک محیط رسوبی خاص است (Miall 2006). تشکیل رخساره‌های مختلف تحت تأثیر عوامل گوناگون از جمله اندازه دانه، عمق جریان، سرعت جریان، ویسکوزیته جریان و درجه حرارت است (Tucker 2001). تغییرات بافتی و ساختی در رسوبات دانه درشت گراولی نتیجه جریان‌های متغیر کششی و نرخ حمل و نقل رسوب است زیرا در طی حمل و نقل، دانه‌های گراولی ممکن است چندین مرتبه رسوب کرده و مجدداً حمل شوند. رخساره‌های سنگی دانه متوسط یا ماسه‌ای حاصل جریان‌های کششی - تعلیقی به فرم جهشی هستند (Blair and McPherson 1994; Tucker 2001). تشکیل رخساره‌های سنگی دانه ریز، نتیجه جریان‌های تعلیقی هستند که سبب ایجاد رخساره‌های گلی می‌شوند (Tucker 2001). با توجه به شواهد و مطالعات صحرائی که در طول مسیر از بالا دست تا پایین دست

رودخانه انجام گرفت، رخساره‌های رسوبی بر اساس اندازه ذرات در سه گروه رخساره‌های گراولی (Gcm, Gmm)، رخساره ماسه‌ای (Sh) و رخساره گلی (Fm)، شناسایی و نام‌گذاری شدند (جدول ۳).

جدول ۳- رخساره‌های شناسایی شده در رودخانه بقیع

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 بار بستر با جریان آشفته)
ماسه‌ای	Sh	ماسه با لایه‌های مسطح و پر کننده کانال	نشان‌دهنده مرحله عقب‌نشینی نهایی سیلابی شدن
گلی	Fm	گل و سیلت توده‌ای حاوی ریشه گیاهان	رسوبات خارج کانال، رسوبات کانال متروکه یا رسوبات پوششی

رخساره گراولی

از این مجموعه رخساره‌های Gmm و Gcm شناسایی شده است.

رخساره گراول با لایه‌بندی توده‌ای، با قطعات فراوان (Gcm): این رخساره معرف طبقاتی است که بخش اصلی آن را گراول‌ها تشکیل داده و بیشتر فضای بین آن‌ها از ذرات ریزتر تشکیل شده است. این رخساره دارای ذرات نیمه زاویه‌دار بوده و جورشدگی ضعیفی از خود نشان می‌دهد. مطالعات (Kostic et al. 2005) در جنوب غرب آلمان نشان داد که این رخساره نشان‌دهنده انرژی بالایی محیط در هنگام رسوب‌گذاری است و از ته‌نشست ذرات ریز جلوگیری می‌نماید. لذا طبقات به علت تشکیل در انرژی بالا و شرایط جریان آشفته حالت توده‌ای دارند. این رخساره مربوط به کف کانال یا پایین‌ترین بخش سدهای رسوبی است و معمولاً در رودخانه‌های بریده بریده با بار بستر گراولی تشکیل می‌گردد (Deynoux et al. 2005; Siddiqui & Robert 2010). این رخساره در طول کانال رودخانه بقیع ته‌نشست نموده و بیانگر انرژی نسبتاً بالا بوده که حاصل تأثیرات وضعیت فیزیوگرافی حوضه همانند شیب بالا و افزایش شده جریان است (شکل ۱۰-ا).

رخساره گراولی با لایه‌بندی توده‌ای، با ماتریکس فراوان (Gmm): این رخساره نمایش‌دهنده طبقات ضخیمی است که حالت توده‌ای داشته و به علت نزدیکی به منشأ نسبتاً زاویه‌دار بوده و گراول‌هایی در اندازه‌های بسیار درشت تا ریز را شامل می‌شود، به طور عمده از ماتریکس تشکیل شده است. در این رخساره، رسوبات دانه‌ریز ماسه‌ای و گلی فضای بین دانه‌های گراولی را پر کرده‌اند. این رسوبات فاقد لایه‌بندی بوده و طبقه‌بندی تدریجی در آن‌ها نیز دیده نمی‌شود. دارای جورشدگی بسیار ضعیف و ساختمان بهم ریخته‌اند که نشان‌دهنده حمل و نقل کوتاه و نزدیکی به منشأ رسوبی است (Blair & McPherson 1999; Kostic et al. 2005; Bertoldi et al. 2008). در این کانال ضخامت این رخساره در حدود ۷۵

سانتی‌متر بوده که در برخی قسمت‌ها بیشتر می‌شود. رسوبات به علت ته‌نشست ناگهانی و نزدیکی به منشأ زاویه‌دار بوده و گراول‌هایی از اندازه‌های بسیار درشت تا ریز رسوب می‌کنند. این رخساره در بخش‌های نزدیک به منشأ شناسایی شده است (شکل ۱۰-ب).

رخساره ماسه‌ای

تنها رخساره ماسه‌ای شناسایی شده در این رودخانه رخساره Sh است.

رخساره Sh: در رخساره Sh دانه‌های در اندازه گراول به خوبی گرد شده‌اند و از جورشدگی بهتری نسبت به رخساره‌های قبلی برخوردارند، ولی به طور کلی دارای جورشدگی ضعیف است. (Deynoux et al 2005; Siddiqui and Robert 2010). از دلایل این اختصاصات می‌توان به مسافت حمل بیشتر رسوبات این رخساره سنگی نسبت به دیگر رخساره‌های سنگی نوع گراولی اشاره کرد. معمولاً پیل در این رسوبات به ندرت دیده می‌شود و ممکن است توسط ماسه‌ها احاطه شده‌باشد. از اختصاصات اصلی این رخساره می‌توان به افقی بودن لایه‌ها و وجود جدایش خطی در سطوح لامیناسیون نیز اشاره کرد (Kostic et al. 2005). این رخساره سنگی در بخش‌های میانی رودخانه شناسایی شده است (شکل ۱۰-ج).

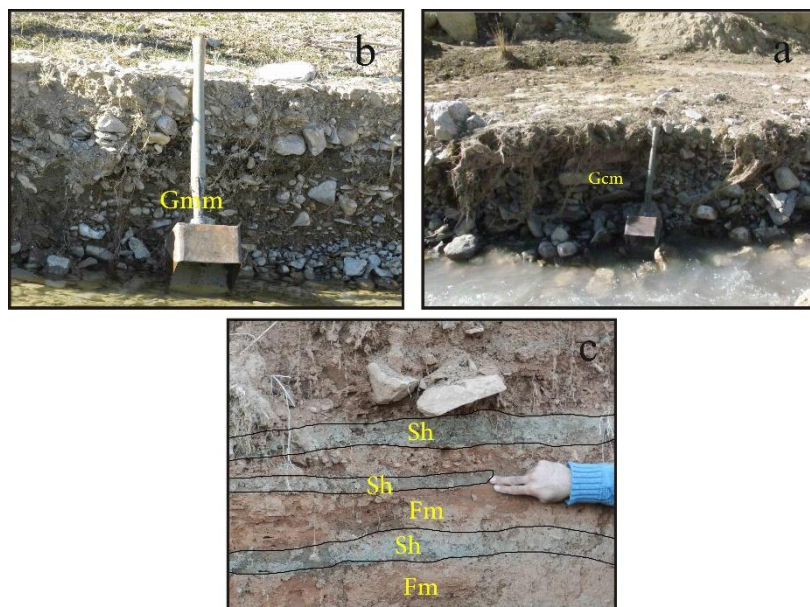
رخساره گلی

تنها رخساره دانه ریز شناسایی شده در این رودخانه رخساره Fm است.

این رخساره حاوی ریشه گیاهان و ترک‌های گلی بوده و در اثر فعالیت ریشه گیاه ساخت‌های رسوبی آن از بین رفته است و طبقات حالت توده‌ای به خود گرفته‌اند. در مواردی که این رخساره رسوبی با ضخامت کم دیده می‌شود، می‌توان آن را مربوط به رسوب‌گذاری بار معلق در دشت سیلابی و یا به

صورت پوشش گلی روی سدها در داخل رودخانه در نظر

گرفت (Miall 2006) (شکل ۱۰-۱).c.



شکل ۱۰-۱- رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در رودخانه بقیع. a: رخساره گراول با قطعات فراوان (Gcm). b: رخساره گراول با ماتریکس فراوان (Gmm). c: رخساره ماسه‌ای (Sh) و رخساره گلی (Fm)

عناصر ساختاری

رخساره‌های رسوبی در مقیاس بزرگ‌تر به شناسایی عناصر ساختاری و سپس نوع رودخانه می‌انجامند و آنالیز عناصر ساختاری در تشخیص اجزای رسوبی نهشته‌های رودخانه‌ای متمرکز بوده و از این رو برای تشخیص سدها، کانال‌ها، خاکریزهای طبیعی، دشت‌های سیلابی و ... بسیار سودمند است (Holbrook and Schumm 1999). بر اساس رخساره‌های شناسایی شده در طول رودخانه عناصر ساختاری شناسایی شده (جدول ۴) بشرح زیر است:

عناصر ساختاری SG: این عنصر ساختاری معمولاً به شکل گسترده و صفحه‌ای است و قاعده نامنظم و عمدتاً غیر فرسایشی است. این عنصر ساختاری بر اثر جریان‌های خرد دار و جریان‌های رسوبی حاصل از جاذبه با میزان رسوب‌گذاری بالا در نواحی نزدیک به منشأ در سیستم‌های

رودخانه‌ای بریده بریده تشکیل می‌گردد (Miall 2006). این عنصر ساختاری در رودخانه مورد مطالعه از رخساره‌های Gcm و Gmm تشکیل شده است.

عناصر ساختاری SB: این عنصر ساختاری به شکل ورقه‌ای و نیز پهن و گسترده دیده می‌شود که عمدتاً از رخساره‌های سنگی ماسه‌ای نوع Sh تشکیل شده است. عنصر مذکور معمولاً به فرم رسوبات پر کننده کانال بوده و در بخش‌های پایین دست تشکیل شده است.

عناصر ساختاری FF: این عنصر ساختاری از رسوبات ریز خارج از کانال تشکیل شده است. عنصر ساختاری مذکور در رودخانه‌های بریده بریده و مخروط افکنه ته‌نشین شده و بر اثر کاهش انرژی سیال و در محیط‌های آرام‌تر ته‌نشست می‌کند (Miall 2006).

جدول ۳- رخصاره‌های شناسایی شده در رودخانه بقیع

گروه رخصاره	کد رخصاره	توصیف رخصاره	تفسیر
گراولی	Gmm	گراول توده‌ای با زمینه ماتریکس	جریان‌های خرده دار پلاستیک، انرژی بالا
	Gcm	گراول توده‌ای، زمینه قطعات درشت	جریان خرده‌دار به فرم پلاستیک کاذب (حرکت به فرم بار بستر با جریان آشفته)
ماسه‌ای	Sh	ماسه با لایه‌های مسطح و پرکننده	نشان‌دهنده مرحله عقب نشینی نهایی سیلابی شدن
گلی	Fm	گل و سیلت توده‌ای حاوی ریشه گیاهان	رسوبات خارج کانال، رسوبات کانال متروکه یا رسوبات پوششی

جدول ۴- عناصر ساختاری شناسایی شده با توجه به رخصاره‌های رسوبی در رودخانه بقیع

عناصر ساختاری	مجموعه رخصاره‌های رسوبی	نوع رسوبات	انرژی حمل رسوبات	پیچش رودخانه
SG	Gmm + Gcm	گراول با مقدار کمی ماسه	زیاد	کم
SB	Sh	ماسه با کمی ذرات ریز دانه	متوسط تا پایین	زیاد
FF	Fm	گل، در مواردی حاوی پیل	پایین	زیاد

مدل رسوبی

در این قسمت با توجه به رخصاره‌های رسوبی و عناصر ساختاری شناسایی شده و با در نظر گرفتن شرایط ریخت‌شناسی حوضه مدل رسوبی با در نظر گرفتن تقسیم‌بندی (Miall 2006) مدل‌های رسوبی زیر پیشنهاد می‌گردد:

رودخانه بریده بریده گراولی با رسوبات جریان ثقلی: این رسوبات عمدتاً تحت تأثیر جریان‌های گراول‌ایته‌ای برجای گذاشته می‌شوند. عنصر ساختاری اصلی در این رودخانه SG است که نشان‌دهنده انرژی بالا بوده و معمولاً این نوع رودخانه‌ها در قسمت‌های بالا دست شناسایی می‌شوند.

رودخانه بریده بریده کم عمق با بار بستر گراولی: این حالت در قسمت میانی و پایین دست رودخانه تشکیل شده است. عمق رودخانه در این قسمت کمتر از یک متر بوده و پیچش کانال کم است. رسوبات عمدتاً درشت هستند و به فرم بار بستر حرکت می‌کنند. در بعضی قسمت‌ها مقدار کمی رسوبات ماسه‌ای بر جای گذاشته شده‌اند و دلیل آن را می‌توان به پایین

رفتن سطح آب رودخانه در اثر کاهش شدت انرژی در فصول کم باران نسبت داد (Miall 2006). از رخصاره‌های رسوبی که در این بخش از کانال تشکیل شده‌اند می‌توان به رخصاره‌های Gmm, Gcm, Sh و Fm اشاره کرد.

نتیجه

با توجه به آنالیز اندازه ذرات و مطالعات رسوب شناسی در رودخانه بقیع سه ناپیوستگی رسوبی و چهار پیوستگی رسوبی تشخیص داده شده است. در محل ایجاد ناپیوستگی‌های رسوبی به علت این‌که ذرات با میانگین قطر بیشتری وارد رودخانه شده‌اند درصد گراول بالا رفته و در نام‌گذاری رسوبات باعث شده است که از رسوبات گراول ماسه‌ای به رسوبات گراولی تغییر یابند. در هر یک از پیوستگی‌های رسوبی ریز شوندگی به سمت پایین دست رودخانه تحت تأثیر دو عامل جورشدگی هیدرولیکی و سایش ذرات است. به علت وجود ناپیوستگی‌های متعدد در طول کانال رودخانه به سمت پایین دست جورشدگی ذرات به سمت پایین دست

خدابخش، س.، س. میرحسین‌زاده، ف. چراغی، و ی. وکیل‌زاده، ۱۳۹۲، ویژگی‌های زمین‌شناسی و رسوب‌شناسی رودخانه چشمه علی، شمال غرب دامغان: هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۸ ص.

درویش‌زاده، ع.، ۱۳۸۹، زمین‌شناسی ایران، چاپ چهارم: موسسه انتشارات امیر کبیر، ۴۳۴ ص.

رستمی‌زاده، ق.، ر. موسوی حرمی، و الف. محبوبی، ۱۳۸۶، شناسایی فرایندهای موثر در پیوستگی رسوبی و تغییرات بافتی در رسوبات رودخانه‌ای حوضه آبریز بیدواز- شرق اسفراین، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و سوم: ش ۱، ص ۷۵-۸۵.

رئوفیان، الف.، ۱۳۹۳، بررسی ردیف‌های رسوبی ژوراسیک میانی تا بالایی در حوضه ساختاری- رسوبی بینالود بر مبنای مطالعات چینه‌شناسی، فسیل‌شناسی (زیای آمونیتی) و محیط رسوبی: رساله دکتری، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ۴۱۹ ص.

فهیمی فر، الف.، ح. سروش، ۱۳۸۰، آزمایش‌های مکانیک سنگ، چاپ اول: انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۷۱۹ ص.

مقیمی، الف.، ۱۳۸۸، اکولوژئومورفولوژی و حقوق رودخانه: انتشارات دانشگاه تهران، ۲۹۶ ص.

موسوی حرمی، ر.، ۱۳۹۰، رسوب‌شناسی، چاپ سیزدهم: انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۴۷۴ ص.

نبوی، م.، ح.، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۰۹ ص.

یمانی، م.، م. حسین‌زاده، و الف. نوحه‌گر، ۱۳۸۵، هیدرودینامیک رودخانه‌های لار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر مشخصات هندسی آن: پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۵، ص ۱۵-۲۳.

Bertoldi, W., P. Ashmore, and M. Tubino. 2008, A method for estimating the mean bed load flux in braided rivers: *Geomorphology*, v. 93, p. 45-57.

رودخانه از الگوی خاصی پیروی نمی‌کند و حالت سینوسی دارد. با توجه به نتایج حاصل از تست سایش لس‌آنجلس و همچنین لیتولوژی سازندهای منطقه، سازند دلیچای بیشترین میزان تولید رسوب را در رودخانه مورد مطالعه داراست و کمترین میزان تولید رسوب مربوط به کنگلومرای پالئوژن است. در رودخانه بقیع چهار رخساره رسوبی که شامل رخساره گراولی (Gmm) و (Gcm)، ماسه‌ای (Sh) و رخساره گلی (Fm) است، شناسایی شده است. با توجه به رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در این رودخانه سه عنصر ساختاری جریان گراولته‌ای (SG)، ماسه‌ای (SB) و رخساره ریز خارج از کانال (FF) برای رودخانه مورد نظر ارائه شده است.

با توجه به رخساره‌های رسوبی و عناصر ساختاری عنوان شده، مدل‌های رسوبی ارائه شده برای این رودخانه شامل رودخانه بریده بریده گراولی با رسوبات جریان ثقلی در بالا دست و رودخانه بریده بریده کم عمق با بار بستر گراولی در پایین دست رودخانه هستند.

منابع

آقناباتی، ع.، ۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ دوم، ۵۸۶ ص.

افشار حرب، ع.، ع. آقناباتی، ب. مجیدی، ن. علوی تهرانی، م.

شهرابی، م. داودزاده، و الف نوائی، ۱۳۶۵، نقشه

زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ مشهد: سازمان زمین‌شناسی

کشور، تهران.

پورسلطانی، م.، ر. و م. معینی صالح، ۱۳۹۱، مطالعه

رسوب‌شناسی رودخانه‌های مطراآباد و صلح‌آباد،

حوضه آبریز نوبهار، ایران مرکزی: نشریه علمی-

پژوهشی رخساره‌های رسوبی، شماره ۵(۲)،

ص ۱۶۹-۱۸۴.

پورلطیفی، الف.، ۱۳۸۵، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰

سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.

- fluvial deposits on the Cinca and Gallego Rivers (NE Spain) based on OSL dating and soil stratigraphy: *Global and Planetary Change*, v. 67, p. 141-152.
- Powell, M.D., 2014, Flow resistance in gravel-bed rivers: Progress in research, *Earth-Science Reviews*, v. 136, p. 301-338.
- Reitz, M.D., J.D. Jerolmack, E. Lajeunesse, A. Limare, O. Devauchelle, and F. M'etivier, 2014, Diffusive evolution of experimental braided rivers: *Physical Review E*, v. 89, p. 1-6.
- Miall, A.D., 2006, *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies: Basin Analysis, and Petroleum Geology*, Springer, 582p.
- Nicols, G., 2009, *Sedimentology and stratigraphy*, 2nd Edition: Wiley-Blackwell, 419p.
- Parker, G., 1991a, Selective sorting and abrasion of river gravel: Theory (Part I). *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 117(2), p. 131-149.
- Parker, G., 1991b, Selective sorting and abrasion of river gravel: Applications (Part II). *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 117(2), p. 150-171.
- Parker, G., Y. Shimizu, G.V. Wilkerson, E.C. Eke, J.D. Abad, J.W. Lauer, C. Paola, W.E. Dietrich, and V.R. Voller, 2011, A new framework for modeling the migration of meandering rivers: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 36, p. 70-86.
- Radoane, M., N. Radoane, D. Dumitriu, and C. Miclaus, 2008, Downstream variation in bed sediment size along the East Carpathian rivers: evidence of the role of sediment sources, *Earth Surf. Process. Landforms*, v. 33, p. 674-694.
- Reid, I., J.C. Bathurst, P.A. Carling, D.E. Walling and B.W. Webb, 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, p. 95-135.
- Rengers, F., and E. Wohl, 2007, Trend of grain sizes on gravel bars in the Rio Chagres, Panama: *Geomorphology*, v. 83, p. 282 - 293.
- Rice, S.P., and M. Church, 2010, Grain-size sorting within river basin relation to downstream fining along a wandering channel: *Sedimentology*, v. 57, p. 232-251.
- Schumm, S.A., 1963, A tentative classification of alluvial river channels: U.S. Geological Survey Circular, 477p.
- Schumm, S.A., M.P. Mosley, and W.E. Weaver, 1987, *Experimental Fluvial Geomorphology*: John Wiley & Sons, New York, 428p.
- Blair, T.C., and J.G. McPherson, 1994, Alluvial fans and their natural distinction from rivers based on morphology, hydraulic processes, sedimentary processes and facies: *Journal of Sedimentary Research*, v. 64, p. 451-490.
- Blair, T.C., & J.G. McPherson, 1999, Grain size textural classification of coarse sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, p. 6-19.
- Coates, D.R., 1980, *Geomorphology and Engineering*: Allen & Unwin Publication, 360p.
- Deynouxa, M., C.A. Inerb, O. Mondoc, A. Karab, M. VyVkoglu, and G. Manatschala, 2005, Sevim Tuzeu Facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fan-delta complexes in the tectonically active Miocene, ay basin, Isparta Angle, Turkey. *Sedimentary Geology*, v. 173, p. 315 - 343.
- Ferguson, R., 2008, Gravel-bed Rivers at the reach scale. In *Gravel-Bed Rivers VI: From Process Understanding to River Restoration*: Habersack, H., Piegay, H. & Rinaldi, M. Amsterdam.: Elsevier, p. 33-53.
- Folk, R.L., 1980, *Petrology of sedimentary rocks*: Hemphill Publishing Company Austin, Texas, 182p.
- Haddadchi, A., M. Omid and A. Dehghani, 2012, Assessment of bed-load predictors based on sampling in a gravel bed river: *Journal of Hydrodynamics*, v. 24(1), p. 145-151.
- Holbrook, J., and S.A. Schumm, 1999, Geomorphic and Sedimentary response of rivers to tectonic deformation, a brief review and critique of a tool for recognizing subtle epeirogenic deformation in modern and ancient setting: *Tectonophysics*, v. 305, p. 287-306.
- Khalifa, M., and Q. Catuneanu, 2008, Sedimentary of the Bahariya Formation (Early Cenomanian), Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt: *Journal of African Earth Sciences*, v. 51, p. 89-103.
- Kostic, B., A. Becht, and T. Aigner, 2005, 3D Sedimentary architecture of a Quaternary gravel delta (SW Germany): Implications for hydrostratigraphy, *Sedimentary Geology*, v. 181, p. 143-171.
- Lewin, J., and P. A. Brewer, 2002, Laboratory simulation of clast abrasion: *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 27, p. 145-164.
- Lewis, D.W., and D. McConchie, 1994, *Analytical Sedimentology*: Champion & Hall, London, 197p.
- Lewis, C.J., E.V. McDonald, C. Sancho, J.L. Pena, and E.J. Rhodes, 2009, Climatic implications of correlated Upper Pleistocene glacial and

- river bed surface grain size: *Geomorphology*, v. 127, p. 189-197.
- Sun, J., B-l. Lin and H-W. Kuang, 2015, Numerical modeling of channel migration with application to Laboratory Rivers: *International Journal of Sediment Research*, v. 30, p. 13-27.
- Van de Wiel, M.J., T.J. Coulthard, M.G. Macklin, and J. Lewin, 2011, Modeling the response of river systems to environmental change: Progress, problems and prospects for palaeo-environmental reconstructions. *Earth-Science Reviews*, v. 104, p.167–185.
- Tucker, M.E., 2001, *Sedimentary Petrology*. Third Edition: Blackwell, Oxford, 260p.
- Sear, D.A., and M.D. Newson, 2003, Environmental change in river channels: a neglected element. Towards geomorphological typologies, standard and monitoring: *Science of the Total Environment*, v. 310, p. 19-29.
- Seminara, G. 2006, Meanders: *Journal of Fluid Mechanics*, v. 554, p.271–297.
- Siddiqui, A., and A. Robert, 2010, Thresholds of erosion and sediment movement in bedrock channels, *Geomorphology*, v. 118, p, 301-313.
- Snelder, T.H., N. Lamouroux, and H. Pella, 2011, Empirical modeling of large scale patterns in