

دوفصلنامه کواترنری ایران (علمی-پژوهشی)، دوره ۷، شماره ۲ و ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۰  
ص ۵۸ تا ۸۱

## تفسیر رخساره‌های رسوبی بر اساس آنالیز اندازه ذرات رودخانه

(مطالعه موردی: رودخانه حاجی عرب، استان قزوین)

معصومه خاکستری؛ دانشجوی دکتری زمین شناسی، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

سادات فیض نیا\*؛ استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

سید محسن آل علی؛ استادیار، گروه علوم زمین، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

مصطفی ده پهلوان؛ استادیار، گروه باستان شناسی، دانشگاه تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۴

### چکیده:

رودخانه حاجی عرب یک رودخانه فصلی در جنوب استان قزوین است. این مطالعه جهت بررسی رسوبات این رودخانه و تعیین رخساره‌های رسوبی آن صورت گرفته است. از چهار گمانه و با بیشینه عمق ۸.۳ متری تعداد ۵۷ نمونه از اطراف تپه باستانی قره تپه برداشت شده است. دانه بندی رسوبات به روشهای الک خشک، الک تر و الک شیکر لیزری انجام شده است. بررسی رسوبات این رودخانه به شناسایی سه دسته رخساره رسوبی منجر شد که عبارتند از: رخساره‌های گلی (FI, Fm, Fr)، ماسه‌ای (Sm, Sp, Sl, Sh) و گراولی (Gh, Gem, Gms, Gci, Gmg, Gmm)، که در قسمت‌های مختلف محیط رودخانه‌ای ته‌نشست کرده‌اند. براساس رخساره‌های شناسایی شده، عناصر ساختاری خارج کانال (FF)، ماسه با اشکال لایه‌ای (SB)، بار گراولی و اشکال لایه‌ای (GB)، جریان گراویته‌ای (SG) و کانال (CH) در این حوضه رسوبی شکل گرفته‌اند. مدل‌های رسوبی این رودخانه شامل رودخانه‌های ماندری با بار ریزدانه، ماندری با بار ماسه‌ای، بریده بریده با بستر گراولی و بریده بریده گراولی کم عمق می‌باشد.

کلید واژه‌ها: دشت قزوین، رودخانه حاجی عرب، قره تپه سگزآباد، محیط رسوبی، مدل رسوبی.

### مقدمه:

رودخانه‌ها از مهمترین منابع آبی بر روی سطح زمین هستند که بر اثر فرسایش و رسوب گذاری دچار تغییرات متفاوتی می‌شوند که می‌توان به تغییراتی در نوع رودخانه، امتداد جابجایی‌های طولی و عرضی، تراز بستر،

دانه‌بندی و تغییر خصوصیات هندسی و ایجاد میانبر<sup>۱</sup> اشاره کرد (اسدی و همکاران، ۱۳۹۶). لایه‌های رسوبی از بهترین بایگانی‌های طبیعی هستند که این تغییرات را در خود ثبت می‌کنند. در استان قزوین نهشته‌های آبرفتی کواترنر، گستره‌های وسیعی را زیر پوشش دارند (آقانباتی، ۱۳۸۶). رسوبات این دوره در بیشتر نقاط دارای بافت سست بوده و در حقیقت هنوز سخت نشده‌اند و تشکیل دهنده دشت‌های متفاوتی از جمله دشت قزوین می‌باشند. محدوده مورد مطالعه بر روی مخروط‌افکنه رودخانه حاجی‌عرب در بخش جنوبی دشت قزوین (فرونشست شمالی ایران مرکزی) واقع شده است. در واقع این مخروط‌افکنه بخشی از سیستم رودخانه‌ای حاجی‌عرب می‌باشد و این رودخانه زمینه ورود عناصر حاصل از فرسایش دامنه‌های پرشیب منطقه را در آبراهه‌های تغذیه‌کننده مخروط‌افکنه مذکور فراهم می‌آورد. لذا موقعیت و ویژگی‌های این مخروط‌افکنه با خصوصیات سایر بخش‌های این سیستم، مرتبط می‌باشد. رودخانه‌ها، سیستم‌های پویایی هستند که همواره در حال تغییر و دگرگونی هستند (مقیمی، ۱۳۸۸) و در نتیجه تعامل عوامل پیچیده شامل جریان آب، انتقال رسوب، تغییر شکل بستر و غیره کانال‌های رودخانه به طور مستمر در حال تکامل‌اند (سان<sup>۲</sup> و دیگران، ۲۰۱۵). سیستم‌های رودخانه‌ای مکان رسوبگذاری و تجمع ذرات تخریبی در کانال‌ها و دشت‌های سیلابی هستند. اندازه ذرات تخریبی و ساختمان رسوبی در نهشته‌های کانالی به وسیله ذرات تخریبی منشأ، شیب رودخانه، دبی و تغییرات فصلی جریان کنترل می‌شوند (نیکولز<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). نهشته‌های رودخانه‌ای همچنین شاخص مهم فرایندهای تکتونیکی و شرایط آب و هوایی زمان رسوبگذاری هستند (میا<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶). امروزه حوضه‌های آبریز نقش بسیار مهمی در تولید سیلاب‌های فصلی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کنند (کاویان و همکاران، ۱۳۹۵). لذا با توجه به اهمیت رودخانه‌ها در امر فرسایش، حمل و نقل و رسوبگذاری مطالعات وسیعی بر روی آنها توسط پژوهشگران مختلف در سراسر جهان (Friend, 1983; Ryang and Chough, 1997; Ford and Pyles, 2014; Bertoldi et al., 2010; Roberts, 2007; Allen and Fielding, 2007; Went, 2005; Miall, 1996, 2000, 2006, 2013; Scherer, 2015) و ایران صورت گرفته است (به بهبهانی و خدابخش، ۱۳۹۷؛ فیاضی بروجنی و همکاران، ۱۳۹۶؛ معاذالهی و همکاران، ۱۳۹۶؛ اسدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ فرخ نژاد و همکاران، ۱۳۹۵؛ رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴؛ حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۳؛ خدابخش و همکاران، ۱۳۹۲؛ پورسلطانی و معینی‌صالح، ۱۳۹۱؛ پاکزاد و مروت، ۱۳۹۰؛ پاکزاد و امینی، ۱۳۸۸؛ خدای و همکاران، ۱۳۸۶). با توجه به اهمیت مطالعات رسوبات رودخانه‌ای و همچنین مطالعات مربوط به نهشته‌های کواترنری، مطالعات منسجم و زیادی به لحاظ زمین‌شناسی، محیط رسوبی، کانی‌شناسی و شرایط آب و هوایی در رسوبات ذکر شده انجام نشده است. از طرف دیگر مطالعه جامع منطقه به لحاظ شرایط رسوبی و تعیین محیط رسوبی، نیازمند مطالعات دقیق‌تر به لحاظ رسوب‌شناسی برای رسیدن به اهداف یادشده می‌باشد، لذا هدف این مطالعه بررسی رخساره‌های سنگی رودخانه حاجی‌عرب بر اساس پارامترهای آماری، تفسیر محیط رسوبی و ارائه مدل رسوبی می‌باشد. بنابراین نتایج این پژوهش می‌تواند شناخت دقیق‌تری از وضعیت رسوب-شناسی و محیط رسوبی منطقه مذکور ارائه دهد.

<sup>1</sup> Cut off

<sup>2</sup> Sun

<sup>3</sup> Nicols

<sup>4</sup> Miall

## مواد و روش ها:

رودخانه حاجی عرب، یک رودخانه فصلی است که مسیر جریان آن از جنوب به شمال می باشد. این رودخانه از کوه های مرکزی سرچشمه گرفته و تا سگزآباد امتداد می یابد. نمونه برداری از اطراف تپه باستانی سگزآباد (قره تپه) صورت گرفته است (شکل ۱) که ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۷۴.۹ متر می باشد این تپه در ۵۲ کیلومتری جنوب قزوین (۷ کیلومتری شمال شهر سگزآباد از توابع شهرستان بوئین زهرا) و ۱۳۲ کیلومتری غرب تهران قرار گرفته است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱). عملیات صحرایی جهت نمونه برداری در مهرماه ۱۳۹۵ صورت گرفته است. حفر گمانه ها و ترانشه ها توسط گروه باستان شناسی دانشگاه تهران انجام شده و موقعیت گمانه ها و ترانشه ها توسط دستگاه GPS ثبت گردیده است (شکل ۲). از گمانه های حفر شده اطراف تپه، ۴ گمانه که نسبت به بقیه در فاصله دورتری از هم قرار داشتند، جهت انجام آنالیزهای رخساره ای انتخاب شدند (شکل ۲، جدول ۱). نمونه های جمع آوری شده به دلیل مرطوب بودن در فضای باز، خشک شدند. ۱۵ درصد نمونه ها به ۲ صورت خشک و تر دانه بندی شدند. از آنجائیکه اختلاف نتیجه به دلیل چسبندگی دانه ها، بیش از ۱۰ درصد بود، باقی نمونه ها به روش الک تر دانه بندی شدند.

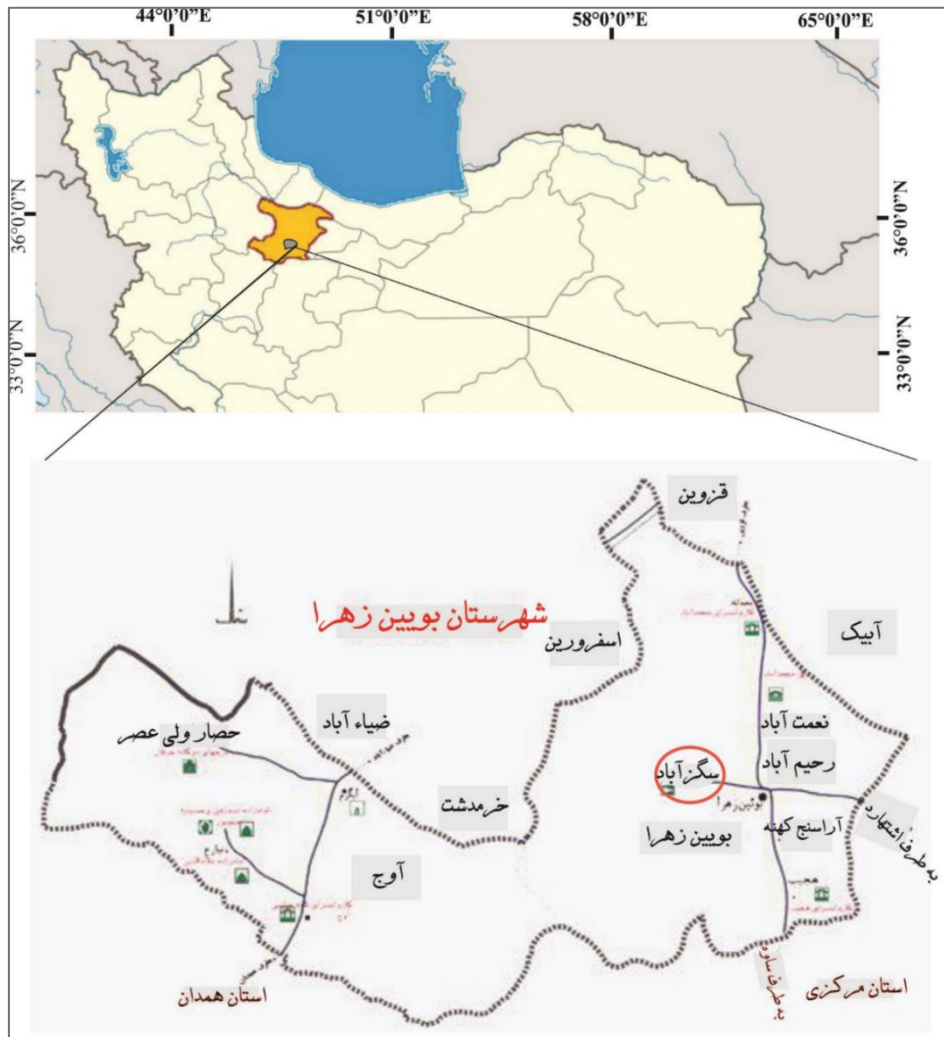
جدول ۱. مشخصات گمانه هایی که مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفته اند.

شماره گمانه	تعداد نمونه ها	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (متر)
S15	۱۲	49° 56' 58.99" E	35° 48' 52.65" N	۵,۶
S23	۱۴	49° 57' 2.59" E	35° 49' 3.95" N	۶
S26	۱۴	49° 57' 18.38" E	35° 49' 3.37" N	۵,۵
S27	۱۷	49° 57' 10.16" E	35° 48' 55.02" N	۸,۳

ذرات کوچکتر از ۴ میکرون به روش الک شیکر لیزری دانه بندی شدند. رسوب باقیمانده بر روی هر الک با ترازوی دیجیتال اندازه گیری شده و از نظر اندازه، ذرات مختلف جداسازی شدند. پارامترهای آماری از قبیل کشیدگی، جورشدگی، نما، جورشدگی، میانگین و میانه با استفاده از نرم افزار گرادای استات<sup>۵</sup> محاسبه گردید. نامگذاری رسوبات بر اساس روش ترسیمی فولک (Folk, 1974) انجام شد (جدول ۲). رخساره های رسوبی بر اساس روش کدگذاری میال (Miall, 1996, 2006) از یکدیگر تفکیک شدند (جدول ۳). بر اساس طبقه بندی میال، رسوبات به ۳ مجموعه رخساره ای گراولی (۷ رخساره اصلی)، ماسه ای (۷ رخساره اصلی)، دانه ریز (۵ رخساره)، رخساره های غیرآواری و رخساره های همراه با رخساره های رودخانه ای طبقه بندی و تشریح می شوند. در پایان با تلفیق تمام داده ها مدل رسوبی رودخانه حاجی عرب ارائه شده است. از دید زمین شناسی، استان قزوین در مرز مشترک زون ساختاری ایران مرکزی و البرز غربی واقع شده است. دشت قزوین در شمال غربی ایران مرکزی قرار گرفته است که از شمال با کوه های البرز و از جنوب با کوه های راموند احاطه شده است. مرز شمالی دشت قزوین با کوه های البرز، گسل شمال قزوین و مرز جنوبی آن با کوه های راموند، گسل ایپک می باشد (Sohbati et al., 2011). منطقه مورد مطالعه بر روی مخروط افکنه رودخانه حاجی عرب در جنوب دشت قزوین قرار گرفته است. این مخروط افکنه با شیب کم و روی یک سطح تقریباً هموار گسترده شده و سطح آن عمدتاً با رسوبات آبرفتی جوان پوشانیده شده است. رسوبات آذرآواری سازند اتوسن کرج در

<sup>5</sup> Gradistat

شمال و جنوب دشت به صورت جزئی رخنمون دارند که احتمالاً پی‌سنگ رسوبات دشت مذکور به حساب می‌آید (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱ الف و Khakestari et al., 2021).



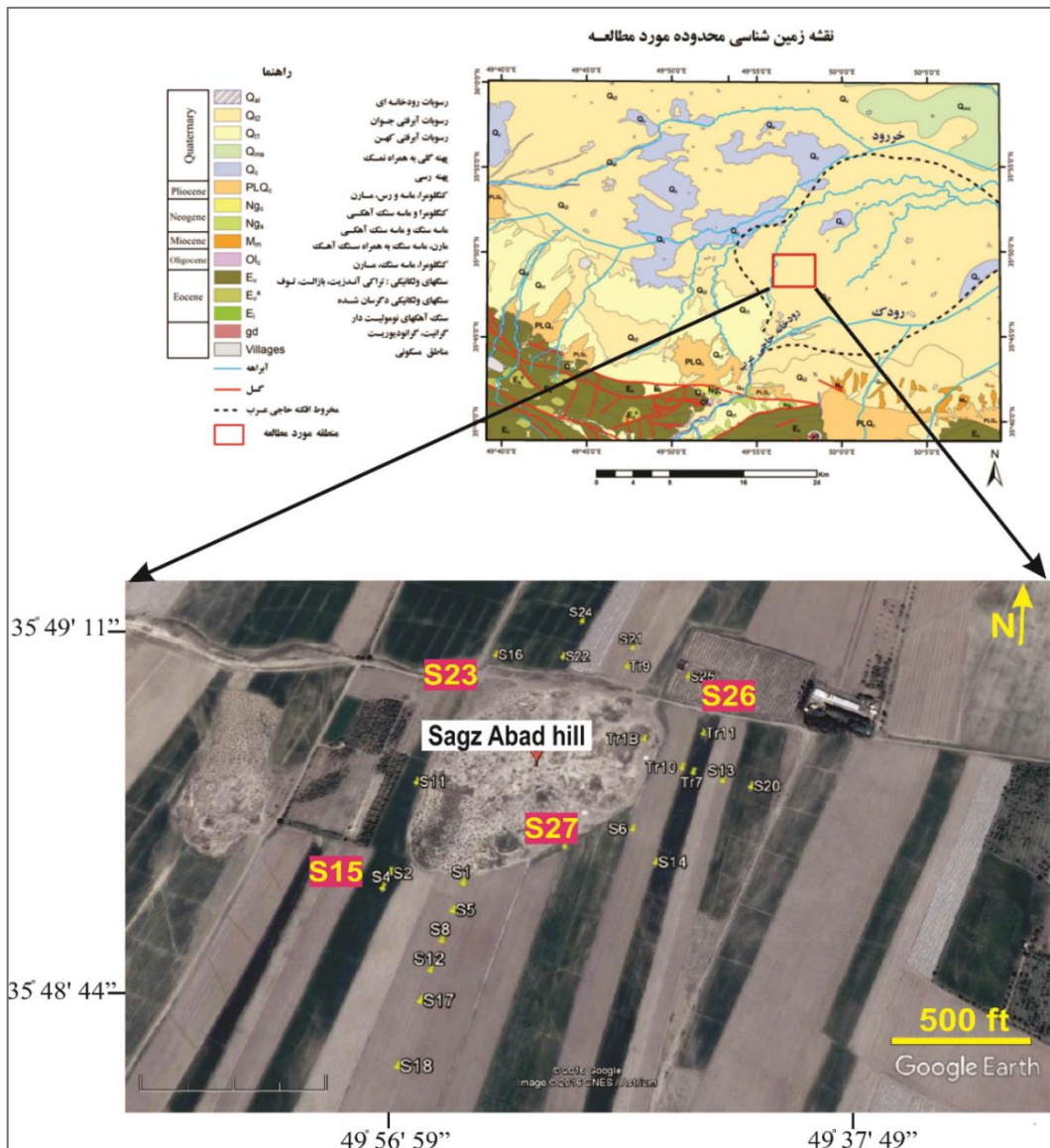
شکل ۱: راه‌های دسترسی و موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه.

## یافته‌های پژوهش:

### (۱) آنالیز دانه‌بندی رسوبات

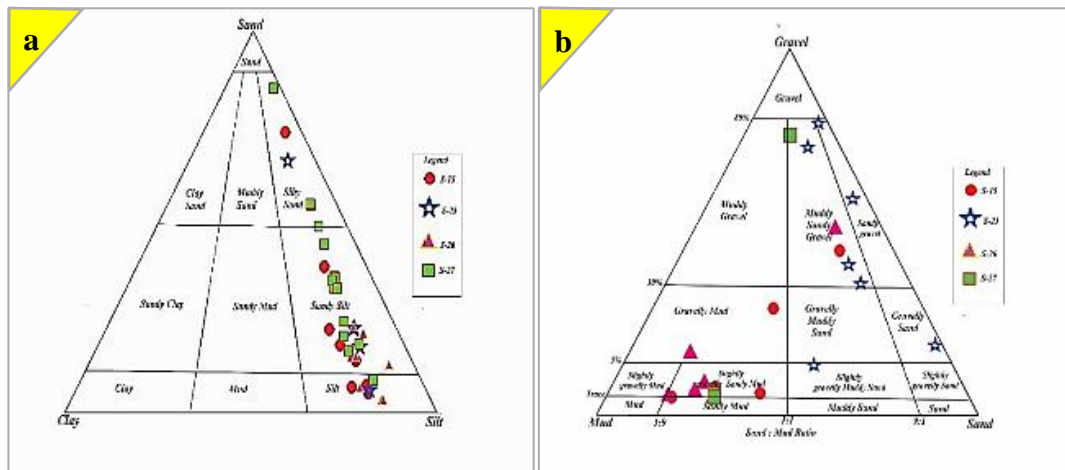
پارامترهای بافتی بر اساس آنالیز اندازه دانه برای ۵۷ نمونه رسوبی از ۴ گمانه حفر شده در اطراف تپه باستانی سگزآباد واقع بر مخروط‌افکنه حاجی‌عرب محاسبه شده است (جدول شماره ۲). بر اساس طبقه‌بندی فولک ذرات در اندازه گراول، ماسه و سیلت شناسایی شدند و بر اساس این طبقه‌بندی، رسوبات دانه‌ریز در محدوده سیلت، سیلت ماسه‌ای و ماسه سیلتی و دانه درشت‌ها بیشتر در محدوده گل ماسه‌ای کمی گراول دار و گراول ماسه‌ای گلی پلات شده‌اند (شکل ۳، جدول ۲). توزیع پراکندگی دانه‌ها در کل نمونه‌های مطالعه شده، نشان داد که گل با میانگین فراوانی ۵۹.۸۸ درصد بر رسوبات اصلی به طور متوسط غالب است. بعد از گل، ماسه ۳۰.۱۲ درصد و گراول ۱۰ درصد فراوانی نشان می‌دهند. بررسی میانگین ذرات بیشتر نمونه‌ها نشان می‌دهد که در اغلب گمانه‌ها، میانگین ذرات در اندازه سیلت دانه متوسط می‌باشد اما افزایش رسوبات دانه درشت نظیر

ماسه و گراول در برخی از اعماق مشاهده شده است (جدول ۲). تغییرات میانگین ذرات رسوبی از پارامترهایی است که در تفسیر سیلابها بسیار مفید می باشد.



در نمونه‌های رسوبی مورد مطالعه، میانگین ذرات بین ۳- (گراول دانه متوسط) تا ۷.۸۸ فی (سیلت ریز) در تغییر هستند. میانگین ذرات رسوبی در طول گمانه‌ها نشان می‌دهد که در اعماق مختلف ذرات، دارای میانگین متفاوتی هستند با توجه به جدول ۲ در گمانه S23 در عمق ۶ متری میانگین نمونه حدود ۷.۶۹ فی می باشد و در عمق ۳.۴ متری به ۳- فی می‌رسد. سپس از این عمق تا سطح زمین میانگین نمونه‌ها به طور تناوبی کم و زیاد می‌شود. در مقیاس فی هر چه میانگین ذرات، کوچکتر باشد، ذرات دانه درشت‌تر می‌باشند. یکنواختی یا جورشدگی عبارت است از این که ذرات تشکیل دهنده سنگ یا رسوب تا چه اندازه به یکدیگر نزدیک هستند. تفاوت در جورشدگی رسوبات به دلیل وجود ناپوستگی‌های رسوبی موجود در

هر نمونه از رسوبات سیلابی، تغییر انرژی سیلاب‌ها، همچنین به دلیل وجود سازندهای مختلفی است که رسوبات از آنها منشأ می‌گیرند. البته در رسوبات جدیدتر، فعالیت‌های کشاورزی که در محدوده بالا-دست صورت می‌گیرد، جورشدگی را به دلیل تخریب بافت تحت تأثیر قرار می‌دهد و ذرات ریز و درشت با هم مخلوط شده و جورشدگی کاهش می‌یابد (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). رسوبات این رودخانه دارای جورشدگی بسیار ضعیف<sup>۶</sup> (۴.۳۶) تا ضعیف<sup>۷</sup> (۱.۲۶) هستند که نشان از سیلابی بودن این رسوبات دارد. رسوبات مورد مطالعه به دلیل جورشدگی‌های متفاوت نسبت به عمق، کج شدگی‌های متفاوتی نیز از خود نشان می‌دهند، کج شدگی نمونه‌ها در گمانه‌ها از شدیداً به سمت دانه ریز (۱.۴) تا خیلی دانه درشت (۰.۷-) در تغییر است که به دلیل وجود ذرات دانه‌ریز فراوان در بین اجزاء درشت‌تر می‌باشد. با توجه به طبقه‌بندی فولک ذرات رسوبی و داده‌های بدست آمده در مورد کشیدگی رسوبات مورد مطالعه که در محدوده ۰.۳۵ تا ۴.۵۵ است، کشیدگی در محدوده بسیار پهن<sup>۸</sup> و کمی هم بسیار کشیده<sup>۹</sup> می‌باشند که نشان می‌دهد بیشتر ذرات در یک محیط آرام و کم انرژی رسوب کرده‌اند و در برخی مواقع محیط پرانرژی می‌باشد. کج شدگی‌های متفاوت و جورشدگی‌های بسیار بد تا بد بیانگر تغییر شرایط رژیم رودخانه احتمالاً در اثر تغییر در شرایط آب و هوایی با گذشت زمان در طی کواترنری می‌باشد.



شکل ۳: a - دانه بندی رسوبات دانه ریز. b - دانه بندی رسوبات دانه درشت بر اساس اندازه ذرات سازنده آنها (Folk, ۱۹۷۴).

## ۲) رخساره‌های رسوبی حوضه آبریز حاجی‌عرب

رخساره سنگی<sup>۱۰</sup> در واقع توصیفی از خواص فیزیکی و شیمیایی یک رخساره است که در محیط رسوبی خاصی برجای گذاشته شده است که بر اساس ساخت و بافت‌های رسوبی تقسیم‌بندی می‌شوند (Miall, 1996, 2000). شناسایی رخساره‌ها معمولاً بر اساس میزان ذرات رسوبی گل، ماسه و گراول در کانال رودخانه یا حاشیه آن انجام می‌شود (Scherer, 2015). رخساره‌ها در نتیجه تغییرات رژیم‌های جریانی، تغییرات محیط رسوبی و در شرایط متفاوت رسوبی ایجاد می‌شوند (Kumar et al., 2007). بنابراین با شناخت رخساره‌های

<sup>6</sup> Very poorly sorted

<sup>7</sup> Poorly sorted

<sup>8</sup> Very platykurtic

<sup>9</sup> Very leptokurtic

<sup>10</sup> Lithofacies

رسوبی می‌توان محیط‌های رسوبی دیرینه را بازسازی کرد (Catuneanu, 2006)، لذا بررسی ویژگی‌های رسوبی رخساره‌ها، شرایط حاکم بر جریان (سرعت و عمق)، میزان حمل و نقل، نوع رسوب و مقدار تراکم رسوبات را منعکس می‌کنند (خدای و همکاران، ۱۳۸۶). در این تحقیق با استفاده از روش‌های صحرایی و آزمایشگاهی به مطالعات رخساره‌های سنگی نیز پرداخته شد. نامگذاری تیپ رسوبات براساس طبقه‌بندی فولک (۱۹۷۴) و طبقه‌بندی رخساره‌ها بر اساس طبقه‌بندی میال (۱۹۹۶) صورت گرفت و در پایان با تلفیق تمام داده‌ها یک مدل رسوبی برای رودخانه حاجی‌عرب ارائه شده است. بر اساس طبقه‌بندی میال (۱۹۹۶)، ۱۳ رخساره رسوبی شامل ۶ رخساره گراولی شامل G1, G2, G3, G4, G5, G6 به ترتیب معادل Gh Gcm Sm, Sh, Sl, S1, S2, S3, S4 به ترتیب معادل Gms, Gci, Gmg, Gmm و ۳ دسته رخساره گلی شامل F1, F2, F3 به ترتیب معادل Fr, Fm, Fl شناسایی شدند (جدول ۳).

جدول ۲: آنالیز اندازه دانه و تفسیر پارامترهای بافتی در رسوبات مورد مطالعه.

شماره نمونه	عمق برداشت نمونه (متر)	درصد گراول	درصد ماسه	درصد گل	نام رسوب	میانگین اندازه ذرات	$\bar{x} (\phi)$	جورشدگی	$\sigma (\phi)$	کج شدگی	SK ( $\phi$ )	کشیدگی	K ( $\phi$ )
S15-1	۰.۶	۰.۳۳	۵.۵۹	۹۴.۰۸	سیلت	سیلت متوسط	۶.۹	جورشدگی ضعیف	۱.۴۲	به سمت دانه ریز	۰.۱	خیلی کشیده	۱.۷۴
S15-2	۱.۲	۰.۴۱	۷.۷۹	۹۱.۸	سیلت	سیلت متوسط	۶.۷	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۶	به سمت دانه ریز	۰.۲۱	به شدت کشیده	۳.۷۹
S15-3	۱.۷۵	۱.۵۷	۳۸.۵۸	۵۹.۸۴	گل ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۳۷	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۵۹	خیلی دانه درشت	-۰.۳۲	پهن	۰.۷۸
S15-4	۲.۱	۷.۹۶	۳۰.۴۳	۶۱.۸۷	گل گراولی	سیلت خیلی درشت	۴.۸۳	جورشدگی به شدت ضعیف	۳.۵۷	خیلی دانه درشت	-۰.۴۸	پهن	۰.۸۷
S15-5	۲.۶	۳.۴۶	۲۱.۸۱	۷۴.۷۳	گل ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۹۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۴.۳۳	به سمت دانه درشت	-۰.۱۲	متوسط	۱.۸
S15-6	۳.۱	۵.۱۹	۲۱.۱	۷۳.۷۱	گل گراولی	سیلت متوسط	۶.۱۱	جورشدگی به شدت ضعیف	۳.۱۴	به سمت خیلی دانه درشت	-۰.۷	پهن	۰.۸۹
S15-7	۳.۵	۴۲.۳۱	۴۴.۲۳	۱۳.۴۶	گراول ماسه‌ای	ماسه خیلی درشت	-۰.۱۶	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۳۸	به سمت دانه ریز	۰.۲۹	کشیده	۱.۲۷
S15-8	۳.۷	۲.۰۶	۱۳.۹۶	۸۳.۹۸	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۹۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۰۷	به سمت خیلی دانه درشت	-۰.۵۹	کشیده	۱.۱۷
S15-9	۴	۲.۰۸	۷۱.۱۸	۲۶.۷۴	ماسه گلی	ماسه خیلی ریز	۳.۸۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۶۵	به سمت خیلی دانه ریز	۰.۵۲	متوسط	۰.۹۷
S15-10	۴.۴	۰.۵۲	۷.۲۷	۹۲.۲۱	گل گراولی	سیلت ریز	۷.۸۸	جورشدگی ضعیف	۱.۲۶	به سمت خیلی دانه درشت	-۰.۴۳	کشیده	۱.۳۹
S15-11	۵	۰.۱۹	۱۸.۳۷	۸۱.۴۴	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۷۶	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۲	به سمت خیلی دانه درشت	-۰.۶۷	کشیده	۱.۳۸
S15-12	۵.۶	۲۴.۸۶	۳۶.۱	۳۵.۳۳	گل گراولی	ماسه ریز	۲.۵	جورشدگی به شدت ضعیف	۴.۳	به سمت ذرات دانه ریز	۰.۳۴	خیلی پهن	۰.۵۴

S23-1	۰.۳	۶.۰۳	۵۳.۷۷	۴۰.۲	ماسه گلی	سیلت خیلی درشت	۴.۱۹	جورشدگی به شدت ضعیف	۴.۱	به شدت به سمت خیلی دانه ریز	۰.۳۷	متوسط	۱.۰۱
S23-2	۰.۴۵	۱.۷۸	۶۴.۵۲	۳۳.۷	ماسه گلی	سیلت خیلی درشت	۴.۰۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۶۶	به شدت به سمت خیلی دانه ریز	۰.۴۸	پهن	۰.۸۹
S23-3	۱.۲	۳۸.۷۸	۴۸.۱۶	۱۳.۰۶	گراول ماسه‌ای	ماسه خیلی درشت	-۰.۰۱	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۲۶	به سمت دانه ریز	۰.۲۵	پهن	۰.۸۴
S23-4	۲	۳۴.۰۴	۵۳.۷	۱۲.۲۶	گراول ماسه‌ای	ماسه درشت	۰.۲۵	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۲۲	به سمت دانه ریز	۰.۱۶	متوسط	۰.۹۱
S23-5	۲.۱	۱۸.۱۱	۷۹.۷۳	۲.۱۶	ماسه گراولی	ماسه درشت	۰.۴۶	جورشدگی ضعیف	۱.۷	به سمت دانه درشت	-۰.۲۵	کشیده	۱.۱۶
S23-6	۲.۶	۶۸.۱	۲۲.۷	۹.۲	گراول ماسه‌ای	گراول ریز	-۲.۰۶	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۸۷	به شدت به سمت خیلی دانه ریز	۰.۴۸	کشیده	۱.۴۸
S23-7	۲.۸	۵۵.۳۳	۴۰.۶	۴.۱۷	گراول ماسه‌ای	گراول خیلی ریز	-۱.۰۵	جورشدگی ضعیف	۱.۹۴	به سمت دانه ریز	۰.۲۴	کشیده	۱.۱۹
S23-8	۳.۴	۷۴.۹۶	۲۲.۵	۲.۵۴	گراول ماسه‌ای	گراول متوسط	-۳	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۰۴	به شدت به سمت خیلی دانه ریز	۱.۴	خیلی پهن	۰.۳۵
S23-9	۳.۵	۱۳.۳۷	۵۲.۳۸	۳۴.۳۵	ماسه گلی	ماسه ریز	۲.۸۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۴۸	به سمت دانه ریز	۰.۱۲	پهن	۰.۷۱
S23-10	۴	۱.۳۴	۲۲.۴۶	۷۶.۲	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۲۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۶	به سمت دانه درشت	-۰.۲	خیلی کشیده	۲.۸۷
S23-11	۴.۵	۳.۵۷	۱۷.۲۶	۷۹.۱۷	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۳۵	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۸	به سمت دانه درشت	-۰.۲۵	به شدت کشیده	۳.۲۶
S23-12	۵	۴.۷۱	۲۱.۷۶	۷۳.۵۳	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶	جورشدگی به شدت ضعیف	۴.۰۱	به سمت دانه درشت	-۰.۲۹	خیلی کشیده	۱.۵۲
S23-13	۵.۵	۰	۶.۴۷	۹۳.۵۳	سیلت	سیلت ریز	۷.۶۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۵۷	به سمت دانه ریز	۰.۲	به شدت کشیده	۳.۴
S23-14	۶	۰	۶.۴	۹۲.۶	سیلت	سیلت ریز	۷.۶۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۵۶	به سمت دانه ریز	۰.۲	به شدت کشیده	۳.۴۱
S26-1	۰.۵	۶.۷	۳۴.۷	۶۸.۶	گل گراولی	سیلت درشت	۵.۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۷۱	به سمت دانه درشت	-۰.۳	کشیده	۱.۲۴
S26-2	۰.۶۷	۳.۵	۱۲.۳	۸۴.۳	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۱۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۸۸	به سمت دانه درشت	-۰.۱۷	خیلی کشیده	۲.۰۹
S26-3	۰.۸۲	۳.۵	۱۲.۳	۸۴.۳	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۱۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۸۸	به سمت دانه درشت	-۰.۱۷	خیلی کشیده	۲.۰۹
S26-4	۰.۹۶	۱۶.۳	۶۳.۶۴	۲۰.۰۷	ماسه گلی	ماسه متوسط	۱.۷۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۸۶	به سمت دانه ریز	۰.۲۷	متوسط	۱.۰۶
S26-5	۱.۱۶	۵.۴	۷۴.۶	۲۰	ماسه گلی	ماسه ریز	۲.۹۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۵۹	به سمت دانه ریز	۰.۱۷	خیلی کشیده	۱.۶۹
S26-6	۱.۳	۱.۷۸	۲۰.۵۶	۷۷.۶۷	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۴۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۵۷	به سمت دانه درشت	-۰.۲۲	خیلی کشیده	۱.۷۳
S26-7	۱.۴۵	۰.۱	۶.۸	۹۳.۳۹	سیلت	سیلت ریز	۷.۷۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۰۵	به شدت به سمت	۰.۴۹	خیلی کشیده	۲.۹۴

										ذرات دانه ریز			
S26-8	۲.۴	۳.۰۱	۱۴.۳۳	۸۲.۶۶	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۴۷	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۷۸	مقارن	۰.۰۲	خیلی کشیده	۲.۷۹
S26-9	۳	۸.۶	۳۷.۴	۶۴.۰	گل گراولی	سیلت درشت	۵.۱۶	جورشدگی به شدت ضعیف	۴.۵۲	به سمت دانه درشت	-۰.۱۸	کشیده	۱.۴۵
S26-10	۳.۵	۵.۲	۳۱.۶	۶۳.۲۸	گل ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۲۱	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۹۸	به سمت دانه درشت	-۰.۱۶	کشیده	۱.۳۳
S26-11	۴	۱.۸۳	۱۴.۶۲	۸۳.۵۵	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۸۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۵۸	به سمت دانه درشت	-۰.۲۳	خیلی کشیده	۲.۹۱
S26-12	۴.۵	۳.۹	۹.۸	۸۶.۳	گل ماسه‌ای	سیلت ریز	۷.۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۴۷	به سمت دانه درشت	-۰.۲۱	به شدت کشیده	۴.۵۵
S26-13	۵	۰.۱۲	۳.۴۲	۹۶.۴۶	سیلت	سیلت ریز	۷.۶۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۳۴	به سمت دانه ریز	۰.۲۳	به شدت کشیده	۳.۴۵
S26-14	۵.۵	۰.۴	۳.۲۴	۹۶.۳۶	سیلت	سیلت ریز	۷.۷۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۲	به سمت ذرات دانه ریز	۰.۳۲	به شدت کشیده	۳.۵۳
S27-1	۰.۶۵	۳.۵	۱۸	۷۸.۵	گل ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۴۳	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۷۳	به سمت دانه درشت	-۰.۲۴	خیلی کشیده	۱.۹۹
S27-2	۰.۷۵	۰.۴	۳.۳	۹۶.۳	سیلت	سیلت ریز	۷.۷۸	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۲	به سمت ذرات خیلی دانه ریز	۰.۳۲	به شدت کشیده	۳.۵۳
S27-3	۱.۵	۰	۱۶.۹	۸۳.۱	سیلت ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۸۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۵۲	به سمت دانه درشت	-۰.۱۳	خیلی کشیده	۲.۴۶
S27-4	۲	۰	۲۰.۸	۷۹.۲	سیلت ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۶۱	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۶۹	به سمت دانه درشت	-۰.۱۸	خیلی کشیده	۲.۰۱
S27-5	۲.۴۵	۷۱.۸	۱۷.۱	۱۱.۱	گراول ماسه‌ای	گراول خیلی ریز	-۱.۵۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۸۶	به سمت ذرات دانه ریز	۰.۹۷	پهن	۰.۸۸
S27-6	۲.۸	۴	۸۲.۷	۱۳.۲	ماسه گلی	ماسه ریز	۲.۱۴	جورشدگی ضعیف	۱.۹۳	به سمت دانه ریز	۰.۲۶	خیلی کشیده	۱.۸۶
S27-7	۳.۲۵	۰	۲۴.۶	۷۵.۴	سیلت ماسه‌ای	سیلت متوسط	۶.۲۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۸۲	به سمت دانه درشت	-۰.۱۸	کشیده	۱.۴۷
S27-8	۳.۸	۰	۳۳.۶	۶۶.۴	سیلت ماسه‌ای	سیلت خیلی درشت	۴.۸۶	جورشدگی ضعیف	۱.۹۳	به سمت دانه درشت	-۰.۱۸	پهن	۰.۸۵
S27-9	۴.۳	۰	۳۵.۵	۶۴.۵	سیلت ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۹۴	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۶۳	مقارن	-۰.۰۶	کشیده	۱.۱۵
S27-10	۴.۸	۵.۹	۳۲.۸	۶۱.۳	گل گراولی	سیلت درشت	۵.۴۴	جورشدگی به شدت ضعیف	۴.۳۶	به سمت دانه درشت	-۰.۲۲	کشیده	۱.۱۶
S27-11	۵.۳	۰.۶	۴۴.۸	۵۴.۶	سیلت ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۲۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۵۶	به سمت دانه ریز	۰.۱	متوسط	۰.۹۸
S27-12	۵.۸	۰	۳۷	۶۳	سیلت ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۹	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۵۸	به سمت دانه درشت	-۰.۱۱	متوسط	۱.۰۹
S27-13	۶.۳	۲.۴	۳۵.۵	۶۲.۲	گل ماسه‌ای	سیلت درشت	۵.۹۶	جورشدگی خیلی ضعیف	۳.۴۸	مقارن	-۰.۱	کشیده	۱.۱۲
S27-14	۶.۷۵	۰	۹.۱	۹۰.۹	سیلت	سیلت ریز	۷.۴۲	جورشدگی خیلی ضعیف	۲.۶۹	مقارن	۰.۰۳	خیلی کشیده	۲.۶

S27-15	۷	۳.۴	۵۳.۶	۴۳	ماسه گلی	سیلت خیلی درشت	۴.۱	جورشدهگی خیلی ضعیف	۳.۵۷	به سمت ذرات خیلی دانه ریز	۰.۳۴	متوسط	۰.۹
S27-16	۷.۶	۳.۵	۴۸.۱	۴۸.۴	گل ماسه‌ای	سیلت خیلی درشت	۴.۲۶	جورشدهگی خیلی ضعیف	۳.۸	به سمت دانه ریز	۰.۲۷	متوسط	۰.۹۶
S27-17	۸.۳	۲.۸	۵۴.۲	۴۳	ماسه گلی	سیلت خیلی درشت	۴.۱۷	جورشدهگی خیلی ضعیف	۳.۵۳	خیلی دانه ریز	۰.۳۵	متوسط	۰.۹۲

## رخساره‌های گراولی:

### (۱) رخساره گراولی G1: گراول توده‌ای با ماتریکس زیاد (Gmm)

اسکلت اصلی این رخساره را ماتریکسی تشکیل می‌دهد که عمدتاً شامل رسوبات دانه ریز گلی و ماسه‌ای می‌باشد که فضای بین گراول‌های ریز و درشت را پر می‌کنند. رسوبات این رخساره حالت توده‌ای داشته و فاقد لایه‌بندی بوده و جورشدهگی خیلی ضعیفی دارند که نشان می‌دهد رسوبات، مسافت کوتاهی را نسبت به منشأ خود طی کرده‌اند (شکل ۴a). ذرات اغلب زاویه‌دارند، این خصوصیات نشان‌دهنده حمل و نقل کوتاه، نزدیکی به منشأ رسوبی و ته‌نشست بسیار سریع رسوبات می‌باشد (Blair and McPherson, 1999). (Kostic et al., 2005; Bertoldi et al., 2010) رخساره Gmm می‌تواند در کانال‌ها، اشکال ناشی از جریان رسوبی ثقیلی<sup>۱۱</sup> و اشکال لایه‌ای با بار گراولی<sup>۱۲</sup> ایجاد شود (Blair and McPherson, 1999; Kostic et al., 2005). این رخساره توسط جریان خرده‌دار پلاستیکی (با مقاومت و ویسکوزیته بالا) تشکیل می‌شود (Kosun et al., 2009). این رخساره در قسمت غرب و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است (شکل ۴a).

### (۲) رخساره گراولی G2: گراول ماتریکس‌دار با طبقه‌بندی تدریجی (Gmg)

ذرات رسوبی این رخساره در اندازه گراول می‌باشد، میزان ماتریکس کمی هم دارند که نشان‌دهنده رسوبگذاری بار بستر به وسیله جریانی رودخانه‌ای است. رسوبات دانه درشت به فرم بار بستر و حمل ذرات در اندازه ماسه و ریزتر به فرم معلق صورت گرفته است (Reineck and Singh, 1980). ذرات درشت دارای فابریک ایمبریکاسیون هستند و نسبت ماسه به گل، نسبت به رخساره Gmm بیشتر است (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴). جداسدن گراول از ماسه و فابریک فاقد ماسه بیان‌کننده این است که رسوبگذاری توسط جریانهای با بار بستر گراولی و در زمان سیلاب‌های غربالی رخ داده است (Went, 2005). در رسوبات این رخساره طبقه‌بندی تدریجی و معکوس دیده می‌شود که نشان می‌دهد رسوبات این رخساره نسبت به رخساره Gmm توسط جریانی با انرژی پایین‌تر حمل شده‌اند (Deynoux et al., 2005). بنابراین رخساره Gmm به علت اینکه در جریانی با سرعت بالا برجای گذاشته شده، توده‌ای می‌باشد در حالیکه رخساره Gmg توسط جریانی

<sup>11</sup> Sediment gravity flow

<sup>12</sup> Gravel bar and bed forms

ضعیف تر<sup>۱۳</sup> ته نشست کرده و دارای طبقه بندی تدریجی می باشد (شکل ۴a). نهشته های Gmm و Gmg به عنوان رسوبات باقیمانده کف کانال<sup>۱۴</sup> در نظر گرفته می شوند (Sharafi et al., 2016).

### ۳) رخساره گراولی G3: گراول دانه پشتیبان با طبقه بندی تدریجی معکوس (Gci)

از دیدگاه میال (۱۹۹۶) رسوبات این رخساره توسط جریان های واریزه ای با قدرت بالا حمل می شوند و غنی از خرده سنگهای آواری هستند یا توسط یک جریان با قدرت کم به همراه بار بستر رودخانه به صورت ورقه ای و جریان آشفته حمل می شوند. بخش عمده این رخساره را گراول ها با قطعات زیاد تشکیل داده و طبقه بندی معکوس نشان می دهند (Deynouxa et al., 2005). این رخساره توسط جریان های خرده دار با انرژی بالا حمل شده و حاوی ذرات فراوانی بوده و در بخش های بالای کانالهای اصلی که دارای انرژی بالا هستند، شناسایی شده است (شکل ۴b).

### ۴) رخساره گراولی G4: گراول ماتریکس دار بدون لایه بندی (Gms)

در این رخساره، گراول ها در زمینه ای ماتریکسی پراکنده هستند و طبقه بندی تدریجی ندارند. ماتریکس گلی فراوان، ویژگی مهم این رخساره است و گاهی فاقد ماتریکس گلی می باشد. فراوانی ماتریکس، کاهش آب در سیالی که رسوب را منتقل می کند، ریزش دیواره های کانال و جابه جا شدن توده های رسوبی تحت تأثیر نیروی وزن را از عوامل مؤثر در تشکیل این رخساره عنوان کرده اند (Miall, 2000; Raj, 2007). ذرات درشت گراول در زمینه ای گلی پراکنده اند و جورشدگی ضعیفی را نشان می دهند. حضور ذرات درشت در بین لایه های ریز نشان دهنده حمل و نقل توسط جریان های سیلابی می باشد (Ryang and Chough, 1977). رسوبات این رخساره فاقد لایه بندی و ایمبریکاسیون<sup>۱۵</sup> هستند. این رخساره در بخش غربی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه گسترش داشته (شکل ۴c) و در تمام منطقه مورد مطالعه به طور ناگهانی بر روی نهشته های گلی قرار گرفته است. وجود چنین رخساره هایی در نتیجه جریان های خرده دار با ویسکوزیته بالا می باشد (Deck et al., 1996). این نهشته ها مربوط به بخش ابتدایی یا میانی مخروط افکنه ها می باشند و در تمام توالی های چینه شناسی مخروط افکنه ها حضور دارند (پاکزاد و امینی، ۱۳۸۸). غلبه رسوبات جریانی خرده دار مؤید آب و هوای نیمه خشک می باشد (Blair and McPherson, 1995).

### ۵) رخساره گراولی G5: گراول با طبقه بندی توده ای و زمینه کلاستی (Gcm)

رخساره ای گراولی که ذرات خرده دار فضای بین آنها را پر کرده است. ذرات تشکیل دهنده نیمه زاویه دارند و جورشدگی ضعیفی را نشان می دهند (شکل ۴d). این رخساره نشان می دهد که در هنگام رسوبگذاری، انرژی محیط بسیار بالا بوده که رسوبات دانه ریز فرصتی برای ته نشست پیدا نکرده اند، در نتیجه حالت توده ای طبقات در ارتباط با انرژی بالای محیط و تشکیل توسط جریان های آشفته می باشد (Kostic et al., 2005). اغلب، این رخساره در رودخانه های بریده بریده که دارای بستر گراولی هستند، ایجاد می شود (Deynouxa et al., 2010; Siddiqui and Robert, 2005). در نتیجه این احتمال وجود دارد که این رخساره بر اثر جا به جا شدن سدها ایجاد شده باشد (خدای و همکاران، ۱۳۸۶). این رخساره نشان دهنده انرژی بالا است که ناشی از وضعیت هندسی حوضه نظیر افزایش شیب و افزایش قدرت جریان می باشد (پورسلطانی و معینی صالح، ۱۳۹۱).

<sup>13</sup> Low Strength

<sup>14</sup> Lag deposits

<sup>15</sup> Imbrication

## ۶) رخساره گراولی G6: گراول دانه پشتیبان با طبقه‌بندی افقی (Gh)

این رخساره از ذرات دانه درشت تشکیل شده، دارای لایه‌بندی افقی و ماتریکس ماسه‌ای است. گراول‌ها معمولاً در اندازه کوبل<sup>۱۶</sup> و پیل<sup>۱۷</sup> می‌باشند. این رخساره اغلب در کف کانال به شکل رسوبات باقیمانده، مهاجرت سدهای طولی به فرم اشکال بستر طولی<sup>۱۸</sup> یا رسوبات غربالی<sup>۱۹</sup> تشکیل می‌شود (Miall, 2013). دانه‌ها اغلب فابریک ایمبریکاسیون نشان می‌دهند. در منطقه مورد مطالعه این رخساره به همراه رخساره‌های Gmm, Gmg و Sh مشاهده شده است (شکل ۴f).

### رخساره‌های ماسه‌ای

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

## ۱) رخساره ماسه‌ای S1: ماسه دارای لایه‌بندی مورب مسطح (Sp)

دانه‌های ماسه در این رخساره از خیلی درشت تا ریز متغیر می‌باشد و به طور پراکنده حاوی دانه‌های در اندازه گراول می‌باشد. سطوح پایینی و بالایی آن نسبتاً مسطح می‌باشد (شکل ۴b). طبقه‌بندی مورب مسطح می‌تواند در اثر حرکت ریپل‌های دوبعدی با خط‌الرأس مستقیم تشکیل شود (Tucker, 2001; Ghosh et al., 2006). این رخساره توسط جریانی با انرژی پایین ایجاد می‌شود (Harms et al., 1982).

## ۲) رخساره ماسه‌ای S2: ماسه دارای طبقه‌بندی مورب با شیب کم (SI)

ویژگی مهم این رخساره، لایه‌های مورب و با شیب کمتر از ۱۰ درجه می‌باشد و لایه‌های مورب اغلب به صورت مماس با سطوح پایین و بالا هستند. این رخساره به همراه رخساره‌های Sp و Sh در منطقه مشاهده شده است (شکل ۴b). اندازه ذرات و لایه‌بندی در این رخساره شبیه به رخساره Sh می‌باشد و اندازه ذرات در اندازه ماسه ریز تا متوسط می‌باشد. رخساره‌های ماسه سنگی با طبقات مورب کم زاویه، در ماسه‌های دانه متوسط و در اثر حرکت و رسوبگذاری ریپل‌های کوچک در جریان پایین بوجود آمده است (ترشیزیان، ۱۳۹۰).

## ۳) رخساره ماسه‌ای S3: ماسه با لامینه‌های افقی (Sh)

ذرات ماسه در این رخساره در اندازه ریز تا خیلی درشت را شامل می‌شود، ذرات گراولی هم گاه‌ها دیده می‌شود. ذرات ماسه دارای جورشدگی نسبتاً خوب و گردشدگی خوب هستند که می‌تواند به دلیل حمل مسافت بیشتر ذرات رسوبی این رخساره باشد. لایه‌های ماسه در این رخساره به حالت افقی است (اشکال ۴b و ۴f) که ویژگی مهم این رخساره به شمار می‌رود (Fisher, 1971). جدایش خطی<sup>۲۰</sup> هم در سطح لامیناسیون می‌تواند وجود داشته باشد (موسوی حرمی، ۱۳۸۳). این رخساره می‌تواند در بخش‌های بالایی پشته‌های کانالی یا داخل کانال رودخانه تشکیل شود (Miall, 2000). علت تشکیل این رخساره در داخل کانال رودخانه را به مرحله نهایی فروکش کردن سیلاب‌های فصلی مرتبط می‌دانند (Khalifa and Catuneanu, 2008). این رخساره در رژیم جریانی پایین و بالا تشکیل می‌شود (Lee and Chough, 2006).

<sup>16</sup> Cobble

<sup>17</sup> Pebble

<sup>18</sup> Longitudinal bedforms

<sup>19</sup> Sieve deposits

<sup>20</sup> Parting Lineation

**۴) رخساره ماسه‌ای S4: ماسه با طبقه‌بندی توده‌ای (Sm)**

ذرات ماسه در این رخساره بیشتر در اندازه متوسط تا درشت را شامل می‌شود که فاقد لایه‌بندی بوده و حالت توده‌ای دارند. گردشگی و جورشدگی ذرات، نسبتاً خوب است. از دلایل توده‌ای بودن این رخساره می‌توان به سقوط دیواره کانال بر اثر نیروی گرانش (Miall, 2000)، رسوب‌گذاری سریع در نتیجه فروکش کردن جریان سیلابی (Collinson, 1996; Miall, 2006; Tewari, 2011)، به هم ریختگی زیستی<sup>۲۱</sup> و یا از بین رفتن سطح تماس لامیناسیون‌ها بر اثر فرایندهای دیاژنزی (Deynoux et al., 2005) می‌توان نام برد. علت تشکیل این رخساره، سرعت بالای رسوب‌گذاری عنوان شده است (Harms et al., 1982; Miall, 2000). این رخساره همراه با رخساره FI و Sh در منطقه مشاهده شده است (شکل ۴b).

**رخساره‌های گلی**

رخساره‌های گلی در رودخانه‌های مآندری و اغلب در محل خروجی رودخانه و در محل اتصال به دشت سیلابی، تشکیل می‌شوند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۴).

**۱) رخساره گلی F1: رخساره گل، سیلت و ماسه لامینه‌ای (FI)**

این رخساره بین رخساره‌های Gmm و Gmg در پایین و بالا و همچنین به همراه رخساره Sm در منطقه مورد مطالعه مشاهده شده است (اشکال ۴a و ۴b). همراهی این رخساره با رسوبات دانه متوسط ماسه‌ای و رسوبات دانه درشت گراولی در پایین و بالای این رخساره، نشانه رخداد سیلاب و ایجاد کانال جدید در رسوبات دانه‌ریز است (Bridge, 1984; Oplustil et al., 2005). بیشتر ذرات این رخساره در اندازه سیلت می‌باشند (Oplustil et al., 2005). مهمترین ساخت این رخساره، لامیناسیون موازی می‌باشد. این لامینه‌ها که حاوی ماسه دانه‌ریز، گل و سیلت هستند به عنوان رسوبات کانالهای متروکه و دشت سیلابی توصیف می‌شوند (Miall, 2006). وجود ترک‌های گلی در سطح این رخساره و همچنین آثار ریشه گیاهان مؤید تشکیل آن در شرایط آرام رسوب‌گذاری است. آشفستگی زیستی، ترک‌های گلی و آثار ریشه گیاهان در آنها دیده می‌شود (Miall, 1996). این رخساره در نتیجه رسوب‌گذاری ذرات معلق و توسط جریان‌های ضعیف کششی ایجاد می‌شود (Tucker, 2001; Miall, 2006; López-Gómez et al., 2010) یا ممکن است رسوب ذرات دانه ریز معلق توسط جریان‌های آبی با انرژی پایین در دشت‌های سیلابی، علت تشکیل این رخساره باشد (معاذلهی و همکاران، ۱۳۹۶).

**۲) رخساره گلی F2: سیلت و گل توده‌ای (Fm)**

طبقات گلی که به حالت توده‌ای دیده می‌شوند و ساختار رسوبی اولیه رسوبات این رخساره در کانال‌های قدیمی و از جریان‌های کم‌انرژی ته‌نشین شده‌اند. ضخامت این طبقات به طور معمول از ۳۰ تا ۶۰ سانتیمتر تغییر می‌کند (شکل ۴c). در مواردی که این رخساره با ضخامت کم دیده شود نشان می‌دهد که این رسوبات مربوط به رسوبگذاری بار معلق در دشت سیلابی (Ito et al., 2006) و یا مربوط به پوشش گلی بین سدهای ماسه‌ای و گراولی داخل رودخانه می‌باشد (Miall, 2006; 2013). این رخساره نشانه ته‌نشست سریع ذرات سیلت و رس در شرایط اکسیداسیون در زمان رسوب‌گذاری و یا پس از آن را نشان می‌دهد (پاکزاد و امینی، ۱۳۸۸). رسوبات گلی و توده‌ای نسبتاً ضخیم نشان‌دهنده نهشته شدن این رسوبات توسط سیلاب‌های صفحه-ای در طی سیلاب اصلی می‌باشد (Collinson, 1996).

<sup>21</sup> Bioturbation

### ۳) رخساره گلی F3: سیلت و گل توده‌ای دارای ریشه گیاه (Fr)

رخساره گلی که در دشت‌های سیلابی حاوی پوشش گیاهی، رایج بوده و نشان‌دهنده توسعه خاک در آب و هوای مرطوب می‌باشد (Miall, 2006) و به دلیل از بین رفتن ساختارهای رسوبی اولیه توسط آشفستگی‌های زیستی ایجاد شده توسط گیاهان، طبقات به حالت توده‌ای دیده می‌شوند (Miall, 1978; 2006). این رخساره در خارج از کانال رسوبی تشکیل می‌گردد (شکل ۴e).

#### عناصر ساختاری<sup>۲۲</sup>

بخش‌های اصلی محیط‌های رودخانه‌ای شامل کانال‌ها و سدهای رسوبی هستند که به عنوان عناصر ساختاری رودخانه نام‌گذاری شده‌اند (خدمای و همکاران، ۱۳۸۶). عناصر ساختاری شامل اشکال فرسایش و رسوب‌گذاری می‌شود (جدول ۴) که بر اساس محیط رسوبی دسته‌بندی می‌شوند (Lowey, 2007). مجموعه رخساره‌های سنگی موجب تفکیک عناصر ساختاری می‌شود (زندمقدم و همکاران، ۱۳۸۸).

#### ۱) عنصر ساختاری FF<sup>۲۳</sup> (دانه ریز دشت سیلابی)

این عنصر شامل رخساره‌های دانه ریز نظیر FI, Fm, Fr و رخساره‌های دانه متوسط نظیر Sh و SI می‌باشد. رسوبات بیشتر به فرم ورقه‌ای تا توده‌ای دیده می‌شوند و در سطح آنها پوشش گیاهی و متناوباً با عنصر SB دیده می‌شود. این رسوبات از رسوب گذاری ذرات دانه ریز به فرم معلق و در خارج از کانال (دشت سیلابی) و یا به فرم رسوبات پوششی و بر روی سدهای گراولی شکل گرفته‌اند (فیاضی بروجنی و همکاران، ۱۳۹۶). این رسوبات در محیط آرام رسوبی و در نتیجه کاهش انرژی سیال ته نشست کرده‌اند (Miall, 2006).

#### ۲) عنصر ساختاری CH<sup>۲۴</sup> (کانال)

بیشتر رسوبات دانه درشت (گراول) و دانه متوسط (ماسه) سیستم‌های رودخانه‌ای در کانال‌ها نهشته می‌شوند (Miall, 2006) که از نظر هندسی به شکل ورقه‌ای کشیده تا عدسی می‌باشند (Kim et al., 2009). رخساره‌های رسوبی Sm, Gmm, Gmg, Gcm, Gh, Sh در این عنصر ساختاری شکل گرفته‌اند. فرم هندسی کانال بر اساس میزان پیچش، عمق و نسبت عرض به عمق تغییر می‌کند (Miall, 2006; Allen and Fielding, 2007).

#### ۳) عنصر ساختاری SB<sup>۲۵</sup> (اشکال بستر ماسه‌ای)

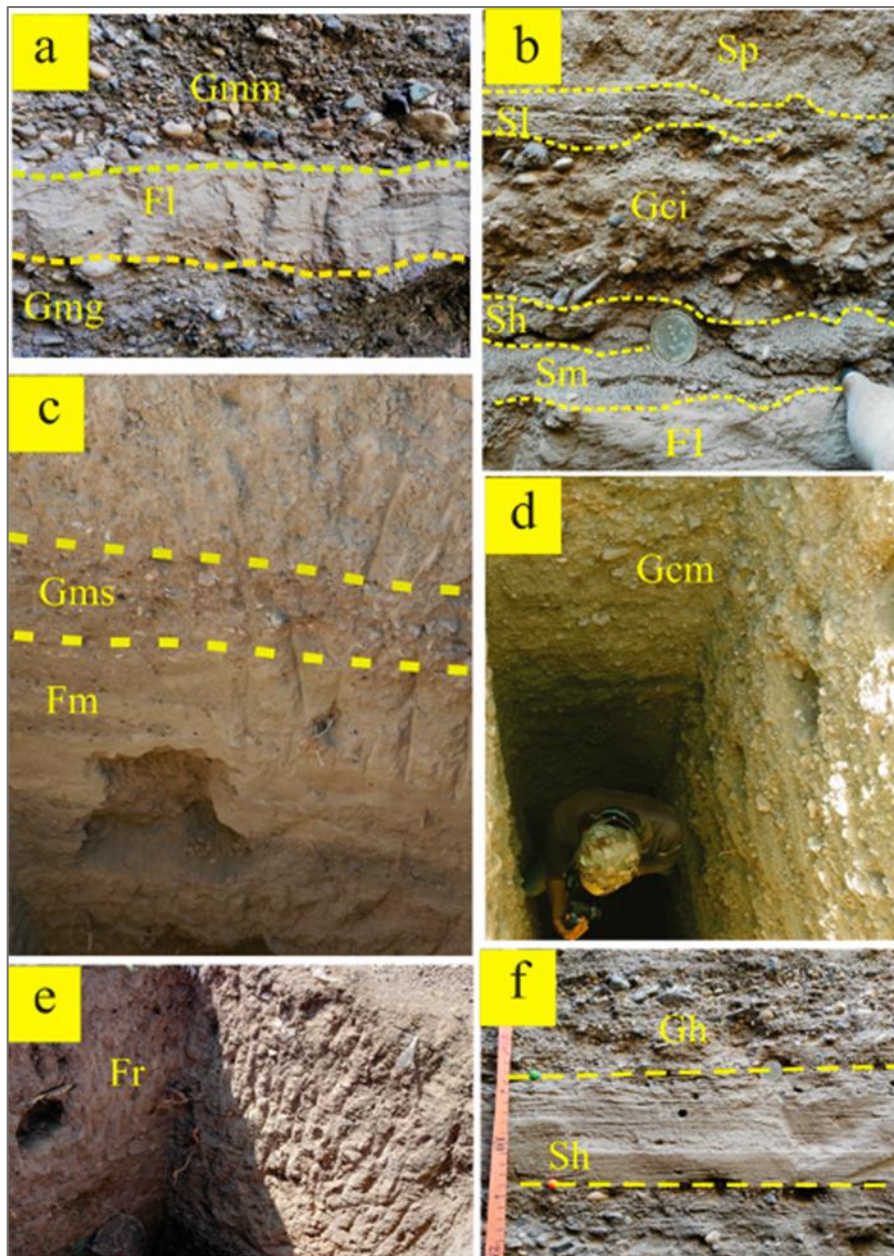
اشکال لایه ای که در رژیم‌های جریانی مشابه و در سیستم‌های رودخانه‌ای که ماسه غالب می‌باشد، شکل می‌گیرند (Harms et al., 1975; Ashley, 1990). این عنصر شامل رخساره‌های دانه متوسط نظیر SI, Sm, Sp, Sh می‌باشد و در رژیم جریانی متوسط تشکیل شده است. این اشکال به فرم رسوبات پرکننده کانال یا پوششی بر روی سدهای درون کانال و یا بر اثر برافزایی عمودی رسوبات ماسه‌ای در رژیم‌های جریانی متفاوت ایجاد می‌شوند و طیف وسیعی از شرایط جریانی را نشان می‌دهد (Miall, 2006).

22 Architectural Elements

23 Floodplain Fines

24 Channels Element

25 Gravel Bars and Bedforms



شکل ۴: رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در رودخانه حاجی عرب. (a) رخساره‌های Gmm, Fl, Gmg (b) Sp, Sl, (c) Gci, Sh, Sm, Fl (d) Fm, Gms (e) Gem (f) Fr رخساره (f) Gh, Sh رخساره

#### ۴) عنصر ساختاری $^{26}\text{GB}$ (بار گراولی و اشکال لایه‌ای)

این عنصر ساختاری شامل سدهای گراولی و اشکال لایه‌ای گراولی می‌باشد و رخساره‌های Gmm, Gh, Gms, Gcm و Sm را دربرمی‌گیرد. این عنصر به صورت رسوبات باقیمانده در کف کانال و در نتیجه مهاجرت سدهای گراولی در بالادست رودخانه تشکیل شده است (Miall, 2006). این رسوبات مؤید رودخانه-ای با پیشش کم و به فرم بریده‌بریده (Gao et al., 2007) و بار بستر گراولی است (Caltorti et al., 2008).

### ۵) عنصر ساختاری $^{27}SG$ (نهشته‌های حاصل از جریان گراویته‌ای رسوب)

جریان‌های گرانسی رسوبی به‌ویژه در مخروط‌افکنه‌ها اهمیت محلی دارند (Miall, 2006). این عنصر دارای ذرات دانه درشت گراولی فراوان و به فرم ساختارهای ورقه‌ای شکل و ضخیم می‌باشد که توسط جریان‌های خرده‌دار و در مخروط‌افکنه‌های نزدیک منشأ (رودخانه‌های با پیچش کم و انشعاب زیاد) ته‌نشست کرده‌اند (Miall, 1985). این عنصر شامل رخساره‌های Gmm و Gmg, Gci, Gcm می‌باشد.

#### مدل رسوبی :

مطالعات نشان می‌دهد که با تغییر قدرت جریان، رخساره‌های سنگی که تشکیل می‌شود متفاوت خواهد بود (جدول ۳) که بر همین اساس محیط رسوبی نیز تغییر می‌کند (Kumar et al., 2007) بنابراین ویژگی‌های رخساره‌های متفاوت به صورت عمودی یا جانبی به تفسیر محیط رسوبی دیرینه کمک فراوانی خواهد کرد. به طور کلی رسوبات دانه درشت گراولی، ماسه‌ای و دانه ریز، جورشدگی بد تا خیلی بد، فقدان فسیل، رنگ روشن رسوبات، حضور آثار گیاهی نشان دهنده این است که رسوبات کواترنری منطقه مورد مطالعه در محیط رودخانه‌ای و زیر محیط‌های کانال، خارج کانال و دشت سیلابی نهشته شده‌اند. بررسی توالی رسوبات در منطقه مورد مطالعه گذر از یک محیط مرطوب و کم انرژی به یک محیط خشک و پر انرژی را در زمان کواترنری نشان می‌دهد (Khakestari et al., 2021). هر کدام از رخساره‌ها بر اساس ویژگی‌هایی که دارند در شرایط رسوبی خاصی بر جای گذاشته شده‌اند. رسوبات دانه ریز در رژیم جریانی پایین رسوب می‌کنند (Tewari et al., 2011). رخساره‌های دانه ریز Fl و Fm, Fr که ذرات در اندازه سیلت و رس دارند احتمالاً در مواقع وقوع سیلاب در دشت سیلابی به صورت آرام، افقی و یا مورب و با مقیاس کوچک بر جای گذاشته می‌شوند. رسوبات ریز دانه سیلتی و دانه متوسط در اندازه ماسه که در قسمت‌های زیرین گمانه‌ها مشاهده می‌شود، نبود رسوبات دانه درشت گراولی و جهت یافتگی ضعیف ذرات ماسه‌ای نشان می‌دهد که این رسوبات بیشتر در یک محیط رودخانه‌ای ماندری با جریان آرام و شیب کم نهشته شده‌اند (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). رخساره Sm در مرحله نهایی عقب نشینی سیلاب و در نتیجه ته‌نشست سریع ذرات ماسه‌ای معلق (Tewari et al., 2011) ریزش دیواره کانال (Miall, 2000) که منجر به از بین رفتن لایه‌بندی شده، شکل گرفته است یا توسط جریان‌های توده‌ای، جریان‌های ثقلی یا جریان‌های خرده‌دار ایجاد شده است. رخساره‌های ماسه‌ای مثل Sm, Sp و Sh جزء رخساره‌های کانالی به حساب می‌آیند و معمولاً در پوینت‌بارها نهشته می‌شوند (رجب‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). بنابر عقیده عده‌ای دیگر (Lewin and Ashworth., 2014)، رخساره‌های دانه ریز ماسه‌ای از قبیل Sm و Sh متعلق به کانال فرعی رودخانه و کروس اسپلی‌ها<sup>۲۸</sup> هستند و در زمان طغیان رودخانه در دشت‌های سیلابی رسوب می‌کنند. بنابراین می‌توان این رسوبات را به محیط رودخانه‌ای ماندری با بار معلق یا رودخانه ماندری با بار ماسه‌ای با پیچش زیاد و انرژی پایین نسبت داد. رسوبات دانه درشت اغلب توسط جریان‌های خرده‌دار و در نواحی نزدیک منشأ ته‌نشست کرده‌اند که مخصوص رسوبات آبرفتی مخروط-افکنه‌ای بوده و شامل رخساره‌های Gmm و Gmg, Gci, Gcm می‌باشد. برخی دیگر از رسوبات دانه درشت شامل رخساره‌های Gmm, Gh, Gcm, Gms و Sm است و اغلب به عنوان رسوبات باقیمانده در کف کانال و یا در نتیجه مهاجرت سدهای گراولی در بالادست رودخانه تشکیل می‌شوند (Miall, 2006). این رسوبات مؤید رودخانه‌ای با پیچش کم و به فرم بریده‌بریده (Gao et al., 2007) و با بار بستر گراولی است (Caltorti

27 Sediment Gravity Flows

28 Crevasse Splay

(et al., 2008). این مجموعه رخساره‌ای در بخش‌های میانی گمانه‌ها دیده می‌شود و شامل مجموعه رخساره‌های گراولی نظیر Gmm, Gmg, Gcm, Gci و Gms جزء رخساره‌های جریانی خرده‌دار می‌باشد. با توجه به مطالعات صحرایی و مطالعات رخساره‌های رسوبی رودخانه حاجی‌عرب، رسوبات سیلتی بیشترین گسترش را در حوضه آبریز حاجی‌عرب به خود اختصاص می‌دهند. رخساره‌های گراولی با درصد کمتر و در بخش‌های محدودی از حوضه و در قسمت‌های بالایی توالی‌های مطالعه شده مشاهده می‌شوند. بنابراین بر اساس شواهد مذکور و ویژگی‌های رخساره‌ها در تقسیم‌بندی میال (۱۹۹۶)، رسوبات دانه ریز در رودخانه مآندری و رسوبات دانه درشت این منطقه در یک رودخانه بریده‌بریده نهشته شده‌اند. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان عناصر ساختاری FF, CH, SB و GB و به میزان کمتری SG را برای این حوضه در نظر گرفت. بر این اساس ۴ مدل رودخانه‌ای (شکل ۵) را می‌توان برای رودخانه حاجی‌عرب در منطقه مورد مطالعه می‌توان در نظر گرفت:

### (۱) رودخانه مآندری با بار ریزدانه

در قسمت‌های پایینی اکثر گمانه‌های مورد مطالعه رودخانه حالت مآندری داشته است چرا که بیشتر رسوبات در اندازه سیلت و ماسه دانه‌ریز می‌باشد، رخساره‌های رسوبی تشکیل شده در این قسمت شامل Fm, Fl, Fr و Sm می‌باشد، عنصر ساختاری FF در این رودخانه تشکیل شده است (Miall, 1996). گسترش زیاد رسوبات دشت سیلابی، رسوبات کانالی ماسه سنگی مبین این نکته است که رسوبات زیرین گمانه‌های مورد مطالعه در یک رودخانه مآندری ته نشست کرده‌اند (Cant, 1981). محیط رودخانه‌ای، به دلیل مآندری بودن دارای زیرمحیطهایی مانند دشتهای سیلابی، کانالهای رودخانه‌ای و کانال متروکه است. نتایج نشان داد رودخانه حاجی‌عرب به دلیل جابه‌جایی و تحرک بسیار زیاد، دارای دشتهای سیلابی متعددی است که با ذرات ریزدانه در حد سیلت پوشیده شده است. به همین علت، دشتهای سیلابی بیشترین وسعت را نسبت به سایر محیط‌های رسوبگذاری اشغال کرده است.

### (۲) رودخانه مآندری با بار ماسه‌ای

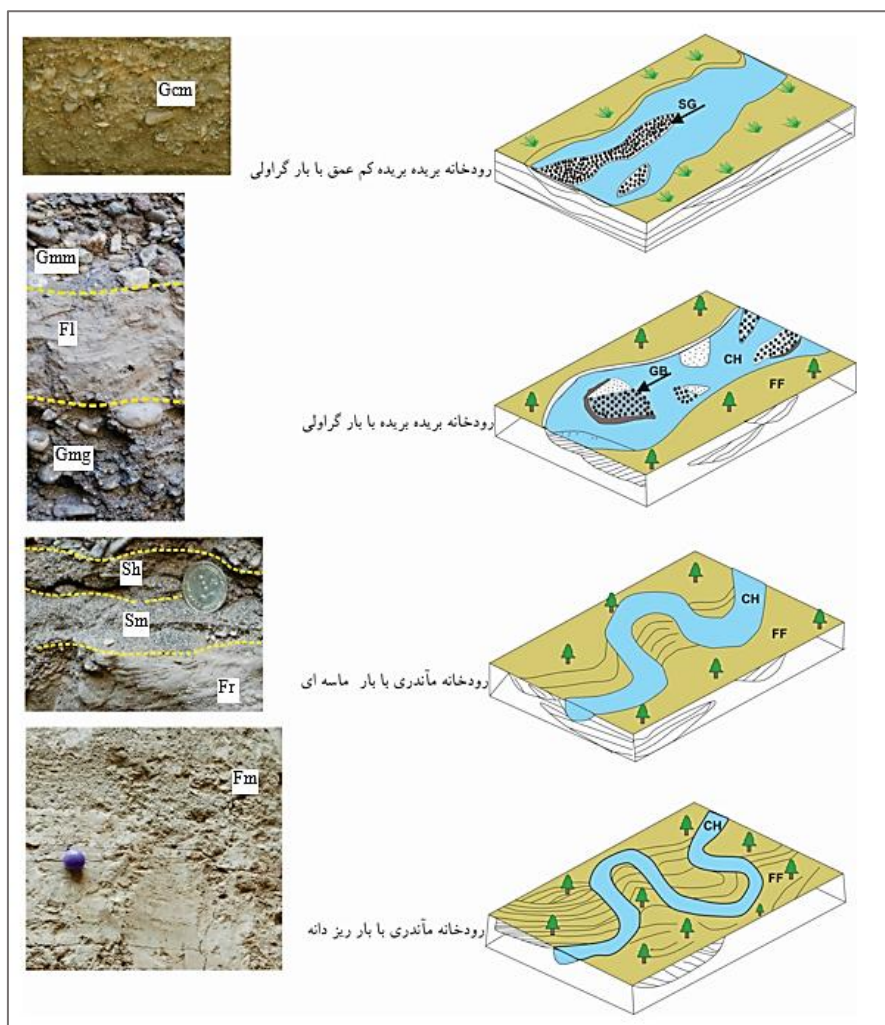
رسوبات این بخش بیشتر در اندازه ماسه بوده و دارای مقدار کمی هم گراول می‌باشند و جزء رودخانه‌های کم انرژی به حساب می‌آید (Miall, 1996)، رخساره‌های Sm و Sp و عنصر ساختاری SB در این رودخانه تشکیل شده است.

### (۳) رودخانه بریده‌بریده کم عمق با بار بستر گراولی

این رودخانه در بالادست حوضه، جایی که رسوبات به منشأ نزدیک هستند تشکیل شده است. پیچش کانال در این رودخانه کم است و در بعضی از قسمت‌ها کمی ماسه بر جای گذاشته شده است که دلیل آن را می‌توان به کم شدن انرژی آب در فصل‌های کم باران و در نتیجه پایین رفتن سطح رودخانه نسبت داد. از جمله رخساره‌های رسوبی که در این بخش از کانال رودخانه تشکیل شده است می‌توان به رخساره‌های Gmm, Gmg, Gh, Sh, Gci, Gcm, Gms همچنین از عناصر ساختاری که در این بخش از رودخانه تشکیل شده‌اند می‌توان به عناصر ساختاری CH, GB, SG اشاره کرد (شکل ۵).

## ۴) رودخانه بریده‌بریده با بار بستر گراولی

این نوع رودخانه حدواسط رودخانه‌های با پیچش کم (بریده‌بریده) و رودخانه‌های با پیچش زیاد (ماندری) می‌باشد لذا نشان‌دهنده کاهش شدت جریان و افزایش رخساره‌های ریزتر می‌باشد که در پایین دست حوضه گسترش یافته‌اند. رخساره‌های مهمی که در این بخش از حوضه تشکیل شده‌اند می‌توان به Sh و Gmm و از رخساره‌های ریزتر که خارج از کانال تشکیل شده‌اند می‌توان به رخساره‌های Fm, Fl, Fr, Sm اشاره کرد. که بیانگر عناصر ساختاری GB و FF می‌باشند.



شکل ۵: مدل‌های رسوبی رودخانه حاجی عرب.

## بحث و نتیجه گیری:

بر اساس تقسیم بندی فولک رسوبات رودخانه حاجی عرب بیشتر در محدوده سیلت، سیلت ماسه‌ای، ماسه سیلتی و دانه درشت‌ها در محدوده گل ماسه‌ای کمی گراول‌دار پلات شده‌اند. آنالیز اندازه دانه‌ها بر اساس پارامترهای بافتی در رودخانه حاجی عرب از قبیل جورشدگی بد تا بسیار بد، اغلب دارای کج شدگی مثبت، نبود فسیل، رنگ روشن رسوبات و غیره نشان می‌دهد که این رسوبات در یک محیط مخروط‌افکنه‌ای و سیستم

رودخانه‌ای نهشته شده‌اند. رسوبات آبرفتی کواترنری در منطقه باستانی سگزآباد از رسوبات آواری دانه ریز در قسمت پایینی و رسوبات آواری دانه درشت‌تر در قسمت‌های بالایی تشکیل شده است، رسوبات دانه ریز و دانه درشت در قسمت‌های بالایی متناوباً تکرار می‌شود که نشان‌دهنده سیلاب‌های متعدد در منطقه است. بنابراین پارامترهای بافتی و مطالعه تغییرات اندازه دانه در طول گمانه‌های مورد بررسی در رسوبات رودخانه حاجی‌عرب نشان می‌دهد که دشت قزوین تغییرات اقلیمی و تغییرات رسوب‌گذاری را در کواترنری تجربه کرده است. نوسانات اقلیمی باعث تغییر شرایط رسوب‌گذاری و تغییر نوع رودخانه شده است به گونه‌ای که نوع رودخانه به طور متناوب از ماندری به بریده‌بریده تغییر پیدا کرده است، به همین علت نحوه رسوب‌گذاری ذرات رسوبی در طول گمانه‌ها نسبت به عمق ثابت نیست. بر اساس مطالعات صحرایی و بررسی رخساره‌ها، ۳ رخساره دانه ریز گلی (Fl, Fm, Fr)، ۴ رخساره دانه متوسط ماسه‌ای (Sm, Sp, Sl, Sh) و ۶ رخساره دانه درشت گراولی (Gmm, Gmg, Gh, Gcm, Gci, Gms) در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شده است. بر اساس نوع رخساره‌ها و عناصر ساختاری شناسایی شده، مدل‌های رسوبی این رودخانه عبارتند از: ماندری با بار معلق، ماندری با بار ماسه‌ای، بریده‌بریده با بار بستر گراولی و گراولی کم عمق با جریان ثقیلی.

### تشکر و قدردانی :

نویسندگان مقاله از گروه باستان‌شناسی دانشگاه تهران برای پذیرش طرح پیشنهادی مطالعه زمین‌شناسی در منطقه باستانی سگزآباد و همچنین حفر گمانه‌ها تشکر می‌کنند.

جدول ۳: مجموعه رخساره‌های رسوبی شناسایی شده در رودخانه حاجی‌عرب بر مبنای (Miall, 1996, 2006)

مجموعه رخساره‌ای	کد رخساره‌ای	رخساره	ساختمان رسوبی	تفسیر	
گراول (G)	Gmm	گراول توده‌ای با ماتریکس زیاد	دانه بندی تدریجی ضعیف	جریان خرده‌دار پلاستیکی (مقاومت و ویسکوزیته بالا)، ابتدای مخروط‌افکنه رسوب در رودخانه‌های بریده‌بریده گراولی در انرژی بالا و مناطق نیمه خشک	
	Gmg	گراول ماتریکس‌دار و دانه‌بندی تدریجی	دانه بندی تدریجی عادی تا معکوس	رسوبگذاری سریع، جریان خرده‌دار پلاستیکی کاذب (مقاومت و ویسکوزیته پایین)	
	Gci	گراول دانه پشتیبان با طبقه‌بندی تدریجی معکوس	دانه‌بندی تدریجی معکوس	جریان خرده‌دار پلاستیکی (مقاومت و ویسکوزیته بالا) یا جریان خرده‌دار پلاستیکی کاذب (مقاومت و ویسکوزیته پایین)	
	Gms	گراول ماتریکس‌دار بدون لایه‌بندی	طبقه‌بندی توده‌ای یا فاقد دانه‌بندی تدریجی و ایمبریکاسیون، گاهی دانه‌بندی تدریجی معکوس	رسوبگذاری سریع، جریانهای خرده‌دار گلی حمل به شکل بار بستر، ریزش دیواره‌های کانال، حمل توسط جریانهای سیلابی رودخانه‌ای، در بخش ابتدایی تا میانی مخروط‌افکنه‌ها	
	Gcm	گراول با طبقه‌بندی توده-ای و زمینه کلاستی گراول‌های در اندازه پیل	طبقه‌بندی توده‌ای تا افقی، دانه بندی تدریجی با بافت برگشتی	جریان خرده‌دار پلاستیکی کاذب، حمل به شکل بار بستر با جریان آشفته	
	Gh	گراول دانه پشتیبان با طبقه‌بندی افقی	طبقه‌بندی افقی	نهمشته‌های باقیمانده در کف کانال و سدهای گراولی، مهاجرت سدهای طولی به فرم اشکال بستر طولی، یا رسوبات غربالی	
	ماسه (S)	Sp	ماسه دارای لایه‌بندی مورب مسطح، ماسه درشت تا متوسط گاهی ماسه پیل‌دار	طبقه‌بندی مورب مسطح با جهت جریان باایمدال	حرکت و رسوبگذاری مگاریلهای ۲ بعدی با خطالرأس هلالی و متقاطع در جریان آهسته
		Sl	ماسه دارای طبقه‌بندی مورب با شیب کم، ماسه ریز تا متوسط	لایه‌بندی مورب کمتر از ۱۰ درجه، فاقد دانه‌بندی تدریجی، ضخامت کمتر از ۰.۵ متر	حرکت و رسوبگذاری ریللهای کوچک ۳ بعدی، رسوبگذاری بر روی سطح شیبدار، حرکت در آب کم عمق
		Sh	ماسه با لامینه‌های افقی، ماسه درشت تا خیلی ریز، احتمالاً پیل‌دار	لایه و لامیناسیونهای موازی ضخامت بین ۱۰ سانتیمتر تا ۱ متر	حرکت و رسوبگذاری مگاریلهای ۳ بعدی در جریان سریع جریانهای موازی (جریان بحرانی، از پایین به بالا)
		Sm	ماسه با طبقه‌بندی توده-ای، ماسه دانه درشت تا ریز	طبقه‌بندی توده‌ای فاقد لایه-بندی	جریانهای توده‌ای، جریانهای ثقلی رسوبگذاری سریع ذرات ماسه معلق در مرحله فروکش سریع سیلاب، جریانهای خرده‌دار
سیلت (F)	Fl	رخساره گل، سیلت و ماسه لامینه‌ای	لامیناسیون ظریف، لامیناسیون‌های گلی موازی و مسطح. ساختمان‌های ثانویه شامل: ترکهای گلی و آشفته‌گی زیستی	رسوبگذاری ذرات دانه ریز معلق در جریان آهسته، رخساره‌های کانال متروکه، یا رخساره‌های سر ریز حاشیه کانال، رسوبات هنگام فروکش سیلاب یا رسوبات دشت سیلابی با شیب کم در طی مراحل سیلابی با انرژی متغیر	
	Fm	سیلت و گل توده‌ای	به ندرت لامیناسیونهای موازی خیلی ضعیف، ساختمان‌های ثانویه شامل: ترکهای گلی و آشفته‌گی زیستی	رسوبگذاری ذرات دانه ریز معلق به صورت آهسته و رسوبگذاری در آب راکد یا ته‌نشست سریع ذرات سیلت و رس در مناطق اکسیداسیونی و یا در بخش انتهایی رسوبات ابرفتی	
	Fr	سیلت و گل توده‌ای دارای آثار ریشه گیاه	ظاهری توده‌ای، حاوی آثار گیاهان و آشفته‌گی زیستی	توسعه خاک و گیاه از نهمشته‌های گلی، محیط خشک و نیمه خشک، رسوبات خارج کانال	

جدول ۴ : عناصر ساختاری شناسایی شده در رسوبات رودخانه حاجی عرب.

عناصر ساختاری	نماد	مجموعه رخساره های رسوبی	تفسیر	محیط رسوبی
کانال	CH	Gmm, Gmg, Gcm, Gh, Sh	معرف رسوبات پرکننده کانال، دارای شکل هندسی لنزی یا ورقه ای	منطقه نزدیک به منشأ، محیط رودخانه بریده بریده با بار بستر ماسه ای و سطح اساس پایین
جریان های گراوینه ای	SG	Gmg, Gmm, Gci, Gcm, Gms	جریان خرده دار و نزدیک به منشأ، وجود ساختارهای ورقه ای شکل ضخیم، ذرات فراوان و درشت گراول، جورشدگی ضعیف و عدم وجود چینه بندی	منطقه نزدیک به منشأ، جریان خرده دار، محیط مخروط - افکنه
سد گراولی با بستر لایه ای	GB	Sh, Gmm	حاصل مهاجرت سدهای گراولی و یا به صورت رسوبات باقیمانده در کف کانال، معمولاً دارای شکل هندسی عدسی و گسترده	منطقه نزدیک به منشأ تا منطقه میانی، محیط رودخانه بریده بریده با بار بستر ماسه ای تا گراولی و سطح اساس پایین.
شکل بستر ماسه ای	SB	Sh, Sl, Sp	لایه ای، عدسی شکل	کانال پر شده، کروس های پهن و اندکی در سدها، محیط رودخانه مآندری با بار ماسه ای تا گراولی
منطقه خارج از کانال	FF	Fm, Fl, Fr, Sm	حاوی رسوبات ریز خارج از کانال، فرم توده ای و ورقه ای، احتمالاً پرکننده کانالهای متروکه، به صورت بین لایه ای با SB	منطقه میانی تا پایین دست رودخانه، محیط رودخانه مآندری با بار معلق و محیط دشت سیلابی

جدول ۵ : خلاصه ای از انواع مدل های رسوبی شناسایی شده در حوضه آبریز حاجی عرب بر مبنای رده بندی (Miall, 1996).

عناصر ساختاری	نوع رخساره	نوع رسوبات	قدرت حمل رسوبات	میزان پیچش	رودخانه
FF	Sp, Fl, Fr	ماسه ریز، سیلت و گل	پایین	زیاد	مآندری با بار معلق
SB	Sp, Sm	ماسه و کمی رسوبات ریزدانه	پایین	زیاد	مآندری با بار ماسه ای
GB, CH	Gmm, Gmg, Gcm, Gh, Sh	گراول با کمی ماسه	زیاد	کم	بریده بریده کم عمق با بار گراولی
SG, GB	Gmg, Gmm, Gci, Gcm, Gms, Sh	گراول با کمی ماسه و کمی ذرات ریزدانه	متوسط	متوسط تا زیاد	بریده بریده با بار گراولی

## منابع:

- اسدی، ف.ز، فضل‌اولی، ر. عمادی، ع.، (۱۳۹۶). بررسی تغییرات بستر رودخانه با استفاده از مدل RAS4-HEC (مطالعه موردی: رودخانه تالار)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال هشتم، شماره ۱۵، صص. ۳۵-۲۵.
- آقاباتی، س.ع.، (۱۳۸۶). زمین‌شناسی و توان معدنی استان قزوین، مجله رشد آموزش زمین‌شناسی، دوره دوازدهم، شماره ۴.
- بهبهانی، ر.، خدابخش، س.، (۱۳۹۷). تحلیل رسوب شناختی سیستم‌های رودخانه‌ای، یافته‌های نوین زمین‌شناسی کاربردی، دوره دوازدهم، شماره ۳۴، صص. ۱۲۴-۱۰۲.
- پاکزاد، ح.ر.، امینی، ع.، (۱۳۸۸). رخساره‌ها و فرایندهای رسوبگذاری نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای بخش پایینی حوضه رودخانه زاینده‌رود، جنوب شرق اصفهان، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، سال بیست و پنجم، شماره ۳۶، صص. ۱۱۳-۱۳۲.
- پاکزاد، ح.ر.، مروت، م.ح.، (۱۳۹۰). رخساره‌ها و عناصر ساختاری رودخانه زاینده‌رود در منطقه ورزنه (قورتان- ورزنه)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی دانشگاه اصفهان، سال بیست و هفتم، شماره ۴۲، صص. ۱۵۴-۱۳۷.
- پورسلطانی، م. ر.، معینی صالح، م.، (۱۳۹۱). مطالعات رسوب‌شناسی رودخانه‌های مطرب‌آباد، صلح‌آباد، حوضه آبریز نوبهار، ایران مرکزی، نشریه علمی - پژوهشی رخساره‌های رسوبی، سال پنجم، شماره ۲، صص. ۱۸۴-۱۶۹.
- ترشیزیان، ح.، (۱۳۹۰). رسوب‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی پلاایای ساغند، ایران مرکزی، استان یزد، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و هفتم، شماره ۵، صص. ۱۶۲-۱۳۷.
- حسین زاده، س.ر.، خانه‌باد، م.، خسروی، ع.، (۱۳۹۳). مطالعه سیلاب‌های بزرگ رودخانه کلات با استفاده از شواهد دیرینه تراز، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال پنجم، شماره ۱۷، صص. ۱۶-۱.
- خدابخش، س.، حسام‌زاده، م.، (۱۳۹۲). شناخت الگوی کانال رودخانه خررود (جنوب استان قزوین) بر اساس شاخص‌های ریخت‌شناسی و رسوب‌شناسی، رخساره‌های رسوبی، سال ششم، شماره ۲، صص. ۲۰۱-۱۸۶.
- خدایی، م.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، فیض‌نیا، س.، (۱۳۸۶). تجزیه رخساره‌های سنگی و مدل رسوبی رودخانه لاتشور، جنوب خاور تهران، مجله علوم زمین، سال شانزدهم، شماره ۶۳، صص. ۱۲۳-۱۱۰.
- رجب زاده، ع.، کوهستانی، ح.، مختاری، م.عل.، زهدی، ا.، (۱۳۹۸). چینه‌نگاری، رخساره‌های رسوبی و جایگاه تکتونیک ماسه سنگ‌های بخش میانی سازند قرمز بالایی در بُرش کانسار چهرآباد، شمال باختر زنجان، نشریه علمی رخساره‌های رسوبی، سال دوازدهم، شماره ۱، صص. ۹۰-۷۵.
- رحیمی، ت.، یارم طاقلو سهرابی، م.، یامینی، ع.ر.، (۱۳۹۴). مطالعات رسوب‌شناسی در حوضه فریزی و ارائه مدل رسوبی حوضه، دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش در علوم و تکنولوژی، ترکیه-استانبول، ۲۴ اسفند ۱۳۹۴.
- زندمقدم، ح.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا.، (۱۳۸۸). آنالیز رسوبات جزر و مدی کوارتیزت راسی در شرق زرند کرمان، سال بیست و پنجم، شماره ۳۷، صص. ۱۸-۱.
- فرخ‌نژاد، ر.، اسفندیاری، ب.، معتمد، ا.، (۱۳۹۵). تحلیل لیتوفاسیس‌ها و شرایط رسوبگذاری توالی آواری پالتوسن در البرز خاوری، ایران، مجله علوم زمین، سال بیست و ششم، شماره ۱۰۱، صص. ۲۱۸-۲۱۱.
- فیاضی بروجنی، م.، مرتضوی مهریزی، م.، خانه‌باد، م.، (۱۳۹۶). بررسی رخساره‌های رسوبی و الگوی برانبارش رسوبات در رودخانه مولید (جنوب شرق قاین)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال سی و سوم، شماره ۶۶، صص. ۱۲۸-۱۰۱.
- کاویان، ح.، خانه‌باد، م.، محبوبی، ا.، موسوی حرمی، ر.، (۱۳۹۵). بررسی تغییرات اندازه ذرات و ترکیب رسوبات به طرف پایین دست رودخانه بقیع (شمال غرب نیشابور)، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال سی و دوم، شماره ۶۲، صص. ۵۶-۳۹.
- معادالهی، م.، خانه‌باد، م.، موسوی حرمی، ر.، محبوبی، ا.، (۱۳۹۶). تأثیر روند ریزشوندگی به سوی پایین دست رسوبات رودخانه‌ای (مطالعه موردی: رودخانه راین در جنوب شرقی کرمان)، فصلنامه کواترنری ایران، دوره سوم، شماره ۳، صص. ۲۶۳-۲۴۷.
- مقصودی، م.، ابراهیم خانی، ن.، یمانی، م.، (۱۳۹۱). الف. تأثیر تئوتکتونیک بر مخروط‌افکنه رود حاجی‌عرب (دشت قزوین) با بررسی داده‌های مورفومتری و رسوب‌شناسی، فصلنامه جغرافیا، سال دهم، شماره ۳۳، صص. ۱۰۶-۸۷.
- مقصودی، م.، فضل‌نشی، ح.، عزیزی، ق.، گیلومر، گ.، اشمیت، آ.، (۱۳۹۱). ب. نقش مخروط‌افکنه‌ها در توزیع سکونت‌گاه‌های پیش از تاریخ از دیدگاه زمین‌باستان‌شناسی (مطالعه‌ی موردی: مخروط‌افکنه‌ی جاجرود و حاجی‌عرب، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال چهل و چهارم، شماره ۴، صص. ۲۲-۱).

مقیمی، ا.، (۱۳۸۸). اکوژئومورفولوژی و حقوق رودخانه، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۴ صفحه.  
 موسوی حرمی، ر.، (۱۳۸۳). رسوب شناسی، انتشارات به نشر، آستان قدس رضوی، چاپ نهم، ۴۷۴ صفحه.

- Allen P.J., Fielding C.R., 2007, Sedimentology and stratigraphic architecture of the Late Permian Betts Greek Beds, Queensland, Australia, *Sedimentary Geology*, NO. 202, PP. 5-34.
- Ashley G.M., 1990, Classification of large scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem, *Sedimentary Petrology*, NO. 60, PP. 160-172.
- Bertoldi W., Zanoni L., Tubino M., 2010, Assessment of morphological changes induced by flow and flood pulses in a gravel bed braided river: The Tagliamento River (Italy), *Geomorphology*, NO. 114, PP. 348-360.
- Blair T.C., McPherson J.G., 1995, Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution, *Sedimentology*, NO. 42, PP. 531-549.
- Blair T.C., McPherson J.G., 1999, Grain size textural classification of coarse sedimentary particles, *Journal of Sedimentary Research*, NO. 69, PP. 6-19.
- Bridge J.S., 1984, Large-scale facies sequences in alluvial overbank environments, *Sedimentary Petrology*, NO. 54, PP. 583-588.
- Caltorti M., Pieruccini P., Rustioni M., 2008, The Barga Basin (Tuscany): A record of Plio-Pleistocene mountain building of the North Apennines, Italy, *Quaternary International*, NO. 189, PP. 56-70.
- Cant D.J., 1981, Fluvial Facies Models and Their Application In: Scholle P.A. Spearing D. (ed.), *sandstone depositional Environment*, AAPG, memoir 31.
- Catuneanu O., 2006, Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam, First Edition. Elsevier, 375 p.
- Collinson J.D., 1996, alluvial sediments In: Reading H.G. (ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, third ed. Black well Science, Oxford, PP. 154 -231.
- Deck T., Hein F.J., Trotter R., 1996, Granite wash alluvial fans, fan deltas and tidal environments, northwestern Alberta: implication for controls on distribution of Devonian clastic wedges associated with the Peace River Arch. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, NO. 44, PP. 541-565.
- Deynoux M., Inerb C.A., Mondoc O., Karab A., VyVkoglyud M., Manatschala G., 2005, Sevim Tuzeu Facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fan- delta complexes in the tectonically active Miocene, Köprüçay basin, Isparta angle, Turkey, *Sedimentary Geology*, NO. 12, PP. 315-343.
- Fisher R.V., 1971, Features of coarse-grained, high-concentration fluids and their deposits, *Sedimentary Petrology*, NO. 41, PP. 916- 927.
- Folk R.L., 1974, *Petrology of Sedimentary Rocks*. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, 182 p.
- Ford G.L., Pyles D.R., 2014, A hierarchical approach for evaluating fluvial systems: Architectural analysis and sequential evolution of the high net-sand content, middle Wasatch Formation, Uinta Basin, Utah, *AAPG Bull*, NO. 98, PP. 1273- 1304.
- Friend P.F., 1983, towards the field classification of alluvial architecture or sequence. In: Collinson J.D., Lewin J., (eds.), *modern and ancient fluvial systems*. Int. Assoc. Sediment. Spec. Publ. NO. 6, PP. 345-354.
- Gao C., Boreham S., Preece R.C., Gibbard P.L., Briant R.M., 2007, Fluvial response to rapid climate change during the Devensian (Weichselian) Lateglacial in the River Great Ouse, southern England, UK, *Sedimentary Geology*, NO. 202, PP. 193-210.
- Ghosh P., Sarkar S., Maulik P., 2006, Sedimentology of a muddy alluvial deposit, Triassic Denwa Formation, India, *Sedimentary Geology*, NO. 191, PP. 3-36.
- Harms J.C., Southard J.B., Spearing D.R., Walker R.G., 1975, Depositional environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences, *SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists)*, Short Course 2, Dallas Texas, 161p.
- Harms J.C., Southard J.B., Walker R.G., 1982, Structures and Sequence in Clastic Rock, *SEPM (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists)*, Short Course, Chapter 1, 55p.
- Ito M., Matsukawa M., Saito T., Nichols D.J., 2006, Facies architecture and paleohydrology of a synrift Succession in the Early Cretaceous Choyr Basin, southern Mogolia, *Cretaceous Research*, NO. 27, PP. 226-240.
- Khakestari M., Feiznia S., Aleali M., Dehpahlavan M., 2021, Geochemistry of Quaternary Sediments of Haji-Arab River Catchment, Qazvin Plain Northwestern Iran: Provenance and Source Rock

- Weathering, *International Journal of Environmental Science and Technology*, <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03342-x>.
- Khalifa M., Catuneanu Q., 2008, Sedimentary of the Bahariya Formation (Early Cenomanian), Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, NO. 7, PP. 89-103.
- Kim S.B., Kim Y.G., Jo H.R., Jeang K.S., Cjough S.K., 2009, Depositional facies, architecture and environments of the Sihwa Formation (Lower Cretaceous), Mid-west Korea with special reference to dinosaur eggs, *Cretaceous Research*, NO. 5, PP. 100-126.
- Kostic, B., Becht, A., Aigner, T., 2005, 3D Sedimentary architecture of a Quaternary gravel delta (SWGermany): Implications for hydrostratigraphy. *Sedimentary Geology*, NO. 181, PP. 143-171.
- Kosun, E., Poisson, A., Ciner, A., Wernli R., Monod, O., 2009. Syn-tectonic sedimentary evolution of the Miocene atallar Basin, southwestern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, NO. 34, PP. 466-479.
- Kumar R., Suresh N., Sangode S.J., Kumaravel V., 2007. Evolution of the Quaternary alluvial fan system in the Himalayan foreland basin: Implications for tectonic and climatic decoupling, *Quaternary International*, NO. 159, PP. 6-20.
- Lee H.S., Chough S.K., 2006, Lithostratigraphy and depositional environments of the Pyeongan Super group (Carboniferous-Permian) in the Taebaek area mid-east Korea: *Journal of Asian Earth Sciences*, NO.26, PP.339-352.
- Lewin J., Ashworth P.J., 2014, defining large river channel patterns: alluvial exchange and plurality, *Geomorphology*, NO. 215, PP. 83-98.
- Lewis, D.W., and D. Mcconchie, 1994, *Analytical Sedimentology*: Chapman and Hall, London, 197p.
- López-Gómez J., Arche A., Vargas H., 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*, NO. 223(3), PP. 320-333.
- Lowey G.W., 2007, Lithofacies analysis of the Dezadeash Formation (Jura-Cretaceous), Yukon, Canada: The depositional architecture of a mud/sand-rich turbidite system, NO. 198, PP. 273-291.
- Miall A.D., 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In: Miall A.D., (ed.), *fluvial sedimentology*. Can. Soc. Petrol. Geol. Mem, NO. 5, PP. 597-604.
- Miall A.D., 1985, Architectural-Element Analysis: A New Method of Facies Analysis Applied to Fluvial Deposits. *Earth-Science Reviews*, NO. 22, PP. 261-308, [http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252\(85\)90001-7](http://dx.doi.org/10.1016/0012-8252(85)90001-7).
- Miall A.D., 1996, *The Geology of fluvial deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Springer-Verlag, 582p
- Miall A.D., 2000, *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. 3rd and Enlarged Edition, Springer-Verlag, Berlin, 616p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-03999-1>.
- Miall A.D., 2006, *The Geology of fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis and Petroleum Geology*, Spring-Verlag, New York, 582p.
- Miall A.D., 2013, *Fluvial depositional systems*. Spriger, Switzerland, 316p.
- Nicols G., 2009, *Sedimentology and stratigraphy*, 2nd Edition: Wilely-Blackwell, 419p.
- Oplustil S., Martínek K., 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*, NO. 80, PP. 45-66.
- Raj R., 2007, Late Pleistocene fluvial sedimentary facies, the Dhadhar River basin, Western India, *Quaternary International*, NO. 159, PP. 93-101.
- Reineck H.E., Singh I.B., 1980, *Depositional Sedimentary Environments*: Springer-Verlag, Berlin, 551p.
- Roberts E.M., 2007, Facies architecture and depositional environments of the Upper Cretaceous Kaiparowits Formation, Southern Utah, *Sedimentary Geology*, Vol. 197, PP. 207-233.
- Ryang W.H., Chough S.K., 1997, Sequential development of alluvial/lacustrine system: southern Eumusung Basin (Cretaceous), Korea, *Journal of Sedimentary Research*, NO. 67, PP. 274-285.
- Scherer C., Goldberg K., Bardola T., 2015, Facies architecture and sequence stratigraphy of an early post-rift fluvial succession, Aptian Barbalha Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil, *Sedimentary Geology*, No. 322, PP. 43-62.
- Sharafi M., Longhitano S.G., Mahboubi A., Moussavi-Harami R., Mosaddegh H., 2016., *Sedimentology of a transgressive mixed energy (wave/ride-dominated) estuary, Upper*

- Devonian Geirud Formation (Alborz Basin, northern Iran), International Association of Sedimentologists, Wiley Blackwell, PP. 261-292.
- Siddiqui A., Robert A., 2010, Thresholds of erosion and sediment movement in bedrock channels, *Geomorphology*. NO. 118(14), PP. 301-313.
- Sohbati R., Fattahi M., Fazeli Hassan., Quigley M., Schmidt A., Azizi Gh., Maghsoudi M., 2011, Cheskin, Blind Thrust and Its Probable Effect on the Missing Millennium (Qazvin Plain), *Journal of Physic and Space*, NO. 37(2), PP. 17-31.
- Sun J., Bin-Liang L., Hong-Wei K., 2015, Numerical modeling of channel migration with application to Laboratory Rivers, *International Journal of Sediment Research*, NO. 30, PP. 13-27.
- Tewari P., Rajkonwar C., Lalchawimawii L.P., Malsawma J., Ralte V.Z., Patel S.J., 2011, Trace fossils from Bhuban Formation, Surma Group (Lower to Middle Miocene) of Mizoram India and their palaeoenvironmental significance, *Journal of Earth System Science*, NO. 120, PP. 1127—1143.
- Tucker M.E., 2001, *Sedimentary Petrology*, Third Edition, Blackwell, Oxford, 260p.
- Went D.J., 2005, Pre-vegetation alluvial fan facies and processes an example from the Cambro-Ordovician Rozel Conglomerate Formation, Jersey, Channel Islands, *Sedimentology*, y, NONO. 52(4), PP. 693-713.