

## مطالعات رسوب شناسی و روند تغییرات اندازه ذرات به طرف پایین دست و

### تعیین معادله دبی- رسوب حوضه آبریز جاجرود

فرج الله فیاضی، نیما نظام وفا، خلیل رضایی، ندا نوروزی، فائزه بوربوری، محمد نخعی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران

#### چکیده

رسوبات پر کننده سدها باعث کاهش عمر مفید آنها شده و در این رابطه مطالعات رسوب‌شناختی بستر رودخانه‌های ورودی در جهت شناسایی منابع تولید رسوب و کاهش آنها بسیار ضروری به نظر می‌رسد. سد لتیان و رودخانه جاجرود نیز دارای وضعیتی اینگونه می‌باشند. حوضه آبریز جاجرود دارای وسعتی برابر ۷۱۰ کیلومتر مربع بوده و در شمال شرق تهران واقع شده است. این حوضه آبریز شامل ۷ زیر حوضه فشم، آهار، میگون، لوارک، امامه، کند و افجه می‌باشد. شکل آن از سمت شمال غربی به جنوب شرقی شبیه بیضی می‌باشد. رودخانه جاجرود که از نوع رودخانه‌های بریده بریده است، دارای بستر گراولی با کانال منفرد و پارامتر سدی بیشتر از یک می‌باشد. این رودخانه با شیب متوسط ۴ درصد در مناطق بیکرناته در سازندهای سیلیکاته، بیکرناته کلسیک، بیکرناته، سولفات و شور جریان دارد. اندازه ذرات رسوبات بستر به دلیل ورود شاخه‌های فرعی، ورود ذرات رسوبی به شکل واریزه، فعالیت‌های تکنونیک خاص منطقه و تغییرات شیب آبراهه، دارای روند تغییرات نامنظم است. تراکم زهکشی حوضه آبریز جاجرود برابر ۱.۶ می‌باشد.

سدهای غالب در رودخانه جاجرود از نوع سدهای طولی و بیانگر مناطق کم عمق و آرام می‌باشند. مورفوسکوپی ذرات از روند خاصی پیروی نمی‌کند و نمودارهای دانه‌بندی همگی پلی مدال هستند. جورشدگی اغلب ذرات بد بوده و نمودارهای تغییرات میانه و میانگین دارای روند منظمی نمی‌باشد. کج شدگی اغلب نمونه‌ها به صورت منفی بوده و از نظر کشیدگی اغلب نمونه‌ها به صورت پلتی کورتیک هستند. این حوضه آبریز با داشتن ضریب انشعاب ۳/۰۸۱ جزء حوضه‌های معمولی است و هیدروگراف سیل آن دارای حالت نرمال می‌باشد. مدل نهایی دبی- رسوب حوضه آبریز جاجرود که بر پایه عوامل فیزیوگرافی حوضه بدست آمده است، با حداکثر دبی و رسوب سیلابی گزارش شده توسط وزارت نیرو مطابقت دارد.

**واژگان کلیدی:** جاجرود، رسوب شناسی، دبی، سیلاب.

#### مقدمه

و لوارک در محل لتیان احداث شده است. این سد با توجه به ظرفیت کم آن می‌تواند رواناب سالیانه حوضه را ذخیره کند و نقش تنظیم کننده قابل توجهی را در

در منطقه مورد مطالعه، سد لتیان در سال ۱۳۴۲ جهت تأمین قسمتی از آب شرب شهر تهران و آب کشاورزی منطقه ورامین روی رودخانه‌های جاجرود

اندازه ذرات به طرف پایین دست حوضه آبریز صورت گرفته است. در نهایت با استفاده از محاسبه عوامل مختلف فیزیوگرافی منطقه، معادله رسوب، معادله دبی و همچنین معادله دبی- رسوب برای حوضه آبریز پیش‌بینی شده است.

جهت تحقق اهداف ذکر شده، مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده که در طی مطالعات صحرایی از رودخانه‌های مذکور و سرشاخه‌های اصلی بیش از ۱۸۰ نمونه برداشت شده و براساس مطالعه اولیه تعداد ۶۸ نمونه به منظور تعیین پارامترهای آماری مورد آنالیز قرار گرفته است. به دلیل اینکه نمونه برداری در طول زمان کم آبی رودخانه بوده، نمونه برداری از کف کانال انجام شده است. تعیین محل نمونه برداری رسوبات بستر، بر اساس شیب طولی بستر، تغییرات عرضی رودخانه و ورود آبراهه‌ها به رودخانه مطابق روش پیشنهادی Lewis & Mc Conchie (1994) انجام شده است [16].

### زمین شناسی و تکتونیک گستره مورد مطالعه

بر اساس نقشه‌های تکتونیک ایران [۱۳]، منطقه مورد مطالعه در زون البرز- آذربایجان قرار می‌گیرد. تقسیمات چینه شناسی در منطقه از قدیمی‌ترین واحدهای زمین شناسی یعنی پرکامبرین شروع شده و به رسوبات کواترنر ختم می‌شود، اما اکثر سازندهای موجود در منطقه مربوط به زمان ائوسن است (شکل ۱). سازندهای منطقه از قدیم به جدید، به ترتیب شامل: بایندر، باروت، زاگون، لالون، میلا، جیرود، مبارک، درود، روته، نسن، الیکا، شمشک، دلچای، لار، فجن، زیارت، کرج، کند، قرمز پایینی، هزاردره، کهریزک و نهشته‌های آبرفتی تهران می‌باشد. در اوایل دوره کربونیفر که قسمت‌های شمالی ایران از آب خارج شده، لایه‌های آهکی ضخیم موجود در منطقه را بر جای گذاشته و چون در اوایل

فصول مختلف سال بر عهده دارد. در شرایط کنونی مسئله رسوبات در پشت دریچه‌های سد لتیان نمودی هشدار دهنده دارد که سبب کاهش عمر مفید آن می‌شود. با توجه به این مسئله، مطالعه رسوب شناسی بستر رودخانه جاجرود می‌تواند در جهت شناسایی منابع تولید رسوب و کاهش آن مفید واقع شود.

حوضه آبریز جاجرود دارای وسعتی برابر ۷۱۰ کیلومتر مربع بوده و در شمال شرق تهران در طول جغرافیایی ۲۲'، ۵۱° تا ۵۱'، ۵۱° شمالی و عرض جغرافیایی ۴۵'، ۳۵° تا ۵'، ۳۶° شرقی واقع شده است. شبکه هیدروگرافی منطقه از کلون بسته سرچشمه گرفته، پس از عبور از کنار دربندسر، شمشک و میگون به فشم می‌رسد. شاخه دیگر از خرسنگ کوه سرچشمه گرفته و پس از اینکه شاخه‌های آبیک، لالون و روته به آن می‌پیوندد، تشکیل رود گرمابدره را می‌دهد. در فشم این دو رودخانه با هم تلاقی می‌کنند و رودخانه جاجرود را تشکیل می‌دهند. رودخانه‌های امامه و آهار شاخه‌های دیگری هستند که به جاجرود می‌پیوندند. رودخانه‌های افجه، لوارک و کند هم در این حوضه آبریز قرار دارند.

یکی از اهداف انجام این مطالعه، بررسی فیزیوگرافی و هیدرولوژی حوضه آبریز جاجرود و ژئومورفولوژی رودخانه‌های این حوضه می‌باشد. همچنین مطالعات دقیق رسوب شناسی، از جمله بررسی پراکندگی اندازه ذرات از بالادست به پایین دست، بررسی تغییرات اندازه دانه‌ها با توجه به جنس گراول‌ها به طرف پایین دست، بررسی تغییرات پارامترهای بافتی نظیر جورشدگی، کج شدگی، کشیدگی، مد، میانه و میانگین و همچنین تجزیه و تحلیل نقش فرایندهای مختلف در روند تغییرات

دوره ژوراسیک شرایط جهت رشد گیاهان در این منطقه مساعد بوده است، از این رو سازند ذغال سنگی منطقه مربوط به این دوره می‌باشد. در حاشیه شمالی رودخانه‌های جاجرود- دماوند (گسل ماملو) تا شمال جاده تهران- رودهن برتری با سنگ‌های توفی سازند کرج است که به صورت یک ناودیس اصلی در میانه زون و یک تاقدیس در بخش خاوری است. در منطقه مورد مطالعه، بر اثر عملکرد فازهای کوهزایی لارامید، پیرنه‌ای و پاسادین گسل‌های متعددی پدید آمده است [۵]. گسل‌ها به علت متفاوت بودن نحوه عملکرد نیروها و نامتجانس بودن سازندهای مختلف در منطقه، دارای روندهای مختلفی هستند و بیشتر آنها از نوع فشاری و راندگی است [۱۲]. گسل‌های اصلی که در امتداد شرقی-غربی و شمال غربی-جنوب شرقی کشیده شده‌اند، عبارتند از: گسل مشا- فشم، گسل شمال تهران، گسل دیزین- دربندسر. گسل‌های فرعی زیادی هم در منطقه وجود دارد که در شمال حوضه آبریز متمرکز شده‌اند.

#### پراکندگی سازندها در هفت زیرحوضه

حوضه آبریز جاجرود شامل ۷ زیر حوضه فشم، آهار، میگون، لوارک، امامه، کند و افجه می‌باشد که زیر حوضه گرمابدره (فشم) بیشترین و زیر حوضه امامه کمترین وسعت را دارد.

**زیرحوضه لوارک:** بخش جنوبی این زیرحوضه را آهک و کنگلومرای پلیوسن می‌پوشاند. طبقات مارن ماسه‌ای میوسن همراه با کنگلومرا در بخش مرکزی دیده می‌شود که اکثراً موجب ظهور پدیده روان خاک می‌گردد. توده‌های تراکمی آندزیت و تراکمی آندزیت لواسان و نیز توف‌های آهکی به ترتیب بخش شمالی

و بخش صخره‌ای این زیرحوضه را تشکیل می‌دهند. ارتفاعات ۳۰۰۰ تا ۳۲۰۰ متری این زیرحوضه همگی با توف و توف شیلی همراه با واریزه‌های سنگی پوشیده می‌شود.

**زیرحوضه افجه:** بخش جنوبی این زیرحوضه از توف آهکی و لای سنگ و نیز کنگلومرای هزاردره تشکیل شده است. این سازند عموماً روی شیب توپوگرافی متوسط قرار دارد. قسمت شمالی زیرحوضه را توف آهکی و شیلی که اکثراً شیب کمی دارد، می‌پوشاند.

**زیرحوضه کند:** حدود ۹۰٪ سطح این زیرحوضه را توف آهکی تشکیل می‌دهد. ارتفاعات کم شیب حوضه را ماسه سنگ تشکیل می‌دهد و توف‌های شیلی اکثراً در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر و شیب زیاد دیده می‌شود.

**زیرحوضه امامه:** گسترش توف شیلی و آهکی در این زیرحوضه قابل ملاحظه می‌باشد. توف‌های آهکی با واریزه‌های سنگی و نیز روانه خاک همراه است. در بخش جنوبی نیز مارن شنی و سیلت پدیده روان خاک را ظاهر ساخته است. حدود ۱۰ درصد از کل حوضه با کنگلومرای فجن پوشیده می‌شود که تا ارتفاع ۳۸۰۰ متری دیده می‌شود. اکثراً دیواره‌ها و پرتگاه‌ها از این سازند پوشیده شده است.

**زیرحوضه گرمابدره:** قسمت شمالی این زیرحوضه را توف‌های شیلی تشکیل می‌دهد که شیب‌های کم را می‌پوشاند. سراشیب‌های تند از آهک و دلومیت و شیب‌های متوسط از ماسه سنگ شمشک پوشیده است. در بخش شرقی این زیرحوضه، ماسه سنگ شمشک تا ارتفاع ۳۴۰۰ متری دیده می‌شود. ده تا پانزده درصد از بخش‌های دیگر این زیرحوضه را آهک لار تا ارتفاع ۳۶۰۰ متری و بدون واریزه می‌پوشاند. در قسمت جنوبی منطقه واریزه‌ها دیده می‌شوند.

ضریب شکل حوضه آبریز جاجرود و زیر حوضه‌های آن به روش‌های پیشنهادی هورتون و گراولیوس که توسط علیزاده (۱۳۷۱) ارائه گردیده [۷]، برآورد شده‌اند. شکل حوضه آبریز به علت تأثیر در خصوصیات هیدرولوژیک آن، مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد.

ضریب شکل هورتون،  $FF = A/L^2$  می‌باشد که در آن FF: ضریب شکل حوضه، A: مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع، L: طول حوضه (بر حسب کیلومتر مربع) است که برای این حوضه FF برابر  $0/93$  می‌باشد که بیانگر این است که شکل حوضه مورد مطالعه تقریباً بیضی است.

ضریب فشردگی گراولیوس ( $C_e = 0.28P/\sqrt{A}$ )، که در آن  $C_e$  ضریب گراولیوس، P محیط حوضه و A مساحت حوضه می‌باشد) برای این حوضه آبریز برابر  $0/84$  است. در روش گراولیوس، هر چه این ضریب به واحد نزدیک شود، شکل حوضه مورد مطالعه به دایره نزدیک‌تر است، در غیر اینصورت نشان از انحراف شکل حوضه از دایره دارد که معمولاً بین  $1/5$  تا  $2/5$  می‌باشد. بنابراین حوضه آبریز جاجرود با دارا بودن فشردگی  $0/84$ ، شکلی نزدیک به بیضی دارد. برای محاسبه ضریب گراولیوس، محیط این حوضه آبریز برابر  $80/5$  کیلومتر و مساحت آن برابر  $710$  کیلومتر قرار داده شده است.

تراکم زهکشی (Drainage Density) که نسبت طول کلیه آبراهه‌ها در یک حوضه بر حسب کیلومتر (L) به مساحت آن بر حسب کیلومتر مربع (A) می‌باشد، برای تمامی زیر حوضه‌های فرعی برآورد شده است. تراکم زهکشی در کل حوضه آبریز جاجرود برابر  $1/6$  می‌باشد. از لحاظ تراکم زهکشی، زیرحوضه فشم بیشترین و زیر حوضه افجه کمترین تراکم را دارد. به

زیرحوضه میگون: حد شمالی و پرشیب این زیرحوضه را توف شیلی و ارتفاعات کم شیب و پست را آهک لار و دلومیت پوشانده است. بخش‌های جنوبی این زیرحوضه را آهک لار و ماسه سنگ شمشک همراه با رسوبات یخچالی (مورن‌های قدیمی) تشکیل می‌دهد. توف شیلی و توف آهکی با شیب نامنظم بعد از ماسه سنگ شمشک قرار می‌گیرند. تقریباً  $10-8$  درصد از زیرحوضه را ماسه سنگ شمشک احاطه می‌کند.

زیرحوضه آهار: بخش شرقی ارتفاعات توچال با توف صخره‌ای تا ارتفاع  $3900$  متر و شیب زیاد همراه با توده‌های نفوذی آذرین صخره‌ای پوشیده می‌شود.

#### فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود

فیزیوگرافی حوضه‌های آبریز (Watershed)، بخش مهمی از مطالعات ژئومورفولوژی را تشکیل می‌دهد که در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی (رواناب، سیلاب و رسوب) حائز اهمیت است. به طور کلی این حوضه آبریز از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی به فرم بیضی شکل می‌باشد. این حوضه آبریز از سمت شمال و غرب به حوضه آبریز کرج، از سمت شمال شرق به حوضه آبریز لار، از سمت جنوب به حوضه آبریز ایوانکی و از سمت جنوب غرب به حوضه آبریز سولقان محدود می‌گردد. در شکل ۲، محل نمونه‌برداری‌ها بر روی نقشه حوضه آبریز مشخص شده است. در شکل ۳، نقشه توپوگرافی منطقه مشاهده می‌گردد.

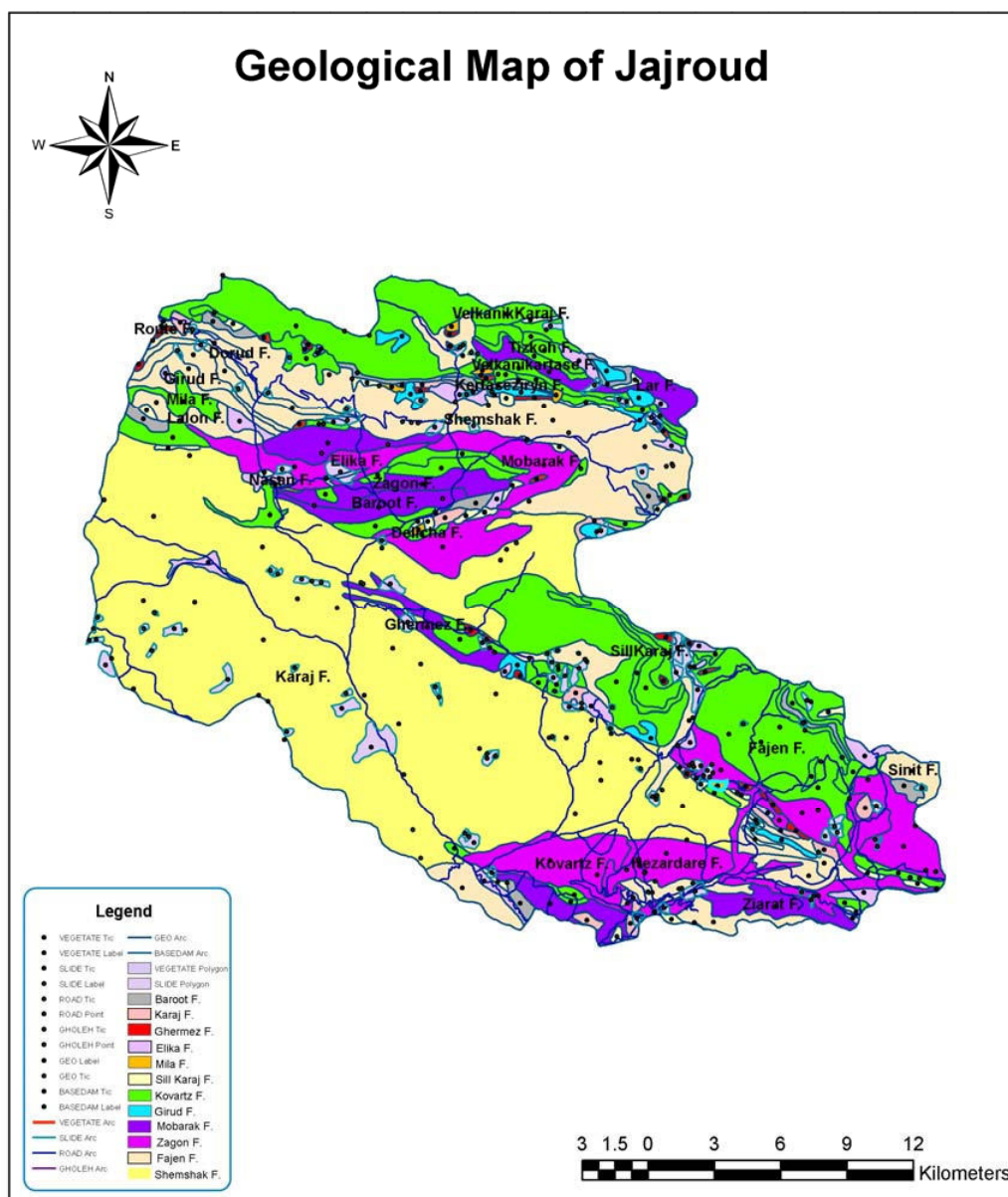
در این پژوهش،  $30$  عامل فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است که  $6$  عامل اصلی در بخش زیر معرفی می‌گردد:

زمان تمرکز را دارد و هیدروگراف سیل آن کمترین نقطه اوج را خواهد داشت. پارامترهای فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود در جدول ۱ ارائه شده است.

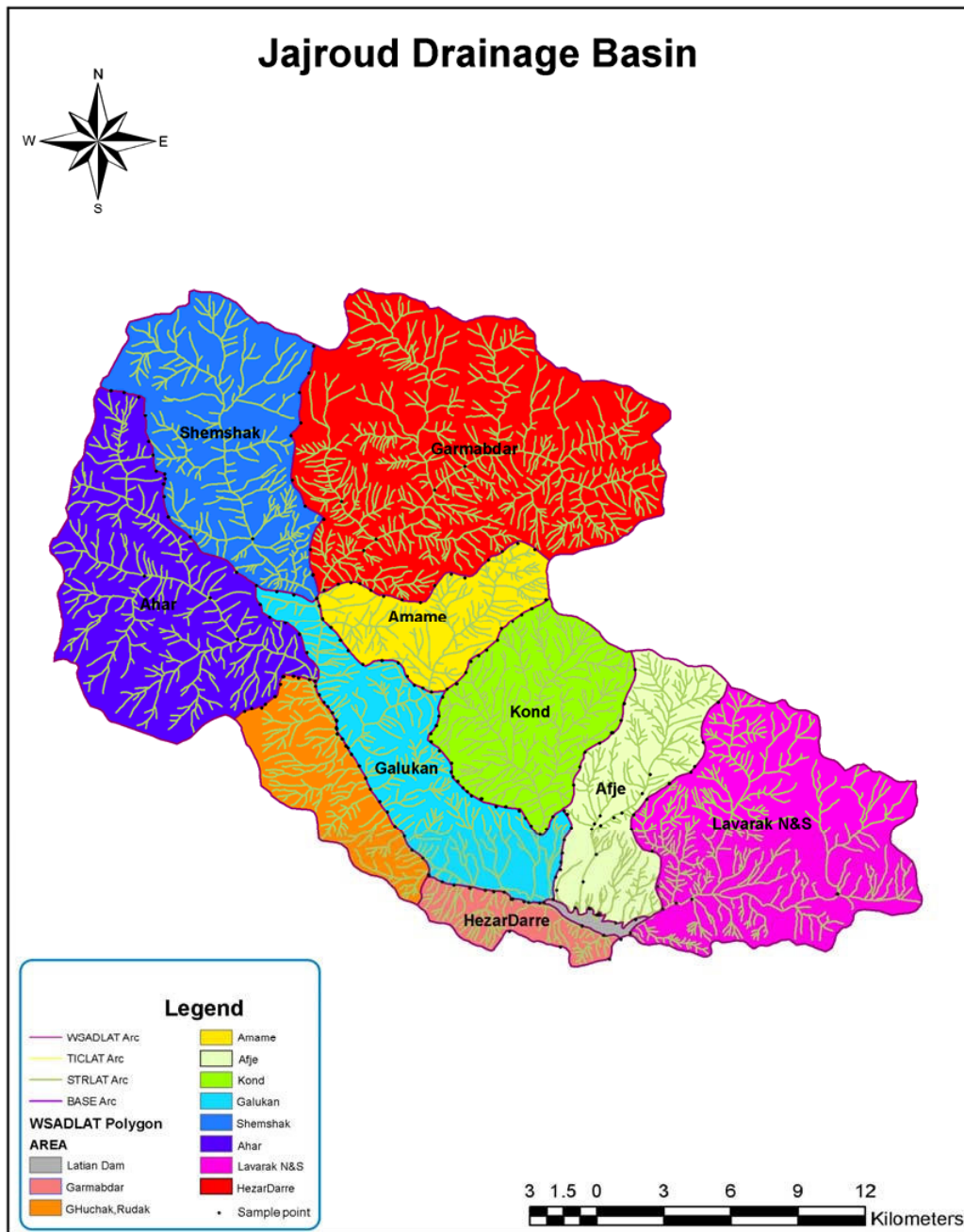
طور کلی تراکم بافتی در زیر حوضه‌های این گستره ضعیف می‌باشد. زمان تمرکز از مهم‌ترین پارامترهای فیزیکی حوضه است و عبارتست از زمانی که طول می‌کشد تا آب از دورترین نقطه حوضه، مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی می‌رسد. منظور از دورترین نقطه ممکن است فاصله فیزیکی آن دو نقطه نباشد، بلکه فاصله هیدرولوژیکی آنها مد نظر است. برای بدست آوردن زمان تمرکز روش‌های مختلفی وجود دارد که در این حوضه به دلیل داشتن شیب رودخانه، مساحت حوضه و طول آبراهه اصلی از روش ویلبامز [۲۶] استفاده شده است.

$$TC = 0.606 L.A^{0.1}.S^{0.2} \quad (1)$$

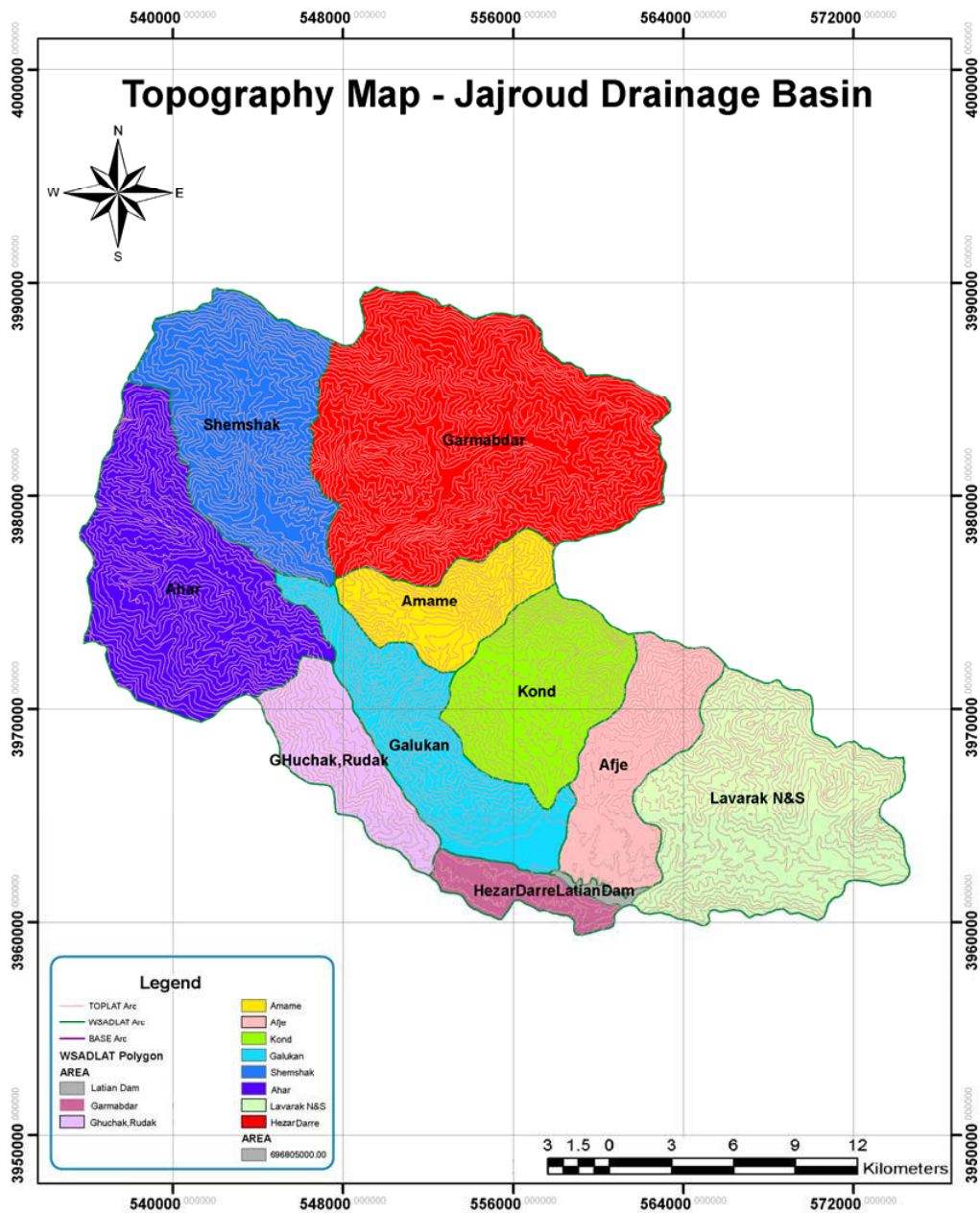
که در آن TC زمان تمرکز بر حسب ساعت، L طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر، A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و S شیب رودخانه بر حسب درصد است. زمان تمرکز به خصوصیات فیزیوگرافی حوضه نظیر سطح، شکل، طول و شیب آبراهه‌ها، نوع و تراکم پوشش گیاهی و غیره بستگی دارد و از سوی دیگر شدت بارندگی و توزیع زمانی و مکانی آن نیز ممکن است طول زمان تمرکز را کاهش یا افزایش دهد. هر چه زمان تمرکز کمتر باشد، زمان افزایش دبی رودخانه کوتاه‌تر بوده و در نتیجه هیدروگراف سیل نقطه اوج بالاتری خواهد داشت. با توجه به زمان تمرکزی که برای هر یک از زیرحوضه‌ها بدست آمده است، می‌توان این نتیجه را گرفت که زیرحوضه افجه با زمان تمرکز ۱۵ ساعت کوتاه‌ترین زمان تمرکز را دارد، بنابراین زمان به هم پیوستن آبراهه‌های مختلف این زیرحوضه که نهایتاً سبب افزایش دبی رودخانه می‌شود، کوتاه‌تر خواهد بود و برعکس زیرحوضه آهار با زمان تمرکز ۳۱ ساعت طولانی‌ترین



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه جاجرود



شکل ۲- حوضه آبریز جاجرود و زیرحوضه‌های اصلی آن به همراه محل نقاط نمونه‌برداری



شکل ۳- نقشه توپوگرافی حوضه آبریز جاجرود



جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود

ارتفاع با فراوانی ماکریم (m) $X_1$	اختلاف ارتفاع (m) $X_2$	متوسط شیب حوضه (درصد) $X_3$	نسبت شیب $X_4$	شیب آبراهه اصلی (درصد) $X_5$	ارتفاع (m) درصد ۷۵ $X_6$	ارتفاع (m) درصد ۵۰ $X_7$	ارتفاع (m) درصد ۲۵ $X_8$	کمترین ارتفاع (m) $X_9$	ایستگاه	ردیف
۲۷۵۰	۱۹۹۷	۲۶	-۱/۱۸	۶/۵	۲۲۵۷	۲۷۰۰	۲۹۶۴	۱۹۶۰	آهار	۲
۲۷۵۰	۲۲۲۰	۲۵	-۱/۱	۱۰/۵	۳۶۰۰	۲۶۰۰	۲۵۰۰	۱۹۸۰	میگون	۳
۲۲۵۰	۱۶۶۶	۲۵	-۱/۱۷	۶/۶	۳۰۰۰	۲۹۵۱	۲۰۰۰	۱۶۰۰	لوارک	۴
۲۱۰۰	۲۰۹۲	۳۲	-۱/۰۸	۱۲/۴	۳۴۰۰	۲۲۰۰	۲۰۰۰	۱۸۰۰	امامه	۵
۲۲۵۰	۲۲۹۲	۲۸	-۱/۱۳	۸/۳	۲۵۰۰	۲۰۰۰	۱۸۷۵	۱۶۰۰	کند	۶
۲۵۰	۲۱۱۳	۲۴	-۱/۱۲	۹/۲	۱۸۴۰	۲۱۶۰	۲۶۲۰	۱۶۰۰	اقیمه	۷

ادامه جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود

ردیف	ایستگاه	طول مستطیل معادل (km)		عرض مستطیل معادل (km)	زمان تمرکز (h)	متوسط باران سایانه (mm)	دبی سیلابی سایانه (m <sup>3</sup> /s)	دبی سیلابی ویژه ((m <sup>3</sup> /s)/km <sup>2</sup> )	ضریب شکل	ضریب تراکم km <sup>2</sup> /km	بیشترین ارتفاع (m)
		X <sub>18</sub>	X <sub>17</sub>								
۱	فشم	۷۱	۶۱/۰۱	۶۱/۰۱	۲۲	۷۷/۸۸	۱۳۰/۶۹	۵۵/۰	۳۳/۰	۸۳/۱	۳۹۷۰
۲	آهار	۸۱	۶۸/۸	۶۸/۸	۳۲	۶۷/۱۸	۰/۳۸	۶۰/۶۰	۶۳/۰	۶۱/۱	۳۷۰۰
۳	میگون	۴۱	۶۷/۸	۶۷/۸	۲۱	۰/۳۰	۸۰/۸۸	۶۳/۰	۶۳/۰	۱۰/۱	۰۵۳۳
۴	لوارک	۵/۸۱	۶۷/۳	۶۷/۳	۶۱	۳/۱/۳	۷۳/۳۶	۷۰/۶/۰	۸۳/۰	۲۵/۱	۵۶۶۱
۵	امامه	۳۱	۷۰/۸/۱	۷۰/۸/۱	۸۱	۳/۰/۸	۷۰/۶/۲	۱۷/۸/۰	۶۲/۰	۷/۱/۰	۰۵۳۳
۶	کندک	۸۱	۷۳/۸	۷۳/۸	۸۱	۱/۶/۵	۸۱/۳/۳	۲۶/۳/۰	۸۳/۰	۳۰/۱	۰۰۶۲
۷	اقیجه	۵/۳۱	۳۶/۱	۳۶/۱	۵۱	۳/۸/۵	۳۲/۷/۲	۵۸/۰	۳۲/۰	۵۳/۱	۶۳۵۸

ادامه جدول ۱- خصوصیات فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود

ردیف	ایستگاه	ملاحظات												
		طول حوضه (km)	محیط حوضه (km)	مساحت حوضه (km <sup>2</sup> )	تراکم زهکشی (km/km <sup>2</sup> )	فراوانی آبراهها	فراوانی آبراهه درجه یک	طول کل آبراهها km	طول آبراهه اصلی (km)	تعداد کل آبراهها	میانگین طول آبراهه km	طول آبراهه درجه یک	تعداد آبراهه درجه یک km	
X <sub>19</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>21</sub>	X <sub>22</sub>	X <sub>23</sub>	X <sub>24</sub>	X <sub>25</sub>	X <sub>26</sub>	X <sub>27</sub>	X <sub>28</sub>	X <sub>29</sub>	X <sub>30</sub>			
۱	۲۰	۵۶	۲/۳۲	۶۱۶/۰	۶۷۷/۰	۶۷۷/۰	۲۲/۵	۲۲۸	۶۳/۱	۲۶۱	۶۹۱	۱۰۳	۱۰۳	
۲	۷۱	۴۳	۷/۲۰۱	۳۷/۱	۲۸۱/۱	۲۲۱/۵	۵/۱۷	۶۳۱	۲۶/۱	۳۵۱	۱۰۳	۱۰۳	۱۰۳	
۳	۸۱	۰۴	۲۲۱	۶/۱	۳۶۶/۰	۳۳۱	۰/۷۱	۷۰۱	۳۱/۵	۴۳۱	۱۷	۱۷	۱۷	
۴	۵۱	۶۵	۲/۱	۲۰/۵	۶۱۰/۱	۲۲۳/۵	۵/۱۷	۱۳۱	۷۵/۱	۳۳۱	۳۰۱	۳۰۱	۳۰۱	
۵	۳۱	۵/۶۱	۳۷/۰	۷۱/۱	۷۳/۳	۳۱/۳	۵/۳۱	۸۱	۳۷/۱	۶۱	۱۱	۱۱	۱۱	
۶	۳۱	۵۳/۳۵	۶۳/۱	۲۰/۱	۲۷/۲	۵/۷۷	۵/۳۱	۶۳	۲۶/۱	۵۱/۶۵	۳۳	۳۳	۳۳	
۸	۳۳	۳۳	۶/۰	۲۸/۱	۱۵/۳	۳۰/۱	۵/۳۱	۵۱	۲۰/۱	۶۱	۶	۶	۶	

## ژئومورفولوژی رودخانه جاجرود

رودخانه جاجرود که در ۳۰ کیلومتری شمال شرق تهران قرار گرفته است، از منطقه منشأ (کوه‌های البرز) به ارتفاعات پایین‌تر جریان داشته و وارد سد لتیان می‌شود. منبع تغذیه رودخانه جاجرود، نزولات جوی و چشمه است و در جهت شمال غرب به جنوب شرقی جریان دارد. طول رودخانه ۴۰ کیلومتر می‌باشد و شیب متوسط بستر رودخانه در نواحی کوهستانی ۲ درصد و در ناحیه دشت ۰/۴ درصد است. این رودخانه در مناطق بیکربناته در سازندهای سیلیکاته، بیکربناته کلسیک، بیکربناته و سولفات و شور جریان دارد [۶].

رودخانه جاجرود بر اساس طبقه‌بندی [18]، جزء رودخانه‌های بریده بریده است. در این نوع رودخانه‌ها جریان آب در بستر رودخانه توسط جزایر یا موانع کوچک‌تر جدا شده و دوباره بهم متصل می‌شود. عرض این رودخانه‌ها نسبت به عمق آن زیادتر است. بار بستر قسمت اعظم بار رسوبی را تشکیل داده و متشکل از شن و ماسه است [۲]. معمولاً سواحل این گونه رودخانه‌ها مرتب در حال فرسایش است. شیب منطقه این نوع رودخانه‌ها نسبتاً تند بوده و غالباً شکل آنها به صورت کانال‌های متعددی دیده می‌شود که بین آنها را جزایر کوچک و بزرگ آبرفتی تشکیل می‌دهند. دلایل به وجود آمدن این نوع رودخانه‌ها مربوط به ورود رسوبات بیش از ظرفیت حمل رودخانه و شیب تند رودخانه می‌باشد [۴]. بر اساس رده‌بندی شوم [21,22]، این نوع رودخانه‌ها از نظر نوع کانال منفرد است و پارامترهای سدی آن بیشتر از ۱ می‌باشد و ضریب پیچش آن کمتر از ۱/۵ است.

از عوارض موجود در بستر رودخانه جاجرود، سدهای داخل کانال رودخانه است. این سدها در داخل رودخانه جاجرود به جز در برخی نقاط ثابت نبوده و به طور فصلی و با کم و زیاد شدن دبی رودخانه تغییر مکان می‌دهد. این سدها از اختصاصات رودخانه‌های بریده بریده می‌باشد و بر اساس تقسیم‌بندی اسمیت [23]، به ۴ دسته تقسیم شده‌اند:

۱. سدهای طولی: جریان به وجود آورنده این نوع از سدها به صورت یک طرفه بوده و معمولاً در مناطق کم عمق و آرام تشکیل می‌شوند. سدهای غالب در رودخانه جاجرود از این نوعند و در محدوده مورد مطالعه به تعداد زیاد قابل مشاهده هستند.

۲. سدهای عرضی: این سدها در اثر انباشتگی رسوبات به صورت مداوم و آرام تشکیل می‌شود. قسمت جلویی آنها حالت زبانی داشته و انتهای آنها حالت تخت به خود می‌گیرد. این سدها به ندرت در رودخانه جاجرود دیده می‌شود و فقط چندین مورد در پایین دست قابل مشاهده است.

۳. سدهای قطری: این سدها در جریان‌های نامتقارن تشکیل می‌شود و محور طولی آنها با جهت اصلی جریان رودخانه به حالت موازی نمی‌باشد.

۴. سدهای حاشیه‌ای: این سدها در قسمت‌های کناری رودخانه تشکیل می‌شود که ممکن است به دیواره رودخانه چسبیده باشد یا کانالی مابین دیواره و سد وجود داشته باشد. از این سدها در پایین دست و بالادست محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.

## روش مطالعه

در این پژوهش پس از بازدید صحرایی و انجام نمونه برداری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، توسط آون در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  خشک و نمونه‌های دارای مواد آلی یا آهکی به مدت ۲۴ ساعت در داخل محلول آب اکسیژنه و اسید کلریدریک رقیق نگهداری شدند تا مواد آلی و سیمان آهکی چسبیده بر روی ذرات از بین برود (به دلیل دبی بسیار بالای رودخانه در هیچ یک از نمونه‌ها، ذرات سیلت و رس بالای ۱۰ درصد نبوده است). بررسی‌های رسوب شناسی بر روی نمونه‌ها با استفاده از روش‌های ارائه شده توسط معتمد [۹]، ارزانی [۱] و تاکر [۲۵] انجام و نمودارهای دانه‌بندی و مورفوسکوپی مربوط به آنها رسم شد. سپس با استفاده از نمودارهای دانه‌بندی، پارامترهای آماری بدست آمد.

## رسوب شناسی

رودخانه‌ها نقش بسیار مهمی در حمل و نقل ذرات رسوبی، فرسایش رسوبات قدیمی‌تر و رسوبگذاری مجدد داشته و بر این اساس از عوامل بسیار مؤثر در تغییر شکل پوسته زمین می‌باشند. لازمه مطالعه و بررسی دقیق رفتار و ماهیت رودخانه‌ها، اطلاع دقیق از مشخصه‌های رسوب شناسی، نوع و میزان بار رسوبی و عوامل مؤثر در بار رسوبی آنها می‌باشد [۱۱]. در این بخش به طور اختصار به بررسی روند تغییرات اندازه ذرات به طرف پایین دست و علل آن در رودخانه جاجرود پرداخته می‌شود. پس از بررسی رسوبات مشخص شد که رسوبات بستر رودخانه جاجرود همگی درصد بالایی از ذرات در حد گراول را از خود نشان می‌دهند. نمودارهای دانه‌بندی آنها همگی پلی مدال می‌باشند، این نمودارها با مقیاس میلیمتری

به شکلی است که معرف حمل رسوب در کانال‌های رودخانه‌ای و محیط‌های پرانرژی است [۸]. همچنین جهت بررسی شکل ذرات رسوبی در گراول‌های کف بستر رودخانه جاجرود، نمونه‌هایی انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند. در این ذرات ابتدا اقطار بلند، متوسط و کوتاه توسط کولیس اندازه‌گیری شد و سپس با محاسبه نسبت‌های قطر کوتاه به متوسط (S/I) و متوسط به بلند (I/L) فرم ذرات توسط روش‌های ارائه شده توسط تاکر [۲۴] تعیین شد. پارامترهای بافتی رسوبات عبارتند از: میانگین ( $M_z$ )، میانه (Md)، انحراف معیار ترسیمی جامع ( $\delta_1$ )، کج‌شدگی ترسیمی جامع (Ski) و کشیدگی یا نوک تیزی (kg) که برای تعیین این پارامترها، از فرمول‌ها و مقیاس‌های ارائه شده توسط فولک [۱۴] استفاده شده است.

میانگین تابعی از انرژی فرآیندهای کنترل کننده حمل و نقل رسوبگذاری است و ذرات بر اساس رفتار هیدرودینامیکی خود جدا می‌شوند [۱۹] که بیشتر به اندازه آنها وابسته است. همانطور که در نمودارهای تغییرات میانه و میانگین ذرات بر حسب فاصله از نقطه شروع در روستای فشم تا قبل از سد لتیان، مشاهده می‌شود که تغییرات میانه و میانگین دارای روند خاصی نمی‌باشد. به طور کلی جورشدگی اغلب نمونه‌ها بد می‌باشد که به علت فعالیت‌های تکتونیکی، ورود ذرات رسوبی به شکل واریزه به داخل رودخانه و ورود شاخه‌های جدید به داخل رودخانه می‌باشد [۱۰]، (شکل ۳، ۴ و ۵).

کج‌شدگی اغلب نمونه‌ها به صورت منفی می‌باشد که به علت جریان پرانرژی رودخانه و توانایی حمل ذرات درشت‌تر است. از نظر کشیدگی، اغلب نمونه‌ها به صورت پلتی کورتیک می‌باشند. اندازه دانه‌ها از بالادست و از سرشاخه‌های تغذیه کننده به طرف پایین

شکل آنها به دایره بودن میل می‌کند، بیشتر در معرض بارندگی‌هایی هستند که بطور یکسان در تمامی سطح حوضه باران و از طرفی آبراهه‌هایی که به خروجی حوضه ختم می‌شود، دارای زمان تمرکز کمتری خواهد بود و این باعث می‌شود که حداکثر سیلاب‌های لحظه‌ای از مقدار بیشتری برخوردار شوند و بالعکس حوضه‌هایی که کشیده‌تر هستند، زمان تمرکز بیشتری داشته و حداکثر سیلاب‌های لحظه‌ای مقدار کمتری خواهند داشت [۷].

کاهش می‌یابد و سپس به دلیل شرایط خاص زمین شناسی منطقه، مجدداً اندازه ذرات افزایش می‌یابد. به طور کلی پارامترهای بافتی به طرف پایین دست این رودخانه دارای روند خاصی نمی‌باشد که علت آن به شرایط هیدرودینامیکی این رودخانه و ورود رودهای فرعی مربوط می‌شود.

### نقش عوامل زمین شناسی و فیزیوگرافی در تولید سیلاب در زیر حوضه‌ها

بر اساس مطالعات انجام شده و پس از بررسی‌های لازم، مهم‌ترین عواملی که جزء عوامل مؤثر بر سیلاب زیر حوضه‌های حوضه آبریز جاجرود محسوب می‌شود، به شرح زیر است:

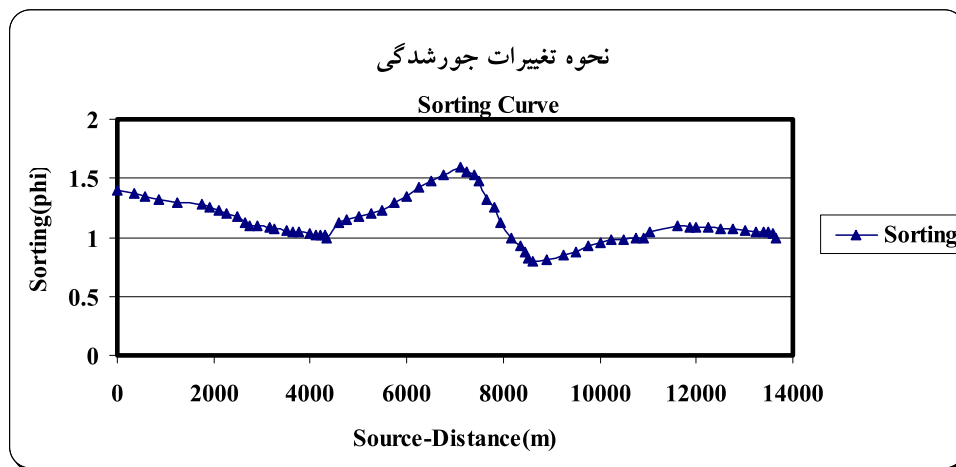
**جنس زمین:** در حوضه آبریز جاجرود، جنس زمین در حوضه‌های مختلف یکسان نمی‌باشد. تأثیر جنس زمین روی رواناب و جریان‌های زیرحوضه‌ها بدیهی می‌باشد.

**تراکم زهکشی:** این پارامتر با تولید سیلاب نسبت مستقیم دارد و مسلماً هر قدر تراکم زهکشی بالاتر باشد، احتمال سیلاب نیز افزایش می‌یابد.

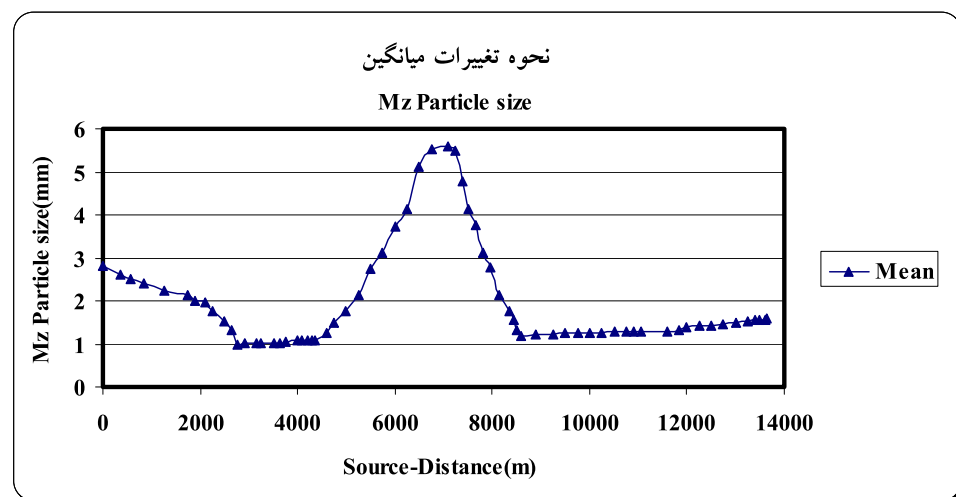
**شیب حوضه:** شیب حوضه آبریز رابطه مستقیم و نسبتاً پیچیده با مقدار نفوذ آب و جریان‌های سطحی و نیز رطوبت خاک دارد.

**طول بلندترین آبراهه:** این پارامتر که خود با زمان تمرکز مرتبط است، نسبت معکوس با ایجاد سیلاب دارد.

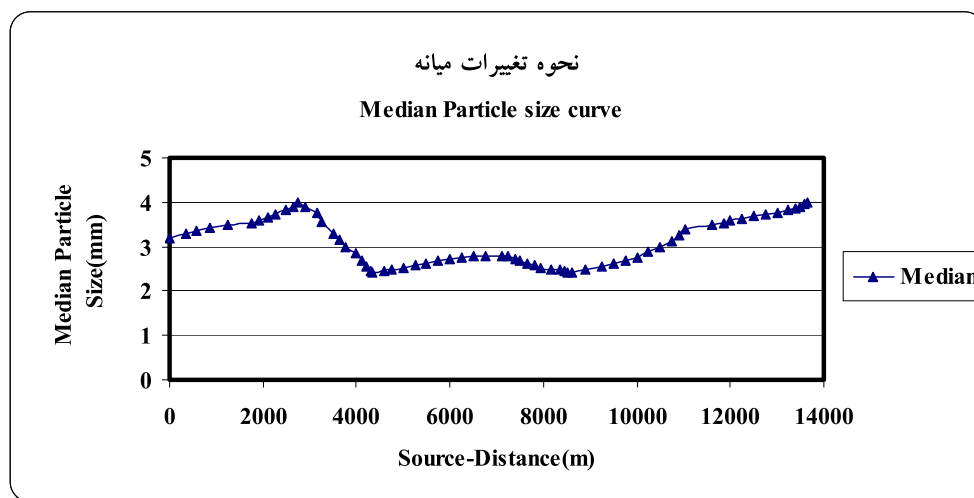
**ضریب شکل حوضه:** این پارامتر عبارتست از نسبت مساحت حوضه به مجذور طول حوضه و با علامت (FF) نشان داده می‌شود. برای مثال برای حوضه جاجرود برابر  $0/93$  می‌باشد. حوضه‌هایی که



شکل ۳- نحوه تغییرات جورشدگی در رسوبات بستر



شکل ۴- نحوه تغییرات میانگین در رسوبات بستر



شکل ۵- نحوه تغییرات میانه در رسوبات بستر

رگرسیون چند متغیره باید به بعضی نکات مهم توجه کرد، از جمله: اولاً رابطه منطقی بین دبی سیلابی و متغیر مستقل وجود داشته باشد. ثانیاً خصوصیات، ویژگی‌ها و پارامترهای فیزیکی حوضه بایستی تا حد امکان از یکدیگر مستقل باشند و ثالثاً ضرایب بدست آمده برای خصوصیات حوضه‌ها باید منطقی باشد [۳].

### انتخاب نهایی خصوصیات حوضه‌ها

قبل از ورود داده‌ها به مدل رگرسیون با استفاده از نرم‌افزار پلی آنالیست (Polyanalyst) تشخیص داده شد که از بین ۳۰ عامل فیزیوگرافی حوضه، فاکتورهای ضریب شکل، ضریب تراکم، زمان تمرکز، مساحت حوضه، مجموع طول آبراهه‌ها و طول آبراهه درجه یک در پیش‌بینی دبی سیلابی از بیشترین اهمیت برخوردار است.

با توجه به نتایج حاصل از "روش ورود با هم" متغیرها به مدل رگرسیون (روش Enter)، کلیه متغیرها در یک مرحله به مدل وارد شده‌اند. مدل نهایی رگرسیون با ۶ متغیر ذکر شده ساخته می‌شود و برآورد متغیر پاسخ یا وابسته (Y)، دبی سیلابی طبق رابطه شماره X حاصل می‌شود که در آن  $Q_w$  دبی، عدد ۰/۵۹۸- ضریب ثابت مدل رگرسیون (a)، ۱/۴۳۸ فاکتور ضریب تراکم حوضه ( $Cc = X_{11}$ )، ۳/۱۷۲- فاکتور ضریب شکل حوضه ( $F_0 = X_{12}$ )، ۱/۲۸۴ فاکتور زمان تمرکز ( $TH = X_{16}$ )، ۰/۱۱۹ فاکتور مساحت حوضه ( $A = X_{21}$ )، ۰/۱۶۳ فاکتور مجموع طول آبراهه‌ها ( $Total\ lab = X_{25}$ )، ۰/۶۹۵- فاکتور طول آبراهه درجه یک ( $Total_1 = X_{29}$ ) می‌باشد.

$$Q_w = -0.598 + 1.438 M.C_c - 1.72 \quad (4)$$

$$N.F_0 + 1.284 TH + 0.119 A + 0.163 TOTALLAB - 0.0695 L.Z$$

### تأثیر انشعابات رودخانه بر هیدروگراف سیل

اتصال انشعابات در حوضه جاجرود بیشتر موازی و شاخه درختی می‌باشد. برای مشخص کردن تأثیر انشعابات شبکه رودخانه بر هیدروگراف سیل از نسبت انشعاب استفاده می‌شود. طبق تعریف:

$$BR = [n_1/n_2 + n_2/n_3 + n_3/n_4 \quad (2-الف)$$

$$+ \dots + n_{i-1}/n_i] (1/i-1)$$

برای رودخانه جاجرود :

$$BR = [817/200 + 200/60 + 60/13 + \quad (2-ب)$$

$$13/4 + 4/2 + 2/1](1/7-1) = 3.081$$

حوضه جاجرود با داشتن ضریب انشعاب ۳/۰۸۱ جزء حوضه‌های معمولی می‌باشد و هیدروگراف سیل در این حوضه حالت نرمال دارد.

### عوامل فیزیوگرافی مؤثر بر دبی سیلابی

با توجه به ثبات نسبی خصوصیات فیزیوگرافی و ارتباطی که بین آنها و دبی‌های سیلابی وجود دارد، می‌توان از آنها در ارائه مدل‌های تخمین و برآورد دبی‌های مختلف سیلابی استفاده نمود [۳].

یکی از روش‌های برآورد دبی‌های سیلابی استفاده از مدل رگرسیون چند متغیره است. پیش‌بینی متغیرهای وابسته و آزمودن فرضیه‌های تحقیقی مقاصد اصلی رگرسیون چند متغیره را تشکیل می‌دهد.

شکل کلی این مدل به صورت زیر است:

$$Y = a + \quad (3)$$

$$B_1 X_1 + B_2 X_2 + \dots + B_n X_n + e$$

که در آن Y متغیر وابسته است که در اینجا برابر دبی سیلابی، a عدد ثابت مدل، ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) متغیرهای مستقل هستند. اگر متغیر مستقل یک انحراف استاندارد تغییر کند، متغیر وابسته، B انحراف استاندارد تغییر خواهد کرد. e نشان دهنده خطای مدل رگرسیون می‌باشد. در کاربرد روش



در رابطه مذکور  $Q_s$  دبی رسوب به تن در روز و  $Q_w$  نیز دبی سیلاب به متر مکعب در ثانیه می باشد.

### ترکیب مدل دبی- رسوب (مدل نهایی)

برای بررسی توأم عناصر مورفومتریک بر سیلاب و رسوب از ترکیب روابط ۵ و ۶، معادله نهایی به صورت رابطه ۷ در آمده است.

(۷- الف)

$$Q_F = 19.0[(a + B_1c + B_2F + B_3T + B_4A + B_5L + B_6L_1)]^{4.52}$$

(۷- ب) مدل نهایی برای زیرحوضه امامه:

$$Q_F = 6.37[(a + B_1c + B_2F + B_3T + B_4A + B_5L + B_6L_1)]^{2.1118}$$

(۷- پ) مدل نهایی برای زیرحوضه کند:

$$Q_F = 21.31[(a + B_1c + B_2F + B_3T + B_4A + B_5L + B_6L_1)]^{1.1170}$$

(۷- ت) مدل نهایی برای زیرحوضه افجه:

$$Q_F = 15.44[(a + B_1c + B_2F + B_3T + B_4A + B_5L + B_6L_1)]^{0.973}$$

برای آزمودن مدل نهایی و واسنجی آن ابتدا برای هریک از ایستگاه های هیدرومتری، حداکثر سیلاب با استفاده از مدل نهایی محاسبه شده و با حداکثر سیلاب مشاهده شده (توسط وزارت نیرو) در طول دوره های آماری مقایسه شده است. داده های محاسبه شده (نتایج حاصل از مدل) با داده های مشاهده شده توسط وزارت نیرو مطابقت دارد.

همچنین با قرار دادن پارامترهای مربوط به مدل دبی- رسوب در رابطه ۷ می توان بار رسوبی تولید شده را در حوضه آبریز جاجرود و زیر حوضه های آن بدست آورد. البته به این دلیل که داده های همزمان دبی و رسوب برای زیر حوضه های افجه، امامه و کند برای دوره دراز مدت در دسترس می باشد، بار رسوبی تولیدی در زمان پیک بر حسب تن در روز محاسبه شده است (جدول ۲).

در این رابطه  $M$  فاکتور ضریب تراکم حوضه،  $N$  فاکتور ضریب شکل حوضه و  $Z$  فاکتور طول آبراهه درجه یک می باشد.

### مدل سیلابی

در این پژوهش برای تعیین نوع ارتباط عناصر فیزیوگرافی حوضه آبریز جاجرود بر اساس رابطه ۴، رابطه ۵ بدست آمده است.

$$Q_w = a + B_1C(X_{11}) + B_2F(X_{12}) + \quad (5)$$

$$B_3T(X_{16}) + B_4A(X_{21}) + B_5L(X_{25}) + B_6L_1(X_{29})$$

که در رابطه مذکور  $Q_w$  دبی سیلابی،  $C$  ضریب تراکم،  $F$  ضریب تمرکز،  $A$  مساحت،  $L$  طول کل آبراهه ها و  $L_1$  طول آبراهه درجه یک می باشد.  $a$  ضریب ثابت،  $B_1$  تا  $B_6$  عبارت از ضرایب معادله رگرسیون چند متغیره می باشد (ضرایب  $B_1$  تا  $B_n$  در رابطه ۴ ذکر شده است).

### مدل رسوبی

بر طبق داده های همزمان دبی و رسوب در ۵ ایستگاه هیدرومتری دارای آمار رسوب، معادله دبی- رسوب رودخانه جاجرود برای طول دوره آماری (۱۳۴۶ تا ۱۳۷۲) به صورت رابطه ۶ تنظیم شده است.

(۶- الف) برای رودخانه جاجرود:

$$Q_s = aQ_w^b \rightarrow Q_s = 19.0 Q_w^{4.52}$$

(۶- ب) برای دوره آماری (۷۳- ۱۳۴۸) رودخانه

$$Q_s = 6.37Q_w^{2.1118} \text{ t/day} \quad \text{امامه:}$$

(۶- پ) برای دوره آماری (۷۱- ۱۳۵۱) رودخانه

$$Q_s = 21.31Q_w^{1.170} \text{ t/day} \quad \text{کند:}$$

(۶- ت) برای دوره آماری (۷۲- ۱۳۵۲) رودخانه

$$Q_s = 15.44Q_w^{0.970} \text{ t/day} \quad \text{افجه:}$$

جدول ۲- داده‌های مربوط به حداکثر سیلاب مشاهده شده و محاسبه شده بار رسوبی در تعدادی از ایستگاه‌ها

ردیف	ایستگاه	دبی مشاهده شده سالیانه m <sup>3</sup> /s	دبی محاسبه شده m <sup>3</sup> /s	بار رسوبی حمل شده در زمان پیک (Ton/Day)
۱	گرمابدره (فشم)	۹۷/۰۴۱	۹۷/۰۴	-----
۲	آهار	۷۳/۲۱	۷۳/۶۰۶	-----
۳	میگون	۷۸/۰۷	۷۸/۰۷۲	-----
۴	لوارک	۶۴/۴۹	۶۴/۴۸	-----
۵	امامه	۲۹/۰۸	۲۹/۰۸۳	۷۸۵۳/۳
۶	کند	۴۳/۱۸	۴۳/۱۷	۱۷۴۴/۸
۷	افجه	۲۸/۴۵	۲۸/۴۴	۴۰۱/۱۶

## نتایج

حوضه آبریز جاجرود با وسعتی برابر ۷۱۰ کیلومتر مربع دارای کشیدگی از سمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی بوده و از ۷ زیر حوضه فشم، آهار، میگون، لوارک، امامه، افجه و کند تشکیل شده است. شکل حوضه آبریز تقریباً بیضی بوده و ضریب شکل هورتون و ضریب فشردگی گراولیس این حوضه به ترتیب برابر ۰/۹۳ و ۰/۸۴ می‌باشد که نشان دهنده شکل بیضی حوضه است. رودخانه جاجرود از نظر نوع کانال به صورت منفرد با بستر گراولی و پارامتر سدی بیشتر از یک می‌باشد، ضریب پیچش آن کمتر از ۱/۵ است و از نوع رودخانه‌های بریده بریده می‌باشد. علل تغییرات نامنظم ذرات به طرف پایین دست عبارتند از:

الف - ورود شاخه‌های فرعی به رودخانه با ترکیب شیمیایی، کانی شناسی، اندازه ذرات و شکل متفاوت  
ب- ورود ذرات رسوبی به شکل واریزه به داخل رودخانه.

ج- فعالیت تکتونیکی خاص منطقه

د- تغییرات شیب آبراهه.

رسوبات مطالعه شده دارای جورشدگی بد، کج شدگی منفی و کشیدگی پلتي کورتیک می‌باشند. تغییرات میانه و میانگین به طرف پایین دست از روند خاصی تبعیت نمی‌کند. تراکم زهکشی حوضه آبریز جاجرود برابر ۱/۶ می‌باشد. از نظر مورفوسکوپی، تغییرات فرم ذرات در مسیر طی شده، از روند خاصی تبعیت نمی‌کند.

عوامل فیزیوگرافی مهم در تولید سیلاب در زیر حوضه‌ها عبارتند از: ۱- جنس زمین، ۲- تراکم زهکشی، ۳- شیب حوضه، ۴- طول بلندترین آبراهه، ۵- ضریب شکل حوضه.

حوضه آبریز جاجرود با داشتن ضریب انشعاب ۳/۰۸۱ جزء حوضه‌های معمولی می‌باشد و هیدروگراف سیل در این حوضه آبریز حالت نرمال دارد.

مدل نهایی دبی- رسوب برای حوضه آبریز جاجرود با گزارشات دبی و رسوب وزارت نیرو مطابقت دارد.

## منابع

- ۱- موسوی حرمی، ر.، (۱۳۸۲)، مطالعات رسوب شناسی و نرخ ریزشوندگی به طرف پائین دست حوضه آبریز بند گلستان، جنوب شرقی مشهد، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۱، ۸۷-۱۱۷.
- ۱۲- مهرپویا، پ.، (۱۳۷۱)، بررسی اجمالی ژئودینامیک دامنه‌ای دره جاجرود (از لشکرک تا شمشک)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد، ۳۲۷ ص.
- ۱۳- نبوی، م. ح.، (۱۳۵۵)، دیباچه‌ای بر زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- 14- Folk, R.L., (1974). *Petrology of sedimentary Rocks*: Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182p.
- 15- Leeder, M.R., (1996). *Sedimentary basins: Tectonic records of sediment discharge from drainage catchments*. *Earth surface processes and landforms*, 22, 229-237.
- 16- Lewis, D.W. and Mc.Conchie, D., (1994). *Analytical Sedimentology*. Chapman and Hall, London, 197p.
- 17- Meybeck, K.M., (1976). *Total mineral dissolved transport by world major river*, In: Knigton, D. (1984). *Fluvial and Processes*: Edward Arnold Ltd, 218p.
- 18- Miall, A.D., (1977). *A review of braided river depositional environment*. *Earth science Reviews*, V.13., P.1-62.
- 19- Middleton, G.V., and Southard J.B., (1978). *Mechanics of sediment movement*. Tulsa, Oklahoma, Soc. Econ. Paleont. Mineral. Short course No.3.
- ۱- ارزانی، ن.، (۱۳۷۴)، آزمایشگاه رسوب شناسی، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۲۷ ص.
- ۲- احمدی، ح.، فیض‌نیا، س.، (۱۳۷۸)، سازندهای دوره کواترنر (مبانی نظری و کاربردی آن در منابع طبیعی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۵۷ ص.
- ۳- باعقیده، م.، (۱۳۸۰)، تحلیل رژیم و پیش‌بینی دبی‌های سیلابی با تأکید بر پارامترهای فیزیکی (غرب دریاچه ارومیه، زولاچای تا مهابادچای)، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۵۴ ص.
- ۴- خواجه لاهوتی، غ.، (۱۳۷۴)، بررسی پدیده پیچانه رود در رودخانه کرخه، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۶۴ ص.
- ۵- درویش زاده، ع.، (۱۳۷۰)، زمین شناسی ایران، نشر دانش امروز، ۳۴۷ ص.
- ۶- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۱۳۸۱)، فرهنگ جغرافیایی رودهای کشور، جلد اول، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۲۳۵ ص.
- ۷- علیزاده، ا.، (۱۳۷۱)، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۵۱۹ ص.
- ۸- فتحی اسپوند، ر.، (۱۳۷۹)، بررسی رسوب شناسی و منشأ رسوبات و محیط رسوبی، نهشته‌های کواترنری دشت کرج- شهریار، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران، ۱۵۷ ص.
- ۹- معتمد، ا.، (۱۳۷۴)، رسوب شناسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۰۶ ص.
- ۱۰- موسوی حرمی، ر.، (۱۳۷۹)، آیا امکان دارد دانه‌بندی به سمت پائین دست رودخانه درشت شود؟، چهاردهمین گردهمایی انجمن زمین شناسی ایران، تبریز.

- 20- Reineck, H.E. and Singh, I.B., (1986), Depositional sedimentary environment, Springer Verlaye, 551p.
- 21- Schumm, S.A., (1981). Evolution and response of fluvial system, sedimentologic implication. Society of Economic geologists and mineralogist, special publication, 31, 19-29.
- 22- Schumm, S.A., (1985). Explanation and extrapolation in geomorphology, seven reasons for geologic uncertainty. Geomorphological, Japanese Union Transactions, 6, 1-18.
- 23- Smit, D.G., (1974). Aggravation of the Alexandra North Suskatchewan River, Banff Park, Alberta, P.58-74.
- 24- Tucker, M.E., (1981), Sedimentary petrology: An introduction Black well scientific pub. London, 252p.
- 25- Tucker, M.E., (1989), Techniques in Sedimentology. Oxford Black well scientific pub, p.63-85 and 191-228.
- 26- Williams, J.R., (1977). Sediment delivery ratios determined with sediment and run off models. In: Erosion and solid matter transport in inland waters. No.122, pp 168-179.