

## بررسی خصوصیات ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه گاماسیاب پایین واقع در شرق استان کرمانشاه

غلامرضا خانلری\*، مجتبی حیدری، یزدان محبی، یاسین عبدی‌لر،  
رضا بابازاده؛ دانشگاه بوعلی سینا، همدان

تاریخ: دریافت ۹۰/۱۰/۴ پذیرش ۹۱/۹/۲۵

### چکیده

آگاهی از ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها از پیش نیازهای شناخت رفتار و استفاده بهینه از هر رودخانه است. به‌طورکلی فیزیوگرافی حوزه آبریز نقش اساسی در تعیین عواملی نظیر حجم سیلاب‌ها، تعیین فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی حوزه‌های آبریز دارد. در این پژوهش به‌منظور شناخت رفتار رودخانه گاماسیاب پایین واقع در شرق استان کرمانشاه، به ویژگی‌های ژئومورفولوژی مهندسی این رودخانه توجه شده است. بررسی خصوصیات ژئومورفولوژی مهندسی این رودخانه با استفاده از داده‌های حاصل از پژوهش‌های پیشین و براساس بازدید از محل و برداشت‌های صحرائی، بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه مذکور انجام شده است. خواص فیزیوگرافیکی حوزه آبریز، ویژگی‌های مورفولوژیکی کانال و شرایط زمین‌شناسی در این ناحیه، بررسی شده‌اند. در این پژوهش، پارامترهای ژئومورفولوژیکی متعددی از قبیل عرض متوسط، محیط، مساحت، ضریب شکل هیدرولوژیکی، شکل حوزه آبریز، ارتفاع بیشینه، کمینه، ارتفاع متوسط و شیب طولی رودخانه محاسبه شده است. همچنین وضعیت تراکم شبکه آبراهه رودخانه گاماسیاب بررسی شده و زمان تمرکز آن محاسبه گردیده است. در نهایت رودخانه گاماسیاب بر اساس تقسیم‌بندی‌های مختلف رودخانه‌ها بررسی و طبقه‌بندی شده است.

واژه‌های کلیدی: ژئومورفولوژی مهندسی، حوزه آبریز، مورفولوژی، رودخانه گاماسیاب، کرمانشاه.

\*نویسنده مسئول [Khanlari\\_reza@yahoo.com](mailto:Khanlari_reza@yahoo.com)

### مقدمه

ژئومورفولوژی رودخانه ارتباط نزدیکی با نقش رودخانه‌ها، در شکل‌دهی مورفولوژی زمین دارد [۲۳]. 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 [۱۶]. شکل رودخانه و نیم‌رخ عرضی آن، بر افت انرژی ناشی از غیریک‌نواختی جریان رودخانه‌های طبیعی موثر است. فرآیند جریان، شکل بستر و مقاومت در برابر جریان با نوسان در عرض رودخانه تغییر می‌کند [۱۴]. به‌طور کلی، در مقیاس زمانی نسبتاً کوتاه (کم‌تر از یک‌سال) بیش‌تر روند فرسایش و رسوب‌گذاری در هر رودخانه تابع تعادل بین متغیرهای وابسته (بار رسوب و دبی) و متغیرهای مستقل (نظیر شیب و مورفولوژی کانال) است، به‌طوری‌که هر گونه تغییر در متغیرهای مستقل، با تغییر در متغیرهای وابسته جبران می‌شود [۱۶]، [۱۷]. وجود شکل‌های ژئومورفولوژیکی متفاوت در بخش‌های مختلف رودخانه، متأثر از نوع سنگ مادر و فرآیندهایی است که موجب ورود عناصر درشت‌دانه به آبراهه می‌شوند. [۱۹]، [۲۱]. حرکات تکتونیکی، وضعیت فرسایش رودخانه‌ها و دره‌های رودخانه‌ای، هم‌چنین تغییر شیب طولی رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهد [۱۳]. فعالیت‌های انسانی نیز مانند برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، و سازه‌های بنا شده در محدوده بستر رودخانه، همگی رژیم جریان، بار رسوب، شیب مقطعی و ابعاد رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، به‌نحوی‌که در کوتاه مدت، مقدمات تغییر الگوی رودخانه را فراهم می‌آورند [۱۶].

آب و هوا، فعالیت‌های تکتونیکی، فیزیوگرافی و زمین‌شناسی منطقه، همگی از عوامل مؤثر بر تشکیل نوع رودخانه و بار رسوبی حاصل از آن هستند [۱]، [۶]، [۱۱]، [۲۷]. فیزیوگرافی حوزه آبریز نقش اساسی در تعیین عواملی نظیر حجم سیلاب‌ها، تعیین فرسایش‌پذیری و رسوب‌زایی حوزه‌های آبریز دارد. میزان فرسایش و متوسط بار معلق رودخانه‌ها متأثر از عواملی مانند سن و مورفولوژی سطوح، ترکیب سنگ بستر، بالا آمدگی تکتونیکی، آب و هوا و پوشش گیاهی است [۶]، [۱۱].

خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبریز شامل بررسی خصوصیات فیزیکی و وضعیت

مورفولوژیکی یک حوزه آبریز است که اثر تعیین‌کننده‌ای بر خصوصیات هیدرولوژی، رسوب‌زایی و رژیم آبی آن دارد. آگاهی از خصوصیات فیزیوگرافی یک حوزه و شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند تصویری نسبتاً دقیق از کارکرد کمی و کیفی سیستم هیدرولوژی آن حوزه را ارائه کند. خصوصیات فیزیوگرافی رودخانه و حوزه آبریز آن نه فقط به‌طور مستقیم بر رژیم آبی یک حوزه و از جمله میزان تولید آبی سالیانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و میزان تولید رسوب اثر می‌گذارد، بلکه به‌طور غیرمستقیم و با تأثیر بر آب و هوا، وضعیت اکولوژی و پوشش گیاهی هم به‌میزان زیادی رژیم آبی رودخانه را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۱].

رودخانه گاماسیاب با طول ۲۳۰ کیلومتر و میانگین دبی سالیانه ۵/۲ مترمکعب در ثانیه یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های غرب کشور است که در مسیر خود از سنگ‌های با تنوع لیتولوژیکی و ساختارهای زمین‌شناسی عبور می‌کند. این رودخانه شاخه اصلی و اولیه رودخانه کرخه است که از دامنه‌های شمالی کوه گرین در نهاوند سرچشمه می‌گیرد و در محدوده بین استان‌های همدان و کرمانشاه واقع شده است که پس از پیوستن به قره‌سو، رودخانه بزرگ سیمره را تشکیل می‌دهد. با توجه به اهمیت آن در منطقه، این پژوهش به‌منظور بررسی ژئومورفولوژی مهندسی، تعیین هندسه، شناسایی شکل پلان و نیم‌رخ طولی رودخانه گاماسیاب پایین در محدوده شرق استان کرمانشاه انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

داده‌های مورد نیاز برای تحلیل ژئومورفولوژی رودخانه و حوزه آبریز گاماسیاب ضمن انجام بازدیدهای میدانی و برداشت‌های صحرایی و با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ منطقه بررسی شده (ترسیم شده در سازمان جغرافیایی ارتش) [۱] و نقشه زمین‌شناسی کرمانشاه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (تهیه شده در سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور) [۴] و همچنین داده‌های موجود در رابطه با این رودخانه و حوزه آبریز به‌دست آمده است. بدین منظور نقشه توپوگرافی منطقه مذکور اسکن گردید تا بتوان آنرا در محیط

نرم‌افزار اتوکد ۲۰۱۰ استفاده کرد. سپس محدوده حوزه آبریز در منطقه گاماسیاب پایین مشخص گردیده و مساحت، محیط، ضریب شکل، ضریب فشردگی، عرض متوسط و ضریب شکل هیدرولوژیکی این حوزه محاسبه شدند. سایر پارامترها از ضریب سینوسی، طول موج، دامنه، شعاع قوس و پهنای کمر بند مانند نیز تعیین شده‌اند.

### موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

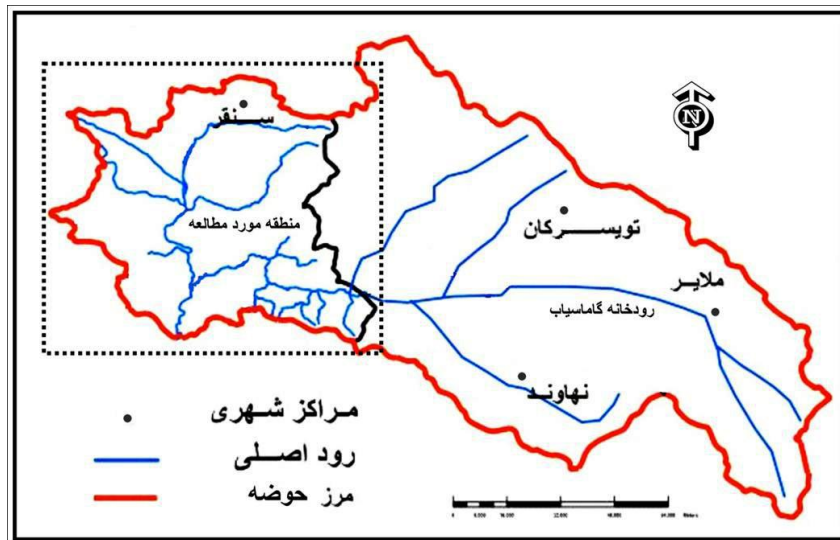
حوزه آبریز گاماسیاب پایین در محدوده جغرافیایی  $47^{\circ}21'$  تا  $47^{\circ}54'$  طول شرقی و  $34^{\circ}16'$  تا  $34^{\circ}53'$  عرض شمالی در شرق استان کرمانشاه جریان دارد (شکل ۱). مساحت حوزه  $3264$  کیلومترمربع و طول آن  $81$  کیلومتر است. این حوزه در محدوده بین شهرستان‌های کنگاور، صحنه، بیستون، هرسین، سنقر و کرمانشاه قرار گرفته، به طوری که از شمال به سنقر و استان کردستان، از جنوب به هرسین و استان لرستان، از شرق به کنگاور و استان همدان و از غرب به کرمانشاه محدود می‌شود. دسترسی به منطقه بررسی شده از طریق جاده آسفالتی صحنه-بیستون، صحنه-سنقر و کنگاور به صحنه، امکان‌پذیر است. با توجه به واقع شدن حوزه مذکور در بین محدوده‌های شهری، اکثر راه‌های درون حوزه‌ای آسفالتی هستند (شکل ۲). راستای حرکت بستر اصلی رودخانه از شرق به غرب و شمال غرب به جنوب غرب است که ضمن طی مسیر به مقصد خروجی، شاخه‌ها و آبراهه‌هایی را از شمال و جنوب در فواصل مختلف دریافت می‌کند (شکل ۳).

### زمین‌شناسی و تکتونیک منطقه بررسی شده

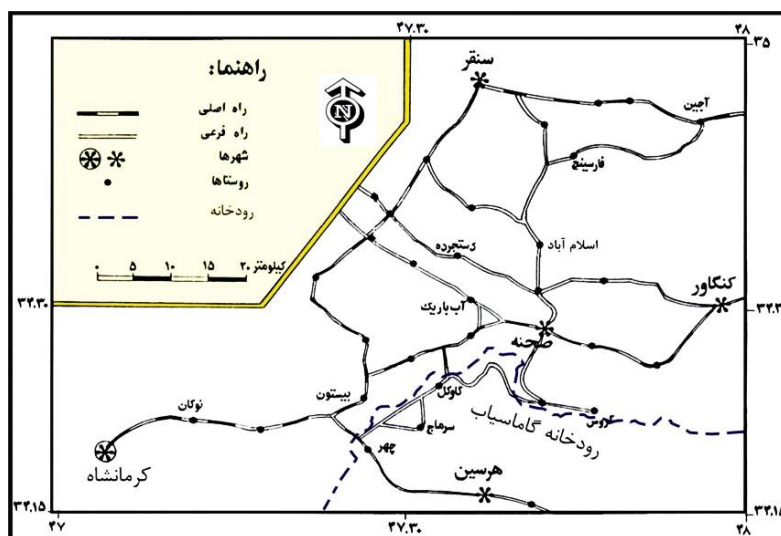
با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و ساختمانی، گستره مورد نظر در دو زون زاگرس مرتفع و سنندج-سیرجان قرار می‌گیرد. در این ناحیه، واحدهای چینه‌شناسی مربوط به مزوزوئیک و سنوزوئیک رخنمون دارند (شکل ۴).

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی موجود در منطقه پژوهش، متعلق به زون سنندج-سیرجان هستند که شامل واحدهای آهکی-شیستی قبل از ژوراسیک و ژوراسیک هستند [۲۴]. قدیمی‌ترین واحدهای شناخته شده زون زاگرس مرتفع نیز شامل آهک‌های بیستون و

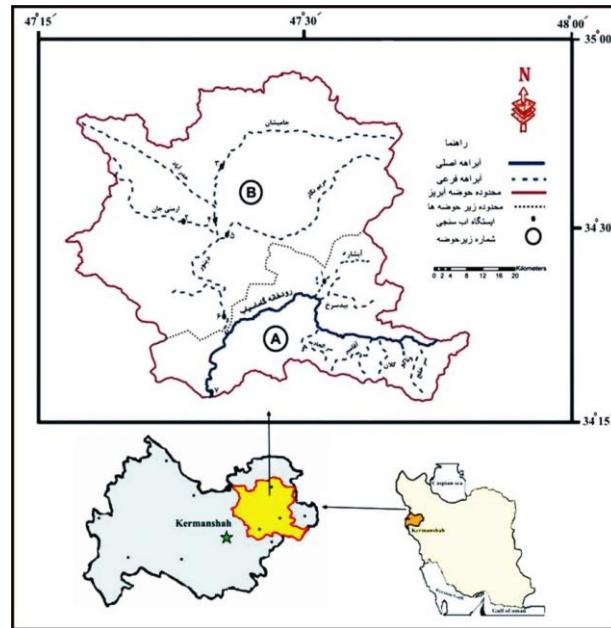
رادیولاریت‌های کرمانشاه است که محدوده سنی آن‌ها از تریاس پایانی تا کرتاسه پایانی است. این رادیولاریت‌ها همراه با آهک‌های بیستون و افیولیت‌های صحنه-هرسین سفره‌های رورانده کرتاسه پایانی را تشکیل می‌دهند [۲۴].



شکل ۱. نقشه حوزه آبریز گاماسیاب [۲]



شکل ۲. نقشه راه‌های ارتباطی و موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز گاماسیاب پایین [۱۱]



شکل ۳. موقعیت زیرحوضه‌ها و ایستگاه‌های آب‌سنجی در حوزه آبریز گاماسیاب پایین (ایستگاه‌های آب‌سنجی ۱. صحنه، ۲. خدرآباد، ۳. پیرسلیمان، ۴. میانراهان، ۵. کله‌جوب، ۶. حیدرآباد، ۷. پل‌چهر) [۱۱]

#### ۱. واحدهای سنگی زون سنندج-سیرجان

این بخش در قسمت شمال و شمال شرق منطقه پژوهش واقع شده است که دارای ویژگی‌های خاص زمین‌شناسی است. واحدهای سنگی این زون در ادامه تشریح می‌شوند. واحد سنگی (Sch)، (واحد شیستی-آهکی) این واحد شامل شیست و نوارهایی از سنگ آهک متبلور است. واحد سنگی (Met) این واحد شامل مجموعه سنگ‌های دگرگونی تفکیک نشده است. واحد سنگی (mb) که از آهک کریستالین تشکیل شده است. سن این واحدهای سنگی تریاس - ژوراسیک است (برود، ۱۹۷۸).

واحد سنگی (MV) این واحد شامل سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده با طبقه‌بندی منظم و میان‌لایه‌هایی از سنگ‌های آهکی آرژیلیتی و افق‌هایی از توف‌های آندزیتی است. این سنگ‌ها مربوط به دوره ژوراسیک هستند. واحد سنگی K2m که به‌طور عمده از مارن، آهک

مارنی و شیل تشکیل شده است. سن این واحد کرتاسه پایانی است. واحد سنگی K از سنگ‌های آهکی ضخیم لایه تا توده‌ای اربیتولین‌دار با میان لایه‌های نازک اسلیتی و آهک‌های مارنی و سنگ آهک ماسه‌ای سیاه رنگ تشکیل شده است. به دلیل استحکام بیش‌تر سنگ‌های آن در مقابل عوامل هوازدگی و فرسایش، صخره‌ها و پرتگاه‌هایی را در محدوده گسترش خود به‌وجود آورده است. این سنگ‌ها مربوط به دوره کرتاسه‌اند.

## ۲. واحدهای سنگی زون زاگرس رورانه با زاگرس مرتفع

زون زاگرس رورانه به‌صورت نوار طویل و باریکی بین زون‌های سنندج-سیرجان و زاگرس چین‌خورده واقع شده است. این زون به‌دلیل وجود ارتفاعات بلند به زاگرس مرتفع نیز معروف است (خسروتهرانی، ۱۳۸۲). این زون که به سفره‌های رورانه کرتاسه نیز معروف است خود شامل سه گروه اصلی رادیولاریت‌های کرمانشاه، آهک‌های بیستون و افیولیت‌های صحنه-هرسین است که همگی در کرتاسه پایانی تحت اثر حرکات تکتونیکی قرار گرفته و بر روی رسوبات زاگرس بر جا رانده شده‌اند [۲۴]. واحدهای سنگی این زون عبارتند از:

واحد (JKr1)؛ رادیولاریت‌های کرمانشاه یک واحد نابرجا است که بر روی رسوبات برجای زاگرس رانده شده است. این واحد سنگی شامل آهک‌های برشی و زیستی با گره‌های سیلیسی همراه با افق‌های رادیولاریتی است. سن این واحد ژوراسیک پایانی-کرتاسه آغازین است [۷]. واحد (Kb1)؛ این واحد سنگی از آهک دانه‌ریز تشکیل شده است. (TRkb2)؛ این واحد از آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای نسبتاً یک‌نواخت تشکیل شده است. سن این دو واحد آهکی کرتاسه پایانی است. افیولیت‌های صحنه-هرسین (ub) همراه با رادیولاریت‌های کرمانشاه و آهک‌های بیستون سفره‌های رورانه و تکتونیزه کرتاسه پایانی را تشکیل می‌دهند [۲۴].

واحد (E 1V)؛ این واحد شامل مجموعه آتشفشانی از گدازه‌های بازالتی و اسپلیتی با ساخت بالشی است. واحد (E1)؛ که از آهک تشکیل شده است. سن واحدهای مذکور پالئوسن-ائوسن است. واحد (E21)؛ این واحد شامل سنگ‌های آهکی آب‌های ژرف با رنگ هوازده گوشتی کم رنگ و رنگ تازه ارغوانی است. رگچه‌های کلسیتی به مقدار چشم‌گیری در آن وجود دارد. سن این سنگ‌ها ائوسن میانی است. واحد (Mq1)؛ شامل سنگ‌های آهکی

تخریبی با رنگ هوازده قهوه‌ای و رنگ تازه خاکستری روشن است که رگچه‌های کلسیتی در آن زیاد و لایه‌بندی کم و بیش منظم دارند و سن آن‌ها اولیگومیوسن است.

واحد فلیشی (Mm) این واحد بر روی آهک‌های واحد (Mq1) قرار گرفته و رسوبات آن حالت فلیش گونه دارند که بیان‌گر رسوب‌گذاری در حین فرآیند کوه‌زایی است و از شیل و سیلتستون تشکیل شده است. سن واحد مذکور میوسن است (شهیدی، ۱۳۷۴). واحد (QP1)؛ در جنوب شرقی منطقه بررسی شده، واحدی از رسوب‌های قاره‌ای افقی برونزد دارد که شامل تناوبی از آرژیل‌های کم و بیش ماسه‌ای و افق‌های سنگریزه‌ای است. در این مجموعه، میان لایه‌هایی از سنگ‌های آهکی دریاچه‌ای سفید رنگ وجود دارد.

رسوبات کواترنر، شامل نهشته‌های مخروط افکنه‌ای، نهشته‌های آبرفتی جوان و رسوبات رودخانه‌ای هستند. این نهشته‌ها، سطوح مسطح و تا اندازه‌ای بر آمده را به وجود می‌آورند. جوان‌ترین نهشته‌هایی که در سطح منطقه، موجود هستند و رسوب‌گذاری آن‌ها در حال حاضر نیز ادامه دارد، رسوبات رودخانه‌ای است. این نهشته‌ها سیمانی نشده‌اند و قطر دانه‌های آن‌ها معمولاً در محدوده سیلت و رس تا قلوه‌های سنگی است.

### ۳. ساختارهای تکتونیکی منطقه

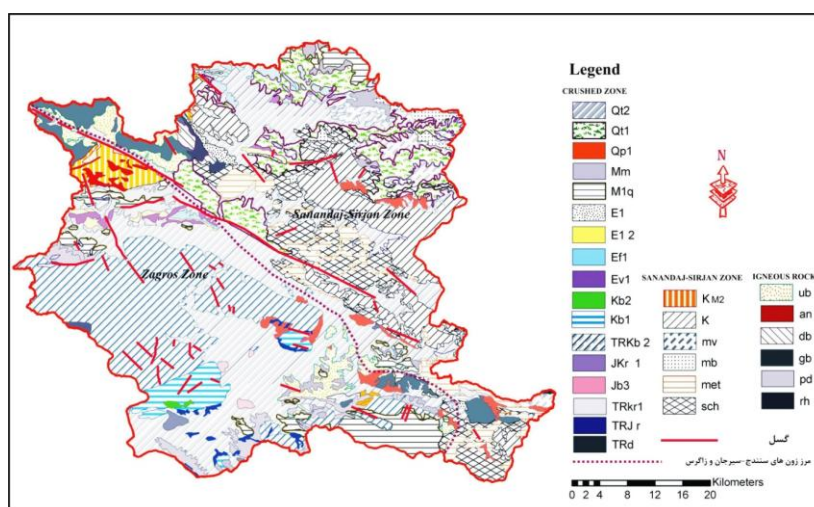
یکی از ویژگی‌های ساختاری منطقه پژوهش، دگرگونی و تکتونیک شدید است که با شکستگی‌های بزرگ و راندگی‌های متعدد مشخص شده و موجب پیچیدگی وضعیت ساختاری آن شده است. حضور توده‌های نفوذی و گستردگی سنگ‌های آتشفشانی نیز بر این آشفستگی‌ها افزوده است. اکثر گسل‌های منطقه پژوهش، از نوع گسل‌های رانده هستند. عمل‌کرد این گسل‌ها، سبب به هم ریختگی کلی در منطقه شده است. از مهم‌ترین گسل‌های منطقه می‌توان به گسل اصلی جوان زاگرس، گسل‌های رانده شمال صحنه، سرتخت، دینور، هجر و چرخاب اشاره کرد.

### انطباق رودخانه با شرایط زمین‌شناسی

در صورتی که حوزه آبریز متشکل از سنگ‌هایی باشد که دارای استحکام و سختی یکسانی نباشند، رودخانه بر روی سنگ‌هایی جریان می‌یابد که در مقابل فرسایش، مقاومت



چندانی ندارند. در این صورت گفته می‌شود که رودخانه با وضعیت سنگ‌شناسی حوزه دارای انطباق است. در صورتی که اگر رودخانه تحت تأثیر ساختمان‌های زمین‌شناسی نظیر چین‌خوردگی و گسل قرار گیرد، رودخانه با ساختمان‌های زمین‌شناسی دارای انطباق است [۲]. رودخانه گاماسیاب در طول مسیر خود از لایه‌های سنگی و ساختمان‌های زمین‌شناسی مختلفی عبور می‌کند. بخش جنوبی حوزه، شامل تاقدیس‌ها و ناودیس‌های منظمی است که دارای روند شمال غرب- جنوب شرق هستند و گاهی به وسیله گسل‌های اصلی منطقه قطع شده‌اند. با توجه به مشاهدات صحرایی انجام شده، در مناطق کوهستانی مسیر رودخانه گاماسیاب عمدتاً از پدیده‌های تکتونیکی تبعیت نمی‌کند و ساختارهای زمین‌شناسی را قطع می‌کند. ولی این رودخانه در دشت در امتداد گسل اصلی و معکوس زاگرس جریان می‌یابد [۸] (شکل ۵). بنا بر این در محدوده مناطق کوهستانی رودخانه با ساختمان زمین‌شناسی انطباق نداشته و در رده پیشینه رود قرار می‌گیرد. ترکیب سنگ‌شناسی و شرایط تکتونیکی حاکم بر این منطقه منجر به شکل‌گیری شبکه‌های هیدروگرافی دندریتی (نامتقارن و متقارن) و شعاعی در این حوزه شده است.



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهش [۱۱]

## بارندگی سالیانه

بارش مهم‌ترین منبع تأمین جریان آب رودخانه‌ها است. پس از بارندگی، قسمتی از آب بارش، تبخیر شده و قسمت دیگری توسط گیاهان جذب می‌شود و قسمتی هم قبل از جریان یافتن از مناطق بالا دست به پایین دست، در زمین فرو می‌رود. باقی‌مانده آب روی سطح زمین جاری می‌شود و رودخانه را ایجاد می‌کند [۶].

برای محاسبه میزان بارندگی در سطح حوزه آبریز بررسی شده، از آمار ماهیانه بارندگی مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی صحنه و بیستون طی یک دوره آماری ۴۵ ساله از سال ۱۳۴۰ تا سال ۱۳۸۵ استفاده گردیده است [۱۱]. بیشینه میزان بارندگی در منطقه ۸۸۴/۷۵ میلی‌متر، کمینه میزان بارندگی ۲۷۵/۷ میلی‌متر و متوسط بلند مدت بارندگی سالیانه در حوزه آبریز بررسی شده حدود ۵۲۴/۳۱ میلی‌متر برآورد گردیده است. از نظر فصلی، بیش‌ترین بارندگی در اسفند به مقدار ۸۵/۹۳ میلی‌متر و کم‌ترین آن در شهریور با ۰/۱۷ میلی‌متر گزارش شده است. شکل ۶ نقشه مناطق هم‌باران را در سطح حوزه آبریز بررسی شده نشان می‌دهد.



ب

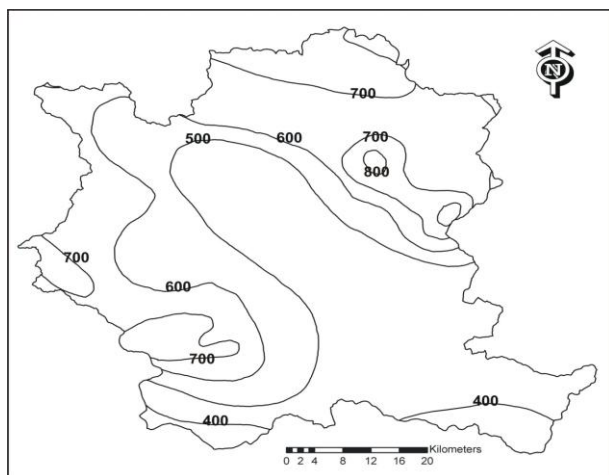
الف

شکل ۵. الف) قطع شدن ساختارهای زمین‌شناسی به وسیله رودخانه ب) قرار گرفتن رودخانه در امتداد گسل زاگرس در داخل دشت

## پارامترهای فیزیوگرافی حوزه آبریز

خصوصیات هندسی حوزه آبریز به مجموعه پارامترهای فیزیکی گفته می‌شود که مقادیر آنها برای هر حوزه آبریز نسبتاً ثابت است که نشان‌دهنده شکل ظاهری حوزه است [۱۵].

خصوصیات فیزیوگرافی حوزه‌ها نه تنها به‌طور مستقیم بر رژیم هیدرولیکی آن‌ها از جمله میزان تولید آب سالانه، حجم سیلاب‌ها، شدت فرسایش خاک و میزان رسوب تولیدی اثر می‌گذارد، بلکه به‌طور غیرمستقیم و نیز با اثر بر آب و هوا، وضعیت اکولوژیکی و پوشش گیاهی به‌میزان زیادی رژیم آبی حوزه آبخیز را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد [۱۲]. با بررسی نقشه توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ (ترسیم شده در سازمان جغرافیایی ارتش) [۱]، پارامترهای مختلف هندسی حوزه آبریز گاماسیاب، محاسبه شده است (جدول ۱).



شکل ۶. نقشه مناطق هم‌باران حوزه آبریز گاماسیاب پایین [۵]

#### ۱. مساحت حوزه آبریز

بارزترین مشخصه هر حوزه، مساحت آن است. دبی سیلاب‌ها و حجم روان آب حوزه به‌طور مستقیم به مساحت حوزه بستگی دارد [۶]، به گونه‌ای که در شرایط عادی، حوزه‌ای که دارای مساحت بیش‌تری است، مقدار روان‌آب آن نیز بیش‌تر است. مساحت حوزه با A نشان داده شده و بر حسب کیلومتر مربع یا هکتار بیان می‌شود. مساحت حوزه آبریز گاماسیاب پایین ۳۲۶۴/۲۴ کیلومتر مربع تعیین شده است [۱۱].

#### ۲. محیط حوزه آبریز

محیط حوزه به طول خط فرضی تقسیم آب گفته می‌شود که حوزه را از حوزه‌های مجاور جدا می‌سازد که بر حسب کیلومتر سنجیده می‌شود [۶] و نشان‌دهنده محدوده توپوگرافی و یا

آب‌گیر سطحی حوزه است. محیط حوزه آبریز گاماسیاب پایین ۳۶۵ کیلومتر برآورد شده است [۱۱].

### ۳. طول حوزه آبریز

طول حوزه آبریز برابر فاصله افقی خروجی حوزه (در پایین دست) تا ورودی آن (بالا دست) است که بیش‌ترین فاصله را دارد. طول حوزه آبریز گاماسیاب پایین ۸۱ کیلومتر برآورد شده است.

### ۴. شکل حوزه آبریز

حوزه‌های آبریز بر حسب وضعیت توپوگرافی دارای اشکال گوناگونی هستند. تأثیر شکل حوزه بر روان‌آب سطحی و هیدروگراف سیلاب خروجی و بالطبع حجم رسوب حوزه قابل توجه است [۲۹]. در حوزه‌های گرد، تأثیر روان‌آب و رسوب به دلیل تخلیه سریع روان‌آب، بیش از حوزه‌های کشیده است. به‌منظور بررسی و ارزیابی عامل فیزیکی شکل حوزه آبریز، در این پژوهش از روش گراویلیوس و مستطیل معادل استفاده شده است.

**روش گراویلیوس:** در این روش به‌منظور توصیف شکل از ضریب فشردگی استفاده می‌شود که عبارت است از نسبت محیط حوزه به محیط دایره فرضی که مساحت آن برابر با

$$C = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

مساحت حوزه است [۶].

که در این رابطه:

C: ضریب گردی یا گراویلیوس، P: محیط حوزه آبریز بر حسب کیلومتر، A: مساحت حوزه بر حسب کیلومترمربع

چنانچه حوزه دایره باشد، ضریب C برابر یک است. هرچه این ضریب از یک بیش‌تر باشد، شکل حوزه آبریز کشیده‌تر خواهد بود. ضریب گراویلیوس برای حوزه بررسی شده ۱/۷۸ به‌دست آمده است.

**مستطیل معادل:** برای این‌که بتوان حوزه‌های مختلف را از نظر سطح و توزیع سطح در ارتفاعات مختلف مقایسه کرد، شکل آن‌ها را به‌صورت مستطیل‌هایی در می‌آورند که سطح و

پیرامون آن برابر سطح و پیرامون حوزه اصلی است. مقدار طول و عرض مستطیل معادل از این روابط به دست می آید:

که در آن:

$$L = \frac{C\sqrt{A} + \sqrt{C^2A - 1.2544A}}{1.12} \quad B = \frac{C\sqrt{A} - \sqrt{C^2A - 1.2544A}}{1.12}$$

A. سطح حوزه آبریز برحسب کیلومترمربع، C. ضریب گراویلیوس ( بدون بعد)، L. طول مستطیل معادل بر حسب کیلومتر، B. عرض مستطیل معادل برحسب کیلومتر. شرط لازم برای آن که چنین روابطی برقرار باشد آن است که مقدار ضریب گراویلیوس برابر یا بزرگتر از ۱/۱۲ باشد. برای حوزه آبریز بررسی شده مقدار طول و عرض مستطیل معادل به ترتیب ۱۶۱/۳۷ و ۲۰/۲۲ تعیین گردیده اند.

#### ۵. تراکم شبکه آبراهه

اگر مجموع طول تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌های حوزه اندازه‌گیری و بر مساحت حوزه تقسیم گردد، عدد به دست آمده بر حسب کیلومتر در کیلومترمربع، تراکم شبکه آبراهه را بیان می‌کند [۶].

$$D = \frac{\sum L}{A}$$

که در این رابطه:

D: تراکم شبکه آبراهه بر حسب کیلومتر بر کیلومترمربع

A: مساحت حوزه آبریز بر حسب کیلومترمربع

مقدار D از ۰/۵ برای حوزه‌هایی که از مسیل بسیار فقیر تا بزرگتر از ۳ برای حوزه‌هایی که با مسیل زیاد مشاهده می‌شود، تغییر می‌کند. مقدار D برای حوزه بررسی شده ۱/۷ به دست آمده است.

#### ۶. زمان تمرکز

زمان تمرکز عبارت است از مدت زمانی که آب از دورترین نقطه حوزه، مسیر هیدرولوژیکی خود را طی کرده و به نقطه خروجی برسد [۶] زمان تمرکز از یک سو به خصوصیات فیزیوگرافی

حوزه نظیر سطح، شکل، طول و شیب آبراهه‌ها، ناهمواری سطح، نوع و تراکم پوشش گیاهی، نوع و عمق خاک بستگی داشته و از سوی دیگر شدت بارندگی و توزیع زمانی و مکانی آن نیز می‌تواند، طول زمان تمرکز را تغییر دهد [۹]. برای محاسبه و برآورد زمان تمرکز، در این پژوهش از روش کریپچ استفاده شده است.

### معادله کریپچ

کریپچ معادله‌ای را برای تخمین و محاسبه زمان تمرکز پیشنهاد داده است که این معادله نیز برای حوزه‌های کوچک قابل استفاده است [۶] که در آن:

$T_c$ : زمان تمرکز بر حسب ساعت

$L$ : طول آبراهه اصلی بر حسب کیلومتر

$$T_c = 0.949 (L^3/H)^{0.385}$$

$H$ : اختلاف ارتفاع دو طرف آبراهه اصلی بر حسب متر

مقدار زمان تمرکز برای حوزه رودخانه گاماسیاب پایین ۱۸ ساعت تعیین شده است.

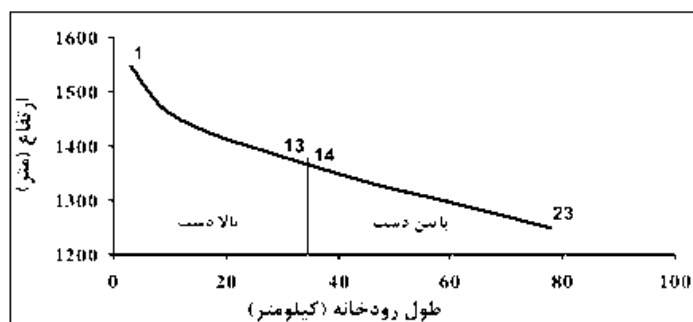
### پارامترهای مورفولوژیکی رودخانه

شناختن شکل و ساختمان رودخانه، مورفولوژی رودخانه نامیده می‌شود. به عبارتی به کمک مورفولوژی رودخانه می‌توان اطلاعاتی از شکل هندسی آبراهه، شکل بستر و پروفیل طولی رودخانه را به دست آورد. مورفولوژی یک رودخانه تحت تأثیر عوامل متفاوتی مثل سرعت جریان فرسایش و نحوه رسوب گذاری قرار دارد.

#### ۱. شیب طولی رودخانه

شیب طولی رودخانه از با ارزش‌ترین پارامترها در بررسی رفتار رودخانه است. هم‌چنین، شیب رودخانه از مهم‌ترین شاخص‌ها برای نشان دادن توانایی رودخانه در انجام کار است [۲۱]. نیم‌رخ طولی رودخانه در واقع نمایش طولی یک رودخانه با ارتفاع است. با رسم نیم‌رخ طولی رودخانه‌ها می‌توان ارتفاع و به همراه آن شیب رودخانه‌ها را در هر نقطه از مسیر آن مشخص کرد [۳]. نیم‌رخ طولی رودخانه گاماسیاب پایین در شکل ۷ ارائه شده است.

با توجه به این شکل، رودخانه در بخش بالادست از شیب بیش‌تری نسبت به بخش‌های پایین‌دست برخوردار است. شیب زیاد در بخش کوهستانی به دلیل وجود تکتونیک فعال و لیتولوژی نسبتاً سخت‌تر نسبت به دشت است. این موضوع موجب افزایش فرسایش قائم نسبت به فرسایش کناری در بخش‌های بالادست شده، به طوری که شکل دره در این محدوده V شکل است. با کاهش شیب در دشت‌های آبرفتی، مورفولوژی رودخانه نیز تغییر می‌کند. به طوری که دامنه، طول موج و پهنای کمربند مئاندر افزایش یافته و شکل دره به U نزدیک می‌شود (شکل ۸).



شکل ۷. پروفیل طولی رودخانه گاماسیاب پایین



ب

الف

شکل ۸. الف) دره V شکل و الگوی کانال در بخش کوهستان، ب) نمایی از دره U شکل و الگوی کانال در دشت آبرفتی

## ۲. ارتفاع حوزه آبریز

ارتفاع حوزه از سطح دریا، نشان‌دهنده موقعیت اقلیمی آن حوزه است [۶]. ارتفاع در این پژوهش به صورت ارتفاع متوسط وزنی، ارتفاع بیشینه و ارتفاع کمینه بیان شده است. در دو

حالت اخیر، ارتفاع براساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ به‌دست آمده است (شکل ۹). در حالی که ارتفاع متوسط وزنی با استفاده از منحنی‌های هیپسومترى به‌دست آمده است. بیشینه ارتفاع حوزه حدود ۳۳۵۹ متر از سطح دریا و کمینه ارتفاع حوزه حدود ۱۲۸۰ متر از سطح دریا در خروجی حوزه آبریز است.

### ۳. توزیع ارتفاع- سطح در حوزه آبریز

غالباً توزیع سطح حوزه با ارتفاع، در حوزه‌های مختلف یک‌نواخت و متوازن نیست، ممکن است حوزه‌هایی با یک یا چند نقطه مرتفع وجود داشته باشند، اما این مناطق تنها درصد کمی از کل سطح حوزه را شامل شوند و درصد زیادی از حوزه در ارتفاع پایین واقع باشد. به‌همین دلیل، در مقایسه حوزه‌ها با یکدیگر و همچنین به‌منظور بررسی میزان اثر ارتفاع در رژیم آب و هوایی و هیدرولوژی حوزه بررسی شده، لازم است که درصدی از سطح حوزه که بالاتر یا پایین‌تر از ارتفاع معین قرار گرفته‌اند، مشخص گردد.

توزیع ارتفاع-سطح در یک حوزه آبریز را با منحنی تغییرات سطح یا درصد سطح حوزه، بر حسب ارتفاع بالاتر یا پایین‌تر از یک ارتفاع مبنا، نمایش می‌دهند. برای انجام محاسبات لازم در تعیین منحنی ارتفاع-سطح، از نقشه‌های توپوگرافی منطقه [۴] به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است (شکل ۹). بر اساس منحنی شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود که ارتفاع میانه و متوسط حوزه آبریز گاماسیاب پایین به‌ترتیب برابر ۱۷۸۰ و ۱۷۹۶ متر از سطح دریا است.

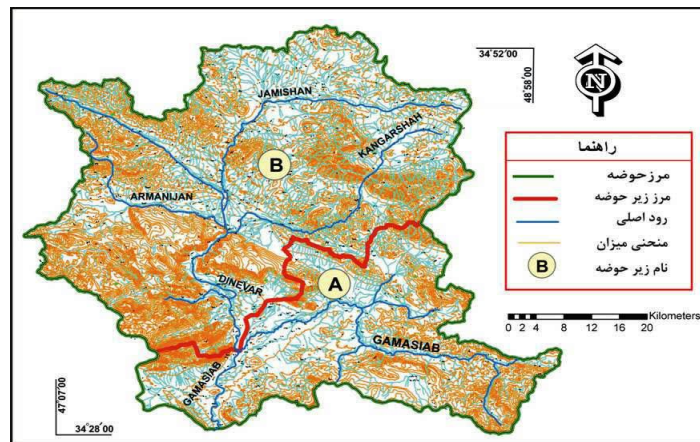
### ۴. شیب حوزه آبریز

شیب از مهم‌ترین عواملی است که زمان جریان سطحی و زمان تمرکز را در رودخانه کنترل می‌کند که به مقدار و شدت طغیان رودخانه بستگی مستقیم دارد. ظرفیت نفوذی خاک نیز به شیب بستگی دارد، هرچه شیب بیش‌تر باشد در صورت کم بودن پوشش گیاهی و کاهش نفوذ، خاک به سادگی مورد فرسایش قرار می‌گیرد. تهیه نقشه شیب با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و بر اساس پنج رده ترسیم شده که رده I شیب کم‌تر از ۱۰ درصد، رده II شامل شیب ۲۰-۱۰ درصد، رده III شامل شیب ۳۰-۲۰ درصد، رده IV شامل شیب ۴۰-۳۰

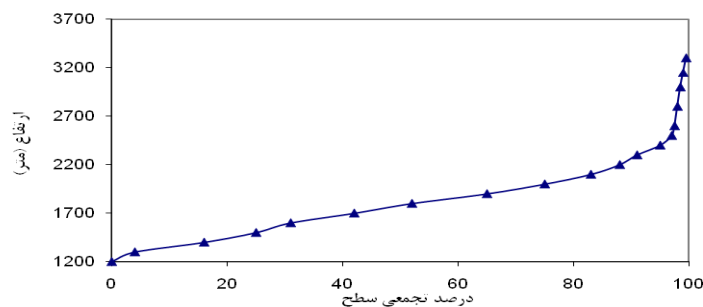


درصد و ردهٔ V شامل شیب بیش‌تر از ۴۰ درصد است. شکل ۱۰ نقشهٔ شیب منطقهٔ بررسی شده را نشان می‌دهد.

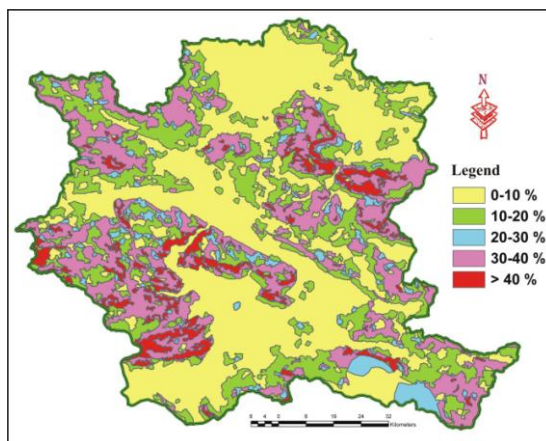
تغییرات شیب طولی رودخانه گاماسیاب منجر به تشکیل دره‌های با مورفولوژی مختلف شده است، به‌گونه‌ای که در بخش‌های کوهستانی که شیب زیاد و فرسایش قائم نسبت به فرسایش کناری بیش‌تر است و عمل فرسایش بیش‌تر از رسوب‌گذاری انجام می‌شود. در این بخش‌ها، دره رود بیش‌تر V شکل است. با کاهش شیب در قسمت دشت، شکل دره رودخانه به U تبدیل می‌شود. در این بخش‌ها فرسایش قائم بسیار کم شده و بیش‌تر فرسایش کناری صورت می‌پذیرد.



شکل ۹. نقشهٔ توپوگرافی منطقه بررسی شده [۱۱]



شکل ۱۰. منحنی ارتفاع-سطح حوزهٔ آبریز گاماسیاب پایین



شکل ۱۱. نقشه شیب منطقه پژوهش

جدول ۱. مشخصات فیزیوگرافی حوزه آبریز گاماسیاب پایین

ردیف	فاکتور فیزیوگرافی	کل حوزه
۱	مساحت ( $Km^2$ )	۳۲۶۴/۲۴
۲	محیط (Km)	۳۶۵
۳	طول (Km)	۸۱
۴	ضریب گراوبلیوس	۱/۷۸
۵	ضریب شکل (هورتون)	۰/۵۳
۶	نسبت طولی (روش شیوم)	۰/۸۲
۷	نسبت گردی (روش میلر)	۰/۳۰
۸	طول مستطیل معادل (Km)	۱۶۱/۳۷
۹	عرض مستطیل معادل (Km)	۲۰/۲۲
۱۰	تراکم آبره ( $Km/Km^2$ )	۱/۷
۱۱	ارتفاع کمینه حوزه (m)	۱۲۷۰
۱۲	ارتفاع متوسط حوزه (m)	۱۷۹۶
۱۳	ارتفاع بیشینه حوزه (m)	۳۳۵۹
۱۴	ارتفاع میانه حوزه (m)	۱۷۸۰
۱۵	شیب متوسط حوزه (°/°)	۱۹
۱۷	زمان تمرکز (h)	۱۸

### طبقه‌بندی رودخانه

از نظر مورفولوژی، رودخانه‌ها به دو طریق سنی یا زمین‌شناسی و نوع مسیر تقسیم می‌شوند.

[۱۸]، رودخانه گاماسیاب پایین از نظر زمین‌شناسی (سن) در بخش‌های کوهستانی جوان و در

قسمت‌های دشت و زمین‌های با شیب کم بالغ است. رودخانه در بخش دشت به دلیل شیب کم دارای فرسایش پذیری کم، پهنای وسیع و شدت جریان کم است.

بر اساس تقسیم‌بندی از نظر نوع مسیر با توجه به نقشه توپوگرافی و بازدیدهای میدانی از منطقه، رودخانه گاماسیاب پایین در یک مسیر مئاندری جریان دارد. مئاندرها در این رودخانه، از نوع قوس‌های آزاد (کم عمق) و عمیق هستند. قوس‌های آزاد در دشت قرار دارند و به دلیل وجود رسوبات آبرفتی سست و منفصل در بستر و سواحل در طول زمان تغییر می‌کنند. در حالیکه قوس‌های عمیق، بیش‌تر در مناطق کوهستانی مسیر رودخانه در بستر مقاوم حفر شده و معمولاً پایداری خود را حفظ کرده‌اند [۱۵].

هم‌چنین، مطابق طبقه‌بندی شوام [۲۳] این رودخانه در قسمت‌های کوهستانی مسیر رود از نوع فرسایشی و در جاهایی که رودخانه در دشت‌ها جاری است، از نوع رودخانه رسوب‌گذار است. از سوی دیگر، با توجه به شیب، سطح مقطع و الگوی کانال، بر اساس طبقه‌بندی راسگن [۲۲] این رودخانه در رده A (بخش کوهستان) و F (بخش دشت) قرار می‌گیرد.

### نتیجه‌گیری

با گذشت زمان، همه رودخانه‌ها در معرض تغییر و تحول قرار دارند و کارهای مهندسی رودخانه برای تغییر دبی، بررسی حجم رسوب، مسیر رودخانه، عمق آبراهه، پهنه سیل‌گیر و کیفیت آب مورد نیاز است. در این زمینه، شناسایی ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه و حوزه آبریز آن و نیز ارتباط آن‌ها با پارامترهای هیدرولیکی جریان، از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله، ارزیابی ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه گاماسیاب پایین با توجه به نقش آن در توسعه شهری، صنعتی و کشاورزی شرق استان کرمانشاه مورد توجه قرار گرفته است. براساس محاسبات صورت گرفته محیط، عرض متوسط و مساحت حوزه آبریز رودخانه گاماسیاب پایین به ترتیب ۳۶۵، ۲۰ کیلومتر و ۳۲۶۴/۲۴ کیلومترمربع است. حوزه آبریز این رودخانه از نظر مساحت در رده حوزه‌های بزرگ قرار می‌گیرد. شکل حوزه تقریباً کشیده است، به نحوی که مقدار ضریب گراولیس ۱/۷۸ مؤید این موضوع است. از نظر تراکم شبکه

آبراهه، مقدار D برای حوزه بررسی شده  $1/7$  به دست آمده که نشان‌دهنده حوزه با تراکم آبراهه متوسط است. مقدار زمان تمرکز برای حوزه رودخانه گاماسیاب پایین ۱۸ ساعت تعیین شده است. بیشینه ارتفاع حوزه حدود ۳۳۵۹ متر از سطح دریا در ارتفاعات کوه پرآو و کمینه ارتفاع حوزه حدود ۱۲۸۰ متر از سطح دریا در خروجی حوزه آبریز است. ارتفاع میانه و متوسط حوزه آبریز گاماسیاب پایین به ترتیب برابر ۱۷۸۰ و ۱۷۹۶ متر از سطح دریا است.

تغییرات شیب طولی رودخانه گاماسیاب پایین منجر به تشکیل دره‌های با مورفولوژی مختلف شده است، به گونه‌ای که در بخش‌های کوهستانی که شیب زیاد و فرسایش قائم نسبت به فرسایش کناری بیش‌تر است، دره V شکل و با کاهش شیب در قسمت دشت، شکل دره رودخانه به U تبدیل می‌شود. هم‌چنین، براساس بررسی‌های انجام شده، این رودخانه به لحاظ پایداری در رده رودخانه‌های فرسایشی و رسوب‌گذار، از نظر تقسیم‌بندی راسگن در رده A و F و به لحاظ زمین‌شناسی (سنی) در گروه‌های جوان و بالغ طبقه‌بندی می‌گردد.

### منابع

۱. احمدی ح. ژئومورفولوژی کاربردی (جلد اول) فرسایش آبی. دانشگاه تهران (۱۳۷۸) ۶۸۸.
۲. جاماب (شرکت مهندسی مشاور)، طرح جامع آب کشور، گزارش حوزه آبخیز کرخه، وزارت نیرو، (۱۳۶۸).
۳. رفاهی ح. فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۲) ۶۷۱.
۴. سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه توپوگرافی کرمانشاه، مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ (۱۳۷۹).
۵. سازمان هواشناسی استان کرمانشاه، آمار ایستگاه‌های باران‌سنجی و تبخیرسنجی حوزه آب‌خیز گاماسیاب، (۱۳۸۷).
۶. علیزاده ا. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات استان قدس رضوی (۱۳۸۱) ۷۳۵.
۷. کریمی باوندپور ع.، نقشه زمین‌شناسی ورقه کرمانشاه، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۹۹۹).
۸. معاونت آبخیزداری و منابع طبیعی استان کرمانشاه، مجموعه گزارش‌های مطالعات جامع آبخیزداری حوزه آبریز گاماسیاب (۱۳۸۷).

۹. مهندسین مشاور آبان پژوه، مطالعات هیدرولوژی و رسوب مرحله اول سد مخزنی قشلاق علیا (۱۳۸۱) ۳۰۰.
۱۰. ملکی رضایی ا. رسوب شناسی حوزه آبریز گاماسیاب در چهارگوش همدان، دانشگاه شهید بهشتی، پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۲) ۱۸۳.
۱۱. صحرارو ن.، بررسی رسوب شناسی و میزان رسوب زایی حوزه آبریز گاماسیاب پایین، شرق استان کرمانشاه، دانشگاه بوعلی سینا، پایان نامه کارشناسی ارشد (۱۳۸۸).
۱۲. سازمان برنامه و بودجه - وزارت نیرو، دستورالعمل مطالعات فیزیوگرافی در حوزه های آبخیز، نشریه ۱۶۰، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تهران (۱۳۷۵).
۱۳. سلیمانی شهریار، رهنمودهایی در شناسایی حرکات تکتونیکی، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۷۸).
۱۴. نوحه گر احمد، حسین زاده محمد مهدی، افشار طاهره، تغییرات ژئومورفولوژی نیم رخ طولی و عرضی علیای رودخانه میناب (از سد تا پل میناب)، فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، شماره ۲۴ (۱۳۸۹) ۱۵۷-۱۳۷.
۱۵. وزارت نیرو، پیش نویس راهنمای روش های مهار رسوب در رودخانه ها، نشریه ۳۵۰-الف، دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا (۱۳۸۸).
۱۶. یمانی مجتبی، حسین زاده محمد مهدی، نوحه گر احمد، هیدرودینامیک رودخانه های لار و بابل و نقش آن در ناپایداری و تغییر مشخصات هندسی آنها، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۵، (۱۳۸۵) ۲۳-۱۵.
17. Coates D. R., "Geomorphology and Engineering", Allen & Unwin Publication, p. 360 (1980).
18. Davis W. M. "The geographical cycle", Geographic Journal, Vol.14 (1899) 481-504.
19. Grant G. E., Swanson F. j., Wolman M. G., "Pattern and origin of stepped-bed morphology in high- gradient stream", Western Cascades, Oregon, Geological Society of America Bulletin, Vol.102 (1990) 330-352.

20. Leopold L. B., Wolman M. G., "River channel patterns: braided", meandering, and straight. U.S. Geological Survey Prof. Paper 282-B. 2 (1957).
21. Montgomery D. R., Buffington J. M., "Channel classification of channel response, and assessment of channel condition:", Olympia, Washington State Departement of Natutral Resources Report TFW-SH10-93-002 (1993) 84.
22. Rasgen d. L., "A classification of natural rivers", Catena, Vol.22 (1994) 169-199.
23. Schumm S. A., "A tentative classification of alluvial river channels", U.S. Geological Survey Circular 477. Washington, DC. (1963).
24. Broud J., "Geology General-Les formation du Zagros la region du Kermanshah (Iran)", et leurs report stractursux (S. G. I) (1975).
25. Braud J., "Kermanshah quadrangle map", 1: 250000, Geol. Surv, Iran (1978).
26. Bryan B. R., Campbell I. A., "Run off and sediment discharge in a semi-arid ephemeral drainage basin", Z. 58 (1986) 121-143.
27. Leopold L. B., Wolman M. G., Miller J. P., "Fluvial processes in geomorphology", Freeman, San Francisco, California, USA. (1964).
28. Probst J. L., "Dissolved and suspended matter transported by the Grion river (France): Mechanical and chemical erosion rates in a calcareous molasses basin", Hydro. Science Journal 31 (1) (1986) 61-79.
29. Walling E. D., Webb B. W., "Patterns of sediment yield", In: Gregory, K. J. (ed): Background to Palaeohydrology (1983) 69-100. Johno Wiley and Sons, Chichester.