مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال دهم/ شماره مسلسل سی و هفتم/ پاییز ۱۳۹۹ / صفحات: ۱۰۶-۹۱

تحلیل فضایی ژئومورفوکلیماتیک حوضهٔ آبی قزل‌اوزن

غلامحسن جعفری[۱*]، هژیر محمدی[۲]

[۱]استادیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
[۲]کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۳

چکیده

غالب ژئومورفولوژیست‌ها تلاش نموده‌اند شکل تغییر و تحول ناهمواری‌ها را در روندی قابل پیش‌بینی تبیین کنند. با این وصف همواره مواردی در طبیعت یافت می‌شود که چنین نظمی را در چارچوب‌های تعریف شده، نقض می‌نمایند. مورفولوژی حوضه‌ها و شبکه‌های رودخانه‌ای در پاسخ به تغییرات محیطی، متحول می‌شود. شواهد توالی چهار ژئونرون بیجار، زنجان، میانه و طارم در حوضهٔ قزل‌اوزن و اتصال آن‌ها به‌وسیلهٔ نرون‌های ماهنشان، هشتچین و میانه- طارم دال بر این است که هرکدام از آن‌ها به‌صورت حوضه‌های مستقل بوده‌اند. مستقل بودن هر یک از ژئونرون‌ها با توجه به سلول‌های اقلیمی، لیتولوژیکی، تکتونیکی و ژئومورفولوژیکی قابل‌ردیابی است. به این منظور، با استفاده از DEM ۳۰*۳۰ لایه توپوگرافی حوضهٔ قزل‌اوزن استخراج گردید. با استناد به نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی، لایه‌های لیتولوژی و گسل و به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ لایهٔ آبراهه‌ها رقومی گردید. مناطق استراتژیک با ترسیم نقشه‌های لیتولوژی، هم‌بارش، هم‌دما، توپوگرافی، خط تعادل آب‌ویخ کواترنری و گسل در مسیر رودخانهٔ اصلی مشخص گردید. از روش رایت برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری استفاده شد. در منطقهٔ بیجار، نزدیک سرچشمهٔ قزل‌اوزن، ۶ زیرحوضه وجود دارد که شبکهٔ آبراهه‌ای همگرای سطحی دارند، چنین عملکردی نشان از ژئونروتیکی حوضه دارد که بحث داشتن سطح اساس محلی برای شبکهٔ رودخانه‌های قزل‌اوزن را به میان می‌آورد. شبکهٔ ژئونروتیکی حوضهٔ ناشی از اثرگذاری عوامل مختلفی است که از تمرکز آن عوامل در یک مکان به‌عنوان سلول یادشده است. توزیع سلول‌های آب و هوایی بستگی به سلول‌های ژئومورفیکی دارد و تجدید ماده و انرژی را برای حوضه قزل‌اوزن به ارمغان آورده است. توزیع سلول‌های لیتولوژیکی و تکتونیکی بیشتر بر رفتار رودخانه اثر گذاشته و موجب فرسایش خط یا خط در سطح رودخانه شده است.

واژه‌های کلیدی: ژئونرون، سلول لیتولوژیکی، فرسایش خطی، تحلیل برنده، اسارت، حوضهٔ آبی قزل‌اوزن

مقدمه

غالب ژئومورفولوژیست‌ها تلاش کرده‌اند شکل تغییر و تحول ناهمواری‌ها را در یک‌روند قابل پیش‌بینی تبیین کنند. این منش، تلاشی برای تحقق یکی از ویژگی‌های معرفت‌شناسی علمی تلقی می‌شود. با این وصف ما همواره در طبیعت با مواردی مواجه بوده‌ایم که چنین نظمی را در چارچوب‌های تعریف‌شده، نقض می‌نموده است (رامشت، ۱۳۸۲: ۱۷). مطالعات تجربی وجود هر شکل را بر اساس وضعیت حاکم بر آن شرح می‌دهد؛ وضعیتی که منجر به ظهور، ثبات یا تغییر آن شکل شده است. در این حالت شکل زمین طوری عمل می‌کند که این اوضاع را بازتاب می‌نماید. مطالعات تاریخی، مجموعه شکل‌های زمین را بر اساس تأثیرات گوناگون ناشی از تحولات آن شکل، شرح می‌دهد (معتمد، ۱۳۹۰: ۱۰). مورفولوژی حوضه‌ها و شبکه‌های رودخانه‌ای در پاسخ به تغییرات محیطی تغییر می‌کنند

*نویسنده مسئول: jafarihas@znu.ac.ir

(کولتارد[1]، ۱۹۹۹: ۳). اصول پایه‌ای مدل‌سازی سلولی در ژئومورفولوژی این است که لندفرم‌ها توسط شبکه‌ای از سلول‌ها و فعل‌وانفعالات بین آن‌ها با استفاده از قوانین ساده و بر اساس کنترل‌های فیزیکی نمایش داده می‌شوند (نیکلاس[2]، ۲۰۰۵: ۶۴۵). ازاین‌رو شناخت رودخانه‌ها با ویژگی‌های بستری که در آن جریان دارند و تغییراتی که در بسترشان ایجاد می‌شود، حائز اهمیت است. شدت تغییرپذیری و زمان این تغییرات بستگی به نوع و درجهٔ تأثیر عوامل کنترل‌کننده دارد. تأثیر عوامل طبیعی نظیر تغییرات اقلیمی، زمین‌شناسی و تکتونیک در رژیم رودخانه‌ها تدریجی بوده و در کوتاه‌مدت ناچیز است (باقری دونچالی، ۱۳۸۸: ۱). حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن دارای بسترهای آبی متعددی است که با ایجاد شرایط محیطی خاص گاه رودخانه را وادار به مآندرسازی کرده (خصوصیات رودخانه‌های پیر در دیدگاه دیویسی) و گاه فقط اجازه ایجاد بستر تنگ و باریکی را داده که ویژگی بارز آن رخنمون سنگی، شیب تند و آبشارهای کم‌ارتفاع و متعدد در مسیر رودخانه است. در این سیستم، رودخانه‌ها گاه با دوشاخه شدن مسیر آبراهه‌ها و نقاط ارتفاعی منفرد شرایطی را همانند بستر دریاچه‌های گذشته تداعی می‌کنند و گاه با سینوس‌های عمیق، که دلالت بر تغییر سطح اساس و تسلط فرسایش قهقرایی در منطقه دارد، بحث و بررسی حالت ژئونروتیکی حوضه را سبب می‌شوند که با کمک داده‌های هیدرولوژیکی و اقلیمی قابل تبیین است (جعفری و بختیاری، ۱۳۹۵: ۲۲۳). حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن ازجمله حوضه‌هایی است که در طول کواترنری شاهد تغییرات زیادی بوده است. توالی چهار ژئونرون بیجار، زنجان، میانه و طارم و عبور قزل‌اوزن از این ژئونرون‌ها به‌وسیله تنگ‌های ماهنشان، هشتچین و میانه- طارم حاکی از آن است که هرکدام از این چاله‌ها به‌صورت حوضه‌های مستقل بوده‌اند. مستقل بودن هر یک از ژئونرون‌ها به شرایطی ازجمله شرایط اقلیمی، لیتولوژی، تکتونیک، سطح اساس بستگی داشته است. بررسی این عوامل در حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن به‌صورت سلولی انجام‌شده است، یعنی هر یک از عوامل به‌طور جداگانه در امتداد جریان رودخانهٔ قزل‌اوزن و ژئونرون‌های گذشته موردبررسی قرار می‌گیرد. هدف از بررسی سلولی قزل‌اوزن یافتن اثرات و تغییرات مناطقی است که توانسته‌اند قزل‌اوزن را از خشک شدن اساسی نجات دهند و باعث تجدید حیات آن شوند. در اینجا منظور از سلول، واحد کوچک نیست بلکه مناطق استراتژیک حوضهٔآبریز قزل‌اوزن است که توانسته‌اند به ژئونرون‌ها و رودخانهٔ قزل‌اوزن حیات دوباره بخشند. این مناطق که از نقاط مهم حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن به‌حساب می‌آیند با توجه به خصوصیات خود توانسته‌اند قزل‌اوزن را تجدید حیات نمایند. چیدمان این سلول‌ها (مناطق استراتژیک) به‌گونه‌ای است که هرکدام نظم خاصی را ایجاد نموده‌اند و با نبود آن‌ها شرایط در منطقه به نوع دیگر رقم می‌خورد. به‌عبارت‌دیگر باوجوداینکه محدوده‌های کوچکی از کل حوضه را دربر می‌گیرند اما تأثیرات بسزایی بر حوضه می‌گذارند و تغییرات بزرگی را ایجاد نموده‌اند.

مفاهیم دیدگاه‌ها و مبانی نظری

دو ویژگی ژئومورفولوژیکی مهم و نادر در حوضهٔ آبریز خزر مشهود است. یکی این‌که، قزل‌اوزن خط تقسیم البرز را شکافته و با جدا کردن حوضه‌های بسته دریاچه ارومیه و مسیلِهٔ قم از یکدیگر، آب‌های بخشی از منطقه داخلی فلات را به دریای خزر هدایت می‌کند. این پدیده‌ای استثنایی و کم نظیر در جهان است که آب یک منطقهٔ خشک به منطقهٔ مرطوب می‌رود (زمردیان،۱۳۹۲: ۱۰۲). بررسی سلولی حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن در قالب ۵ بخش تقسیم‌بندی شده است. در اینجا منظور از سلول، کوچک‌ترین واحد نیست بلکه مناطقی است که هرچند ازنظر وسعت متفاوت اند اما نسبت به یک حوضهٔ آبریزی مانند قزل‌اوزن، کوچک به‌حساب می‌آیند. سلول ژئومورفیکی به ویژگی خاص زیرحوضه‌هایی اشاره می‌کند که باوجود آن‌ها حوضهٔ بزرگ تقویت می‌شود. حوضه‌های تقویت‌کننده، حوضه‌هایی هستند که خود به‌صورت مستقل عمل نموده‌اند. حجم ذخیرهٔ آبی آن، بعضاً دارای حد و آستانهٔ

1. Coulthard
2. Nicholas

خاصی است و در صورت تغذیه بیشتر از آستانه، به‌صورت یک خازن عمل نموده و سبب تقویت رواناب‌های حوضه‌های مجاور خود می‌گردد. این به‌صورتی است که دبی خروجی خود را وارد حوضهٔ دیگر کرده و سبب تقویت حوضهٔ بعدی می‌شود. این مناطق دارای خصوصیات منحصربه فردی است که از آن جمله به خروجی تنگ مانند حوضه می‌توان اشاره کرد. در سلول های آب و هوایی دو عنصر بارش و دما بیش از همه مدنظر قرارگرفته‌اند. در هر حوضهٔ آبریزی معمولاً کانون هایی وجود دارند که بارش بیشتر و دمای کمتری نسبت به بقیه مناطق، دارند. این مناطق باوجود کم‌وسعت بودن خود تأثیر بسزایی در جریان‌های شبکه‌های آبراهه‌ای هر حوضه دارند. در اینجا منظور از واژهٔ سلول‌های آب و هوایی، مناطقی هستند که بارش بیشتر و دمای کمتری دارند. سلول های یخچالی نیز زیرمجموعه سلول‌های آب و هوایی قرار می‌گیرند زیرا که با بارش‌های جامد، یخچال و سیرک‌های یخچالی را ایجاد می‌کنند. در سلول های تکتونیکی تأکید برگسل است که در هر منطقه‌ای چه تأثیری بر رفتار کلی رودخانه می‌گذارند؛ برای مثال در چه منطقه‌ای در تغییر مسیر رودخانه اثر می‌گذارد و در کدام منطقه باعث غلبهٔ فرسایش سطحی رودخانه می‌شود. خواه این تغیر مسیر باعث نابودی رودخانه و خواه باعث حیات مجدد آن گردد. در سلول‌های لیتولوژیک جنس زمین‌شناسی بستر رودخانه و حوضهٔ آبریز از مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر پایداری و ناپایداری شبکه‌های زهکشی محسوب می‌شود. در اینجا منظور از سلول های لیتولوژیک این است که کدام‌یک از لیتولوژی‌ها در رفتار رودخانه نقش مهم‌تری داشته و توزیع فضایی آن‌ها چگونه است. درنتیجه می توان این گونه تبیین نمود که منظور از بررسی سلولی تشریح مناطقی است که به جریان رودخانه انرژی دوباره داده اند یا انرژی آن را تحلیل برده‌اند. واژه‌هایی چون نرون، اکسون، سیناپس، از مفاهیم و واژه‌هایی هستند که عناصر اصلی شبکهٔ عصبی را شکل می‌دهند. این مفاهیم برای بیان مفاهیم خاصی در شبکه نروتیک زهکش‌های رودخانه‌ای معادل‌سازی شده است. نرون به گره‌هایی موجود در شبکهٔ عصبی گفته می‌شود و وظیفهٔ خاصی را در دریافت، پردازش و یا انتقال اطلاعات دارد. این واژه در ژئومورفولوژی با عنوان ژئونرون خوانده می شود. منظور از ژئونرون‌ها در شبکه‌های زهکش رودخانه‌ای، فضاهایی است که سبب اجتماع آب‌ها در محدودهٔ خاصی می‌شوند. خطوط آبراهه‌ای که ارتباط‌دهندهٔ ژئونرون‌ها هستند با عنوان اکسون های برداری شناخته می‌شوند (جعفری و بختیاری، ۱۳۹۵: ۲۲۲).

پیشینهٔ تحقیق

لاکاسی و رویز[1] (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم رودخانه‌ای به این نتیجه رسیدند که داده‌ها را می‌توان به تعداد محدودی تقسیم نمود که هرکدام از این گروه‌ها، در ارتباط با جریان رسوب به قسمت خاصی از سیستم رودخانه‌ای محدود می‌شوند. میلیمان و سیویتسکی[2] (۲۰۱۳) در بررسی ژئومورفولوژی- زمین‌ساخت کنترل‌کنندهٔ رسوب دریایی، به اهمیت رودخانه‌های کوچک کوهستانی پی بردند. سلیم[3] (۲۰۱۴) ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مؤثر در رسوب را برای حوضه‌ای در جنوب اردن استخراج کرد. نتایج تجزیه‌وتحلیل رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که دبی حوضه و درصد پوشش گیاهی بیشترین تأثیر را در رسوب‌زایی داشته‌اند. پایولینوس و همکاران[4] (۲۰۱۶)، مورفومتری حوضهٔ آبخیز اوقات[5] نیجریه را با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و GIS تجزیه‌وتحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که طول حوضه، مساحت حوضه، طول آبراهه، نسبت انشعاب و فاکتور فرم حوضه از شاخص‌های کلیدی در هیدرولوژی و فرسایش و رسوب حوضه های موردمطالعه است. چنج و همکاران[6] (۲۰۱۷)، ارتباط بین توپوگرافی و فرسایش خاک را در فلات لسی چین با رگرسیون خطی بررسی کردند. نتایج تحقیق نشان داد که خصوصیات توپوگرافی حوضه و شاخص

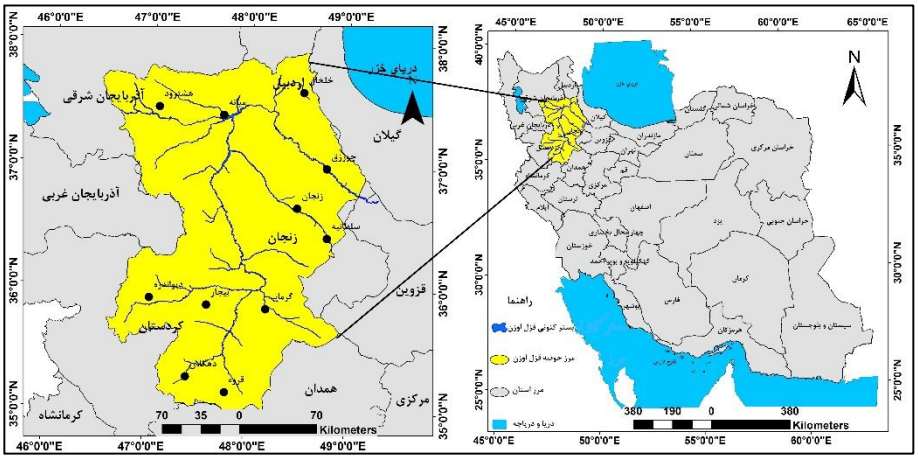
1. Lacassie and Ruiz
2. Milliman and Syvitski
3. Salim
4. Paulinus et al.
5. Oguta
6. Cheng et al

توپوگرافی فرسایش از الگوی مشابه برخوردارند و بین شاخص توپوگرافی فرسایش و متغیر دبی رسوب حوضه همبستگی مثبت وجود دارد. جعفری و محمدی (۲۰۱۸) به بررسی دریاچه‌های یخچالی حوضه آبریز قلعهٔ چای قزل‌اوزن پرداختند و برف مرز و دمای گذشته این حوضه را شبیه‌سازی نمودند دریافتند که تمامی دریاچه‌ها حتی براساس بالاترین ارتفاع برف مرز محاسبه شده به روش پورتر (۲۴۲۵متر) بالاتر از ارتفاع خط تعادل آب و یخ کواترنری قرار می‌گیرند. شواهد میدانی و بررسی لیتولوژی منطقه حاکی از آن است که یخچال‌های که از ارتفاعات بالا منشأ گرفته و به خوبی تغذیه می شدند. رامشت (۱۳۸۵) در تحلیل رفتار هیدرولوژیک رودخانهٔ کر به این نتیجه رسید که بسیاری از رفتارهای حوضه‌های آبی در چهارچوب شبکه‌های عصبی قابل تفسیر است و رفتار آبی در این حوضه قبل از آن‌که به حجم نزولات جوی بستگی داشته باشد، تابعی از سیستم نروتیک و مسائلی نظیر آن است. خالقی و همکاران (۱۳۹۳)، قابلیت مدل اتومای سلولی در شبیه‌سازی میزان تحول و فرسایش سیستم رودخانه‌ای حوضهٔ آبریز لیقوان را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که صحت‌سنجی نتایج حاصله از این مدل دشوار بوده اما مقایسه نتایج با مطالعات قبلی رویکرد قابل قبولی دارد. بختیاری (۱۳۹۴) معتقد است که مسیر آبراهه‌هایی که لیتولوژی همگن دارند، کمتر دچار پیچ‌های تند تغییر مسیر می‌گردد. وجود پیچ‌های تندی که حاکی از تغییر جهت مسیر رودخانه است را ناشی از اسارت یا انحرافی می‌داند که در مسیر رودخانه رخداده است. امیر احمدی و احمدی (۱۳۹۴) رفتار آبی رودخانهٔ اوجان را در شبکهٔ ژئونروتیک مورد تحلیل قراردادند. این حوضه با تغییر اقلیم منطقه به‌صورت یک توپوژئونرون ایزوله درآمده است. توپوژئونرون ایزوله به چاله‌های جمع‌کنندهٔ آبی گفته می‌شود که در یک حوضهٔ آبریز وسیع به‌صورت حوضه‌های مستقلی عمل کرده و سبب می‌شوند عملاً بخشی از رواناب حوضهٔ اصلی در درون آن‌ها متمرکز شود و به سطح اساس حوضهٔ اصلی نپیوندند. احمدی و محمدی (۱۳۹۴) به بررسی رفتار آبی رودخانهٔ خرم‌آباد در شبکهٔ ژئونروتیک با استفاده از روابط سیستم نرونتیک شبکهٔ زهکش‌ها و ژئونرون‌های مجازی، توپوگرافی و زمین‌شناسی پرداختند. جانانه و رجبی (۱۳۹۵) در بررسی اثرات دورهٔ کواترنری در دریاها و دریاچه های ایران دریافتند که تغییر سطح اساس دریاها و دریاچه های ایران در دوره های یخچالی و بین یخچالی کاملاً مشابه تغییر در مقیاس جهانی بوده است. جعفری و بختیاری (۱۳۹۵) در بررسی هیدرو-ژئونروتیک حوضهٔ آبی قزل‌اوزن نتیجه گرفتند که مناطق واقع در پایاب زنجان‌رود، میانه و در امتداد قزل‌اوزن از بیجار تا میانه تحلیل برنده بوده و مقدار آبی که وارد آن‌ها می‌شود بسیار کمتر از آبی است که از آن‌ها خارج می‌گردد. جعفری و محمدی (۱۳۹۶) نقش تغییر سطوح اساس در تحولات کواترنری حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن را با اتکا بر نرم‌افزار GIS و شواهد ژئومورفولوژیکی ازجمله انحراف و اسارت، مخروط‌های‌افکنه متداخل و آبراهه‌های همگرای نقطه‌ای، به روش هندسه فراکتال بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تغییر سطوح اساس محلی در ژئونرون‌های بیجار و زنجان به‌صورت افتادگی سطوح اراضی، در ژئونرون میانه به‌صورت مخروط‌افکنه کشیده قرنقوچای و در طارم به‌صورت ۱۰ مخروط‌افکنه متداخل است. بعد فراکتالی ۱/۳۰ حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن را دال بر قابلیت شکل‌گیری شاخه‌های فرعی در سراب حوضه دانسته‌اند. حاجی کریمی و همکاران (۱۳۹۹) در بررسی تحلیل فرآیندهای مورفودینامیکی مؤثر در تغییرات خط ساحلی دلتای رودخانه‌ای کرگانرود دریافتند که نوسان سطح آب دریا در ایجاد تغییرات مثبت و منفی، گویای تأثیر عامل رسوب خروجی رودخانه‌ها است. ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۹) ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز به‌منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری در حوضهٔ آبریز مختاران در بیرجند را بررسی نمودند.

محدوده و قلمرو پژوهش

سفیدرود به طول ۷۶۵ کیلومتر که شامل قزل‌اوزن و شاهرود می‌شود از مهم‌ترین رود این حوضه است

(سحاب،۱۳۸۴: ۵۲). حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن ازجمله زیرحوضه‌های دریای خزر است که از ارتفاعات چهل‌چشمهٔ کردستان سرچشمه گرفته و بعد از وارد شدن به چالهٔ بیجار از طریق تنگ‌های ماهنشان، رجعین، هشتجین وارد طارم شده و درنهایت پس از پیوستن شاهرود بانام سفیدرود وارد دریاچه خزر می‌شود. این حوضه در استان کردستان، زنجان، آذربایجان شرقی، اردبیل، همدان و بخش کوچکی از استان‌های قزوین، آذربایجان غربی و گیلان قرارگرفته و در عرض‌های جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۵۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی گسترده شده است. طول این رودخانه از سرچشمه تا خروجی حوضه ۵۵۰ کیلومتر و مساحتی بالغبر ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است و بالاترین ارتفاع آن ۳۶۱۰ و کمترین ارتفاع آن ۲۳۹ متر از سطح دریاست (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ موردمطالعه

روش تحقیق

در این پژوهش، ابتدا DEM ۳۰×۳۰ محدودهٔ موردنظر از سایت USGS ماهواره SRTEM استخراج گردید و با استفاده از نرم‌افزار Arc map-Arc GIS، لایه توپوگرافی استخراج گردید. با استناد به نقشه‌های ۱: ۱۰۰۰۰۰ و ۱: ۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی محدودهٔ موردمطالعه، لایه‌های لیتولوژی و گسل رقومی و مورداستفاده قرار گرفت. به کمک آن‌ها سلول‌های لیتولوژیک و تکتونیکی مجزا گردید. با اتکا به نقشه‌های توپوگرافی ۱: ۵۰۰۰۰ لایهٔ رودخانه‌های منطقه در نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید و به کمک آن‌ها سلول‌های ژئونروتیک مشخص شد. مناطق استراتژیک با ترسیم نقشهٔ لیتولوژی و پراکندگی گسل در مسیر رودخانه با توجه به این‌که کدام لیتولوژی در ادامهٔ حیات رودخانه مؤثر بوده، ترسیم گردید. یکی از روش‌های متداول تعیین ارتفاع، برف مرز دائمی کواترنری در بین محققان یخچالی ایران، روش رایت است. در این روش، پس از تشخیص تعداد و ارتفاع سیرک های یخچالی به کمک نقشه های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و محاسبهٔ درصد تجمعی پراکندگی سیرک‌ها در ارتفاعات مختلف، ارتفاعی که ۶۰ درصد از سیرک‌ها بالاتر از آن هستند را به‌عنوان ارتفاع برف مرز دائمی و دمای صفر درجه سانتی‌گراد دوران یخچالی را به آن نسبت می‌دهند (جعفری و اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۳: ۲۱). از داده‌های اقلیمی ۱۲ ساله (۹۳ -۱۳۸۱) ۴۶ ایستگاه باران‌سنجی که دارای اطلاعات دما و بارش است، جهت تحلیل شرایط دمایی و بارشی حال و بازسازی شرایط گذشته استفاده

گردید؛ همچنین از نرم‌افزارهای Arc GIS، Global mapper و Excel برای تجزیه‌وتحلیل داده‌ها استفاده‌شده است. بین دما و ارتفاع، بارش و ارتفاع ایستگاه‌ها روابط رگرسیونی گرفته شد (روابط ۱ و ۲). برای به دست‌آوردن نقاط و سلول‌های مهم در آب‌وهوا نقشهٔ هم‌دما و هم‌بارش در نرم‌افزار GIS در ایکستنشن Raster calculator رابطه‌های دما و بارش را وارد نموده و با اعمال DEM در روابط خطوط هم‌دما و هم‌بارش ترسیم گردید. به کمک چنین نقشه‌هایی سلول‌های برودتی، حرارتی و رطوبتی شناسایی و تجزیه‌وتحلیل شد.

رابطهٔ ۱: دما $Y= -0/0045x + 18/06$ $R2= 0/8362$

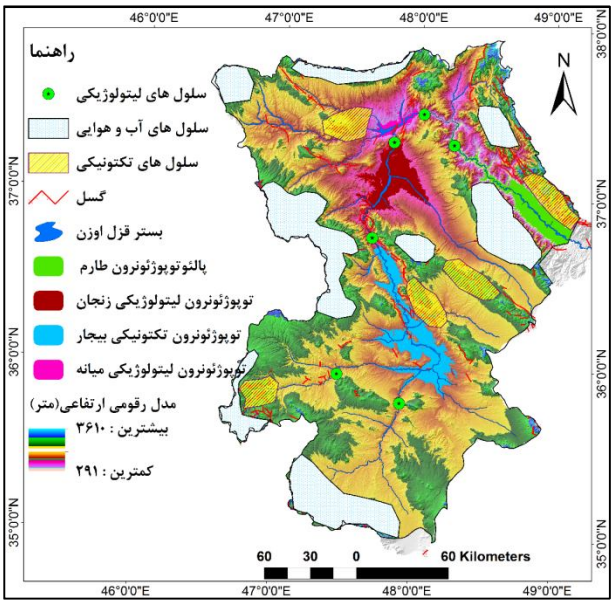
رابطه ۲: بارش $Y= 0/2008x-36/603$ $R2= 0/753$

یافته‌های تحقیق

درهم تنیدگی سلول‌های ژئومورفولوژیک و آب و هوایی: مفهوم درهم تنیدگی در سلول‌ها یعنی این‌که در بررسی دو عامل یک عامل پیش‌نیاز عامل دیگر شود و یکی بدون دیگری قابل تشریح نباشد. از ویژگی رودخانه‌های حوضهٔ آبریز خزر این است که دائمی است و در مقایسه با سایر نواحی کشور جریانی تند دارد و هم‌زمان با آن شبکهٔ آبی بسیار متراکمی را به وجود آورده‌اند؛ حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از آب آن‌ها در بهار جریان دارد، یعنی غالب بارش‌های منطقه در فصل بهار است و به‌طورکلی دبی آن‌ها منظم است (زمردیان، ۱۳۹۲: ۱۰۲). هر زیرحوضه‌ای از این حوضهٔ وسیع برای رودخانهٔ اصلی به‌عنوان یک حوضهٔ تقویت‌کننده شناخته می‌شود. مشخصهٔ این نوع از توپوژئونرون‌ها، آبراهه‌های نقطه‌ای یا خطی همگراست که منجر به تجمیع رواناب‌ها پیرامون یک سطح یا نقطهٔ مشخص می‌شوند. این امر خود باعث کاهش حضور و ماندگاری آب در طبیعت می‌گردد. در این مناطق به علت شیب زیاد، بعد از هر بارشی، نفوذ آب کم شده و به‌سرعت به رواناب تبدیل می‌گردد و آب به زهکش اصلی منطقه یعنی قزل‌اوزن هدایت‌شده و طغیان رودخانه را به دنبال داشته است. توپوژئونرون‌های تقویت‌کنندهٔ قزل‌اوزن به‌گونه‌ای هستند که در بالادست به‌صورت همگرا بوده و در پایین‌دست، زمان ورود به نرون بعدی به‌صورت واگرا عمل می‌کنند و باعث شکل‌گیری مخروط‌های‌افکنه هرچند کم وسعت می‌شوند. حوضه‌ای مانند قرنقوچای زمانی که به قزل‌اوزن می‌رسد به علت دارا بودن شیب تند، مخروط‌افکنهٔ بزرگی تشکیل داده است؛ بنابراین می‌توان گفت یکی از ویژگی‌های ذاتی این توپوژئونرون‌ها شکل‌گیری مخروط‌افکنه است. سراب قزل‌اوزن یعنی چهل‌چشمه به‌طرف بیجار، آب زیرحوضه‌های قروه، دهگلان، گرماب، سجاس و حسن‌آباد یاسوکند به قزل‌اوزن هدایت می‌شوند که در یک نقطه به نام ژئونرون بیجار که یک توپوژئونرون هست جمع می‌شوند. الگوی شبکه‌های آبراهه‌ای چالهٔ بیجار که به گیسویی شناخته می‌شود با گسترش عرضی بستر آبی رودخانه شکل‌گرفته‌اند که به همراه سرعت کم آب ناشی از شیب کم مسیر، سبب افزایش مقدار تبخیر و تحلیل حجم زیادی از آب می‌گردند به‌گونه‌ای که علیرغم دریافت سرشاخه‌های نسبتاً پرآب، میزان آب خروجی کمتر از ورودی می‌گردد. به چنین وضعیتی در شبکهٔ آبراهه‌ای ژئونرون، تحلیل برنده گفته‌شده است. مواد این ژئونرون بعد از ورود به نرون یا سیناپس ماهنشان با طول ۷۰ کیلومتری رژیم جریان قزل‌اوزن تغییر می‌کند چون با ورود رودخانهٔ انگوران چای، پالتی، قلعهٔ چای، مهرآباد و سایر زیرحوضه‌هایی که تقویت‌کننده به شمار می‌آیند و از مناطقی که جزء سلول‌های مرطوب آب‌وهوایی سرچشمه می‌گیرند، حیات دوبارهٔ قزل‌اوزن را همراه دارند. در این منطقه به دلیل دریافت آبراهه‌های متعدد از دو طرف تنگ، قزل‌اوزن را از روند میرایی نجات داده و حیات دوباره‌ای به آن می‌بخشند. ساختار تنگ مانند و عمیق بودن این منطقه باعث می‌شود که آب کمتر تحلیل برود. ژئونرون زنجان، به این دلیل شیب کم، محل اتصال ژئونرون‌های تقویت‌کننده به تحلیل برنده شناخته می‌شود و نتوانسته مخروط‌افکنهٔ وسیعی بسازد. تغییر سطح اساس در چالهٔ زنجان شرایطی را فراهم نموده که به قزل‌اوزن امکان فرسایش خط در سطح را فراهم نموده ولی با توجه به

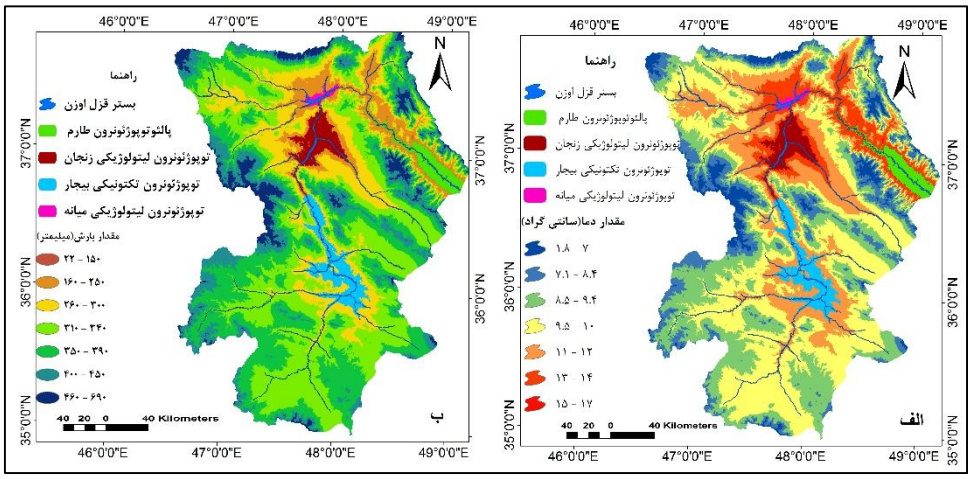
وضعیت شیب زمین‌شناسی و شیب توپوگرافی، فرسایش خط در سطح نامتقارن رخداده است؛ یعنی با تغییر سطح اساس، بستر قزل‌اوزن به‌عنوان معبر اصلی انرژی و ماده بیش از هر مکانی تحت تأثیر قرارگرفته و حفرشده است. بااین‌وجود لیتولوژی سست مارن، امکان انتشار انرژی را در سطح نیز فراهم نموده است. منتهی با این ویژگی که شیب زمین شناسی طرف چپ قزل‌اوزن برخلاف شیب توپوگرافی منطقه بوده و تخلیه مواد از این بخش را کاهش داده است. همسو بودن شیب زمین‌شناسی طرف راست قزل‌اوزن با شیب توپوگرافی شرایط تخلیه بیشتر مواد را از این‌طرف رودخانه فراهم نموده است. چنین گسترشی امکان تحلیل آب را در این ژئونرون فراهم نموده است.

قزل‌اوزن با عبور از نرون رجعین و وارد شدن به چالهٔ میانه حوضه‌های آبریز بزرگی همچون قرنقوچای و گندغدی که از حوضه‌های پربارش چاله میانه هست را دریافت کرده و تقویت می‌شود. خروجی چنین افزایش در دبی، تشکیل مخروط‌افکنه وسیع قرنقوچای است. با ورود به تنگ هشتچین و روبه‌رو شدن با لیتولوژی سخت آذرین رودخانه مجبور به حفر می‌شود که انرژی زیادی را صرف می‌کند اما حوضه‌های همچون گیوی چای با دبی خیلی خوب به برش تنگ کمک نموده تا رودخانه بتواند وارد طارم شود. لازم به ذکر است که رودخانه در این تنگ، طول ۱۰۰ کیلومتر را توانسته حفر و طی کند (شکل ۲).



شکل ۲: نقشهٔ ژئومورفولوژی مورفوکلیماتیک حوضهٔ قزل‌اوزن

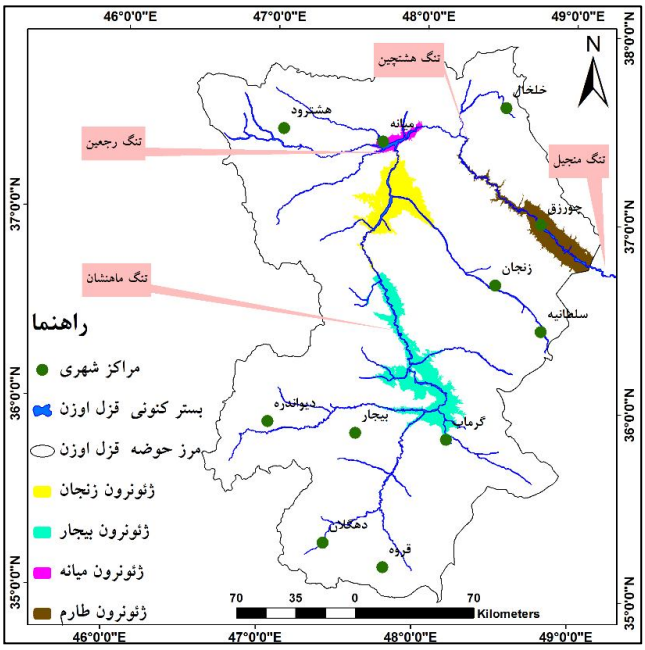
حیات قزل‌اوزن در طارم به‌گونه‌ای است که علاوه بر دریافت کل جریان‌های بالادست، به دلیل وارد شدن به سلول مرطوب آب‌وهوایی، دبی‌های بسیار مناسبی را دریافت می‌کند. یکی از کانون سلول‌های مرطوب در ارتفاعات شمالی زنجان و دیگری ارتفاعات طالش قرار دارد. به این صورت که نقاط استراتژیک یا همان سلول‌های آب‌وهوایی توانسته‌اند قزل‌اوزن را تا زمان وارد شدن به سفیدرود، در منطقهٔ مرطوب خزری، تقویت کنند. با توجه به توضیحات و عوامل گفته‌شده می‌توان نتیجه گرفت که قزل‌اوزن یک حوضهٔ خشک و نیمه‌خشک است که کمتر می‌توان تصور کرد که یک حوضه از منطقه‌ای خشک وارد یک منطقهٔ مرطوب شود اما بررسی توزیع سلول‌های آب‌وهوایی دال بر این است که قزل‌اوزن در مقاطع کم شدن آب، تحت تأثیر مناطق یا زیرحوضه‌هایی قرار می‌گیرد که به دلیل ارتفاع، بارش مناسب، دمای کمتر و خروجی آب بیشتر دارند و جان دوباره‌ای به قزل‌اوزن می‌دهند (شکل ۳ و ۴).



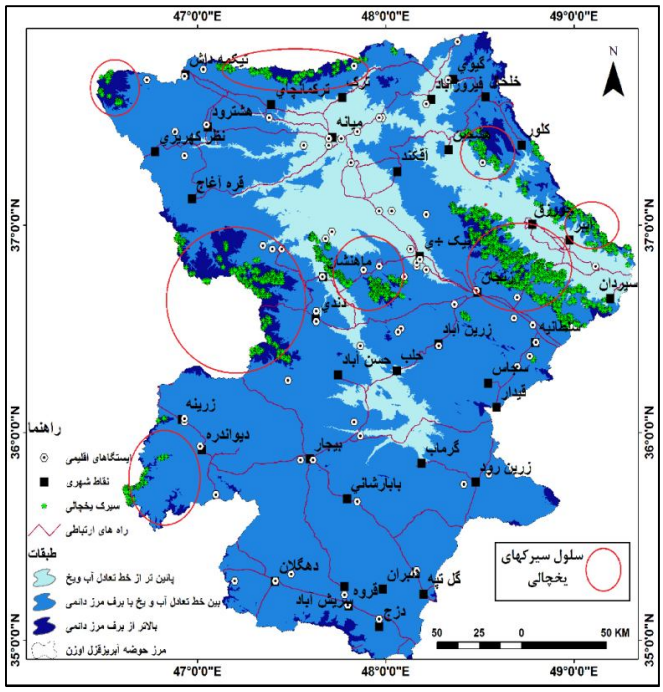
شکل ۳: سلول‌های آب‌وهوایی، دما (الف) بارش (ب).

سلول‌های برودتی

با توجه به فرم منحنی‌های میزان (رامشت، ۱۳۹۳: ۴۵) محدودهٔ موردمطالعه ۹۸۰ آثار سیرک یخچالی تیپیک کوچک و بزرگ مشخص شد. فرم منحنی میزان ها در نقشه های توپوگرافی به شکل بادبزن کوچک و فاصلهٔ کم بین منحنی‌های میزان، معرف کف سیرک است، منحنی‌های میزان در دیوارهٔ سیرک فشرده‌تر از کف سیرک بوده و سیرک حالت بادبزنی به خود می‌گیرد؛ علاوه بر آن چند آبراهه نیز در کف سیرک به هم می رسند. کمترین، بیشترین و میانگین ارتفاع سیرک‌های یخچالی شناسایی‌شده به ترتیب ۱۳۱۰، ۳۳۴۱ و ۲۲۱۵ متر از سطح دریاست. جهت غالب سیرک‌های یخچالی به ترتیب شمال شرق و شمال است. در دوران کواترنری با توجه به بارش مناسب، زبانه‌های یخی توانسته‌اند به پایین‌ترین حد خود برسند. بر اساس روش رایت ارتفاعی که ۶۰ درصد از سیرک ها بالاتر از آن هستند، به‌عنوان ارتفاع برف مرز دائمی و دمای دوران یخچالی آن صفر درجهٔ سانتی‌گراد بوده است (جعفری و اصغری سراسکانرود، ۱۳۹۲: ۲۲). با توجه به اعمال محاسبات روش رایت بر منطقهٔ موردنظر ارتفاع برف مرز دوران کواترنری ۲۳۷۱ متر از سطح دریا بوده است. به این معنا در سردترین دورهٔ حاکم بر منطقه، از این ارتفاع به بالا، برف به صورت دائمی در تمام طول سال وجود داشته است. متوسط دمای این خط (ارتفاع) معادل صفر درجه سانتی گراد بوده و ارتفاع بالاتر دمایی پائین‌تر از صفر درجه داشته است. آنچه معلوم است این است که هرچند مساحت کمی حدود ۲۶۲۸ کیلومترمربع از حوضهٔ موردمطالعه بالاتر از برف مرز دائمی گذشته قرار داشته اما نکتهٔ قابل‌تأمل آن است که در بهار علاوه بر بارش دریافتی فصل، ذوب برف ارتفاعات نیز موجب افزایش مقدار جریان رودخانه‌های سرچشمه گرفته از این مناطق می‌شود؛ به عبارتی هرچند مناطق بالاتر از ارتفاع برف مرز دائمی این حوضه وسعت کمی دارند ولی مقدار قابل‌توجه‌ای از آب ناشی ذوب بارش‌های جامد را دریافت کرده و به قزل‌اوزن جان دوباره می‌بخشند (شکل ۵).



شکل ۴: موقعیت ژئونرون‌های حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن

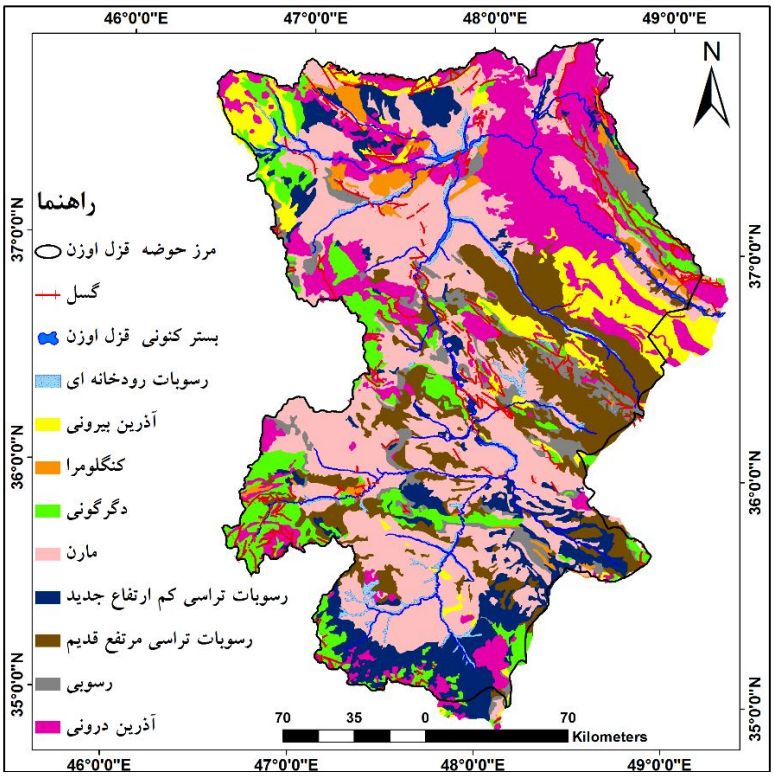


شکل ۵: سلول‌های برودتی- یخچالی

سلول‌های تکتونیکی: حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن ازنظر تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌شناسی در بین زون‌های سنندج-سیرجان، ایران مرکزی، آذربایجان و البرز واقع‌شده است. ازنظر تنوع زمین‌شناسی کشور ایران می‌توان سنگ‌هایی به اقدمت مختلف از پرکامبرین تا کواترنری را مشاهده نمود. در این میان شمال غرب کشور ساختمان بسیار پیچیده‌ای دارد به‌طوری‌که ساختمان‌های مختلفی را می‌توان در این منطقه مشاهده نمود (جداری عیوضی، ۱۳۹۲: ۲۸). پراکندگی سازندهای زمین‌شناسی منطقهٔ موردمطالعه به‌گونه‌ای

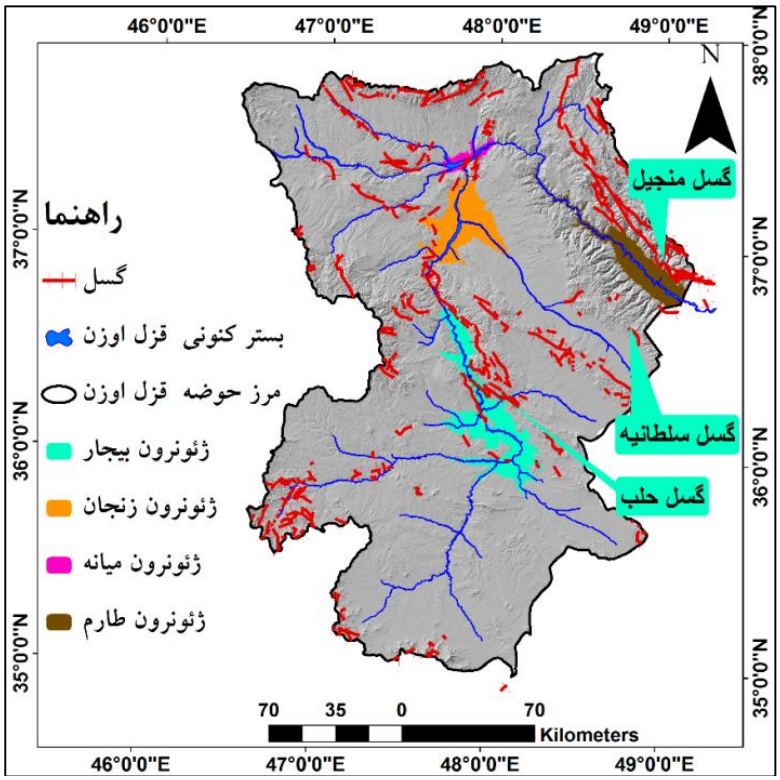
است کـه ارتفاعـات شـمالی زنجـان و ارتفاعـات دامنـهٔ شمالی کوه بلقیس از سـازندهای آذریـن تشـکیل‌شـده است. در حاشیه بستر رودخانهٔ قزل‌اوزن رسوبات آبرفتی وجود دارد که این رودخانه در ارتفاعات متفاوت برجـای گذاشته است؛ همچنین تراس‌های آبرفتی جدید و قدیم در دشت زنجان، میانه، بیجار و مخروط‌های‌افکنه طـارم به چشم می‌خورد. سنگ‌های دگرگونی نیز در ارتفاعـات شمالی طارم، قلعهٔ چای دامنهٔ جنوب غربـی سـهند کـه جزء حوضهٔ آبریـز قـزل‌اوزن اسـت وجـود دارنـد. مـارن ازجمله رسوباتی می‌باشـد کـه پراکنـدگی آن در مرکـز حوضه بیشتر از سایر قسمت‌ها است. در مسیر رودخانـهٔ قزل‌اوزن واحدهای مختلـف ازجملـه سـازند قـم شـامل مارن و ماسه‌سنگ‌های مارنی بامیـان لایـه‌هـای آهکـی، سازند سرخ بالایی شامل مارن و ماسه‌سنگ‌های نـازک، سرخ زیرین شامل تناوبی از مارن‌های سبز و قهـوه‌ای و سازند کرج شامل تـوف‌هـای آنـدزیتی، کلاسـتیم هـای توف‌دار، گدازه‌های آندزیتی به همـراه لایـه‌هـای نـازک آهک وجود دارد؛ همچنین سنگ‌های آتشفشانی شـامل آندزیت، بازالت، ریولیت، الیت و توف‌های اسیدی همراه نهشته‌های مربوط به نئوژن و کواترنری شـامل طبقـات سـرخ گـچ‌دار همـراه کنگلـومرای قاعـده‌ای و رسـوبات آبرفتی به چشم می‌خورد (بختیاری، ۱۳۹۴: ۳۴) وجـود گسـل‌هـا در شـبکهٔ آبراهـه‌ای نقـش مـؤثری دارنـد. پراکندگی گسل‌ها به‌گونه‌ای است که در قسمت سـراب حوضه، به‌خصوص در کوه‌های چهل‌چشمه کردستان تـا خروجی حوضه تمرکز بیشتری دارنـد. رونـد اکثـر ایـن گسل‌ها شمال غرب– جنـوب شـرق اسـت؛ مهـم‌تـرین گسل‌های ایـن منطقـه گسـل حلـب، گسـل سـلطانیه-زنجان، گسل منجیـل (قـزل‌اوزن) اسـت. گسـل حلـب، گسلی با راستای خم‌دار شـمال غربـی- جنـوب شـرقی است که با درازای بیش از ۶۰ کیلومتر در حاشیه بـاختر استان زنجان واقع‌شده است. گسل مـذکور دارای شـیب زیاد به سمت شمال شرقی است و بدین ترتیـب سـازند قم بالایی با شـیب زیـاد در برابـر نهشـته‌هـای آبرفتـی پلیوکواترنر قرار داده اسـت (پورکرمـانی، آریـن، ۱۳۷۸: ۳). در قسمت زنجان‌رود گسل فشاری سلطانیه، گسـلی است با درازای حـدود ۱۴۰ کیلـومتر و راسـتای شـمال باختر – جنوب خاوری که از فاصلهٔ ۸ کیلومتری جنوب و جنوب باختری شهر سلطانیه زنجان می‌گـذرد. شـیب این گسل به سمت جنوب باختر است و دیوارهٔ فرسـودهٔ گسل را می‌توان بـه‌روشـنی در تمـامی درازای آن دیـد. جنبش‌هـای فشـاری گسـل سـلطانیه ممکـن اسـت در شکل‌گیری فرونشست ابهر– زنجان نقـش داشـته باشـد (آقانباتی، ۱۳۸۵: ۵۴۷). در طارم نیز رانـدگی قـزل‌اوزن کـه نخسـتین بـار توسـط بربریـان و قریشـی (۱۳۶۳) شناسایی و معرفی‌شده است، گسـلی اسـت بـا راسـتای خم‌دار عمـومی شـمال غربـی – جنـوب شـرقی کـه در بخش شمالی قزل‌اوزن و بین کوه و درهٔ قـزل‌اوزن قـرار داشته و از زیر سد سفیدرود منجیـل مـی‌گـذرد (نقشـهٔ گسل‌های اصلی البرز مرکزی). درازای گسـل قـزل‌اوزن ۶۵ کیلومتر و شیب آن به‌سوی شـمال و شـمال شـرقی است و در راستای آن، سنگ‌های سازند ائوسن کـرج بـر روی مارن های نئوژن سازند قرمز بالایی و آبرفـت‌هـای کواترنری رانده‌شده است (شکل ۶).

گسل به‌عنوان نمادی از تکتونیـک در حوضـهٔ آبریـز قزل‌اوزن تأثیرات بسـزایی بـر رفتـار رودخانـه گذاشـته است. اغتشاش گسل‌ها بیشتر در سراب حوضـه مشـهود است. بیشتر گسل‌ها موازی و موافق بـا رودخانـه عمـل نموده‌انـد کـه توانسـته‌انـد راه را بـرای بسـتر رودخانـه هموارتر کنند و رودخانـه مسـیر خـود را پیـدا کنـد. بـا خارج شدن از سراب حوضه، گسل‌هـا بـه‌صـورت عمـود رودخانه را قطع کرده‌اند و رودخانه را وادار به فرسـایش خطی کرده‌اند. این برش‌ها در مناطقی اتفاق افتـاده کـه خـرده نـرون‌هـایی وجـود داشـته و آب در آن تجمـع پیـداکرده اسـت. وضـعیت فرسایشـی رودخانـه در گسل‌های عمود بر حوضه به ایـن صـورت اسـت کـه در محل گسل، فرسایش رودخانه خطی است و قبـل از آن فرسایش به‌صورت خط در سطح است. فرسـایش خطـی تنگ نرون‌هایی را ایجاد کـرده کـه بـه‌عنـوان نـرون یـا سیناپس شناخته می‌شـوند و فرسـایش خـط در سـطح سطوح کاوشـی و تراکمـی را شـکل داده کـه بـه‌عنـوان ژئونرون از آن‌ها یادشـده اسـت. از ایـن نظـر مـی‌تـوان ژئـونرون بیجـار را بـه‌عنـوان یـک ژئـونرون تکتـونیکی به‌حساب آورد.



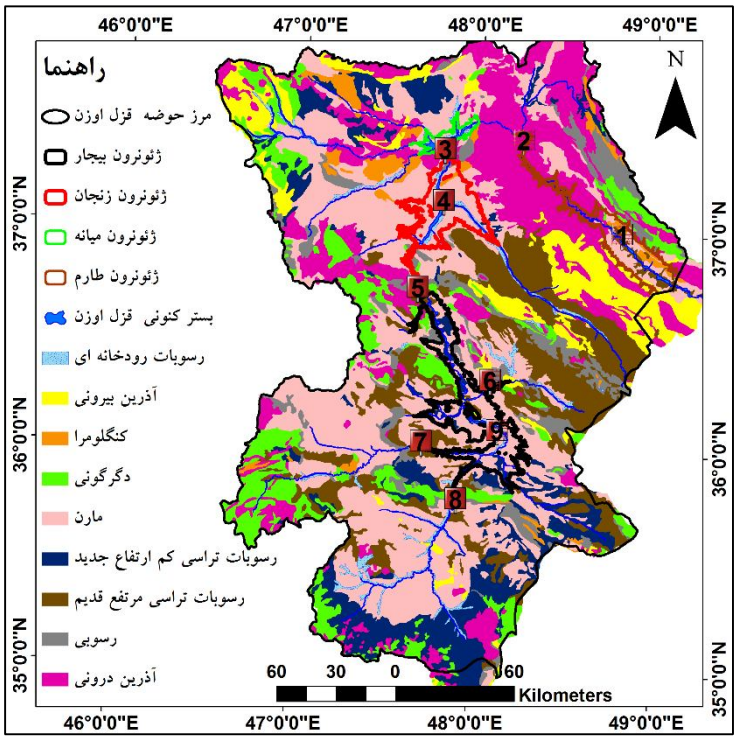
شکل ۶: نقشهٔ زمین‌شناسی محدودهٔ موردمطالعه

تعداد زیادی گسل در طرف ساحل چپ و راست رودخانهٔ قزل‌اوزن وجود دارند که مهم‌ترین آن‌ها گسل حلب است این گسل‌ها هم توانسته‌اند ژئونرون بیجار را بسازد و هم آن را از بین ببرند. گسل حلب در خروجی حوضه سجاس‌رود قرارگرفته است و با باز کردن مسیر نرون سجاس، مقدار ورود ماده را به ژئونرون بیجار افزایش داده است. این امر در منطقه با فرسایش خط در سطح ادامه‌دار شده است. امتداد گسل‌ها به‌گونه‌ای است که ازیک‌طرف باعث ایجاد ژئونرون بیجار شده‌اند و از طرف دیگر با تغییر مسیر گسل و تبعیت رودخانه از آن، امکان فرسایش و تخلیه ژئونرون بیجار را فراهم کرده است. در تنگ ماهنشان گسل‌های طویل و موازی با قزل‌اوزن وجود دارند که دقیقاً بر تنگ انطباق دارند. این گسل‌ها با برش لایه‌های مقاوم به جریان قزل‌اوزن کمک نموده‌اند تا تنگ ماهنشان را ایجاد کند و با فرسایش خطی وارد ژئونرون زنجان بشود. از طرفی وجود گسل‌های در ارتفاعات جنوبی و شمالی زنجان امکان گسترش عرضی ژئونرون زنجان را فراهم نموده‌اند. روند فرسایش در ژئونرون زنجان خط در سطح نامتقارن است. در رجعین نیز همانند ماهنشان گسل‌ها امکان فرسایش خطی را برای جریان قزل‌اوزن فراهم نموده‌اند. گسل‌های حوضهٔ قرنقوچای در ژئونرون میانه موازی با رودخانه است. این موازی بودن گسل‌ها در مناطق باعث شده که قزل‌اوزن از گسل‌ها تبعیت کند و جریان خود را ادامه دهد. با ورود قزل‌اوزن به طارم و عملکرد گسل منجیل (قزل‌اوزن) رودخانه شروع به کاوش عمقی (خطی) نموده است در این میان روند گسل منجیل در کاوش عمقی رودخانهٔ قزل‌اوزن مؤثر و بسیار تأثیرگذار بوده است (شکل ۷).



شکل ۷: نقشهٔ سلول‌های تکتونیکی حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن

سلول‌های لیتولوژیکی: با نگاهی فضایی به حوضهٔ آبریز قزل‌اوزن و تأکید بر لیتولوژی اثرات قابل‌توجه لیتولوژی در ساختار سلولی قزل‌اوزن آشکار می‌شود. این تأثیرات در ژئونرون‌ها و تنگ‌های ایجادشده توسط قزل‌اوزن بیشتر مشهود است. وجود دو تنگ قمچقای و بابارشانی (شماره ۷ و ۸ در شکل ۷) در سراب نشان‌دهندهٔ این است که درگذشته زیرحوضه‌های قروه و دهگلان و یول کشتی به‌عنوان نرون‌های مستقل عمل نموده‌اند. با ایجاد تنگ‌های مذکور توسط انحلال آهک که لیتولوژی تنگ‌ها را در برمی‌گیرد. این حوضه‌ها وارد ژئونرون بیجار شده و آن را تقویت کرده‌اند. ژئونرون بیجار یک ساختار مارنی دارد که این جنس به رودخانه اجازهٔ فرسایش خط در سطح را بر اساس قدرتش می‌دهد (شمارهٔ ۹ در شکل ۷) این جنس در منطقه سطح گسترده‌ای را در اختیار قزل‌اوزن قرار داده است و فرسایش قزل‌اوزن در سطح گسترش‌یافته است. دیگر تنگ‌های حوضهٔ موردمطالعه، سجاس است (شماره ۶ در شکل ۷) که لیتولوژی آهکی آن همانند دیگر تنگ‌ها عمل نموده است. تنگ ماهنشان نیز باوجود لیتولوژی متفاوت مقاوم و سست در دو طرف حوضه، چشم‌انداز زیبایی به خود گرفته است (شماره ۵ در شکل ۸؛ شکل ۹).



شکل ۸: سلول‌های لیتولوژیکی حوضهٔ‌آبریز قزل‌اوزن

شکل ۹: چشم‌اندازی از عملکرد گسل در لیتولوژی مختلف، دربند قاطرچی در ماهنشان

لیتولوژی غالب ساحل سمت چپ بخشی از تنگ ماهنشان، سنگ‌های مقاوم آذرین و آهک است و رودخانه را مجبور به فرسایش خطی کرده است و فرسایش سطحی این منطقه را کمتر تحت تأثیر قرار داده است. قلعهٔ بهستان در این قسمت از قزل‌اوزن به‌عنوان آثاری از تغییرات سطح اساس برجای‌مانده است که آثار برش ارتفاع بیش از ۱۰۰ متری را در خود محفوظ داشته است. در سمت راست رودخانهٔ غالب لیتولوژی با سنگ‌های سست و مارن است و با فراهم کردن شرایط فرسایش سطحی، باعث ایجاد مآندر در مناطق مختلف ازجمله ینگجه شده است. قزل‌اوزن در ژئونرون زنجان با جریان در لیتولوژی کاملاً سست (مارن) عملکرد خط در سطح نامتقارن دارد (شماره ۴ در شکل ۷). تنگ رجعین و هشتچین با لیتولوژی مقاوم آذرین و آهک قزل‌اوزن را وادار به فرسایش خطی کرده است. هشتچین با طول بیش از ۱۰۰ کیلومتر، حیات دوباره‌ای را به قزل‌اوزن داده است. قزل‌اوزن در طارم در لیتولوژی سست انرژی خود را به‌صورت خطی

(عمقی) دفع می‌کند به‌گونه‌ای که بررسی سطوح تراکمی و کاوشی منطقه دال بر حفر بستر قزل‌اوزن تا ۷۰۰ متر در طی دوره کواترنری است (به ترتیب شماره ۲،۳ و ۱ شکل ۷).

نتیجه‌گیری

در ایران نواحی کوهستانی مرتفع، شدت خشکی را کاهش می‌دهند. توزیع قلل مثل جزایر جدا از هم هست درنتیجه کم‌رنگ شدن شرایط خشکی وابسته به آن‌ها در سطح کشور به‌صورت مجزا از هم هستند؛ چنین تفکیکی باعث مطرح شدن بررسی مورفوکلیماتیک قزل‌اوزن گردید. نگاه مجرد و انتزاعی به ناهمواری‌ها و رودخانه‌ها باعث ارائه نظریه‌ای می‌شود که بر اساس آن باید ارتفاع بستر رودخانه و نواحی مسلط به آن از سراب به پایاب کاهش یابد. این وضعیت شاید در برخی از رودخانه‌ها غالب باشد ولی نمی‌توان آن را به همهٔ رودخانه‌ها تعمیم داد.

رودخانهٔ قزل‌اوزن هرچند از مناطق مرتفع چهل چشمه (با ارتفاع ۳۱۳۷ متر) در کوه‌های کردستان سرچشمه می‌گیرد ولی در طی مسیر از نواحی می‌گذرد که قلل مرتفع‌تری از چهل چشمه دارند و مساحت نواحی مرتفع نیز بیشتر است (بلقیس ۳۶۵۵، آق داغ ۳۳۲۱ و سهند ۳۷۰۷ متر). توزیع قلل که از آن به‌عنوان سلول ژئومورفولوژیکی یاد می‌شود، خود به‌صورت سلول‌های برودتی و رطوبتی عمل کرده و باعث تقویت دبی قزل‌اوزن می‌شوند و رودخانه را از خشک شدن نجات می‌دهد. توزیع سلول‌های لیتولوژیکی نیز در این زیرحوضه شرایط خاصی دارد. لیتولوژی سست در بستر قزل‌اوزن و لیتولوژی مقاوم در اطراف همراه لیتولوژی مقاوم چه در بستر و چه در اطراف به‌صورت چندین قطعه از سرچشمه تا پایاب توزیع‌شده‌اند. شدت فرسایش در رسوبات سست منجر به تسریع فرسایش و کم شیب شدن بستر رودخانه شده است و شدت کم فرسایش در لیتولوژی‌های مقاوم باعث کاهش سرعت فرسایش خطی و افزایش فرسایش خط در سطح توسط رودخانه در رسوبات سست می‌شود؛ در چنین شرایطی رودخانه در بالادست لیتولوژی مقاوم، با مآندرسازی ویژگی رودخانه پیر به خود می‌گیرد؛ درصورتی‌که در لیتولوژی مقاوم ضمن کاهش فرسایش خطی در بستر، سرعت آب یادشده و در رودخانه آبشارهای متعددی به وجود می‌آید.

توزیع سطوح تراکمی و کاوشی در قزل‌اوزن دلالت بر تغییر سطح اساس محلی در ژئونرون‌های بیجار، زنجان و طارم دارد به‌گونه‌ای که شیب یکنواخت سطوح تراکمی ناگهان شکسته شده و با اختلاف ارتفاع قابل‌توجه به سطوح کاوشی مسلط می‌شوند که دو چشم‌انداز متفاوت را به ارمغان می‌آورد: فرم‌های متعادل در سطوح تراکمی و فرم‌های نامتعادل در سطوح کاوشی.

از توزیع و امتداد گسل‌ها در حوضهٔ قزل‌اوزن تحت عنوان سلول‌های تکتونیکی یاد شد. امتداد گسل‌ها به‌گونه‌ای است که شرایط خاصی را برای رفتار رودخانهٔ قزل‌اوزن فراهم نموده است. امتداد اصلی گسل در ژئونرون بیجار عمود بر جریان رودخانهٔ قزل‌اوزن است. این منطقه را می‌توان یک ژئونرون تکتونیکی در نظر گرفت. در این مکان امتداد گسل‌ها عمود بر رودخانه بوده و آینهٔ گسل به سمت سراب حوضه است فعالیت‌های گسل اوج- حلب و شاخه‌های فرعی آن، منجر به فراخاست یک تودهٔ مقاوم عمود بر قزل‌اوزن شده و تغییر رفتار رودخانه را از خط در سطح در ژئونرون بیجار به خط در نرون ماهنشان به دنبال داشته است.

سلول‌های مختلف در حوضهٔ قزل‌اوزن از سراب تا پایاب در جهت پویایی این رودخانه توزیع متناسبی دارد و هرچند در پایاب قزل‌اوزن، سلول‌های رطوبتی تمرکز بیشتری دارند ولی توزیع آن‌ها در بخش‌های دیگر نیز باعث تقویت دبی رودخانه شده و با اثرگذاری ژئونرون‌های بیجار و زنجان در کاهش دبی ولی سلول‌های اثرگذار برودتی و رطوبتی وابسته به سلول‌های ژئومورفیکی، شرایط تغذیه مناسب رودخانه را فراهم نموده و از خشک شدن آن جلوگیری می‌کنند.

منابع

۱. ابراهیمی، بهروز، معماریان خلیل‌آباد، هادی، تاج‌بخش، سیدمحمد؛ آقاخانی افشار، امیرحسین، ۱۳۹۹. ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه های آبخیز به‌منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری. مطالعه موردی: حوضه آبخیز دشت مختاران، بیرجند. مجله آمایش جغرافیایی فضا, شماره ۱۰، دوره ۳۶، صص ۱۴۶-۱۲۳.

۲. احمدی، طیبه؛ غلامرضا محمدی، ۱۳۹۴. بررسی رفتار آبی رودخانه خرم آباد در شبکه ژئونروتیک و نقش آن در سیل‌خیزی منطقه. کنفرانس بین‌المللی توسعهٔ پایدار، صص ۸-۱.

۳. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ احمدی، طیبه،۱۳۹۴، رفتار آبی رودخانه اوجان در شبکهٔ ژئونروتیک، جغرافیای و توسعه، شماره ۳۸، صص ۷۴-۶۳.

۴. آقانباتی، سید علی،۱۳۸۵، زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

۵. باقری دونچالی، نصیبه، ۱۳۸۸. بررسی هیدروژئومورفولوژی حوضهٔ آبریز بابل رود با توجه به پتانسیل‌های اکوتوریستی، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.

۶. بختیاری، فاطمه، ۱۳۹۴. بررسی آستانه‌های ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوضهٔ آبریز قزل اوزن)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زنجان، دانشکده علوم ادبیات و علوم انسانی، گروه جغرافیا.

۷. بربریان، مانوئل؛ قرشی، منوچهر، ۱۹۸۴. نوزمین ساخت، لرزه‌زمین‌ساخت و خطر گسلش لرزه زا در منطقه احداث کارخانه ذوب سرب و روی زنجان، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران.

۸. پورکرمانی، محسن و آرین، مهران، ۱۳۷۸. تحلیل ساختاری گسل حلب، سومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ص ۶.

۹. جانانه، کریستینه؛ رجبی، معصومه، ۱۳۹۵. اثرات دورهٔ کواترنر در دریاها و دریاچه های ایران، دومین کنگرهٔ بین‌المللی علوم زمین و توسعهٔ شهری، ص ۱۲.

۱۰. جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سیزدهم، تهران.

۱۱. جعفری، غلام‌حسن و محمدی، هژیر، ۱۳۹۶. نقش تغییر سطوح اساس در تحولات کواترنری مطالعه موردی: حوضه آبریز قزل‌اوزن، اولین کنفرانس ملی اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیایی، دانشگاه زنجان، ص ۱۳.

۱۲. جعفری، غلام‌حسن؛ اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۳. بررسی آثار یخچالی کواترنری زنجان‌رود، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۲، صص ۳۰-۱۶.

۱۳. جعفری، غلام حسن؛ بختیاری، فاطمه، ۱۳۹۵، بررسی هیدرو-ژئونروتیک حوضهٔ آبی قزل‌اوزن، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۵، صص ۲۴۲-۲۲۱.

۱۴. حاجی کریمی، زهرا؛ محمدی، هژیر؛ شایان، سیاوش؛ یمانی، مجتبی؛ خوشرفتار، رضا، ۱۳۹۹. تحلیل فرآیندهای مورفودینامیکی مؤثر در تغییرات خط ساحلی دریای خزر در غرب گیلان. مطالعه موردی: دلتای رودخانه‌ای کرگانرود. مجله آمایش جغرافیایی فضا, شماره ۱۰، دوره ۳۶، صص۲۶۶-۲۴۹.

۱۵. خالقی، سمیه؛ روستایی، شهرام؛ خورشید دوست، علی‌محمد؛ رضایی‌مقدم، محمدحسین و قربانی، محمدعلی، ۱۳۹۵. قابلیت اتومای سلولی در شبیه‌سازی میزان تحول و فرسایش در سیستم رودخانه‌ای، مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبریز لیقوان، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۸، دوره ۲۰، صص ۱۳۸-۱۱۹.

۱۶. رامشت، محمدحسین، ۱۳۸۲. نظریه کیاس در ژئومورفولوژی، فصلنامه جغرافیا و توسعه، صص ۳۶-۱۳.

۱۷. رامشت، محمدحسین، ۱۳۸۵. تحلیل تطبیقی رفتار هیدرولوژیک رودخانه کر در شبکه ژئونروتیک، جغرافیا و توسعهٔ ناحیه‌ای، شماره ۵، صص ۶۹-۵۱.

۱۸. رامشت، محمدحسین، ۱۳۹۳. نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، چاپ هشتم، انتشارات سمت، تهران.

۱۹. زمردیان، محمدجعفر، ۱۳۹۲. مبانی ژئومورفولوژی: ۱ تکتونیک ژئومورفولوژی: ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک های درونی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، مشهد.

۲۰. زمردیان، محمدجعفر، ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ایران، جلد دوم: فرایندهای اقلیمی و دینامیک بیرونی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

۲۱. سحاب، محمدرضا، ۱۳۸۴. اطلس عمومی ایران و جهان سیاسی-طبیعی- اقتصادی-مصور، پدیدآورنده: بخش تحقیقات و مطالعات جغرافیائی، انتشارات

شهدادمؤسسهٔ جغرافیایی و کارتوگرافی سحاب، چاپ دوم، تهران.

۲۲. معتمد، احمد، ۱۳۸۲. جغرافیای کواترنر، انتشارات سمت، تهران.

23. Cheng, N.N., He, H.M., Yang, S.Y., Lu, Y. J., and Jing, Z.W. 2017. Impacts of topography on sediment discharge in Loess Plateau, China. Quaternary International, 440(2): 119-29.
24. Coulthard, T.J. 1999. Modelling upland catchment response to Holocene environmental change Doctoral dissertation University of Leeds.
25. Jafari, H., mohamadi, H. 2018. Qezezlowzan lakes Palimpsest. Quantitative Geomorphological Research, 7(2): 97-116.
26. Lacassie, J.P., and Ruiz, D.S.J. 2010. Application of artificial neural networks to the geochemical study of an impacted fluvial system, The 2010 International Conference, PP: 1-8.
27. Milliman, J.D., and Syvitski, J.P.M. 2013 Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers, the Journal of Geology, 100 (5): 525-544.
28. Nicholas, A.P. 2005. Cellular modelling in fluvial geomorphology. Earth Surface Processes and Landforms, 30(5): 645-649.
29. Paulinus, U.U., Ifedilichukwu, N.G., Ahamefula, A.C., Iheanyichukwu, O.A., Theophilus, E.T., and Edet, I.G. 2016. Morphometric Analysis of Sub-watersheds in Oguta and Environs, Southeastern Nigeria Using GIS and Remote Sensing Data. Journal of Geosciences, 4(2): 21-28.
30. Salim, A.H.A. 2014. Geomorphological analysis of the morphometric characteristics that determine the volume of sediment yield of Wadi Al-Arja, South Jordan, Journal of Geographical Sciences, 24(3): 457-474.