

تحلیل فضایی ژئومورفولوژیکی حوضه آبی قزل اوزن

غلامحسن جعفری^{۱*}، هژیر محمدی^۲

^۱استادیار گروه جغرافیا دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
^۲کارشناس 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 حوضه قزل اوزن و اتصال آن‌ها به‌وسیله 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 30^*30 لایه توپوگرافی حوضه قزل اوزن استخراج گردید. با استناد به نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ زمین‌شناسی، لایه‌های لیتولوژی و گسل و به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰ لایه آبراهه‌ها رقومی گردید. مناطق استراتژیک با ترسیم نقشه‌های لیتولوژی، هم‌بارش، هم‌دما، توپوگرافی، خط تعادل آب‌ویخ کواترنری و گسل در مسیر رودخانه اصلی مشخص گردید. از روش رایت برای برآورد ارتفاع برف مرز دائمی کواترنری استفاده شد. در منطقه بیجار، نزدیک سرچشمه قزل اوزن، ۶ زیرحوضه وجود دارد که شبکه آبراهه‌ای همگرای سطحی دارند، چنین عملکردی نشان از ژئونروتیکی حوضه دارد که بحث داشتن سطح اساس محلی برای شبکه رودخانه‌های قزل اوزن را به میان می‌آورد. شبکه ژئونروتیکی حوضه ناشی از اثرگذاری عوامل مختلفی است که از تمرکز آن عوامل در یک مکان به‌عنوان سلول یاد شده است. توزیع سلول‌های آب و هوایی بستگی به سلول‌های ژئومورفیکی دارد و تجدید ماده و انرژی را برای حوضه قزل اوزن 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، حوضه آبی قزل اوزن

مقدمه

غالب ژئومورفولوژیست‌ها تلاش کرده‌اند شکل تغییر و تحول ناهمواری‌ها را در یک‌روند قابل پیش‌بینی تبیین کنند. این‌منش، 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 تعریف شده، 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 (معمتمد، ۱۳۹۰: ۱۰). مورفولوژی حوضه‌ها و شبکه‌های رودخانه‌ای در پاسخ به تغییرات محیطی تغییر می‌کنند

سلولی انجام شده است، یعنی هر یک از عوامل به‌طور جداگانه در امتداد جریان رودخانه قزل‌اوزن و ژئونرون‌های گذشته مورد بررسی 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 حوضه آبریز قزل‌اوزن است که توانسته‌اند به ژئونرون‌ها و رودخانه قزل‌اوزن حیات دوباره بخشند. این مناطق که از نقاط مهم حوضه آبریز قزل‌اوزن به حساب می‌آیند با توجه به خصوصیات خود توانسته‌اند قزل‌اوزن را تجدید حیات نمایند. چیدمان این سلول‌ها (مناطق استراتژیک) به گونه‌ای است که هر کدام نظم خاصی را ایجاد نموده‌اند و با نبود آن‌ها شرایط در منطقه به نوع دیگر رقم می‌خورد. به عبارت دیگر با وجود اینکه 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 حوضه آبریز خزر مشهود است. یکی این‌که، قزل‌اوزن خط تقسیم البرز را شکافته و با جدا کردن حوضه‌های بسته دریاچه ارومیه و مسیله قم از یکدیگر، آب‌های بخشی از منطقه داخلی فلات را به دریای خزر هدایت می‌کند. این پدیده‌ای استثنایی و کم‌نظیر در جهان است که آب یک منطقه خشک به منطقه مرطوب می‌رود (زمردیان، ۱۳۹۲: ۱۰۲). بررسی سلولی حوضه آبریز قزل‌اوزن در قالب ۵ بخش تقسیم‌بندی شده است. در اینجا منظور از سلول، کوچک‌ترین واحد نیست بلکه مناطقی است که هرچند از نظر وسعت متفاوت اند اما نسبت به یک حوضه آبریزی مانند قزل‌اوزن، کوچک به حساب می‌آیند. سلول ژئومورفیکی به ویژگی خاص زیرحوضه‌هایی اشاره می‌کند که با وجود آن‌ها حوضه بزرگ تقویت می‌شود. حوضه‌های تقویت‌کننده، حوضه‌هایی هستند که خود به‌صورت مستقل عمل نموده‌اند. حجم ذخیره آبی آن، بعضاً دارای حد و آستانه

(کولتارد^۱، 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^۲، ۲۰۰۵: ۶۴۵). از این‌رو 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 درجه 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). حوضه آبریز قزل‌اوزن دارای بسترهای آبی متعددی است که با ایجاد شرایط محیطی خاص گاه رودخانه را وادار به ماندسازی 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 قهقراپی 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). حوضه آبریز قزل‌اوزن از جمله 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 هر کدام از این چاله‌ها به‌صورت حوضه‌های مستقل بوده‌اند. مستقل بودن هر یک از ژئونرون‌ها به شرایطی از جمله شرایط اقلیمی، لیتولوژی، تکتونیک، سطح اساس بستگی داشته است. بررسی این عوامل در حوضه آبریز قزل‌اوزن به‌صورت

1. Coulthard
2. Nicholas

شبکہ عصبی گفته می‌شود و وظیفه خاصی را در دریافت، پردازش و یا انتقال اطلاعات دارد. این واژه در ژئومورفولوژی با عنوان ژئونرون خوانده می‌شود. منظور از ژئونرون‌ها در شبکه‌های زهکش رودخانه‌ای، فضاهایی است که سبب اجتماع آب‌ها در محدوده خاصی می‌شوند. خطوط آبراهه‌ای که ارتباط‌دهنده ژئونرون‌ها هستند با عنوان اکسون‌های برداری شناخته می‌شوند (جعفری و بختیاری، ۱۳۹۵: ۲۲۲).

پیشینه تحقیق

لاکاسی و رویز^۱ (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی سیستم رودخانه‌ای به این نتیجه رسیدند که داده‌ها را می‌توان به تعداد محدودی تقسیم نمود که هر کدام از این گروه‌ها، در ارتباط با جریان رسوب به قسمت خاصی از سیستم رودخانه‌ای محدود می‌شوند. میلیمان و سیویتسکی^۲ (۲۰۱۳) در بررسی ژئومورفولوژی- زمین‌ساخت کنترل‌کننده رسوب دریایی، به اهمیت رودخانه‌های کوچک کوهستانی پی بردند. سلیم^۳ (۲۰۱۴) ویژگی‌های ژئومورفولوژیک مؤثر در رسوب را برای حوضه‌ای در جنوب اردن استخراج کرد. نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام نشان داد که دبی حوضه و درصد پوشش گیاهی بیشترین تأثیر را در رسوب‌زایی داشته‌اند. پایولینوس و همکاران^۴ (۲۰۱۶)، مورفومتری حوضه آبخیز اوقات^۵ نیجریه را با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS تجزیه و تحلیل 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 حوضه‌های مورد مطالعه است. چنج و همکاران^۶ (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

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 حوضه دیگر کرده و سبب تقویت حوضه بعدی می‌شود. این مناطق دارای خصوصیات منحصربه‌فردی است که از آن جمله به خروجی تنگ مانند حوضه می‌توان اشاره کرد. در سلول‌های آب و هوایی دو عنصر بارش و دما بیش از همه مدنظر قرار گرفته‌اند. در هر حوضه آبریزی معمولاً کانون‌هایی وجود دارند که بارش بیشتر و دمای کمتری نسبت به بقیه مناطق، دارند. این مناطق با وجود کم‌وسعت بودن خود تأثیر بسزایی در جریان‌های شبکه‌های آبراهه‌ای هر حوضه دارند. در اینجا منظور از واژه سلول‌های آب و هوایی، مناطقی هستند که بارش بیشتر و دمای کمتری دارند. سلول‌های یخچالی نیز زیرمجموعه سلول‌های آب و هوایی قرار می‌گیرند زیرا که با بارش‌های جامد، یخچال و سیرک‌های یخچالی را ایجاد می‌کنند. در سلول‌های تکتونیک تأکید بر گسل 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 غلبه فرسایش سطحی رودخانه می‌شود. خواه این تغییر مسیر باعث نابودی رودخانه و خواه باعث حیات مجدد آن گردد. در سلول‌های لیتولوژیک جنس زمین‌شناسی بستر رودخانه و حوضه آبریز از مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر پایداری و ناپایداری شبکه‌های زهکشی محسوب می‌شود. در اینجا منظور از سلول‌های لیتولوژیک این است که کدام‌یک از لیتولوژی‌ها در رفتار رودخانه نقش مهم‌تری داشته و توزیع فضایی آن‌ها چگونه است. در نتیجه می‌توان این‌گونه 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 شبکه عصبی را شکل می‌دهند. این مفاهیم برای بیان مفاهیم خاصی در شبکه نروتیک زهکش‌های رودخانه‌ای معادل‌سازی شده است. نرون به گره‌هایی موجود در

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

بررسی رفتار آبی رودخانه خرم‌آباد در شبکه ژئونروتیک با استفاده از روابط سیستم نرونوتیک شبکه زهکش‌ها و ژئونرون‌های مجازی، توپوگرافی و زمین‌شناسی پرداختند. جانانه و رجبی (۱۳۹۵) در بررسی اثرات دوره کوتاترنری در دریاها و دریاچه‌های ایران دریافتند که تغییر سطح اساس دریاها و دریاچه‌های ایران در دوره‌های یخچالی و بین یخچالی کاملاً مشابه تغییر در مقیاس جهانی بوده است. جعفری و بختیاری (۱۳۹۵) در بررسی هیدروژئونروتیک حوضه آبی قزل‌اوزن نتیجه گرفتند که مناطق واقع در پایاب زنگان‌رود، 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 کوتاترنری حوضه آبریز قزل‌اوزن را با اتکا بر نرم‌افزار GIS و شواهد ژئومورفولوژیکی از جمله انحراف و اسارت، مخروط‌های افکنه متداخل و آبراهه‌های همگرایی نقطه‌ای، به روش هندسه فراکتال بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که تغییر سطوح اساس محلی در ژئونرون‌های بیجار و زنگان به صورت افتادگی سطوح اراضی، در ژئونرون میانه به صورت مخروط‌افکنه کشیده قرنق‌چای و در طارم به صورت ۱۰ مخروط‌افکنه متداخل است. بعد فراکتالی $1/30$ حوضه 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 به منظور اولویت‌بندی عملیات اجرایی آبخیزداری در حوضه آبریز مختاران در بیرجند را بررسی نمودند.

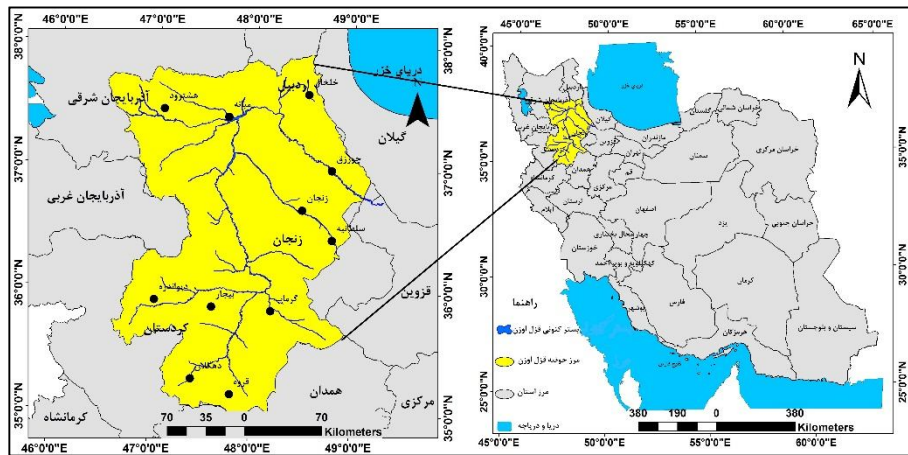
محدوده و قلمرو پژوهش

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

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 قلعه 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 (۲۴۲۵ متر) بالاتر از ارتفاع خط تعادل آب و یخ کوتاترنری قرار می‌گیرند. شواهد میدانی و بررسی لیتولوژی منطقه حاکی از آن است که یخچال‌های که از ارتفاعات بالا منشأ گرفته و به خوبی تغذیه می‌شدند. رامشت (۱۳۸۵) در تحلیل رفتار هیدرولوژیک رودخانه 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 آن که به حجم نزولات جوی بستگی داشته باشد، تابعی از سیستم نرونوتیک و مسائلی نظیر آن است. خالقی و همکاران (۱۳۹۳)، قابلیت مدل اتومای سلولی در شبیه‌سازی میزان تحول و فرسایش سیستم رودخانه‌ای حوضه آبریز ليقوان 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 رخ داده است. امیر احمدی و احمدی (۱۳۹۴) رفتار آبی رودخانه اوجان را در شبکه ژئونروتیک مورد تحلیل قرار دادند. این حوضه با تغییر اقلیم منطقه به صورت یک توپوژئونرون ایزوله درآمده است. توپوژئونرون ایزوله به چاله‌های جمع‌کننده آبی گفته می‌شود که در یک حوضه آبریز وسیع به صورت حوضه‌های مستقلی عمل کرده و سبب می‌شوند عملاً بخشی از رواناب حوضه اصلی در درون آن‌ها متمرکز شود و به سطح اساس حوضه اصلی نپیوندند. احمدی و محمدی (۱۳۹۴) به

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 قرار گرفته 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 بالغ بر ۴۹۴۰۰ کیلومترمربع است و بالاترین ارتفاع آن ۳۶۱۰ و کمترین ارتفاع آن ۲۳۹ متر از سطح دریاست (شکل ۱).

(سحاب، ۱۳۸۴: ۵۲). حوضه آبریز قزل‌اوزن از جمله زیرحوضه‌های دریای خزر است که از ارتفاعات چهل‌چشمه کردستان سرچشمه گرفته و بعد از وارد شدن به چاله بیجار از طریق تنگ‌های ماهنشان، رجعین، هشتجین وارد طارم شده و در نهایت پس از



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

ادامه حیات رودخانه مؤثر بوده، ترسیم گردید. یکی از روش‌های متداول تعیین ارتفاع، برف مرز دائمی کواترنری در بین محققان یخچالی ایران، روش رایج است. در این روش، پس از تشخیص تعداد و ارتفاع سیرک‌های یخچالی به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و محاسبه 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

روش تحقیق

در این پژوهش، ابتدا DEM ۳۰×۳۰ محدوده مورد نظر 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 محدوده مورد مطالعه، 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 لایه رودخانه‌های منطقه در نرم‌افزار Arc GIS رقومی گردید و به کمک آن‌ها سلول‌های ژئونروژیک مشخص شد. مناطق استراتژیک با ترسیم نقشه لیتولوژی و پراکندگی گسل در مسیر رودخانه با توجه به این که کدام لیتولوژی در

هستند که در بالادست به صورت همگرا بوده و در پایین دست، زمان ورود به نرون بعدی به صورت واگرا عمل می کنند و باعث شکل گیری مخروط های افکنه هر چند کم وسعت می شوند. حوضه ای مانند قرنقوچای زمانی که به قزل اوزن می رسد به علت دارا بودن شیب تند، مخروط افکنه بزرگی تشکیل داده است؛ بنابراین می توان گفت یکی از ویژگی های ذاتی این توپوژئونرون ها شکل گیری مخروط افکنه است. سراب قزل اوزن یعنی چهل چشمه به طرف بیجار، آب زیر حوضه های قره، دهگلان، گرماب، سجاس و حسن آباد یاسو کند به قزل اوزن هدایت می شوند که در یک نقطه به نام ژئونرون بیجار که یک توپوژئونرون هست جمع می شوند. الگوی شبکه های آبراهه ای چاله بیجار که به گیسویی شناخته می شود با گسترش عرضی بستر آبی رودخانه شکل گرفته اند که به همراه سرعت کم آب ناشی از شیب کم مسیر، سبب افزایش مقدار تخییر و تحلیل حجم زیادی از آب می گردند به گونه ای که علی رغم دریافت سرشاخه های نسبتاً پر آب، میزان آب خروجی کمتر از ورودی می گردد. به چنین وضعیتی در شبکه آبراهه ای ژئونرون، تحلیل برنده گفته شده است. مواد این ژئونرون بعد از ورود به نرون یا سیناپس ماهنشان با طول ۷۰ کیلومتری رژیم جریان قزل اوزن تغییر می کند چون با ورود رودخانه انگوران چای، پالتی، قلعه چای، مهرآباد و سایر زیر حوضه هایی که تقویت کننده به شمار می آیند و از مناطقی که جزء سلول های مرطوب آب و هوایی سرچشمه می گیرند، حیات دوباره قزل اوزن را همراه دارند. در این منطقه به دلیل دریافت آبراهه های متعدد از دو طرف تنگ، قزل اوزن را از روند میرایی نجات داده و حیات دوباره ای به آن می بخشند. ساختار تنگ مانند و عمیق بودن این منطقه باعث می شود که آب کمتر تحلیل برود. ژئونرون زنجان، به این دلیل شیب کم، محل اتصال ژئونرون های تقویت کننده به تحلیل برنده شناخته می شود و نتوانسته مخروط افکنه وسیعی بسازد. تغییر سطح اساس در چاله زنجان شرایطی را فراهم نموده که به قزل اوزن امکان فرسایش خط در سطح را فراهم نموده ولی با توجه به

گردید؛ همچنین از نرم افزارهای Global, Arc GIS mapper و Excel برای تجزیه و تحلیل داده ها استفاده شده است. بین دما و ارتفاع، بارش و ارتفاع ایستگاه ها روابط رگرسیونی گرفته شد (روابط ۱ و ۲). برای به دست آوردن نقاط و سلول های مهم در آب و هوا نقشه هم دما و هم بارش در نرم افزار GIS در ایکستنشن Raster calculator رابطه های دما و بارش را وارد نموده و با اعمال DEM در روابط خطوط هم دما و هم بارش ترسیم گردید. به کمک چنین نقشه هایی سلول های برودتی، حرارتی و رطوبتی شناسایی و تجزیه و تحلیل شد.

$$\text{رابطه ۱: دما } Y = -0/0045x + 18/06 \quad R^2 = 0/8362$$

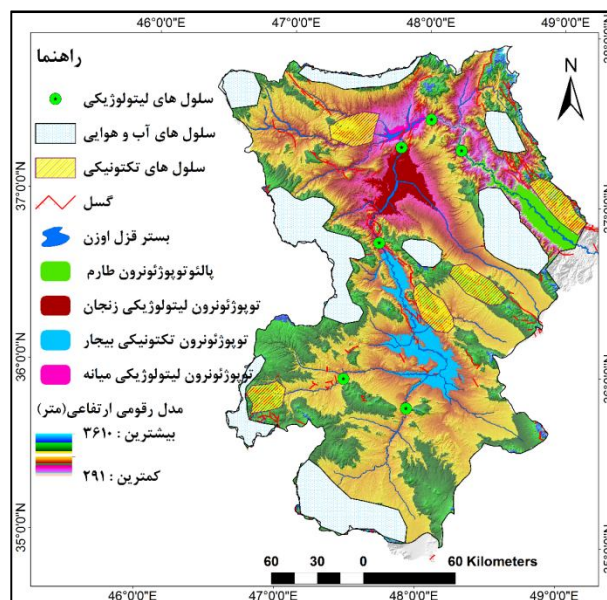
$$\text{رابطه ۲: بارش } Y = 0/2008x - 36/603 \quad R^2 = 0/753$$

یافته های تحقیق

درهم تنیدگی سلول های ژئومورفولوژیک و آب و هوایی: مفهوم درهم تنیدگی در سلول ها یعنی این که در بررسی دو عامل یک عامل پیش نیاز عامل دیگر شود و یکی بدون دیگری قابل تشریح نباشد. از ویژگی رودخانه های حوضه آبریز خزر این است که دائمی است و در مقایسه با سایر نواحی کشور جریانی تند دارد و هم زمان با آن شبکه آبی بسیار متراکمی را به وجود آورده اند؛ حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد از آب آن ها در بهار جریان دارد، یعنی غالب بارش های منطقه در فصل بهار است و به طور کلی دبی آن ها منظم است (زمردیان، ۱۳۹۲: ۱۰۲). هر زیر حوضه ای از این حوضه وسیع برای رودخانه اصلی به عنوان یک حوضه تقویت کننده شناخته می شود. مشخصه این نوع از توپوژئونرون ها، آبراهه های نقطه ای یا خطی همگراست که منجر به تجمیع رواناب ها پیرامون یک سطح یا نقطه مشخص می شوند. این امر خود باعث کاهش حضور و ماندگاری آب در طبیعت می گردد. در این مناطق به علت شیب زیاد، بعد از هر بارشی، نفوذ آب کم شده و به سرعت به رواناب تبدیل می گردد و آب به زهکش اصلی منطقه یعنی قزل اوزن هدایت شده و طغیان رودخانه را به دنبال داشته است. توپوژئونرون های تقویت کننده قزل اوزن به گونه ای

قزل‌اوزن با عبور از نرون رجعین و وارد شدن به چاله میانه حوضه‌های آبریز بزرگی همچون قرنقوچای و گندگدی 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).

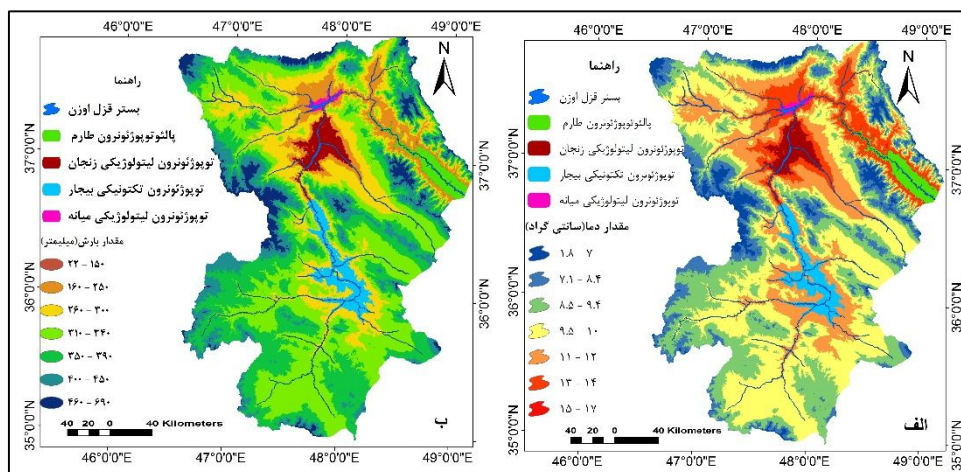
وضعیت شیب زمین‌شناسی و شیب توپوگرافی، فرسایش خط در سطح نامتقارن رخ داده است؛ یعنی با تغییر سطح اساس، بستر قزل‌اوزن به‌عنوان معبر اصلی انرژی و ماده بیش از هر مکانی تحت تأثیر قرار گرفته و حفر شده است. با این وجود لیتولوژی سست مارن، امکان انتشار انرژی را در سطح نیز فراهم نموده است. منتهی با این ویژگی که شیب زمین‌شناسی 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 این طرف رودخانه فراهم نموده است. چنین گسترشی امکان تحلیل آب را در این ژئونرون فراهم نموده است.



شکل ۲: نقشه ژئومورفولوژی مورفوکلیماتیک حوضه قزل‌اوزن

می‌توان نتیجه گرفت که قزل‌اوزن یک حوضه خشک و نیمه‌خشک است که کمتر می‌توان تصور کرد که یک حوضه از منطقه‌ای خشک وارد یک منطقه 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).

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 منطقه مرطوب خزری، تقویت کنند. با توجه به توضیحات و عوامل گفته‌شده

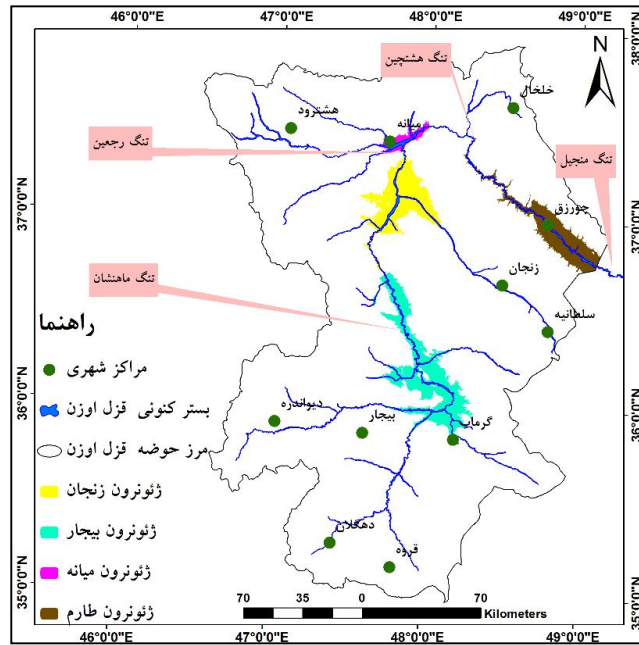


شکل ۳: سلول‌های آب‌وهوایی، دما (الف) بارش (ب).

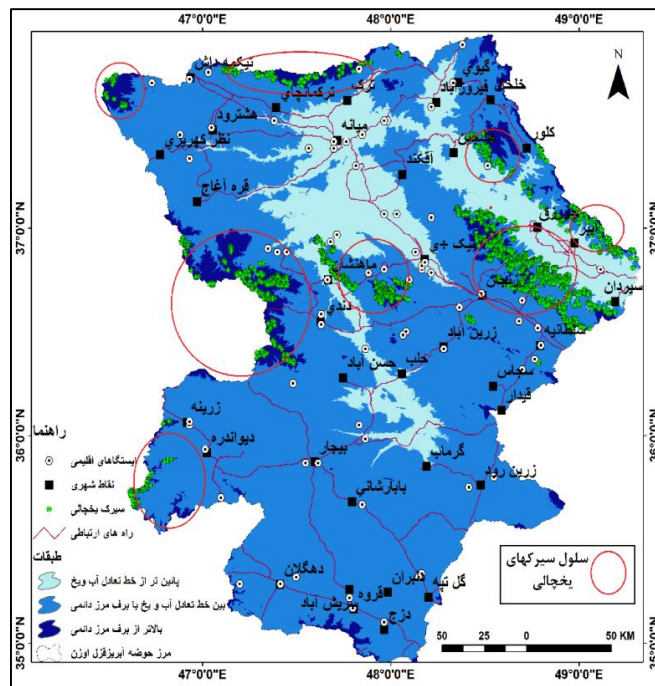
۱۳۹۲: ۲۲). با توجه به اعمال محاسبات روش راییت بر منطقه مورد نظر ارتفاع برف مرز دوران کواترنری ۲۳۷۱ متر از سطح دریا بوده است. به این معنا در سردترین دوره حاکم بر منطقه، از این ارتفاع به بالا، برف به صورت دائمی در تمام طول سال وجود داشته است. متوسط دمای این خط (ارتفاع) معادل صفر درجه سانتی گراد بوده و ارتفاع بالاتر دمایی پایین‌تر از صفر درجه داشته است. آنچه معلوم است این است که هرچند مساحت کمی حدود ۲۶۲۸ کیلومترمربع از حوضه مورد مطالعه بالاتر از برف مرز دائمی گذشته قرار داشته اما نکته قابل تأمل 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 قابل توجهی از آب ناشی از ذوب بارش‌های جامد را دریافت کرده و به قزل‌اوزن جان دوباره می‌بخشند (شکل ۵).

سلول‌های بروندی

با توجه به فرم منحنی‌های میزان (رامشت، ۱۳۹۳: ۴۵) محدوده مورد مطالعه ۹۸۰ آثار سیرک یخچالی تپیک کوچک و بزرگ مشخص شد. فرم منحنی میزان‌ها در نقشه‌های توپوگرافی به شکل بادبزنی کوچک و فاصله کم بین منحنی‌های میزان، معرف کف سیرک است، منحنی‌های میزان در دیواره سیرک فشرده‌تر از کف سیرک بوده و سیرک حالت بادبزنی به خود می‌گیرد؛ علاوه بر آن چند آبراهه نیز در کف سیرک به هم می‌رسند. کمترین، بیشترین و میانگین ارتفاع سیرک‌های یخچالی شناسایی شده 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 راییت ارتفاعی که ۶۰ درصد از سیرک‌ها بالاتر از آن هستند، به عنوان ارتفاع برف مرز دائمی و دمایی دوران یخچالی آن صفر درجه سانتی‌گراد بوده است (جعفری و اصغری سراسکانرود،



شکل ۴: موقعیت ژئوترون‌های حوضه آبریز قزل‌اوزن



شکل ۵: سلول‌های برودتی - یخچالی

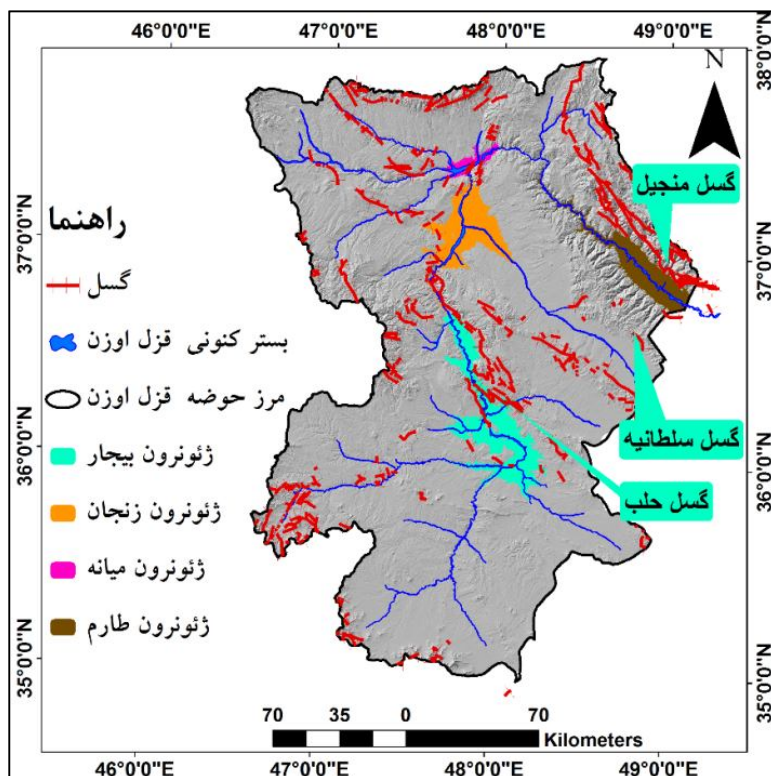
کواترنری را مشاهده نمود. در این میان شمال غرب کشور ساختمان بسیار پیچیده‌ای دارد به طوری که ساختمان‌های مختلفی را می‌توان در این منطقه مشاهده نمود (جداری عیوضی، ۱۳۹۲: ۲۸). پراکندگی سازندهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به گونه‌ای

سلول‌های تکتونیکی: حوضه آبریز قزل‌اوزن از نظر تقسیم‌بندی واحدهای زمین‌شناسی در بین زون‌های سنندج-سیرجان، ایران مرکزی، آذربایجان و البرز واقع شده است. از نظر تنوع زمین‌شناسی کشور ایران می‌توان سنگ‌هایی به اقدمت مختلف از پرکامبرین تا

است که ارتفاعات شمالی زنجان و ارتفاعات دامنه شمالی کوه بلقیس از سازندهای آذرین تشکیل شده است. در حاشیه بستر رودخانه قزل اوزن رسوبات آبرفتی وجود دارد که این رودخانه در ارتفاعات متفاوت برجای گذاشته است؛ همچنین تراس‌های آبرفتی جدید و قدیم در دشت زنجان، میانه، بیجار و مخروط‌های افکنه طارم به چشم می‌خورد. سنگ‌های دگرگونی نیز در ارتفاعات شمالی طارم، قلعه چای دامنه جنوب غربی سه‌هند که جزء حوضه آبریز قزل اوزن است وجود دارند. مارن از جمله رسوباتی می‌باشد که پراکندگی آن در مرکز حوضه بیشتر از سایر قسمت‌ها است. در مسیر رودخانه قزل اوزن واحدهای مختلف از جمله سازند قم شامل مارن و ماسه‌سنگ‌های مارنی بامیان لایه‌های آهکی، سازند سرخ بالایی شامل مارن و ماسه‌سنگ‌های نازک، سرخ زیرین شامل تناوبی از مارن‌های سبز و قهوه‌ای و سازند کرج شامل توف‌های آندزیتی، کلاستیم‌های توف‌دار، گدازه‌های آندزیتی به همراه لایه‌های نازک آهک وجود دارد؛ همچنین سنگ‌های آتشفشانی شامل آندزیت، بازالت، ریولیت، الیت و توف‌های اسیدی همراه نهشته‌های مربوط به نئوژن و کواترنری شامل طبقات سرخ گچ‌دار همراه کنگلومرای قاعده‌ای و رسوبات آبرفتی به چشم می‌خورد (بختیاری، ۱۳۹۴: ۳۴) وجود گسل‌ها در شبکه آبراه‌های نقش مؤثری دارند. پراکندگی گسل‌ها به گونه‌ای است که در قسمت سراب حوضه، به‌خصوص در کوه‌های چهل‌چشمه کردستان تا خروجی حوضه تمرکز بیشتری دارند. روند اکثر این گسل‌ها شمال غرب - جنوب شرق است؛ مهم‌ترین گسل‌های این منطقه گسل حلب، گسل سلطانیه - زنجان، گسل منجیل (قزل اوزن) است. گسل حلب، گسلی با راستای خم‌دار شمال غربی - جنوب شرقی است که با درازای بیش از ۶۰ کیلومتر در حاشیه باختر استان زنجان واقع شده است. گسل مذکور دارای شیب زیاد به سمت شمال شرقی است و بدین ترتیب سازند قم بالایی با شیب زیاد در برابر نهشته‌های آبرفتی پلیوکواترنر قرار داده است (پورکرمانی، آرین، ۱۳۷۸: ۳). در قسمت زنجان رود گسل فشاری سلطانیه، گسلی است با درازای حدود ۱۴۰ کیلومتر و راستای شمال

باختر - جنوب خاوری که از فاصله ۸ کیلومتری جنوب و جنوب باختری شهر سلطانیه زنجان می‌گذرد. شیب این گسل به سمت جنوب باختر است و دیواره فرسوده گسل را می‌توان به‌روشنی در تمامی درازای آن دید. جنبش‌های فشاری گسل سلطانیه ممکن است در شکل‌گیری فرونشست ابر - زنجان نقش داشته باشد (آقانباتی، ۱۳۸۵: ۵۴۷). در طارم نیز راندگی قزل اوزن که نخستین بار توسط بربریان و قریشی (۱۳۶۳) شناسایی و معرفی شده است، گسلی است با راستای خم‌دار عمومی شمال غربی - جنوب شرقی که در بخش شمالی قزل اوزن و بین کوه و دره قزل اوزن قرار داشته و از زیر سد سفیدرود منجیل می‌گذرد (نقشه گسل‌های اصلی البرز مرکزی). درازای گسل قزل اوزن ۶۵ کیلومتر و شیب آن به سوی شمال و شمال شرقی است و در راستای آن، سنگ‌های سازند ائوسن کرج بر روی مارن‌های نئوژن سازند قرمز بالایی و آبرفت‌های کواترنری رانده شده است (شکل ۶).

گسل به‌عنوان نمادی از تکتونیک در حوضه آبریز قزل اوزن تأثیرات بسزایی بر رفتار رودخانه گذاشته است. اغتشاش گسل‌ها بیشتر در سراب حوضه مشهود است. بیشتر گسل‌ها موازی و موافق با رودخانه عمل نموده‌اند که توانسته‌اند راه را برای بستر رودخانه هموارتر کنند و رودخانه مسیر خود را پیدا کند. با خارج شدن از سراب حوضه، گسل‌ها به‌صورت عمود رودخانه را قطع کرده‌اند و رودخانه را وادار به فرسایش خطی کرده‌اند. این برش‌ها در مناطقی اتفاق افتاده که خرده نرون‌هایی وجود داشته و آب در آن تجمع پیدا کرده است. وضعیت فرسایشی رودخانه در گسل‌های عمود بر حوضه به این صورت است که در محل گسل، فرسایش رودخانه خطی است و قبل از آن فرسایش به‌صورت خط در سطح است. فرسایش خطی تنگ نرون‌هایی را ایجاد کرده که به‌عنوان نرون یا سیناپس شناخته می‌شوند و فرسایش خط در سطح سطوح کاوشی و تراکمی را شکل داده که به‌عنوان ژئونرون از آن‌ها یاد شده است. از این نظر می‌توان ژئونرون بیجار را به‌عنوان یک ژئونرون تکتونیکی به حساب آورد.



شکل ۷: نقشه سلول‌های تکتونیکی حوضه آبریز قزل‌اوزن

بیجار یک ساختار مارنی دارد که این جنس به رودخانه اجازه فرسایش خط در سطح را بر اساس قدرتش می‌دهد (شماره ۹ در شکل ۷) این جنس در منطقه سطح گسترده‌ای را در اختیار قزل‌اوزن قرار داده است و فرسایش قزل‌اوزن در سطح گسترش یافته است. دیگر تنگ‌های حوضه مورد مطالعه، سجاجاس است (شماره ۶ در شکل ۷) که لیتولوژی آهکی آن همانند دیگر تنگ‌ها عمل نموده است. تنگ ماهنشان نیز با وجود لیتولوژی متفاوت مقاوم و سست در دو طرف حوضه، چشم‌انداز زیبایی به خود گرفته است (شماره ۵ در شکل ۸؛ شکل ۹).

سلول‌های لیتولوژیکی: با نگاهی فضایی به حوضه آبریز قزل‌اوزن و تأکید بر لیتولوژی اثرات قابل توجه لیتولوژی در ساختار سلولی قزل‌اوزن آشکار می‌شود. این تأثیرات در ژئونرون‌ها و تنگ‌های ایجاد شده توسط قزل‌اوزن بیشتر مشهود است. وجود دو تنگ قمچقای و بپارشانی (شماره ۷ و ۸ در شکل ۷) در سراب نشان‌دهنده این است که در گذشته 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

می‌شود؛ در چنین شرایطی رودخانه در بالادست لیتولوژی مقاوم، با ماندسازی و ویژگی رودخانه پیر به خود می‌گیرد؛ در صورتی که 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 به گونه‌ای که شیب یکنواخت سطوح تراکمی ناگهان شکسته شده و با اختلاف ارتفاع قابل توجه 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 حوضه قزل‌اوزن تحت عنوان سلول‌های تکتونیکی یاد شد. امتداد گسل‌ها به گونه‌ای است که شرایط خاصی را برای رفتار رودخانه قزل‌اوزن فراهم نموده است. امتداد اصلی گسل در ژئونرون بیجار عمود بر جریان رودخانه قزل‌اوزن است. این منطقه را می‌توان یک ژئونرون تکتونیکی در نظر گرفت. در این مکان امتداد گسل‌ها عمود بر رودخانه بوده و آینه گسل به سمت سراب حوضه است فعالیت‌های گسل اوج-حلب و شاخه‌های فرعی آن، منجر به فراخاست یک توده 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 حوضه 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.

(عمقی) دفع می‌کند به گونه‌ای 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 قلیل مثل جزایر جدا از هم هست در نتیجه کم‌رنگ شدن شرایط خشکی وابسته به آن‌ها در سطح کشور به صورت 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 همه رودخانه‌ها تعمیم داد.

رودخانه قزل‌اوزن هرچند از مناطق مرتفع چهل چشمه (با ارتفاع ۳۱۳۷ متر) در کوه‌های کردستان سرچشمه می‌گیرد ولی در طی مسیر از نواحی می‌گذرد که قلیل مرتفع‌تری از چهل چشمه دارند و مساحت نواحی مرتفع نیز بیشتر است (بلقیس ۳۶۵۵، آق داغ ۳۳۲۱ و سه‌سند ۳۷۰۷ متر). توزیع قلیل که از آن به عنوان سلول ژئومورفولوژیکی یاد می‌شود، خود به صورت 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 به صورت چندین قطعه از سرچشمه تا پایاب توزیع شده‌اند. 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

منابع

۱. ابراهیمی، بهروز، معماریان خلیل آباد، هادی، تاجبخش، سیدمحمد؛ آقاخانی افشار، امیرحسین، ۱۳۹۹. ارزیابی توان اکولوژیک واحدهای هیدرولوژیک حوضه های آبخیز به منظور اولویت بندی 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 ژئوروتیک و نقش آن در سیل خیزی منطقه. کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، صص ۸-۱.
۳. امیراحمدی، ابوالقاسم؛ احمدی، طیبه، ۱۳۹۴. رفتار آبی رودخانه اوجان در شبکه ژئوروتیک، جغرافیای و توسعه، شماره ۳۸، صص ۷۴-۶۳.
۴. آقاناتی، سید علی، ۱۳۸۵، زمین شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
۵. باقری دونچالی، نصیبه، ۱۳۸۸. بررسی هیدروژئومورفولوژی حوضه آبریز بابل رود با توجه به پتانسیل های اکوتوریستی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا.
۶. بختیاری، فاطمه، ۱۳۹۴. بررسی آستانه های ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه 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، لرزه زمین ساخت و خطر گسلش لرزه زا در منطقه احداث کارخانه ذوب سرب و روی زنجان، سازمان زمین شناسی کشور، تهران.
۸. پورکرمانی، محسن و آرین، مهران، ۱۳۷۸. تحلیل ساختاری گسل حلب، سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، ص ۶.
۹. جانانه، کریستینه؛ رجبی، معصومه، ۱۳۹۵. اثرات دوره کوآترن در دریاها و دریاچه های ایران، دومین کنگره بین المللی علوم زمین و توسعه شهری، ص ۱۲.
۱۰. جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۹۲. ژئومورفولوژی ایران، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ سیزدهم، تهران.
۱۱. جعفری، غلام حسن و محمدی، هژیر، ۱۳۹۶. نقش تغییر سطوح اساس در تحولات کوآترنری مطالعه موردی: حوضه آبریز قزل اوزن، اولین کنفرانس ملی اندیشه ها و فناوری های نوین در علوم جغرافیایی، دانشگاه زنجان، ص ۱۳.
۱۲. جعفری، غلام حسن؛ اصغری سراسکانرود، صیاد، ۱۳۹۳. بررسی آثار یخچالی کوآترنری زنجان رود، پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، سال ۳، شماره ۲، صص ۳۰-۱۶.
۱۳. جعفری، غلام حسن؛ بختیاری، فاطمه، ۱۳۹۵. بررسی هیدروژئوروتیک حوضه آبی قزل اوزن، 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 رودخانه ای کرگانرود. مجله آمایش جغرافیایی فضا، شماره ۱۰، دوره ۳۶، صص ۲۶۶-۲۴۹.
۱۵. خالقی، سمیه؛ روستایی، شهرام؛ خورشید دوست، علی محمد؛ رضایی مقدم، محمدحسین و قربانی، محمدعلی، ۱۳۹۵. قابلیت اتومای سلولی در شبیه سازی میزان تحول و فرسایش در سیستم رودخانه ای، مطالعه موردی: حوضه آبریز ليقوان، جغرافیا و برنامه ریزی، 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 ژئوروتیک، جغرافیا و توسعه ناحیه ای، شماره ۵، صص ۶۹-۵۱.
۱۸. رامشت، محمدحسین، ۱۳۹۳. نقشه های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، چاپ هشتم، انتشارات سمت، تهران.
۱۹. زمردیان، محمدجعفر، ۱۳۹۲. مبانی ژئومورفولوژی: ۱ تکنونیک 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

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.
- شهادادمؤسسه 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.