

جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره بیست و نهم، بهار ۱۳۹۸

صص ۱-۲۳

DOI: <https://doi.org/10.22067/geo.v0i0.71338>

بررسی رفتار آشوبناک فرایندهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز قزل‌اوزن

غلام حسن جعفری^۱- دانشیار ژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.
هژیر محمدی- کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۹

چکیده

ژئومورفولوگ‌ها معمولاً به‌عنوان یک اصل ضروری به تشریح گذشته و حال پرداخته و آینده فرایندها را پیش‌بینی می‌کنند تا ماهیت و سرعت تغییرات را درک نمایند. آشوب به معنای نظم در بی‌نظمی است. این پژوهش بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی، سعی دارد رفتار آشوبناک فرایندهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز قزل‌اوزن را مورد مطالعه قرار دهد. به این منظور تغییرات سطح اساس، اسارت و انحراف رودخانه، قطع ناگهانی سطوح تراکمی، مخروط‌های افکنه متداخل، سلول‌های هیدروژئومورفولوژیکی، دومینوی ژئومورفولوژیکی، گنبدهای نمکی و ضریب فرسایش قهقرایی در زیرحوضه‌های قزل‌اوزن مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که آثار تغییرات سطوح اساس محلی در دو ژئونرون بیچار و زنجان رود به‌صورت سطوح تراکمی منعکس شده است. همین تغییرات منجر به اسارت و انحراف رودخانه‌های قلعه‌چای، مهرآباد و انگوران چای شده است. تغییر سطوح اساس در ژئونرون طارم در دو طرف قزل‌اوزن بیش از ۱۰ مخروط‌افکنه متداخل برجای گذاشته است. شبکه ژئونرونیکی حوضه از عوامل مختلفی متأثر شده که از تجمع آن‌ها به‌عنوان سلول یاد شده است. توزیع سلول‌های لیتولوژیکی و تکتونیکی موجب فرسایش خطی یا خط در سطح رودخانه شده است. انرژی ناشی از تغییرات سطح اساس برون حوضه‌ای، از بالاترین رتبه آبراهه یک حوضه، مانند مهره‌های دومینو تا آبراهه‌های رتبه یک منتقل می‌شود. در برونزد گنبدهای نمکی قزل‌اوزن، علاوه بر دی‌پایر و زمین‌ساخت، کاوش و حفر رودخانه‌های حوضه قزل‌اوزن نقش اساسی داشته‌اند. بعد فرکتال بین ۱ تا ۲ اکثر زیرحوضه‌ها حاکی از فرکتال خط در سطح است. بعد فرکتالی بالاتر از ۲ در بقیه زیرحوضه‌ها، دال بر فرکتال در سطح است. میانگین ضریب فرسایش قهقرایی در رتبه یک آبراهه‌های زنجان و طارم دلالت بر تخلیه ماده و انرژی ژئونرون طارم به‌صورت خطی دارد.

کلیدواژه: ژئونرون، سطح اساس، دومینو، آشوب، تعادل، گنبد نمکی، سلول ژئومورفیک

۱. مقدمه

تئوری آشوب برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط ادوارد لورنز در هواشناسی به کار رفت وی آن را به یک علم تبدیل کرد (کرم، ۱۳۸۹). کیاس^۱ در لغت به معنی درهم ریختگی، آشفتگی و بی نظمی است و مترادف آن در مکانیک تلاطم^۲ است؛ این واژه به معنی فقدان هرگونه ساختار یا نظم است معمولاً در محاورات روزمره، آشوب و آشفتگی نشانه بی نظمی و سازمان نیافتگی است و جنبه منفی در بردارد (سید جوادین، ۱۳۸۸). Poincaré در سال ۱۹۱۳ اولین کسی بود که ثابت کرد مسئله سه جسم، مسئله آشوبناک و غیرقابل حل است. مسئله سه جسم به محاسبه و تعیین مدار حرکت قمرهای طبیعی به دور یک سیاره اشاره دارد. پوانکاره بیان کرد که اگر یک قمر دوم به قمر اول یک سیاره اضافه شود، به دلیل اعمال نیروی غیرخطی جاذبه سه جسم بر یکدیگر، محاسبه مدار حرکت قمرها مسئله آشوبناک و غیرقابل حل می شود. اگرچه از دیدگاه فلسفی چنین مفهومی بیشتر به یک مغالطه شبیه است ولی اندکی بعد از بیان این تئوری، چنان رشد و گسترشی یافت که بر مبنای یافته های Tsonis (۱۹۸۹) بعد از تئوری کوانتوم و نسبییت مهم ترین کشف علمی در قرن بیستم تلقی می شود. علت اصلی شکل گیری چنین مفهومی مشاهده پدیده های به ظاهر تصادفی و غیرقابل پیش بینی در سیستم های جبری ساده بود. تفحص و دقت بیشتر در این موارد محققان را به این نتیجه هدایت کرد که حالات آشفتنه و بی نظمی که در روند معادلات جبری دیده می شود، خود واقعیت هایی هستند که اگرچه با تکنیک های ساده جبری و تعینی قابل فهم نیستند ولی نحوه تغییر و وقوع آنها با تکنیک های غیرخطی، قابل فهم و نظم درونی آنها کشف شدنی است (رامشت، ۱۳۸۲). پدیده های ناهموار با اشکال نامنظم و بی قاعده، از اصول هندسه اقلیدسی پیروی نمی کنند؛ هندسه ای که برای این پدیده ها و ابعاد ناصحیح آنها به کار می رود هندسه فرکتال^۳ نامیده می شود. هندسه فرکتال یکی از مهم ترین روش های ساختاری است که با تعیین بعد فرکتال ساختارهای خطی مثل گسل، آبراهه و مسیر پریچ و خم رودخانه، می توان بسیاری از خصوصیات آنها را تخمین زد (Turcotte, 1992). یک فرکتال به عنوان یک شکل هندسی، به طور کلی دارای خصوصیتی است: ۱- خاصیت خود همانندی دارند ۲- در مقیاس خرد بسیار پیچیده هستند. ۳- بعد آنها یک عدد صحیح نیست؛ زیرا الگوهای فرکتالی تحت دامنه محدودی از مقیاس ها گسترش می یابند (Bass, 2002). مطابق نظریه آشوب، پدیده های طبیعی همچون رودخانه که در ظاهر دارای پیچیدگی و بی نظمی است، با استفاده از روابطی در هندسه درختان فرکتالی می توان آن را منظم و بر اساس روال و منطق خاصی تعریف کرد (Ariza et al, 2013). در قزل اوزن وجود مخروط افکنه جدید در قاعده مخروط های افکنه قدیمی، گالی، لندفرم های نامتعادل و ... نشان دهنده تغییر سطح اساس و تکنونیک فعال در منطقه است. عامل اصلی ایجاد ناتعادلی تغییرات سطح اساس است که به صورت فرسایش

1 Chaos

2 Turbulance

3 Fractal

قهقراپی در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها منعکس شده است. پدیده‌های اسارت و انحراف تخلیه دریاچه‌های یخچالی از تغییرات و ناعادلی در حوضه می‌باشد. فرسایش خطی و سطحی و ترکیبی از هر دو در مناطق مختلف حوضه و مسائلی از این قبیل مبنای طرح بررسی حوضه در یک مدل آشوبناک گردید

Phillips (۱۹۹۳)، در یک پژوهش با بررسی دامنه آشوبناک مناظر ویژه به این نتیجه رسید که پیشرفت در تحلیل رفتار پراشوب می‌تواند کلید یک نظریه در حال تکامل چشم‌انداز باشد که حضور هم‌زمان و به‌ظاهر تصادفی و نامنظم را برای ارائه الگوهای منظم فراهم می‌سازد. Nicolis (۱۹۸۷) معتقد است که از بین انواع فرسایش خاک، فرسایش قهقراپی تأثیرگذارترین نوع فرسایش در وقوع پدیده اسارت رود است. Zhou و همکاران (۲۰۰۲) دینامیک آشوبناک سری جریان را در حوضه آبریز رودخانه هیواهی^۱ برای ۵۰۰ سال گذشته را بررسی کرده است. فیلیپس (۲۰۰۶)، در مطالعه منطقه ایسکارپمنت^۲ در شرق کنتاکی^۳ ایالات متحد آمریکا با استفاده از داده‌های فضایی، لندفرم‌ها را با استفاده از تکنیک آشوب طبقه‌بندی کرد. افزایش تکامل در مقابل کاهش بی‌نظمی به‌عنوان معیار در نظر گرفته شد، افتراق بین دستیابی به حالت پایدار جدید و واگرایی ناپایدار به‌عنوان رفتار پیچیده غیرخطی در نظر گرفته شد. Turcotte (۲۰۰۷) رفتار فرکتالی حوضه‌های آبریز را در الگوی آبراهه‌ای مورد بررسی قرار دادند. Dombrádi و همکاران (۲۰۰۷) بعد فرکتالی در سیستم شبکه زه کشی کارپات^۴، Jianhua و همکاران (۲۰۰۹) رواناب سالانه سرچشمه رود تاریم^۵ را در سیستم‌های غیرخطی پیچیده یا فرکتال و Frascati and Lanzoni (۲۰۱۰) رودخانه طولانی مآندر را به‌عنوان رفتاری آشوبناک با استفاده از مدل‌سازی ریاضی ارزیابی کردند. Pedersen and Hades (۲۰۱۱)، در تحقیقی درباره آشوب منطقه الیسیم ریس^۶ در مریخ به این نتیجه رسیدند که گدازه‌ها رفتار ای آشوبناک و بی‌نظم دارند. صادق موحد در تجزیه و تحلیل فرکتال نوسانات جریان رودخانه دریافتند که دو بازه زمانی متقاطع وجود دارد که با توجه به فصلی بودن، می‌تواند ناشی از فرکتال طبیعت باشد. Bi و همکاران (۲۰۱۲) خصوصیات فرکتال لندفرم‌های زمین بر مبنای شبکه‌های رودخانه‌ای آشوبناک را بررسی و دریافتند که تغییرات ویژه خواص فرکتالی پستی و بلندی‌ها را نشان می‌دهند. Milliman and Syvitski (۲۰۱۳) در بررسی ژئومورفولوژی - زمین‌ساخت در کنترل رسوب دریایی به اهمیت رودخانه‌های کوچک کوهستانی پی بردند. رامشت (۱۳۸۲)، به بررسی‌های نظری آثار یخچالی در دامنه‌های جنوب غربی زفره و مقایسه آن با دامنه‌های شمال شرقی این منطقه، به تبیین مبانی تئوری کياس و تطبیق آن در ژئومورفولوژی پرداخت و حوزه کاربردی آن را در این بخش از علوم جغرافیائی دنبال کرد. شقاقیان و بیدختی (۱۳۸۸)، در بررسی داده‌های جریان ایستگاه آب‌سنجی واقع در رود آنکوپاگر در کلنا، ایالت

1 Hivahi

2 Ayskarpmt

3 Kentucky

4 Karpat

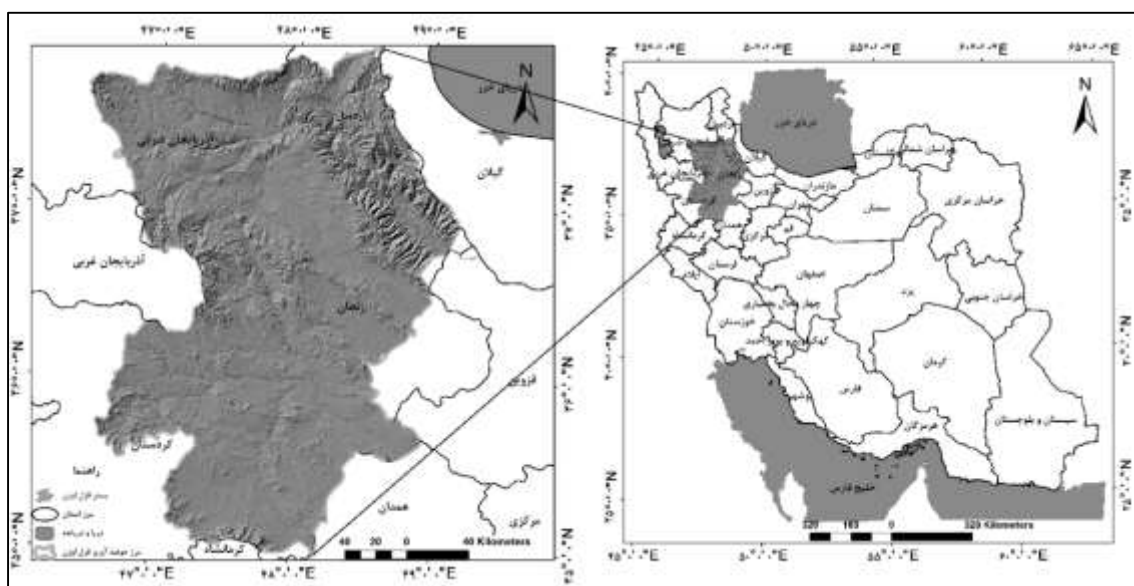
5 Tarime

6 Alysism Reese

کولورادو با استفاده از شاخص بعد همبستگی، نتیجه گرفت که جریان رود در مقیاس‌های زمانی کوچک (۱۵ دقیقه‌ای) رفتاری کاملاً آشوبی، در مقیاس‌های زمانی بزرگ (هفتگی) رفتاری کاملاً تصادفی و در مقیاس‌های میانی رفتاری بین این دو داشته است. کرم (۱۳۸۹)، با استفاده از نظریه آشوب بین فرم (بعد فرکتال) و فرایند (خودسازمان‌دهی) در پدیده‌های ژئومورفولوژیک روابطی برقرار کرد. علمی زاده و شایان (۱۳۹۰)، در تبیین نظریه آشوب در ژئومورفولوژی جریانی، پس از تشریح برخی مفاهیم، به این نتیجه رسیدند که مسیرهای قبلی رود گل، با فرایندهای امروزی در تعادل نیست و بیانگر نوعی بی‌نظمی در رابطه بین پاسخ فرم و فرایند است. قاهری و همکاران (۱۳۹۱)، در بررسی حوضه اهرچای، با استفاده از الگوریتم پیش‌بینی موضعی، جهت پیش‌بینی سری زمانی، از معیارهای ترازیبی، ضریب همبستگی، جهت سنجش دقت مدل استفاده کردند. نتایج حاصله حاکی از دقت قابل قبول و مناسب بودن نظریه آشوب در پیش‌بینی جریان رودخانه اهرچای است. انیس حسینی و ذاکر مشفق (۱۳۹۲)، در مطالعه جریان رودخانه کشکان با استفاده از روش‌های تخمین هسته گوسی و تبدیل موجک و هم‌چنین رفتار آماری سری زمانی با توابع همبستگی و خودهمبستگی جزئی، نتیجه گرفتند که کارایی روش‌های مبتنی بر نظریه آشوب برای تحلیل و پیش‌بینی جریان رودخانه در حوضه آبریز رودخانه کشکان مناسب است. داداش زاده و همکاران (۱۳۹۳)، یکی از تأثیرات مهم هم‌جواری حوضه‌ها را وقوع پدیده فرسایش قهقرائی و به دنبال آن رخ دادن پدیده اسارت دانستند و معتقدند چاله اردبیل نیز از این قاعده مستثنا نبوده و تحت تأثیر حوضه مجاور خود در شرف وقوع پدیده فرسایش قهقرائی است که در ادامه به اسارت و انحراف شبکه اصلی زهکش‌های این دریاچه قدیمی خواهد انجامید. علمی زاده و همکاران (۱۳۹۳)، در بررسی رودخانه زرينه‌رود با اتکا به روش شاخه بندی هورتن-استرالر و توکوناگا و با محاسبه طول شاخه‌ها، بعد فرکتالی آن را محاسبه و نتیجه گرفتند که شاخه اصلی این رودخانه دارای مرتبه چهارم بوده و بعد فرکتالی بالای رودخانه معرف تراکم زهکشی بیشتر و نیاز به زمان کمتر برای رسیدن به جریان دائمی است. فهیم فرد و همکاران (۱۳۹۴)، در مطالعه سد کرج با روش بازسازی فضای فازی و بعد همبستگی، به بررسی پویایی انتقال رسوب از دیدگاه آشوبی و همچنین تأثیر وجود سد بر تغییرات این الگو پرداختند و نتیجه گرفتند که گروه زمانی رسوب دارای الگوی آشوبی کم دامنه است و در بازه زمانی کوتاه مدت ده‌روزه، سد بر پویایی آن مؤثر بوده و آن را از پدیده آشوبی به تصادفی تبدیل کرده است، اما در بازه زمانی بلندمدت‌تر مانند ماهانه به دلیل خلق اطلاعات و قطع ارتباط با شرایط اولیه که در سامانه‌های آشوبی رخ می‌دهد، این تأثیر از بین رفته و گروه زمانی دوباره رفتار آشوبی به خود می‌گیرد. خسروی و همکاران (۱۳۹۵) رفتار فرکتالی حوضه‌های آبریز را در الگوی آبراه‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش مشخص‌کننده روابط معناداری بین ابعاد فرکتال حوضه‌ها، شبکه‌های زهکشی، فرم‌ها، الگوهای نهایی و خصوصیات مورفومتری آن‌ها می‌باشد.

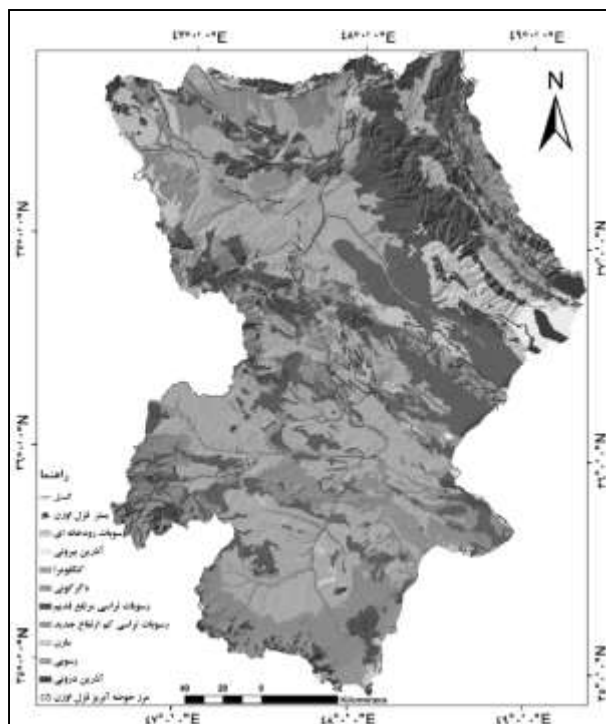
۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قزل اوزن از جمله زیرحوضه‌های دریای خزر می‌باشد که از ارتفاعات چهل چشمه کردستان سرچشمه گرفته و بعد از وارد شدن به چاله بیجار از طریق تنگ‌های ماه‌نشان، رجین، هشتجین وارد طارم شده و به دریاچه سد منجیل می‌ریزد و در نهایت پس از پیوستن شاهرود به سفیدرود پیوسته و وارد دریاچه خزر می‌شوند. 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 کیلومتر مربع است و بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع آن به ترتیب ۳۶۱۰ و ۲۳۹ متر از سطح دریا است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه قزل اوزن، یک حوضه کوهستانی و متشکل از دشت‌های آبرفتی و تپه‌ماهورهایی با رسوبات مارنی و سازندهای کم مقاومت در مقابل فرسایشی است. سازندهای زمین‌شناسی مسیر این رودخانه شامل: ائوسن، میوسن، پرکامبرین و نهشته‌های کواترنری است همچنین عمده لیتولوژی حوضه مربوط به مارن‌های ماسه‌ای آهکی و رسوبات رودخانه‌ای است (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱) (شکل ۲). وجود گسل‌ها در شبکه آبراهه‌ای نقش مؤثری دارند. روند اکثر این گسل‌ها شمال غرب - جنوب شرق است (پورکرمانی و آرین، ۱۳۷۸).



شکل ۲- موقعیت سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز قزل‌اوزن

۳. مواد و روش‌ها

در این تحقیق جهت بررسی بعد آشوبناک محدوده موردنظر ابتدا مدل رقومی ارتفاع 30×30 متری منطقه از ماهواره SRTEM استخراج می‌گردد و با استفاده از نرم‌افزار آرک جی.آی. اس، لایه کانتوری منطقه موردنظر، به دست آمد. هم‌چنین با اتکا بر نقشه‌های توپوگرافی $1:50000$ منطقه مورد مطالعه، آبراهه‌ها استخراج و در نرم‌افزار آرک جی.آی. اس رقومی، الگوی آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لایه لیتولوژی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس $1:100000$ و $1:250000$ رقومی گردید. شبکه آبراهه‌ها با کمک مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج گردید. از وجود سازندهای آبرفتی جدید در پای مخروط‌های افکنه قدیمی، افتادگی در مسیر رودخانه‌ها، توالی مخروط‌های افکنه، تغییر مسیر آبراهه برای تحلیل تغییرات سطح اساس استفاده شد. رتبه‌بندی استرالر یا رتبه‌بندی هورتون-استرالر روشی برای رتبه‌بندی آبراهه‌ها و رودخانه‌هاست که رتبه‌بندی شاخه رودها بر اساس آن در یک سیستم زهکشی حوضه آبریز، آبراهه اصلی از ترکیب رده‌های اول، دوم، سوم و رده‌های بعدی تشکیل می‌شود. در این روش، شاخه رودهای کوچک می‌تواند در سرنوشت رتبه یا زهکش اصلی که آب‌ها را از منطقه خارج می‌کند مؤثر باشد (رامشت، ۱۳۷۵). سپس تعداد کل آبراهه‌های مرتبه i ام (n_i) برای یک درخت فرکتالی از مرتبه n با رابطه (۱) به دست می‌آید: نسبت انشعاب هورتن از رابطه (۲) و نسبت طولی مرتبه از رابطه (۳) محاسبه می‌شود که در روابط مذکور N_i تعداد

آبراهه مرتبه i ام و Π طول متوسط آبراهه مرتبه i ام است. مقادیر مستقل از مرتبه، برای شبکه زهکشی تقریباً ثابت هستند. با استفاده از بعد فرکتالی (D) برای شبکه‌های زهکشی، رابطه (۴) بین طول و مرتبه شبکه برقرار است (عملی زاده، ۱۳۹۳ به نقل از تارکوت، ۲۰۰۷:۳۰۸).

$$N_i = \sum_i^n = 1^{N_{ij}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$Rb = \frac{N_i}{N_{i+1}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$Rr = \frac{r_{i+1}}{r_i} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$D = \frac{\ln Rb}{\ln Rr} \quad \text{رابطه ۴:}$$

مطالعات میدانی متعدد دال بر وجود نوعی پالیمرست در چشم‌انداز بخش‌هایی از حوضه قزل‌اوزن بود. به این معنی که ایجاد لندفرم‌های منطقه را نمی‌توان بر اساس شرایط کنونی تبیین نمود. آثار شرایط اصلی شکل‌گیری لندفرم‌ها در فرم بعضی از قسمت‌های حوضه منعکس شده بود. این قسمت‌ها سطوح کم عارضه‌ای هستند که در مجاورت سطوح پر عارضه قرار گرفته‌اند. سطوح کم‌عرضه در نقشه‌های توپوگرافی با خطوط منحنی میزان سینوسی ساده و صاف منعکس شده است در صورتی که سطوح نامتعادل و پر عارضه دارای منحنی میزان‌های پنجه‌ای و بای مدال هستند. بر این اساس برای بازسازی توپوگرافی گذشته خطوط منحنی میزان‌های سینوسی ساده و صاف در بین منحنی میزان‌های پنجه‌ای و بای مدال، رقومی شد. ارتفاع خطوط منحنی میزان نامتعادل (پنجه‌ای و بای مدال) در بخش‌های مختلف، بر اساس ارتفاع خطوط متعادل بازسازی گردید. مسیر پدیده‌های انحراف و اسارت در بررسی‌های میدانی شناسایی شد. با حذف مختصات جغرافیایی مسیر جدید رودخانه‌ها در جدول اطلاعاتی نرم‌افزار سورفر، به کمک مختصات جغرافیایی مناطق باقی‌مانده، توپوگرافی گذشته بازسازی شد. خروجی توپوگرافی گذشته به نرم‌افزار گلوبال‌مپر منتقل شد. در آن نرم‌افزار لایه رودخانه‌ها استخراج گردید و به این وسیله مسیر قبلی رودخانه‌ها بازسازی شد.

آبراهه‌های شعاعی همگرا به‌عنوان سطوح دریاچه‌ای در نظر گرفته می‌شود. در منطقه چندین مکان با شبکه آبراهه‌های همگرا شناسایی شد که هرچند در شرایط کنونی سطوح باز بوده و آب از آن‌ها خارج می‌شود ولی شواهد ژئومورفولوژیکی موجود دال بر بسته بودن حوضه‌ای آن‌ها در گذشته است.

یکی از عوامل دیگری که بر رفتار آشوبناک حوضه قزل‌اوزن اثر گذاشته است فعالیت گنبد‌های نمکی است. برای تأیید و تعیین گنبد‌های نمکی، بازدیدهای میدانی متعددی انجام شد. موقعیت مناطق موردنظر با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی ثبت شد و داده‌های مربوطه وارد نرم‌افزار اکسل گردید. در ادامه در آرک‌جی‌آی. اس لایه نقطه‌ای استخراج و حجم گنبد‌های نمکی محاسبه گردید. جهت بررسی بیشتر، لایه شبکه‌های آبراهه‌ای و منحنی‌های میزان در تصاویر ماهواره‌ای ادغام شد. عمود بر جهت گنبد‌های نمکی پروفیل‌های متعددی ترسیم شد. تفسیر نیمرخ‌ها بادیستمی و

با توجه به پدیده‌ها و حوضه‌های مجاور انجام شد. برای دره رودها و حوضه‌ها با استفاده از رابطه (۵) ضریب قهقرایی محاسبه شد.

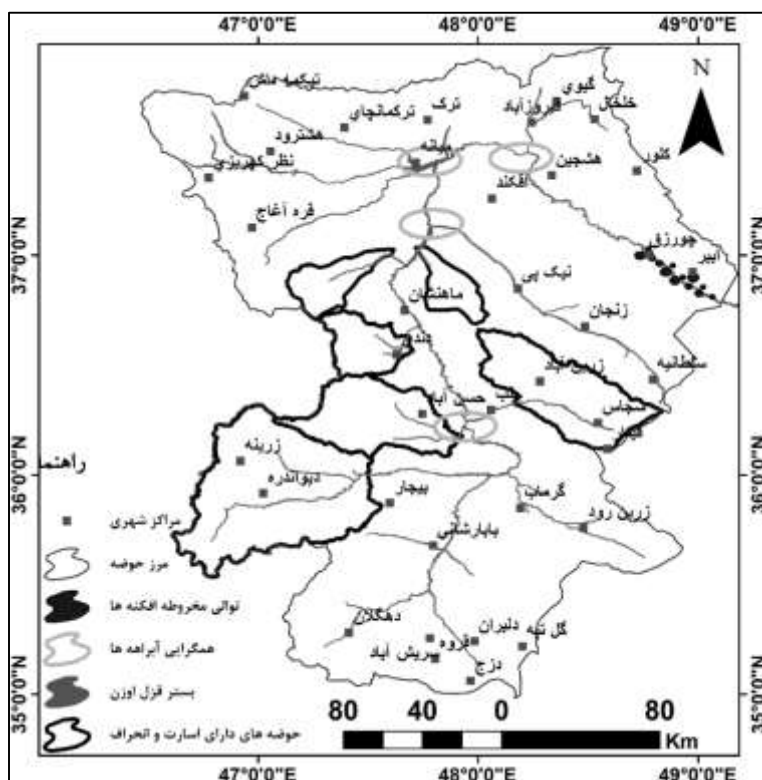
$$CR \frac{LRT}{LRA} . D . U . W \quad \text{رابطه ۵:}$$

LRT طول مسیر رودخانه اصلی، LRA طول رودخانه به خط مستقیم و D.U.W فاصله سرچشمه تا خط تقسیم حوضه است. پروفیل‌های متعددی در اطراف ژئونرون‌ها ترسیم گردید تا مقدار اختلاف ارتفاع و پائین افتادگی مناطق برآورد گردد. نرون به گره‌های موجود در شبکه عصبی گفته می‌شود که وظیفه دریافت، پردازش و انتقال اطلاعات را دارند (خاشعی سیوکی و همکاران، ۱۳۹۲). این واژه در ژئومورفولوژی با عنوان ژئونرون خوانده می‌شود. خطوط آبراه‌های که ارتباط‌دهنده ژئونرون‌ها هستند با عنوان آکسون‌های برداری شناخته می‌شوند. در شبکه‌های زهکش رودخانه‌ای ارتباط بین ژئونرون‌ها یک‌طرفه است، لذا برای بیان این ویژگی، کاربرد واژه بردار، یک‌طرفه بودن جریان در این معابر است (امیر احمدی و احمدی، ۱۳۹۴). محل اتصال آکسون‌های برداری با ژئونرون‌ها و یا محل تقاطع آکسون‌های برداری، سیناپس ارضی گفته می‌شود (رامشت، ۱۳۸۵). برای اندازه‌گیری حجم مواد تخلیه‌شده از مدل رقمی ارتفاع ژئونرون‌ها به تفکیک برش داده شد.

۴. نتایج و بحث

تعداد از جمله واژه‌هایی است که در دیدگاه آشوب مفهوم خاصی دارد. آشوب، تعادل را به‌نوعی نظم در بی‌نظمی بیان می‌کند. در تعادل ژئومورفولوژیکی فرایندهای بیرونی، درونی و ترکیبی از هر دو تأثیر می‌گذارند. سطح اساس یک رودخانه و سرشاخه‌هایش یکی از اصلی‌ترین پارامترهایی است که تجزیه و تحلیل حوضه‌های زهکشی بدون در نظر گرفتن آن امکان‌پذیر نیست. عدم وحدت حوضه آبی قزل‌اوزن در اوایل کوتاه‌تری به معنی وجود ژئونرون‌های متفاوتی است که خود به‌صورت مستقل محل تجمع ماده و انرژی بوده که در شرایط کنونی هرچند با ویژگی‌های ماندیری، آبراه‌های گیسویی و آبراه‌های دوشاخه‌ای غیر هم‌سطح مشخص می‌شوند ولی در گذشته به‌صورت سطوح اساس محلی بوده‌اند. این‌گونه سطوح اساس محلی در شرایط کنونی از طریق تراس‌های رسوبی قابل شناسایی و ردیابی است. وجود تنگ‌های متعدد از جمله: ماهشان، هشتچین، رجعین، اندآباد، قمچقایی، میانه- طارم و بابارشانی و سطوح تراکمی وابسته به آن‌ها در بیجار: حسن‌آباد یاسوکند، مسجدر، زرین‌رود، گرماب، جاده بیجار و یول کشتی در زنجان مهرآباد، قلعه‌چای و رجعین، دال بر وجود ژئونرون‌های متعدد در قزل‌اوزن است. در حوضه‌های آبریز تجمع رواناب‌ها پیرامون نقاطی به‌صورت بردار یک‌طرفه، کانون‌های همگرا یا ژئونرون نامیده می‌شوند که منجر به ایجاد خازن‌هایی در آن محل می‌شود؛ این خازن‌ها محل تجمع رواناب‌ها است (رامشت و شاهزیدی، ۱۳۹۰). شبکه آبراه همگرای نقطه‌ای حاکی از ورود آب کل حوضه به یک ژئونرون است. مراکز همگرایی شبکه‌های آبراه‌های حوضه‌های مختلف جایی است که ژئونرون (دریاچه) گفته می‌شود. در حوضه آبریز قزل‌اوزن چند کانون همگرای

شبکه آبراه‌های شناسایی شدند که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود: بیجار، زنجان، میانه و طارم که هر کدام نمایانگر یک دریاچه قدیمی هستند و حوضه‌های مجاور آن‌ها به این مناطق تخلیه می‌شده‌اند. آب ۶ زیرحوضه یول کشتی، قروه و دهگلان، سجاس‌رود، انگوران چای، حسن‌آباد یاسوکنند و گرماب در ژئونرون بیجار تخلیه می‌شده است. چاله زنجان آبراهه زیرحوضه‌های زنجان‌رود، تلخه‌رود، قلعه‌چای را دریافت می‌کرده است. زیرحوضه‌های قرتوقچای، گندوغدی در چاله میانه و زیرحوضه‌های گیوی چای، زاویه جعفرآباد، چورزق و چند زیرحوضه دیگر در طارم همگرا بوده‌اند (شکل ۳). مقدار تخلیه رسوبات که در هر یک از ژئونرون‌ها اتفاق افتاده تابعی از لیتولوژی، انرژی واردشده و شکل فیزیوگرافی ژئونرون بوده است. به‌طوری‌که لیتولوژی در سه ژئونرون بیجار، زنجان و طارم به گونه است که بهترین شرایط را برای فرسایش فراهم نموده است و وضعیت هم‌جواری لیتولوژی‌های مقاوم با لیتولوژی سست در طارم شرایط را برای فرسایش خطی بسیار مساعد نموده است. وقتی نیرویی در بالادست آزاد شود در پائین‌دست بیشترین تأثیر را می‌گذارد. در قزل‌اوزن زمانی که بیجار در طی سه مرحله تخلیه می‌شود ژئونرون‌های زنجان و میانه در مرحله بعد از ژئونرون بیجار پاره شده و حجم گسترده‌ای از انرژی و ماده را به‌طرف خروجی حوضه یعنی طارم هدایت شده است.

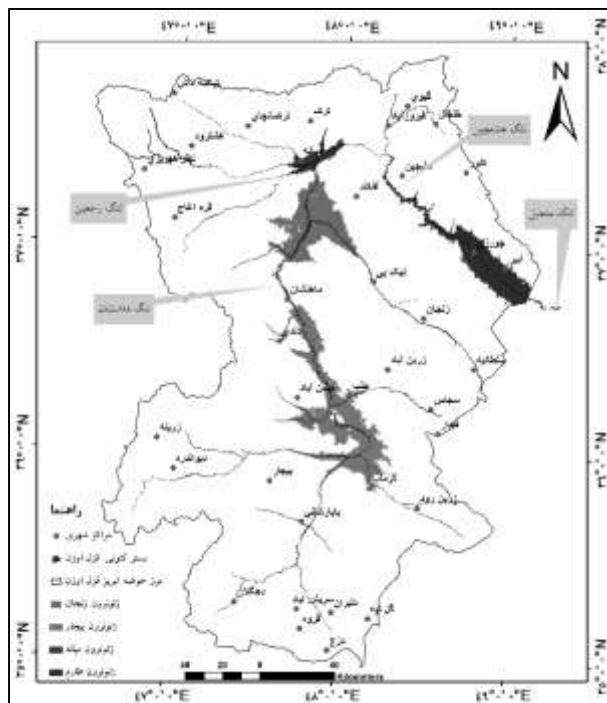


شکل ۳- شواهد تغییرات سطح اساس

طارم با واقع شدن در پایاب حوضه قزل اوزن، با دریافت بیشترین ماده و انرژی به شدت تخلیه شده است. شکل فیزیوگرافی ژئونرون‌ها نیز وضعیت تخلیه مواد را مشخص می‌سازد به گونه‌ای که در حوضه‌های کشیده تخلیه مواد بیشتر در خط اتفاق می‌افتد تا در سطح و در حوضه‌های پهن برعکس. در حوضه کشیده (تمرکز فرسایش در خط) نیروها متمرکز می‌شوند و حفر را بیشتر انجام می‌دهند اما در شکل پهن تمرکز فرسایش در سطح اتفاق می‌افتد و در سطح به صورت پراکنده تخلیه انجام می‌شود که به پخش انرژی در سطح و تخلیه کم مواد در عمق منجر می‌شود. در چنین حالتی آثار سطح قبلی به صورت تپه شاهدهای متعددی در منطقه باقی می‌ماند (جدول ۱) (شکل ۴).

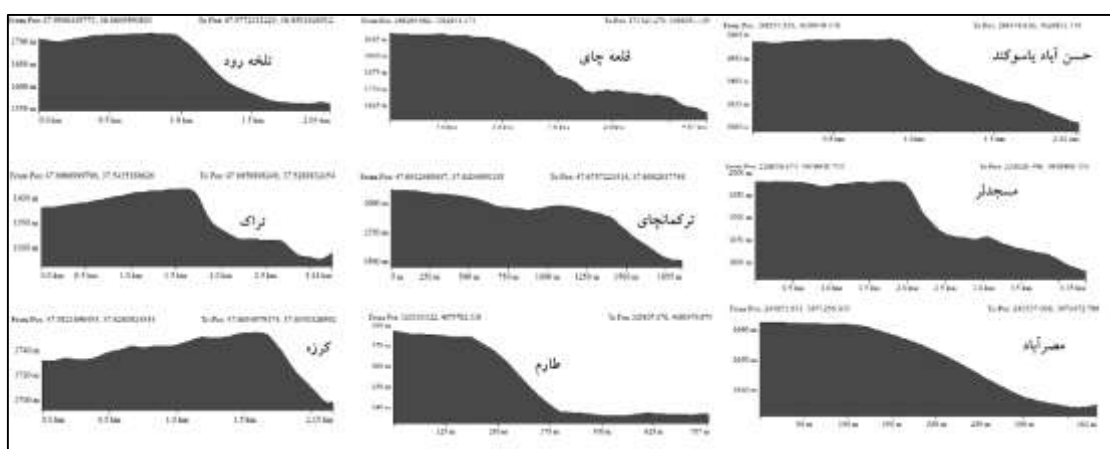
جدول ۱- حجم تخلیه ماده در ژئونرون‌ها

نام ژئونرون	حجم تخلیه ژئونرون M3	حجم تخلیه در واحد سطح M
مرحله اول تخلیه بیجار	۲۰۵۴۵۶۶۹۳۷	۱/۳۲
مرحله دوم تخلیه بیجار	۹۴۰۳۸۶۵۹۶۲۹	۶۰/۷۸
مرحله سوم تخلیه بیجار	۴۸۷۶۶۶۴۹۰۵۷	۳۱/۵۲
زنجان یک مرحله تخلیه	۹۶۱۹۵۶۴۴۵۸۳	۹۱/۵۲
میانه یک مرحله تخلیه	۱۳۴۲۱۵۳۳۱۲۵	۶۴/۵۲
یک مرحله طارم	۲۲۹۴۴۳۸۰۵۴۱۶	۳۴۵/۳۷



شکل ۴- موقعیت ژئونرون‌های شناسایی شده در قزل اوزن

نیمرخ‌های متعدد ترسیم‌شده عمود بر رودخانه قزل‌اوزن، دال بر پائین افتادگی ناگهانی در دره رودخانه‌ها است. میانگین پائین افتادگی در حوضه‌های مستقل یا ژئونرون‌های قزل‌اوزن محاسبه گردید؛ که نشان‌دهنده آن است که تغییر سطوح تراکمی در سراب قزل‌اوزن بیشتر از سایر مکان‌ها اتفاق افتاده است. آثار تغییرات سطوح محلی در دو ژئونرون بیجار و زنجان‌رود از طریق سطوح تراکمی و دشتهای آبرفتی ردیابی گردید. در ژئونرون بیجار سطوح تراکمی حسن‌آباد یاسوکنند، مسجدر و گرماب شناسایی شدند (اشکال ۵ و ۶) (جدول ۲). در این ژئونرون علاوه بر شناسایی بالاترین تراس دریاچه‌ای در ارتفاع ۱۵۶۱ متر، ۳ تراس دیگر در ارتفاع پایین‌تر مشاهده گردید که حاکی از تخلیه چندمرحله‌ای این چاله است.



شکل ۵- پائین افتادگی سطوح تراکمی



شکل ۶- موقعیت نیمرخ‌های مطالعاتی در حوضه قزل‌اوزن

جدول ۲- مقدار تأثیرپذیری تغییرات سطح اساس

نام پروفیل	میانگین پائین افتادگی (متر)	نام پروفیل	میانگین پائین افتادگی (متر)
تلخه رود	۱۵۰	طارم	۴۱
قلعه چای	۲۰۱	مصرآباد	۱۱
حسن آباد یاسوکنند	۱۹۴	نام ژئونرون	میانگین پائین افتادگی در ژئونرون‌ها (متر)
تراک	۱۴۵	بیجار	۱۴۴/۸
ترکمانچای	۱۱۵	زنجان	۱۷۵/۵
مسجدلر	۱۷۷	میانه	۱۲۱
کرزه	۱۰۳	طارم	۹۰/۵

بر اساس شواهد اسنادی (نقشه‌های توپوگرافی) و مشاهدات میدانی در دو ژئونرون بیجار و زنجان، اسارت‌ها و انحراف‌های ۶ زیرحوضه قلعه‌چای، مهرآباد، انگوران چای، حسن‌آباد یاسوکنند، یول کشتی و سجاجس رود شناسایی شد. تغییر سطوح اساس در چاله میانه و طارم از طریق توالی مخروط‌های افکنه متداخل قابل‌ردیابی است (شکل ۷). در محل خروج رودخانه از کوهستان‌های دو طرف طارم، مخروط‌های افکنه شکل گرفته‌اند و با پایین افتادن سطح اساس (قزل‌اوزن) به هر دلیل، رودخانه‌ها مجبور به برش رأس مخروط‌های افکنه و توسعه مخروط‌افکنه جدید در قاعده مخروط‌افکنه قدیمی شده‌اند. در ژئونرون طارم بیش از ۱۰ مخروط‌افکنه متداخل شناسایی شد که مهم‌ترین آن‌ها چورزق، آب‌بر، جیا، دستجرده، تشویر، گیلانکشه، گیلوان، درام، آلتین کوش و کلج است. در ژئونرون میانه تنها مخروط‌افکنه مربوط به قرنقوچای به صورت کشیده و متداخل شاهدهی بر پایین افتادن سطح کنونی قزل‌اوزن نسبت به گذشته است.



شکل ۷- مخروط‌افکنه متداخل در بخش طارم از حوضه قزل‌اوزن

تغییرات سطح اساس، رودخانه را از مصب تا سرچشمه به صورت قهقراپی متأثر می‌سازد؛ مانند طنابی که وقتی ضربه‌ای به آن وارد شود فرکانس آن به شکل سینوس تا انتها ادامه می‌یابد که از آن به‌عنوان دومینو در ژئومورفولوژی یاد شد؛ با وارد شدن ضربه به مهره اول، فرکانس انرژی تا آخرین مهره منتقل می‌شود. در بررسی ژئومورفولوژیکی دومینو سؤال اساسی این است که ضربه اول، از درون یا از بیرون حوضه وارد شده است؟ انتقال انرژی از سطحی به سطح دیگر همیشه در یک راستا انجام نمی‌شود؛ به همین دلیل ممکن است انتقال انرژی به صورت خط، خط در سطح، هم در سطح و هم در خط و نهایتاً نه در سطح و نه در خط باشد. فرم ناشی از انتقال انرژی در خط برای لیتولوژی سست به صورت گالی، در لیتولوژی مقاوم به شکل تنگه و در هم‌جواری لیتولوژی مقاوم و سست به صورت تنگه نامتقارن منعکس می‌شود. پادگانه‌های آبرفتی نمونه انتقال انرژی به صورت خط در شرایطی است که تعداد دفعات تغییر سطح اساس کم ولی مقدار تغییر زیاد باشد. نتیجه ژئومورفولوژیکی دوره‌های سرد کواترنری به شکل سه یا چهار پادگانه اصلی در اطراف رودخانه‌ها و دریاچه‌ها قابل‌ردیابی است یعنی تعداد تغییرات کم، فرم‌های پایدار و قابل توجه بر جا گذاشته است. اگر تعداد تغییرات زیاد و زمان برای به تعادل رسیدن محیط کم باشد، باعث ناعادلی در فرم می‌شود. بررسی ژئونرون‌های بیجار، زنجار و طارم به‌خوبی بیان‌کننده این مطلب است که تغییر سطح اساس محلی متعدد قزل‌اوزن، مانع از متعادل شدن فرم‌ها شده است.

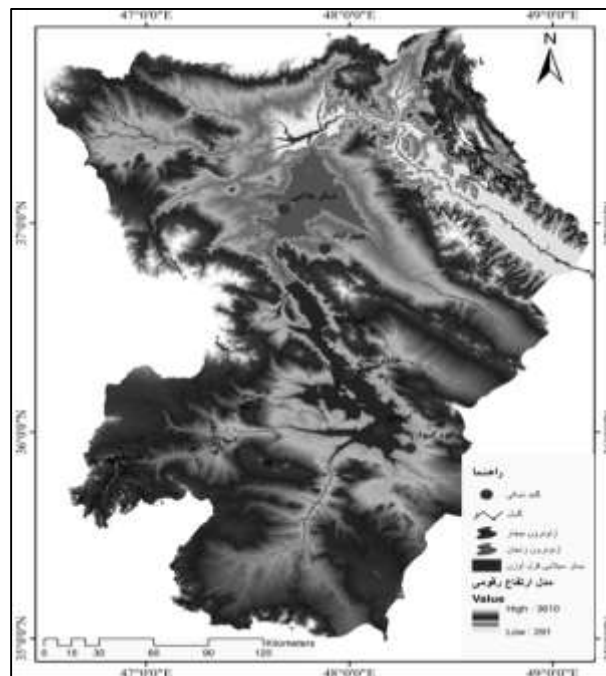
هرچند قزل‌اوزن از مناطق مرتفع چهل چشمه (با ارتفاع ۳۱۳۷ متر) در کوه‌های کردستان سرچشمه می‌گیرد ولی در طی مسیر از نواحی‌ای می‌گذرد که قله مرتفع‌تری از چهل چشمه دارند (ارتفاع بلقیس ۳۶۵۵، آق داغ ۳۳۲۱ و سهند ۳۷۰۷ متر) و مساحت نواحی مرتفع نیز نسبت به سرچشمه اولیه آن بیشتر است؛ از طرفی در پایاب وارد منطقه مرطوب خزری می‌شود. از تجمع ماده و انرژی و یا داده و اطلاعات در بخشی از حوضه که بتواند رفتار ژئومورفولوژیکی رودخانه را متأثر نماید به‌عنوان سلول یاد شده است. از توزیع قله در بخش‌های مختلف حوضه، سلول‌های ژئومورفولوژیکی شکل گرفته است. توزیع عناصر اقلیمی در سلول‌های برودتی و رطوبتی مطرح شده که باعث تقویت دبی قزل‌اوزن شده و مانع از خشک شدن آن می‌شود. از توزیع لیتولوژی حوضه، سلول‌های لیتولوژیکی شکل گرفته است که شرایط خاصی را بر قزل‌اوزن مسلط کرده است. از سرچشمه تا پایاب، لیتولوژی مقاوم در بستر و اطراف به صورت چندین قطعه جدا از هم توزیع شده‌اند. شدت فرسایش در رسوبات سست منجر به تسریع فرسایش و کم شدن شیب شده و کاهش مقدار فرسایش در لیتولوژی مقاوم باعث کنترل سرعت عمل حفر در رسوبات سست رودخانه شده است؛ در چنین شرایطی آب در رسوبات سست وضعیت رودخانه‌های پیر (در دیدگاه دیویس) را به خود گرفته که مهم‌ترین خصیصه ژئومورفولوژیکی آن ماندن سازی است؛ در صورتی که در لیتولوژی مقاوم با کاهش فرسایش خطی، باعث شکل‌گیری آبشارهای متعدد در رودخانه می‌شود که بر جوان بودن رودخانه دلالت دارد.

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 شده‌اند که دو چشم‌انداز متفاوت را به ارمغان آورده است: فرم‌های متعادل در سطوح تراکمی و فرم‌های نامتعادل در سطوح کاوشی. چنین وضعیتی حاکی از کنترل رفتار رودخانه توسط سلول‌های لیتولوژیکی است که باعث تخلیه ژئونرون‌ها در چندین مرحله شده است.

توزیع و امتداد گسل‌ها در حوضه قزل‌اوزن در سلول‌های تکتونیکی بحث شده است. امتداد گسل‌ها نیز 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. با این دیدگاه می‌توان این منطقه را یک ژئونرون تکتونیکی در نظر گرفت. در این مکان امتداد گسل‌ها عمود بر رودخانه بوده و آیینه 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 سبب تغییر رفتار رودخانه از خط در سطح (ژئونرون بیجار) به فرسایش در خط (نرون ماه‌نشان) شده است. هرچند تراکم سلول‌های اثرگذار در دبی قزل‌اوزن در پایاب متمرکزتر هستند ولی پراکندگی آن‌ها در بخش‌های دیگر به نوعی باعث تقویت دبی رودخانه شده است. وجود ژئونرون‌های بیجار و زنجان شرایط کاهش دبی و خشک شدن رودخانه را در فصول گرم سال فراهم می‌کنند ولی سلول‌های اثرگذار برودتی و رطوبتی وابسته به سلول‌های ژئومورفیکی، تغذیه مناسب رودخانه را فراهم نموده و از خشک شدن آن جلوگیری می‌کنند. از طرفی دیگر هرچند مساحت کمی از حوضه مورد مطالعه بالاتر از برف مرز دائمی گذشته قرار داشته اما نکته قابل تأمل این است که در بهار علاوه بارش دریافتی فصل، ذوب برف ارتفاعات نیز موجب افزایش مقدار جریان رودخانه‌های سرچشمه گرفته از مناطق مرتفع شده و دبی رودخانه را افزایش می‌دهد. به عبارتی هرچند مناطق بالاتر از ارتفاع برف مرز دائمی این حوضه وسعت کمی دارند ولی با تزریق آب ناشی از ذوب بارش‌های جامد به قزل‌اوزن جان دوباره می‌بخشد (شکل ۸).

یکی دیگر از عواملی که بر رفتار آشوبناک قزل‌اوزن اثر می‌گذارد قرارگیری کمربند مارنی-نمکی در کنار رودخانه قزل‌اوزن است. گنبد‌های نمکی شناسایی شده در اطراف ژئونرون‌ها به نوعی می‌تواند ناشی از فرسایش ناشی از تخلیه ماده و انرژی ژئونرون‌ها باشد؛ اما نمی‌توان نیروی دی‌پایرسم را نادیده گرفت. گنبد‌های نمکی کوه کبود، اصانلو، چهرآباد از نوع فرسایش ناشی از تخلیه ماده و انرژی بسیار تأثیر پذیرفته‌اند (شکل ۹). گنبد‌های نمکی دوزکند که از آن به عنوان طاق‌دیس نمکی یاد می‌شود کمتر از این پدیده متأثر شده است چون خود به‌مانند طاق‌دیس بوده که توده‌های نفوذی در آن نشان از تأثیرات تکتونیک و دی‌پایر دارند. در شکر بلاغی نیز چون منطقه مانند ناهمواری‌های شبه آپالاشی است نمی‌توان نقش فرسایش را در خارج کردن منطقه از محیط دریایی نادیده گرفت.

در تمام گنبد‌های نمکی، تأثیر گسل مشهود است. قسمت جنوبی کوه کبود شیب زیادی دارد که ناشی از انطباق آن بر آینه گسل است. گنبد نمکی اصائلو موازی با گسل رخنمون دارد. گسل حلب در رخنمون نمک به صورت بالشتک‌ها و جوش‌های نمکی متعددی نقش داشته است. فرسایش ناشی از تخلیه ماده و انرژی ژئونرون بیچار حجم زیادی از رسوبات را از بین برده است. گسل یادشده در امتداد کوه نمکی دوزکند قرار گرفته است. گنبد نمکی چهارآباد و شکر بلاغی از این قضیه مستثنا نیست چون گسل‌های متعددی منطقه را پوشش می‌دهند که عامل تکتونیک را تداعی می‌کنند. درکل گنبد‌های نمکی در قزل‌اوزن از نوع کم‌عمق بوده که عمقشان به ۱۰۰۰ متر نمی‌رسد. ژئونرون‌های موجود با تأثیراتی که بر تغییرات سطح اساس داشته‌اند به بالا آمدگی و رخنمون گنبد‌های نمکی کمک بسیاری نموده است. نقش کوه کبود و اصائلو در شکل‌گیری رودخانه شورچای، دوزکند، چهارآباد و تلخه‌رود در شکل‌گیری معدن نمک، دال بر جوان بودن فعالیت‌های نمکی آن‌ها است. در امتداد جاده بیچار بالشتک‌های نمکی تأثیر کمی در شوری آب داشته و با توجه به عمق کم گنبد‌های نمکی منطقه به احتمال زیاد، گنبد نمکی این منطقه در مراحل اولیه رخنمون قرار دارند. نتیجه اینکه اکثر نظریه‌های موجود درباره گنبد‌های نمکی به دیپایر و تکتونیک اشاره می‌کنند؛ اما سخن مهم در مورد گنبد‌های نمکی قزل‌اوزن این است که علاوه بر دیپایر و تکتونیک کاوش و حفر رودخانه‌های حوضه قزل‌اوزن بر اثر انحراف، اسارت و از بین رفتن ژئونرون‌های مستقل در طی کواترنری، در برونزد گنبد‌های نمکی نقش بسزایی داشته است (شکل ۱۰) (جدول ۳).



شکل ۱۰- کمربند نمکی قزل‌اوزن

جدول ۳- مشخصات گنبد‌های نمکی شناسایی شده محدوده مورد مطالعه.

نام گنبد نمکی	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع گنبد نمکی (متر)	حجم گنبد نمکی (مترمکعب)
کوه کبود	۴۸/۲۸	۳۵/۹۲	۱۲۵	۴۹۶۵۶۵۷۹
اصانلو	۴۸/۱۴	۳۶/۰۰۹	۱۷۲	۱۴۵۰۰۱۸۷۵
جاده بیجار	۴۸/۹۹	۳۶/۲۸	۲۸	۲۳۹۴۹۳۷۵
دوزکند	۴۸/۸۹	۳۶/۵۰	۶۸۰	۲۵۲۲۶۷۲۵۰۰۰
چهرآباد	۴۷/۸۷	۳۶/۸۷	۵۸	۵۳۰۰۳۱۲۵
شکرپلاغی	۴۸/۶۷	۳۷/۰۶	۴۷	۸۲۹۹۷۳۱۲۵

یافته‌های بختیاری (۱۳۹۴) دال بر این است که فعالیت‌های نئوتکتونیک حوضه از پایاب قزل‌اوزن در بخش طارم به سمت سراب کمتر شده است؛ بنابراین، نئوتکتونیک در کل حوضه یکسان عمل نکرده و بیشتر قسمت‌های پایاب حوضه را متأثر کرده است ولی باین حال در روند تحولات رودخانه قزل‌اوزن بی‌تأثیر نبوده است. با اعمال رابطه ضریب قهقرایی در زیرشاخه‌های رتبه یک آبراهه‌های دو طرف زنگان‌رود و طارم، میانگین به‌دست‌آمده فرسایش قهقرایی در طارم ۱۶۸۹/۸۲ و در زنگان ۳۳۵۸/۵۵ است. فاصله سرچشمه آبراهه‌ها در طرف زنگان بیش از دو برابر طرف طارم است. تفسیر اعداد به‌دست‌آمده در فرمول فرسایش قهقرایی نشان‌دهنده یک رابطه معکوس می‌باشد یعنی هرچه اعداد به‌دست‌آمده بزرگ‌تر باشند مقدار فرسایش قهقرایی کمتر می‌باشد زیرا که سرچشمه آبراهه فاصله بیشتری از خط تقسیم آب داشته و فرسایش قهقرایی کمتری بر آن تسلط دارد. در مقابل هر چه عدد به‌دست‌آمده کوچک‌تر باشد به معنی فاصله کمتر آبراهه از خط تقسیم آب و غلبه بیشتر فرسایش قهقرایی است. تخلیه خطی ماده و انرژی طارم، شرایط را برای عقب رفتن بیشتر آبراهه‌ها فراهم کرده است. آنچه باعث تغییر لندفرم‌ها شده است بیشتر ناشی از تغییر سطح اساس بستر قزل‌اوزن در طی کواترنری و فرسایش شدید خطی آن نسبت به ژئونرون زنگان بوده است. افزایش فرسایش عمقی (خطی) در قسمت طارم بر اثر حجم زیاد تخلیه ماده و انرژی منجر به حفر بیشتر آبراهه‌ها و افزایش مقدار فرسایش قهقرایی شده است (جدول ۴) (شکل ۱۱).

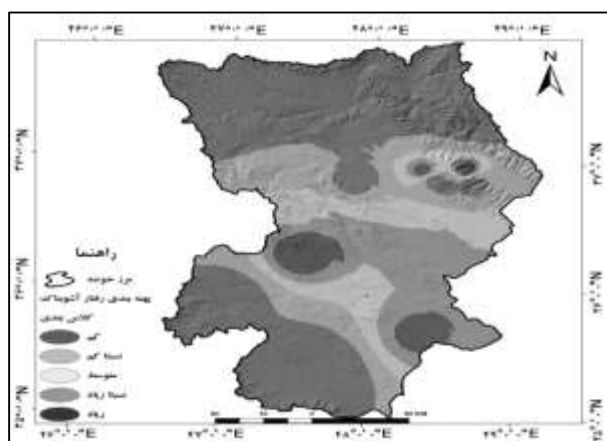
جدول ۴- مقدار فرسایش قهقرایی در دو طرف زنگان‌رود و قزل‌اوزن طارم

نام حوضه	میانگین مقدار فرسایش قهقرایی (متر)	اختلاف فرسایش قهقرایی با حوضه قرینه (متر)
چورزق	۱۹۶۶/۹۹	۲۲۰۱/۳۷
ارمغان‌خانه	۴۱۶۸/۳۷	
قانتلی‌چای	۱۵۴۲/۵۳	۱۸۳۷/۷۵
سهرین	۲۳۸۰/۲۹	
سرخه‌دیزج	۱۵۵۹/۹۵	۱۰۴۸/۰۵
تهم	۲۶۰۸	

جدول ۵- مشخصات هیدرو مورفومتری و بعد فرکتالی زیرحوضه‌های قزل اوزن.

پارامتر	قلعه‌چای	مهرآباد	سرخه دیزج	قرنقوچای	گندوغدی	گیوی
نسبت انشعاب Km	۷/۷۵	۴/۶۸	۴/۴۲	۱۶/۳۱	۱۱/۳۳	۳/۶۸
نسبت طول رودخانه Km	۷/۴۵	۲/۲۸	۲/۲۹	۸/۷۴	۶/۲۲	۲/۹۲
مساحت Km ²	۸۰۴/۱۴	۵۳۰/۰۹	۲۲۵/۸۴	۸۵۸۳/۶۵	۹۱۰/۸۶	۱۹۲۰/۵۳
بعد فرکتالی	۱/۰۱	۱/۸۶	۱/۷۸	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۲۱۴
پارامتر	زاویه جعفرآباد	تهم	سهرین	ارمغانخانه	چورزق	قائقلی چای
نسبت انشعاب Km	۲/۸۳	۶/۵۴	۷/۶۷	۵/۱۶	۳/۳	۳/۳
نسبت طول رودخانه Km	۲/۳۶	۴/۸۷	۶/۸۶	۱/۶۷	۱/۴۰	۱۰/۶۶
مساحت Km ²	۷۰۵/۳۴	۲۰۷/۴۳	۲۱۷/۵۶	۲۰۶/۷۵	۱۷۱/۲۶	۱۸۳/۴۲
بعد فرکتالی	۱/۲۱۱	۱/۱۸	۱/۰۵	۳/۲۰	۳/۴۸	۰/۷۸
پارامتر	انگوران چای	حسن‌آباد یاسوکنند	یول کشتی	قروه و دهگلان	گرماب	سجاس رود
نسبت انشعاب Km	۱۱/۰۶	۹/۰۱	۸/۸۳	۹/۵۴	۶/۳۹	۶/۳۶
نسبت طول رودخانه Km	۳/۹۷	۱/۳۱۵	۵/۷	۸/۱۴	۱/۹۴	۱/۱۳
مساحت Km ²	۷۸۸	۱۷۹۰	۴۱۸۳	۶۷۲۱	۳۵۵۴	۲۰۸۴
بعد فرکتالی	۲/۱۲	۳/۲۵	۱/۲۴	۱/۰۷	۲/۷۹	۲/۲۴

بعد از مشخص ساختن بعد فرکتالی ۱۸ زیرحوضه قزل اوزن با استفاده از میانمایی IDW و Kriging بعد فرکتالی کل حوضه به دست آمد و پهنه‌بندی کلاس رفتار آشوبناک انجام شد. این پهنه‌بندی شامل ۵ کلاس رفتار آشوبناک کم، نسبتاً کم، متوسط، نسبتاً زیاد و زیاد می‌باشد. همان‌گونه که مشخص است سرچشمه قزل اوزن و بیشتر سرشاخه‌های آن دارای رفتار آشوبناک کم می‌باشد یعنی این مناطق در حالت تعادل به سر می‌برند اما با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مرکز حوضه بیشترین رفتار آشوبناک و ناتعادلی را دارد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- پهنه‌بندی رفتار آشوبناک حوضه آبریز قزل اوزن.

۵. جمع بندی

تعداد و عدم تعادل حوضه‌های آبی وابسته به پایداری پارامترهایی است که گاه به‌اشتباه با توجه به شرایط کنونی تجزیه و تحلیل می‌گردند. سطح اساس یک رودخانه و سرشاخه‌هایش یکی از مهم‌ترین پارامترهایی است که تجزیه و تحلیل حوضه‌های زهکشی بدون در نظر گرفتن آن‌ها امکان‌پذیر نیست. زمانی که گفته می‌شود یکی از ویژگی‌های مهم دوره کواترنری تغییر سطح اساس رودخانه‌هاست به این معنی نیست که تغییر سطح اساس فقط باید بر اساس سطح اساس امروزی رودخانه بررسی گردد. وجود تنگ‌های متعدد در قزل‌اوزن دال بر آن است که این حوضه ژئورون‌های مستقلی داشته است. در این گونه مناطق هرچند وحدت خاصی در ساختمان ناهمواری‌ها دیده نمی‌شود و ناهمواری‌ها ترکیبی از هورست، آتشفشان و رسوبات چین‌خورده است ولی در مجموع رودخانه قزل‌اوزن عمود بر امتداد ناهمواری‌ها جریان داشته و محور آن‌ها را قطع کرده است. حوضه آبی بیجار با وسعتی بیش از ۲۴۸۰۰ کیلومتر مربع، در داخل خود شواهدی دارد که حاکی از استقلال حوضه در اوایل کواترنری بوده است. سطوح اساس محلی از طریق تراس‌های رسوبی شناسایی گردید. به این ترتیب در ژئورون بیجار سطوح تراکمی حسن‌آباد یاسوکنند، مسجدر و گرماب شناسایی شدند. همچنین در این چاله اسارت‌ها و انحراف‌های ۶ زیرحوضه شناسایی شد. دومینویی که در قزل‌اوزن از آن بحث می‌شود بیشتر بر اثرات تغییر سطوح اساس بر محیط تأکید دارد. دومینوی تغییرات سطح اساس به دو نوع درون حوضه‌ای و برون حوضه‌ای عمل می‌کند. وقتی سطح اساس رودخانه‌ای تغییر می‌کند تغییرات از مصب تا سرچشمه را متأثر می‌سازد. نمونه چنین واکنشی تسلط فرسایش قهقرایی در حوضه است. بیشترین تأثیر تغییر سطح اساس برون حوضه‌ای در لندفرم‌های نزدیک به محل خروجی حوضه اتفاق می‌افتد. واکنش تغییر سطح اساس در لندفرم‌ها به سه صورت خطی، خط در سطح متقارن و خط در سطح نامتقارن است. اثر تغییر سطح اساس برون حوضه‌ای در رسوبات آبرفتی، معمولاً به صورت خطی و به شکل پادگانه‌های رودخانه‌ای منعکس می‌گردد. در صورتی که تغییر سطح اساس به حدی باشد که آب به سنگ‌بستر برسد نحوه عکس‌العمل محیط، به پارامترهای همچون لیتولوژی سنگ‌بستر و وضعیت شیب توپوگرافی و شیب زمین‌شناسی وابسته می‌شود. سلول‌های مختلف در حوضه قزل‌اوزن از سراب تا پایاب در جهت پویایی این رودخانه توزیع متناسبی دارد. توزیع سلول‌های اثرگذار برودتی و رطوبتی وابسته به سلول‌های ژئومورفیکی، شرایط تغذیه مناسب رودخانه را فراهم نموده و از خشک شدن آن جلوگیری می‌کنند. بررسی‌های میدانی حاکی از آن است که شواهد اسارت یا انحراف به صورت تغییر مسیر رودخانه با زاویه ۹۰ درجه یا بیش‌تر، وجود رسوبات آبرفتی درشت‌دانه در سراب رودخانه‌ها، فاقد آبراهه قابل توجه بودن و مساحت ناچیز یک طرف رودخانه، تفاوت ارتفاع زیاد همراه با طول آبراهه کمتر و وجود رسوبات آبرفتی دیاژنز نشده در خط تقسیم آب و منحنی‌های با پالس‌های عمیق یا سینوس‌های عمیق در بین و پایین دست منحنی‌های صاف تا سینوسی ساده در لیتولوژی‌های همگن قابل‌ردیابی و

شناسایی است. گسترش و فراوانی لندفرمها با فرکانس تغییر سطح اساس نسبت عکس دارد؛ هرچه تعداد تغییر سطح اساس منطقه‌ای بیشتر باشد، لندفرمهای متعدد با ابعاد کوچک باقی می‌مانند؛ لندفرمهای بزرگتر متعلق به مکان‌هایی است که تعداد تغییرات کمتر باشد. در چنین مناطقی هرچند لندفرمهای کمتری به وجود می‌آیند ولی سطوح بزرگتر و وسیع‌تری به خود اختصاص می‌دهند. بر همین اساس ناتعادلی فرم‌های منطقه دال بر تعدد تغییر سطح اساس است. عدم وجود پادگانه‌های آبرفتی عریض و ممتد در قزل‌اوزن دال بر تعدد تغییر سطح اساس این رودخانه است. اکثر نظریه‌های موجود درباره گنبدهای نمکی به دیپایر و تکتونیک اشاره می‌کنند؛ اما سخن مهم در مورد گنبدهای نمکی قزل‌اوزن این است که علاوه بر آن‌ها کاوش و حفر رودخانه‌های حوضه قزل‌اوزن و انحراف و اسارت سرشاخه‌های آن در مجموع باعث از بین رفتن ژئونرون‌های مستقل و برونزد گنبدهای نمکی شده است.

کتابنامه

- انیس حسینی، مسعود، ذاکر مشفق، محمد؛ ۱۳۹۲. تحلیل و پیش‌بینی جریان رودخانه کشکان با استفاده از نظریه آشوب. *مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک*. دوره ۸، شماره ۳، صص ۴۵-۶۱.
- آقاناتی، سید علی؛ ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور. ص ۷۰۸.
- 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.
- پورکرمانی، محسن و آرین، مهران؛ ۱۳۷۸. تحلیل ساختاری گسل حلب. *سومین همایش انجمن زمین شناسی ایران*. ص ۳. تهران.
- خسروی، عذرا؛ سپهر، عادل؛ عبدالله زاده، زهرا؛ ۱۳۹۵. رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرو مورفومتری حوضه‌های آبریز دامنه شمالی بینالود. *هیدروژئومورفولوژی*. شماره ۹، صص ۲۰-۱. تبریز.
- داداش زاده، زهرا؛ مختاری، لیلاگلی؛ آراء، هایده؛ ۱۳۹۳. کیاس فرسایشی و تحولات پیش‌بینی نشده چاله اردبیل. *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. سال ۲۵، پیاپی ۵۵، شماره ۳، صص ۲۴۲-۲۳۱.
- دریو، ماکس؛ ۱۳۹۰. مبانی ژئومورفولوژی. ترجمه خیام. مقصود؛ انتشارات مینا. تبریز.
- رامشت، محمد حسین، شاه زیدی، سمیه سادات؛ ۱۳۹۰. کاربرد ژئو مورفولوژی در برنامه ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، توریسم. انتشارات دانشگاه اصفهان. چاپ دوم. ۳۹۲ ص.
- رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۷۵. کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی- منطقه‌ای. انتشارات دانشگاه اصفهان. چاپ اول. اصفهان.
- رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۸۲. نظریه کیاس در ژئومورفولوژی. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*. ۱(۱)، ۳۶-۱۳.

- رضایی مقدم، محمدحسین، ثروتی، محمدرضا، اصغری سراسکانرود، صیاد؛ ۱۳۹۰. بررسی مقایسه‌های الگوی پیچانرود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی مطالعه موردی: رودخانه قزل اوزن. *پژوهش نامه مدیریت حوضه آبخیز*. سال دوم. شماره ۳. صص ۱۸ - ۱.
- سید جوادین، سید رضا، امیرکبیری، علیرضا؛ ۱۳۸۴. مروری جامع بر نظریه‌های مدیریت و سازمان. *نگاه دانش*. جلد اول.
- شقایقیان، محمود رضا؛ بیدختی، ناصرطالب؛ ۱۳۸۸. بررسی وجود آشوب در جریان رود در مقیاس‌های زمانی گوناگون. *مجله مهندسی آب*. سال ۲. صص ۸-۱.
- عملی زاده، هیوا، شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۰. نظریه آشوب در ژئومورفولوژی جریانی. مطالعه موردی تغییرات بستر رود کل. *هرمزگان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. سال ۲۵. پیاپی ۵۵. شماره ۳. صص ۲۳۰-۲۱۷.
- عملی زاده، هیوا، ماه‌پیکر، امید، سعادت‌مند، مریم؛ ۱۳۹۳. بررسی نظریه فرکتال در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای: مطالعه‌ی موردی زربنه‌رود. *مجله پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال سوم. شماره ۲. صص ۲۴۱-۱۳۰.
- فهم فرد، سارا، شمسایی، ابوالفضل، فتاحی، محمدهادی، فرزین، سعید؛ ۱۳۹۴. بررسی تأثیر سد بر الگوی آشوبی انتقال بار معلق رود مطالعه موردی: سد کرج. *مجله مهندسی آب*. سال هشتم. صص ۸۹-۱۰۰.
- قاهری، عباس؛ قربانی، محمدعلی؛ دل افروز، هادی؛ ملکانی، لیللا؛ ۱۳۹۱. ارزیابی جریان رودخانه با استفاده از نظریه آشوب. *مجله پژوهش آب ایران*. سال ۶. شماره ۱۰. صص ۱۸۶-۱۷۷.
- کرم، امیر؛ ۱۳۸۹. نظریه آشوب. فرکتال. برخال؛ و سیستم‌های غیرخطی در ژئومورفولوژی. *فصل‌نامه جغرافیای طبیعی*. سال سوم. شماره ۸. صص ۸۲-۶۷.
- محمودی، فرج‌الله؛ ۱۳۵۲. جغرافیای ناحیه‌ای قروه. بیجار. دیواندره. انتشارات دانشگاه تهران. طرح پژوهشی کردستان. نشریه شماره ۹. ص ۱۸۴.

- Ariza.V. A, Jiménez-Hornero. F., Gutiérrez de Rave. E., 2013, Multi-fractal analysis applied to the study of the accuracy of DEM-based stream derivation, *Geomorphology*, Volume 197, 85-95.
- Baas, A.C.W, 2002. Chaos, fractals and self-organization in coastal geomorphology: simulating dune landscapes in vegetated environments. *Geomorphology* 48, 309 – 328.
- Bi, L., He, H., Wei, Z., Shi, F., 2012. Fractal properties of landform in the Ordos Block and surrounding areas, China. *Geomorphology*, 175, 151–162.
- Dombrádi. E, Timár.G, Bada.G, Cloetingh. S, Horváth. F., 2007. Fractal dimension estimations of drainage network in the Carpathian–Pannonian system, *Global and Planetary Change*, No 58, Pp 197–213.
- Frascati. A and Lanzoni.S., 2010. Long-term River meandering as a part of chaotic dynamics? A contribution from mathematical modelling, *Landforms* No. 35, Pp 791–802.
- Jianhua, X. Yaning, C. Weihong, L. Minhe, J. Shan, D., 2009. The complex nonlinear systems with fractal as well as chaotic dynamics of annual runoff processes in the three headwaters of the Tarim River, *Geogr Sci*, No. 19, Pp 25-35.

- Milliman, J. D., Syvitski J. P. M., 2013. Geomorphic/Tectonic Control of Sediment Discharge to the Ocean: The Importance of Small Mountainous Rivers, the Journal of Geology, Vol. 100, No. 5, Pp. 525-544.
- Nicolis, C., 1987. Long-term climatic variability and chaotic dynamics, Journal Dynamic Meteorology and Oceanography, Vol 39, Issue 1, Pp 1-9.
- Pedersen, G. B. M., & Head, J. W., 2011. Chaos formation by sublimation of volatile-rich substrate: Evidence from Galaxias Chaos, Mars. Icarus, 211(1), 316-329.
- Phillips, J. D., 1993. Interpreting the fractal dimension of river networks. Fractals in geography, 7, 142-157.
- Phillips, J. D., 2006. Deterministic chaos and historical geomorphology: a review and look forward. Geomorphology, 76(1), 109-121.
- Tsonis, A. A., 1989. Chaos and unpredictability of weather, Weather, Vol. 44, P 258–263.
- Turcotte, D.L., 1992. "Fractal and Chaos in Geology and, Geophysics", Geophysics Cambridge University Press, Cambridge, P 121.
- Turcotte, D.L., 2007. "Fractal and Chaos in Geology and, Geophysics", Geophysics Cambridge University Press, Cambridge, P 121.
- Zhou. Y, Ma, Z. Wang, L., 2002. Chaotic dynamics of flood series in the Huaibei River Basin for the last 500 years, journal of Hydrology, no 258, Pp 100-110.