

تحلیل فرم و الگوی شبکه زهکشی حوضه رامهرمز با استفاده از مدل رده‌آریه‌ای

مهشید معاوی^{*}- کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.
هیوا علمیزاده*- استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۳/۰۹

چکیده

شکل‌گیری و تکامل شبکه آبراهه‌ها تحت تاثیر پارامترهای مانند اقلیم، لیتوژئی، فرسایش و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد و با توجه به این که تحلیل یک شبکه زهکشی در پاسخ به فرآیندهایی است که روند تعییر شکل گذشته و اخیر حوضه را توجیه می‌کند، تکنیک رده‌آریه‌ای تحلیل مناسب و قوی برای شناسایی تعادل یک حوضه را فراهم می‌کند. در این پژوهش با هدف بررسی تعییرات ژئومورفولوژیکی و ارتباط بین فرم‌ها و الگوی شبکه آبراهه‌های حوضه رامهرمز، از مدل رده‌آریه‌ای استفاده شده است. در مرحله اول پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۱۷، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و DEM منطقه مورد مطالعه، مرز و شبکه‌های آبراهه‌های حوضه استخراج و در نرم‌افزار MapViewer با استفاده از روش هورتون-استرالر رده‌بندی شده است. داده‌ها پس از برداشت در محیط نرم افزار Global mapper 20 و ArcGIS 10.5 پردازش شده و در نهایت مورد تحلیل قرار گرفتند. مطابق نتایج مدل رده‌آریه‌ای، تعداد و درازای آبراهه‌های سمت چپ حوضه نسبت به سمت راست روند افزایشی دارد و طول رده‌های آبراهه‌ها در هیچ‌کدام از رده‌ها با هم‌دیگر تعادل ندارند. با توجه به یافته‌ها و محاسبات مدل، افزایش و کاهش نسبی تعییرات شبی در قسمت‌های مختلف بر الگوی رودخانه تأثیر گذاشته و تعییراتی در سیمای حوضه مطالعاتی ایجاد کرده است. همچنین بی‌نظمی در آبراهه‌های حوضه ناشی از اشکال مختلف فرسایش و فعالیت تکتونیکی می‌باشد که در تکامل حوضه مورد مطالعه دخالت داشته است. فرم آبراهه‌ها در طول زمان دچار تعییرات شده‌اند که این تعییرات حاکی از کوتاه بودن آبراهه اصلی، تعییر مسیر آبراهه‌ها، تعییر شبی نیمرخ طولی حوضه، جابه‌جایی کانال، تعییرات عرضی و فعالیت تکتونیکی حوضه می‌باشد. این بی‌نظمی‌ها که نوعی ناتعادلی و آشوب در آبراهه‌ها ایجاد نموده، بیانگر این است که آبراهه‌های پهنه پژوهش از الگوی کیاتیک پیروی می‌کند. در واقع با وقوع آستانه، فرم و فرآیندهای ژئومورفیکی آبراهه‌های حوضه تعییر پیدا می‌کنند.

واژگان کلیدی: رودخانه رامهرمز، ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، ماتریس، مدل رده‌آریه‌ای، آستانه.

مقدمه

برخی از پدیده‌های طبیعی، مانند رودخانه‌ها، تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف همواره از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در حال تغییر بوده و بدون نظم به نظر می‌رسند (آریزا^۱ و همکاران، ۲۰۱۳، ۸۶)، در صورتی که می‌توان به منظور شناخت غیریکنواختی موجود در ژئوسیستم‌های رودخانه‌ای و بررسی ارتباط بین فرم‌ها و الگوهای شبکه زهکشی و همچنین پیش‌بینی الگوهای رفتاری اینگونه محیط‌های طبیعی، از قوانین حاکم بر فرم‌های ژئوسیستمی استفاده نمود و با کمک مدل‌های کمی آن‌ها را نظم داد (سپهر و همکاران، ۱۳۹۵، ۱۰ و شایان و همکاران، ۱۳۹۵، ۲۳۲).

شبکه آبراهه‌ها به دلیل ویژگی‌های طبیعی خود به طور مداوم در حال تغییر و تحول می‌باشند (پیری و همکاران، ۱۳۹۳، ۵۷)؛ به همین دلیل، ناپایداری ویژگی ذاتی این محیط‌ها بوده و تحت تأثیر عوامل طبیعی یا انسانی، دچار تغییر مسیر و تغییر الگو می‌شوند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۰، ۱۲۵). از این‌رو مطالعه تغییرات مورفولوژیک رودخانه‌ها و روابط آن با عوامل تأثیرگذار طبیعی و انسانی به طور گسترده‌ای به عنوان یک ابزار مفید به منظور مشخص نمودن روند تکاملی رودخانه‌ها و برنامه‌ریزی درست برای حفاظت و بازسازی رودخانه‌ها شناخته شده است (حسین زاده و همکاران، ۱۳۹۵، ۴۳). پیدایش و تکامل شبکه‌های رودخانه‌ای، یک پدیده تدریجی و پیچیده است که به عوامل مختلف طبیعی و انسانی بستگی دارد و فرآیندهای آن طی دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت و بلندمدت بر یکدیگر اثر می‌گذارند (برتولونی^۲، ۲۰۱۲، ۴۶۰)؛ به طوری که شبکه‌های رودخانه‌ای به عنوان یک هویت سیستمی و یکی از بارزترین فرم‌ها و الگوهای هندسی در محیط طبیعی، ساختارهای درخت مانندی را ایجاد می‌کنند که در جهت ایجاد تعادل در سیستم‌های رودخانه‌ای، امکان حمل رسوب و رواناب را تا پایدارترین قسمت یک سیستم آبریز خروجی یک حوضه فراهم کرده و رفتارهای مبتنی بر نظم هندسی را در این فرایند از خود بروز می‌دهند (سپهر و همکاران، ۱۳۹۵، ۴). در این رابطه و به ویژه در چند دهه اخیر، بررسی تغییرات فرم و مورفولوژی شبکه‌های زهکشی و پارامترهای تأثیرگذار بر آن، به طور گسترده‌ای به عنوان ابزارهای مفید به منظور شناخت بهتر روند تکاملی رودخانه مطرح می‌باشند (کرک^۳ و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۱۰۶). علاوه بر این ویژگی‌های مورفولوژی مانند رده آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، شبیب آبراهه‌ها، ناهمواری، طول جریان سطحی، فراوانی آبراهه، شکل رودخانه و سایر جنبه‌های مورفولوژی حوضه‌ها برای شناسایی مهم هستند و برای شناخت و محاسبه آن‌ها باید به یک روش مناسبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند (گلکار^۴ و همکاران، ۲۰۱۳، ۳۴).

در این میان مدل رده‌آرایه‌ای، به عنوان ابزار ارزشمند یک روش را عرضه می‌کند که شبکه‌های رودخانه‌ای را مستقل از اندازه آن‌ها، بررسی، مقایسه و تحلیل نموده و درجه‌ی بی‌نظمی شبکه‌های رودخانه‌ای را ارائه می‌دهد. مدل رده‌آرایه‌ای قادر است پیچیدگی‌های شکل حوضه را معکس کند و شبکه آبراهه‌ها و مسیرهای پر پیچ و خم رودخانه‌ها را به صورت کمی بررسی نموده، این عمل نشان دهنده ویژگی شکل حوضه برای درک تحلیل الگوی توسعه و تکامل جریان طبیعی در رودخانه است (کامارا^۵ و همکاران، ۲۰۱۶، ۹۴۶). از این‌رو هدف این پژوهش آگاهی از وضعیت ژئومورفولوژیکی و تحلیل ارتباط بین فرم‌ها و الگوی شبکه آبراهه‌های حوضه رودخانه رامهرمز با استفاده از مدل رده‌آرایه‌ای می‌باشد.

پیشینه تحقیق

در سال‌های اخیر بسیاری از پژوهشگران علم ژئومورفولوژی رودخانه همواره در پی یافتن روش‌های جدیدی برای بررسی ژئومورفولوژی رودخانه‌ای و ارتباط بین فرم‌ها و الگوی شبکه آبراهه‌ها می‌باشند و بیشتر مطالعات بر روی الگوی زهکشی شبکه‌های رودخانه‌ای متمرکز شده است از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به رضایی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۱)،

¹ Ariza

² Bartolini

³ Carke

⁴ Golekar

⁵ Camara

جعفری و رستم‌خانی (۱۳۹۱)، اصغری سراسکانرود و زینالی (۱۳۹۴)، ایلدرمی و سپهری (۱۳۹۷)، کرمی و همکاران (۱۳۹۷)، فتاحی و کامیاب (۱۳۹۷) و سلطانی و همکاران (۱۳۹۸) اشاره نمود. همچنین در سطح جهان نیز هانکوک^۱ (۲۰۰۵)، بین^۲ و همکاران (۲۰۰۸)، لیانگ^۳ و همکاران (۲۰۱۲)، سوپامیلک^۴ (۲۰۱۴)، گپتا و مسا^۵ (۲۰۱۴)، روزو^۶ و همکاران (۲۰۱۴)، توناس^۷ و همکاران (۲۰۱۶)، یانگ و شی^۸ (۲۰۱۷)، یو^۹ و همکاران (۲۰۱۸) و میکسнер^{۱۰} (۲۰۱۹) مطالعاتی در این خصوص انجام داده‌اند؛ اما در این میان مطالعاتی نیز در خصوص تحلیل ارتباط بین فرم‌ها و الگوی هندسی شبکه زهکشی رودخانه‌ها صورت گرفته که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

عزیزیان و شکوهی (۱۳۹۲) با ارزیابی اثر توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاعی و آستانه شکل‌گیری آبراهه‌ها در حوضه کسیلیان پرداختند و نشان دادند با کاهش ابعاد سلول DEM تعداد آبراهه‌های هر رده افزایش پیدا می‌کند و این افزایش رده‌ها در رتبه ۱ و ۲ نسبت به سایر رده‌ها معنی دار می‌باشد (تعداد آبراهه‌های رده ۳ و ۴ با یکدیگر اختلاف چندانی ندارد). همچنین کاهش تعداد سلول‌ها با افزایش ابعاد سلولی همراه است که تراکم زهکشی را کمتر می‌کند.

بهرامی (۱۳۹۴) به تحلیل ناهنجاری‌های سلسله مراتبی شبکه زهکشی ده حوضه آبخیز زاگرس در ارتباط با تکتونیک پرداخت و با استفاده از از ساختهای سلسله مراتبی شبکه زهکشی و ساختهای ژئومورفیک نشان داد ناهنجاری‌های شبکه زهکشی در حوضه‌های مورد مطالعه، کاملاً تحت تأثیر درصد کج شدگی و کشیدگی حوضه قرار دارد.

علمیزاده و عباسی (۱۳۹۷) با تحلیل رده آرایه‌ای شبکه آبراهه‌های بستر خشک شده دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش استرال، نتیجه گرفتند همبستگی میان رده و میانگین درازای آبراهه‌ها در دو نیمه تقريباً برابر و حدود ۹۸٪ می‌باشد. تفاوت میانگین درازای آبراهه‌ها در این دو نیمه در روند شتاب افزایشی - کاهشی آن است، به گونه‌ای که روند شتاب افزایش و کاهش میانگین درازای آبراهه‌ها در نیمه چپ شدیدتر از نیمه راست می‌باشد.

زناردو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی نتایج روش توکوناگا^{۱۲} در جریان رودخانه‌های آمریکا با استفاده از پارامترهای توکوناگا به این نتایج دست یافتند که شاخه‌های رودخانه وابستگی قابل توجهی به متغیرهای هیدروکلیماتیک حوضه دارند و می‌توان ارتباط جریان پایین دست رده‌ها را با ترسیم حوضه به شکل درختان فرکتالی نشان داد.

بیسواز^{۱۳} (۲۰۱۶) با استفاده از GIS و پارامترهای مورفومتری، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه پاریتیدر هند را مورد تحلیل قرار داد. نتایج نشان داد حوضه در مراحل اولیه تحت تأثیر تحول زهکشی قرار گرفته و تعداد آبراهه‌های رتبه اول در زیرحوضه‌ها نسبت به رتبه‌های دیگر بیشتر هستند، لذا منطقه در ارتباط با فعالیت نئوتکتونیکی قرار دارد.

زو^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از ابعاد فرکتال، بخش‌های عرضی کانال رودخانه زیر سد را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد ابعاد فرکتال مقطع عرضی رودخانه با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد، همچنین هرجا توپوگرافی حوضه صاف و ملایم باشد، بعد فرکتالی کمتر و ناتعادی افزایش می‌یابد.

¹ Hancock

² Bin

³ Leang

⁴ Sowpamilk

⁵ Gupta and Mesa

⁶ Rozo

⁷ Tunas

⁸ Yang and Shi

⁹ Yu

¹⁰ Meixner

¹¹ Zanardo

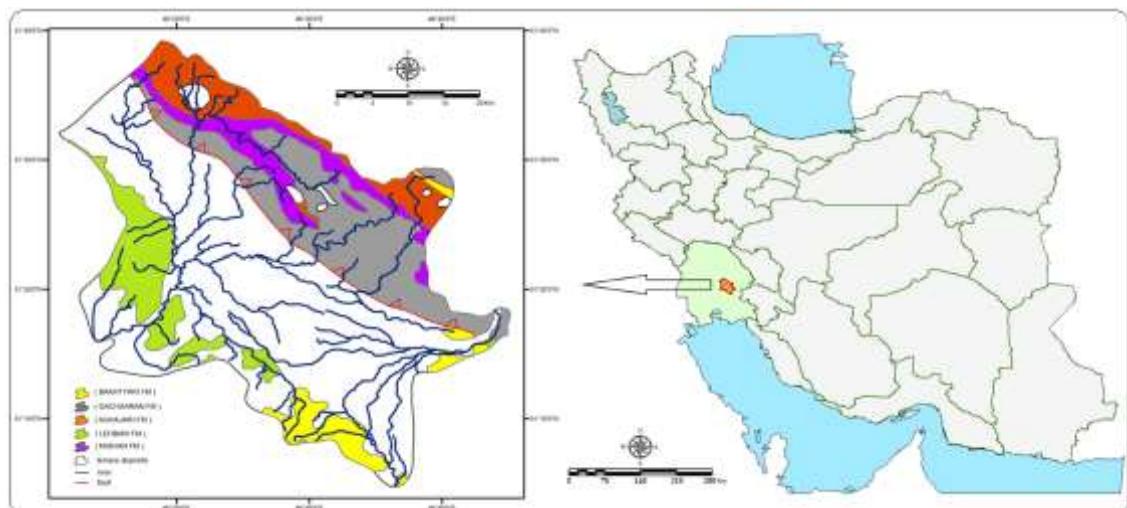
¹² Tokunaga

¹³ Biswas

¹⁴ Zhou

منطقه مورد مطالعه

حوضه رامهرمز در جنوب غربی ایران و بین طول شرقی $46^{\circ}-49^{\circ}$ و عرض شمالی $31^{\circ}-40^{\circ}$ قرار دارد. از شمال به مسجد سلیمان، از شمال شرق به باغملک، از شرق به دالون-میداود، از جنوب شرق به جایزان از جنوب تا غرب به شادگان و از شمال غرب به میان آب-شوستر محدود می‌شود. هفتگل، رامهرمز، بنه کریم، کمتوله و بایمان از جمله شهرستان‌ها و روستاهای محدوده مورد مطالعه می‌باشند. محدوده مورد مطالعه جزو حوضه جراحی-زهره و در محدوده حوضه آبریز خلیج فارس قرار گرفته است. این حوضه در بخش مرکزی ارتفاعات زاگرس در امتداد شمال غرب-جنوب شرق مطابق با کشیدگی ارتفاعات مذکور واقع شده و متصل از رسبات کواترنری، سازندهای گچساران، لهبری، آگاجاری، میشان و بختیاری می‌باشد (شکل ۱).

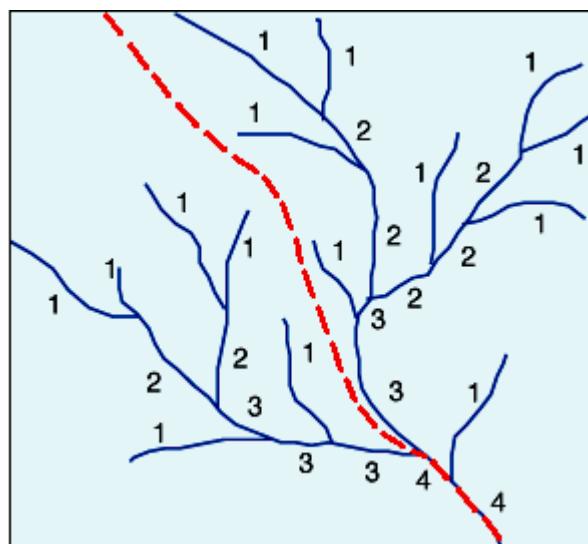


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در مرحله اول پژوهش تصاویر ماهواره‌ای لندست سال ۲۰۱۷، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و DEM منطقه مورد مطالعه تهیه و مرز حوضه و شبکه‌های آبراهه‌های آن استخراج شده است. پس از برداشت و ذخیره سازی تصاویر جهت مشخص نمودن دقیق مرز و مسیر شبکه‌های زهکشی، حوضه مطالعاتی به محیط نرم افزار Global mapper 20 منتقل و پردازش شد. همچنین شبکه آبراهه‌های حوضه به کمک نرم افزار Arc GIS 10.5 استخراج شده و با فرمت Shapefile پردازش گردید. در ادامه داده‌های وکטורی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم افزار MapViewer فراخوان شده و با توجه به اینکه مبانی هرگونه تجزیه و تحلیل عددی ویژگی‌های رودخانه‌ها، با مفهوم رتبه‌بندی رود ارتباط دارد؛ شبکه زهکشی رودخانه رامهرمز با بهره‌گیری از روش هورتون - استرال رتبه‌بندی گردید. بر این اساس در این پژوهش برای مدل رده آرایه‌ای، ابتدا خط تقسیم حوضه^۱ رامهرمز مشخص شده و در مرحله بعد برای آن که رده‌ها را در قالب ماتریس تنظیم نمود، رده‌های (۱)، (۲)، (۳) به (۱)، (۲)، (۳) و تا آخرین رده که رده اصلی می‌باشد، در دو نوع جهت (راست و چپ) در نمای آرایه‌ای در جداول قرار می‌گیرند (شکل ۲).

^۱ خط تقسیم حوضه یک خط فرضی در راستای آبراهه‌ای است که دارای بزرگترین رده است که محل تقسیم حوضه به دو نیمه راست و چپ می‌باشد.



شکل ۲: مدل رده‌بندی و تقسیم حوضه به دو نیمه راست و چپ

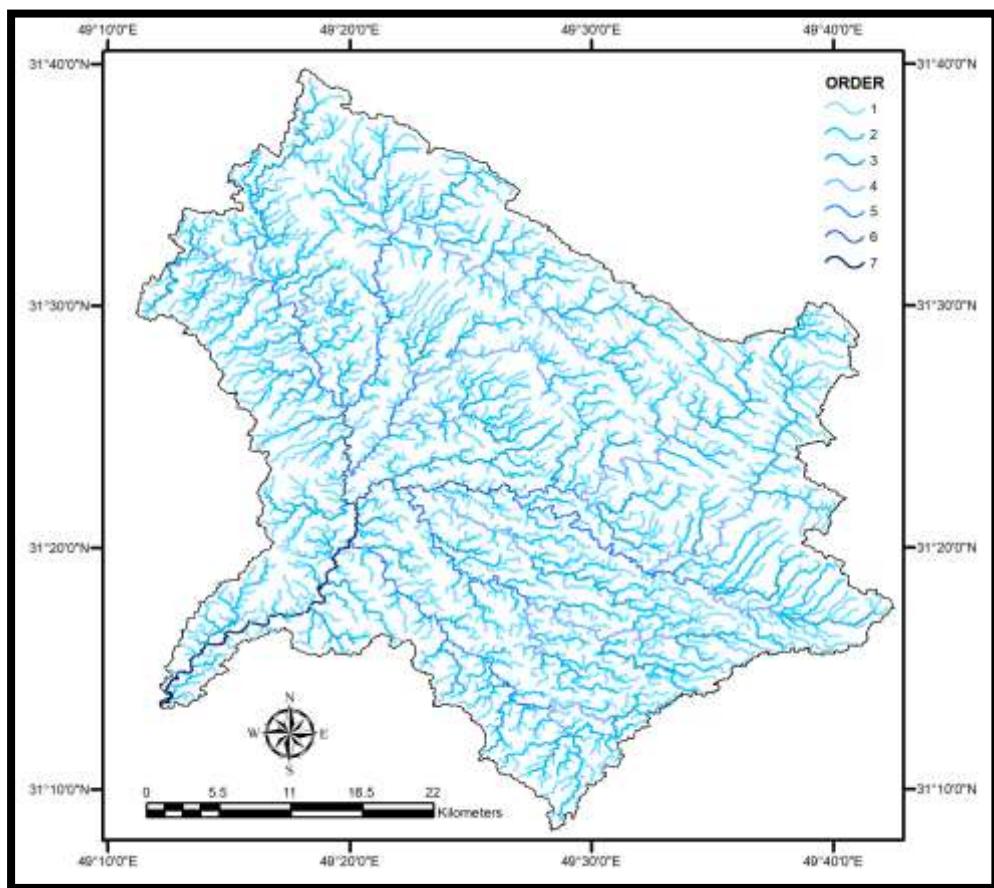
در ادامه و مطابق این روش، رده (۱) که به رده‌های بزرگ‌تر می‌پیوندد به طور جداگانه محاسبه شده و بقیه رده‌ها هم به این روش مورد محاسبه قرار می‌گیرند (رده ۲ به ۴، ۳، ۵... رده ۳ به ۴، ۵ و سایر رده‌ها) سپس، آرایه‌های رده‌ها در جداول، به صورت تعداد رده‌ها، طول درازای رده‌ها و میانگین طول با استفاده از نرم‌افزار Grapher10 محاسبه و ترسیم می‌شوند و در نهایت نتایج داده‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرند (علمی‌زاده و عباسی، ۱۳۹۷، ۱۵۲).

نتایج و بحث

شكل‌گیری و تکامل شبکه آبراهه‌های حوضه‌های زهکشی تحت تاثیر پارامترهایی مانند اقلیم، لیتوژوژی، فرسایش و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد (گارنیری و پیروتا^۱، ۲۰۰۸، ۲۶۴) و با توجه به این که تحلیل یک شبکه زهکشی در پاسخ به فرآیندهایی است که روند تغییر شکل گذشته و اخیر حوضه را توجیه می‌کند (احمد و راو^۲، ۲۰۱۶، ۵۴)، تکنیک رده آرایه‌ای تحلیل مناسب و قوی برای شناسایی تعادل یک حوضه را فراهم می‌کند. در این راستا با پردازش داده‌ها، هر کدام از بخش‌های راست و چپ پهنه پژوهش مورد شناسایی و بررسی قرار گرفتند و نقشه شبکه آبراهه‌های پهنه پژوهش ترسیم گردید (شکل ۳).

¹ Guarneri and Pirrotta

² Ahmed and Rao



شکل ۳: رتبه‌بندی آبراهه‌های حوضه رامهرمز به روش استرالر

با بهره‌گیری و پردازش نقشه شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه، فراداده‌های میانگین، جمع، تعداد و طول آبراهه‌ها بر پایه رده آن‌ها بدست آمده و در (جدول ۱ تا ۴) نمایش داده شد. همان‌گونه که در (شکل ۳) مشاهده می‌شود، بالاترین رده آبراهه‌های حوضه رتبه ۷ است. همچنین مطابق (جدول ۱) مشاهده می‌شود، در دو طرف پهنه پژوهش رده‌های هم نام که به یکدیگر پیوسته‌اند، از نظر تعداد دارای اختلاف بسیار اندک و تقریباً برابر هستند؛ که ناشی از فرسایش، تغییر شیب و تراکم زهکشی تقریباً یکسان در سمت دو بخش حوضه می‌باشد. در این رابطه، در رده‌های پایین‌تر که به رده‌های بالاتر می‌ریزند، ناتعادلی نمایان است. رده‌های (۱، ۲، ۳) با اختلاف بیشتری در دو قسمت پهنه پژوهش به رده‌های بالاتر از خود می‌ریزند، اما؛ در قسمت راست پهنه پژوهش هیچ آبراهه رده (۶) به رده (۴) نمی‌ریزد، در حالی که در قسمت چپ پژوهش یک آبراهه (۴) به رده (۶) می‌پیوندد. در بخش راست پژوهش هیچ آبراهه رده (۵) به رده (۷) نمی‌ریزد، در حالی که در پهنه چپ یک آبراهه (۵) به رده (۷) می‌پیوندد. همچنین آبراهه‌های (۶) که به رده‌های بالاتر از خود می‌ریزند، در دو قسمت پهنه پژوهش وجود ندارند. جایه‌جایی کانال‌ها، تغییر مسیر آبراهه‌ها و فعالیت تکتونیکی از دلایل ایجاد اختلاف زیاد و ناتعادلی در دو طرف پهنه تحقیق می‌باشند، همچنین؛ نحوه، میزان و مراحل تغییر فرم آبراهه‌ها متأثر از زمان که به عنوان یک متغیر اصلی در ایجاد آستانه^۱ است، با ایجاد تغییر اندک، حساسیت نشان می‌دهند، مؤید این است که آبراهه‌ها روند کیاس را پیش می‌گیرند.

¹ Threshold

جدول ۱: تعداد رده‌های ۱ تا ۷ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

ردی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۱۸۲+۱۸۳	۱۸۱	۸۲	۶۰	۵۱	۱۲	۱۳
۲	۲۵۲	۴۴+۴۳	۴۱	۲۵	۱۹	۲	۶
۳	۱۴۲	۴۸	۱۰+۱۰	۱۱	۶	۳	۲
۴	۷۵	۲۴	۶	۴+۳	۴	۰	۰
۵	۴۴	۲۳	۱۱	۱	۱+۱	۱	۰
۶	۱۵	۷	۱	۱	۱	۱+۱	۰
۷	۱۰	۹	۳	۰	۱	۰	۱

مطابق نتایج مدل رده آرایه‌ای، پهنه راست پژوهش با تعداد (۱۰۰۱) آبراهه و مجموع طول کل آبراهه ($2260/2\text{ km}$) و پهنه چپ پژوهش با تعداد (۱۱۵۸) آبراهه و مجموع طول کل آبراهه ($3279/8\text{ km}$) می‌باشد. مطابق با (جدول ۲)، جمع درازای هر رده از آبراهه‌ها با ارقام متفاوتی نشان داده شده است که نشان می‌دهد، درازای رده‌های آبراهه‌ها در هیچ‌کدام از رده‌ها با هم‌دیگر تعادل ندارند.

جدول ۲: جمع درازای آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش به کیلومتر

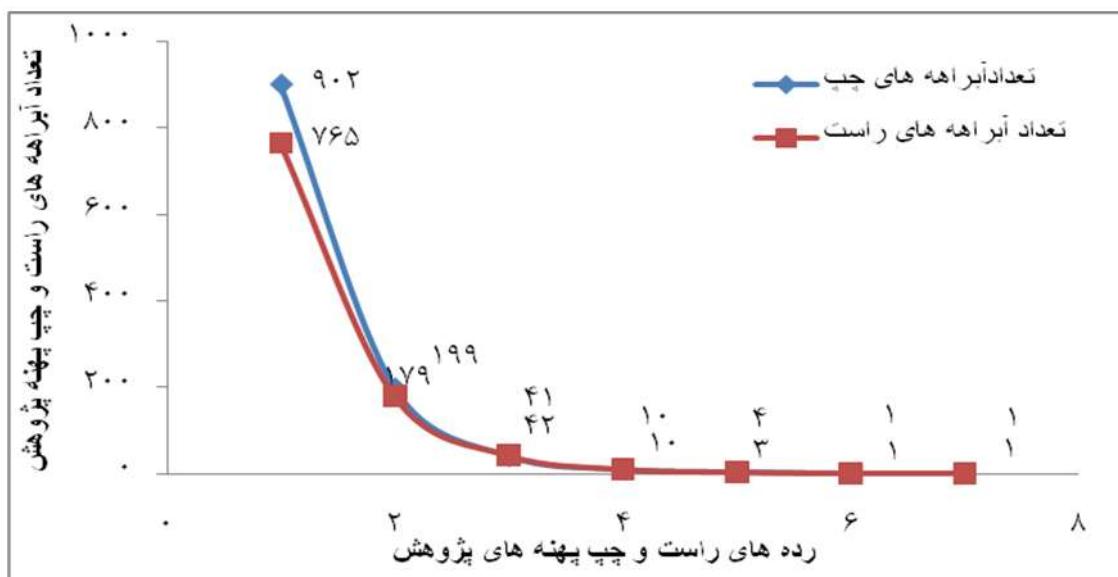
ردی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۷۵۲/۸+۲۹/۰۲	۵۳۰/۲	۱۰۶	۷۳/۲۶	۶۹/۸۷	۱۱/۵۷	۱۱/۹۴
۲	۷۷۶/۲۸	۲۴۹/۱+۲۹۴/۲	۱۴۲/۴	۹۳/۲۳	۱۷/۰۲	۴/۳۸	۶/۴۶
۳	۵۳۶/۳۴	۱۰۲/۴	۳۰/۵+۷۵۲/۸	۱۶/۱۲	۲۱/۳۳	۸/۰۳	۴/۳۹
۴	۱۵۸/۲۸	۸۶/۹۱	۱۲	۴۱/۳۱+۵۸۸/۱	۷/۶۵	۰	۰
۵	۱۱۲/۸۷	۸۹/۲۸	۱۱/۳۷	۳/۶۶	۸/۱۹+۶۵/۵	۲۵/۹	۰
۶	۱۰۴/۲۸	۱۸/۴۶	۱۱/۰۲	۸/۶	۱۲/۰۳	۷/۱+۴۶۴/۸	۰
۷	۷۸/۳۴	۱۰/۸۸	۷/۳۷	۰	۱۸/۲۱	۱۹/۹۴	۱۹/۹۴

در قسمت چپ پهنه پژوهش؛ میانگین درازای آبراهه‌های رده (۱) که به رده‌های (۲ و ۳) می‌رسند، روند افزایشی میانگین درازای آبراهه‌ها برقرار است (جدول ۳). این روند در رده (۱) که به (۴) می‌رسد کاهش یافته، در حالی که در قسمت راست پهنه پژوهش روند کاهشی میانگین درازای آبراهه‌ها (۱) که به رده (۱، ۲، ۳) می‌رسد بیشتر نمایان است. در این میان؛ میانگین درازای آبراهه‌ها با اختلاف کم در رده (۱) (سمت راست پژوهش ۴/۱۱ و سمت چپ ۴/۶۸) که به هم پیوند می‌خورند و رده‌های (۱ و ۲) سمت راست محدوده مطالعاتی به ترتیب (۰/۹۱۹، ۰/۰۸) کیلومتر که به رده (۷) می‌رسد، نمایانگر تغییرات اندک در پارامترهای ژئومورفولوژیکی آبراهه‌های حوضه می‌باشد و روند درازای آبراهه رده‌های (۱ تا ۷) در دو طرف پهنه‌های پژوهش حالت صعودی به نزولی گرفته‌اند.

جدول ۳. میانگین درازای رده‌های ۱ تا ۷ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش به کیلومتر

ردی	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۴/۴+۱۱/۶۸	۲/۹۳	۱/۲۹	۱/۲۲	۱/۳۷	۰/۹۶۴	۰/۹۱۹
۲	۳/۰۸	۵/۲+۸۰/۴	۳/۴۷	۳/۷۳	۰/۸۹۶	۲/۱۹	۱/۰۸
۳	۳/۷۸	۲/۱۴	۳/۵+۰۸/۰۹	۱/۴۷	۳/۵۶	۲/۶۸	
۴	۲/۱۱	۳/۶۲	۲/۰۰۱	۱۳/۷+۸۶/۷	۱/۹۱	۰	۰
۵	۲/۰۶	۳/۸۸	۱/۰۳	۳/۶۶۷	۸/۱۹+۶۵/۵	۲۵/۳۱	۰
۶	۶/۹۵	۲/۶۴	۱۱/۰۲	۸/۶۰	۱۲/۰۳	۷/۱+۴۶۴/۸	۰
۷	۷/۸۳	۱/۲۱	۲/۴۶	۰	۱۸/۲۸	۱۹/۹۴	۱۹/۹۴

روند میانگین درازای آبراهه‌های سمت راست پهنه پژوهش در رده ۱ (۸۵۸/۴ کیلومتر، روند نزولی)، رده ۲ (۱۸۲۶/۱ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۳ (۴۰۵۴/۶ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۴ (۷۴۰۷/۳ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۵ (۱۸۰۴۸ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۶ (۱۲۱۴۶ کیلومتر، روند نزولی)، رده ۷ (۳۲۰۷۶ کیلومتر، روند صعودی) می‌باشد؛ اما روند میانگین درازای آبراهه‌ها در پهنه چپ پژوهش رده ۱ (۱/۷۲، روند نزولی)، رده ۲ (۲/۰۸، روند صعودی)، رده ۳ (۲/۲۶ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۴ (۴/۳۴ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۵ (۱۲/۴۶ کیلومتر، روند صعودی)، رده ۶ (۱۰/۸۷۸ کیلومتر، روند نزولی) و رده ۷ (۱۹/۹۴ کیلومتر، روند صعودی) محاسبه شده است. این امر نشان‌دهنده عدم تعادل در میانگین درازای در دو قسمت پهنه پژوهش است؛ به طور کلی تعداد و درازای آبراهه‌ها سمت چپ پژوهش نسبت به سمت راست پژوهش روند افزایشی دارد (شکل ۴ و جدول ۴).



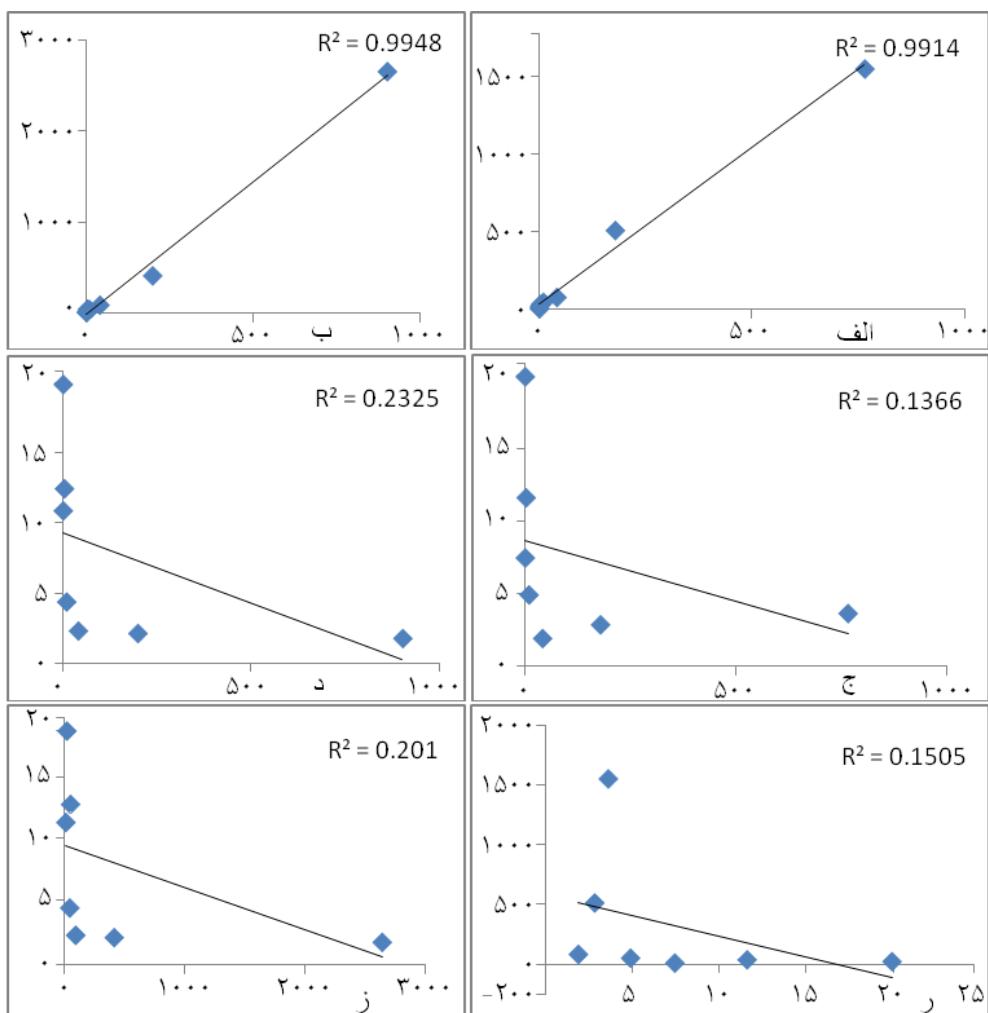
شکل ۴. تعداد آبراهه‌ها رده‌های راست و چپ پهنه پژوهش

جدول ۴. تعداد، جمع و میانگین درازای رده‌های ۱ تا ۷ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

رده	تعداد آبراهه‌های راست	تعداد آبراهه‌های چپ	درازای آبراهه‌های راست	درازای آبراهه‌های چپ	میانگین درازای آبراهه‌های راست	میانگین درازای آبراهه‌های چپ
۱	۷۶۵	۹۰۲	۱۵۵۵/۲۳۶	۲۶۴۹/۴۲۵	۳/۶۴	۱/۷۲
۲	۱۷۹	۱۹۹	۵۱۲/۸۴۹	۴۱۳/۶۹۱	۲/۸۶	۲/۰۸
۳	۴۲	۴۱	۸۰/۸۵۸	۹۲/۵۴۳	۱/۹۲	۲/۲۶
۴	۱۰	۱۰	۴۹/۲۳۸	۴۳/۴۲۸	۴/۹۲	۴/۳۴
۵	۳	۴	۳۴/۸۲۹	۴۹/۸۲۷	۱۱/۶۱	۱۲/۴۶
۶	۱	۱	۷/۴۶۴	۱۰/۸۷۸	۷/۴۶۴	۱۰/۸۷۸
۷	۱	۱	۱۹/۹۴	۱۹/۹۴	۱۹/۹۴	۱۹/۹۴

ضریب تعیین نیمه راست پژوهش برابر با $(۰/۹۹۱۴)$ و در نیمه چپ $(۰/۹۹۴۸)$ محاسبه شده است. براین پایه می‌توان چنین گفت که هر چند همبستگی تعداد آبراهه‌ها و درازای آبراهه‌ها در دو نیمه پهنه پژوهش بالا است. ضریب تعیین تعداد آبراهه‌ها و میانگین درازای آبراهه‌ها در نیمه راست $(۰/۱۳۶۶)$ و در نیمه چپ $(۰/۲۳۲۵)$ است که افزایش نشان می‌دهد؛

در صورتی که درازای آبراهه‌ها و میانگین درازای آبراهه‌ها در نیمه راست ($0/150.5$) نسبت به نیمه چپ ($0/201$) بیشتر شده است. تغییرات ضریب تعیین در دو پنهانه پژوهش نشان از تفاوت در ریخت شناسی حوضه می‌باشد (شکل ۵).



شکل ۵. الف: همبستگی تعداد آبراهه‌ها با درازای آبراهه پنهانه راست پژوهش، ب: همبستگی تعداد آبراهه‌ها با درازای آبراهه پنهانه چپ پژوهش، ج: همبستگی تعداد آبراهه‌ها با میانگین درازای آبراهه پنهانه راست پژوهش، د: همبستگی تعداد آبراهه‌ها با میانگین درازای آبراهه پنهانه چپ پژوهش، ر: همبستگی درازای آبراهه‌ها با میانگین درازای آبراهه پنهانه راست پژوهش، ز: همبستگی درازای آبراهه‌ها با میانگین درازای آبراهه پنهانه چپ پژوهش

نتیجه‌گیری

پیدايش، شکل‌گیری و تکامل الگوهای شبکه زهکشی درختی در بستر یک حوضه آبریز که به عنوان یک هویت ژئوسیستمی شناخته می‌شوند، نتیجه پاسخ‌های غیرخطی جریانات رسوب و رواناب به ویژگی‌های ذاتی و بیرونی حوضه می‌باشد. با توجه به یافته‌ها و محاسبات مدل رده‌آرایه‌ای، بنظری در آبراهه‌های حوضه رامهرمز ناشی از اشکال مختلف فرسایش و فعالیت تکتونیکی می‌باشد که در تکامل حوضه مورد مطالعه دخالت داشته است. افزایش و کاهش نسبی تغییرات شب در قسمت‌های مختلف بر الگوی رودخانه تأثیر گذاشته و تغییراتی در سیمای حوضه مورد مطالعه ایجاد کرده است. عوامل طبیعی و انسان‌ساخت باعث تغییراتی در فرم و الگوی رودخانه رامهرمز شده است. تغییرات طبیعی بیشتر مربوط به دریافت میزان متفاوت دبی که با تغییرات رسوبی از نظر حجم رسوب و میزان رسوب‌گذاری در بستر رودخانه است؛ بدین

صورت رسوبات حمل شده باعث کاهش سطح مقطع رودخانه می‌شود و در نهایت باعث نگهداشت آب در قسمت‌هایی از مسیر رودخانه شده که تغییراتی در بستر حوضه ایجاد می‌کند. علاوه براین، فعالیت‌های تکتونیکی نیز در تکامل سیمای حوضه مؤثر واقع شده به گونه‌ای که روند غیرخطی از این عامل تعییت می‌کند، پیچ و خم‌های زیاد در قسمت شمالی، حوضه را به حالت تعادل نزدیک می‌کند. اما میزان پیچ و خم کم در قسمت جنوبی حوضه بیانگر جوان بودن این قسمت حوضه می‌باشد. عوامل انسانی مانند احداث سد و پل بر روی رودخانه رامهرمز و عملیاتی که به منظور نگهداشتن آب و بهره‌برداری از آن برای مصارف کشاورزی صورت می‌پذیرد، نیز در تغییرات فرم و مورفولوژی آبراهه‌ها نقش داشته‌اند.

همچنین نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد تعداد رده‌های همنام که به هم‌دیگر پیوسته‌اند، تقریباً دارای تعادل‌اند. اما آبراهه‌های پایین که به رده‌های بالاتر از خود می‌ریزند، در دو پهنه پژوهش از اختلاف بالایی برخوردارند، لذا روند درازای آبراهه‌های چپ حالت افزایشی نسبت به آبراهه‌های پهنه راست گرفته‌اند. از آن جا که پایداری و تعادل آبراهه‌ها، انعکاسی از وجود نوعی تعادل بین فرم آن‌ها تلقی می‌شود، در این میان، میانگین درازای آبراهه‌ها در دو طرف پهنه پژوهش؛ آبراهه‌های رده (۴) که به رده (۵)، رده (۶) به رده (۷) و رده (۲) به رده (۳) می‌ریزند، در طی یک دوره زمانی، تغییرات کمی در فرم آن‌ها رخ داده و از اختلاف کمی برخوردارند. تغییرات میانگین درازای طول آبراهه‌های سمت چپ نسبت به سمت راست بیشتر می‌باشد که نشان می‌دهد نظام سلسه مراتبی شبکه زهکشی به میزان زیادی در تحول آبراهه‌های قسمت چپ پهنه پژوهش تأثیر گذاشته‌اند، به گونه‌ای که روند شتاب افزایش و کاهش میانگین درازای آبراهه‌ها در نیمه چپ شدیدتر از نیمه راست می‌باشد که با یافته‌های علمی‌زاده و عباسی (۱۳۹۷) و بیسواز (۲۰۱۶) مطابقت دارد.

زمان محور اصلی تحلیل آستانه‌هاست. فرم آبراهه‌های مورد مطالعه در طول زمان دچار تغییرات شده‌اند که این تغییرات حاکی از کوتاه بودن آبراهه اصلی، تغییر مسیر آبراهه‌ها، تغییر شیب نیمرخ طولی حوضه، جابه‌جایی کanal، تغییرات عرضی و فعالیت تکتونیکی حوضه می‌باشد. این بی‌نظمی‌ها که نوعی ناتعادلی و آشوب در آبراهه‌ها ایجاد نموده، بیانگر این است؛ آبراهه‌های پهنه پژوهش از الگوی کیاتیک پیروی می‌کند. در واقع با وقوع آستانه، فرم و فرآیندهای ژئومورفیکی آبراهه‌های حوضه تغییر پیدا می‌کنند. گاه مقیاس زمانی آن قدر به سرعت اتفاق می‌افتد که می‌توان شاهد تحول در ژئومورفولوژی آبراهه‌ها بود، این ناتعادلی طی زمان بروز پیدا می‌کند و سیستم کیاس که یک سیستم پویای غیرخطی و نسبت به شرایط اولیه بسیار حساس می‌باشد، با تغییر کم در شرایط اولیه، حوضه شرایط آشوبناکی به خود می‌گیرد. بیشترین تحول آبراهه‌های حوضه و به ویژه پهنه چپ، فرسایش ناشی از تکتونیک و سازندهای ژئومورفیکی آبراهه‌ها در دو پهنه پژوهش می‌باشد. در حالی که فرم آبراهه‌ها از جنبش‌های تکتونیک تأثیر پذیرفته و حالت شکسته دارند.

منابع

- اصغری سراسکانرود، ص، زینالی، ب، ۱۳۹۴. بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه گرمی‌چای استان آذربایجان شرقی با استفاده از روش ژئومورفولوژی و تحلیل فرکتال. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی‌ام، شماره چهارم، شماره پیاپی ۱۱۹، صص ۷۸-۶۴.
- ایلدرمی، ع.ر، سپهری، م، ۱۳۹۷. فرسایش‌پذیری سازندهای زمین شناسی با استفاده از تحلیل بعد فرکتال شبکه زهکشی.
- پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۸۷-۷۰.
- پیری، ز، رضایی مقدم، م.ح، عاشوری، م، بررسی تأثیر احداث سد در جابه جایی مسیر و تغییر الگوی رودخانه با استفاده از GIS و سنجش از دور (مطالعه موردی: رودخانه اهر)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۵، پیاپی ۵۶، ش ۴، زمستان ۱۳۹۳، صص ۶۸-۵۷.
- جعفری، غ، رستم خانی، ا، ۱۳۹۱. مدیریت منابع آب با رویکردی طبیعت‌گرایانه (مطالعه موردی حوضه آبی ایجرود). اندیشه جغرافیایی، شماره یازدهم، دانشگاه زنجان، مقاله شماره ۷۷، ص ۵۱ - ۵۴.

- حسین زاده، س.ر، سپر، ع، رشیدی، م، زارعی، ح، خانه باد، م، ۱۳۹۵. مطالعه تغییرات ژئومورفولوژی بستر رودخانه کارون و علل آن از سال ۱۹۵۴ تا ۲۰۱۱ (۱۳۲۴ تا ۱۳۹۱). پژوهش‌های کمی، سال پنجم، ش ۱، تابستان ۱۳۹۵، صص ۴۳-۵۹.
- رضایی مقدم، م، ژئوپی، م، اصغری سراسکانرود، ص، ۱۳۹۱. بررسی مقایسه‌ای الگوی پیچان رود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضربی خمیدگی (مطالعه موردی: رودخانه قزل‌آوزن)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز سال دوم / شماره ۳/ بهار و تابستان ۱۳۹۰، صص ۱۳۹-۱۱۹.
- سپهر، ع، خسروی، ع، عبدالله زاده، ز، ۱۳۹۵. رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومorfومتری حوضه‌های آبریز دامنه‌ی شمالی. هیدرومorfولوژی، شماره ۹، صص ۲۰-۱.
- سلطانی، ش؛ قهروانی تالی، م؛ صدوق، س.ح؛ ۱۳۹۸. کاربرد سنجش از دور و مدل ریاضی فرکتال در بررسی رفتار و تغییرات لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی رودخانه ارس. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۸، صص ۹۲-۷۲.
- شایان، س، مقصودی، م، گل علیزاده، م، شریفی کیا، م، نوربخش، ف، ۱۳۹۵، تحلیل فضایی لندفرم‌های بادی با استفاده از نظریه فرکتالی (مطالعه موردی: ریگ اردستان)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، صص ۴۵-۲۳۱.
- عباسی، ع، ۱۳۸۶، تحلیل رده-آرایه‌ای شبکه آبراهه‌ها در زمین‌ریخت‌شناسی، مجموعه مقالات دومین همایش جغرافیا قرن بیست و یکم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، ص ۵۹۳-۵۸۴.
- علمی‌زاده، م، و عباسی، ع.ر، ۱۳۹۷. تحلیل ژئومورفیکی رده-آرایه‌ای ریز شبکه آبراهه‌های پدیده آمده در بستر خشک شده دریاچه ارومیه، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره ۴، بهار ۱۳۹۷، صص ۱۵۹-۱۴۷.
- فتاحی، م.ه؛ کامیاب، س؛ ۱۳۹۷. انطباق سنجی خواص زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژیک) حوضه آبریز و ویژگیهای چندفرکتال شکل آبراهه. تحقیقات منابع آب. سال چهاردهم، ش ۵. زمستان ۱۳۹۷، صص ۳۲۶-۳۱۱.
- کرمی، ف، رجبی، م، ابازدی، ک، ۱۳۹۷. تحلیل ناهنجاری‌های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه‌های آبریز شمال تبریز، پژوهش‌های کمی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷، صص ۴۷-۳۷.
- یمانی، م، عالیبی طالقانی، م، شهریاری، ص (۱۳۹۰)، «مورفوتکتونیک و تأثیر آن بر تغییرات بستر و الگوی رودخانه قره سو»، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، شماره هفدهم، پاییز و زمستان ۱۳۹۰، صص ۱۴۳-۱۲۵.
- Ariza, V. A., Hornero, J., Gutiérrez, F., Rave, E., 2013. Multi-fractal analysis applied to the étude, of the of DEM-based stream, Volume 197, pp. 85-98.
- Bartolini, C., 2012. Is the morphogenetic role of tectonics overemphasized at times? *Boll. Geof. Teor. Appl.* 53(4), pp.459–470.
- Bin, Z. H., AI, N., HUANG, Z. YI,, 2008. "Meanders of the Jialing River in China: Morphology and Formation", *Chinese Science Bulletin*, Volume 53, pp. 267-281.
- Biswas, S.S., 2016. Analysis of GIS Based Morphometric Parameters and Hydrological Changes in Parbati River Basin, Himachal Pradesh, India, *Journal of Geography & Natural Disasters*, 6(2),pp. 1-8.
- Camara, J., GomezMigue, V., Marti, A., 2016. Identification of bedrock lithology using fractal dimensions of drainage networks extracted from medium resolution LiDAR digital terrain models. *Pure and Applied Geophysics*, 173(3): 945–961.
- Carke, J., Aher, P. D., Adinarayana, A., Gorantivar, J., 2015. Prioritization of Watersheds Using Multicriteria Evaluation Through Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Agricultural Engineering Int: CIGR Journal*, 15(1). pp. 11-18.
- Golekar, R.B., Baride, M.V., Patil S.N., 2013. Morphometric analysis and hydrogeological implication: Anjanai and Jhiri river basin Maharashtra, India, *Arch Appl Sci Res*, 5(2): 33-41.

- *Guarnieri, P., Pirrotta, C., (2008), "The response of drainage basins to the late quaternary tectonics in the Sicilian side of the Messina Strait (NE Sicily)", Geomorphology, 95:260- 273.*
- *Gupta, V. K., and Mesa, O. J., 2014. "Horton laws for hydraulic–geometric variables and their scaling exponents in self-similar Tokunaga river networks", Nonlin, Processes Geophys, 21: 1007-1025.*
- *Hancock, G. R., 2005. The use of DEMs in the identification and characterization of catchment over different grid scales, Hydrological Processes, 19, pp. 1727–174.*
- *Leang, Z., Zeng, F., Guangxiang, X., 2012. "Comparison of Fractal Dimension Calculation Methods for Channel Bed Profiles, Procedia Engineering, Vol 28, pp 252-257.*
- *Meixner, T., Williams, Z.C., Pelletier, J.D., 2019. Self-affine fractal spatial and temporal variability of the San Pedro River, southern Arizona, American Geophysical Union. All rights reserved.pp:1-20.*
- *Rozo, G. A., Nogueira, C., Soto, C., 2014. Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over Journal of Arid Environments, period 19, pp425-439*
- *Sowpamilk, m., 2014. "jaira., implication of fractal dimension on properties of rivers and river basins", Volume 5, issue12, December(2014), pp. 155-164.*
- *Tunas, I., Anwar, N., Lasmito, U., 2016. Fractal Characteristic Analysis of Watershed as Variable of Synthetic Unit Hydrograph Model, The Open Civil Engineering Journal 10(1):706-718 · October 2016 with 168 Reads.*
- *Yang, H., and Shi, C.h., 2017. The Fractal Characteristics of Drainage Networks and Erosion Evolution Stagesof Ten Kongduis in the Upper Reaches of the Yellow River, ChinaSource: Journal of Resources and Ecology, 8(2):165-173.*
- *Yu, F., Serena C., Kyungrock, P., Gavan, M.G., Suresh, P., Rao, C., Montanari, A ., Jawitz, JW., 2018. Globally Universal Fractal Pattern of Human Settlements in River Networks. American Geophysical Union. All rights reserved.pp:1-20.*
- *Zanardo, I., Zaliapin, E., Foufoula, G., 2013. Are American rivers Tokunaga self-similar New results on fluvial network topology and its climatic, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH: EARTH SURFACE, VOL. 118,pp. 1–18.*
- *Zhou, Z., Zhihui, N., Lichun, W., Liang, Z., 2017. Fractal research of transverse sections of a long river channel below a dam, Environment Earth Scince, 76:553pp: 11-1.*