

## تحلیل فرم و الگوی شبکه زهکشی حوضه رامهرمز با استفاده از مدل رده آریه‌ای

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 پارامترهایی مانند اقلیم، لیتولوژی، فرسایش و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد 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، تکنیک رده آریه‌ای تحلیل مناسب و قوی برای شناسایی تعادل یک حوضه را فراهم می‌کند. در این پژوهش با هدف بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی و ارتباط بین فرم‌ها و الگوی شبکه آبراهه‌های حوضه رامهرمز، از مدل رده آریه‌ای 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 mapper20 و ArcGIS10.5 پردازش شده و در نهایت مورد تحلیل قرار گرفتند. مطابق نتایج مدل رده آریه‌ای، 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 تغییرات شیب در قسمت‌های مختلف بر الگوی رودخانه تأثیر گذاشته و تغییراتی 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 تغییرات شده‌اند که این تغییرات حاکی از کوتاه بودن آبراهه اصلی، تغییر مسیر آبراهه‌ها، تغییر شیب نیم‌رخ طولی حوضه، جابه‌جایی کانال، تغییرات 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 تغییر پیدا می‌کنند.

واژگان کلیدی: رودخانه رامهرمز، ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، ماتریس، مدل رده آریه‌ای، 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<sup>۱</sup> 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 این رو 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<sup>۲</sup>، 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 ماندی 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<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۱۰۶). علاوه بر این ویژگی‌های مورفولوژی مانند رده آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، شیب 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<sup>۴</sup> 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 منعکس 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<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۶، ۹۴۶). از این رو 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)،

<sup>1</sup> Ariza

<sup>2</sup> Bartolini

<sup>3</sup> Carke

<sup>4</sup> Golekar

<sup>5</sup> 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<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، بین<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۰۸)، لیانگ<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۲)، سوپامیلک<sup>۴</sup> (۲۰۱۴)، گوپتا و مساه<sup>۵</sup> (۲۰۱۴)، روزو<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۴)، توناس<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۶)، یانگ و شی<sup>۸</sup> (۲۰۱۷)، یو<sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۸) و میکسنر<sup>۱۰</sup> (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 کسلیان 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 معنی‌دار 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 شاخص‌های سلسله مراتبی شبکه زهکشی و شاخص‌های ژئومورفیک نشان دادند 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 استرالر، نتیجه گرفتند همبستگی میان رده و میانگین درازای آبراهه‌ها در دو نیمه تقریباً برابر و حدود ۰/۹۸ می‌باشد. تفاوت میانگین درازای آبراهه‌ها در این دو نیمه در روند شتاب افزایشی - کاهش آن است، به گونه‌ای که روند شتاب افزایش و کاهش میانگین درازای آبراهه‌ها در نیمه چپ شدیدتر از نیمه راست می‌باشد.

زناردو<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی نتایج روش توکوناگا<sup>۱۲</sup> 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 پایین‌دست رده‌ها را با ترسیم حوضه به شکل درختان فرکتالی نشان داد.

بیسواز<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۶) با استفاده از GIS و پارامترهای مورفومتری، تغییرات هیدرولوژیکی حوضه رودخانه پارتیدر 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 نئوتکتونیک قرار دارد.

ژو<sup>۱۴</sup> 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 هرچا توپوگرافی حوضه صاف و ملایم باشد، بعد فرکتالی کمتر و ناتعادلی افزایش می‌یابد.

<sup>1</sup> Hancock

<sup>2</sup> Bin

<sup>3</sup> Leang

<sup>4</sup> Sowpamilk

<sup>5</sup> Gupta and Mesa

<sup>6</sup> Roza

<sup>7</sup> Tunas

<sup>8</sup> Yang and Shi

<sup>9</sup> Yu

<sup>10</sup> Meixner

<sup>11</sup> Zanardo

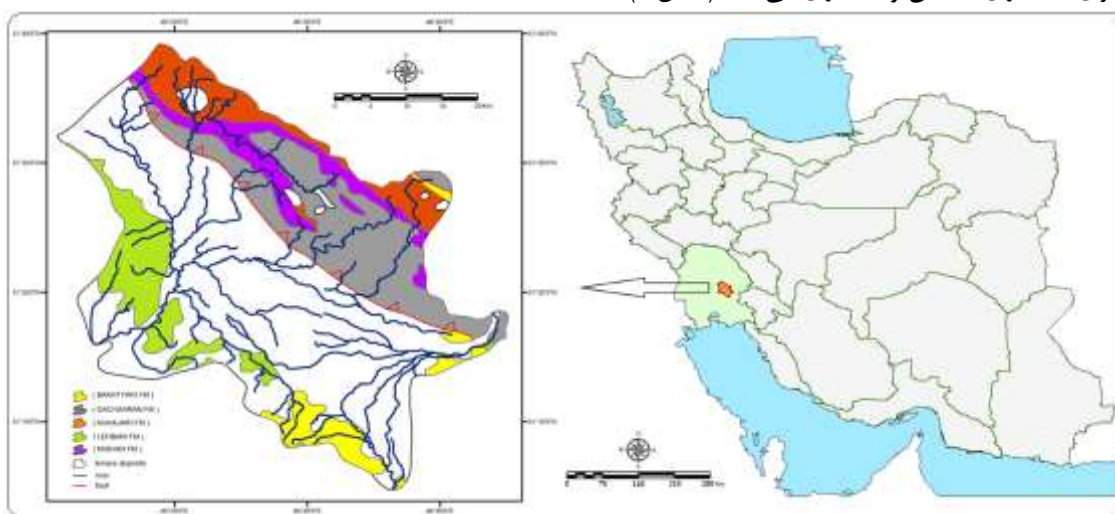
<sup>12</sup> Tokunaga

<sup>13</sup> Biswas

<sup>14</sup> Zhou

## منطقه مورد مطالعه

حوضه رامهرمز در جنوب غربی ایران و بین طول شرقی  $۱۱^{\circ}$  الی  $۴۹^{\circ}$  الی  $۴۶^{\circ}$  -  $۴۹^{\circ}$  و عرض شمالی  $۰۴^{\circ}$  الی  $۳۱^{\circ}$  -  $۴۰^{\circ}$  قرار دارد. از شمال به مسجدسلیمان، از شمال شرق به باغ ملک، از شرق به دالون- میداود، از جنوب شرق به جازان از جنوب تا غرب به شادگان و از شمال غرب به میان آب- شوشتر محدود می شود. هفتگل، رامهرمز، بنه کریم، کمتوله و بایمان از جمله شهرستانها و روستاهای محدوده مورد مطالعه می باشند. 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 متشکل از رسوبات کواترنری، سازندهای گچساران، لهبری، آغاچاری، میشان و بختیاری می باشد (شکل ۱).

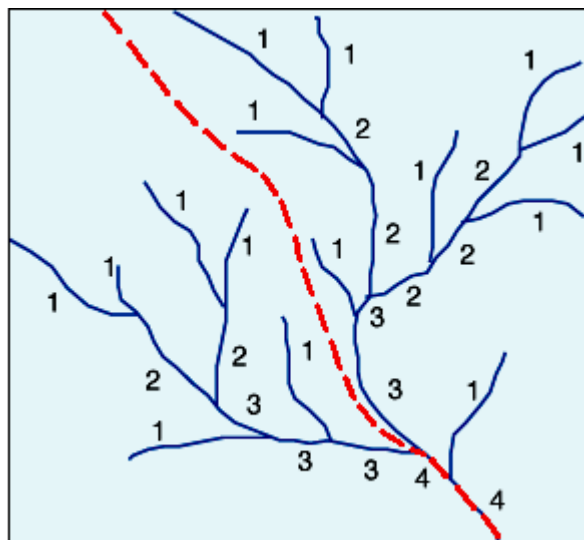


شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

## مواد و روشها

در مرحله اول پژوهش تصاویر ماهواره ای لندست سال ۲۰۱۷، نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و DEM منطقه مورد مطالعه تهیه و مرز حوضه و شبکه های آبراهه های آن استخراج شده است. پس از برداشت و ذخیره سازی تصاویر جهت مشخص نمودن دقیق مرز و مسیر شبکه های زهکشی، حوضه مطالعاتی به محیط نرم افزار Global Mapper 20 منتقل و پردازش شد. همچنین شبکه آبراهه های حوضه به کمک نرم افزار Arc GIS 10.5 استخراج شده و با فرمت Shapefile پردازش گردید. در ادامه داده های وکتوری به دست آمده از تصاویر ماهواره ای در محیط نرم افزار Map Viewer فراخوان شده و با توجه به اینکه مبانی هرگونه تجزیه و تحلیل عددی ویژگی های رودخانه ها، با مفهوم رتبه بندی رود ارتباط دارد؛ شبکه زهکشی رودخانه رامهرمز با بهره گیری از روش هورتون - استرالر رتبه بندی گردید. بر این اساس در این پژوهش برای مدل رده آرایه ای، ابتدا؛ خط تقسیم حوضه<sup>۱</sup> رامهرمز مشخص شده و در مرحله بعد برای آن که رده ها را در قالب ماتریس تنظیم نمود، رده های (۱) به (۱)، (۲) به (۲)، (۳) به (۳) و تا آخرین رده که رده اصلی می باشد، در دو نوع جهت (راست و چپ) در نمای آرایه ای در جداول قرار می گیرند (شکل ۲).

<sup>۱</sup> خط تقسیم حوضه یک خط فرضی در راستای آبراهه ای است که دارای بزرگترین رده است که محل تقسیم حوضه به دو نیمه راست و چپ می باشد.



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

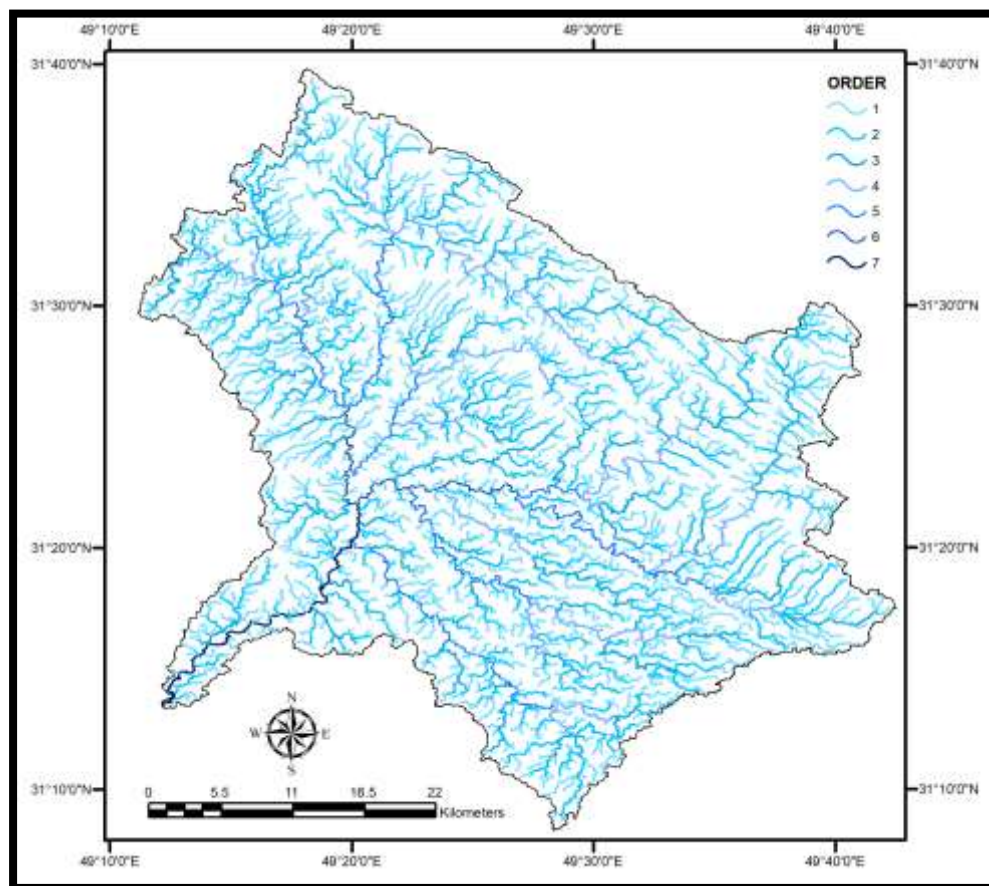
در ادامه و مطابق این روش، رده (۱) که به رده‌های بزرگ‌تر می‌پیوندد به طور جداگانه محاسبه شده و بقیه رده‌ها هم به این روش مورد محاسبه قرار می‌گیرند (رده ۲ به ۳، ۴، ۵، ... رده ۳ به ۴، ۵ و سایر رده‌ها) سپس، آرایه‌های رده‌ها در جداول، به صورت تعداد رده‌ها، طول درازای رده‌ها و میانگین طول با استفاده از نرم‌افزار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

### نتایج و بحث

شکل‌گیری و تکامل شبکه آبراهه‌های حوضه‌های زهکشی تحت تاثیر پارامترهایی مانند اقلیم، لیتولوژی، فرسایش و فعالیت‌های تکتونیکی می‌باشد (گارنیری و پیروتا<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸، ۲۶۴) و با توجه به این‌که تحلیل یک شبکه زهکشی در پاسخ به فرآیندهایی است که روند تغییر شکل گذشته و اخیر حوضه را توجیه می‌کند (احمد و راو<sup>۲</sup>، 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).

<sup>1</sup> Guarnieri and Pirrotta

<sup>2</sup> 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 به دست آمده و در (جدول ۱ تا ۴) نمایش داده شد. همان گونه 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، ناعادلی 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 (۴) به رده (۶) 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 آبراهه (۵) به رده (۷) می‌پیوندد. همچنین آبراهه‌های (۶) که به رده‌های بالاتر از خود می‌ریزند، در دو قسمت پهنه پژوهش وجود ندارند. جابه‌جایی کانال‌ها، تغییر مسیر آبراهه‌ها و فعالیت تکتونیکی از دلایل ایجاد اختلاف زیاد و ناعادلی 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<sup>۱</sup> است، با ایجاد تغییر اندک، حساسیت نشان می‌دهند، مؤید این است که آبراهه‌ها روند کیاس را پیش می‌گیرند.

<sup>1</sup> Threshold

جدول ۱: تعداد رده های ۱ تا ۷ آبراهه های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

رده	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 (۲۲۶۰/۲ km) و پهنه چپ پژوهش با تعداد (۱۱۵۸) آبراهه و مجموع طول کل آبراهه (۳۲۷۹/۸ km) می‌باشد. مطابق با (جدول ۲)، جمع درازای هر رده از آبراهه‌ها با ارقام متفاوتی نشان داده شده‌است 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

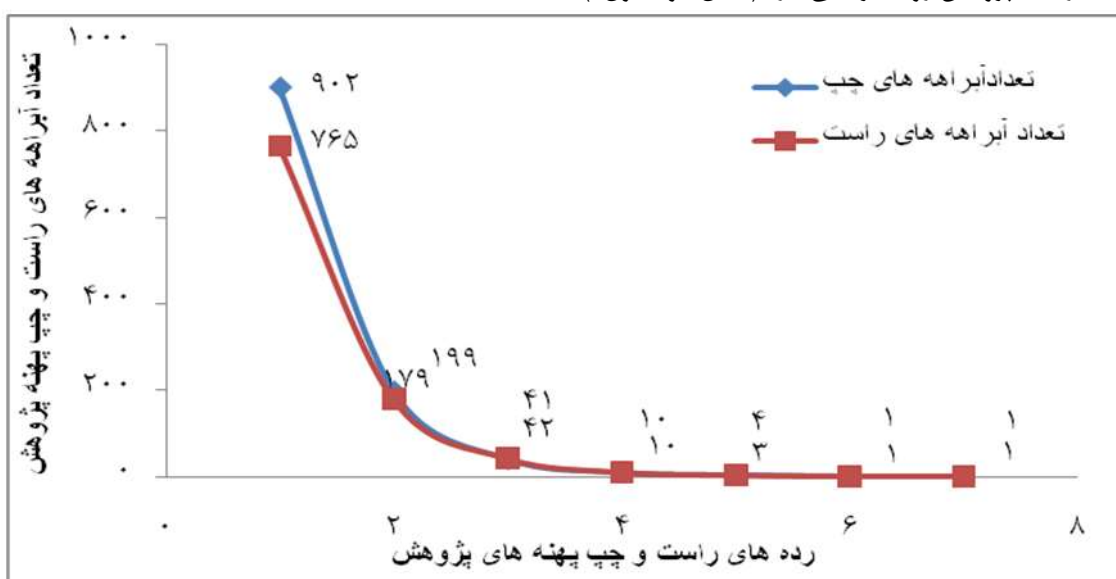
رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
۱	۷۵۲/۸+۲۹/۰۲	۵۳۰/۲	۱۰۶	۷۳/۲۶	۶۹/۸۷	۱۱/۵۷	۱۱/۹۴
۲	۷۷۶/۲۸	۲۴۹/۱+۲۹۴/۲	۱۴۲/۴	۹۳/۲۳	۱۷/۰۲	۴/۳۸	۶/۴۶
۳	۵۳۶/۳۴	۱۰۲/۴	۳۰/۵+۷۵۲/۸	۱۶/۱۲	۲۱/۳۳	۸/۰۳	۴/۳۹
۴	۱۵۸/۲۸	۸۶/۹۱	۱۲	۴۱/۳۱+۵۸۸/۱	۷/۶۵	۰	۰
۵	۱۱۲/۸۷	۸۹/۲۸	۱۱/۳۷	۳/۶۶	۸/۱۹+۶۵/۵	۲۵/۹	۰
۶	۱۰۴/۲۸	۱۸/۴۶	۱۱/۰۲	۸/۶	۱۲/۰۳	۷/۱+۴۶۴/۸	۰
۷	۷۸/۳۴	۱۰/۸۸	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) می‌ریزند، روند افزایشی میانگین درازای آبراهه‌ها برقرار است (جدول ۳). این روند در رده (۱) که به (۴) می‌ریزد کاهش یافته، در حالی که در قسمت راست پهنه پژوهش روند کاهشی میانگین درازای آبراهه‌ها (۱) که به رده (۱، ۲، ۳) می‌ریزد 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، ۱/۰۸) کیلومتر که به رده (۷) می‌ریزد، 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 رده های ۱ تا ۷ آبراهه های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش به کیلومتر

رده	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	۲/۵۶	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 پهله 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 پهله چپ پژوهش رده ۱ (۱/۷۲)، رده ۲ (۲/۰۸ کیلومتر، 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 شده‌است. این امر نشان‌دهنده عدم تعادل در میانگین درازای در دو قسمت پهله 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 پهله پژوهش

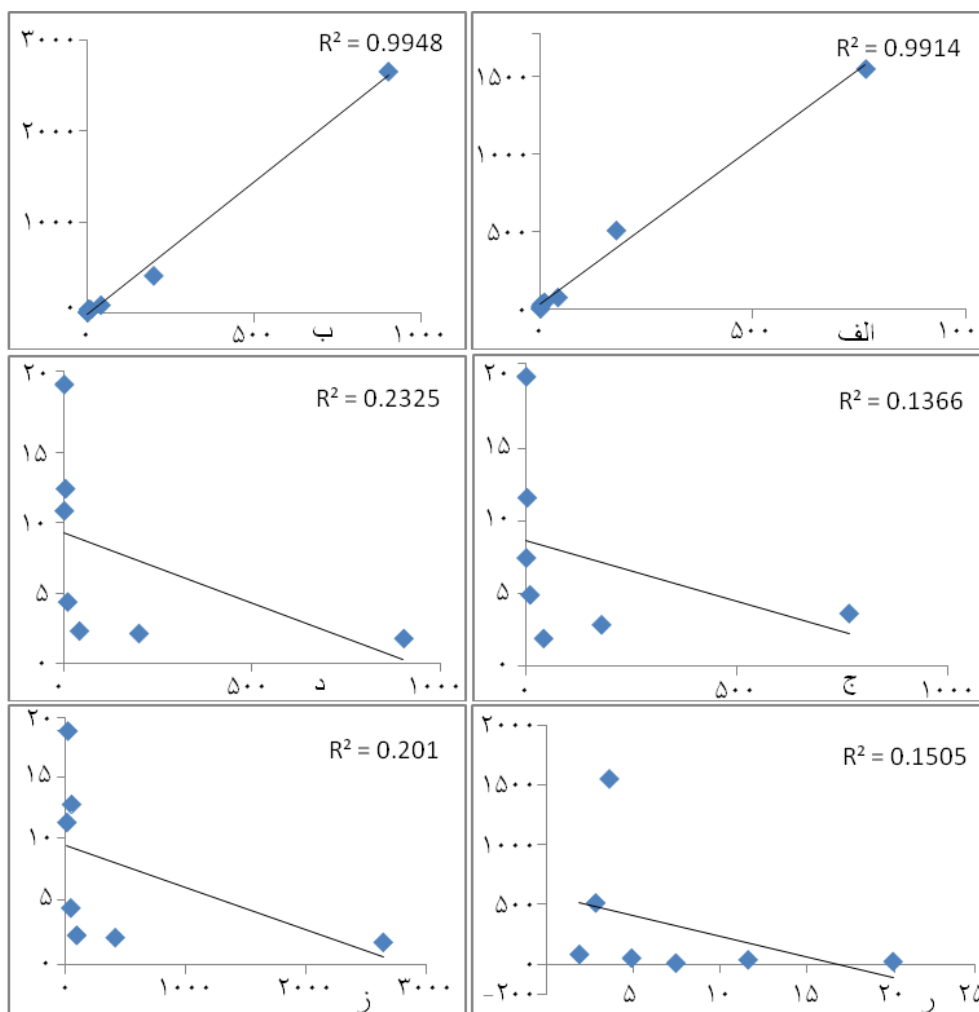
جدول ۴. تعداد، جمع و میانگین درازای رده‌های ۱ تا ۷ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهله پژوهش

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	۸۰/۶۵۸	۹۲/۶۴۳	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 شده‌است. براین پایه می‌توان چنین گفت که هر چند همبستگی تعداد آبراهه‌ها و درازای آبراهه‌ها در دو نیمه پهله 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 (۰/۱۵۰۵) نسبت به نیمه چپ (۰/۲۰۱) بیشتر شده است. تغییرات ضریب تعیین در دو پهنه پژوهش نشان از تفاوت در ریخت شناسی حوضه می‌باشد (شکل ۵).



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

### نتیجه‌گیری

پیدایش، 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، بی‌نظمی در آبراهه‌های حوضه رامهرمز ناشی از اشکال مختلف فرسایش و فعالیت تکنونیک می‌باشد که در تکامل حوضه مورد مطالعه دخالت داشته است. افزایش و کاهش نسبی تغییرات شیب 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 بر این، فعالیت‌های تکتونیکی نیز در تکامل سیمای حوضه مؤثر واقع شده به گونه‌ای که روند غیرخطی از این عامل تبعیت 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 (۶) و رده (۲) به رده (۲) 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 کانال، 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 سازندهاست، این عوامل ناشی از ناتعادلی 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 ۶۴-۷۸.
- ایلدرمی، ع.ر.، سپهری، م.، ۱۳۹۷. فرسایش‌پذیری سازندهای زمین‌شناسی با استفاده از تحلیل بعد فرکتال شبکه زهکشی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، بهار ۱۳۹۷، صص ۸۷-۷۰.
- پیری، ز.، رضایی مقدم، م.ح.، عاشوری، م.، بررسی تأثیر احداث سد در جابه‌جایی مسیر و تغییر الگوی رودخانه با استفاده از GIS و سنجش از دور (مطالعه موردی: رودخانه اهر)، جغرافیا و برنامه ریزی 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، صص 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 (۱۳۳۴ تا ۱۳۹۱). پژوهش‌های کمی، سال پنجم، ش ۱، تابستان ۱۳۹۵، صص ۴۳-۵۹.
- رضایی مقدم، م.، ثروتی، م.، اصغری سراسکانرود، ص.، ۱۳۹۱. بررسی مقایسه ای الگوی پیچان رود با استفاده از تحلیل هندسه فراکتالی و شاخص‌های زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی (مطالعه موردی: رودخانه قزل‌اوزن). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز سال دوم/ شماره ۳/ بهار و تابستان ۱۳۹۰، صص ۱۱۹-۱۳۹.
- سپهر، ع.، خسروی، ع.، عبدالله زاده، ز.، ۱۳۹۵. رفتار فرکتالی و ارتباط آن با خصوصیات هیدرومورفومتری حوضه های آبریز دامنه ی شمالی. هیدروژئومورفولوژی، شماره ۹، صص ۲۰-۱.
- سلطانی، ش.؛ قهرودی تالی، م.؛ صدوق، س.ح.؛ ۱۳۹۸. کاربرد سنجش از دور و مدل ریاضی فراکتال 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.، گل‌علیزاده، 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 ۲۳۱-۲۴۵.
- عباسی، ع.، ۱۳۸۶. تحلیل رده-آرایه ای شبکه آبراه‌ها در زمین‌ریخت‌شناسی، مجموعه مقالات دومین همایش جغرافیا قرن بیست و یکم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، صص ۵۹۳-۵۸۴.
- علمیزاده، ه.، و عباسی، ع.ر.، ۱۳۹۷. تحلیل ژئومورفیکی رده-آرایه ای ریز شبکه آبراهه های 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 زمین ریخت شناسی (ژئومورفولوژیک) حوضه آبریز و ویژگیهای چندفراکتال شکل آبراهه. تحقیقات منابع آب. سال چهاردهم. ش ۵. زمستان ۱۳۹۷. صص ۳۲۶-۳۱۱.
- کرمی، ف.، رجبی، م.، ابادری، ک.، ۱۳۹۷. تحلیل ناهنجاری های شبکه زهکشی و ارتباط آن با تکتونیک فعال در حوضه های آبریز شمال تبریز، پژوهش‌های کمی، سال هفتم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۷، صص ۴۷-۳۷.
- یمانی، م.، علایی طالقانی، م.، شهبازی، ص (۱۳۹۰)، «مورفوتکتونیک و تأثیر آن بر تغییرات بستر و الگوی رودخانه قره سو». مجله ی جغرافیا و توسعه ی ناحیه ای، 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 tectonic overemphasized at times? *Boll. Geof. Teor. Appl.* 53(4), pp.459-470.
- Bin, Z. H., Al, N., HUANG, Z. YL., 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: Anjaniand 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.
- Roza, 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, issue 12, December (2014)*, pp. 155-164.
- Tunas, I., Anwar, N., Lasminto, 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 Stages of Ten Kongduis in the Upper Reaches of the Yellow River, China* *Source: 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, J.W., 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 Science*, 76:553pp: 11-1.