

## تحلیل ژئومورفیکی رده-آرایه‌ای ریز شبکه آبراهه‌های پدید آمده در بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه

هیوا علمیزاده\* - استادیار دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر.  
علیرضا عباسی - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۸      تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۳/۰۵

### چکیده

کاهش تراز آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر سبب شده که اراضی بخش‌هایی از بستر آن خشک‌شده و فرایندهای ژئومورفیکی به درون بستر آن گسترش یابد. در این پژوهش با هدف بررسی شبکه آبراهه‌های پدید آمده در بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه، از مدل تحلیل رده-آرایه‌ای استفاده شده است. به این منظور داده‌های وکتوری شبکه آبراهه‌های به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای، در محیط نرم‌افزار MapViewer با استفاده از روش استرالر رده‌بندی شده و نمودار فراداده‌های رده و تعداد آبراهه‌های رده ۱ تا ۶ در نرم‌افزارهای Grapher و Curvexpert ترسیم گردید. با توجه به نتایج میان فراداده‌های رده و تعداد آبراهه‌های رده‌های ۱ تا ۶ همبستگی نمایی برقرار بوده و ضریب تعیین میان این دو متغیر در نیمه راست پهنه پژوهش برابر  $0/982$  و در نیمه چپ  $0/975$  است و با توجه به بیشتر بودن ضریب همبستگی و تعیین رده و تعداد آبراهه‌ها در نیمه راست، روند تکامل ریخت‌شناختی آبراهه‌های تندتر از نیمه چپ است. همچنین همبستگی میان رده و میانگین درازای آبراهه‌های هر دو نیمه از نوع معکوس مربع است و ضریب تعیین میان رده و میانگین درازای آبراهه‌ها در دو نیمه تقریباً برابر بوده و حدود  $0/98$  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.

واژگان کلیدی: شبکه آبراهه، دریاچه ارومیه، تکامل، رده-آرایه‌ای، ژئومورفولوژی جریانی.

## مقدمه

شبکه آبراهه‌ها نمود بازار ریخت‌زائی فرایندهای آبی در روی زمین هستند. به‌طور کلی بسترهای جریانی در طبیعت الگوی درختی دارند. برای نمونه جریان خون یا انرژی الکتریکی (شبکه اعصاب) در بدن موجودات زنده جانوری یا گیاهی، جریان آب و یخ در رو یا زیرزمین یا حتی روانه‌های گداخته از گوشته به روی پوسته زمین، همه دارای الگوی درختی هستند. شبکه آبراهه‌ها را می‌توان مانند سیستم بازی در نظر گرفت که در حالت تعادل پویاست و در آن متغیرهای وابسته‌ای چون فرم، شیب و طرح افقی رودخانه با داده‌های میزان دبی و رسوب هماهنگ است که هرگاه تغییری در این داده‌ها پدید آید، این سیستم با هماهنگ کردن ویژگی‌های مورفولوژیکی خود با وضعیت جدید به‌سرعت واکنش نشان می‌دهد؛ این نوع فرایند را می‌توان پاسخ پیچیده در سیستم‌ها نامید. رودخانه‌ها را می‌توان از جمله فعال‌ترین محیط‌های ژئومورفیکی برشمرد؛ زیرا در آن تغییر و تحول در کمترین فواصل زمانی روی می‌دهد. الگوی جریان در این تغییرمسیرها بسیار پیچیده است، این پیچیدگی نه تنها به خاطر آشفتگی و طبیعت سه‌بعدی جریان، بلکه به خاطر توپوگرافی و تغییرات عمقی نیز می‌باشد (تورندیکرافت<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). متغیرهایی که در شکل هندسی و دینامیک آبراهه‌های آبرفتی تأثیر دارند، دارای مجموعه پیچیده‌ای از واکنش‌های متقابل هستند. این واکنش‌ها به‌صورت سیستم فرایند-پاسخ با یک‌زمان سکون کوتاه مدّت پدیدار می‌گردند، در این مجموعه پیچیده، تشخیص روابط علت و معلولی دشوار است. جزئیات فرایند-پاسخ در سیستم نیز قابل پیش‌بینی نیست و دارای پیچیدگی‌هایی است که ارتباطات فراوان و متنوعی را شامل می‌شود. بعضی ارتباط‌های بین متغیرها مستقیم و بعضی دیگر غیرمستقیم است، این امر به‌شدت این ارتباط‌ها بستگی دارد (حسن‌پور، ۱۳۹۵).

رودخانه‌ها از مهم‌ترین مناظر ژئومورفولوژیکی هستند که در آن ارتباط بین سیستم نیروها و اشکال ناهمواری به‌وضوح قابل‌درک است، زیرا همین عوامل هستند که به‌طور انحصاری در تعیین مورفولوژی آبراهه نقش دارند (اسکات و ماسون<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷). در این میان واکنش شبکه‌های زهکشی به تغییرات محیطی مانند شیب و رسوب‌گذاری، یکی از مباحث مهم و کاربردی در حیطه مطالعات ژئومورفودینامیک است. رسوب‌گذاری آثار محسوس بر سیستم‌های رودخانه‌ای دارد به‌طوری‌که با ایجاد تغییرات در شیب کف دره‌ها، تغییراتی در تغییر نیمرخ طولی و مقطع عرضی و همچنین جابه‌جایی‌های جانبی در مسیر جریان رودخانه‌ها ایجاد می‌کند و با تشدید فرسایش و رسوب‌گذاری نیز همراه می‌گردند (شورل و ولدکامپ<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳). به‌این‌ترتیب بین رسوب‌گذاری و فرم شبکه زهکشی نوعی تعامل وجود دارد و واکنش سامانه‌های رودخانه‌ای به‌شدت و نوع این فعالیت‌ها و مورفومتری رودخانه وابسته است. این موارد در مناطق کم‌شیب مانند آبراهه‌های پدید آمده در بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه از حساسیت و درجه تغییر پذیری بیشتری نسبت به سایر مناطق برخوردار است؛ به‌طوری‌که ایجاد شبکه‌های زهکشی در این محدوده جزء مشخص‌ترین خصائص آن است. جنس، بافت و حجم رسوب، وسعت و شیب بستر خشک‌شده دریاچه، سیکل رسوب‌گذاری و به‌طور کلی تقریباً تمامی خصوصیات فیزیکی محدوده در ارتباط با رسوب‌گذاری و رفتار دینامیکی رودخانه‌ها شکل می‌گیرد و در ارتباطی دوسویه (به‌طور مستقیم و غیرمستقیم)، تکامل و تحولات آن‌ها به هم مرتبط است. از این‌رو ویژگی‌های رسوب‌گذاری و بافت رسوبات نقش تعیین‌کننده در تغییرات و فرم بستر رودهای پدید آمده در بستر خشک‌شده دریاچه ایفا می‌کند.

بستر خشک‌شده دریاچه ارومیه به‌صورت جلگه‌ای کم ارتفاع با شیب ملایم است که در آن شبکه‌های زهکشی جریان دارند. این رودها در مقیاس زمانی کوتاه شکل گرفته‌اند و همواره عامل یا عواملی موجب تغییر مسیر و تشکیل آن‌ها

<sup>۱</sup> Thorndycraft.

<sup>۲</sup> Scott & Mason.

<sup>۳</sup> Schoorl & Veldkamp.

شده است. این آبراهه‌ها با وجود داشتن بستری ثابت و طبیعی برای تخلیه نهایی جریان به دریاچه ارومیه؛ از نظر طولی و عرضی همواره در حال تغییر و تحول بوده و از تحرک و پویایی خاصی برخوردار می‌باشند؛ لیکن آنچه مهم است نحوه و عوامل اصلی این تحولات و تشکیل آبراهه‌ها است که در تمامی محدوده مورد مطالعه یکسان نبوده و از دامنه یکنواختی برخوردار نیست و این موضوع هدف اصلی تحقیق را تشکیل داده است. همچنین ویژگی‌های توپوگرافی و شیب سطح جلگه به وسیله شواهد ژئومورفیک از طریق مشاهدات مستقیم و غیرمستقیم روشن و قابل بررسی بوده و لندفرم‌های حاصله از این عامل از طریق تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی قابل شناسایی و ردیابی است؛ اما در این خصوص نیز چگونگی تأثیرگذاری این پارامترها بر روی بستر و خصوصیات دینامیکی رودخانه‌ها و خط ساحلی به‌عنوان سطح اساس این رودها مشخص و روشن نیست و این موارد مسائل دیگر این پژوهش را شامل شده‌اند.

یافته‌های علمی متخصصین سایر رشته‌ها به‌ویژه زمین‌شناسان، هیدرولیک و مهندسی سازه‌های دریایی نقش به‌سزای در تبیین ویژگی‌های مورفودینامیک و نحوه شکل‌گیری رودخانه‌ها ایفا نموده‌اند و موجب غنای علمی یافته‌های ژئومورفولوژیکی تشریح فرایندهای مؤثر در ناپایداری بستر شده‌اند. در مباحث مورفودینامیکی، بررسی ریز شبکه آبراهه‌های پدید آمده در بستر خشک‌شده دریاچه‌ها، تاکنون کمتر مورد بررسی قرار گرفته و تحقیقات انجام‌شده در این رابطه بیشتر بررسی‌های مورفولوژیکی رودخانه‌ها را تحت پوشش قرار می‌دهد. از جمله آن‌ها گیومن<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۵) تحلیل پاسخ-های پیچیده کانال‌های آبرفتی به تغییرات رسوبات ورودی و آنیسوموف<sup>۲</sup> (۲۰۰۸) با پیش‌بینی الگوی شبکه زهکشی در روسیه کارهای ارزشمندی را انجام داده‌اند. سیویتسکی<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) مورفودینامیک رودخانه‌های دلتایی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی را مطالعه نمود. در این رابطه رودر و اولسن<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) با استفاده از دینامیک محاسباتی سیالات، تکامل پیچان‌رود را بررسی کردند. لونیتانو<sup>۵</sup> نیز (۲۰۰۷) ناپایداری بستر رودخانه‌ای را در دلتای رود سیمیتو<sup>۶</sup> ارزیابی کردند. همچنین باری یانگ<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۰۷) با تجزیه و تحلیل الگوی شبکه زهکشی در تایوان، تغییرات مسیر را متأثر از تکتونیک دانسته و فورچوناتو و اولیویرا<sup>۸</sup> (۲۰۰۷) مدلی را برای پایداری مورفودینامیکی رودخانه ارائه نمودند و فراین و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۰۸) مدل مورفولوژیکی را برای رودهای نواحی دلتایی ارائه کردند. تیرون<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۹) فرایندهای رسوب‌گذاری را در ناپایداری بستر پیچان‌رودی دلتای دانوب بررسی نمودند. برتین<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۰۹) یک سیستم مدل‌سازی کاربردی را برای رودخانه‌های ساحلی شبیه‌سازی نمودند. روزو<sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات مسیر رود آمازون علیا را طی سال‌های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۶ میلادی مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم این رود یک روند نهشته‌ای در این سال‌ها دارد که فرسایش آن شدیدتر از رسوب‌گذاری بین سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ می‌باشد. همچنین ژانگ<sup>۱۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) مدل‌سازی انتقال رسوب و تکامل بستر در سیستم‌های رودخانه‌ای را مورد بررسی

<sup>۱</sup> Gaeuman.

<sup>۲</sup> Anisimov.

<sup>۳</sup> Syvitski

<sup>۴</sup> Rüter & Olsen

<sup>۵</sup> Longhitano

<sup>۶</sup> Simeto

<sup>۷</sup> BarryYang

<sup>۸</sup> Fortunato & Oliveira

<sup>۹</sup> Ferrarin.

<sup>۱۰</sup> Tiron.

<sup>۱۱</sup> Bertin.

<sup>۱۲</sup> Rozo

<sup>۱۳</sup> Zhang

قرار دادند و تران تی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۴) از سنجش از دور و GIS برای تشخیص بلندمدت تغییرات خط ساحلی و آبراهه‌ها در مویکامائو<sup>۲</sup> در ویتنام مطالعاتی انجام دادند.

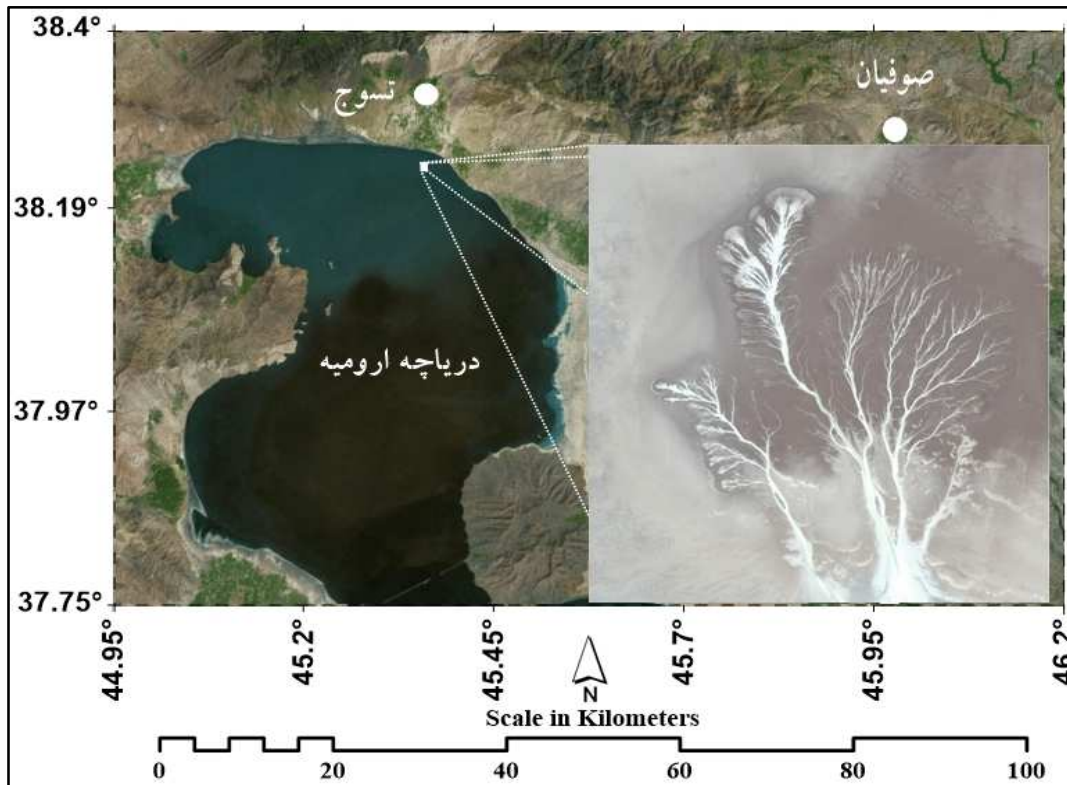
از کارهای انجام‌شده در ایران می‌توان به بررسی تغییرات بستر کانال‌های آبرفتی در قوس ۱۸۰ درجه (دهقانی و همکاران ۱۳۸۸) اشاره نمود. همچنین مرشدی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییرات طولی رودخانه‌ی کارون با استفاده از روش میانگین جهت دار خطی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که رودخانه‌ی کارون از نظر طولی روند افزایشی دارد و این روند در آینده رو به افزایش خواهد بود و امکان تهدید اراضی با کاربری‌های کشاورزی، سکونتگاهی و صنعتی را افزایش خواهد داد. یمانی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی تغییرات سریع خط ساحلی قاعده‌ی دلتای سفیدرود به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌البعده پرداختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تغییر در میزان بده رسوب خروجی از سد سفیدرود با انجام عملیات شناس، بیشترین تأثیر را در تغییر سریع خط ساحلی قاعده‌ی دلتا داشته است. یوسفی (۱۳۹۱) با ارزیابی اثرات سناریوهای مختلف ساماندهی رودخانه کارون بر مشخصات هیدرولیک جریان نشان داده که در سال‌های اخیر به‌منظور ساماندهی رودخانه‌ی کارون، عملیات لایروبی بر روی این رودخانه در محدوده‌ی شهر اهواز، توسط سازمان آب و برق خوزستان انجام‌شده است که عدم حصول نتیجه‌ی مطلوب در این طرح، ضرورت ارزیابی هیدرولیکی سناریوهای مختلف ساماندهی رودخانه‌ی کارون را دارد. عاشوری و همکاران (۱۳۹۲) تغییرات مورفولوژی بستر رودخانه قبل و بعد از احداث سد ستارخان اهر را بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش میزان رسوب حمل شده بعد از احداث، کاهش میزان دبی، تغییر در الگوی رودخانه و پایداری تقریبی بستر آن است. رهبر کلپشمی و قرائی (۱۳۹۳) به بررسی انواع روش‌های حفاظت از سواحل رودخانه‌های درون‌شهری و انواع مؤلفه‌های توسعه پایدار رودخانه‌ها پرداختند. نیری (۱۳۹۴) به تحلیل شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد پرداخت و به این نتیجه رسید که مواد درشت دانه موجود در کرانه‌ها همراه با افزایش نسبت پهنا به عمق سبب شکل‌گیری مجرای گیسویی شده است. به‌طرف پایین دست بعد از محدوده گیسویی، رودخانه به شکل سینوسی تغییر پیدا می‌کند.

### محدوده مورد مطالعه

دریاچه ارومیه در چهارگوشی به مختصات ۴۴ درجه ۵۹ دقیقه تا ۴۵ درجه ۵۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۸ درجه ۱۶ دقیقه عرض شمالی بین دو استان آذربایجان شرقی و غربی واقع شده است. کاهش تراز آب دریاچه ارومیه در سال‌های اخیر سبب شده که این پهنا بسیار مورد توجه پژوهشگران رشته‌های گوناگون قرار گیرد. این دریاچه در گذشته با تراز آبی ۱۲۷۶ متر با گستره‌ای برابر ۵۷۲۰ کیلومترمربع در رده بیستم دریاچه‌های زمین بوده (رسولی و عباسیان، ۱۳۸۸) ولی مساحت آن در سال ۱۹۸۹ به ۵۴۹۰ کیلومترمربع کاهش یافته و در ۲۰۱۱ با حدود ۱۵ کیلومتر پس‌روی به وسعت ۳۰۹۸ کیلومترمربع رسیده است (یمانی و همکاران، ۱۳۹۴). کاهش تراز آب این دریاچه در سال‌های اخیر سبب شده که اراضی بخش‌های بزرگی از بستر آن خشک‌شده و فرایندهای ژئومورفیکی چیره در خشکی‌ها به‌ویژه فرایندهای رودخانه‌ای به درون بستر آن گسترش یابد. پهنا پژوهش در این مقاله بخش کوچکی از گستره شمال شرقی بستر دریاچه ارومیه است. وسعت این پهنا حدود ۰/۵ کیلومترمربع یا ۵۰۰ هکتار است (شکل ۱).

<sup>۱</sup> Tran Thi

<sup>۲</sup> Mui Ca Mau



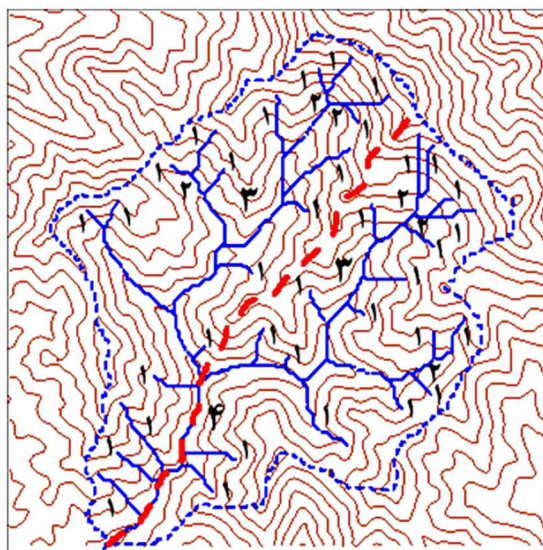
شکل ۱: جایگاه جغرافیائی پهنه پژوهش

#### مواد و روش‌ها

زیر ساخت برداشت داده‌ها در این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای سال ۲۰۱۵ موجود در محیط نرم‌افزار Google Earth است. پس از برداشت و ذخیره سازی تصاویر، آن‌ها را با دقت بالا در بستر نرم‌افزار Global Mapper ژئورفرنس نموده و راستای همه آبراهه‌های موجود روی تصاویر برداشت شده و با فرمت Shapefile برداشت شد. این مقاله در چهارچوب پژوهش‌های زمین‌ریخت‌شناسی، بر پایه روش پژوهش حوضه‌ای شکل گرفته است. برای تحلیل روابط چیره در شبکه آبراهه‌های محدودی مورد مطالعه از مدل تحلیل رده-آرایه‌ای استفاده شده است. تحلیل رده-آرایه‌ای یک روش نوین در مطالعه شبکه آبراهه‌ها است (عباسی، ۱۳۸۶). در این روش نخست شبکه آبراهه‌های حوضه‌ها بر اساس مدل استرالر<sup>۱</sup> رده‌بندی شده و سپس شبکه آبراهه‌ها به سه بخش راست، مرکز و چپ تقسیم می‌شود (شکل ۲). خط تقسیم حوضه، راستای آبراهه‌ای است که دارای بزرگ‌ترین رده می‌باشد. در ادامه این آبراهه به خط الرأس اصلی بین دو بخش راست و چپ حوضه پیوسته و حوضه را به دو نیمه تقسیم می‌کند.

در نمونه ارائه شده روی شکل ۲ حوضه از خروجی روی راستای آبراهه رده ۴ به سوی بالای حوضه امتدادی تعریف شده و ادامه آن پس از تمام شدن آبراهه رده ۴، از روی خط الرأس موجود بین دو آبراهه رده ۳ ادامه یافته تا حوضه به دو بخش تقسیم گردد.

<sup>۱</sup> -Strahler



شکل ۲: رده‌بندی و تقسیم حوضه به دونیمه

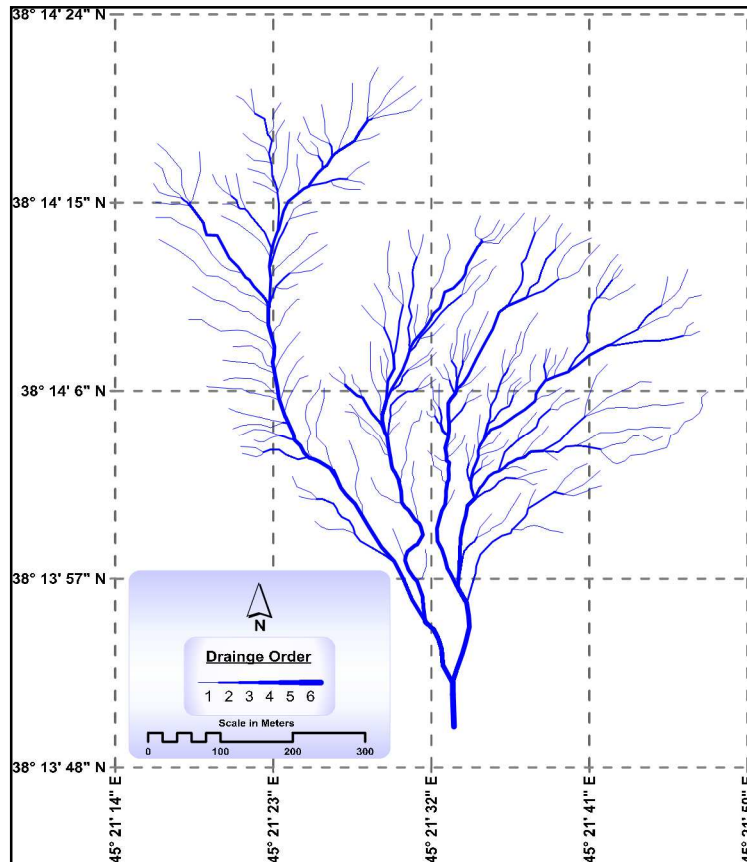
بدین ترتیب می‌توان رده آبراهه‌های دو سوی حوضه را در قالب یک آرایه یه ماتریس تدوین کرد. روی قطر این آرایه تعداد رده‌های اصلی ( ۱ به ۱، ۲ به ۲، ۳ به ۳ و ۴) شمارش و نوشته می‌شود و رده های فرعی که به رده‌های اصلی پیوسته‌اند نیز شمارش شده و در دو نیمه چپ و راست آرایه نوشته می‌شوند. در این راستا توزیع رده‌های آبراهه‌ها در چهارچوب یک آرایه مربع که تعداد سطر و ستون آن برابر با بزرگ‌ترین رده آبراهه‌های حوضه است، شمارش و نگاشته می‌شود (جدول ۱).

جدول ۱: تعداد رده‌های ۱ تا ۴ شکل ۲

رده	۱	۲	۳	۴
۱	۶+۸	۲	۸	۲
۲	۱	۲+۲	۱	۰
۳	۵	۲	۱+۱	۰
۴	۳	۰	۰	۱

#### یافته‌ها

داده‌ها و کتوری به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار MapViewer فراخوان شده و با بهره‌گیری از روش استرالر آبراهه‌ها رده‌بندی شده و نقشه شبکه آبراهه‌های پهنه پژوهش تدوین گردید (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه رده‌بندی شبکه آبراهه‌های پهنه پژوهش

با بهره‌گیری از نقشه شبکه آبراهه‌های پهنه پژوهش فراداده‌های تعداد، جمع و میانگین درازای آبراهه‌ها بر پایه رده آن‌ها به دست آمده و در جدول‌های ۲، ۳ و ۴ ارائه شد. همان‌گونه که در شکل شماره ۳ دیده می‌شود، بالاترین رده آبراهه‌های پهنه پژوهش برابر ۶ است.

با توجه به فراداده‌های به دست آمده (جدول ۲) تعداد آبراهه‌های رده یکی که به هم پیوسته و آبراهه‌های رده دو در بخش را پدید می‌آورند، ۴۶ عدد است و تعداد این آبراهه‌ها در بخش چپ پهنه پژوهش برابر ۴۸ عدد است. تعداد آبراهه‌های رده ۱ نیمه راست که به رده‌های ۲ تا ۶ پیوسته‌اند، به ترتیب ۱۵، ۹، ۵، ۰ و ۰ است. این تعداد در نیمه چپ پهنه پژوهش نیز به ترتیب ۱۵، ۱۲، ۲۲، ۰ و ۰ است. براین پایه می‌توان گفت هر چند آبراهه رده یکی که به هم پیوسته‌اند در دو سوی پهنه پژوهش نزدیک به هم هستند، ولی آبراهه‌های رده یک پیوسته به رده‌های بالاتر در دو سوی راست و چپ باهم اختلاف داشته و تعادلی از این نظر در پهنه پژوهش دیده نمی‌شود.

جدول ۲: تعداد رده‌های ۱ تا ۶ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۴۶+۴۸	۱۵	۹	۵	۰	۰
۲	۱۵	۸+۱۲	۶	۴	۱	۰
۳	۱۲	۱۰	۲+۴	۲	۰	۰
۴	۲۲	۵	۱	۲+۲	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۱+۱	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۱

هشت آبراهه رده ۲ در نیمه راست پهنه پژوهش به هم پیوسته‌اند، ولی در نیمه چپ این تعداد به ۱۲ آبراهه می‌رسد و آبراهه‌ها رده دو که به رده‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ پیوسته‌اند، به ترتیب ۶، ۴، ۱ و ۰ بوده و این تعداد در نیمه چپ به ترتیب ۱۰، ۵، ۰ و ۰ است (جدول ۲). همچنین ۲ آبراهه با رده ۳ در نیمه راست و ۴ آبراهه در نیمه چپ به هم پیوسته‌اند. آبراهه رده سه که به رده ۴ پیوسته‌اند در نیمه راست ۲ عدد و در نیمه چپ تنها یکی است. ولی هیچ آبراهه رده ۳ به آبراهه‌های رده ۵ و ۶ در دو سوی راست و چپ پهنه پژوهش نپیوسته است. در هر کدام از دو نیمه راست و چپ پهنه پژوهش تعداد ۲ آبراهه رده ۴ به هم پیوسته و در مجموع دو آبراهه رده ۵ پدید آورده‌اند. هیچ آبراهه رده چهاری در دو سوی این ریز حوضه به رده‌های ۵ و ۶ نپیوسته است و تنها دو آبراهه با ۵ در پهنه پژوهش پدید آمده و به هم پیوسته‌اند تا در نهایت یک آبراهه رده شش را پدید آورند (جدول ۲).

جمع درازای آبراهه‌های رده یک که به هم پیوسته‌اند، در نیمه راست ۲/۳۳ کیلومتر و در نیمه چپ ۲/۵۲ کیلومتر است (جدول ۳). درازای همه آبراهه‌های رده یک که به رده‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ پیوسته‌اند، در نیمه راست به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۴۲، ۰/۱۸، ۰ و ۰ کیلومتر و در نیمه چپ ۰/۷۱، ۰/۹۱، ۰/۱۱، ۰ و ۰ کیلومتر است. در نیمه راست روند تغییر درازای آبراهه‌ها کاهشی است ولی در نیمه چپ درازای آبراهه‌های رده یک که به رده‌های ۲، ۳ و ۴ پیوسته‌اند، برابر ۰/۷۱، ۰/۹۱ و ۲/۱۱ کیلومتر است. این روند برعکس نیمه راست افزایشی است.

جدول ۳: جمع درازای رده‌ها ۱ تا ۶ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۲/۳۳+۲/۵۲	۰/۹۱	۰/۴۲	۰/۱۸	۰	۰
۲	۰/۷۱	۰/۷۸+۰/۱۴	۰/۴۷	۰/۲	۰/۲۳	۰
۳	۰/۹۱	۰/۸	۰/۴۵+۰/۸۸	۰/۱۴	۰	۰
۴	۲/۱۱	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۵۴+۰/۹۲	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰/۱۵+۰/۱	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷

درازای همه آبراهه‌های رده دو که به هم پیوسته‌اند، در نیمه راست ۰/۷۸ کیلومتر و در نیمه چپ ۰/۱۴ کیلومتر می‌باشد، بنابراین در این بخش تعادل وجود ندارد (جدول ۳). آبراهه‌های رده دویی که به رده‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ منتهی شده‌اند، به ترتیب در نیمه راست ۰/۴۷، ۰/۲، ۰/۲۳، ۰ و ۰ کیلومتر و در نیمه چپ ۰/۸، ۰/۳۴، ۰ و ۰ کیلومتر می‌باشد که نابرابری درازا و روند در دو سوی پهنه پژوهش را نشان می‌دهد. درازای آبراهه‌های رده سه که در نیم راست به هم پیوسته‌اند ۰/۴۵ کیلومتر است. در نیمه چپ این رقم تقریباً دو برابر شده و به ۰/۸۸ کیلومتر می‌رسد. این روند در آبراهه‌های رده ۳ که به رده ۴ می‌پیوندند، برعکس است؛ یعنی درازای آبراهه رده ۳ پیوسته به رده چهار در نیمه راست ۰/۱۴ کیلومتر است ولی این رقم در نیمه چپ تقریباً نصف شده و به ۰/۰۹ کیلومتر کاهش می‌یابد.

آبراهه‌های رده چهار در نیمه راست ۰/۵۴ و در نیمه چپ ۰/۹۲ کیلومتر درازا داشته و آبراهه رده پنج نیمه راست ۰/۱۵ کیلومتر درازا داشته. آبراهه رده پنج نیمه چپ ۰/۱ کیلومتر است. درازای آبراهه رده شش در پهنه پژوهش نیز ۰/۰۷ کیلومتر است.



میانگین درازای آبراهه‌های رده یک که به هم پیوسته‌اند، در دونیمه راست و چپ پهنه پژوهش ۵۱ و ۵۳ متر است (جدول ۴). میانگین درازا آبراهه‌های رده یک که به رده‌های ۲، ۳ و ۴ پیوسته‌اند در نیمه راست به ترتیب ۶۱، ۴۷ و ۳۶ متر و در نیمه چپ ۴۷، ۷۶ و ۹۶ متر می‌باشد.

نمودار ۴: میانگین درازای رده‌های ۱ تا ۶ آبراهه‌های راست، مرکز و چپ پهنه پژوهش

رده	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰/۰۵۱ + ۰/۰۵۳	۰/۰۶۱	۰/۰۴۷	۰/۰۳۶	۰	۰
۲	۰/۰۴۷	۰/۰۶۵ + ۰/۰۱۷	۰/۰۷۸	۰/۰۵	۰/۲۳	۰
۳	۰/۰۷۶	۰/۰۸	۰/۱۱۲ + ۰/۲۲	۰/۰۷	۰	۰
۴	۰/۰۹۶	۰/۰۶۸	۰/۰۹	۰/۲۷ + ۰/۴۶	۰	۰
۵	۰	۰	۰	۰	۰/۱۵ + ۰/۱	۰
۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۰۷

میانگین درازا آبراهه‌های رده دو که در نیمه راست و چپ به هم پیوسته‌اند، برابر ۶۵ و ۱۷ متر است. در نیمه راست آبراهه‌های رده ۲ که به رده‌های ۳، ۴ و ۵ پیوسته‌اند، از ۷۸ متر به ۵۰ متر رسیده و سپس به ۲۳۰ متر افزایش می‌یابد. در نیمه چپ این ارقام در رده‌های ۳ و ۴ برابر ۸۰ و ۶۸ متر است. میانگین درازای آبراهه‌ها رده سه که در نیمه راست و چپ به هم پیوسته‌اند، برابر ۱۱۲ و ۲۲۰ متر است. این ارقام برای آبراهه‌های رده سه که به رده ۴ پیوسته‌اند، در نیمه راست و چپ برابر ۷۰ و ۹۰ متر می‌باشد (جدول ۴). میانگین درازای دو آبراهه رده چهار که در دونیمه راست و چپ به هم پیوسته و آبراهه رده ۵ را پدید آورده‌اند، برابر ۲۷۰ و ۴۶۰ متر می‌باشد. چون در دو سوی پهنه پژوهش تنها یک آبراهه وجود دارد، بر این پایه میانگین درازای آبراهه‌ها برای رده ۵ و ۶ قابل برآورد و بررسی نیست.

### نتیجه‌گیری

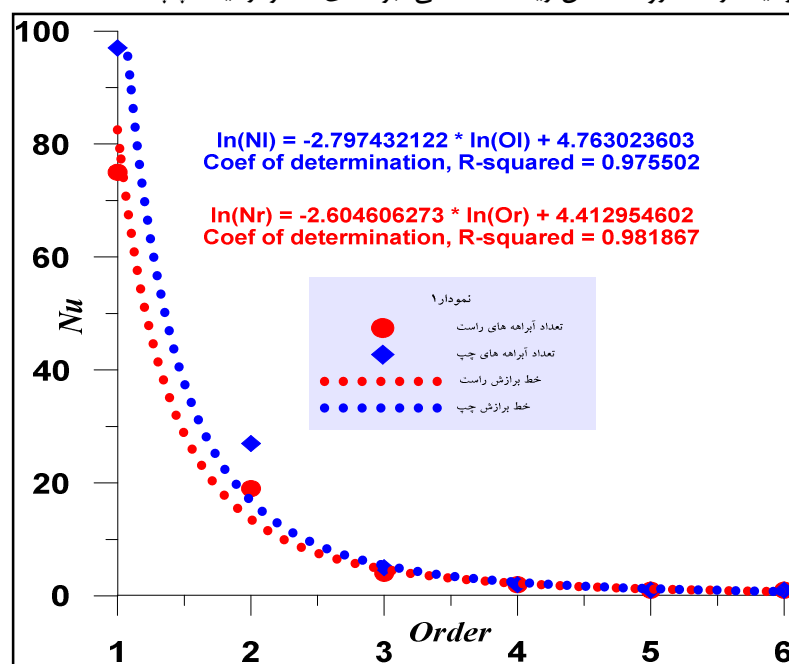
تعداد، درازا و میانگین درازای آبراهه‌های رده‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ در دونیمه راست و چپ ریز حوضه پهنه پژوهش در نمودار شماره ۵ ارائه شده است. برای تحلیل مفهوم تعادل در پراکنش آبراهه‌ها در دونیمه راست و چپ به واکاوی نموداری فراداده‌ها اقدام می‌گردد.

جدول ۵: تعداد، جمع و میانگین درازای رده‌های ۱ تا ۶ 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	۷۵	۹۷	۳/۸۴۱	۶/۲۵	۰/۰۵۱	۰/۰۶۴
۲	۱۹	۲۷	۱/۶۸	۱/۲۸	۱/۰۸۸	۱/۰۴۷
۳	۴	۵	۰/۵۷	۰/۹۷	۰/۱۴۷۵	۰/۱۹۴
۴	۲	۲	۰/۵۴	۰/۹۲	۰/۲۷	۰/۴۶
۵	۱	۱	۰/۱۵	۰/۱	۰/۱۵	۰/۱
۶	۱	۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۷

نمودار فراداده‌های رده و تعداد آبراهه‌های رده ۱ تا ۶ (ستون‌های ۱، ۲ و ۳ در جدول ۵) در بستر دو نرم‌افزار Grapher و Curvexpert ترسیم گردید (نمودار ۱). میان فراداده‌های رده و تعداد آبراهه‌های

رده‌های ۱ تا ۶ همبستگی نمائی ۱ برقرار بوده و ضریب تعیین ۲ میان این دو متغیر در نیمه راست پهنه پژوهش برابر ۰/۹۸۲ و در نیمه چپ ۰/۹۷۵ است. بر این پایه می‌توان چنین گفت که هرچند همبستگی رده و تعداد آبراهه‌ها در دونیمه پهنه پژوهش بالا است، ولی با توجه به بیشتر بودن ضریب همبستگی و تعیین رده و تعداد آبراهه‌ها در نیمه راست روند تکامل ریخت شناختی آبراهه‌ای تندتر از نیمه چپ است.

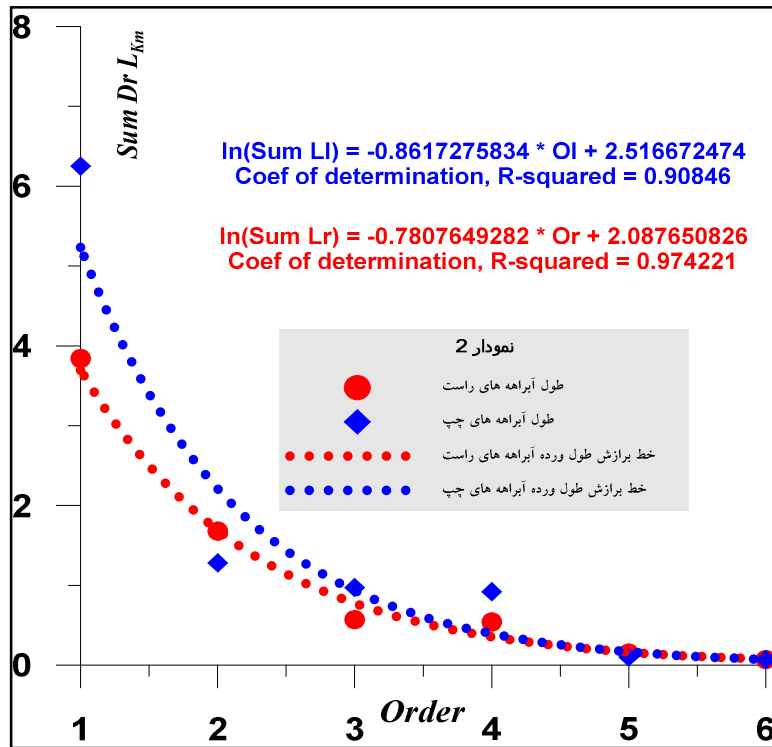


نمودار ۱: آرایش رده و تعداد آبراهه‌های پهنه پژوهش

همبستگی میان رده و درازای آبراهه‌های پهنه پژوهش بالا است، هرچند میزان این همبستگی کمتر از همبستگی رده و تعداد آبراهه‌های هر دونیمه است (نمودار ۲).

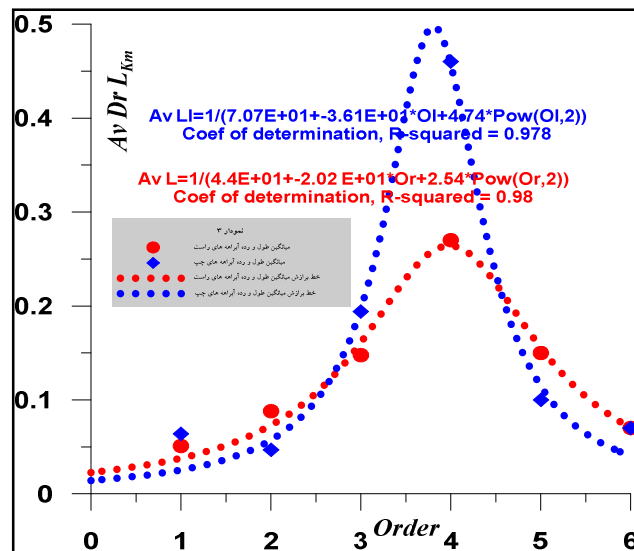
<sup>۱</sup> -Exponential

<sup>۲</sup> - Determination coefficient



نمودار ۲: آرایش رده و درازای آبراهه‌های پهنه پژوهش

همبستگی میان رده و درازای آبراهه‌ها نیز همانند همبستگی میان رده و تعداد آبراهه‌های در هر دونیمه نمائی می‌باشد. ضریب تعیین میان رده و درازا آبراهه‌های نیمه راست برابر ۰/۹۷۴ است، ولی در نیمه چپ این همبستگی افت آشکار یافته و به حدود ۰/۹۱ کاهش می‌یابد. بر این پایه تفاوت آشکار ریخت‌شناسی شبکه آبراهه‌های نیمه راست و چپ (شکل ۳) با واکاوی آماری و تحلیل همبستگی قابل بیان و تفسیر است. روند تغییرات میانگین درازای آبراهه‌های دونیمه راست و چپ شبکه آبراهه‌های پهنه پژوهش با روند تغییرات رده، تعداد و درازای آبراهه‌های آن متفاوت است. به‌گونه‌ای که در هر دونیمه راست و چپ میانگین درازای آبراهه‌ها از رده ۱ تا ۴ افزایش تصاعدی یافته و سپس از رده ۴ تا رده ۶ این میانگین با شیب تندی کاهش می‌یابد (نمودار ۳).



نمودار ۳: آرایش رده و میانگین درازای آبراهه‌های پهنه پژوهش

همبستگی میان رده و میانگین درازای آبراهه‌های هر دونیمه از نوع معکوس مربع ۳ است. در دونیمه ضریب تعیین میان رده و میانگین درازای آبراهه‌ها تقریباً برابر بوده و حدود ۰/۹۸ است. تفاوت میانگین درازای آبراهه‌ها در این دونیمه 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. به دلیل کشیدگی شکل زنگوله‌ای منحنی برازش رده و میانگین درازای آبراهه‌های نیمه چپ بیشتر از نیمه راست است.

### سیاسگزاری:

«این مقاله مستخرج از نتایج طرح تحقیقاتی اجرا شده با شماره قرارداد ۱۱۴ از محل اعتبارات ویژه پژوهشی دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر می‌باشد.»

### منابع

- دهقانی، امیراحمد، قدسیان، مسعود، صالحی‌نیشابوری، علی‌اکبر و مهدی شفیعی‌فر، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات بستر کانال‌های آبرفتی در قوس ۱۸۰ درجه، مجله هیدرولیک، شماره ۲، صص ۱-۱۶.
- رسولی، علی‌اکبر و عباسیان، شیرزاد، ۱۳۸۸، تحلیل مقدماتی سری‌های زمانی تراز سطح آب دریاچه ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی، دانشگاه تبریز، سال ۱۴، شماره ۲۸، صص ۱۳۷-۱۶۵.
- رهبر کلیشیمی، رقیه، و قرائی، فریبا. ۱۳۹۳، بررسی روش‌های حفاظت از رودخانه‌های شهری از منظر توسعه پایدار و مهندسی سیلاب، اولین همایش ملی معماری، عمران و محیط‌زیست شهری، انجمن ارزیابان محیط‌زیست هگمتانه.
- عاشوری، محمد، رضایی‌مقدم، محمدحسین و پیری، زهرا، ۱۳۹۲، بررسی تغییر مورفولوژی بستر رودخانه پیش و پس از احداث سد با استفاده از *HEC RAS* و *GIS* (مطالعه موردی: منطقه‌ی پایین‌دست سد ستارخان اهر)، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۵، شماره ۱، صص: ۸۷-۱۰۰.
- عباسی، علیرضا، ۱۳۸۶، تحلیل رده-آرایه‌ای شبکه آبراهه‌ها در زمین‌ریخت‌شناسی، نخستین همایش جغرافیا و قرن بیست و یکم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد
- مرشدی، جعفر، علوی‌پناه، کاظم و مقیمی، ابراهیم، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات طولی رودخانه‌ی کارون با استفاده از روش میانگین جهت‌دار خطی (منطقه‌ی مورد مطالعه: از شوشتر تا اروند). محیط‌شناسی، دوره‌ی ۳۹، شماره‌ی ۴، صص: ۱۰۴-۸۹.
- نیری، هادی، ۱۳۹۴، تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه مه‌آباد و تأثیر احداث سد بر آن، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم، شماره ۳۷، صص: ۱۷۷-۱۵۵.
- یمانی، م، مقیمی، ابراهیم، معتمد، احمد، جعفر بیگلر، منصور و لرستانی، قاسم، ۱۳۹۱، بررسی تغییرات سریع خط ساحلی قاعده‌ی دلتای سفیدرود به روش تحلیل نیمرخ‌های متساوی‌البعده، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۵، شماره ۲، صص: ۱-۲۰.
- یمانی، مجتبی، مقیمی، ابراهیم، لک، راضیه، جعفر بیگلر، منصور، صالحی پورمیلانی، علیرضا، ۱۳۹۴، بازسازی سطوح دیرینه دریاچه ارومیه در کواترنری با مطالعه پادگانه‌های دریاچه‌ای، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۱، صص: ۱-۱۹.
- یوسفی، رقیه، ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات سناریوهای مختلف ساماندهی رودخانه بر مشخصات هیدرولیک جریان مطالعه موردی: رودخانه‌ی کارون محدوده شهر اهواز، پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - دانشگاه شهید چمران اهواز - دانشکده مهندسی.

- Anisimov, Vandenberghe, 2008: *Predicting changes in alluvial channel patterns in North-European Russia*, *Geomorphology*(98),pp262–274.
- Bertin, X., Oliveira, A., Fortunato, A.B.,2009: *Simulating morphodynamics with unstructured grids: description and validation of a modeling system for coastal applications*. *Ocean Modelling* 28/1–3,pp75–87.
- Ferrarin, C., Umgiesser, G., Cucco, A., Hsu, T.-W., Roland, A., Amos, C.L., 2008: *Development and validation of a finite element morphological model for shallow water basins*. *Coastal Eng.* 55 (9),pp716–731.
- Fortunato, A.B., Oliveira, A.,2007: *Improving the stability of a morphodynamic modeling system*. *Journal of Coastal Research* SI50,pp486–490.
- Gaeuman, D., Schmidt, J.C., Wilcock, P.R.,2005: *Complex channel responses to changes in stream flow and sediment supply on the lower Duchesne River, Utah*. *Geomorphology* 64,pp185–206.
- Longhitano, S, Colella, A, 2007: *Geomorphology, sedimentology and recent evolution of the anthropogenically modified Simeto River delta system (eastern Sicily, Italy)*, *Sedimentary Geology, Volume 194, Issues 3-4, 1, PP195-221*
- Rozo, G. A. Nogueira, C. Soto Castro, 2014, *Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986- 2006*, *Journal*.
- Rütther, N, Olsen, N.R.B, 2007: *Modelling free-forming meander evolution in a laboratory channel using three-dimensional computational fluid dynamics*,*Geomorphology, Volume 89, Issues 3-4, PP 308-319*
- Schoorl, J. M., Veldkamp, A, 2003: *Late Cenozoic landscape development and its tectonic implications for the Guadalhorce valley near Alora (Southern Spain)*: *Geomorphology*50,pp 43-57.
- Scott, T.R, Mason, D.C, 2007: *Data assimilation for a coastal area morphodynamic model: Morecambe Bay*, *Coastal Engineering, Volume 54, PP 91-109*
- Syvitski, James P.M, 2007: *Morphodynamics of deltas under the influence of humans* ,*Global and Planetary Change (57)*,pp 261–282.
- Thorndycraft, V.R, 2008: *Fluvial Geomorphology: A perspective on current status and methods*, *Geomorphology, Volume 98, Issues 1-2, PP 2-12*
- Tiron, L. J, 2009: *Flow and sediment processes in a cutoff meander of the Danube Delta during episodic flooding*, *Geomorphology, Volume 106, Issues 3-4, PP 186-197*
- Tran Thi, A, Tien Thi, X., Phan Nguyen, F, Dahdouh-Guebas, N, Koedam,H.,,2014: *Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam*, *Biogeosciences, 11, 3781–3795, 2014*
- Zhang, W., Yanhong, X., Yanru, W., Hong, P., 2014. *Modeling sediment transport and river bed evolution in river system*. *Journal of Clean Energy Technologies, 2, 175–179.*