

## ارزیابی دینامیک جانبی مجرای رودخانه کهمان

ایمانعلی بلوایی<sup>۱</sup>  
صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۲</sup>  
فریبا اسفندیاری درآباد<sup>۳</sup>  
بتول زینالی<sup>۴</sup>

### چکیده

ارزیابی مورفولوژیکی رودخانه برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی آن، جهت برنامه‌ریزی محیطی امری ضروری است. در این مطالعه مورفولوژی رودخانه کهمان، از سراب خاصان تا منطقه دوآب به طول ۳۸/۶۲ کیلومتر ارزیابی شد. بدین منظور تصاویر ماهواره لندست، سنجنده‌های TM و OLI در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۹ تهیه و مجرای رودخانه کهمان بر روی این تصاویر با استفاده از شاخص تفاضل آب نرمال شده بارسازی گردید. سپس دینامیک جانبی مجرای رودخانه کهمان با استفاده از روش ترانسکت و آهنگ مهاجرت مجرا مورد بررسی قرار گرفت. متوسط جابجایی مجرای رودخانه کهمان در بازه زمانی (۱۳۷۴-۱۳۹۹) با استفاده از شاخص نرخ مهاجرت مجرا ۲/۵۱ متر در سال برآورد گردید. کم‌ترین میزان این شاخص در ترانسکت‌های شماره ۴۹، ۵۰ و ۴۸ به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۱ و ۰/۳۷ متر در سال بوده که دره‌های کوهستانی و عملیات تثبیت کناره‌های رودخانه، مهم‌ترین دلیل کنترل و تثبیت کناره‌های مجرای رودخانه کهمان در این ترانسکت‌ها تشخیص داده شد. همچنین بیشترین مقدار نرخ مهاجرت در ترانسکت‌های ۴، ۳۲ و ۳۰ به ترتیب ۴/۸۰، ۵/۰۵ و ۶/۱۲ متر در سال برآورد گردید. میانبرها و فرسایش‌پذیری زیاد مواد کناره و دشت سیلابی از عوامل اصلی بالا بودن نرخ مهاجرت مجرا در این ترانسکت‌ها بوده است. محاسبه تغییرات مساحت ترانسکت‌ها نشان داد که حدود ۱۸۵/۸۵ هکتار از زمین‌های مجاور رودخانه کهمان در بازه زمانی (۱۳۷۴-۱۳۹۹) تخریب شده است. به عبارتی به طور متوسط هر سال حدود ۷/۴۳ هکتار از این اراضی در نتیجه‌ی جابجایی مجرای رودخانه کهمان فرسایش یافته و از بین رفته‌اند. بنابراین می‌توان گفت جنس مواد کناره‌های رودخانه کهمان در محدوده دشت و مناطق کشاورزی سبب افزایش مهاجرت جانبی مآندرها شده و عرض دره افزایش و دشت سیلابی مجاور رودخانه کاهش چشمگیری پیدا کرده است.

**واژگان کلیدی:** مجرای رودخانه، کهمان، روش ترانسکت، نرخ مهاجرت مجرا.

### مقدمه

بررسی مورفولوژیکی برای درک شرایط کنونی و پتانسیل تغییرات احتمالی رودخانه در آینده ضروری خواهد بود و تنها از این طریق می‌توان عکس‌العمل طبیعی آن را نسبت به تغییرات طبیعی و یا اقدامات ناشی از اجرای طرح‌های اصلاح مسیر و تثبیت کرانه‌ها پیش‌بینی نمود. رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود از همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۵) پیش‌بینی روند تغییرات رودخانه و

<sup>۱</sup>. دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل  
<sup>۲</sup>. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup>. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

<sup>۴</sup>. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

ارائه طرح‌های مهندسی در آینده منوط به شناخت رفتار و ژئومورفولوژی فعلی رودخانه و بررسی تغییرات در گذشته می باشد (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۶۷). عوامل طبیعی مانند سیل، فرسایش خاک، زمین لغزش و عوامل انسانی مانند تغییر کاربری اراضی، تجاوز به حریم و بستر رودخانه‌ها، احداث سازه‌های مهندسی و برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه، مورفولوژی و رفتار رودخانه را تحت تاثیر قرار می‌دهند (سلطانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷). رودخانه‌ها تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زمین شناسی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی و نحوه بهره برداری از آنها در معرض تغییر و تحول می باشند (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵). در این میان انسان نیز همگام با فعالیت‌های مورفونژ با تغییر کاربری، تخریب منابع طبیعی، شخم‌زدن زمین در جهت شیب، کاشت درخت در بستر رودخانه‌ها باعث تغییر چهره زمین می‌شود. بنابراین هرگونه دخل و تصرف در بستر و حریم رودخانه باعث ایجاد تغییر در جریان و رسوب و روند فرسایش و رسوب گذاری در طول رودخانه به همراه خواهد داشت (زارع و هنر، ۱۳۹۴: ۱۸۹). واکنش ژئومورفولوژیکی رودخانه‌ها به آشفته‌گی سیلاب کاتاستروف منجر به گسترش کانال، حمل و نقل رسوبات، فرسایش ساحلی کانال و ایجاد نهشته‌ها و اشکال رسوبی در بستر و حاشیه رودخانه‌ها می‌شود (یمانی و عباسی، ۱۳۹۹: ۴۰۵). بنابراین ضروری است قبل از شروع به طراحی و انجام طرح‌های مهندسی رودخانه‌ها، از چگونگی عملکرد آن‌ها اطلاعات لازم بدست آید (مرادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۲۸). محققین داخلی و خارجی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها را با روش‌ها و ابزارهای متفاوتی مورد ارزیابی قرار داده‌اند که در ادامه به برخی از این مطالعات اشاره خواهد شد.

اسواتی و همکاران (۲۰۰۷) در پژوهشی فاکتورهای موثر در سینوسیته رودخانه پاناگون هند را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی استفاده شد. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر آنست که درجه سینوسیته رودخانه پاناگون وابسته به فاکتورهای زمین شناسی از قبیل تکتونیک بوده و پوشش گیاهی نقش اصلی را ایفا می‌کند. الفردو<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) در تحقیقی تغییرات کانال و مدیریت دشت سیلابی و پیچان رودهای رودخانه ابرو در اسپانیا را بررسی نمود. این محقق به این نتیجه رسید که دخالت‌های انسانی تغییرات چشمگیری در منطقه ساحلی بوجود آورده است و تغییرات کاربری اراضی در کل حوضه، ساخت سیل‌بندها در کانال اصلی و تغییر سیستم رودخانه نیاز به برنامه‌ریزی و مدیریت درست برای بهبود و کاهش خطر دارد. گرگوری<sup>۲</sup> (۲۰۱۶) تغییرات مورفولوژیکی ایجاد شده به وسیله جریان‌های عادی و سیل در رودخانه تاقلیمانتو ایتالیا بررسی نمودند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که میزان تغییرات مورفولوژیکی بعد از وقوع هر سیل رابطه‌ی بسیار خوبی بین اوج جریان، پهنای فعال و میانگین تغییرات بستر دارد. کراستو و صالح (۲۰۱۱) در پژوهشی تاثیر پوشش گیاهی دشت سیلابی را بر روی شکل هندسی رودخانه ارزیابی نمودند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که گیاهان متفاوت، شکل هندسی مختلفی ارائه می‌دهند و در دشت‌های سیلابی بدون پوشش گیاهی، رودخانه گسترش زیادتری می‌یابد. شهبازی (۱۳۸۸) عوامل مؤثر در ناپایداری بستر رودخانه‌ی قره‌سو در کرمانشاه را با استفاده از عکس‌هایی هوایی در چند بازه‌ی زمانی مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که زمین‌ساخت به صورت دخالت گسل و منطبق شدن آن با مسیر رودخانه، تغییرات رودخانه را کنترل کرده و تغییرات عرضی این رودخانه به وسیله‌ی گسل محدود شده است. مقصودی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی تغییرات پیچان رودی رودخانه مارون از سرچشمه آن تا ابتدای رودخانه جراحی به طول تقریبی ۲۸۰ کیلومتری جهت استخراج مورفومتری آن براساس دو شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که رودخانه مارون طبق شاخص ضریب خمیدگی از نوع سینوسی و از نظر شاخص جهت جریان نیز از نوع شرقی - غربی می‌باشد. همچنین علت تغییر جهت و الگوی رودخانه مارون، مسائل زمین شناسی و توپوگرافی، اقلیم، تکتونیک و هیدرولوژی منطقه زاگرس تشخیص داده شد، که در پروفیل طولی رودخانه مارون متفاوت می‌باشد. سوالمی و همکاران (۲۰۱۵)<sup>۳</sup> به بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه تارو در شمال ایتالیا، با استفاده از عکس‌های هوایی پرداختند. نتایج حاصل از

<sup>1</sup> Alfredo

<sup>2</sup> -Gregory

<sup>3</sup> -Soualmia et al



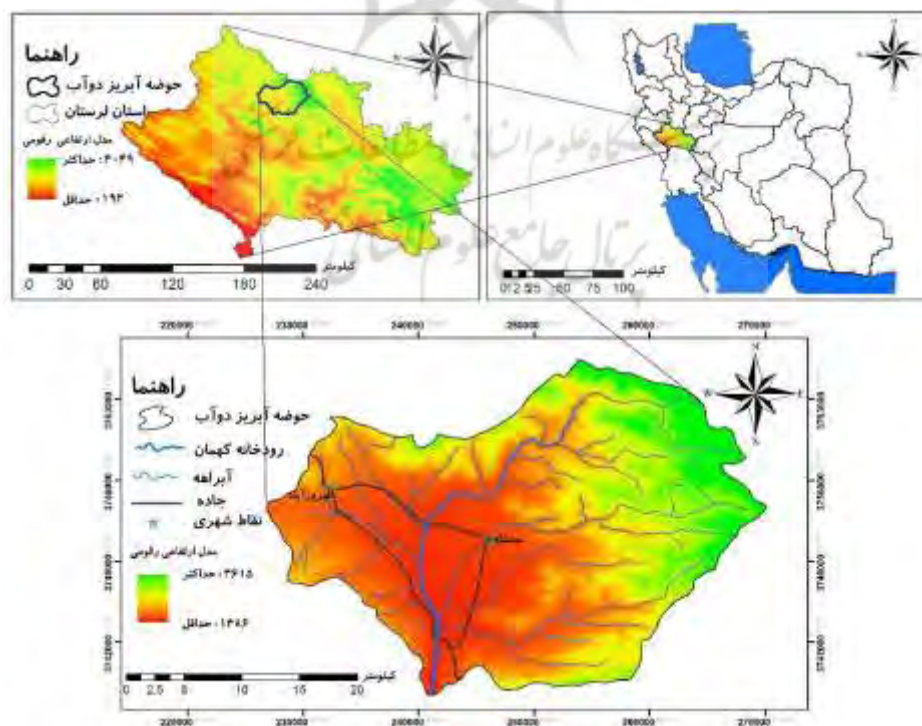
این بررسی نشان داد که عامل بیشترین تغییرات کانال رودخانه دخالت انسان برای مقاصد کشاورزی و صنعتی، ساخت پل‌های متعدد و ساحل‌سازی بوده است. گرگوری<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) در تحقیقی نشان داد که علاوه بر عوامل طبیعی، عوامل انسانی نیز نقش بسیار مهمی بر روی شکل و الگوی مجاری رودخانه دارند؛ به طوری که فعالیت‌های مهندسی مثل کانال‌سازی، سد سازی، انحراف و ایجاد نهرها و اثرات غیرمستقیم در تغییر مجاری رودخانه‌ها از طریق کاربری اراضی مانند تسطیح زمین، کشاورزی متمرکز و وقوع آتشفشانی، خانه سازی و شهرنشینی قابل تجزیه و تحلیل می‌باشد. اصغری سراسکانرود (۱۳۹۳) در طی پژوهشی به بررسی و تحلیل الگوهای متفاوت رودخانه شهر چای ارومیه پرداخته است. ایشان از معیارهای ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی برای بررسی شکل هندسی رودخانه استفاده نموده است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد است که رودخانه شهر چای یک رودخانه شریانی بوده که نحوه شکل‌گیری بازه ساحلی و بازه کوهستانی با یکدیگر متفاوت می‌باشد. رشیدی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات ژئومورفولوژی رودخانه کارون را با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تغییرات چشمگیری در مورفولوژی رودخانه، از جمله تغییر در عرض رودخانه به ویژه در محدوده شهر اهواز روی داده است. هم چنین عامل اصلی این تغییرات کاهش دبی به دلیل ساخت سدهای متعدد در بالادست تشخیص داده شد. سلطانی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی بخشی از رودخانه گاماسیاب پرداختند. در این پژوهش با استفاده از برازش دایره‌های مماس بر قوس برخی از پارامترهای هندسی رودخانه محاسبه شد. هم‌چنین مهم‌ترین عامل تغییرات مورفولوژیکی رودخانه، تغییر کاربری اراضی اطراف رودخانه و به طور کلی دخل و تصرف انسان در بستر رودخانه تعیین گردید. اصغری سراسکانرود (۱۳۹۶) عوامل موثر در شکل الگو و دینامیک مجرا در بازه کوهستانی رودخانه قره‌سو حد فاصل روستای خراسانک شهرستان هشتروند تا ورودی رودخانه به شهرستان میانه را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در منطقه مورد مطالعه ویژگی‌های لیتولوژیک، شکل‌گیری الگو و دینامیک مجرا را کنترل می‌کند. نیکویخت و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی نقش پوشش گیاهی دشت سیلابی را بر توپوگرافی بستر پیمان رود به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که تغییرات عرضی بستر با وجود پوشش گیاهی نسبت به زمان بدون پوشش گیاهی کم‌تر شده و شیب عرضی بستر یکنواخت‌تر است. مارسین سازوگزیک و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی تأثیر عملکرد سدها و کاربری اراضی را بر مورفولوژی کانال رودخانه و خطر سیل در کارپات‌های لهستان بررسی نمودند. در این مطالعه برای محاسبه روند تغییرات پلان از متغیرهای طول رودخانه، عمق آب، تالوگ، مرکز جریان کانال و کاربری اراضی استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که احداث سد و توسعه جنگل با همدیگر سبب تأثیرات زمانی و مکانی در مورفولوژی کانال رودخانه و کاهش دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب به میزان ۵ درصد شده است. لولو و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای تأثیر کاشت درخت بر پایداری کناره رودخانه مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از کار پژوهشی این محقق و همکارانشان نشان داد که میزان تأثیرات مکانیکی درختان به خاطر کاهش اهمیت درخت نسبت به افزایش نیروی تنش برشی به دلیل نقش ریشه‌ها افزایش می‌یابد. باشکوه و همکاران (۱۳۹۸) مورفولوژی بخشی از مجرای رودخانه قره‌سو را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی کورنیس، نرخ مهاجرت مجرا و روش ترانسکت مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیشتر مائدرهای منطبق بر دشت از نوع مائدرهای آزاد، و پتانسیل زیادی برای توسعه و جابجایی دارند، ولی مائدرهای بازه‌های کوهستانی محصور بوده و زاویه مرکزی این مائدرها در طی دوره‌های زمانی مطالعاتی تقریباً ثابت باقی مانده است. ایامی احمدآباد و همکاران (۱۳۹۸) برای بررسی پلان‌فرم و دینامیک جانبی بخشی از مجرای رودخانه زرينه‌رود از چهار شاخص زاویه مرکزی کورنیس، ضریب خمیدگی، آهنگ مهاجرت مجرا و ترانسکت استفاده نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که سالانه به طور متوسط ۱۱/۶ هکتار از اراضی مجاور رودخانه تخریب شده‌اند. هم‌چنین مهاجرت جانبی مجرای این رودخانه بین ۱/۵ تا ۲ متر در سال برآورد گردید.

<sup>1</sup> -Gregory

در کشور ما تعداد وقایع و خسارات سیل در سال‌های گذشته روند افزایشی داشته است (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹). به عنوان نمونه می‌توان به سیل فروردین ۱۳۹۸ اشاره نمود که بر اثر آن خسارات جانی و مالی فراوانی را در چند استان کشور از جمله استان لرستان بر جای گذاشت. از بین بردن پوشش گیاهی، تخریب جنگل و تجاوز به حریم و بستر رودخانه در منطقه مورد مطالعه، هم‌چنین جابجایی مجرای رودخانه کهمان و تخریب شدید منازل، باغات و زمین‌های کشاورزی مجاور این رودخانه، طی سالیان اخیر خصوصا سیل فروردین ۱۳۹۸، با دبی ۵۵۰ متر مکعب بر ثانیه در ساعت ۱۶ روز دوازدهم فروردین (سازمان هواشناسی استان لرستان، ۱۳۹۸)، هم‌چنین قرار گرفتن شهر الشتر و روستاهای زیادی در مجاور رودخانه کهمان بر اهمیت این مطالعه می‌افزاید. در این تحقیق علاوه بر استفاده از روش‌های ترانسکت و آهنگ مهاجرت مجرا، از تصاویر ماهواره‌ای برای استخراج مجرای رودخانه با شاخص‌های سنجش از دوری استفاده شده است. هم‌چنین میانگین نرخ مهاجرت مجرا و مقدار مساحت جابجا شده کناره‌های رودخانه برای بازه زمانی ۲۵ ساله (سال-های ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۹) محاسبه گردید. هدف از این پژوهش، ارزیابی دینامیک جانی مجرای رودخانه کهمان، محدوده سرآب خاصان تا منطقه دوآب در بازه زمانی مورد مطالعه می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند راه‌گشای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد. لذا این مطالعه از نگاه کاربردی و پژوهشی می‌تواند پیشینه‌ای برای تحقیقات بعدی در این زمینه باشد.

### منطقه مورد مطالعه

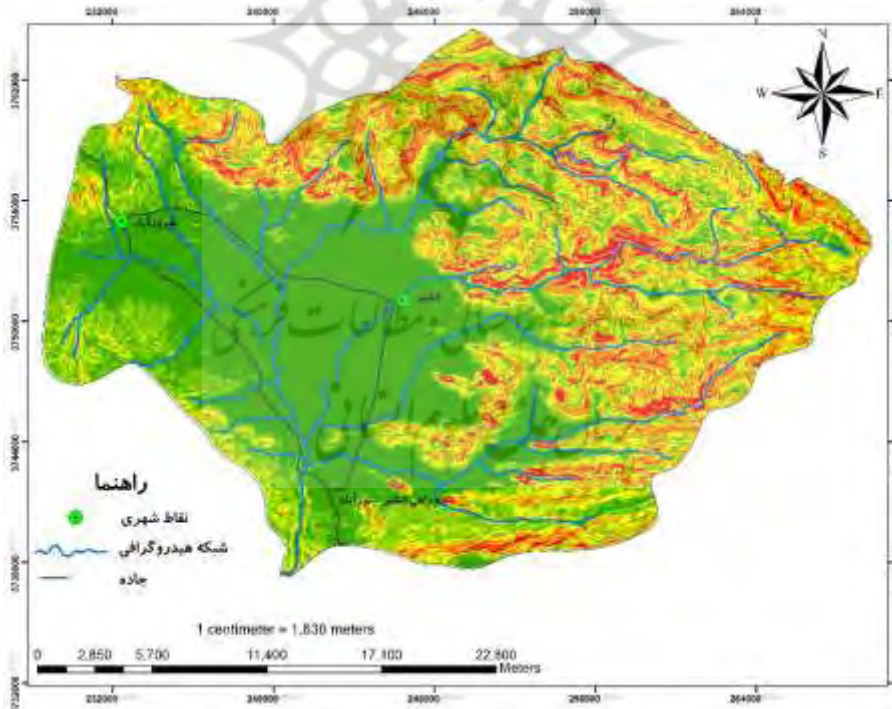
رودخانه کهمان رودخانه‌ای دائمی، در حوضه آبریز دوآب شهرستان الشتر در شمال استان لرستان، شمال غرب خرم‌آباد، غرب بروجرد و جنوب نهاوند واقع شده است. حوضه آبریز دوآب قسمتی از شهرستان الشتر محسوب می‌شود که با مساحت ۷۶۷/۹۴ کیلومتر مربع و با محیط ۱۲۱۶۵۲ متر، در طول جغرافیایی  $36^{\circ}38'$  تا  $31^{\circ}48'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $33^{\circ}24'$  تا  $33^{\circ}15'$  شمالی، در یک منطقه کوهستانی، که ارتفاع آن از شرق به غرب و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد، واقع شده است (شکل ۱). این حوضه به لحاظ وجود ارتفاعات آهکی، بارش برف و باران و آبرفت مناسب دارای منابع آب زیرزمینی قابل توجه و چشمه‌ها و رودخانه‌های دائمی می‌باشد که از سرشاخه‌های رودخانه کرخه محسوب می‌شوند.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی رودخانه کهمان در حوضه آبریز دوآب، استان لرستان و ایران



منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت زمین‌شناسی بخشی از زاگرس چین‌خورده و زاگرس مرتفع می‌باشد. تشکیلات زمین‌شناسی این حوضه مربوط به دوره تریاس فوقانی تا عهد حاضر، و عمدتاً از سنگ آهک تشکیل شده است (نگارش، ۱۳۷۹: ۲۴) شمال شرق منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های کربناته‌ای در برمی‌گیرد که زمان آن تریاس فوقانی- کرتاسه می‌باشد. شرق و جنوب این حوضه عمدتاً از سنگ‌های مارنی و آهک مارنی سازند پابده تشکیل شده که فرسایش پذیرترین سنگ‌های ناحیه‌اند. سن این سازند از پالئوسن تا میوسن متغیر است. سازند آغاچاری در جنوب غرب حوضه گسترش داشته و از نظر لیتولوژی شامل ماسه‌سنگ‌های آهکی، قهوه‌ای، خاکستری، رگه‌های گچ، مارن‌های قرمز و سیلستون است. از ویژگی‌های آن لایه‌بندی مشخص و فرسایش‌پذیری محلی است. سن سازند آغاچاری از میوسن فوقانی تا پلیوسن تعیین شده است. در شمال غرب و جنوب غربی، روی مارن‌های سازند پابده (شمال فیروزآباد-حاتم‌آباد) نهشته‌های کوتاه‌تر به صورت نوارهای روشن دیده می‌شود. در محل خروج رودخانه کهمان از دره‌تنگ، جنوب کوه مه‌باب و در شرق حوضه (کمرسیاه) چند بادبزین آبرفتی، همراه با مقادیر زیاد سنگ‌ریزه و شن (۱۵-۳ درصد) و در بعضی مناطق تا ۷۵ درصد دیده می‌شود. تشکیلات دشت از لایه‌های متناوب سیلت، رس و شن تشکیل شده و تشکیلات سنگ کف آن از آهک‌های کرتاسه سازند کشکان و کنگلومرای بختیاری می‌باشد (داودی، ۱۳۸۲: ۵۵). از ارتفاعات مهم منطقه مورد مطالعه می‌توان به کوه‌های گرین، خرگوش‌باب، اسپش و مه‌باب اشاره نمود که ناهمواری‌های غالب این منطقه را تشکیل می‌دهند. این کوه‌ها با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی جزء رشته کوه‌های زاگرس به حساب می‌آیند. حداکثر ارتفاع منطقه ۳۶۱۵ متر و حداقل آن ۱۴۸۶ متر است، که در خروجی حوضه می‌باشد شکل (۱). الگوی شبکه آبراهه‌ای موجود در نواحی مختلف بر مبنای تنوع زمین‌شناسی، تکتونیک و آب‌وهوا مختلف است (گرین<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). شبکه هیدروگرافی آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه شامل رودخانه کهمان، سراب امیر، سراب چناره، سراب زز، سراب هنام و رودخانه فیروزآباد به شرح زیر است شکل (۲).



شکل (۲). شبکه هیدروگرافی آب‌های سطحی حوضه آبریز دوآب

<sup>1</sup> -Green et al

شاخه اصلی حوضه آبریز دوآب با نام رودخانه کهمان از سراب‌های قرار گرفته در سازندهای آهکی کوه‌های شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه و ذوب برف ارتفاعات ورخاش گرین شکل گرفته است. سراب امیر از ارتفاعات کوه خرگوش‌ناب در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه سرچشمه گرفته و منشا آهکی دارد. سراب چناره با جهت شمالی-جنوبی از کوه‌های مه‌باب سرچشمه گرفته و در غرب رودخانه کهمان قرار دارد. سراب زز به شکل چشمه‌هایی از سازندهای آهکی قسمت شرقی کوه‌های خرگوش‌ناب، در محل تلاقی کوه با دشت ظاهر شده است. رودخانه فیروزآباد واقع در غرب کهمان از ارتفاعات فیروزآباد شکل گرفته و رواناب ناشی از این منطقه را گردآوری و به رودخانه کهمان سرازیر می‌کند. سراب هنام با منشا آهکی و جهت شرقی-غربی در قسمت شرقی دشت سلسله ظهور پیدا کرده است (بلواسی و همکاران، ۱۳۹۳). حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق به ترتیب در تیرماه با ۴۷/۴ درجه سانتی‌گراد و دی ماه با ۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه حوضه آبریز دوآب ۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد ثبت شده است (سازمان هواشناسی استان لرستان).

### روش تحقیق

در این مطالعه از نقشه‌های زمین‌شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی، نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ رقومی سازمان جغرافیایی نیروی‌های مسلح، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ گذر ۱۶۶ ردیف ۳۷ تاریخ ۱۶ آوریل ۲۰۲۰، لندست ۵ گذر ۱۶۶ ردیف ۳۷ نوامبر ۱۹۹۵، داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه از جمله دما و بارش (۱۳۹۹-۱۳۷۴) که از سازمان هواشناسی استان لرستان و مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری منطقه مورد مطالعه جهت بررسی وضعیت ویژگی‌های توپوگرافی و استخراج آبراهه‌ها استفاده شده است. از نرم‌افزار Arc GIS جهت ایجاد پایگاه داده، تحلیل‌های مکانی-فضایی و از نرم‌افزار ENVI جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده گردید. استفاده از تکنولوژی سنجنش از دور در مطالعات جغرافیایی با سرعت فزاینده‌ای افزایش یافته است. جهت بارزسازی و استخراج مسیر رودخانه کهمان از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو دوره زمانی ۱۹۹۵ و ۲۰۲۰ استفاده شد. بدین منظور ابتدا تصاویر سنجنده‌های TM و OLI ماهواره‌ای لندست، منطقه مورد مطالعه تهیه و تصحیحات هندسی و رادیومتریک با استفاده از نرم‌افزار ENVI بر روی این تصاویر انجام گرفت. تصحیحات اتمسفری برای از بین بردن اثرات پخش و جذب امواج الکترومغناطیس در محدوده‌ی امواج مرئی و مادون قرمز انجام می‌گردد. جهت انجام تصحیحات اتمسفری مرحله اول محاسبه‌ی مقدار رادیانس است و از مقدار رادیانس به فرآیند تصحیحات اتمسفری مورد نظر خواهیم رسید. در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ENVI، تصحیح اتمسفری با روش FLAASH بر روی تصاویر انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا تصویر با استفاده از رابطه (۱) به رادیانس و سپس با استفاده از رابطه (۲) به بازتاب تبدیل گردید. پس از نرمال کردن، تصویر برای اعمال شاخص‌ها آماده می‌باشد.

$$L_{\lambda} = M_L \times Q_{cal} + A_L \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\rho_{\lambda} = \frac{(\pi \times L_{\lambda} \times d^2)}{E_{sun} \cos \theta} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در روابط (۱) و (۲)  $L_{\lambda}$  رادیانس طیفی در بالای اتمسفر، بر حسب  $W/(m^2 \times sr \times \mu m)$  (وات بر متر مربع در استرادیان در میکرومتر)،  $M_L$  و  $A_L$  رادیانس،  $Q_{cal}$  باند خام،  $\rho_{\lambda}$  معرف بازتاب،  $E_{sun}$  میانگین بازتابش خورشید بر فراز جو بر حسب  $W/(m^2 \times \mu m)$  (وات بر متر مربع در میکرومتر)،  $\theta$  زاویه اوج خورشیدی بر حسب درجه،  $d$  فاصله زمین تا خورشید و  $\pi$  ۳.۱۴۱۵۹۲ می‌باشند. برای تفکیک آب‌های سطحی از پدیده‌های دیگر، سه روش اصلی به صورت، استفاده از اطلاعات باندهای طیفی (راندکست<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۸۷: ۴۹۹)، طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده (لو و وانگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۷: ۸۴۱) استفاده از شاخص‌های آب (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۰۷۱) وجود دارد. نسبت‌گیری باندی یکی از روش‌های مرسوم جهت ارزیابی تغییرات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای است، که از تقسیم ارزش

<sup>۱</sup> Rundquist et al

<sup>۲</sup> Lu & Weng



عددی پیکسل‌های یک باند تصویر بر باند دیگر حاصل می‌شود (مالیم<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). نسبت‌گیری باندی برای کم کردن اثرات ناخواسته تغییرات نوردهی و آشکارسازی ویژگی‌های طیفی عوارض مختلف، از توانایی بالایی برخوردار است (فاطمی و رضائی، ۱۳۹۱: ۱۳۳). سهولت اجرا و صحت نتایج حاصل از شاخص‌های آب بیش از دیگر روش‌ها می‌باشد، بدین خاطر از این روش جهت بررسی آب‌های سطحی استفاده‌ی فراوانی شده است. در این مطالعه از شاخص‌های MNDWI, NDWI و WRI جهت تفکیک آب‌های سطحی، بمنظور بارزسازی مجرای رودخانه کهمان استفاده شد. شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI<sup>۲</sup>)، اولین شاخص استخراج آب در تصاویر و داده‌های سنجش از دور می‌باشد، که توسط متوسط مک فیتز<sup>۳</sup> در سال ۱۹۹۶ پیشنهاد شده است. با توجه به انعکاس بالای آب در باند سبز و انعکاس پایین آن در باند مادون قرمز نزدیک، در این شاخص از این دو باند استفاده شده است. در این شاخص مقادیر مثبت گویای آب و مقادیر منفی گویای پدیده‌های دیگر بجز آب مانند خاک و پوشش گیاهی است (مک فیتز و همکاران، ۱۹۹۶: ۱۴۲۸). این شاخص به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$NDWI = \frac{(GREEN - NIR)}{(GREEN + NIR)} \quad \text{رابطه (۱)}$$

NIR یک باند مادون قرمز نزدیک و Green باند سبز می‌باشد.

ژو<sup>۴</sup> با جایگذاری باند مادون قرمز میانی (باند پنجم سنجنده TM) با باند مادون قرمز نزدیک در شاخص NDWI به MNDWI رسید. معادله‌ای ژو بمنظور کاهش و حذف نویز و بصورت رابطه (۴) ارائه شد:

$$MNDWI = \frac{(GREEN - MIR)}{(GREEN + MIR)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

MIR باند مادون قرمز میانی و Green باند سبز می‌باشد. در این شاخص مقادیر مثبت گویای آب و مقادیر منفی گویای پدیده‌های دیگر بجز آب مانند خاک و پوشش گیاهی است (ژو، ۲۰۰۶: ۳۰۲۶). شاخص نسبت آب (WRI) یکی دیگر از شاخص‌های آب است که در سال ۲۰۱۰ توسط شین و لی بصورت رابطه (۵) تعریف شده است. در این شاخص مقادیر بزرگتر از یک آب و مقادیر کمتر از یک گویای پدیده‌های دیگر بجز آب مانند خاک و پوشش گیاهی است (شین و لی<sup>۵</sup>، ۲۰۱۰: ۳):

$$WRI = \frac{(GREEN - RED)}{(SWIR + NIR)} \quad \text{رابطه (۵)}$$

وجه تمایز و برتری شاخص‌های مختلف در پایداری آستانه‌ها برای تفکیک پدیده مورد نظر در مناطق و زمان‌های متفاوت است. هر چه این آستانه‌ها پایدارتر باشند، استفاده از شاخص شمول بیشتری می‌یابد و قابلیت کشف تغییرات افزایش پیدا می‌کند (فیشر و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۶: ۱۷۳). در این مطالعه برای آشکارسازی مجرای رودخانه کهمان، با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از شاخص تفاضل آب نرمال شده، استفاده و مجرای رودخانه کهمان در دو بازه زمانی ۱۳۷۴ و ۱۳۹۹ تهیه و در محیط نرم افزار ARC GIS رقومی گردید. شکل (۴)، جهت صحت سنجی از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد. صحت کلی به عنوان یک معیار ارزش‌گذاری صحت طبقه‌بندی است از جمع درآیه‌های قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها طبق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

$$OA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k X_{ii}$$

رابطه (۲)

<sup>1</sup> Maalim et al

<sup>2</sup> Normalized difference water index (NDWI)

<sup>3</sup> Mcfeeters

<sup>4</sup> Xu

<sup>5</sup> Shen & Li

<sup>6</sup> Fisher et al

که در آن OA صحت کلی، N تعداد پیکسل‌ها و  $\sum X_{ii}$  مجموع درآیه‌های قطر اصلی ماتریس خطا می‌باشد (جنسن<sup>۱</sup>، ۲۰۱۵ : ۵۶۹). صحت کلی یک برآورد کلی از صحت طبقه‌بندی است. از محدودیت‌های این روش این است که پیکسل‌هایی که به اشتباه به طبقه‌ای اختصاص یافته‌اند و پیکسل‌هایی که به عنوان طبقه واقعی خود طبقه‌بندی نشده‌اند در محاسبه لحاظ نمی‌شوند. ضریب کاپا یک شاخص آماری است که از ماتریس خطا به دست می‌آید و صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی بیان می‌کند. معادله محاسبه ضریب کاپا به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k X_{ii} - \sum_{i=1}^k (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (X_{i+} \times X_{+i})} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در این رابطه K ضریب کاپا، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی،  $\sum X_{ii}$  مجموع درآیه‌های قطر اصلی ماتریس خطا،  $X_{i+}$  مجموع سطر iام در ماتریس خطا و مجموع ستون jام در ماتریس خطا می‌باشد (جنسن، ۲۰۱۵ : ۵۶۸). در مواردی که مقایسه صحت طبقه‌بندی مورد توجه است، از ضریب کاپا استفاده می‌شود. دامنه کاپا بین صفر و یک است که عدد یک نشان دهنده‌ی همسویی صددرصد نقشه طبقه‌بندی شده با واقعیت زمینی است. ضریب کاپای بالای ۰/۸ نشان دهنده قوی بودن و همسو بودن طبقه بندی با واقعیت زمینی است. و اگر این مقدار بین ۰/۴ تا ۰/۸ باشد یک طبقه‌بندی متوسط و کمتر از ۰/۴ نشان دهنده بندی ضعیف می‌باشد (جنسن، ۲۰۱۵ : ۵۷۰).

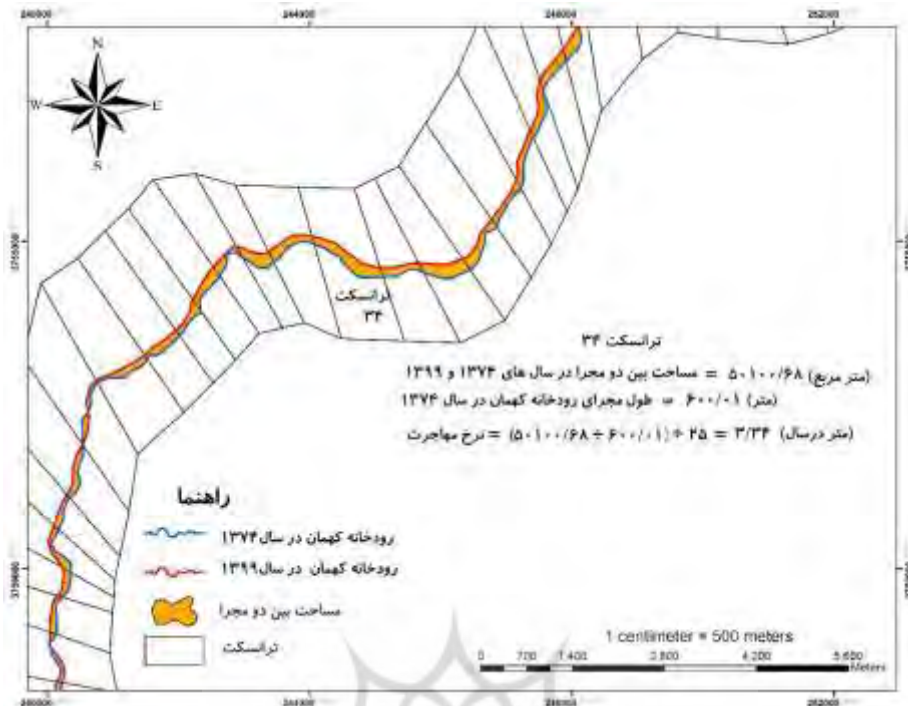
ژئومورفولوگ‌ها برای بررسی سرعت تغییرات، گذشته و حال را بررسی و فرایندها را پیش‌بینی می‌نمایند (اصغری و پوراحمد، ۱۳۹۴). در سال‌های اخیر جهت بررسی مورفولوژی رودخانه‌ها، از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی به شکل گسترده‌ای استفاده شده است. پژوهشگران روش‌های متفاوتی جهت بررسی تغییرات مجرای رودخانه‌ها ارائه نموده‌اند. روش‌های مبتنی بر تفسیر عکس‌ها و تصاویر تاریخی دارای مزیت‌های فراوانی نظیر زمان، هزینه، اثرات مقیاس، و کارایی عملی می‌باشند. به منظور درک بهتر تغییرات و دینامیک مجرای رودخانه کهمان از معیار آهنگ یا نرخ مهاجرت (Rm) نیز استفاده شد. برای محاسبه این معیار لایه خطی مسیر رودخانه در دو بازه زمانی و همچنین لایه پلیگونی حدفاصل دو مسیر رودخانه در دو بازه زمانی متفاوت مورد نیاز است. بدین منظور دو خط ثابت در اطراف مجرای رودخانه کهمان در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۹-۱۳۷۴) رسم و سپس مساحت بین آن دو با استفاده از توابع نرم‌افزار Arc GIS محاسبه شد. نحوه محاسبه این شاخص در شکل (۳) آمده است. جهت محاسبه آهنگ جابجایی مسیر رودخانه می‌توان از رابطه (۴) استفاده کرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵).

$$R_m = (A / L) / y \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن  $R_m$  آهنگ مهاجرت، A مساحت موجود بین دو خط مرکزی کانال در زمان  $t_1$  و Y تعداد سال می‌باشد.

<sup>1</sup>Jensen





شکل (۳). نحوه محاسبه شاخص نرخ مهاجرت مجرا (Rm)

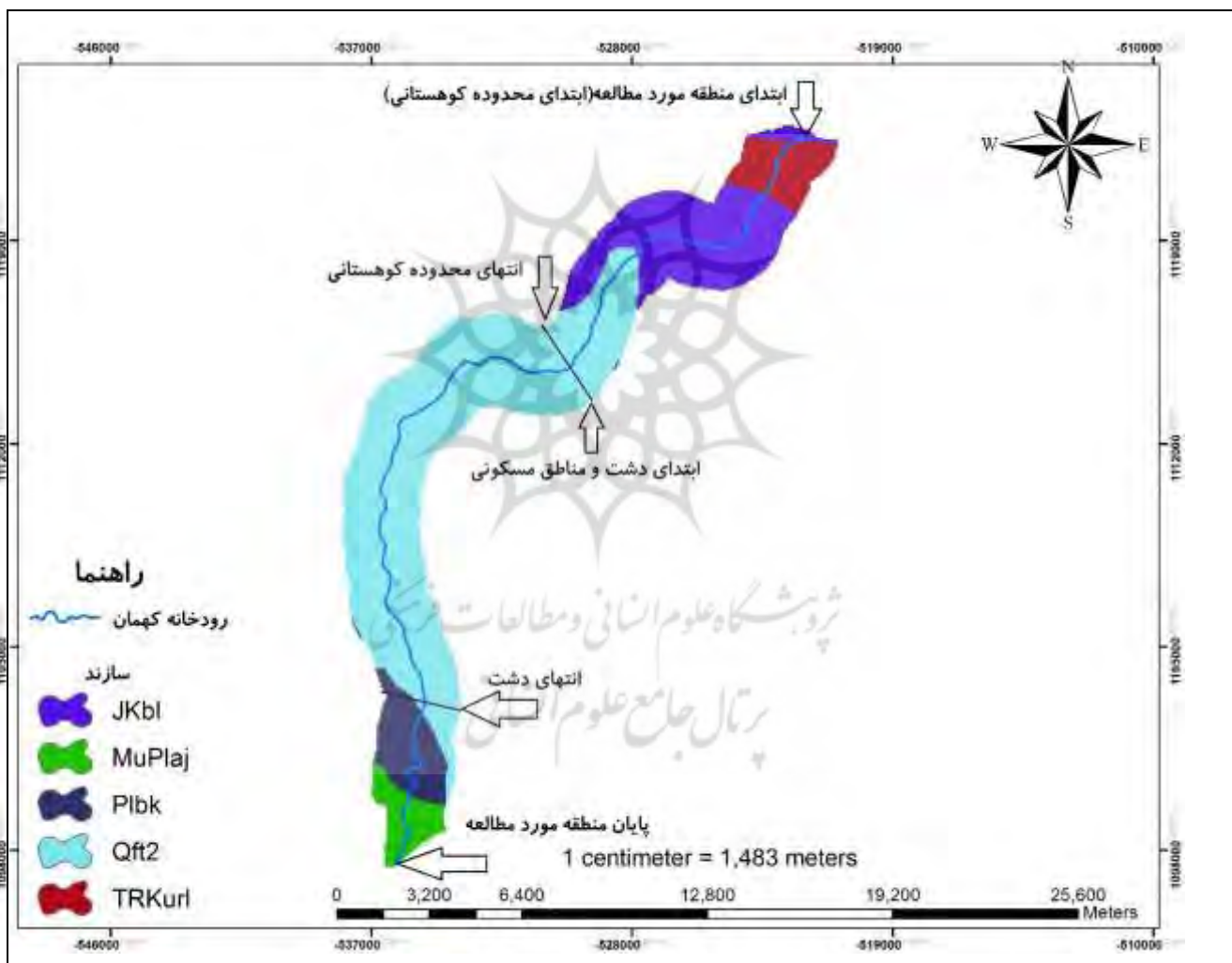
روش ترانسکت<sup>۱</sup> نیز یکی از روش‌هایی است که برای ارزیابی تغییرات و جابجایی‌های رخ داده در کانال رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۷۹). در این روش خطوطی با فواصل مشخص در هر دو طرف مسیر رودخانه به عنوان خطوط مبنا رسم می‌گردد. این خطوط برای دوره‌های زمانی مورد مطالعه ثابت هستند و جابجایی‌های کانال رودخانه نسبت به این خطوط به صورت کمی محاسبه می‌شوند.

برای بررسی و ارزیابی تغییرات جانبی رودخانه کهمان با استفاده از روش ترانسکت، در محیط نرم‌افزار Arc GIS ابتدا دو خط در دو طرف مجرای رودخانه کهمان رسم گردید. هم‌چنین به منظور بررسی دقیق تغییرات جانبی مجرای این رودخانه، در بخش‌های مختلف این رودخانه، خط‌هایی تقریباً عمودی بر مجرای رودخانه رسم شد، بطوریکه این خطوط، خط‌های جانبی رسم شده در کنار رودخانه را قطع کنند.

به منظور محاسبه مساحت سمت راست و چپ ترانسکت‌ها برای هر دوره زمانی، مجرای رودخانه کهمان در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۹ به طور جداگانه با لایه ترانسکت قطع داده شد. این فرآیند سبب جدا شدن هر ترانسکت به دو قسمت سمت راست و سمت چپ مجرای رودخانه گردید. پس از انجام این عملیات مساحت سمت راست و چپ هر ترانسکت محاسبه شد. زمانی که مسیر رودخانه به سمت راست جابجا شود مساحت ترانسکت سمت راست کاهش و مساحت ترانسکت سمت چپ افزایش خواهد یافت. برعکس هنگامی که مسیر رودخانه به طرف چپ جابجا شود، مساحت ترانسکت سمت راست افزایش و مساحت ترانسکت طرف چپ کاهش می‌یابد. هم‌چنین در طول زمانی که مسیر رودخانه جابجایی نداشته باشد، مساحت ترانسکت‌ها در طی سال‌های مورد مطالعه ثابت خواهد بود. با استفاده از روش می‌توان میزان فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه را نیز ارزیابی نمود (باشکوه، ۱۳۹۸: ۷۷). شرایط زمین‌شناسی و لیتولوژی هر منطقه‌ای از عوامل اصلی کنترل کننده رفتار رودخانه‌ها می‌باشد. جنس سنگ‌ها، نحوه قرارگیری لایه‌ها، میزان بال‌آمدگی یا پایین افتادگی ساختارهای زمین‌شناسی می‌توانند اثرات قابل ملاحظه‌ای روی مورفولوژی رودخانه‌ها و تغییرات مجرای آن‌ها داشته باشند (رضایی مقدم و

1 - Transect Method

همکاران، ۱۳۹۱). به منظور ارزیابی بیشتر مورفولوژی رودخانه کهمان، مجرای این رودخانه بر مبنای لیتولوژی، توپوگرافی و کاربری اراضی به دو محدوده، مناطق کوهستانی و مناطق دشت و کشاورزی تقسیم شد. محدوده کوهستانی و دست‌نخورده مجاور رودخانه کهمان از سراب خاصان تا روستای دره‌تنگ است. بستر رودخانه در این بازه منطبق بر سازند TRKurl (نهشته‌های آهکی و چرت‌های قرمز و ارغوانی رادیولیت دار)، JKbl (آهک متعفن الیتی توده‌ای ضخیم لایه خاکستری) می‌باشد شکل (۴). در این بازه عرض رودخانه نسبت به بازه دشت و مناطق کشاورزی کم و بستر رودخانه از رسوبات درشت دانه پوشیده شده است. در محل خروج رودخانه کهمان از دره‌تنگ، چند بادبزن آبرفتی، همراه با مقادیر زیاد سنگ‌ریزه و شن (۱۵-۳ درصد) و در بعضی مناطق تا ۷۵ درصد دیده می‌شود. محدوده دوم شامل دشت، مناطق کشاورزی و مسکونی، که از روستای دره‌تنگ تا سراب صیدعلی را در بر می‌گیرد. بستر مجرای رودخانه در این محدوده منطبق بر سازند Qft2 (ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع)، Plbk (آهک با روکش مرجانی، ماسه سنگ و کنگلومرا) و MuPlaj (ماسه سنگ آهک‌دار قهوه‌ای، ژئیس حفره‌دار، مارن قرمز) می‌باشد. شکل (۴).



شکل (۴). لیتولوژی بستر رودخانه کهمان

از معیارهای زاویه مرکزی و ضریب خمیدگی غالباً برای ارزیابی و نحوه توسعه مائندرها استفاده می‌شود. به منظور کمی کردن میزان توسعه مائندری رودخانه‌های آبرفتی و تعیین الگوی رفتاری و تغییرات آن در طول زمان، می‌بایست ویژگی‌های هندسی مجرای رودخانه‌ها از قبیل زاویه مرکزی، شعاع مائندر، طول موج، طول دره و ضریب خمیدگی (سینوسیته)، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل گردد تا بتوان تغییرات حادث شده در مسیر مجرای رودخانه را در گذشته نسبت به حال تعیین نمود. بدین منظور برای هر یک از قوس‌های



مئاندرهای مجرا دایره‌هایی برآزش می‌گردد و مشخصه‌های هندسی مئاندرها مورد محاسبه قرار می‌گیرد. ضریب خمیدگی یا سینوسیته برای هر قوس بر اساس رابطه (۵) محاسبه می‌شود (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۹: ۲۸۱ و رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۱: ۹۰).

$$S = \frac{L}{\lambda/2} \quad \text{رابطه (۵)}$$

که در این رابطه  $S$  ضریب خمیدگی یا سینوسیته،  $L$  طول قوس یا خم و  $\lambda/2$  نصف طول موج است. علاوه بر این، زاویه مرکزی قوس‌ها از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

رابطه (۶)

$$A = \frac{180L}{R\pi} \quad \text{که در این رابطه } A \text{ زاویه مرکزی، } R \text{ شعاع دایره برآزش شده و } \pi \text{ عدد پی (۳/۱۴) می‌باشد.}$$

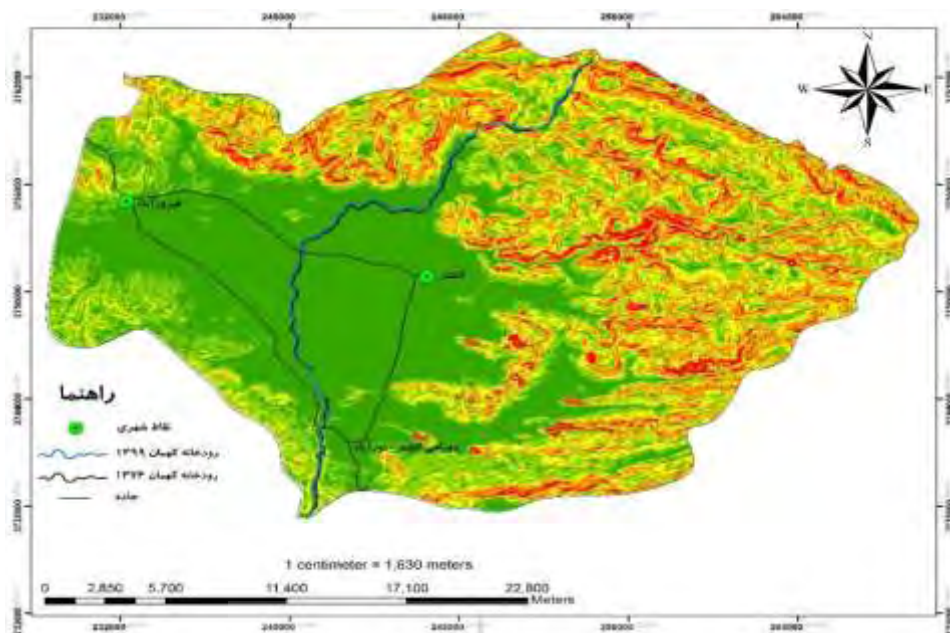
ممکن است، در طی یک دوره زمانی خاص در مقطعی از یک رودخانه مقدار ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی ثابت یا تغییرات ناچیزی داشته باشد در حالی که تغییراتی در مجرای رودخانه اتفاق افتاده باشد (باشکوه، ۱۳۹۸: ۸۱). یکی از معیارهایی که می‌تواند جهت بررسی اندازه تغییرات جانبی مکانی و زمانی مسیر رودخانه‌ها از آن استفاده نمود، شاخص نرخ مهاجرت مجرای رودخانه است. بدین منظور جهت ارزیابی تغییرات و دینامیک مجرای رودخانه کهمان از معیار آهنگ یا نرخ مهاجرت و روش ترانسکت استفاده شد.

### بحث و یافته‌ها

نتایج حاصل از آشکارسازی مجرای رودخانه کهمان با استفاده از شاخص‌های NDWI, MNDWI و WRI نشان داد که شاخص NDWI، در تصاویر سنجنده TM با صحت کلی ۹۶/۳۶ و ضریب کاپای ۰/۹۲ و در تصاویر سنجنده OLI با صحت کلی ۹۷/۱۵ و ضریب کاپای ۰/۹۳ نسبت به سایر شاخص‌های مورد استفاده از دقت بیشتری برخوردار است (جدول ۱). همچنین جهت مقایسه صحت و دقت شاخص‌های مورد استفاده، مجرای رودخانه کهمان با استفاده از یک دستگاه جی پی اس سه فرکانسه برداشت شد. نتایج حاصل از این داده‌ها با مجرای مشخص شده رودخانه کهمان توسط شاخص NDWI تطابق بیشتری داشت. بدین جهت از شاخص تفاضل آب نرمال شده (NDWI) برای آشکارسازی مجرای رودخانه کهمان استفاده گردید. شکل (۵).

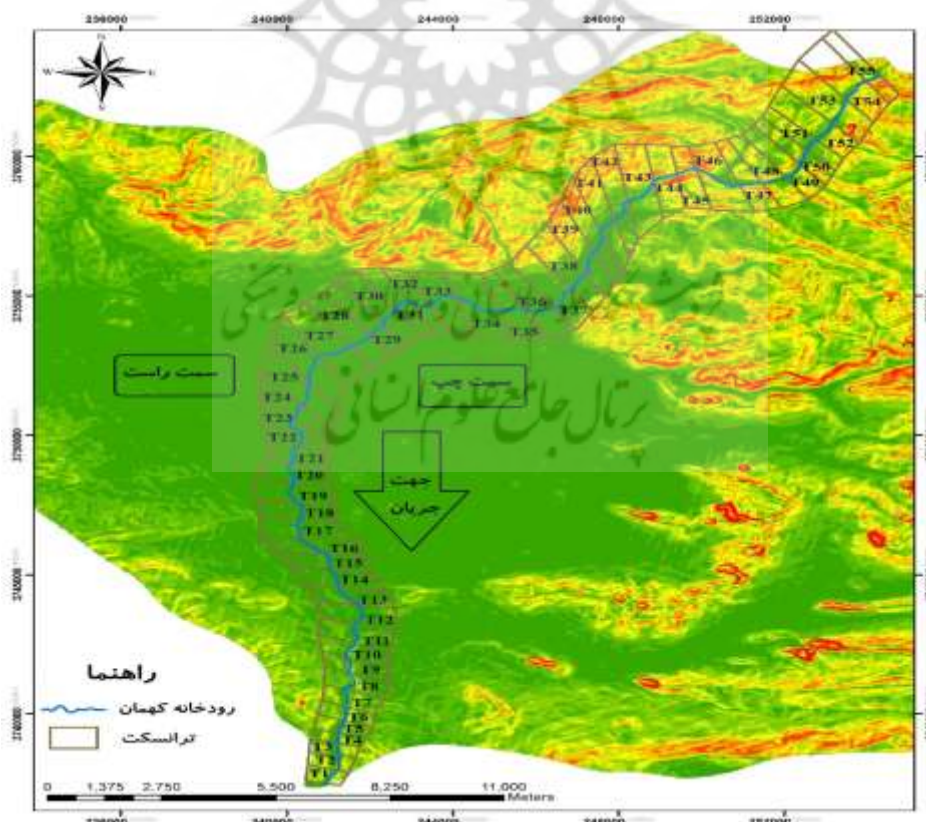
جدول (۱). صحت کلی و ضریب کاپا در شاخص‌های مورد استفاده

	TM		OLI	
	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا	صحت کلی (درصد)	ضریب کاپا
NDWI	۹۶/۳۶	۰/۹۲	۹۷/۱۵	۰/۹۳
MNDWI	۹۵/۲۳	۰/۸۹	۹۴/۱۳	۰/۹۱
WRI	۸۸/۸۹	۰/۸۲	۸۹/۲۳	۰/۸۷



شکل (۵). مجرای رودخانه کهمان در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۹۹

در نتیجه استفاده از روش ترانسکت، تعداد ۵۵ ترانسکت در طول رودخانه تشکیل شد. این ترانسکت‌ها برای بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۴-۱۳۹۹) ثابت هستند. شکل (۶).



شکل (۶). موقعیت ترانسکت‌ها در منطقه مورد مطالعه



نتایج بدست آمده از محاسبه تغییرات مساحت ترانسکت‌ها در بازه زمانی مورد مطالعه جدول (۲) نشان می‌دهد که حدود ۱۸۵/۸۵ هکتار از زمین‌های مجاور رودخانه کهمان در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۴-۱۳۹۹) فرسایش یافته‌اند. یعنی به طور میانگین سالانه حدود ۷/۴۳ هکتار از این اراضی تخریب شده است. نتایج حاصل از روش ترانسکت، جدول (۲) نشان می‌دهد که مقادیر بزرگتر تغییرات مساحت در محدوده دشت و زمین‌های کشاورزی فراوان‌تر هستند. بطوریکه بیشترین مقدار تغییر مساحت در ترانسکت ۳۰ به میزان ۸/۲۷ هکتار در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۷۴-۱۳۹۹) محاسبه شده است. مقادیر بزرگتر تغییرات مساحت، حاصل از شاخص ترانسکت بیانگر فرسایش شدید در محدوده ترانسکت‌های دشت و زمین‌های کشاورزی مجاور رودخانه کهمان است.

جدول (۲). تغییرات مساحت (هکتار) ترانسکت‌ها در طول مجرای رودخانه کهمان (۱۳۷۴-۱۳۹۹)

ترانسکت	کرانه	مساحت در ۱۳۷۴	مساحت در ۱۳۹۹	تغییرات مساحت ۱۹۸۸-۲۰۰۳
T1	چپ	15.96	19.50	3.55
	راست	35.08	31.53	-3.55
T2	چپ	18.54	21.15	2.62
	راست	37.07	34.45	-2.62
T3	چپ	155.44	158.98	3.54
	راست	76.54	72.99	-3.54
T4	چپ	22.37	27.44	5.07
	راست	24.15	19.08	-5.07
T5	چپ	31.54	34.30	2.76
	راست	31.52	28.76	-2.76
T6	چپ	32.68	35.53	2.85
	راست	32.20	29.34	-2.85
T7	چپ	49.85	54.26	4.40
	راست	33.68	29.28	-4.40
T8	چپ	160.56	162.58	2.02
	راست	75.50	73.48	-2.02
T9	چپ	50.60	55.52	4.92
	راست	30.26	25.34	-4.92
T10	چپ	34.01	40.62	6.62
	راست	53.87	47.25	-6.62
T11	چپ	58.49	55.70	-2.79
	راست	54.41	57.21	2.79
T12	چپ	75.40	80.18	4.78
	راست	64.03	59.24	-4.78
T13	چپ	40.62	34.01	-6.62
	راست	47.25	53.87	6.62
T14	چپ	55.52	50.60	-4.92
	راست	25.34	30.26	4.92
T15	چپ	51.74	53.64	1.90
	راست	51.26	49.36	-1.90
T16	چپ	59.24	56.96	-2.28
	راست	49.03	51.31	2.28
T17	چپ	80.89	74.56	-6.33
	راست	72.98	79.31	6.33
T18	چپ	45.51	40.69	-4.83
	راست	51.25	56.08	4.83
T19	چپ	72.30	65.96	-6.34
	راست	70.16	76.50	6.34

T20	چپ	57.03	54.64	-2.39
	راست	56.93	59.32	2.39
T21	چپ	50.46	55.38	4.92
	راست	33.52	28.60	-4.92
T22	چپ	22.83	27.29	4.46
	راست	42.70	38.24	-4.46
T23	چپ	74.56	80.89	6.33
	راست	79.31	72.98	-6.33
T24	چپ	44.47	48.41	3.94
	راست	67.81	63.88	-3.94
T25	چپ	74.56	80.89	6.33
	راست	79.31	72.98	-6.33
T26	چپ	27.44	22.37	-5.07
	راست	19.08	24.15	5.07
T27	چپ	66.45	73.32	6.87
	راست	123.06	116.19	-6.87
T28	چپ	35.53	32.68	-2.85
	راست	29.34	32.20	2.85
T29	چپ	34.30	31.54	-2.76
	راست	28.76	31.52	2.76
T30	چپ	75.55	83.82	8.27
	راست	33.90	25.63	-8.27
T31	چپ	54.26	49.85	-4.40
	راست	29.28	33.68	4.40
T32	چپ	55.70	58.49	2.79
	راست	57.21	54.41	-2.79
T33	چپ	65.96	72.30	6.34
	راست	76.50	70.16	-6.34
T34	چپ	58.80	59.19	0.39
	راست	51.42	51.03	-0.39
T35	چپ	48.41	44.47	-3.94
	راست	63.88	67.81	3.94
T36	چپ	27.29	22.83	-4.46
	راست	38.24	42.70	4.46
T37	چپ	56.96	59.24	2.28
	راست	51.31	49.03	-2.28
T38	چپ	54.64	57.03	2.39
	راست	59.32	56.93	-2.39
T39	چپ	40.69	45.51	4.83
	راست	56.08	51.25	-4.83
T40	چپ	59.90	60.14	0.25
	راست	58.77	58.52	-0.25
T41	چپ	60.14	59.90	-0.25
	راست	58.52	58.77	0.25
T42	چپ	55.38	50.46	-4.92
	راست	28.60	33.52	4.92
T43	چپ	50.22	50.62	0.41
	راست	41.73	41.33	-0.41
T44	چپ	53.64	51.74	-1.90
	راست	49.36	51.26	1.90



T45	چپ	52.76	55.94	3.17
	راست	59.26	56.09	-3.17
T46	چپ	80.96	84.47	3.51
	راست	118.96	115.44	-3.51
T47	چپ	66.24	65.57	-0.68
	راست	105.00	105.68	0.68
T48	چپ	50.62	50.22	-0.41
	راست	41.33	41.73	0.41
T49	چپ	77.48	78.47	0.99
	راست	41.70	40.71	-0.99
T50	چپ	57.96	58.24	0.28
	راست	50.31	50.03	-0.28
T51	چپ	67.97	65.83	-2.14
	راست	93.88	96.02	2.14
T52	چپ	19.32	20.03	0.71
	راست	31.45	30.74	-0.71
T53	چپ	55.63	55.42	-0.20
	راست	42.71	42.91	0.20
T54	چپ	20.03	19.32	-0.71
	راست	30.74	31.45	0.71
T55	چپ	55.42	55.63	0.20
	راست	42.91	42.71	-0.20

در ادامه مقادیر شاخص نرخ مهاجرت، طول مجرا و تغییرات آن در رودخانه کهمان در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۹-۱۳۷۴) محاسبه شد. نتایج حاصل از جدول (۳) نشان می‌دهد که متوسط شاخص آهنگ مهاجرت مجرای رودخانه کهمان در بازه زمانی مورد مطالعه به میزان ۲/۵۱ متر در سال بوده است. کم‌ترین میزان این شاخص به ترتیب در ترانسکت‌های شماره ۴۹، ۵۰ و ۴۸ به میزان کم‌تر از ۰/۳۷ متر در سال بوده که دره‌های کوهستانی و لیتولوژی بستر رودخانه کهمان در این ترانسکت‌ها (شکل ۴) مهم‌ترین دلایل کنترل و تثبیت کناره‌های مجرای رودخانه کهمان بوده است. بیشترین مقدار آهنگ مهاجرت در ترانسکت‌های ۴، ۳۲ و ۳۰ به ترتیب به میزان ۴/۸۰، ۵/۰۵ و ۶/۱۲ رخ داده است. میانبرها و تغییرات کاربری از عوامل اصلی بالا بودن نرخ مهاجرت مجرا در این ترانسکت‌ها بوده است. کم‌ترین میزان آهنگ مهاجرت مجرا در بازه زمانی مورد مطالعه در ترانسکت ۴۹ به مقدار ۰/۱۸ متر در سال رخ داده است که به دلیل وجود کوهستان و عملیات تثبیت کناره‌های رودخانه جهت افزایش مساحت باغ‌ها و زمین‌های کشاورزی اطراف آن بوده است. این مقادیر برای بازه زمانی مورد مطالعه (۲۵ سال) محاسبه گردیده است. بنابراین محتمل است که قسمت عمده‌ای از این تغییرات در نتیجه فرایندهای ژئومورفولوژیک شدید، مانند سیلاب‌های قدرتمند، در طی تنها چند روز رخ داده باشد. از این دسته رخ داده‌ها می‌توان به تغییر مسیر و میانبرها اشاره نمود. همچنین مقاطعی وجود دارد که تغییرات کناره‌های آن به دلیل فرایندهای عادی فرسایش در کناره‌های مقعر و رسوب‌گذاری در کناره‌های محدب متاندر رخ داده است.

جدول (۳). مقادیر شاخص نرخ مهاجرت، طول مجرا و تغییرات آن در رودخانه کهمان (۱۳۹۹-۱۳۷۴)

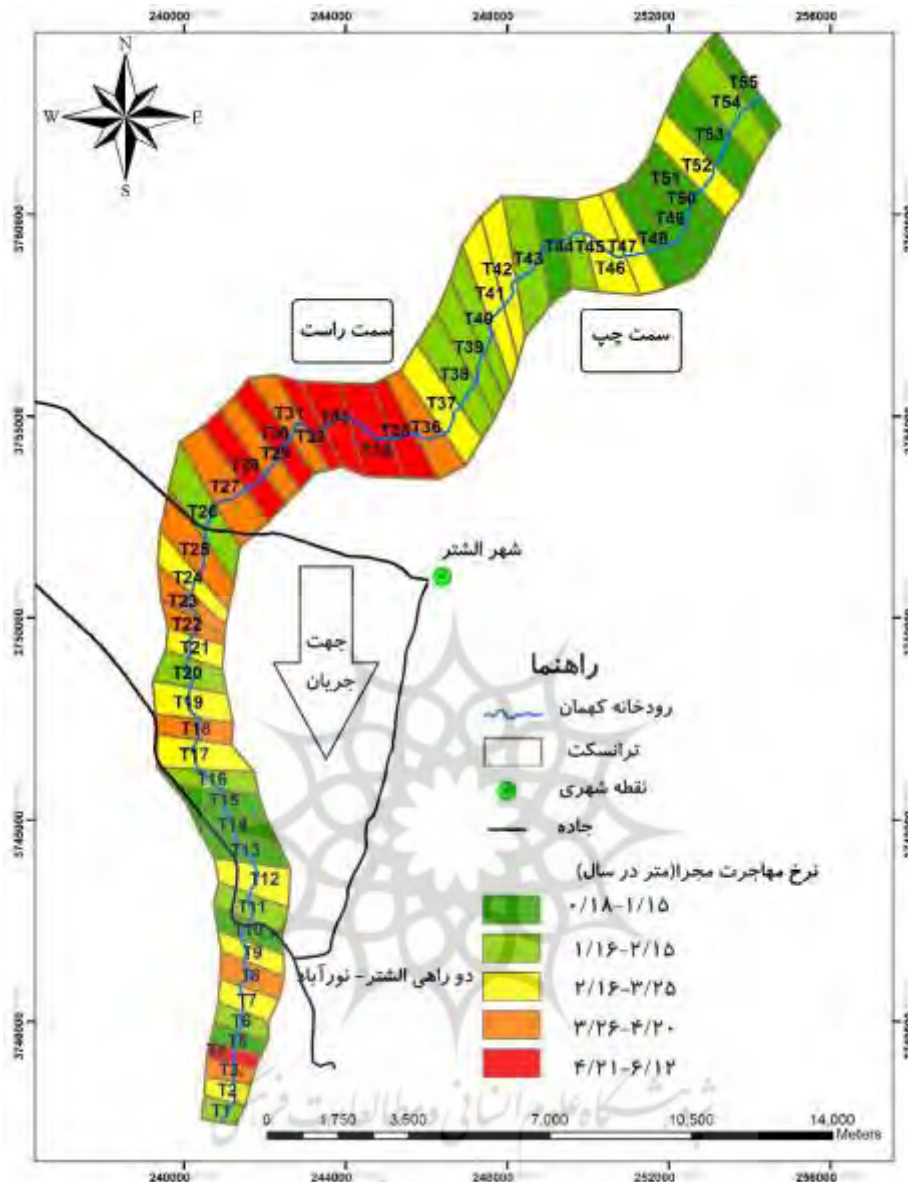
نرسانکت	طول مجرا در ۱۳۷۴	طول مجرا در ۱۳۹۹	طول مجرا ۱۳۷۴ نسبت به ۱۳۹۹	مساحت بین مجرای ۱۳۷۴ و ۱۳۹۹	نرخ مهاجرت بین ۱۳۷۴ تا ۱۳۹۹
T1	561.56	555.51	-6.05	19935.38	1.42
T2	521.56	640.63	119.06	32206.60	2.47
T3	433.44	554.40	120.96	38793.10	3.58
T4	391.25	498.27	107.01	46950.32	4.80
T5	474.11	590.43	116.32	13037.94	1.10
T6	498.37	493.44	-4.93	16820.03	1.35
T7	650.50	809.49	158.99	50901.59	3.13
T8	802.91	967.17	164.26	67243.85	3.35
T9	523.17	593.75	70.59	40806.93	3.12
T10	508.03	594.81	86.79	11557.59	0.91
T11	619.23	675.17	55.94	28639.16	1.85
T12	830.78	812.27	-18.51	54623.62	2.63
T13	803.63	784.52	-19.11	17077.13	0.85
T14	701.64	690.51	-11.12	7016.35	0.40
T15	517.08	550.19	33.11	7626.89	0.59
T16	803.82	854.64	50.83	30344.04	1.51
T17	827.23	789.03	-38.20	63696.66	3.08
T18	524.09	541.93	17.84	44809.94	3.42
T19	893.74	892.66	-1.08	69488.38	3.11
T20	836.21	837.61	1.40	38047.59	1.82
T21	606.32	594.14	-12.18	48202.61	3.18
T22	417.65	460.85	43.20	41556.42	3.98
T23	762.86	744.06	-18.80	76477.00	4.01
T24	524.49	511.57	-12.92	38812.25	2.96
T25	823.91	816.22	-7.69	71267.94	3.46
T26	1018.2	1147.59	129.30	47604.94	1.87
T27	890.75	886.78	-3.98	72819.16	3.27
T28	624.46	608.75	-15.71	65724.67	4.21
T29	518.66	581.85	63.19	52514.50	4.05
T30	1185.5	1172.44	-13.12	181390.70	6.12
T31	750.12	744.53	-5.59	89451.69	4.77
T32	610.06	591.40	-18.66	77019.65	5.05
T33	615.74	594.79	-20.95	71271.47	4.63
T34	600.01	583.15	-16.85	50100.68	3.34
T35	501.15	516.58	15.43	58259.09	4.65





T36	704.39	679.86	-24.53	59344.44	3.37
T37	781.36	773.37	-7.99	50983.42	2.61
T38	616.01	720.75	104.74	18172.39	1.18
T39	802.53	795.05	-7.48	39725.35	1.98
T40	813.58	806.55	-7.03	43119.51	2.12
T41	501.91	582.45	80.54	27354.19	2.18
T42	528.83	524.90	-3.93	18905.55	1.43
T43	635.57	663.92	28.35	13982.48	0.88
T44	728.18	719.27	-8.91	53703.16	2.95
T45	1055.4	981.40	-74.03	44327.94	1.68
T46	1019.2	1010.42	-8.84	72367.48	2.84
T47	503.85	593.03	89.18	34135.66	2.71
T48	580.48	635.50	55.02	5369.40	0.37
T49	645.81	587.82	-57.99	2906.16	0.18
T50	554.10	685.75	131.65	2909.04	0.21
T51	408.24	493.70	85.46	6940.10	0.68
T52	715.36	697.77	-17.59	52221.36	2.92
T53	880.89	997.43	116.55	20260.45	0.92
T54	733.68	829.75	96.07	33566.05	1.83
T55	358.35	473.58	115.23	9854.59	1.10

بطور کلی، تغییرات آهنگ مهاجرت در بعضی از ترانسکت‌ها زیاد و در بعضی کم بوده است و روند یکنواخت در این مورد وجود ندارد. شکل (۷). در جدول (۳) مقادیر منفی تغییرات طول مجرای رودخانه کهمان در هر ترانسکت در بازه زمانی (۱۳۷۴-۱۳۹۹) بیانگر کاهش طول مجرای رودخانه در آن ترانسکت است، که به دلیل رخداد میانبرها و تغییر مسیر قوسی رودخانه کهمان در این بازه‌ها، به مسیر مستقیم بوده است. هم‌چنین مقادیر مثبت تغییرات طول مجرا در هر ترانسکت، بیانگر افزایش طول مجرای رودخانه در آن ترانسکت است. طول کلی مجرای رودخانه کهمان از ۳۶/۷۴ کیلومتر در سال ۱۳۷۴ به ۳۸/۵۳ کیلومتر در سال ۱۳۹۹ افزایش یافته است. بنابراین طول مجرای این رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه به میزان ۱/۷۹ کیلومتر افزایش یافته و این مطلب نشان دهنده توسعه و پیشروی متاندرهای رودخانه در عرض دشت سیلابی می‌باشد.



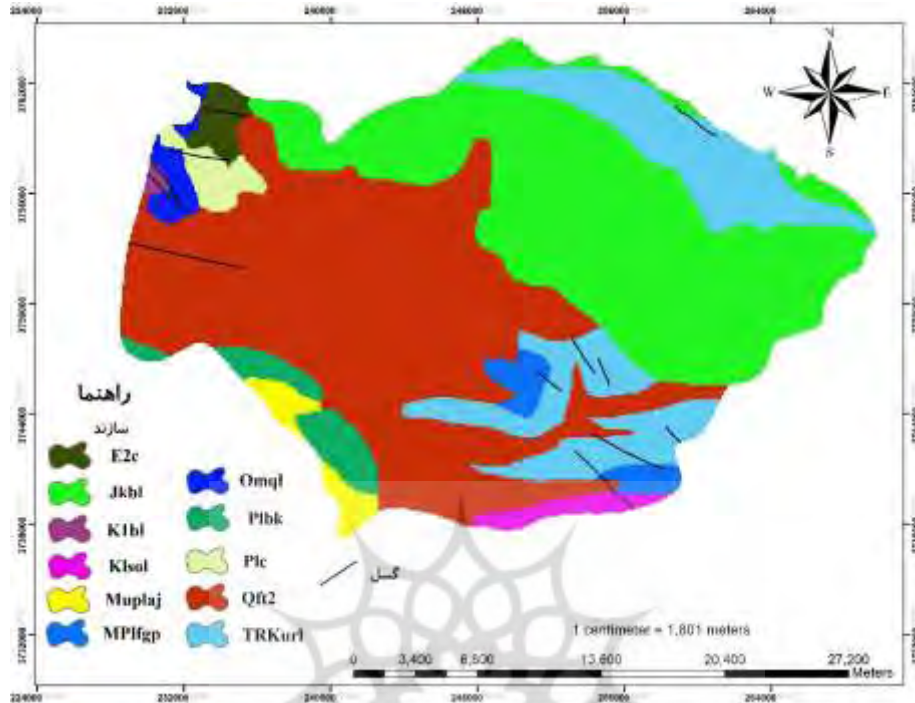
شکل (۷). تغییرات مکانی شاخص مهاجرت مجرا در طول رودخانه کهمان (۱۳۷۴-۱۳۹۹)

بیشترین اندازه تغییرات جانبی مسیر رودخانه کهمان در قسمت‌هایی از بازه دشت و مناطق کشاورزی رخ داده که شامل ترانسکت‌های ۳۰ تا ۳۵ است. هر چه مواد کف و بستر رودخانه‌ها ریزتر باشد، حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی از خود بروز خواهند داد (شوم ۱، ۱۹۸۴). همچنین رودخانه‌هایی که دیواره‌های آن‌ها دارای بافت درشت‌دانه و غیرچسبنده هستند، مقاومت دیواره‌ها نسبت به کف بستر بسیار کمتر است (شوم ۱، ۱۹۸۴). با عنایت به مطالعات میدانی و بررسی نقشه لیتولوژی بستر رودخانه کهمان در این ترانسکت‌ها (شکل ۴)، که عمدتاً بر سازندهای فرسایش پذیر  $Qf2$  (ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع)؛ شامل رس، رس‌های ماسه‌دار، شن و قلوه سنگ، منطبق هستند، می‌توان مهم‌ترین عامل بالا بودن تغییرات جانبی مسیر رودخانه کهمان در این محدوده را فرسایش‌پذیری زیاد مواد کناره و دشت سیلابی در این بازه دانست. بیشتر مواد تشکیل دهنده بستر و کناره‌های رودخانه کهمان در این بازه‌ها از ماسه‌های ریز تا درشت‌دانه می‌باشد، که قسمت زیادی از این مواد بوسیله رودخانه فیروزآباد و هنام وارد

<sup>1</sup> - Schumm



این منطقه می‌شود. هم‌چنین با توجه به مقادیر بدست آمده از روش ترانسکت در محدوده ترانسکت‌های مختلف، واضح است که مقادیر بزرگتر این معیار، با مقادیر بدست آمده از روش نرخ مهاجرت مجرا، موقعیت مکانی یکسانی را نشان می‌دهند.



شکل (۸). نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

جدول (۴). مساحت هر یک از سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه

سازند	توصیف	سن	مساحت (KM <sub>2</sub> )	مساحت (%)
Qft2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع	کواترنری	۲۹۱/۰۱	۰/۳۶۱۵
JKbl	آهک متعفن الیتی توده‌ای ضخیم لایه خاکستری	زوراسیک - کرتاسه	۳۱۲/۵۱	۰/۳۸۸
OMql	سنگ آهک ریفی توده‌ای تا ضخیم لایه	الیگوسن - میوسن	۱۱/۳	۰/۰۱۴
TRKurl	نهشته‌های آهکی و چرت‌های قرمز و ارغوانی رادیولیت دار	تریاس - کرتاسه	۱۱۱/۱۸	۰/۱۲۸
K1bl	آهک اربیتولین دار توده‌ای ضخیم لایه خاکستری	کرتاسه	۱/۶	۰/۰۰۱
E2c	ماسه سنگ، مارن و سنگ آهک	میوسن - اتوسن	۹/۳	۰/۱۱
MuPlaj	ماسه سنگ آهک دار قهوه‌ای، ژئپس حفره دار، مارن قرمز	میوسن	۱۱/۳۳	۰/۰۱۴
Plc	کنگلومرای پلی متال و ماسه سنگ	پالئوسن	۱۱/۲۷	۰/۰۱۴
MPIfgp	گروه فارس، که به ترتیب عبارتند از: گچساران، میشان و آفاجاری	میوسن	۱۳/۹۹	۰/۰۱۷
Plbk	آهک با روکش مرجانی، ماسه سنگ و کنگلومرا	پالئوسن	۲۰/۵۷	۰/۰۲۵
Klsol	آهک اربیتولین دار توده‌ای ضخیم لایه خاکستری	کرتاسه	۹/۶۲	۰/۰۱۲

از نمونه دخالت‌های انسانی در رودخانه کهمان می‌توان به احداث پل‌ها، ایجاد دیواره‌ها، فنس‌کشی‌ها، جهت‌جدا سازی املاک شخصی، ساخت ویلا و استخرهای پرورش آبزیان در حریم و بستر رودخانه اشاره نمود. مجرای رودخانه کهمان در اثر این فعالیت‌های انسانی، محدود و تنگ شده است. پل‌ها سبب تمرکز تنش جریان در محدوده احداث پل گردیده و موجب آب‌شستگی کف و کناره‌ها می‌شود. هم‌چنین تجاوز کشاورزان به حریم رودخانه، سرعت زیاد جریان آب و وجود پیچ و خم‌های رودخانه سبب کناره‌شویی، کف‌کنی و در برخی موارد باعث بالا آمدن سطح آب و ورود آب به اراضی کشاورزی، منازل و باغات حاشیه رودخانه شده است. شکل (۹). کاهش ظرفیت آب در بستر رودخانه یکی از عوامل طغیان رودخانه می‌باشد. عملیات کشاورزی در حریم و بستر رودخانه سبب شده است تا

آب‌های ناشی از آبیاری اراضی به صورت سطحی و زیرزمینی زمینه فرسایش بستر و کناره‌ها و در نتیجه جابجایی آن را فراهم نماید. در بازه اول رودخانه کهمان از سراب خاصان تا حوالی روستای دره‌تنگ، اراضی کرانه دارای دره‌های عمیق با شیب تند می‌باشد. مسیر رودخانه به دلیل برخورد با ارتفاعات و برونزدهای سنگی تغییر مسیر متناوب داشته و دارای متاندر می‌باشد و تغییرات رودخانه تابع تغییرات دره است. مسیر رودخانه در این بازه منطبق بر سازند TRKurl (نهشته‌های آهکی و چرت‌های قرمز و ارغوانی رادیولیت دار)، JKbl (آهک متعفن الیتی توده ای ضخیم لایه خاکستری) می‌باشد. در این بازه عرض رودخانه نسبت به بازه دشت و مناطق کشاورزی کم و بستر رودخانه از رسوبات درشت دانه پوشیده شده است. در برخی از مناطق به دلیل ریزش مواد سنگی از ارتفاعات پرشدگی آبراهه و تغییر مسیر به وجود آمده است. در این بازه شکل‌بندی مقاطع تابع مقاومت لیتولوژیکی بستر و کناره‌های رودخانه می‌باشد و کاربری اراضی و کشاورزی در آن دیده نمی‌شود. (ترانسکت‌های شماره ۴۸، ۴۹ و ۵۰ که در بازه زمانی مورد مطالعه کم‌ترین جابجایی را داشته‌اند. شکل (۷)). با فاصله گرفتن از روستای دره‌تنگ، رودخانه کهمان وارد دشت الشتر و سیلاب دشت اصلی رودخانه، با پهنای بین ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و طول بیشتر از ۱۵ کیلومتر تا حوالی سراب صیدعلی شده و بخش اعظم اراضی زراعی در این محدوده در سیلاب دشت رودخانه واقع شده است. هم‌چنین به علت عبور رودخانه از سازندهای فرسایش پذیر Qft2 (ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع)؛ شامل رس، رس‌های ماسه‌دار، شن و قلوه سنگ، به ویژه در حوالی روستای فیض آباد، بستر رودخانه عریض شده است (ترانسکت‌های ۴، ۳۰ و ۳۲ که در بازه زمانی مورد مطالعه بیشترین جابجایی را داشته‌اند. شکل (۷)). حجم زیادی از مواد کناره (خصوصاً در طی سیلاب‌ها) فرسایش یافته و کناره‌های سست منجر به عریض‌تر شدن کانال می‌شود و این رسوبات در خم‌ها و اراضی حاشیه‌ای رودخانه مشهود است و بطور مداوم بوسیله جریان‌ها جابجا شده و فرسایش می‌یابند.





شکل (۹). a: ورود آب به اراضی کشاورزی و تخریب مزارع b,c: ورود آب به منازل مسکونی d: ساخت ویلا در بستر رودخانه f: ساخت و ساز غیر مجاز در بستر رودخانه e: ساخت پل‌های خصوصی بر روی رودخانه جهت تردد به باغات

رودخانه کهمان پس از عبور از دره های تنگ و سنگی در پایین دست روستای دره تنگ با سرازیر شدن به دشت الشتر، دارای پهنه آبرفتی با شیب کمتر در مقایسه با بالادست است و بطور کلی شرایط برای برداشت مصالح رودخانه در برخی از مناطق آن فراهم شده است. برداشت مصالح در این مناطق علاوه بر تغییرات عمقی تغییر در هندسه کانال رودخانه و تغییرات عرضی شدیدی را به دنبال داشته است. بنابراین می‌توان گفت در رودخانه کهمان همانند نتایج حاصل از مطالعه پیروزی و همکاران (۱۳۹۹)، رحیمی و همکاران (۱۳۹۵)، کیت لکنت<sup>۱</sup> (۲۰۱۹)، اقدامات آنتروپوژنیک در مسیر رودخانه کهمان نقش مهمی در تغییرات شاخص های مورفولوژی و جابجایی رودخانه کهمان داشته است.

### نتیجه گیری

رودخانه‌ها از اشکال پویای طبیعت هستند که در مقاطع زمانی خاص و در مکان‌های مختلف، با توجه به عوامل محیطی، ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. در این پژوهش تغییرات مجرای رودخانه کهمان با استفاده از روش ترانسکت و آهنگ مهاجرت مجرا مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص نرخ مهاجرت مجرا نشان داد که متوسط جابجایی مجرای رودخانه کهمان در بازه زمانی مورد مطالعه (۱۳۹۹-۱۳۷۴) به میزان ۲/۵۱ متر در سال بوده است. تغییرات آهنگ مهاجرت در برخی از ترانسکت‌ها زیاد و در بعضی کم بوده است و روندی یکنواخت در این مورد وجود ندارد. کم‌ترین میزان این شاخص در ترانسکت‌های شماره ۴۹، ۵۰ و ۴۸ به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۱ و ۰/۳۷ متر در سال بوده که دره‌های کوهستانی و عملیات تثبیت کناره‌های رودخانه جهت افزایش مساحت باغ‌ها، مهم‌ترین دلیل کنترل و تثبیت کناره‌های مجرای رودخانه کهمان در این ترانسکت‌ها تشخیص داده شد. هم‌چنین بیشترین مقدار نرخ مهاجرت در ترانسکت‌های ۴، ۳۲ و ۳۰ به ترتیب به میزان ۴/۸۰، ۵/۰۵ و ۶/۱۲ متر در سال برآورد گردید. میانبرها و فرسایش پذیری زیاد مواد کناره و دشت سیلابی از عوامل اصلی بالا بودن نرخ مهاجرت مجرا در این ترانسکت‌ها بوده است. از آنجایی که مقادیر بدست آمده از شاخص نرخ مهاجرت برای بازه زمانی مورد مطالعه (۲۵ سال) محاسبه شده است، ممکن است که بخش عمده‌ای از این تغییرات در نتیجه سیلاب‌های شدید، در تنها چند روز اتفاق افتاده باشد. در ضمن مقادیر منفی تغییرات طول بیان کننده کاهش طول مسیر رودخانه است، که به علت رخداد میانبرها و تغییر مسیر قوسی رودخانه کهمان در این بازه‌ها، به مسیر مستقیم می‌باشد. هم‌چنین مقادیر مثبت بیانگر

<sup>1</sup> Kibet Langat

افزایش طول مسیر رودخانه است، که در نتیجه توسعه و پیشروی مآندره‌های رودخانه در عرض دشت سیلابی بوده است. تغییرات طول مسیر رودخانه در بازه زمانی مورد مطالعه نیز علتی دیگر بر دینامیک عرضی زیاد مجرای رودخانه کهمان می‌باشد. نتایج حاصل از محاسبه تغییرات مساحت ترانسکت‌ها در منطقه مورد مطالعه نشان داد که حدود ۱۸۵/۸۵ هکتار از زمین‌های مجاور رودخانه کهمان در بازه زمانی (۱۳۷۴-۱۳۹۹) تخریب شده است. به عبارت دیگر به طور متوسط هر سال حدود ۷/۴۳ هکتار از این اراضی فرسایش یافته و از بین رفته‌اند. گرچه با توجه به تعادل تغییرات مسیر رودخانه کهمان می‌توان گفت که تقریباً به همین مقدار زمین در نتیجه فرایندهای رسوب‌گذاری در مجاورت رودخانه در دسترس قرار گرفته است. اما، زمین‌هایی که در این روند فرسایش از بین رفته‌اند، معمولاً از زمین‌های حاصلخیز دشت سیلابی مجاور رودخانه بوده، که در مدت زمان‌های طولانی تشکیل شده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که اهمیت فرسایش خاک‌های منطقه مورد مطالعه در اثر تغییرات جانبی مسیر رودخانه کهمان از رسوب‌گذاری شکل گرفته بیشتر است. با توجه به مقادیر بدست آمده از روش آهنگ مهاجرت در محدوده ترانسکت‌های متفاوت، واضح است که مقادیر بیشتر این معیار، با مقادیر بدست آمده از روش ترانسکت موقعیت مکانی یکسانی را نشان می‌دهند. در محدوده کوهستانی می‌توان اثرات کوهستان و سیلاب‌ها را بعنوان مهم‌ترین عوامل حاکم بر تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه کهمان در نظر گرفت. وجود مواد فرسایش‌پذیر کناره‌های رودخانه کهمان در محدوده دشت و مناطق کشاورزی سبب افزایش مهاجرت جانبی مآندرها شده و عرض دره و دشت سیلابی مجاور رودخانه افزایش چشمگیری پیدا کرده است. همچنین زمین‌های کشاورزی قسمت زیادی از اراضی این بازه را تشکیل می‌دهد، پس نباید نقش عامل انسانی در تغییر مورفولوژی این محدوده نادیده گرفته شود. بررسی ویژگی‌های بستر مجرای رودخانه کهمان، نشان می‌دهد که جابجایی‌های عرضی اغلب در بخش‌هایی از رودخانه رخ داده است که بستر رودخانه دارای ویژگی‌های دشت سیلابی است و در این مناطق شیب به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین بیشترین گسترش اراضی کشاورزی و باغات در این مناطق قابل مشاهده است. بنابراین می‌توان گفت وجود مواد فرسایش‌پذیر، میانبرها و عامل انسانی، در محدوده دشت و مناطق کشاورزی، سبب افزایش مهاجرت جانبی مآندرها شده و عرض دره و دشت سیلابی مجاور رودخانه در این محدوده نسبت به محدوده کوهستانی افزایش چشمگیری پیدا کرده است. بنابراین می‌توان گفت رودخانه کهمان در محدوده دشت و زمین‌های کشاورزی تغییرات هندسی بیشتری داشته است. پیشنهاد می‌شود، ضمن تعیین حریم رودخانه کهمان، از هرگونه ساخت و ساز و تغییر کاربری در حریم و بستر این رودخانه، جلوگیری بعمل آید. نتایج حاصل از این مطالعه با یافته‌های شوم و همکاران (۲۰۰۴)، اصغری سراسکانرود (۱۳۹۶)، باشکوه و همکاران (۱۳۹۸)، ایامی احمدآباد و همکاران (۱۳۹۸) و پیروزی و همکاران (۱۳۹۹) منطبق است.



## منابع

- اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۳۹۳). بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهرچای ارومیه، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۰(۵۷): ۴۹-۶۲.
- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ پوراحمد، مهدی. (۱۳۹۴). شناسایی و استخراج تغییرات رودخانه زرینه رود با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نشریه هیدروژئومورفولوژی، ۲(۵): ۱۶-۱.
- ایامی احمدآباد، ایوب. «ارزیابی الگوی بستر و میزان تغییرات هندسی رودخانه زرینه رود با استفاده از روش ترانسکت»، کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۸.
- باشکوه، زهره. «بررسی الگو و دینامیک رودخانه قره‌سو اردبیل»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی، ۱۳۹۸.
- پیروزی، الناز؛ مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ رضایی مقدم، محمد حسین. (۱۳۹۹). آشکار سازی تغییرات مجرای گیوی چای در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹، ۳۴(۲): ۱۹-۴۱.
- داودی، علی. «بررسی روند فرسایش خاک»، کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه خوارزمی، ۱۳۸۲.
- ذوالفقاری، حسن؛ طهماسبی‌پور، ناصر؛ بهاروندی، نسیمه. (۱۳۹۳). شبیه‌سازی روابط بارش- رواناب حوضه آبریز کشکان در استان لرستان با روش SCS (۱): ۱-۱۲.
- رشیدی، مریم؛ حسین زاده، سیدرضا؛ سپهر، عادل؛ زارعی، حیدر؛ خانه‌باد، محمد (۱۳۹۵)، مطالعه تغییرات ژئومورفولوژی بستر رودخانه کارون و علل آن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۵(۱): ۴۳-۵۹.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ جباری، اصغر؛ پیروزی‌نژاد، نوشین (۱۳۹۵). بررسی الگوهای رودخانه‌های مائندری، شریانی و آنابرنچینگ با استفاده از شاخص‌های شریانی و خمیدگی در رودخانه گاماسیاب، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۷(۱۳): ۲۸۳-۲۷۱.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ نیکجو، محمدرضا؛ ولیزاده کامران، خلیل؛ بلواسی، ایمانعلی؛ بلواسی، مهدی (۱۳۹۳)، کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۱(۵۹): ۱۱۱-۸۹.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات الگوی هندسی رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از تحلیل هندسه فراکتال، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۶(۴۰): ۱۳۹-۱۱۹.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، صیاد. (۱۳۹۱). بررسی تغییرات شکل هندسی رودخانه قزل‌اوزن با تاکید بر عوامل ژئومورفیک و زمین‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۲): ۱-۱۴.
- زارع، معصومه؛ هنر، تورج. (۱۳۹۴). اثر آبشکن بر کاهش فرسایش کناره‌ای در قوس رودخانه، نشریه دانش آب و خاک، ۲۵(۴): ۱۹۳-۱۸۱.
- سازمان هواشناسی استان لرستان، آمار سی ساله ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک، ۱۳۹۸.
- سلطانی‌گرددفرامریزی، سمیه؛ عسگری ورزیده، سمیه؛ تازه، مهدی (۱۳۹۶)، بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه گاماسیاب با استفاده از سنجش از دور، نشریه پژوهش‌های کاربردی علوم آب، ۲(۲): ۲۰-۱۳.
- شهبازی، صبریه، عوامل مؤثر در ناپایداری بستر رودخانه‌ی قره‌سو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف. (۱۳۹۳). مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده.
- مرادی‌نژاد، امیر؛ حقی‌آبی، امیرحمزه؛ و ترابی، حسن. (۱۳۹۳). انتخاب مناسب‌ترین معادلات انتقال رسوب با مدل عددی HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه قره‌چای استان مرکزی)، پژوهش‌های آبخیزداری، ۲(۱۰۴): ۱۳۱-۱۲۳.
- مقصودی، مهران؛ زمان‌زاده، سیدمحمد؛ یمانی، مجتبی؛ حاجی‌زاده، عبدالحسین. (۱۳۹۶). ارزیابی تغییرات الگوی پیچان‌رودی رودخانه مارون و تحلیل هیدروژئومورفولوژی، نشریه جغرافیای طبیعی، ۱۰(۳۵): ۲۸-۱.

- مقصودی، مهران؛ شرفی، سیامک؛ مقامی، یاسر.(۱۳۸۹). روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم آباد با استفاده از GIS، *مجله مدرس علوم انسانی*، ۱۴(۳): ۲۹۴-۲۷۵.
- نگارش، حسین؛ خسروی، محمود.(۱۳۷۹). *کلیات ژئومورفولوژی ایران*، انتشارات دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- نوروزی، سحر؛ حسینی، سیدهادی؛ جعفری، غزال؛ سلطانی، شکور.(۱۳۹۰). بررسی تغییرات مورفولوژی رودخانه و محاسبه میزان اراضی احیا شده در اثر ساخت سازه های مهندسی رودخانه، *چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران*، ۲۶۷-۲۵۲.
- نیکوبخت، الهه؛ حمیدی‌فر، حسین؛ کشاورزی، علیرضا.(۱۳۹۷). تاثیر پوشش گیاهی غیر مستغرق سیلابدشت بر تغییرات بستر رودخانه های مئاندری ملایم با مقطع مرکب، *نشریه اکوهیدرولوژی*، ۵(۲): ۴۷۰-۴۶۱.
- یاسی، مهدی.(۱۳۸۸). *مهندسی رودخانه پیشرفته*، انتشارات دانشگاه ارومیه.
- یمانی، مجتبی؛ شرفی، سیامک.(۱۳۹۱). ژئومورفولوژی و عوامل موثر در فرسایش کناری رودخانه هررود در استان لرستان، *مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۳(۱): ۳۲-۱۵.
- یمانی، مجتبی؛ عباسی، موسی.(۱۳۹۹). طبقه‌بندی ژئومورفیکی آثار سیلاب کاتاستروفیک رودخانه گادر، *نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۲۴(۷۳): ۴۳۰-۴۰۵.
- Alfredo Ollero(2009) Channel changes and floodplain management in the meandering middle Ebro River, Spain, vol 117 pp247-260.
- Aswath, M. V., V. R. Satheesh., (2008). Factors Influencing the Sinuosity of Pannagon River Kottayam, Kerala, India: An assessment using remote sensing and GIS, *Environmental Monitoring and Assessment*, 138(1-3), p173-180.
- Crosato, A., and M.S Saleh, 2011. Numerical study on the effects of floodplain vegetation on river planform style. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(6): 711-720.
- Fisher, A, Flood, N, Danaher, T. 2016. Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia, *Remote Sensing of Environment*, 175: 167-182.
- Green, Sh., Norm, E., Nathaniel, T., 2011, *Geomorphic Indices / Remote Sensing Analysis to Perform Rapid Stream Assessments*, Awra 2011 Summer Specialty Conference Snowbird, UT, June 27-29, PP.1-6.
- Gregory, K.J. (2016), The human role in changing river channels, *Journal of Geomorphology*79, 191
- Jensen, J.R, (2015), *Digital Image Processing*, 4th Edition, University of South Carolina. Ji, L, Zhang, L, Wylie, B, 2009. Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 75(11): 1307-1317.
- Jiang, H, Feng, M, Zhu, Y, Lu, N, Huang, J, Xiao, T. 2014. An Automated Method for Extracting Rivers and Lakes from Landsat Imagery, *Remote Sensing*, 6: 5067-5089.
- Lu, D, Weng, Q. 2007. A Survey of Image Classification Methods and Techniques for Improving Classification Performance, *International Journal of Remote Sensing*, 28: 823-870.
- Maalim F.K., Melesse A.M., Belmont P. and Gran K.B. (2018), Modeling the Impact of Land Use Changes on Runoff and Sediment Yield in the Le Sueur Watershed, Minnesota Using GeoWEPP. *Catena*, 107, 35-45.
- Mcfeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, *International Journal of Remote Sensing*, 17(7): 1425-1432.
- Rundquist, D.C, Lawson, M.P, Queen, L.P, Cerveny, R.S. 1987. The Relationship between Summer-Season Rainfall Events and Lake-Surface Area, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 2: 493-508.
- Schumm, S. A., 2005, *River Variability and Complexity*, First Published, Cambridge University Press, Published in the United States of America.
- Shen, L., & Li C., 2010. Water body Extraction from lansat ETM+ Imagery Using Adaboost Algorithm. *Geoinfirmatics*, 18th International Conference on Geoinformatics, China, 1-4.



- Soualmia, A., Jouini, M., Masbernat, L., Dartus, D., 2015. An analytical model for water profile calculations in free surface flows through rockfills. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 53, 209–215.
- Szwagrzyk, M., Kaim, D., Price, B., Wypych, A., Grabska, E., Kozak, J., (2018), Impact of forecasted land use changes on flood risk in the Polish Carpathians, *Nat Hazards*. 2018; 10 : 3365-3384.
- Xu, H., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (14), 3025-3033.

