

پیش‌بینی تغییرات هندسی پیچان رودهای رودخانه زهره

مریم احمدزاده^۱، هیوا علمیزاده^{۲*}، علی دادالهی سهراب^۳

^۱ کارشناس ارشد، رشته محیط زیست دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
^۲ استادیار ژئومورفولوژی، گروه زمین‌شناسی دریایی، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
^۳ دانشیار، گروه محیط زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۹

چکیده

منطقه مورد مطالعه بخش پیچان رودی رودخانه زهره است که در دلتای ساحلی هندیجان به خلیج فارس می‌ریزد. این رودخانه در معرض تغییر و تحول است و این تغییرات به صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تغییر و جابه‌جایی پیچان‌رودها و تغییر فرم رودخانه نمودار می‌شوند. هدف اصلی بررسی تغییرات هندسی رودخانه زهره در محدوده پیچان‌رودی در یک دوره زمانی ۶۰ ساله از طریق تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی این تغییرات، در درازمدت بوده است. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار GIS، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده TM و ETM+ خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌ها در نرم‌افزار Global Mapper ژئورفرنس شدند، سپس، در نرم‌افزار ENVI پیش‌پردازش و پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد. برای مطالعه دقیق‌تر رودخانه به ۸ بازه تقسیم گردید. در نهایت پهنه‌های هر بازه با یکدیگر مقایسه شده و راستای حرکت رودخانه زهره مشخص شد. جهت پیش‌بینی تغییرات مسیر رودخانه زهره از روش برازش دایره مماس بر قوس پیچ‌های رودخانه استفاده شده و تغییرات به وجود آمده با توجه به شکل و الگوی رودخانه مورد مقایسه قرار گرفت. سپس مسیر رودخانه در سال ۲۰۳۰ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داده که از سال ۱۹۵۵ تاکنون ۱۰ مورد قطع‌شدگی کانال رودخانه رخ داده و طول رودخانه ۳۶۵۳ متر کوتاه‌تر شده است؛ همچنین بازه‌های پیچان‌رودی بیشترین تهدید را دارند و اگر تغییرات کاربری‌ها و مناطق حساس رودخانه به فرسایش به‌خصوص در رأس پیچ‌ها و مناطق با تغییرپذیری بالا کنترل نشود، مساحت زیادی از اراضی کشاورزی، تأسیسات انسانی و جاده‌ها در معرض تهدید و تخریب جدی قرار می‌گیرند.

واژه‌های کلیدی: رودخانه زهره، مورفولوژی، پیچان‌رود، GIS، قطع‌شدگی

مقدمه

رودخانه‌ها از اشکال پویای طبیعت هستند که در مقاطع زمانی ویژه و در مکان‌های مختلف، در رابطه با عوامل محیطی، ویژگی‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. برقراری تعادل در شبکه‌های زهکشی به عوامل مختلفی وابسته است و تعادل برقرار شده نیز در اجزای شبکه زهکشی و یا به عبارت بهتر در سیستم زهکشی، به دست انسان و یا به‌طور طبیعی رخ

می‌دهد، اثرات آن در طی زمان به اجزای دیگر منتقل شده و در نهایت به کل سیستم منتقل می‌شود و این اثرات، به صورت گوناگون در نیمرخ طولی و عرضی بستر رودخانه تبلور می‌یابد.

یکی از فاکتورهای اساسی در مطالعات ژئومورفولوژی رودخانه، نظارت پیوسته بر خصوصیات مختلف رودخانه‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌مدت تا بلندمدت است (کهربائیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۵۵). تغییرات رودخانه‌ها در ارتباط با ترکیب عوامل و متغیرهای مختلف مانند شرایط اقلیمی، تکتونیک،

فواصل زمانی چند دهه مورد بررسی قرار داد. به‌طور کلی، رود زهره تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، ژئومورفولوژیکی، مورفولوژیکی و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها در معرض تغییر و تحول است. این تغییرات به‌صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها، تغییر راستای جریان، تغییر و جابجایی پیچان‌رودها و تغییر در فرم رودخانه نمودار می‌شوند. تغییرات مسیر و فرسایش کناری در رودخانه زهره هر ساله خسارات زیادی را به زمین‌های کشاورزی، ساختمان‌ها، سازه‌های کنار رودخانه، جاده‌ها، پل‌ها و... وارد می‌کند. به‌این ترتیب بررسی دقیق الگوی پیچان‌رودی و مورفولوژی منطقه به‌عنوان پارامتر مؤثر در کلیه فعالیت‌های یادشده به منظور راه‌های حفظ منابع و سرمایه‌های موجود و با توجه به محرومیت منطقه بسیار ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا هدف اصلی این پژوهش بررسی تغییرات هندسی رودخانه زهره در محدوده پیچان‌رودی در یک دوره زمانی ۶۰ ساله از طریق تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌بینی این تغییرات، در درازمدت است.

پیشینه پژوهش

در ایران تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته از جمله ارشد و میرابوالقاسمی (۱۳۸۶) روند تغییرات مورفولوژیکی رود کارون را با استفاده از سنجش از دور مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در طول رود در حال تغییر است و تراکم و اندازه انحناهای قوس‌ها به سمت پایین دست جابه‌جاشده‌اند. رضایی مقدم و خوشدل (۱۳۸۸) با بررسی پیچ‌وخم‌های مئاندر اهرچای به این نتیجه رسیدند که مئاندرهای منطقه دارای حرکات عرضی و طولی هستند و این حرکات باعث ایجاد تغییرات در مسیر رودخانه شده است. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تغییرات ژئومورفولوژیکی رود مهران را با استفاده از سنجش‌از‌دور مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که آبراهه رود مهران دارای جابه‌جایی زیادی بوده به‌طوری‌که تشکیل مئاندرهای جدید و متروک شدن بخش‌هایی از مسیر

توپوگرافی، پوشش گیاهی، پوشش خاک، جریان‌های سطحی، شبکه هیدروگرافی و نحوه بهره‌برداری از زمین، دارای ویژگی‌های متفاوتی هستند و این تغییرات در بخش‌های مختلف رودخانه از الگوریتم مشخصی تبعیت نمی‌کند (شریفی پیچون و پرنون، ۱۳۹۶: ۴۳). بر این اساس پایش پیوسته این منابع، ضمن این‌که باعث آگاهی دائمی از ویژگی‌های مختلف آن‌ها می‌شود، منجر به آشکارشدن روند تغییرات آن‌ها نیز خواهد شد و در نتیجه می‌توان اقدامات ارزشمندی در جهت مدیریت و بهره‌برداری از این منابع ارزشمند نمود. در سال‌های اخیر، فعالیت‌های انسانی و حضور ساختارهای مختلف دست‌ساز انسان در حوضه‌های زهکشی و استقرار آن‌ها در بستر رودخانه‌ها، تغییرات عمده‌ای در مسیر رودخانه‌ها پدید آورده است که تأثیر آن‌ها در مقایسه با نقش عوامل طبیعی در بروز تغییرات، بسیار شدیدتر است (علائی‌طالقانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۹). بروز تغییراتی، از قبیل کاهش در شیب نیم‌رخ طولی رودخانه و کاهش در اندازه مواد و بار رسوبی رودخانه‌ها و همچنین افزایش در عمق بستر و افزایش در پیچان‌های رودخانه از جمله این تغییرات هستند که هر یک از آن‌ها با پیامدهای دیگری نیز همراه هستند (بیاتی خطیبی، ۱۳۹۱: ۹۰).

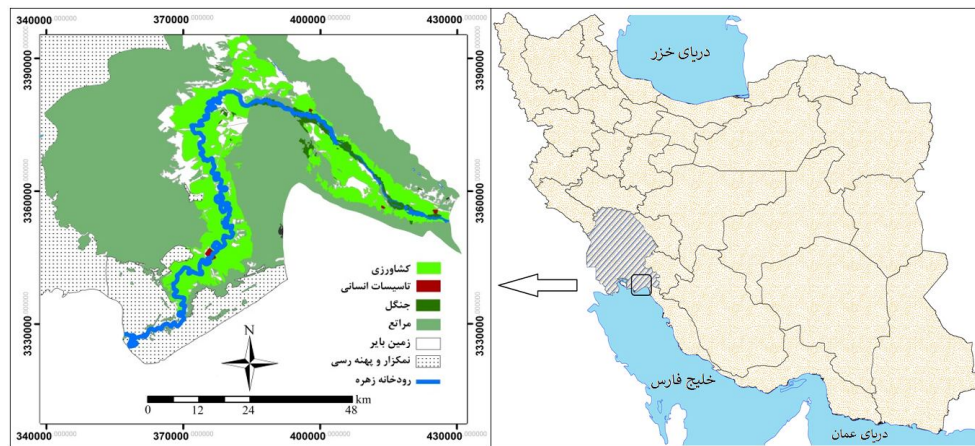
جابه‌جایی‌ها در مواقعی که بخش‌هایی از یک پیچان رود تأمین‌کننده آب آشامیدنی و یا منبع تغذیه زمین‌های کشاورزی است و یا در نزدیکی صنایع و تأسیسات مهم شهری قرار دارد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (سیف و نجمی، ۱۳۹۱: ۳۸)؛ بنابراین شناسایی نوع پیچان‌رودهای زهره و تعیین تغییرات آن در یک بازه زمانی به جهت نشان‌دادن بازه‌های آشفته و تغییرپذیر و تعیین سرعت جابه‌جایی آن‌ها به‌ویژه در محدوده پیچان‌رودی که با سرعت و شدت بیشتری در حال تغییر است، اهمیت بیشتری می‌یابد. به این طریق می‌توان مناطقی را که ممکن است در آینده از جابه‌جایی پیچان‌رودهای رودخانه متضرر گردند، تعیین نموده و از خطر احتمالی نجات داد و نیز از جنبه مسائل حفاظت آبراهه‌ها و عملیات مهندسی رودخانه می‌بایستی تغییرات بستر رودخانه برای

تغییرات شامل میزان دبی، شیب، بافت خاک و انواع کاربری اراضی در حاشیه رودخانه می‌باشند. حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مدل پایداری کناره، فرسایش کناری رودخانه لایچ را شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد در هر سیلابی که دبی جریان به دبی حداکثر لحظه‌ای برسد امکان فرسایش کناری، ناپایداری و سقوط کرانه را فراهم می‌کند و میزان پسروری کرانه در لایه‌های پایینی که عمدتاً از رسوبات غیرمتراکم گراول و قلیوه‌سنگ هستند، به مراتب بیشتر از لایه متراکم بالایی است. پیرامون این موضوع در سطح دنیا نیز تحقیقاتی صورت گرفته از جمله لی و ژیانو^۱ (۲۰۱۱) به بررسی تغییرات مناطق دلتایی رودخانه زرد در چین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM و TM و در نهایت تهیه نقشه ساحلی به منظور مدیریت محیطی سواحل پرداختند. کورت^۲ و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات خط ساحلی را در استانبول بین ۱۹۸۷ و ۲۰۰۷ مورد بررسی قرار دادند.

روزو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تغییرات مسیر رود آمازون را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سیستم این رود یک روند نهشته‌ای دارد؛ همچنین ژانگ^۴ و همکاران (۲۰۱۴) مدل‌سازی انتقال رسوب و تکامل بستر در سیستم‌های رودخانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند و تران^۵ و همکاران (۲۰۱۴) از سنجش‌ازدور و GIS برای تشخیص بلندمدت تغییرات خط ساحلی در مویکامائو^۶ در ویتنام مطالعاتی انجام دادند. از دیگر تحقیقات در زمینه مطالعات تغییرات مورفولوژیک پیچان رودها می‌توان به سابیتا^۷ (۲۰۱۴)، مونگاتو و پولی^۸ (۲۰۱۵)، کانسور^۹ و همکاران (۲۰۱۵) و گری^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) اشاره کرد.

کانال نتیجه همین جابه‌جایی است. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) تغییرات الگوی رودخانه قزل اوزن را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که سطوح فرسایش‌یافته بیشتر از سطح رسوب‌گذاری شده است و این به دلیل جابه‌جایی و تغییر مسیر رود بوده است. شرفی و همکاران (۱۳۹۲) مورفولوژی رودخانه‌اترک را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که این رودخانه در حال تغییر بوده و این تغییرات به دلیل وجود سازندهای فرسایش پذیر بستر و کناره‌های رودخانه می‌باشد. نیری (۱۳۹۴) به تحلیل شکل مجرا در حوضه رودخانه مه‌باد پرداخت و به این نتیجه رسید که مواد درشت‌دانه موجود در کرانه‌ها همراه با افزایش نسبت پهنا به عمق سبب شکل‌گیری مجرای گیسویی شده و به طرف پایین‌دست، رودخانه به شکل سینوسی تغییر پیدا می‌کند. نگهبان و همکاران (۱۳۹۴) به بررسی نقش و تاثیرات زمین‌ساخت بر شکل‌گیری پادگانه‌های رودخانه گیلانغرب پرداختند. نتایج حاکی از شدت فعالیت‌های نوزمین‌ساختی در منطقه و عدم تقارن پادگانه‌ها در دو طرف رودخانه بوده است. لرستانی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی میزان تغییرات و شناسایی متغیرهای تأثیرگذار بر تغییرات خط ساحلی در مصب رودخانه‌های هراز، بابلرود و تالار، نتیجه گرفتند که نقش آورد رسوب رودخانه به دریا و رانش جانبی رسوب به سمت شرق در امتداد خط ساحلی تعیین کننده است. نژادحسینی و همکاران (۱۳۹۶) با بررسی عوامل موثر بر تغییرات هندسی بستر رودخانه بشار نتیجه گرفتند که ساحل رودخانه دارای جابجایی بوده و در تغییرات مورفولوژی، کاربری اراضی و تکتونیک در مسیر بستر تأثیرگذار است. بنابراین هر نوع فعالیت عمرانی شهری در پیرامون رودخانه نیازمند مدیریت رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه است. جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۹۶) تغییرات و جابجایی پیچان‌رودهای رودخانه چهل‌چای-نرما ب را به منظور پیش‌بینی حرکت و جابجایی پیچان‌رودهای این رودخانه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که عوامل تأثیرگذار در میزان و روند

1. Li & Xiao
2. Kurt
3. Rozo
4. Zhang
5. Tran
6. Mui Ca Mau
7. Sabita
8. Monegato & Poli
9. Konsoer
10. Gharbi



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

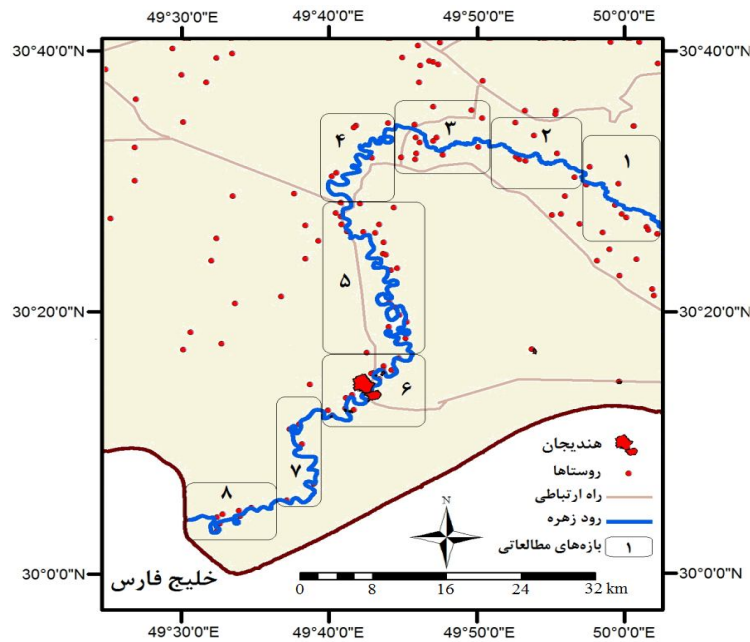
نیروهای مسلح استفاده شده است. در گام بعد عکس های هوایی سال ۱۳۳۴ به عنوان تصویر پایه و تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ (۲۰۱۵) به عنوان داده‌های انتخابی انتخاب گردیدند. در مرحله بعد هر یک از این داده‌ها در نرم‌افزارهای GIS و Global Mapper زمین مرجع سازی گردیدند. سپس در نرم‌افزار ENVI تصحیح هندسی، آشکارسازی مکانی و بهبود کنتراست بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد. در گام بعد در محیط نرم‌افزاری ArcGIS رودخانه زهره در دوره‌های زمانی مورد مطالعه ترسیم شد و رودخانه بر اساس فرم و میزان پیچان رودی بودن به ۸ بازه تقسیم گردید (شکل ۲). سپس پهنه‌های هر بازه با یکدیگر مقایسه شده و راستای حرکت رودخانه زهره مشخص شد. جهت پیش‌بینی مسیر رودخانه زهره از روش برازش دواير مماس بر قوس پیچ‌های رودخانه استفاده شده است. مطابق با این روش نیازمند داشتن لایه‌های مسیر رودخانه در دو دوره زمانی هستیم تا بر اساس آنها، دوره تغییرات آینده پیش‌بینی گردد (ثروتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۹)؛ بنابراین سال ۱۹۵۵ به عنوان دوره پایه اول و سال ۲۰۰۰ به عنوان دوره دوم و ۲۰۱۵ به عنوان دوره سوم انتخاب شد که اختلاف بین این دوره اول و سوم ۶۰ سال است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخش پیچان رودی رودخانه زهره به طول ۱۲۸ کیلومتر است که در دلتای ساحلی هنديجان به خلیج فارس می‌ریزد (شکل ۱). این رودخانه دارای دبی میانگین ۸۷ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیشترین آبدهی آن مربوط به ماههای بهمن تا فروردین و حداقل آن در طی تابستان است. حوضه رود زهره از نظر زمین‌شناسی از سازندهای گچساران (گچ)، میشان (آهک و مارن)، آجاجاری (مارن و ماسه‌سنگ) و سازند بختیاری (کنگلومر) تشکیل گردیده و عمدتاً حاوی رسوبات آبرفتی دوران چهارم است که توسط خود رود به جا گذاشته شده است (وزارت نیرو، ۱۳۹۱).

مواد و روش‌ها

جهت انجام این پژوهش از داده‌های اسنادی مشتمل بر منابع کتابخانه‌ای و مطالب منتشر شده مرتبط با ادبیات تحقیق، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ برگرفته از سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده TM و سنجنده ETM+ برگرفته از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (Explorer Earth)، عکس‌های هوایی سال ۱۳۳۴ تهیه شده از سازمان جغرافیایی



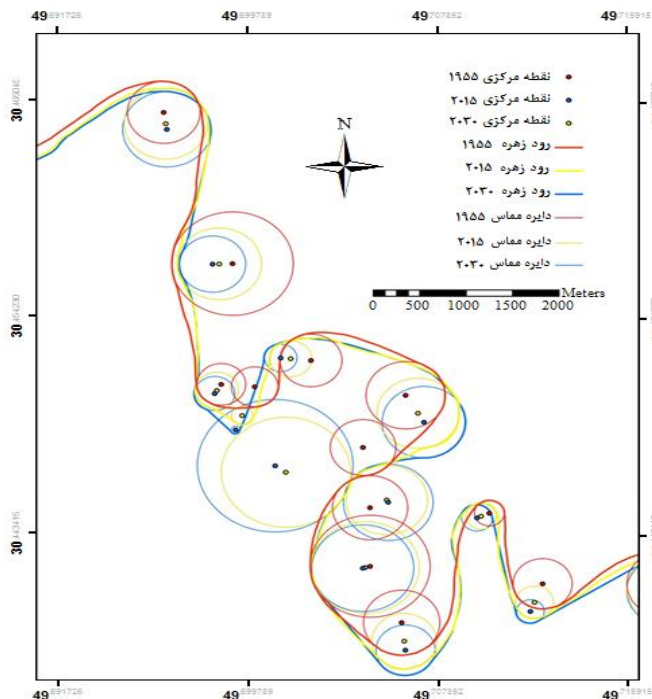
شکل ۲: بازه‌های محدوده مورد مطالعه

۱۵ سال می‌شد، نقاط مرکزی پیچ‌ها در سال ۲۰۳۰ با توجه به روند سالیانه مهاجرت این نقاط در دو دوره ۱۹۵۵ تا ۲۰۱۵ تعیین گشته و شعاع انحناء هر کدام از پیچ‌ها برای سال ۲۰۳۰ نیز برآورد و رسم گردید (در همان جهت مسیر تغییرات دوره‌های گذشته) و در نهایت مسیر حرکتی آینده رودخانه در سال ۲۰۳۰ (۱۴۰۹) رسم و در مقایسه با سایر دوره‌ها تعیین گردید و مناطق مورد تهدید رودخانه مانند اراضی کشاورزی، جاده‌ها، مناطق شهری و صنعتی مشخص شدند.

یافته‌ها

برای پیش‌بینی تغییرات رودخانه زهره بخش پیچان رودی رودخانه در بازه ۵ مورد نظر قرار گرفت؛ علت انتخاب این بازه، تعداد زیاد پیچان رود آن بوده است. بر همین اساس با توجه به دوره‌های ۱۹۵۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵، پیش‌بینی مسیر رودخانه در دوره ۲۰۳۰ به دست آمد و مسیر فرضی رودخانه ترسیم شد (شکل ۳).

در این راستا برای سال ۱۹۵۵ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵ با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و بر روی قوس‌های خارجی پیچ‌ها نقاطی به‌عنوان نقاط مماس بر قوس پیچ‌های خارجی رودخانه رسم گردید و سپس بهترین دایره مماس بر آن‌ها ترسیم شد. میزان شعاع انحناء و نقاط مرکزی هر کدام از دوایر نیز تعیین گردید. در مرحله بعد با توجه به اینکه فرض بر این اصل استوار است که جهت تغییرات در یک روند مشابه با دوره‌های قبل و با توجه به نقشه‌های تاریخی انجام می‌شود، میزان اختلاف بین نقاط مرکزی دو دوره ۱۹۵۵ و ۲۰۱۵ برآورد شده و بر این اساس میزان جابه‌جایی و حرکت سالیانه این نقاط به‌دست‌آمده در جای دیگر، این مسئله در مورد شعاع انحناء پیچ‌ها نیز برآورد شد و میزان جابه‌جایی و مهاجرت دوایر مماس بر قوس پیچ‌ها با توجه به جهت حرکت در رأس آن‌ها تعیین، تخمین و محاسبه گردید؛ بنابراین و با توجه به موارد فوق امکان پیش‌بینی برای هر دوره‌ای ممکن می‌شود و چون دوره مدنظر ما سال ۲۰۳۰ میلادی یا ۱۴۰۹ شمسی بوده و از سال ۲۰۱۵ تا زمان مورد پیش‌بینی



شکل ۳: مسیر حرکتی آینده رودخانه در سال ۲۰۳۰ و در مقایسه با سایر دوره‌ها

مورد مطالعه کاملاً متفاوت است، به طوری که از لحاظ کاهش میزان طول رودخانه، بازه ۷ در بین سه دوره مورد بررسی کمترین کاهش و بازه ۲ بیشترین میزان کاهش را در سه دوره داشته است، از لحاظ افزایش طول بازه ۷ کمترین افزایش و بازه ۸ بیشترین افزایش را داشته است (جدول ۱).

در سال ۱۹۵۵ تعداد پیچان رود ۲۷ عدد بوده که در سال ۲۰۱۵ با افزایش ۲ پیچان رود به ۲۹ رسیده است. در این فاصله زمانی ۲ پیچان رود قطع شده است. در این بازه پسروی بیشتر از پیشروی دیده می‌شود. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در سه دوره مورد بررسی، روند تغییرات طولی رودخانه در بازه‌های

جدول ۱: تغییرات طولی رودخانه زهره در بازه‌های مطالعاتی (بر حسب متر)

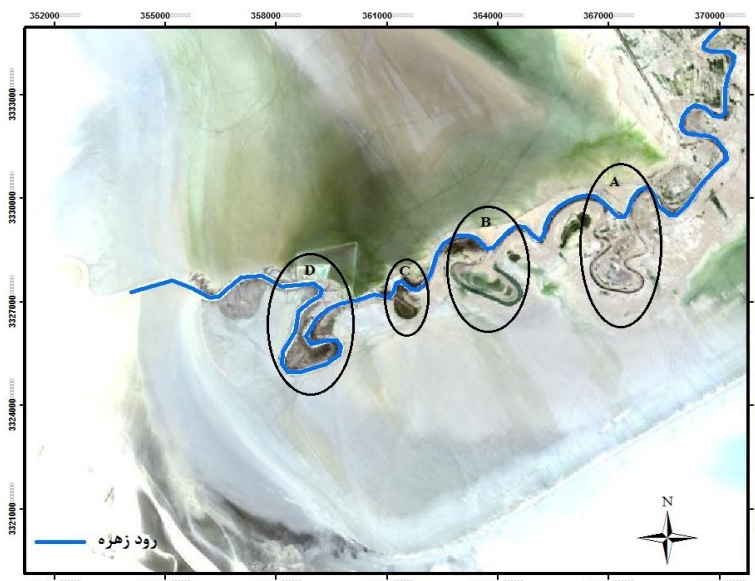
| ردیف | بازه | متوسط طول ۱۹۵۵ | متوسط طول ۲۰۰۰ | متوسط طول ۲۰۱۵ |
|------|--------|----------------|----------------|----------------|
| ۱ | بازه ۱ | ۱۳۸۳۰ | ۸۰۳۰ | ۱۲۶۶۰ |
| ۲ | بازه ۲ | ۱۰۳۹۰ | ۹۳۰۹ | ۸۷۸۷ |
| ۳ | بازه ۳ | ۱۶۰۸۰ | ۱۵۵۷۰ | ۱۴۹۵۰ |
| ۴ | بازه ۴ | ۲۶۱۹۰ | ۲۵۶۶۰ | ۲۶۶۷۰ |
| ۵ | بازه ۵ | ۴۹۲۷۰ | ۵۰۲۵۰ | ۴۸۰۰۰ |
| ۶ | بازه ۶ | ۲۵۸۰۰ | ۲۶۴۱۰ | ۲۶۶۳۰ |
| ۷ | بازه ۷ | ۲۲۹۱۰ | ۲۱۷۱۰ | ۲۲۰۷۰ |
| ۸ | بازه ۸ | ۲۱۹۹۰ | ۲۲۳۰۳/۵ | ۲۳۰۴۰ |
| ۹ | کل | ۱۸۶۴۶۰ | ۱۷۹۴۴۲/۵ | ۱۸۲۸۰۷ |

تا بندر سجافی از فرسایش‌پذیری شدیدی برخوردار است که این فرسایش بر اثر جزر و مد دریا صورت می‌گیرد. با توجه به بافت رسوبات منطقه و توان

در بررسی‌های به عمل آمده بر روی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین انجام بازدید میدانی مشخص گردید رودخانه زهره در محدوده پل قدیمی هندیجان

در این بازه پیچان رودی است (شکل ۴)؛ که این پیچان رودها بر اثر فرسایش شدید سواحل رودخانه در طول مسیر رودخانه بریده شده و رودخانه در قسمت‌های A، B و C دچار پدیده قطع شدگی گردیده است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، با توجه به روند فرسایشی رودخانه زهره از لحاظ فرسایش کناره‌ها در محدوده پل قدیمی هنديجان تا بندر سجافی، انتظار می‌رود در آینده قسمت D نیز دچار پدیده قطع شدگی شود. بر اثر جزر و مد دریا قسمت پایین دیواره‌های کناری مسیر رودخانه دچار آبشویی شده و شسته می‌شود که با تخریب قسمت تحتانی دیواره‌ها قسمت فوقانی تحت اثر نیروی وزن ریزش می‌کند که این عامل اصلی‌ترین عامل فرسایش سواحل رودخانه در کل مسیر از هنديجان تا مصب خود بندر سجافی است.

فرساینده‌گی جریان رودخانه در هنگام جزر، در اثر همراهی جریان‌های جزری و آب رودخانه، جریان سطحی دیواره خارجی پیچش‌ها را دچار فرسایش می‌کند. در هنگام مد، جریان‌های مدی در جهت مخالف جریان رودخانه وارد کانال می‌شوند. عملکرد این دو جریان به گونه‌ای است که جریان رودخانه‌ای از ساحل شمالی پیچش‌ها و جریان مدی از ساحل جنوبی پیچش‌ها عبور می‌نمایند. این پدیده سبب فرسایش در دیواره خارجی پیچش‌ها در زمان مد و شدت یافتن پیچان رودی به خصوص در قسمت‌هایی که بیشتر تحت تأثیر جزرومد قرار می‌گیرند، خواهد شد. سواحل مذکور عمدتاً از لایه‌های نیمه متراکم سیلت ماسه‌ای و سیلت رسی تشکیل شده است که دارای چسبندگی ضعیفی است و حساسیت زیادی نسبت به فرسایش دارند. در اثر این فرسایش‌ها مسیر رودخانه پیچ‌وخم‌های زیادی پیدا کرده و نوع رودخانه



شکل ۴: بازه‌های رودخانه زهره در محدوده پل قدیمی هنديجان تا بندر سجافی در سال ۲۰۱۶

فوق‌العاده کم شیب در جریان است و به همین دلیل دارای تعداد زیادی پیچان رود می‌باشد. پیچان‌رودهای زهره بر اثر فرسایش شدید سواحل رودخانه در طول مسیر رودخانه بریده شده و رودخانه دچار پدیده قطع شدگی^{۱۱} گردیده است. رسوبات رود زهره که به

نتیجه‌گیری

تجمع رسوبات در مصب رود زهره، دلتای کم‌وبیش وسیعی را به وجود آورده است. با توجه به ریزدانه بودن این رسوبات که عمدتاً از نوع رس و سیلت و تا حد بسیار اندکی ماسه است، نیم‌رخ طولی دلتا دارای شیب بسیار ملایم می‌باشد. رود زهره بر این سطح

11. Cut off

- استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: رودخانه کارون از گتوند تا فارسیات). علوم کشاورزی و منابع طبیعی. شماره ۱۴، جلد ۶، صص ۱۸۰-۱۹۴.
۲. بیاتی خطیبی، مریم. ۱۳۹۱. بررسی و تحلیل نوع و مدت جابه‌جایی‌ها در مسیر رودخانه‌های مئاندری و نقش جابه‌جایی‌ها در فرسایش کناری در نواحی نیمه خشک، مورد: رودخانه قره آغاج، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص ۸۹-۱۰۲.
۳. ثروتی، محمدرضا. محمدحسین رضایی مقدم و صیاد اصغری. ۱۳۹۱. بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه انجمن جغرافیای ایران، شماره ۳۴، صص ۸۵-۱۰۲.
۴. جوکار سرهنگی، عیسی. ابراهیم تلنک و قاسم لرستانی. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه با تاکید بر پیچان‌رودها (مطالعه موردی: رودخانه چهل‌چای-نرماب). آمایش جغرافیایی فضا، ۷(۲۶)، ۱۷-۳۰.
۵. حسین‌زاده، محمد مهدی. احمد نوحه‌گر و عنایت غلامی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات ژئومورفولوژیک رودخانه مهران بر روی دلتا با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (استان هرمزگان، بندر لنگه)، پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره ۲، صص ۵۰-۶۵.
۶. حسین‌زاده، محمد مهدی. حسن صدوق و رضا اسماعیلی. ۱۳۹۸. برآورد میزان فرسایش کناری رودخانه با استفاده از مدل پایداری کناره و فرسایش پای کرانه. مطالعه موردی: رودخانه لایج. آمایش جغرافیایی فضا، ۹(۳۳)، ۲۶۵-۲۷۸.
۷. رضایی‌مقدم، محمدحسین. کاظم خوشدل. ۱۳۸۸. بررسی پیچ‌وخم‌های مئاندر اهر چای در محدوده دشت ازومدل ورزقان، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال بیستم، شماره ۱، صص ۱۰۱-۱۱۲.
۸. رضایی‌مقدم، محمدحسین. محمدرضا ثروتی و صیاد اصغری سراسکانرود. ۱۳۹۱. بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، جغرافیا (فصلنامه علمی-پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۸۵-۱۰۲.
۹. سیف، عبدالله. نجمه نجمی. ۱۳۹۱. شناسایی پیچان‌رودهای رودخانه کارون با استفاده از روش برازش حلقه‌های دوایر مماس با محور رودخانه و تعیین

خلیج فارس وارد می‌شوند، عمدتاً تحت تأثیر پدیده انتقال رسوبات موازی خط ساحل^{۱۲} به سمت شرق حرکت می‌کنند. این عامل سبب شده است که دلتای رود زهره به سمت شرق مصب رود گسترده شود، هرچند رود از قسمت غربی دلتا به خلیج فارس وارد می‌شود، اما تحت تأثیر امواج، رسوبات رود ابتدا به سمت جنوب و سپس به سمت شرق جابجا می‌شوند. این عامل سبب گردیده، دلتای رود زهره حالت نامتقارن داشته باشد.

یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در سه دوره مورد بررسی (سال‌های ۱۹۵۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۵)، روند تغییرات طولی رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه کاملاً متفاوت است، به طوری که از لحاظ کاهش میزان طول رودخانه، بازه ۷ در بین سه دوره مورد بررسی کمترین کاهش و بازه ۲ بیشترین میزان کاهش را در سه دوره داشته است، از لحاظ افزایش طول بازه ۷ کمترین افزایش و بازه ۸ بیشترین افزایش را داشته است (جدول ۱).

در طول مسیر رود در بازه‌های ۱ تا ۵ به‌غیر از روستاها، هیچ عامل انسانی وجود ندارد؛ ولی در بازه ۶ صنایع وجود دارد. بازه ۷ در بخش شمالی اراضی تحت زراعت آبی هستند ولی در بخش جنوبی اراضی بدون پوشش هستند. در بازه ۸ اراضی تحت جذر و مد قرار دارند و راههای ارتباطی آسفالت و خاکی نیز وجود دارد. نتایج روش پیش‌بینی مسیر رودخانه نشان می‌دهد که بازه‌های پیچان‌رودی بیشترین تهدید را دارند و اگر تغییرات کاربری‌ها و مناطق حساس رودخانه به فرسایش به‌خصوص در رأس پیچ‌ها و مناطق با تغییرپذیری بالا کنترل نشود، با توجه به احتمال طغیان رودخانه، مساحت زیادی از اراضی کشاورزی، تأسیسات انسانی و جاده‌ها در معرض تهدید و تخریب جدی قرار می‌گیرند.

منابع

۱. ارشد، صالح. سعید مرید و هادی میرابوالقاسمی. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با

- Floods effects on rivers morphological changes application to the Medjerda River in Tunisia, *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 64(1): 56-66.
19. Konsoer, Kory. Rhoads Bruce, Lane Eddy, Mike Ursic and Marcelo Garcia. 2015. Spatial variability in bank resistance to erosion on a large meandering, mixed bedrock-alluvial river. *Geomorphology*, 252: 80-97.
 20. Kurt, Sumeyra. Ahmet Karaburun and Ali Demirci. 2010. Coastline changes in Istanbul between 1987 and 2007. *Scientific Research and Essays*, 5(19): 3009-3017.
 21. Li, Cui. Yan Li Xiao. 2011. Coastline Change of the Yellow River Estuary and its Response to the Sediment and Runoff (1976–2005), *Geomorphology Volume 127*: 32-40.
 22. Monegato, Giovanni and Maria Eliana Poli. 2015. Tectonic and climatic inferences from the terrace staircase in the Meduna valley, eastern Southern Alps, NE Italy. *Quaternary Research*, 83(1): 229-242.
 23. Rozo. Max, Afonso Nogueira, Carlomagno Soto Castro. 2014. Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986-2006, *Journal of South American Earth Sciences*, 51: 28–44.
 24. Sabita madhvi singh, 2014. Morphology Changes of Ganga River over Time at Varanasi, *Journal River of engineering*, 2(2): 48-63.
 25. Tran, Thi. Tien Thi, Phan Nguyen, Dahdouh-Guebas. 2014. Application of remote sensing and GIS for detection of long-term mangrove shoreline changes in Mui Ca Mau, Vietnam, *Biogeo sciences*, 11(14): 3781-3795.
 26. Zhang, Wanshun. Yanhong Xu, Yanru Wang and Hong Peng. 2014. Modeling sediment transport and river bed evolution in river system. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2(2): 175-179.
- میزان توسعه آنها، جغرافیای طبیعی، شماره ۱۷، صص ۳۷-۵۰
۱۰. شرفی، سیامک. ابوالفضل شامی و مجتبی یمانی. ۱۳۹۳. بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه اترک در یک بازه زمانی ۲۰ ساله. آمایش جغرافیایی فضا، ۱۴(۴)، ۱۲۹-۱۵۰.
 ۱۱. علائی طالقانی، محمود. فرشاد حاصلی و مجید احمدی ملاوردی. ۱۳۹۱. ارزیابی نقش انسان در فرسایش کناره‌ای و گسترش جانبی پیچان رودهای رودخانه‌ی گاماسیاب در دشت بیستون. جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۶، صص. ۱۲۰-۱۰۷.
 ۱۲. کهربائیان، پروین. ابوالفضل بهنیا، حجت شاکری زارع و محسن رضایی عارفی. ۱۳۹۳. تحولات مورفولوژیکی و الگوی پیچان رودی بستر رودخانه مرزی هریرود با استفاده از RS. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۳، صص ۶۴-۵۳.
 ۱۳. لارستانی، قاسم. رضا اسماعیلی و فاطمه اعتمادی. ۱۳۹۴. بررسی میزان تغییرات خط ساحلی دریای خزر در مصب رودخانه‌ها (مطالعه موردی: مصب رودخانه‌های هراز، بابلرود و تالار). مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۲۳-۱۳۶.
 ۱۴. نژادحسینی، رقیه. ابوالقاسم گورابی، ابراهیم مقیمی و فرزانه غلامی. ۱۳۹۶. آشکارسازی تغییرات هندسی رودخانه بشار در محدوده شهر یاسوج و نقش آن در توسعه پایدار شهری. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۲۵(۷)، ۱۵۵-۱۷۰.
 ۱۵. نگهبان، سعید. منصور جعفری‌بگلو، عبدالکریم ویسی و طاهر ولی‌پور. ۱۳۹۴. بررسی نقش نو زمین‌ساخت در شکل‌گیری پادگانه‌های رودخانه‌ای (مطالعه موردی رودخانه گیلانغرب- محدوده شمالی شهر گیلانغرب). مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۱۶(۵)، ۱۹۹-۲۰۹.
 ۱۶. نیروی، هادی. ۱۳۹۴. تحلیل مورفولوژیکی مجرای رودخانه مهاباد و تأثیر احداث سد بر آن، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال پانزدهم، شماره ۳۷، صص: ۱۷۷-۱۵۵.
 ۱۷. وزارت نیرو، سازمان آب و برق خوزستان، مطالعات بررسی شوری آب انتهای رودخانه هندیجان، گزارش سنتز مطالعات، تیر ماه ۱۳۹۱.
18. Gharbi, Mohamed. Soualmia Amel, Denis Dartus, Lucien Masbernat. 2016.

