

بررسی تغییرات مورفومتری رودخانه با تأکید بر پیچان رودها.

مطالعه موردی: رودخانه چهل چای - نرماب

جوکار سرهنگی، عیسی^{۱*}، تلنک، ابراهیم^۲، لرستانی، قاسم^۳

^۱دانشیار دانشگاه مازندران

^۲کارشناس ارشد رشته هیدروژئومورفولوژی دانشگاه مازندران

^۳استادیار دانشگاه مازندران

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۸

چکیده

از مهمترین مباحث علم ژئومورفولوژی و مدیریت رودخانه، موضوع مورفولوژی کانال‌های رودخانه‌ای است که به کمک آن می‌توان به مجموعه اطلاعات مفیدی درباره شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی، مقاطع عرضی، تغییر شکل و مکان آبراهه‌ها در طول زمان دست یافت. اندازه این شاخص‌ها نشان‌دهنده عملکرد واقعی مجرای رودخانه‌هاست. در این تحقیق میزان تغییرات و جابه‌جایی پیچان‌رودهای رودخانه چهل‌چای-نرماب در دوره زمانی از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث و به منظور تحلیل وضعیت کنونی و پیش‌بینی حرکت و جابه‌جایی پیچان‌رودهای این رودخانه در آینده مورد مطالعه قرار گرفت. برای دستیابی به این هدف، وضعیت پلان رودخانه و شاخص‌های مورفومتری نظیر طول کانال، تعداد پیچان‌رود، ضریب سینوسی، زاویه مرکزی، شعاع انحنای پیچان‌رودها و عرض کانال در محیط نرم‌افزار GIS و Auto Cad در چهار بازه جداگانه، اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج نشان داد که میانگین بیشتر پارامترهای مورفومتری رودخانه چهل‌چای-نرماب در طول دوره مورد بررسی تغییر یافته است، به طوری که پارامتر طول کانال این رودخانه ۶۲۰۰ متر، سینوزیته ۰/۳، تعداد پیچان‌رود ۳۱ حلقه، میانگین زاویه مرکزی ۱/۴ درجه و میانگین عرض کانال آن ۹ متر نسبت به سال ۱۳۴۵ کاهش یافته است. همچنین بررسی روند تغییرات در بازه‌های چهارگانه نشان داد که میزان تغییرات و روند آن در بازه‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. در بازه ۱ تا بازه ۳ مقادیر اغلب پارامترهای مورفومتری از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ کاهش یافته، در حالی که در بازه ۴ این مقادیر در این دوره افزایش داشته است. عوامل تاثیرگذار در این تغییرات شامل میزان دبی، شیب، بافت خاک و انواع کاربری اراضی در حاشیه رودخانه می‌باشند. با توجه به وجود بیشترین تعداد پیچان‌رودهای بیش از حد توسعه یافته در بازه ۴ و در مجاورت شهر گنبد کاووس، بیشترین مناطق خطر نیز در این بازه قرار گرفته است.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مورفومتری، رودخانه، پیچان‌رود، چهل‌چای - نرماب.

مقدمه

درک نمایند (کک و دورنکمپ^۱، ۱۹۹۰: ۱۰۲).
بیشترین تغییرات مورفولوژیکی آبراهه‌ها در مسیر رودخانه‌های پیچان‌رودی مشاهده می‌شود (هوک^۲، ۲۰۱۳: ۲۶۰). اغلب این کانال‌ها متحرک هستند و با ایجاد حلقه‌های پیچان‌رودی و مهاجرت و جابه‌جایی کانال در جهت پایین دست در داخل دشتهای سیلابی، باعث تغییرات قابل توجهی در چشم انداز

نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل در ژئومورفولوژی کاربردی می‌باشد و ژئومورفولوگ‌ها معمولاً به‌عنوان یک اصل ضروری به تشریح گذشته و حال پرداخته‌اند و آینده فرآیندها را پیش‌بینی می‌کنند تا ماهیت و سرعت تغییرات را

عنوان عامل مؤثر در مشخص کردن پیچان رودی شدن رودخانه و فرسایش کناری آن استفاده کردند. براساس^۸ (۱۹۷۳) نیز در تحقیقات خود، روش خاصی برای محاسبه پیچان رودها به کار برد. او به منظور بررسی پلان پیچان رودها از روش ترسیم دوایر با بیشترین برازش با قوس‌های پیچان رود استفاده نمود. در این روش پس از تعیین خط مرکزی آبراهه در سال‌های مختلف، روی هر کدام از قوس‌های رودخانه دوایری ترسیم می‌گردد که بیشترین تماس و برازش را با قوس پیچان رودها داشته باشد. پس از آن، طول وتر و شعاع انحنای هر یک از قوس‌ها اندازه گیری می‌شود؛ اگر طول وتر محاسبه شده هر قوس از شعاع انحنای آن بیشتر باشد، آن قوس یک پیچان رود محسوب می‌گردد (شکل ۴). لنکستر و براس^۹ (۲۰۰۲) در مطالعات خود، به این نتیجه دست یافته‌اند که دلیل عمده‌ی جابه‌جایی پیچان رودها، اختلاف فاز بین مسیر بستر و مسیر حداکثر سرعت آب در رودخانه است. سارما^{۱۰} (۲۰۰۵) با مطالعه مورفولوژی و فرآیندهای رودخانه‌ای براهماپوترا در هند، نشان داد که در طول قرن بیستم، مقدار ۸۶۸ کیلومتر از مساحت کل کناره‌های این رودخانه به علت فرسایش از بین رفته است. اسواتی و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۷) با استفاده از GIS و RS، عوامل مؤثر در سینوزیته رودخانه پاناگون^{۱۲} را در هندوستان مطالعه نمودند، بررسی‌های آنها نشان داد که شکل و میزان سینوزیته رودخانه پاناگون به پارامترهای زمین شناسی مانند تکنونیک و پوشش گیاهی سواحل رودخانه بستگی دارد. ناگی و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۰) در بررسی رودخانه تیزا^{۱۴} در مجارستان، به این نتیجه رسیدند که به دلیل فرسایش شدید در منطقه و دخالت‌های بشری (انجام پروژه‌های مهندسی)، این رودخانه با برش و ایجاد میانبر در مسیر خود، به تعادل رسیده است؛ همچنین، مگدالانو و

محیط می‌گردند. این تغییرات در بازه‌های زمانی مختلف صورت می‌گیرد، اما زمانی که میزان این تغییرات زیاد باشد می‌تواند مشکلاتی برای فعالیت‌ها و سازه‌های احداث شده مسیر رودخانه بوجود آورد.

جابه‌جایی و تغییرات پیچان رودی در آبراهه‌های بزرگ، بسیار زیاد بوده به طوری که براساس تحقیقات صورت گرفته در محل بعضی پیچان‌ها از جمله در بازه پایین دست می‌سی‌سی‌پی حدود ۲۰ متر در سال گزارش شده است؛ با این حال، میزان جابه‌جایی جانبی (نرخ مهاجرت جانبی) رودها اغلب حدود ۱ متر یا کمتر در سال اندازه گیری شده است (مگدالانو^۱، ۲۰۱۱: ۹۷؛ به نقل از لوتگنز و تاربوک^۲، ۱۹۹۵). پیچان رودها هم‌چنین به طرف پایین دست رود جابه‌جا می‌شوند که باعث افزایش تغییرات زیادی در مورفولوژی کلی آنها می‌شود. در اغلب کانال‌ها، اکثر فعالیت‌های پیچان رودی در دوره‌های زمانی رخ می‌دهد که میزان دبی، دبی رسوب و فرسایش بستر، بسیار بیشتر از حد معمول هستند؛ زیرا به دلیل فرآیندهای تخریب، آب، مقدار بیشتری از رسوبات را در کناره‌های داخلی پیچان‌ها بر جای می‌گذارد.

مطالعه مورفولوژی و تغییرات پیچان رودها همواره مورد توجه دانشمندان و محققین بوده است. به عقیده هوک (۲۰۱۳: ۲۶۳) پژوهش روی کانال‌های پیچان رودی ابتدا توسط دیویس صورت گرفت، او در مطالعه بستر رود سن، نحوه پیدایش، توالی و قطع شدن پیچان رودها را معرفی کرد. پس از او فیسک^۳ (۱۹۴۴) مورفولوژی پیچان رودی در دشت‌های سیلابی را مورد مطالعه قرار داد. لئوپولد و ولمن^۴ (۱۹۵۷) و شوم^۵ (۱۹۶۳) نیز مطالعات زیادی روی پیچان رودها انجام دادند. در ادامه، چانگ و توبس^۶ (۱۹۷۰) در بررسی مقایسه‌ای پیچان رودهای حوضه رودخانه واباش^۷ در ایندیانا، از انحنای موضعی رودخانه، به

8. Brice, J.C
9. Lancaster & Bras
10. Sarma, J.N
11. Aswathy et al
12. Pannagon river
13. Nagy et al
14. Tisza

1. Magdaleno
2. Iutgens & Tarbuk
3. Fisk, H.N
4. Leopold & Wolman
5. Schumm, S.A
6. Chang & Tubes
7. Wabash

نشان داد با توجه به شاخص ضریب خمیدگی، ۲۶/۴۵ درصد از قوس‌های این رودخانه در زمره الگوی پیچان رودی تکامل یافته قرار می‌گیرند؛ همچنین شاخص زاویه مرکزی، میانگین زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه تالار را، ۱۲۹/۱ درجه نشان داد. ارزشد و همکاران (۱۳۸۶) روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کارون را مطالعه کرده و به این نتیجه رسیدند که خصوصیات قوس‌ها در طول رودخانه در حال تغییر است. سیف و نجمی (۱۳۸۹) پیچان‌رودهای رودخانه کارون را با استفاده از روش برازش حلقه‌های دایره‌ای مماس با محور رودخانه (روش برایس) شناسایی کرده و میزان توسعه آنها را با استفاده از روش کورنیس تعیین کردند، آنها با استفاده از این دو روش نشان دادند که در رودخانه کارون ۵۷ پیچان‌رود بیش از حد توسعه یافته وجود دارد که این پیچان‌رودها در مرحله بحرانی قرار دارند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات کناری رودخانه آجی‌چای و مناطق کناری در خطر فرسایش آن را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کرده و آن را در سه بخش آسیب‌پذیر، بحرانی و بسیار بحرانی تعیین نمودند. شریفی‌کیا و مال‌امیری (۱۳۹۱) با آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند از سال ۱۳۴۴ تا ۱۳۹۰، در تحلیل مورفولوژیکی آن دریافتند که تمامی مقاطع مورد بررسی محور رودخانه، تغییرپذیری بین حداقل ۵ تا حداکثر ۳۱ درجه را تحمل کرده است. بیاتی خطیبی (۱۳۹۱) نوع و مدت زمان جابه‌جایی‌ها را در مسیر رودخانه پیچان‌رودی قره‌آغاج بررسی نموده و نقش جابه‌جایی‌ها را در فرسایش کناری رودخانه مذکور تحلیل نمود و نشان داد که در محدوده مورد مطالعه، خطر فرسایش کناری در بخش‌هایی که میزان جابه‌جایی‌ها زیاد بوده، بسیار بالاست. ثروتی و همکاران (۱۳۹۱) الگوی پیچان‌رودی رودخانه قزل‌اوزن را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی بررسی نمودند، نتایج نشان داد که در طول سه دوره مورد بررسی، روند تغییرات رودخانه در بازه‌های مورد مطالعه، کاملاً متفاوت است.

فرناندز (۲۰۱۱) جابه‌جایی پیچان‌رودها و تغییرات جانبی رودخانه ابرو^۱ را در اسپانیا بررسی کردند. آنها این‌کار را با بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در ۲۵۰ کیلومتر از مسیر رودخانه در طی سالهای ۱۹۲۷، ۱۹۵۶ و ۲۰۰۳ انجام دادند. بررسی آنها تغییرات وسیعی را در فعالیت پیچان‌رودها و کناره رودخانه ابرو نشان داد. پولاک^۲ (۲۰۱۲) پیچان‌رودهای ناپایدار و بحرانی رودخانه باراک^۳ در حاشیه شهر سیلچر در آسام را با استفاده از سیستم سنجش از دور و GIS، در یک دوره زمانی ۳۴ ساله از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۰ و در سه بازه مجزا بررسی نمود و نتیجه‌گیری کرد که مطالعه مئاندرهای ناپایدار و بحرانی رودخانه در اطراف شهر، جهت پیش‌بینی الگوی رودخانه در آینده و تعیین مناطق در معرض خطر رودخانه در اطراف شهرها مفید خواهد بود. سوانسون^۴ (۲۰۱۲) شکل کانال و تغییرات رودخانه ریوگرانده و ریوچاما را در نیومکزیکو بین سال‌های ۱۹۳۵ تا ۲۰۰۵ با استفاده از عکس‌های هوایی بررسی نمود. مطالعات او نشان داد که عرض این رودخانه‌ها از ۵۸ متر به ۴۴ متر کاهش یافته است. باوا و همکاران^۵ (۲۰۱۴) در بررسی عوامل کنترل‌کننده تنوع مورفولوژیکی و نقش قدرت جریان بر روی رودخانه یامونا در غرب هندوستان، نتیجه گرفتند که ارتباط نزدیکی بین قدرت جریان و مورفولوژی کانال وجود دارد. روزو و همکارانش^۶ (۲۰۱۴) نیز با استفاده از روش سنجش از دور و با کمک تصاویر لندست قسمت‌های پایین دست رود آمازون را بررسی کردند و دریافتند که در دوره‌هایی که فعالیت فرسایش و رسوب بیشتر بوده تغییرات جانبی رودخانه نیز افزایش یافته است.

در ایران نیز یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۱) الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار را با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی (به روش لئوپلد و ولمن) و زاویه مرکزی (به روش کورنایس) بررسی نمودند. نتایج

1. Ebro
2. Pulak
3. Barak
4. Swanson
5. Bawa et al
6. Rozo et al

جغرافیایی ارتش، تصاویر سال ۱۳۹۲ گوگل ارث (Google Earth) و نیز نقشه‌های رقومی توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور، 70642NW, 70643NE) تشکیل داده اند.

در این تحقیق، ابتدا پلان مسیر رودخانه چهل‌چای-نرماب در هر دو دوره ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲ پس از زمین مرجع کردن عکس‌ها و تصاویر موجود و پردازش آنها با استفاده از نرم افزار ENVI 5، در محیط GIS ترسیم گردید. بعد از تهیه پلان مسیر رود، پارامترهای مورفومتری نظیر طول کانال، ضریب سینوسی، تعداد پیچان‌رود، زاویه مرکزی، شعاع انحناء پیچان‌رودها در هر دوره با استفاده از نرم افزار Auto Cad و طبق روش برایس (۱۹۷۴) تهیه گردید (شکل ۴). پس از تعیین ابعاد و اندازه پارامترهای مورفومتری رودخانه، نوع پیچان‌رود و میزان توسعه یافتگی آنها طبق روش کورنیس مشخص گردید. کورنیس (۱۹۸۰) برای بیان کیفی توسعه و پیشرفت پیچان‌رودی شدن رودخانه‌های آبرفتی و تمایز آنها از یکدیگر از معیار زاویه مرکزی استفاده نمود. (جدول ۱). برای اطمینان از معنادار بودن تغییرات صورت گرفته، از آزمون همبستگی استفاده شد و در نهایت از تغییرات صورت گرفته در مورفولوژی رودخانه نتیجه گیری گردید.

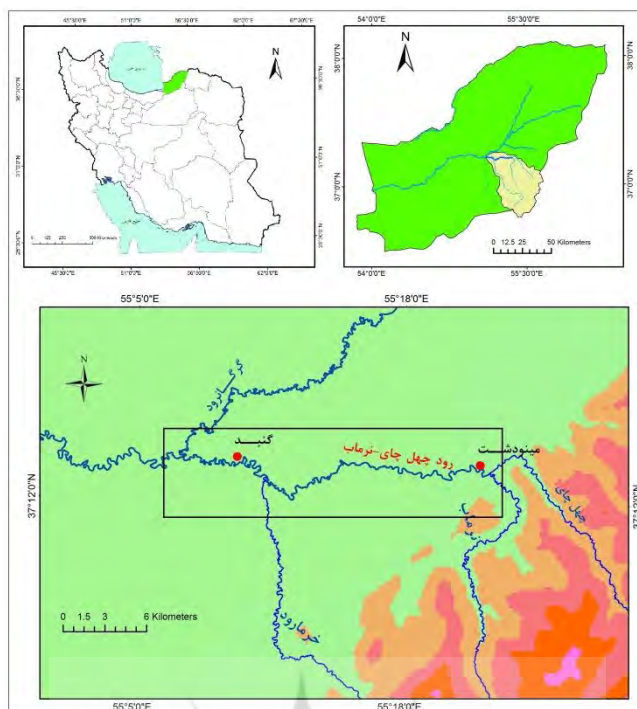
تغییرات جانبی و پیچان‌رودی رود چهل‌چای-نرماب نیز در سال‌های گذشته سبب شده است که اراضی زراعی، راه‌های ارتباطی و مناطق مسکونی خصوصاً در حاشیه شهر گنبد در امتداد این رودخانه مورد تهدید قرار گیرد. خلاء مطالعاتی در این زمینه باعث گردید تا مناطق حساس و ناپایدار این رودخانه بدون تشخیص و بررسی باقی بماند. هدف از این تحقیق درک فرآیند این تغییرات، میزان و نوع الگوی تغییرات در رودخانه چهل‌چای-نرماب است تا در صورت امکان میزان حرکت و جابه‌جایی پیچان‌رودهای آن پیش‌بینی شود.

روش تحقیق

پیچان‌رودی شدن رودها در درجه اول یک ویژگی پلانفرمی است و برای تشخیص تغییرات موقعیت و مورفولوژی پیچان‌رودها اغلب نیاز به بازه‌های زمانی نسبتاً طولانی دارد؛ بنابراین منابع اصلی مطالعه روی پیچان‌رودها شامل عکس‌های هوایی، تصاویر سنجش از دور، نقشه‌های تاریخی و تجزیه و تحلیل آنهاست. برای بررسی تغییرات پارامترهای مورفومتری پیچان‌رودهای رودخانه چهل‌چای-نرماب نیز، ابزار اصلی پژوهش را عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۵ محدوده گنبدکاووس با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ سازمان

جدول ۱: میزان توسعه قوس‌های پیچان‌رود بر مبنای زاویه مرکزی کورنیس (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۰)

زاویه مرکزی (درجه)	شکل رودخانه
-	مستقیم
۱-۴۱	شبه پیچان‌رودی
۴۱-۸۵	پیچان‌رودی توسعه نیافته
۸۵-۱۵۸	پیچان‌رودی توسعه یافته
۱۵۸-۲۹۶	پیچان‌رودی بیش از حد توسعه یافته
بیش از ۲۹۶	پیچان‌رودهای دارای دریاچه هلالی شکل

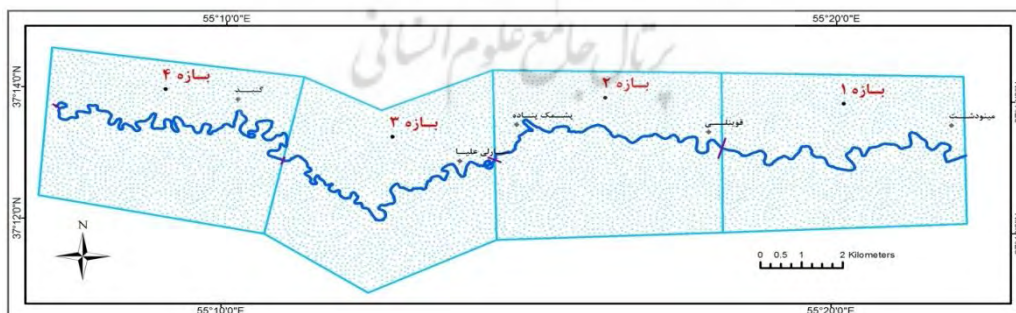


شکل ۱: موقعیت رودخانه چهل چای -نرماب و زیر شاخه‌های آن

محدوده و قلمرو پژوهش

محدوده مورد مطالعه در این تحقیق، رودخانه چهل چای-نرماب از شاخه‌های اصلی گرگان رود می‌باشد که در استان گلستان و بین مینودشت و گنبدکاووس واقع شده است. این حوضه بین ۵۵ درجه و ۷ دقیقه و ۲۸ ثانیه تا ۵۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۸ ثانیه طول شرقی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه و ۸ ثانیه عرض شمالی واقع

شده است این رودخانه از تلاقی سه رودخانه مجزا و مجاور هم به نام‌های چهل چای، نرماب و خرمارود تشکیل شده و در غرب گنبدکاووس به شاخه اصلی گرگان رود متصل می‌گردد (شکل ۱). طول تقریبی این رودخانه ۲۴ کیلومتر است. به منظور بررسی بهتر وضعیت مورفولوژی و مقایسه بخش‌های مختلف رودخانه، محدوده مورد مطالعه به ۴ بازه فرعی ۶ کیلومتری تقسیم گردید (شکل ۲).



شکل ۲: بازه‌های چهارگانه رودخانه چهل چای - نرماب

بحث اصلی

مقایسه پلان رودخانه چهل چای-نرماب در سال ۱۳۴۵ با پلان سال ۱۳۹۲، نشان می‌دهد که تغییرات

قابل توجهی در طول ۴۷ سال مورد بررسی در مورفولوژی کانال و همچنین پارمترهای مورفومتری این رودخانه صورت گرفته است (شکل ۳): لذا برای درک

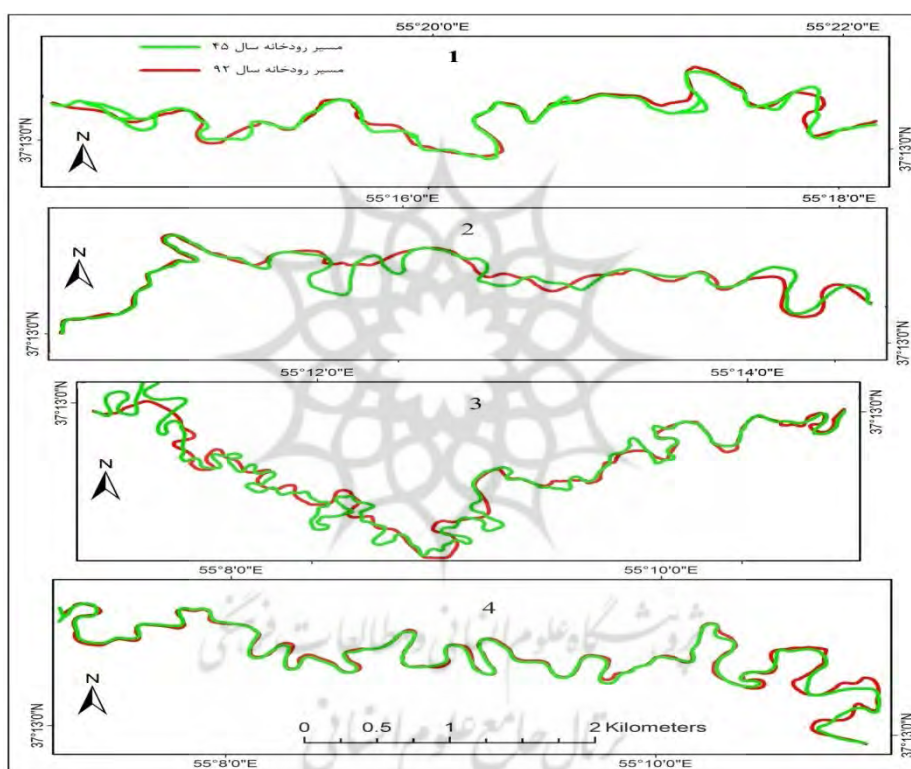
آبراهه می‌باشد. طول کانال رودخانه چهل‌چای-نرماب در بازه‌های یک، دو و بازه سوم کاهش یافته و فقط در بازه چهارم کمی افزایش نشان می‌دهد و در مجموع در این رودخانه از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ طول کانال تقریباً ۶ کیلومتر کاهش یافته است (جدول ۲).

میزان تغییرات صورت گرفته در مورفولوژی رودخانه چهل‌چای-نرماب، برخی پارامترهای هندسی این رودخانه در هر دو دوره با یکدیگر مقایسه می‌گردد:

طول کانال: یکی از شاخص‌های اصلی جهت مقایسه مورفومتری کانال‌ها، شاخص طول کانال یا طول دره

جدول ۲: مقایسه طول کانال در بازه‌های چهارگانه رودخانه چهل‌چای-نرماب در سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

کل بازه‌ها	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	
۴۹۵۳۱	۱۳۸۶۵	۱۵۲۴۶	۹۶۶۸	۱۰۷۵۲	طول کانال سال ۱۳۴۵ (متر)
۴۳۳۳۱	۱۴۶۶۱	۱۰۷۸۰	۸۳۲۴	۹۵۶۶	طول کانال سال ۱۳۹۲ (متر)
-۶۲۰۰	۷۹۶	-۴۴۶۶	-۱۳۴۴	-۱۱۸۶	میزان تغییرات



شکل ۳: شکل پلان رودخانه چهل‌چای-نرماب در بازه‌های چهارگانه در سال ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

کانال، CI، طول کانال (آبراهه) و VI، طول دره (بازه) می‌باشد.

$$P = \frac{CL}{VL} \quad \text{رابطه ۱}$$

با استفاده از این رابطه سینوزیته کانال رودخانه چهل‌چای-نرماب در بازه‌های چهارگانه محاسبه گردید (جدول ۳). با توجه به جدول ۳ ضریب خمیدگی یا سینوزیته رودخانه چهل‌چای-نرماب در تمامی بازه‌ها و

سینوزیته (ضریب خمیدگی): یکی دیگر از مشخصات مورفومتری رودخانه که جهت بررسی میزان تغییرات مسیر آبراهه استفاده می‌گردد شاخص سینوزیته می‌باشد که مقدار آن در هر بازه از طریق اندازه‌گیری طول کانال هر بازه با فاصله مستقیم که ابتدا و انتهای هر بازه را متصل می‌کند، مشخص می‌گردد. برای محاسبه میزان سینوزیته رودخانه‌ها از رابطه ۱ استفاده می‌گردد که در آن P، سینوزیته

به ۱/۴ کاهش یافته است). سینوزیته بیشتر از ۲ در بازه ۳ و ۴ نشان دهنده تکامل بیشتر پیچان رودهای رودخانه در آن قسمت می‌باشد.

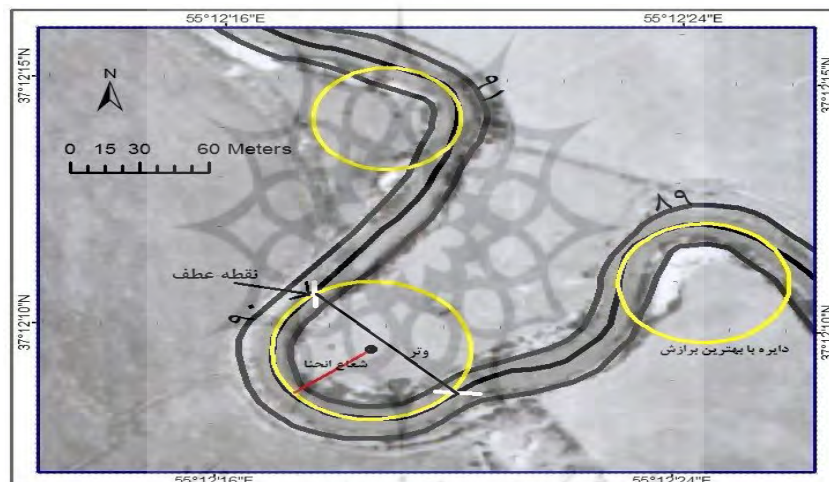
در هر ۲ دوره مورد مطالعه، مساوی یا بیشتر از ۱/۵ می‌باشد که نشان دهنده پیچان رودی بودن رودخانه در تمامی مسیر مورد مطالعه می‌باشد. (البته به صورت جزئی در بازه ۳ و در سال ۱۳۹۲ سینوزیته رودخانه

جدول ۳: سینوزیته (ضریب خمیدگی) رودخانه چهل چای - نرماب در بازه‌های چهارگانه

کل بازه ها	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	
۲/۱	۲/۳	۲/۵۴	۱/۶	۱/۸	سینوزیته سال ۱۳۴۵
۱/۸	۲/۴۴	۱/۸	۱/۴	۱/۶	سینوزیته سال ۱۳۹۲
-۰/۳	۰/۱۳	-۰/۷۴	-۰/۲	-۰/۲	میزان تغییرات

گرفته اما در بازه ۴، سینوزیته کانال به میزان ۰/۱۳ افزایش یافته است. بیشترین کاهش سینوزیته در بازه ۳ و به میزان ۰/۷۴ اتفاق افتاده است.

در مجموع ضریب خمیدگی رودخانه در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۴۵ به میزان ۰/۳ کاهش یافته که این کاهش در بازه‌های ۱، ۲ و ۳ صورت



شکل ۴: نحوه ترسیم دوایر مماس با قوس پیچان رودها با روش برابری (عکس هوایی رود چهل چای-نرماب)

گفته می‌شود. از نظر میانگین زاویه مرکزی تغییرات قابل ملاحظه‌ای بین بازه‌های چهارگانه و همچنین سال ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲ وجود ندارد. با این وجود شاخص میانگین زاویه مرکزی، در بازه‌های ۱ تا ۳ کاهش یافته اما در بازه ۴ در سال ۹۲ نسبت به سال ۴۵ افزایش اندکی نشان می‌دهد (جدول ۴).

زاویه مرکزی: از پارامتر زاویه مرکزی به‌عنوان معیاری برای تقسیم بندی و شناسایی میزان توسعه پیچان رودی یک رودخانه استفاده می‌شود. اگر از مرکز دوایر مماس بر قوس‌ها دو شعاع به نقاط عطف دوایر با دره رودخانه ترسیم شود، به زاویه ایجاد شده زاویه مرکزی و به شعاع دایره مماس بر قوس‌ها شعاع انحناء

جدول ۴: میانگین زاویه مرکزی پیچان رودهای هر کدام از بازه‌ها در سال ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

کل بازه ها	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	
۱۳۶/۳	۱۳۳/۹	۱۴۰/۷	۱۳۱	۱۳۲	میانگین زاویه مرکزی سال ۴۵ (درجه)
۱۳۴/۹	۱۴۹/۳	۱۳۱/۷	۱۱۹/۷	۱۲۵/۸	میانگین زاویه مرکزی سال ۹۲ (درجه)
-۱/۴	۱۵/۴	-۹	-۱۱/۳	-۶/۲	میزان تغییرات

تغییرات شاخص زاویه مرکزی رودخانه با تغییرات سینوزیته آن (جدول ۳) و همین‌طور با تغییرات تعداد پیچان‌رود (جدول ۶) همبستگی بالایی را نشان می‌دهد.

شعاع انحنا: در مقایسه زمانی، در تمامی بازه‌های رودخانه چهل‌چای-نرماب از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ افزایش میانگین شعاع انحنا صورت گرفته است. میانگین شعاع انحنا در بازه ۱ و بازه ۲ بیشتر و در بازه ۳ و بازه ۴ کمتر از سایر بازه‌ها می‌باشد (جدول ۵). شعاع انحنای بیشتر نشان دهنده فاصله بیشتر

پیچان‌رودها و در نتیجه تعداد کمتر آنهاست، در سال ۱۳۴۵ و حتی ۱۳۹۲ کمترین میزان شعاع انحنا در بازه ۳ دیده می‌شود که این بازه طبق جدول ۶ بیشترین تعداد پیچان‌رودها را در بین بازه‌ها دارد؛ بنابراین می‌توان گفت که بین شاخص شعاع انحنای رودها و تعداد پیچان‌رود آنها رابطه معکوسی وجود دارد. همچنین این وضعیت نشان دهنده رابطه معکوس این شاخص با شاخص سینوزیته رودخانه می‌باشد (جدول ۳) که در بازه‌های ۱ و ۲ کمتر و در بازه ۳ و ۴ بیشتر بوده است.

جدول ۵: میانگین شعاع انحنای پیچان‌رودهای هر کدام از بازه‌ها در سال ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

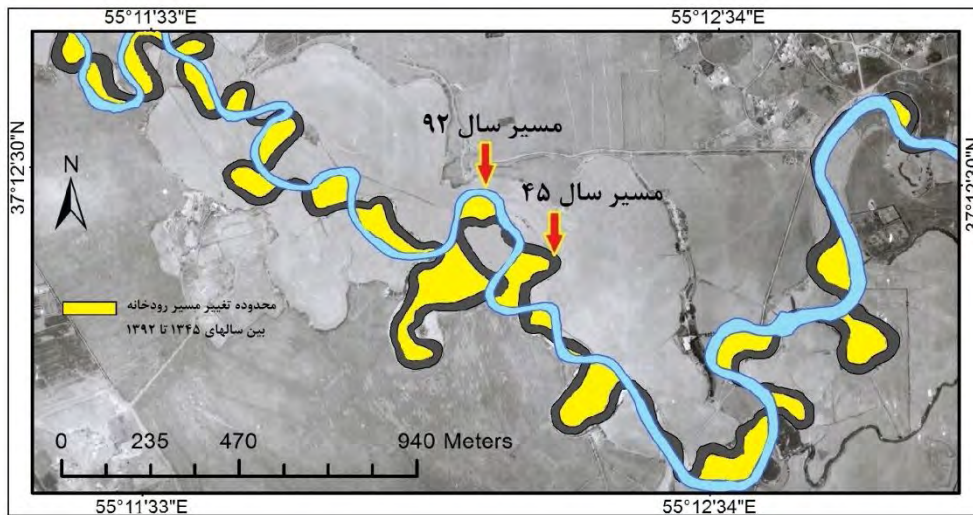
کل بازه‌ها	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	
۶۴/۲۸	۶۱/۴	۴۰	۱۰۶/۸	۹۹	میانگین شعاع انحنا سال ۴۵ (متر)
۸۹/۲۰	۸۰/۸	۶۷/۸	۱۰۷/۴	۱۳۲	میانگین شعاع انحنا سال ۹۲ (متر)
۲۴/۹۲	۱۹/۴	۲۷/۸	۰/۶	۳۳	میزان تغییرات

تعداد پیچان‌رود: پس از محاسبه پارامترهای مورفومتری رودخانه با استفاده از روش برآیس، پیچان‌رودهای رودخانه چهل‌چای-نرماب در هر یک از دوره‌های مورد مطالعه یعنی سال ۱۳۴۵ و سال ۱۳۹۲ بصورت مجزا ترسیم شد که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود تعداد پیچان‌رودهای رودخانه چهل‌چای-نرماب در

محدوده مورد مطالعه از ۱۷۵ پیچان‌رود در سال ۱۳۴۵ به ۱۴۴ پیچان‌رود در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته است. این موضوع نشان‌دهنده حذف ۳۱ حلقه پیچان‌رودی (حدود ۱۷/۷ درصد)، در طول ۴۷ سال مورد بررسی است. بیشتر پیچان‌رودهای حذف شده در محدوده بازه شماره ۳ قرار دارند (شکل ۵) که علل آن در بخش عوامل موثر بررسی شده است.

جدول ۶: مقایسه تعداد پیچان‌رود در بازه‌های چهارگانه رودخانه چهل‌چای - نرماب در سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

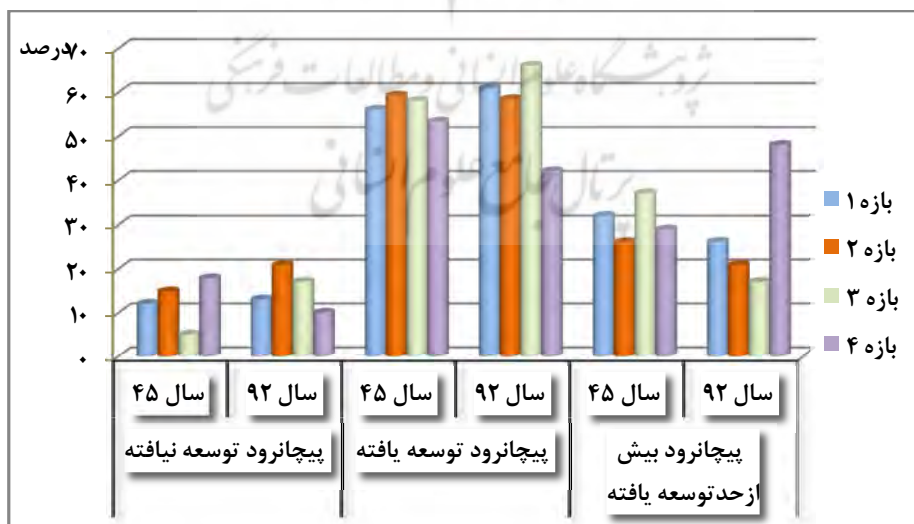
بازه	تعداد پیچان‌رود در سال ۴۵	درصد	تعداد پیچان‌رود در سال ۹۲	درصد	میزان تغییرات (تعداد پیچان‌رود)	درصد تغییرات
بازه ۱	۲۵	۱۴/۳	۲۳	۱۶	-۲	۱/۷
بازه ۲	۲۷	۱۵/۴	۲۴	۱۶/۷	-۳	۱/۳
بازه ۳	۷۸	۴۴/۶	۴۷	۳۲/۶	-۳۱	-۱۲
بازه ۴	۴۵	۲۵/۷	۵۰	۳۴/۷	۵	۹
مجموع	۱۷۵	۱۰۰	۱۴۴	۱۰۰	-۳۱	-۱۷/۷



شکل ۵: حذف تعداد زیادی از حلقه‌های پیچان رودی و مستقیم تر شدن مسیر کانال در بازه ۳ در طول ۴۷ سال

۸ درصد کاهش یافته است (شکل ۶).
 میزان پیچان رودهای بیش از حد توسعه یافته از ۳۲ درصد در سال ۱۳۴۵ به ۳۰ درصد در سال ۱۳۹۲ کاهش یافته که این کاهش بیشتر در بازه‌های ۱ تا ۳ اتفاق افتاده است اما برخلاف این سه بازه، در بازه ۴ پیچان رودهای بیش از حد توسعه یافته از ۳۰ درصد در سال ۱۳۴۵ به ۴۸ درصد در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته است که این افزایش با افزایش سینوزیته در این بازه (طبق جدول ۳) مطابقت دارد.

نوع پیچان رود: از نظر نوع و میزان توسعه یافتگی پیچان رودها طبق تقسیم بندی کورنیس، بیشتر پیچان رودهای رودخانه چهل چای-نرماب در هر دو دوره زمانی از نوع پیچان رودهای توسعه یافته هستند (حدود ۵۶ درصد). پیچان رودهای توسعه نیافته رودخانه از ۱۱ درصد در سال ۱۳۴۵ به حدود ۱۵ درصد در سال ۱۳۹۲ افزایش یافته است که این افزایش در بازه‌های ۱ تا ۳ اتفاق افتاده ولی در بازه ۴ پیچان رودهای توسعه نیافته در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۴۵ حدود



شکل ۶: نمودار درصد توسعه یافتگی پیچان رودها در بازه‌های چهارگانه رودخانه در سال‌های ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

بصورت میدانی و هم از روی تصاویر هوایی و ماهواره‌ای عرض آبراهه مورد مطالعه با دقت اندازه‌گیری گردید که شرح آن در جدول ۸ آمده است.

عرض کانال: یکی از پارامترهای مورفومتری رودخانه که در تمامی مطالعات ریخت‌شناسی و مورفولوژیکی رودخانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، اندازه عرض کانال فعال رودخانه می‌باشد، در این تحقیق نیز، هم

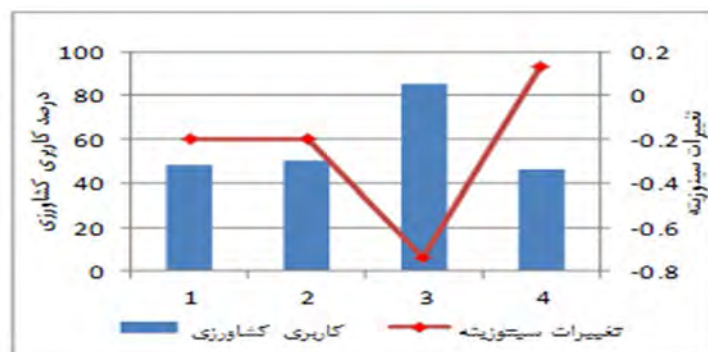
جدول ۸: میانگین عرض کانال بازه‌ها در سال ۱۳۴۵ و ۱۳۹۲

کل بازه‌ها	بازه ۴	بازه ۳	بازه ۲	بازه ۱	
۳۸/۳	۴۲/۸	۲۵/۹۹	۴۴/۵	۴۴/۵	میانگین عرض کانال سال ۴۵ (متر)
۲۹/۳	۲۶/۶	۲۶/۲۴	۳۱/۶	۳۴/۶	میانگین عرض کانال سال ۹۲ (متر)
-۹	-۱۶/۲	۰/۳	-۱۲/۹	-۹/۹	میزان تغییرات

عنوان یکی از عوامل تاثیر گذار توجیه کننده، بیشترین تغییرات سینوزیته و تعداد پیچانرود در این بازه می‌باشد. در مقابل کمترین تغییرات مورفومتری در طول دوره مورد بررسی در بازه ۴ اتفاق افتاده است. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که کاربری مسکونی شهر گنبد باعث کاهش تغییرات و ثبات نسبی در شاخص‌های مورفومتری رودخانه در این بازه شده است. ایجاد سیل بندها و سایر تاسیسات حفاظتی را در حاشیه رودخانه در مناطق مسکونی می‌توان دلیل اصلی پایداری کانال رودخانه در این بخش‌ها دانست؛ همچنین، بازه ۴ بیشترین درصد ماسه را در بافت خاک در بین بازه‌ها دارد که می‌تواند در کاهش تغییرات مورفومتری در این بازه تاثیر گذار باشد. شکل ۸ میزان این ارتباط را نشان می‌دهد. در بازه‌های ۱ و ۲ نیز کاربری برداشت شن و ماسه بیشترین نقش را در بین سایر عوامل داشته است. (شکل ۹).

با توجه به جدول فوق مشاهده می‌شود که عرض کانال از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ در تمامی بازه‌ها غیر از بازه ۳ به میزان قابل توجهی کاهش یافته است. در بازه ۳ از نظر عرض کانال تغییر چندانی صورت نگرفته است. در این بازه در هر دو دوره زمانی کمترین اندازه عرض کانال مشاهده می‌شود، با توجه به اینکه بیشترین تغییرات از نظر تعداد پیچانرود در این بازه صورت گرفته شاید بتوان گفت که عرض کم بازه یکی از دلایل این تغییرات بوده است.

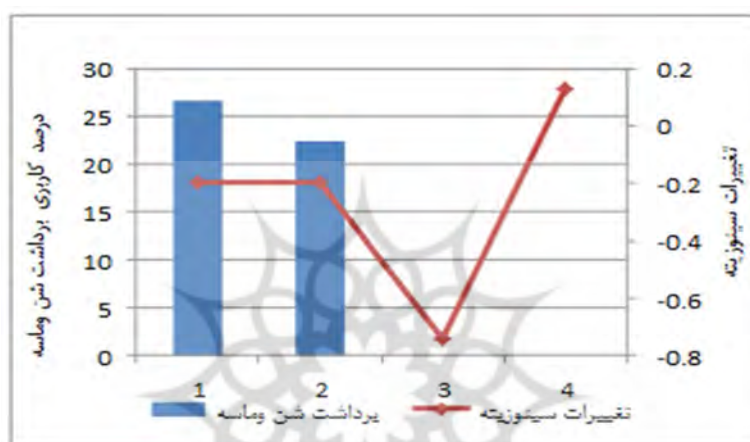
عوامل موثر در تغییرات مورفومتری پیچان رودهای چهل‌چای - نرماب: بیشترین تغییرات مورفومتری از قبیل سینوزیته و تعداد پیچانرود در بازه ۳ اتفاق افتاده است. بررسی عوامل موثر در تغییرات مورفومتری رودخانه نشان داد که کاربری کشاورزی (شکل ۷) و همچنین افزایش سرعت آب در این بازه به علت عرض کم رودخانه در محدوده این بازه (جدول ۸) می‌تواند از دلایل اصلی این تغییرات باشد. البته شیب کم محدوده این بازه نیز به



شکل ۷: نمودار ارتباط کاربری کشاورزی با تغییرات سینوزیته بازه‌ها



شکل ۸: نمودار ارتباط بافت خاک (درصد ماسه) با تغییرات سینوزیته بازه‌ها



شکل ۹: نمودار ارتباط کاربری برداشت شن و ماسه با تغییرات سینوزیته بازه‌ها

عددی ۰/۹۷۵ تایید شده است.

آزمون یافته‌ها

برای اطمینان از صحت بررسی روند تغییرات مورفومتری در بازه‌های مختلف رودخانه مورد مطالعه، مقدار تغییر سینوزیته بازه‌ها با میزان تغییرات تعداد پیچان رود در نرم افزار SPSS 16 از نظر میزان همبستگی مورد آزمون قرار گرفت که نتیجه آزمون همبستگی برای این متغیرها، در سطح ۰/۰۵ با مقدار

نتیجه‌گیری

بررسی مورفولوژی و پیچان‌رودهای رودخانهٔ چهل‌چای-نرماب در این تحقیق نشان داد که در طول دورهٔ ۴۷ ساله مورد بررسی، از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲، مقادیر اغلب پارامترهای مورفومتری این رودخانه کاهش یافته است (جدول ۹).

جدول ۹: بررسی کلی تغییرات پارامترهای مورفومتری رودخانهٔ چهل‌چای-نرماب در دوره ۴۷ ساله

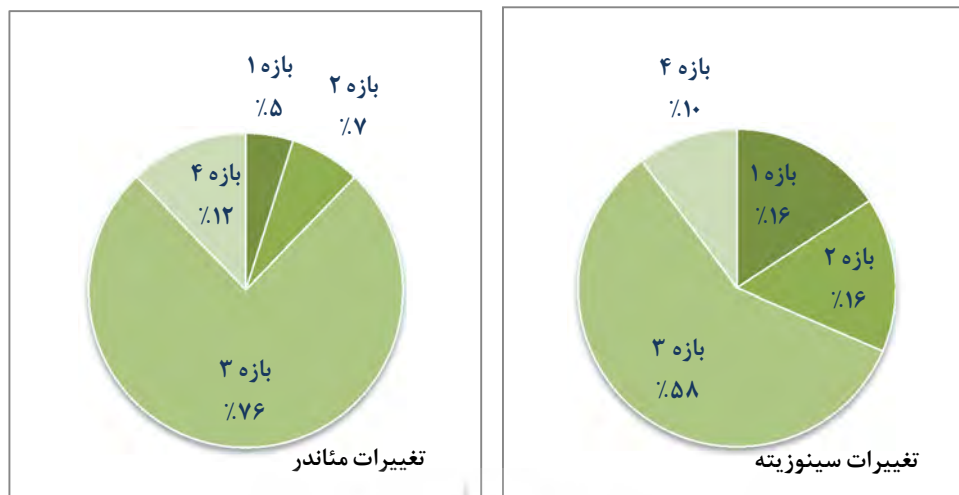
عرض کانال (متر)	زاویهٔ مرکزی	تعداد پیچان رود	سینوزیته	طول کانال (متر)	
۳۸/۳	۱۳۶/۳	۱۷۵	۲/۱	۴۹۵۳۱	۱۳۴۵
۲۹/۳	۲۹/۳	۱۴۴	۱/۸	۴۳۳۳۱	۱۳۹۲
-۹	-۱/۴	-۳۱	-۰/۳	-۶۲۰۰	تغییرات

که بازهٔ ۳ در بین بازه‌ها بیشترین تغییرات را داشته است. سینوزیتهٔ کانال در بازهٔ ۳، ۰/۷۴ و تعداد

همچنین بررسی تغییرات صورت گرفته در بازه‌های چهارگانهٔ رودخانهٔ چهل‌چای-نرماب نشان داد

و گسترده‌ای در مورفولوژی کانال در این بخش از رودخانه در دوره ۴۷ ساله می‌باشد (شکل ۱۰).

پیچان‌رودها ۳۱ مورد، نسبت به سال ۱۳۴۵ کاهش یافته است، در حالی که این مقدار در سایر بازه‌ها خیلی کمتر است و این امر نشان‌دهنده تغییرات بسیار وسیع



شکل ۱۰: مقایسه تغییرات صورت گرفته در پارامتر سینوزیته و پارامتر تعداد پیچان‌رود از سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۹۲ در بین بازه‌های چهارگانه رودخانه چهل‌چای-نرماب

میزان شیب، بافت خاک و عوامل انسانی نظیر شیوه‌های مختلف کاربری اراضی در حاشیه رودخانه می‌باشد. میزان تاثیرگذاری هر کدام از این عوامل در بازه‌ها و بخش‌های مختلف رودخانه متفاوت است. در بازه ۱ و ۲، برداشت شن و ماسه بیشترین نقش را ایفاء می‌کند که با نتایج یافته‌های محمودی و نوحه‌گر (۱۳۸۲) و شایان و همکاران (۱۳۹۲) مطابقت دارد. در بازه ۳، فعالیت‌های کشاورزی در حاشیه رودخانه بیشترین تأثیر را داشته که با یافته‌های یمانی و همکاران (۱۳۸۹)، علایی طالقانی و همکاران (۱۳۹۱) و همچنین مقصودی و همکاران (۱۳۸۹) همخوانی دارد. به‌علاوه میزان شیب در این بازه کمتر است. مهم‌ترین عامل موثر در تغییرات مورفومتری رودخانه در بازه ۴، وجود بیشترین درصد ماسه در بافت خاک این بازه می‌باشد.

هر چند در طول ۴۷ سال مورد بررسی در این تحقیق، تغییرات در بازه ۴ کمتر بوده، اما میزان سینوزیته و تعداد پیچان‌رودهای بیش از حد توسعه یافته در این بازه زیاد است و پیچان‌رودهای با توسعه یافتگی زیاد، مناطق حساس و پر خطری را به‌وجود

نتایج بررسی پارامترهای مورفومتری رودخانه نشان داد که روند تغییرات در بازه‌های چهارگانه با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در بازه ۱ تا بازه ۳ مقادیر اغلب پارامترهای مورفومتری از سال ۱۳۴۵ تا سال ۱۳۹۲ کاهش یافته در حالی که در بازه ۴ این مقادیر در این مدت افزایش داشته است. مثلاً از نظر شاخص‌هایی مانند طول کانال، سینوزیته و تعداد پیچان‌رود، مقدار هر سه پارامتر در سه بازه اول، کاهش و در بازه چهارم افزایش داشته است. کاهش سینوزیته در سه بازه اول منجر به کاهش تعداد پیچان‌رودهای بیش از حد توسعه یافته و افزایش پیچان‌رودهای توسعه یافته و توسعه نیافته در این بازه‌ها شده است، در حالی که در بازه چهارم به دنبال افزایش سینوزیته، تعداد پیچان‌رودهای بیش از حد توسعه یافته نیز افزایش یافته (۱۹/۱ درصد) و در مقابل از تعداد پیچان‌رودهای توسعه یافته و توسعه نیافته به همان میزان کاسته شده است.

عوامل تاثیرگذار در تغییرات مورفولوژیکی رودخانه چهل‌چای-نرماب که در بخش عوامل موثر بررسی گردید، شامل عوامل طبیعی مانند تغییرات دبی،

- مورد: رودخانه قره آغاج، جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص ۸۹-۱۰۲.
۴. ثروتی، محمدرضا، رضایی محمدحسین مقدم، و صیاد اصغری. ۱۳۹۱. بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه انجمن جغرافیای ایران، شماره ۳۴، صص ۸۵-۱۰۲.
۵. رضایی مقدم، محمدحسین، عادل محمدفرو، و خلیل ولیزاده کامران. ۱۳۹۱. آشکارسازی تغییرات کناری و شناسایی مناطق خطر رودخانه آجی چای در محدوده خواجه تا ونبار، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴۸، صص ۱-۱۴.
۶. سیف، عبدالله و نجمه نجمی. ۱۳۹۱. شناسایی پیچان رودهای رودخانه کارون با استفاده از روش برازش حلقه‌های دوایر مماس با محور رودخانه و تعیین میزان توسعه آنها، جغرافیای طبیعی، شماره ۱۷، صص ۳۷-۵۰.
۷. شایان، سیاوش، محمد شریفی‌کیا و هدیه دهستانی. ۱۳۹۲. استخراج و اندازه گیری تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کشکان ناشی از برداشت شن و ماسه، پژوهش‌های فضای جغرافیایی، شماره ۴۳، صص ۱۹۱-۲۰۷.
۸. شریفی کیا، محمد و نعمت مال‌امیری. ۱۳۹۱. آشکارسازی تغییرات الگوی مکانی رودخانه هیرمند و تحلیل مورفولوژیکی آن، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۴۹-۱۶۰.
۹. علایی طالقانی، محمود، فرشاد حاصلی و مجید احمدی ملاوردی. ۱۳۹۲. ارزیابی نقش انسان در فرسایش کناره‌ای و گسترش جانبی مئاندرهای رودخانه گاماسیاب در دشت بیستون، جغرافیا و پایداری محیط، شماره ۶، صص ۱۰۷-۱۲۰.
۱۰. محمودی، فرج اله و احمد نوحه گر. ۱۳۸۲. بررسی برداشت مصالح (شن و ماسه) بر شکل بستر، شکل و رژیم رودخانه میناب، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۴۵، صص ۴۵ تا ۵۸.
۱۱. مقصودی، مهران، سیامک شرفی و یاسر مقامی. ۱۳۸۹. روند تغییرات الگوی مورفولوژیکی رودخانه خرم‌آباد با استفاده از آر اس، جی‌آی‌اس و اتوکد، برنامه ریزی و آمایش فضا، شماره ۳، صص ۲۷۵-۲۹۴.
۱۲. یمانی، مجتبی و محمدمهدی حسین زاده. ۱۳۸۱. بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از

آورده است که در صورت پیدایش شرایط، احتمال قطع شدگی و تغییرات بسیار وسیع در این بخش‌ها وجود دارد. افزایش سینوزیته و تعداد پیچان‌های بیش از حد توسعه یافته در بازه چهارم می‌تواند در آینده نزدیک تغییرات زیادی را بدنبال داشته باشد. این نوع پیچان‌رودها چون خمیدگی زیادی در محل قوس‌ها دارند و در آستانه قطع شدن قرار گرفته‌اند در صورت مهیا شدن شرایط (مانند وقوع سیلاب‌ها)، با ایجاد میانبر به صورت پیچان‌رودهای متروک در می‌آیند، همانطور که این اتفاق برای پیچان‌رودهای بازه سوم اتفاق افتاده و در طول دوره مورد مطالعه ۲۴ پیچان رود متروک در مسیر رودخانه در این بازه به جا مانده است. با توجه به این نکته که ۵۳/۷ درصد این بازه در حاشیه شهر گنبد کاووس واقع شده، چنانکه این تغییرات در مسیر رودخانه می‌تواند منجر به ایجاد مشکلات متعدد در سازه‌ها و ایجاد نابسامانی در توسعه فضایی شهر گردد. با این وجود همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، مطالعات پژوهشی در این زمینه اندک است و در پایان ضمن پیشنهاد انجام تحقیقات بیشتر در زمینه مخاطرات حاصله و پایش آن، توصیه می‌شود که مسأله عقب نشینی از کناره‌های کاو در پیچان‌رودهای بیش از حد توسعه یافته این رودخانه به عنوان مناطق ناپایدار و رعایت حریم آن، حفظ پایداری کناره‌ها را نیز باید به مرحله اجرا درآورد.

منابع

۱. ارشد، صالح، سعید مرید و هادی میر ابوالقاسمی. ۱۳۸۶. بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها با استفاده از سنجش از دور، مطالعه موردی رودخانه کارون. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۶۲، صص ۱۸۰-۱۹۵.
۲. اسماعیلی، رضا، محمدمهدی حسین‌زاده و صدرالدین متولی. ۱۳۹۰. تکنیک‌های میدانی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای. چاپ اول، تهران، انتشارات لاهوت.
۳. بیانی خطیبی، مریم. ۱۳۹۱. بررسی و تحلیل نوع و مدت جابه‌جایی‌ها در مسیر رودخانه‌های مئاندری و نقش جابه‌جایی‌ها در فرسایش کناری در نواحی نیمه خشک،

20. Li Luqian, XiXi Lu, and Zhongyuan, Chen. 2007. River channel change during the last 50 years in the middle yangtze River, the Jianli reach. *Sciencedirect, Geomorphology*, 85: 185-196.
21. Nagy, A.C., Toth, T., Vajk, O. and Sztano, O. 2010. "Erosional scours and meander development in response to river engineering: middle Tisza region, Hungary" *Proceedings of the Geologists Journal*, 121(4): 238-247.
22. Pulak Das, 2012. Study of Barak River Meander and Associated Hazard around Silchar Town, Assam, Using Remote Sensing and GIS. *Earth Scince India*.
23. Rozo, M.G., Nogueira, A.C.R. and Carlomagno, S.C. 2014. Remote sensing-based analysis of the planform changes in the Upper Amazon River over the period 1986e2006. *Earth Surf. Process. Landf.* 37: 1471-1488.
24. Sarma, J.N. 2005. Fluvial process and morphology of the Brahaputra River in Assam, India. *Geomorphology*, 70(3-4): 226-256.
25. Swanson, B.J. 2012. The Impact of dams, droughts and tributary drainage on channel form and process: Rio Grande and Rio Chama, New Mexico. Ph.D., Earth and Planetary Sciences, University of New Mexico, 2012.
- شخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۸۳، صص ۱۴۴-۱۵۴.
۱۳. یمانی، مجتبی، جواد دولتی و علیرضا زارعی. ۱۳۸۹. تاثیرگذاری عوامل هیدروژئومورفیک در تغییرات زمانی و مکانی بخش میانی رودخانه اترک، تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۹، صص ۱-۲۴.
14. Aswathy, M.V., Vijith, H., and Sateesh, R. 2007. Factors influencing the sinuosity of Pannagon River, Kottayam, Kerala. India: An assessment using remote sensing and GIS, Springer Science.
15. Bawa, N., Jain, V., Shekhar, Sh., Kumar, N. and Jyani, V. 2014. Controls on morphological variability and role of stream power distribution pattern, Yamuna River, western India. *Elsevier, Geomorphology*.
16. Chang, T.P. and Toebes, G.H. 1970. A Statistical Comparison of Meander Planforms in the Wabash Basin, *Water Resources Research*, 6: 557-578.
17. Cook, R.U. and Doornkamp, J.C. 1990. *Geomorphology in environment management*, Second Edition, Clarendon Press, Oxford. pp: 100-105.
18. Hooke, J.M. and Schroder, J. 2013. *River Meandering*. In: Wohl, E, ed *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, pp. 260-288.
19. Lancaster, S.T. and Bras, R.L. 2002. A Simple Model of River Meandering and its Comparison to Natural Channels, *Hydro- Process*, 16: 1-26.