https://doi.org/10.22131/sepehr.2023.555968.2881

تحلیل تغییرات زمانی و پایداری پلانفرم آبراهه رود نکا – مازندران

محمدمهدی حسین‌زاده[۱] رضا اسماعیلی[۲]

محسن نبی‌زاده بهنمیری[۳]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۳

****

چکیده

تغییرات الگوی رودخانه، یکی از مهم‌ترین مسائل مهندسی رودخانه است که فعالیت‌ها و سازه‌های عمرانی را در حاشیه رودخانه‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. هدف از انجام این پژوهش بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه نکارود برای یک دورهٔ ۳۵ساله بین سال‌های ۱۳٦٤ تا ۱۳۹۹ از شهر نکا تا محل اتصال رودخانه به دریای خزر است. در پژوهش حاضر رودخانه نکا به طول ۳۹ کیلومتر در بخش جلگه ساحلی از شهر نکا تا ساحل دریای خزر موردمطالعه قرار گرفته است. به‌منظور بررسی تغییرات مسیر رودخانه در سه مقطع زمانی، از سه شاخص مورفومتری، مورفولوژی و مورفودینامیک با استفاده از روش ترانسکت استفاده شده است. در پایان تغییرات کرانه چپ و راست کانال در دوره آماری موردمطالعه، در نرم‌افزار SPSS مورد آزمون آماری قرار گرفته است. نتایج حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی نشان می‌دهد که مقادیر ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، زوایای قوس‌ها در طول رودخانه از بالادست به‌طرف پایین‌دست کاهش یافته است. باتوجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که رودخانه نکا رود طی ۳۵ سال از نظر شاخص‌های مورد بررسی اعم از مورفولوژی، مورفومتری و مورفودینامیک تغییرات محدودی داشته است. دلایل این شرایط، وجود کشت زیاد در اطراف رودخانه و حفاظت از کرانه رودخانه، ایجاد بندهای ذخیره و انحراف آب در بخش دوم یعنی در بخش میانی جلگه و سدسازی بر روی این رودخانه (سد گلورد و سایر سدها) بوده است.

واژه‌های کلیدی: مورفولوژی رودخانه، ضریب خمیدگی، پیچان‌رودی، نکارود، تغییرات الگو

****

۱- دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران (نویسنده مسئول) m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

۲- دانشیار، دانشکده ادبیات و علوم انسانی ، دانشگاه مازندران، بابلسر r.esmaili@umz.ac.ir

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران mohsennnabizadeh@gmail.com

۱- مقدمه

تغییرات الگوی رودخانه، یکی از مهم‌ترین مسائل مهندسی رودخانه است که فعالیت‌ها و سازه‌های عمرانی را در حاشیه رودخانه‌ها تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. مطالعه تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های رودخانه‌ای به‌منظور راهکارهای کنترلی مناسب برای حل مشکلات دینامیکی این نواحی، اهمیت دارد *(خوش‌رفتار، ۱۳۹۸: ۱۷)*. تغییر در پارامترهای پیچان‌رود می‌تواند ناشی از تغییرات توسط بشر، تغییر در رژیم هیدرولوژی رودخانه، تغییرات اکولوژیکی و یا ناشی از ژئومورفولوژی منطقه باشد.

آگاهی و درک تغییرات مورفولوژی پیچان‌رودها و دینامیک طبیعی سیستم‌های رودخانه‌ای برای اهداف برنامه‌ریزی، شهرسازی، سدسازی، فرسایش و رسوب، جاده‌سازی و حفاظت و بازسازی کانال‌های رودخانه‌ها بسیار مهم است. با آگاهی از میزان تغییرات در پارامترهای به‌خصوص طول و عرض جریان در یک منطقه می‌توان آینده پیچان‌رود و رودخانه‌ها را پیش‌بینی نمود. همچنین مدیران حوضه آبخیز با شناخت از تغییرات پارامترهای پیچان‌رود که معمولاً جزء رودخانه‌های مهم حوضه آبخیز هستند می‌توانند تصمیمات بهتر و بهینه برای کاهش خسارات ناشی از این تغییرات بگیرند *(یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲: ۵)*.

مهاجرت پیچان‌رودها از روابط متقابل میان آب، حمل رسوب و شکل کانال (پلانفرم کانال و مورفولوژی بستر) حاصل می‌شود *(اسماعیلی و دلیری، ۱۳۹۸: ۱۴۳)*. عملکرد سیستمی رودخانه موجب می‌شود هر تغییری در مؤلفه‌های رود، بر سایر متغیرها نیز تأثیر بگذارد. فرسایش کرانه رود یکی از علل عمده غیرنقطه‌ای منابع آب و افزایش بار رسوب در بسیاری از رودخانه‌ها است *(حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۵: ۵۵)*.

از نظر تاریخی مسیر رودخانه‌ها و رودها اولین اشکال جغرافیایی هستند که بر روی نقشه نمایش داده شده‌اند. در واقع الگوی کانال، بیان‌کنندهٔ خلاصه‌ای از جریان، ماهیت و توزیع فرایندهای فیزیکی در انواع مختلف رودها، تعیین‌کننده اصلی شکل کانال و دشت سیلابی هستند. شکل کانال یک راهنمای اولیه مناسب برای تعیین مورفولوژی و تغییرات شکل کانال در رودخانه‌های آبرفتی می‌باشد *(حسین‌زاده و اسماعیلی، ۱۳۹۵: ۲۳۵)*. در واقع واضح‌ترین ویژگی رودخانه، پلانفرم یا فرم هندسی پلان آن هست که ویژگی‌های کانال و دشت سیلابی را در یک رودخانه آبرفتی نشان می‌دهد. Nanson and Hickin (1999)، الگوهای کانالی را به چهار طبقه شامل مستقیم، پیچان‌رودی، شریانی (گیسویی) و آناستوموسینگ (مجاری به‌هم‌پیوسته یا انشعابی) طبقه‌بندی می‌کنند.

بخش جلگه‌ای استان مازندران محل جریان رودخانه‌های متعددی است که از رشته‌کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و در جهت جنوب به شمال با عبور از بخش جلگه‌ای وارد دریای خزر می‌شوند. در امتداد این رودخانه‌ها سکونتگاه‌های مختلف و فعالیت‌های اقتصادی متعددی در حال انجام است. یکی از رودخانه‌های این حوضه رودخانه نکا است که بعد از خروج از کوهستان وارد شهر نکا شده و در ادامه با عبور از زمین‌های کشاورزی و روستاهای مسیر به دریا می‌ریزد. در این مسیر بر روی رودخانه و امتداد آن سازه‌های مهندسی مختلفی احداث شده است. این فعالیت‌ها و سازه‌ها از تغییرات کانال و رژیم سیلابی این رودخانه متأثر شده و در آینده نیز می‌تواند تهدیدکننده تأسیسات انسانی باشد. در سال‌های گذشته همزمان با وقوع سیلاب‌های مخرب، خسارت‌هایی از جمله تخریب پل، فرسایش کرانه‌ای و آب بردگی زمین‌های کشاورزی حاشیه رودخانه رخ داده است. بنابراین فهم و شناخت مورفودینامیک رودخانه، تغییرات کانال و روند تاریخی این تغییرات می‌تواند در جهت جلوگیری از این مخاطرات کمک‌کننده باشد.

با توجه به اهمیت موضوع بررسی تغییرات الگوی رودخانه مطالعات مختلفی در سطح جهان انجام شده که می‌توان به مطالعه هندسه پلانفرم و جابه‌جایی کانال در رودخانه‌های پیچان‌رودی در دشت‌های کانادا ***(Nicoll and Hickin، 2014)***،

تأثیر انحراف اکولوژیکی آب بر احیای پوشش گیاهی در پایین‌دست رودخانه تاریم با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور جفت و بررسی میدانی *(Bao et al ،2021)*، تغییرات در پارامترهای پیچ‌وخم و پیش‌بینی مهاجرت کانال در قسمت آبرفتی رودخانه باراکا با استفاده از تصاویر سنجش از دور لندست چند دوره‌ای، تحقیقات میدانی از بستر کانال و خواص ساحل و پوشش گیاهی ساحلی *(Anayat and Sandra 2020)*، اثرات مستقیم کردن کانال و حذف پیچ‌وخم رودخانه در تلفات گسترده در پیچیدگی جریان و خدمات اکوسیستم *(Zhou and Enderney ،2020)*، بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و تغییرات دو رودخانه پیچان‌رودی در کین قایی فلات تبت *(Guo et al ،2021)*، بررسی مهاجرت و جابه‌جایی رودخانه در دلتای اکاوانگو در بوتسوانا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای *(Yan et al ،2021)* و بررسی داده‌های تاریخی و تصاویر سنجش از دور برای درک بهتر تکامل دلتای رودخانه زرد *(Li et al ،2021)* اشاره کرد.

در خصوص رودخانه‌های ایران نیز مطالعات مختلفی در دو دهه اخیر صورت گرفته است که می‌توان به بررسی الگوی پیچان‌رودی تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویهٔ مرکزی واقع در جلگه ساحلی مازندران *(یمانی و حسین‌زاده، ۱۳۸۳)*، مطالعه مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه زهره در جلگهٔ ساحلی هندیجان *(معصومی و همکاران، ۱۳۹۱)*، ارزیابی تغییرات طول و عرض جریان در رودخانه کارون با استفاده از تصاویر ماهواره لندست سال‌های ۱۳٦۸ و ۱۳۸٤ به کمک سنجش از دور *(یوسفی و همکاران،۱۳۹۲)*، تحلیل اثرات احداث سد بر ویژگی‌های پیچان‌رودی قسمت‌های میانی گرگان رود در استان گلستان *(اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹٦)*، بررسی نقش عوامل مؤثر بر پیچان‌رود شدن و تغییرات رودخانه دالکی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی *(المدرسی و همکاران، ۱۳۹۷)*، مطالعه پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدودهٔ ماه‌نشان *(خوش‌رفتار و همکاران، ۱۳۹۸)* و تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیچان‌رودهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان *(اسماعیلی و دلیری، ۱۳۹۸)* اشاره کرد. در تعدادی از مطالعات هم با استفاده از روش ترانسکت (متساوی‌البعد) تغییرات مورفولوژی رودخانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است *(یمانی و همکاران ۱۳۹٤، رضایی مقدم و همکاران ۱۳۹۵، رورده و همکاران ۱۳۹۵ و اسفندیاری و همکاران ۱۳۹۹)*.

هدف از انجام پژوهش حاضر بررسی روند تغییرات مورفولوژیکی رودخانه نکارود برای یک دورهٔ ۳۵ساله (۱۳٦٤ تا ۱۳۹۹) از شهر نکا تا محل اتصال رودخانه به دریای خزر می‌باشد.

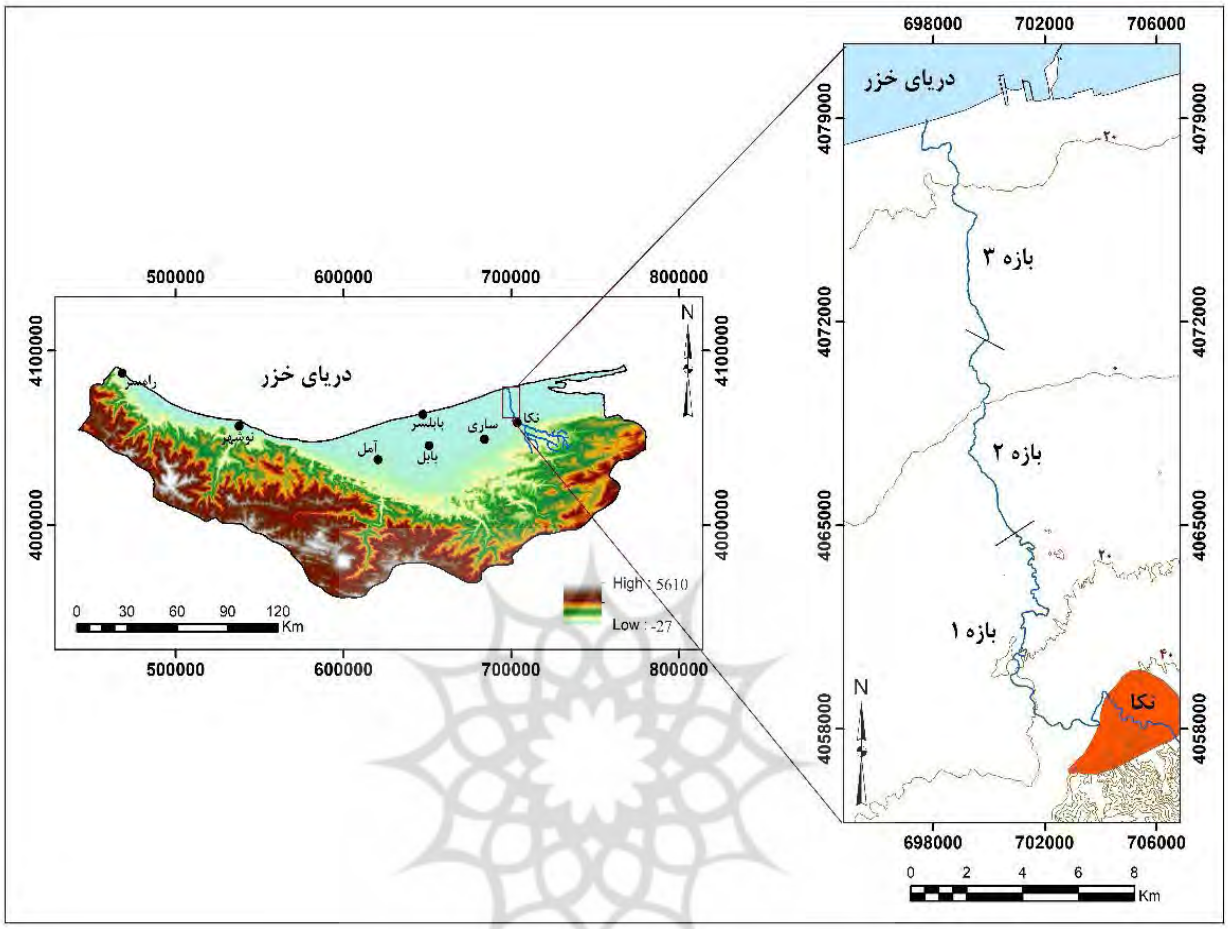
در راستای این تحقیق تلاش شد در ابتدا رودخانه نکا در کل مسیر جریان آن در جلگه براساس شاخص الگوی پیچان‌رودی طبقه‌بندی شود. براساس تفاوت الگو، بررسی مورفولوژیکی و مورفودینامیکی صورت پذیرد و مناطقی که بیشتر در معرض تغییر کانال و مخاطرات احتمالی ناشی از فرسایش کرانه‌ای است مورد شناسایی قرار گیرند.

۲- محدوده تحقیق

رودخانه نکا از دو بخش شاهکوه بالا و شاهکوه پایین در قسمت جنوبی گرگان سرچشمه می‌گیرد و پس از گذشتن از شهر نکا به دریای خزر می‌ریزد. محدودهٔ این حوضه در سه استان مازندران، سمنان و گلستان می‌باشد. مساحت حوضه مقدار ۲۱۱۳ کیلومتر و طول رودخانه نکا در حدود ۱۷٦ کیلومتر است *(عبداللهی کاکرودی و همکاران، ۱۳۹٦: ۱۵۹)* که قسمت عمده‌ای از آن در محدوده کوهستانی قرار گرفته است. در این پژوهش بخشی از رودخانه نکا از پایین‌دست شهر نکا تا ساحل دریای خزر به طول ۳۹ کیلومتر موردمطالعه قرار گرفته است (نگاره۱). این محدوده از رسوبات آبرفتی کواترنر تشکیل شده است و اراضی کشاورزی مهم‌ترین کاربری زمین این منطقه محسوب می‌شوند.

۳- داده و روش

در این مطالعه تغییرات الگو و پلان هوایی رودخانه نکارود در محدوده جلگه ساحلی از طریق مقایسه منابع



نگاره۱: نقشه منطقه و بازه‌های موردمطالعه در رودخانه نکارود در محدوده جلگه ساحلی خزر

تصویری متوالی از سنوات گذشته و امروز مورد بررسی قرار گرفته است.

در ابتدا نکارود به سه قسمت بالایی، میانه و قسمت پایینی تقسیم شده و تغییرات مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. با این روش میزان جابه‌جایی، تغییر ابعاد و الگوی پیچ‌ها مشخص گردید. به روش تغییرات تاریخی نقشه مسیر رود مربوط به دوره‌های مختلف از طریق رقومی کردن مسیر بر مبنای عکس‌های هوایی سال ۱۳٦٤ *(سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح)* و تصاویر ماهواره‌ای *(اقتباس شده از محیط گوگل ارث)* سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ در محیط نرم‌افزار GIS انجام شده است. در ادامه دو طرف مسیر رودخانه در تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ ترسیم شد و همهٔ مراحل انجام شده به نرم‌افزار ARC GIS وارد شد و در نهایت مسیر رودخانه در دو سال ذکر شده به‌صورت دو لایه مجزا درآمد و آماده انجام بررسی قرار گرفت. برای عکس‌های هوایی سال ۱۳٦٤ ابتدا تصاویر با هم در محیط نرم‌افزار فتوشاپ یکی شده و سپس در نرم‌افزار ARC GIS عمل ژئورفرنس روی آن انجام شد و مسیر رودخانه در این سال ترسیم گردید و یک لایه قابل آنالیز از مسیر رودخانه در سال ۱۳٦٤ به‌دست آمد.

با استفاده از نرم‌افزار اتوکد دوایری در قسمت‌های پیچان‌رود رودخانه برای هر سه سال ترسیم شد. به‌منظور بررسی تغییرات مسیر رودخانه در سه مقطع زمانی، از سه شاخص مورفومتری که شامل (طول کانال، طول پیچان‌رود، شعاع قوس، زاویه مرکزی، دامنه موج، طول موج)، مورفولوژی که شامل (مدل‌های مختلف مهاجرت جانبی

شامل عقب‌نشینی، پیچان‌رود جدید، جابه‌جایی، جابه‌جایی محدود، قطع جریان، مهاجرت، رشد، تغییر پیچان‌رود، خمیدگی و دوشاخه شدن) و مورفودینامیک که شامل (روش ترانسکت) می‌باشد، استفاده شده است.

مکانیزم تغییر خمیدگی‌ها برای مسیر رودخانه در هر سه دوره در محیط نرم‌افزار ARC GIS انجام گرفته است. در روش ترانسکت، یک یا چند خط به‌عنوان خط مبنا از محدوده موردنظر عبور داده می‌شود *(نظم‌فر و همکاران، ۱۳۹۸: ٤٨)*. در ابتدا خطوط را برای بررسی تغییرات پیچ‌وخم مساوی با کانال رودخانه ترسیم نموده و تغییرات کانال نسبت به یک نقطه ثابت مشخص می‌گردد. در این روش خطوطی با فواصل مشخص در دو طرف مسیر رودخانه به‌عنوان خطوط مبنا رسم می‌شود. این خطوط برای دوره‌های زمانی موردمطالعه ثابت هستند و جابه‌جایی‌های کانال رودخانه نسبت به این خطوط به‌صورت کمی محاسبه می‌شوند *(بلواسی و همکاران، ١٤٠٠: ٦٧)*.

در این تحقیق روش ترانسکت به نوع دیگری مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا در محیط نرم‌افزار ARC GIS خط کرانه دو طرف رودخانه در سه بازه زمانی ترسیم گردید. در ادامه بر پایه عوارض انسانی حاشیه رودخانه خطوط مبنا به موازات کانال ترسیم شد که برای سه دوره زمانی ثابت بوده است. در مرحله بعد خطوطی به‌طور تقریب عمود بر کانال و خط مبنا به فواصل ۵۰ متر برای کرانه چپ و راست به‌صورت مجزا ترسیم و فاصله هریک از کرانه‌ها تا خط مبنا برای سال‌های ١٣٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ ترسیم شد و میزان تغییرات کرانه کانال نسبت به خط مبنای کناری اندازه‌گیری شد. پس از محاسبه تغییرات در کرانه‌های کانال رود، آزمون آماری T جفتی برای بررسی معناداری تغییرات در نرم‌افزار SPSS مورد استفاده قرار گرفت.

٤- بحث و یافته‌های تحقیق

رودخانه‌ها در طول زمان تحت‌تأثیر دو عامل طبیعی و انسانی اشکال مختلفی را به خود می‌گیرند. تغییرات دبی جریان و رسوب، شیب بستر و به‌تبع آن روند فرسایش و رسوب‌گذاری در مسیر رودخانه تعیین‌کننده تغییرات مورفولوژیک و شکل پلان رودخانه خواهند بود. همان‌طور که اشاره شد در این پژوهش ۳ شاخص مورفومتری، مورفولوژی و مورفودینامیک رودخانه نکا در محدوده جلگه ساحلی در دوره زمانی ١٣٦٤ تا ۱۳۹۹ بر پایه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای *(گوگل ارث)* مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن به شرح ذیل است.

مورفومتری: در بخش مورفومتری پارامترهای قابل اندازه‌گیری مانند طول کانال، طول موج، طول مئاندر، ضریب خمیدگی، شعاع قوس و زاویه مرکزی در بازه‌های سه‌گانه مورد مطالعه قرار گرفته است.

طول کانال: شاخص طول کانال جزء شاخص‌های اصلی برای مقایسه کانال‌ها می‌باشد. طول کانال در سه دوره ١٣٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ اندازه‌گیری شد (در جدول ۱ نشان داده شده است). مقایسه اندازه‌گیری صورت‌گرفته نشان می‌دهد که طول رودخانه بین سال‌های ١٣٦٤ تا ۱۳۸۵، ٤٤٤ متر کاهش داشته و همچنین بین سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۹، ۵۳۰ متر کاهش داشته و در کل در بازه موردمطالعه، ٩٧٤ متر کاهش داشته است. همچنین مقایسه تغییرات در سه بازه موردمطالعه نشان داد که بیشترین تغییرات در بازهٔ اول و کمترین تغییرات در بازهٔ دوم رخ داده است؛ بنابراین طول رودخانه در طی چهار دهه اخیر روند کاهشی داشته است.

طول موج: یکی از شاخص‌های مهم برای برآورد رودخانه‌های پیچان‌رودی طول موج است که از طریق آن می‌توان ضریب خمیدگی را محاسبه کرد (جدول ۱).

درصد تغییرات برای سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ١٣٦٤ به میزان ۱/۳٤ درصد و درصد تغییرات از سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۸۵ نیز ۲/۵۵- درصد و درصد تغییرات از سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ١٣٦٤، ۱/۲۱ - درصد می‌باشد.

ضریب خمیدگی: از تقسیم طول کانال به طول دره یا طول

قوس به قطر دایره معادل قوس، ضریب خمیدگی کانال یا هر قوس محاسبه شد (جدول ۱).

نتایج نشان می‌دهد که بیشترین ضریب خمیدگی مربوط به بازه اول بوده و بازه دوم و سوم مقادیر کمتری را به خود اختصاص داده است. همچنین میانگین ضریب خمیدگی در کل رودخانه از سال ۱۳٦٤ تا ۱۳۹۹ روند کاهشی را نشان می‌دهد.

شعاع قوس: شاخص شعاع قوس جزء پارامترهای مهم هندسی رودخانه می‌باشد. برای بیان تحت‌فشار بودن قوس‌های رودخانه و میزان پایداری آن‌ها از شعاع قوس استفاده می‌شود. بزرگ یا کوچک بودن شعاع قوس نشان‌دهنده ملایم بودن یا ناپایدار و تحت‌فشار بودن قوس‌ها می‌باشد. میانگین شعاع قوس رودخانه در سال ۱۳٦٤، ۳۵/۳ متر بوده است و در سال ۱۳۸۵، ۳۸/۸ متر و در سال ۱۳۹۹، ۳۷/۵ متر بوده است (جدول ۱).

میانگین شعاع انحنای سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳٦٤ افزایش داشته است و میانگین شعاع قوس سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۸۵ روند کاهشی را نشان می‌دهد و میانگین شعاع قوس سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳٦٤ روند افزایشی داشته است. درصد تغییرات شعاع قوس در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳٦٤، ٦/٥٤ درصد می‌باشد که افزایش شعاع انحنا در طی این دوره را نشان می‌دهد.

زاویه مرکزی: زاویه مرکزی شاخصی برای تشخیص مورفولوژی رودخانه‌ها است. کورنایس معیار زاویه مرکزی را برای کمی کردن مورفولوژی رودخانه‌ها و توسعه خم رودخانه‌ها و تمایز آن‌ها از یکدیگر مهم‌تر می‌داند. مقادیر

جدول۱: پارامترهای مورفومتری رودخانه نکا طی سال‌های ۱۳٦٤ تا ۱۳۹۹

پارامترها	شاخص آماری	سال ۱۳٦٤		سال ۱۳۸۵		سال ۱۳۹۹	
		میانگین	SD	میانگین	SD	میانگین	SD
طول کانال (متر)	بازه ۱	۱٦۷۵۰	–	۱۷۲۸۰	–	۱۷۷۲٤	–
	بازه ۲	۸۷۸۰	–	۸۸۷۰	–	۸۷۸۰	–
	بازه ۳	۱۰۲۳۰	–	۱۰۱۱۰	–	۱۰۱۲۵	–
	کل	۳٦٦۲۹	–	۳٦۲٦۰	–	۳۵۷٦۰	–
طول موج (متر)	بازه ۱	۱۵٦/۲۵	۱۰۷/۲	۱۳٦/٤٤	۱۲۳	۱٤۱/۲	۱۳۱/٤
	بازه ۲	۷۵/٤۲	٤۸/٤	۷٤/۹۷	۷۵/۵	۷۰/۷٤	۵۰/۳
	بازه ۳	۵٤/۲۱	۳۱	۱۱۲/۷۳	٦۹/۵	۸۷/٦٦	۷۲
	کل	۱۱۸	۹۸/۷	۱۱۹/۸	۱۱۱/۵	۱۱٦/۸	۱۱۳/۸
ضریب خمیدگی	بازه ۱	۱/٦۷	–	۱/٦۳	–	۱/۵۸	–
	بازه ۲	۱/۲۹	–	۱/۳	–	۱/۲۹	–
	بازه ۳	۱/۳	–	۱/۳۱	–	۱/۳۲	–
	کل	۱/۷۵	–	۱/۷۳	–	۱/۷	–
شعاع قوس (متر)	بازه ۱	٤٤/۳	۲۹/۵	٤۲/٤	۳۵	٤۲/٦	۳٤/٦
	بازه ۲	۲۵/٦	۱٦/۵	۲٦/۷	۲٤/٦	۲۵/۳	۱٦/۳
	بازه ۳	۱۹/۷	۱۳/۲	٤۱/۳	۲۵/٦	۳٤/۳	۲۷/۸
	کل	۳۵/۳	۲۷/۱	۳۸/۸	۳۲/۵	۳۷/۵	۳۱/۲

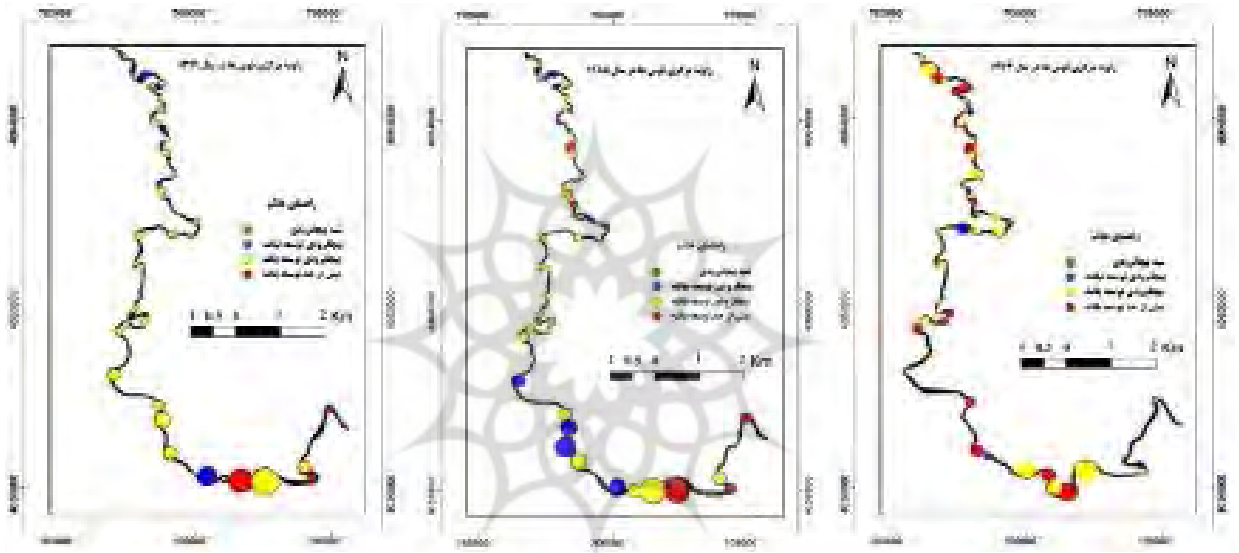
زاویه مرکزی در جدول ۲ بیان شده است. درصد تغییرات زاویه مرکزی در سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳٦٤، ۱٤/۳۱- درصد و درصد تغییرات در سال ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۸۵، ۰/۱۹ درصد می‌باشد. درصد فراوانی زاویه مرکزی برای هر ۳ سال مورد بررسی (۱۳٦٤، ۱۳۸۵، ۱۳۹۹) محاسبه شده است (جدول۲). همانگونه که مشاهده می‌شود درصد پیچان‌رودهای توسعه یافته نسبت به سایر انواع پیچان‌رودی تعداد بیشتری را در سال‌های ۱۹۸۵، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ به خود اختصاص داده است. در بازه اول در سال ۱۳٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ بیشترین قوس‌ها در گروه پیچان‌رودی توسعه‌یافته قرار گرفته‌اند (نگاره۲). براساس داده‌های فوق، در بازهٔ دوم در سال ۱۳٦٤ و ۱۳۹۹ بیشترین قوس‌ها در گروه پیچان‌رودی توسعه‌یافته و در سال ۱۳۸۵ بیشترین قوس‌ها در گروه پیچان‌رودی توسعه‌نیافته قرار گرفته‌اند (نگاره ۳).

براساس داده‌های فوق، در بازهٔ سوم در سال ۱۳٦٤ و ۱۳۹۹ بیشترین قوس‌ها در گروه پیچان‌رودی توسعه‌یافته و در سال ۱۳۸۵ بیشترین قوس‌ها در گروه پیچان‌رودی توسعه‌نیافته قرار گرفته‌اند (نگاره٤).

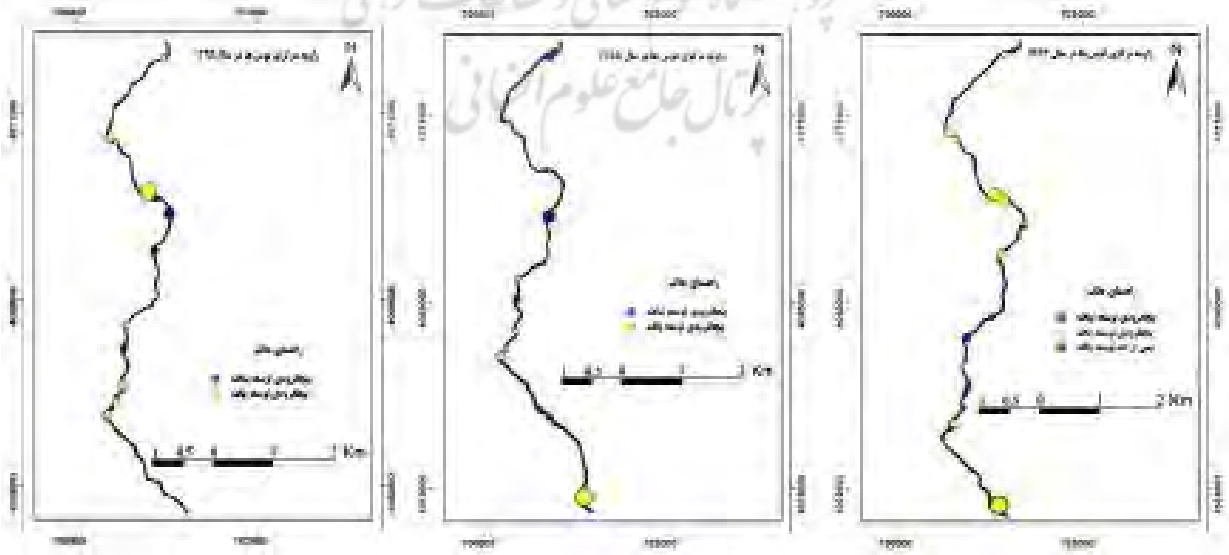
جدول۲: نوع قوس‌های رودخانه نکا براساس روش زاویه مرکزی کورنایس

	نوع پیچان رود (میزان زاویه مرکزی به درجه)	سال ۱۳٦٤		سال ۱۳۸۵		سال ۱۳۹۹	
		تعداد	درصد	تعداد	درصد	تعداد	درصد
بازه ۱	شبیه پیچان‌رودی (٤۱ – ۰)	۱	۲	۱	۲	۰	۰
	پیچان‌رودی توسعه‌نیافته (۸۵ – ٤۱)	۷	۱۲	۱۸	۲۸	۱۷	۲۸
	پیچان‌رودی توسعه‌یافته (۱۵۸ – ۸۵)	۳۲	٥٤	۳۹	٦۰	۳۹	٦٤
	بیش از حد توسعه‌یافته (۲۹٦– ۱۵۸)	۱۹	۳۲	۷	۱۱	٥	۸
	مجموع	٥۹	۱۰۰	٦٥	۱۰۰	٦۱	۱۰۰
بازه ۲	شبیه پیچان‌رودی (٤۱ – ۰)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	پیچان‌رودی توسعه‌نیافته (۸۵ – ٤۱)	۸	۳۳	۱۲	٥٥	۹	٤۳
	پیچان‌رودی توسعه یافته(۱۵۸ – ۸۵)	۱٤	٥۸	۱۰	٤٥	۱۲	٥۷
	بیش از حد توسعه‌یافته (۲۹٦ – ۱۵۸)	۲	۸	۰	۰	۰	۰
	مجموع	۲٤	۱۰۰	۲۲	۱۰۰	۲۱	۱۰۰
بازه ۳	شبیه پیچان‌رودی (٤۱ – ۰)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	پیچان‌رودی توسعه‌نیافته (۸۵ – ٤۱)	۹	٤۷	۷	٥٤	۷	۳۹
	پیچان‌رودی توسعه‌یافته (۱۵۸ – ۸۵)	۱۰	٥۳	٦	٤٦	۱۱	٦۱
	بیش از حد توسعه‌یافته (۲۹٦ – ۱۵۸)	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	مجموع	۱۹	۱۰۰	۱۳	۱۰۰	۱۸	۱۰۰
مجموع بازه‌ها	شبیه پیچان‌رودی (٤۱ – ۰)	۱	۰/۹۸	۱	۱	۰	۰
	پیچان‌رودی توسعه‌نیافته (۸۵ – ٤۱)	۲٤	۲۳/٥۳	۳۷	۳۷	۳۳	۳۳/۳۳
	پیچان‌رودی توسعه‌یافته (۱۵۸ – ۸۵)	٥٦	٥٤/۹۰	٥٥	٥٥	٦۲	٦۲/٦
	بیش از حد توسعه‌یافته (۲۹٦ – ۱۵۸)	۲۱	۲۰/٥۹	۷	۷	٤	٤/۰٤
	مجموع	۱۰۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۹	۱۰۰

مورفولوژی: مورفولوژی در واقع مکانیسم جابه‌جایی کناری و جانبی کانال را در دوره‌های مختلف نشان می‌دهد. در بحث مورفولوژی کانال، ویژگی‌هایی چون عقب‌نشینی، پیچان‌رود جدید، جابه‌جایی، جابه‌جایی محدود، قطع جریان، مهاجرت، رشد، تغییر پیچان‌رود، خمیدگی و دوشاخه شدن در رودخانه نکا در سه مقطع زمانی مورد بررسی قرار گرفته است. این مکانیزم‌ها برای هر دوره با بررسی عکس‌های هوایی و گوگل ارث طبقه‌بندی شدند *(اسماعیلی و دلیری، ۱۳۹۸: ۱٤٥)*. با همپوشانی خط مرکزی رودخانه در دو دوره متوالی و بررسی تغییرات پیچ‌وخم، انواع مدل‌های مهاجرت به‌دست آمد که در نگاره‌های ۵ و ٦ نشان داده شده است. تمامی اشکال به همراه متغیرهای موردنظر رشد پیچان‌رود، تغییر پیچان‌رود، جابه‌جایی، جابه‌جایی محدود، پیچان‌رود جدید، عقب‌نشینی، قطع جریان و دوشاخه‌ای شدن با اعداد بر روی شکل مشخص شده است (جدول ۳).

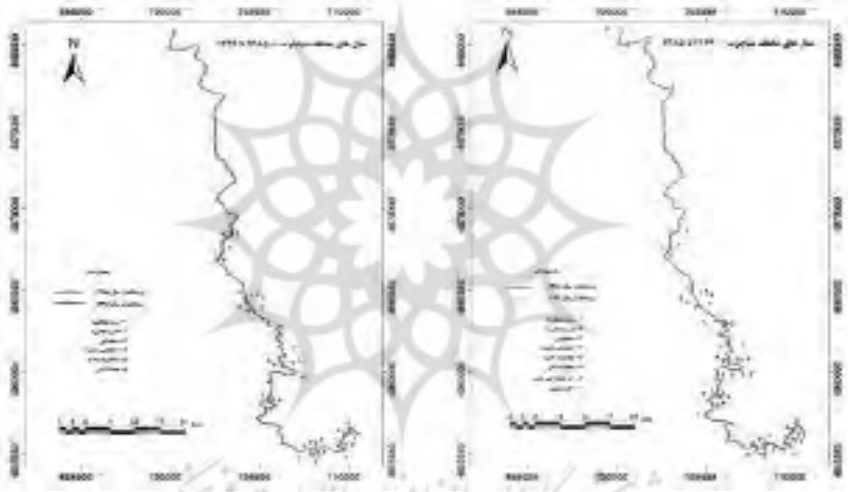


نگاره۲: نقشه فراوانی زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه نکارود در بازه اول در مقاطع زمانی ۱۳٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹



نگاره۳: نقشه فراوانی زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه نکارود در بازه دوم در مقاطع زمانی ۱۳٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹

نگاره٤: نقشه فراوانی زاویه مرکزی قوس‌های رودخانه نکارود در بازه سوم در مقاطع زمانی ١٣٦٤، ١٣٨٥ و ١٣٩٩

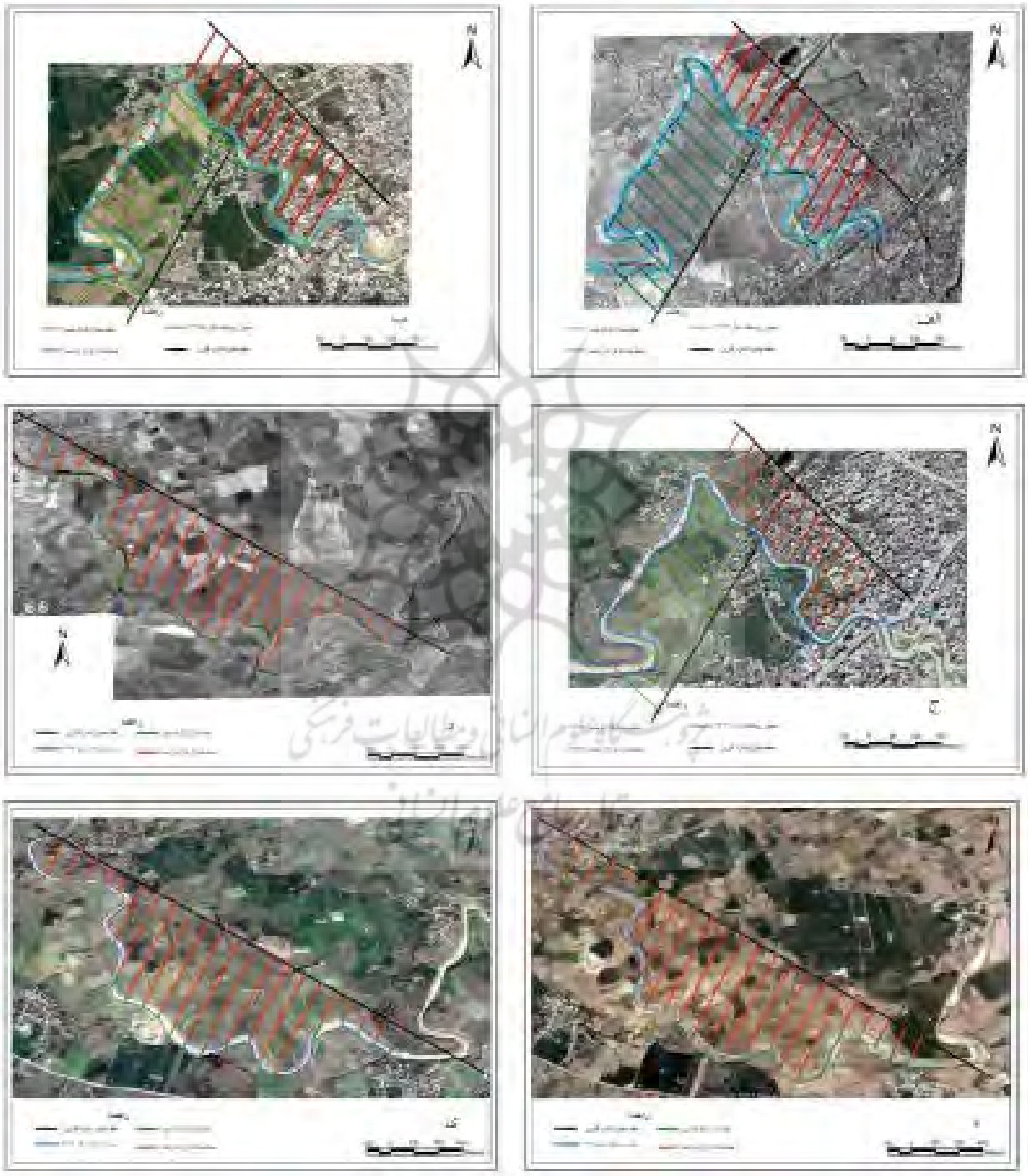


نگاره ٥ و ٦: مدل‌های مختلف مهاجرت رودخانه نکارود در سال‌های ١٣٦٤ تا ١٣٨٥ و ١٣٨٥ تا ١٣٩٩

جدول٣: مدل‌های مختلف مهاجرت و تغییر مورفولوژی در بین سال‌های ١٣٦٤ تا ١٣٩٩

مدل‌های مختلف مهاجرت	تغییر مورفولوژی در دوره ١٣٦٤ تا ١٣٨٥			تغییر مورفولوژی در دوره ١٣٨٥ تا ١٣٩٩		
	بازه ١	بازه ٢	بازه ٣	بازه ١	بازه ٢	بازه ٣
رشد پیچان‌رود	١٩	٤	٢	٤	٣	٠
تغییر پیچان‌رود	٦	٢	٠	٤	٢	٠
جابه‌جایی	٥	٣	٠	٥	٣	٠
جابه‌جایی محدود	٥	١	٠	٦	١	٠
پیچان‌رود جدید	٢	١	٠	٢	١	٠
عقب‌نشینی	٥	٢	٠	٥	٢	٠
قطع جریان	٠	٠	٢	٠	٠	٠

مورفودینامیک: به‌منظور بررسی مورفودینامیک رودخانه نکا از روش ترانسکت استفاده شده است. تغییرات کانال در دوره زمانی موردمطالعه در بازه‌های ۱ و ۲ که دارای الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته است، انجام گرفته است. نگاره‌های ۷ الف تا ی، روند اندازه‌گیری برای بازه‌های اول و دوم در سه دوره زمانی متفاوت را نشان می‌دهد.



نگاره۷: تغییرات مسیر رودخانه متناسب با خطوط مبنا الف) بازه اول در سال ۱۳٦٤، ب) بازه اول در سال ۱۳۸۵، ج) بازه اول در سال ۱۳۹۹، د) بازه دوم در سال ۱۳٦٤، ه) بازه دوم در سال ۱۳۸۵، ی) بازه دوم در سال ۱۳۹۹

آمار توصیفی مقادیر اندازه‌گیری شده در جدول ٤ نشان داده شده است. طبق این داده‌ها برای هر دوره در هر بازه ۲۲ خط ترسیم شده است و تغییرات مسیر رودخانه متناسب با این خطوط مبنا بررسی شدند. آزمون T جفتی نشان می‌دهد که در کرانه چپ بازه ۱ طی سال‌های ۱۳٦٤ تا ۱۳۸۵ در سطح اطمینان ۰/۰۵ فرضیه صفر رد شده است یعنی میانگین، تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهد. در سایر موارد مقدار Sig از ۰/۰۵ بزرگ‌تر بوده است یعنی تفاوت معناداری بین متغیرها مشاهده نشده است (جدول۵). به‌عبارت دیگر در کرانه راست طی دو دوره مختلف تغییرات معناداری مشاهده

جدول ٤: مقادیر اندازه‌گیری شده تغییرات ترانسکت در رودخانه نکا

موقعیت	سال	تعداد	کمترین	بیشترین	میانگین	دامنه	انحراف معیار
بازه ۱ کرانه چپ	۱۳٦٤	۲۲	۲٤۱/۷٤	٦۸۹/۹۲	٤۹٦/۰۳	٤٤۸/۲	۱۰۵/٤۲
	۱۳۸۵	۲۲	۱۹۰/۸۵	٦۲۳/۳	٤۷۹/٦۷	٤۳۲/٤۸	۱۰۵/٦٦
	۱۳۹۹	۲۲	۲۱۱/۱۲	٦۳۰/۸۳	٤۸۰/۹۲	٤۱۹/۷	۱۰۱/۲۷
بازه ۱ کرانه راست	۱۳٦٤	۲۲	۳۰٤/۲۸	٦۲۰/۷۷	٤۸۲/۸	۳۱٦/٤۹	۱۰٦
	۱۳۸۵	۲۲	۲۸۰/۹۳	٦۱۸/۵	٤۸۷/۸۹	۳۳۷/٦۲	۱۰۹/۲٤
	۱۳۹۹	۲۲	۳۰۳/۱٤	٦۱۸/۵	٤۸۹/۱۷	۳۱۵/٤۲	۱۰۳/۸۳
بازه ۲ کرانه چپ	۱۳٦٤	۲۲	۱٤٤/۱٦	۱٤٦۳/۵۱	۵۵۳/۲۱	۱۳۱۹/۳۵	۳٤۷/٦۱
	۱۳۸۵	۲۲	۱۵٤/۳۷	۱٤۳٦/۱	۵۹۱/۹۷	۱۲۸۱/٦۹	۳۳٤/۹۷
	۱۳۹۹	۲۲	۱٤۵/۵۵	۱٤۲۹/٤۹	۵۸۸	۱۲۸۳/۹٤	۳۵۱/۱۵
بازه ۲ کرانه راست	۱۳٦٤	۲۲	۱۰٤/٦۵	۱٤٦۳/۵۱	٤۹۵/٦۲	۱۳۵۸/۸٦	۳٤۳/۵۲
	۱۳۸۵	۲۲	۱۱۹/۸۷	۱٤۳٦	۵۱۰/۷۵	۱۳۱٦/۱۹	۳٤٤/۳٤
	۱۳۹۹	۲۲	٤۹/۷۸	۱٤۲۹/٤۹	۵۰۰/۲۱	۱۳۷۹/۷۱	۳٦۸/۱٦

جدول۵: مقادیر آزمون T جفتی اندازه‌گیری شده تغییرات برای بازه‌های اول و دوم در دوره‌های موردمطالعه

شماره بازه	موقعیت کرانه	دوره	تفاوت‌های جفتی					مقدار T	درجه آزادی	سطح اطمینان
			میانگین	انحراف معیار	میانگین خطا انحراف معیار	فاصله اطمینان ۹۵درصد کمترین	فاصله اطمینان ۹۵درصد بیشترین			
بازه ۱	چپ	۱۳٦٤-۱۳۸۵	۱٦/۳٦	۳۲/۳٤	٦/۸۹	۲/۰۲	۳۰/۷	۲/۳۷	۲۱	۰/۰۲۷
بازه ۱	چپ	۱۳۸۵-۱۳۹۹	-۱/۲۵	۸/٤۷	۱/۸۱	-۵/۰۱	۲/۵	-۰/٦۹	۲۱	۰/٤۹٦
بازه ۱	راست	۱۳٦٤-۱۳۸۵	۵/۰۸	۳۰/٦۱	٦/۵۳	-۱۸/٦۵	۸/٤۹	-۰/۷۸	۲۱	۰/٤٤۵
بازه ۱	راست	۱۳۸۵-۱۳۹۹	-۱/۲۷	۹/۲۹	۱/۹۸	-۵/۳۹	۲/۸۵	-۰/٦٤	۲۱	۰/۵۲۸
بازه ۲	چپ	۱۳٦٤-۱۳۸۵	-۳۸/۷٦	۲۱۰/۸۱	٤٤/۹۵	-۱۳۲/۲	۵٤/۷۱	-۰/۸٦	۲۱	۰/۳۹۸
بازه ۲	چپ	۱۳۸۵-۱۳۹۹	۳/۹٤	۱۹٤/۷۹	٤۱/۵۳	-۸۲/٤۳	۹۰/۳	۰/۰۹۵	۲۱	۰/۹۲۵
بازه ۲	راست	۱۳٦٤-۱۳۸۵	-۱۵/۱۲	۱۵۵/۰۷	۳۳/۰٦	-۸۳/۸۷	۵۳/٦۳	-۰/٤٦	۲۱	۰/٦۵۲
بازه ۲	راست	۱۳۸۵-۱۳۹۹	۱۰/۵٤	٤۵٦/۸۷	۹۷/٤	-۱۹۲	۲۱۳/۱	۰/۱۲	۲۱	۰/۹۱۵

نشده است. در کرانه چپ رود هم طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ تغییرات معناداری رخ نداده است. نتایج آزمون T جفتی برای بازه دوم نشان می‌دهد در سطح معناداری ۰/۰۵ فرضیه صفر تأیید می‌شود. یعنی تفاوت معناداری در میانگین مقادیر متغیرها طی سال‌های مورد بررسی و در کرانه‌های چپ و راست رخ نداده است (جدول ۵). به‌عبارت دیگر در کرانه راست و چپ طی دو دوره مختلف طی سال‌های ۱۳٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ تغییرات معناداری مشاهده نشده است.

نتایج نشان می‌دهند که تغییرات پارامترهای پیچان‌رود و شاخص مورفودینامیک رودخانه نکا طی دو دهه اخیر کم و ناچیز بوده است. تحقیقات مشابه مانند اسماعیلی و همکاران (۱۳۹٦ و ۱۳۹۸) در رودخانه‌های گرگان رود (استان گلستان) و شلمان‌رود (استان گیلان) هم تأییدکننده چنین نتایجی در محدوده جلگه‌ای دریای خزر هستند.

مطالعه یمانی و حسین‌زاده (۱۳۸۳) بر روی رودخانه تالار و یمانی و همکاران (۱۳۹٤) بر روی رودخانه بابل نیز نتایج مشابهی را به دنبال داشت. در این مطالعات نیز مشابه رودخانه نکارود، در ابتدای ورود رودخانه به جلگه یعنی بخش مخروط افکنه (بازه اول نکارود) ناپایداری بیشتر و تغییرات همچنان در زمان سیل‌های بزرگ در حال انجام است؛ اما در بازه‌های دوم و سوم به واسطه دخالت‌های انسانی و حفاظت‌های صورت گرفته همچنین عمیق شدن کانال و در نهایت تقسیم رودخانه اصلی به شاخه‌های متعدد به منظور انتقال آب به زمین‌های کشاورزی برنج باعث شده میزان ناپایداری و تغییرات الگوی کانال در چهار دهه اخیر در حداقل باشد و تغییرات سال‌های اخیر محدود به فرسایش محدود در کرانه رودخانه باشد که ناشی از جنس رسوبات جلگه و مورفولوژی محلی کانال است.

۵- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی نشان می‌دهد که مقادیر ضریب خمیدگی، زاویه مرکزی، زوایای قوس‌ها در طول رودخانه از بالادست به‌طرف پایین‌دست کاهش یافته است و براساس این مشخصات مورفومتری رودخانه به سه بخش شامل الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته، الگوی پیچان‌رودی توسعه‌نیافته و الگوی شبه پیچان‌رودی در بخش انتهایی مسیر مورد مطالعه طبقه‌بندی شده است.

به‌منظور بررسی تغییرات الگوی رودخانه نکا در طول چند دهه اخیر و تغییرات مشخصات هندسی کانال در جهت توسعه پیچان‌رودی شدن رودخانه، شاخص‌های مورفومتری از قبیل شعاع قوس، طول کانال، طول پیچان‌رود، طول موج، دامنه موج و زاویهٔ مرکزی در طی سال‌های ۱۳٦٤، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ مورد بررسی قرار گرفتند. با وجود مشاهده مقادیر مشخصات مورفومتری کانال که نشان‌دهنده تغییرات در کانال رودخانه نکا است بااین‌حال آزمون آماری در بخش دارای الگوی پیچان‌رودی توسعه‌یافته نشان داد که در کرانه راست طی دو دوره مختلف تغییرات معناداری مشاهده نشده است. در کرانه چپ رود هم طی سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۹۹ تغییرات معناداری رخ نداده است.

با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که رودخانه نکا رود طی ۳۵ سال از نظر شاخص‌های مورد بررسی اعم از مورفولوژی، مورفومتری و مورفودینامیک تغییرات محدودی داشته است. تغییرات ناچیز شاخص‌های مختلف پیچان‌رودی در پایین‌دست رودخانه نکا طی ۳۵سال اخیر بیانگر این است که تعادل دینامیکی رود کاهش یافته و به تعادل استاتیکی تبدیل شده است. دلایل این شرایط، وجود کشت زیاد در اطراف رودخانه و حفاظت از کرانه رودخانه، ایجاد بندهای ذخیره و انحراف آب در بخش میانی جلگه و سدسازی بر روی این رودخانه (سد گلورد و سایر سدها) بوده که با احداث این سدها تغییرات زیادی بر پارامترهای هیدرولوژیک مانند سرعت جریان، دبی و در نتیجه فرسایش و میزان و نحوه رسوب‌گذاری ایجاد شده است.

٦- منابع و مآخذ

۱- اسفندیاری درآباد، رحیمی، لطفی، عبادی؛ فریبا، مسعود، خداداد، الهامه (۱۳۹۹) آشکارسازی تغییرات جانبی مجرای رودخانه قزل‌اوزن در بازه زمانی ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۳. تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۷، صص.۱۲٤-۱۱۳.

۲- اسماعیلی، دلیری؛ رضا، راحیل (۱۳۹۸). تحلیل مورفولوژیکی و مورفودینامیکی پیچان‌رودهای رودخانه شلمان رود، استان گیلان. پژوهش‌های دانش زمین، سال دهم، شماره ۳۹، صص. ۱٤۱ - ۱۵۳.

۳- اسماعیلی، لرستانی، بازیار؛ رضا، قاسم، غفور (۱۳۹٦). اثرات احداث سد بر ویژگی‌های پیچان‌رودی قسمت‌های میانی گرگان رود. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ٤۹، شماره ٤، صص. ٦۵۷ - ٦٦٦.

٤- المدرسی، خبازی، اولیایی، شهبازی؛ سیدعلی، مصطفی، علی، میثم (۱۳۹۷). بررسی نقش مؤثر بر پیچان رود شدن و تغییرات رودخانه دالکی با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۹، پیاپی ٦۹، شماره ۱، صص. ۱٦۵ - ۱۷٦ .

۵- بلواسی، اصغری سراسکانرود، اسفندیاری، زینالی؛ ایمانعلی، صیاد، فریبا، بتول (۱٤۰۰). ارزیابی دینامیک جانبی مجرای رودخانه کهمان. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۲۵، صص. ۵۹-۸۳ .

٦- حسین‌زاده، اسماعیلی؛ محمدمهدی، رضا (۱۳۹۷). برآورد فرسایش کناره‌ای رودخانه با استفاده از مدل BSTEM. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ۱۱، شماره ٤۵، صص. ۵۳ - ۷۰ .

۷- حسین‌زاده، اسماعیلی؛ محمدمهدی، رضا (۱۳۹۷). ژئومورفولوژی رودخانه‌ای، مفاهیم، فرم‌ها و فرایندها. چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی.

۸- خوش‌رفتار، احمدی ترکمانای، فیض‌الله‌پور؛ حامدی؛ رضا، اصغر، مهدی، نسرین (۱۳۹۸). بررسی پیچان‌رودهای قزل‌اوزن در محدوده شهرستان ماه‌نشان - زنجان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال هفتم، شماره ٤، صص. ۱۵ - ۳۰ .

۹- رضائی‌مقدم، خیری‌زاده، رحیمی؛ محمدحسین، منصور، مسعود (۱۳۹۵). بررسی جابه‌جایی جانبی مجرای رودخانهٔ ارس از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (از ۱۵ کیلومتری غرب شهر اصلاندوز تا خروج رودخانه از محدودهٔ سیاسی ایران). جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی, سال ۲۷ شماره ۳، صص. ۱۵-۳۲.

۱۰- رورده، لرستانی، چراغی؛ همت‌اله، قاسم، معصومه (۱۳۹۵). بررسی تغییرات جانبی آبراه و بستر بابل‌رود در بازه شهر بابل. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. سال هفتم، شماره ۱٤، صص. ۹٦-۱۰۵.

۱۱- عبداللهی کاکرودی، جلوخانی نیارکی، کریمی فیروزجایی؛ عطاالله، محمدرضا، محمد (۱۳۹٦). تهیه نقشه خطر سیل مبتنی بر انرژی جریان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: رود نکا. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم، شماره ٤، صص. ۱۵۹ - ۱۷۵ .

۱۲- معصومی، غریب‌رضا، معتمد؛ حمیدرضا، محمدرضا، احمد (۱۳۹۰). بررسی مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه زهره در جلگه ساحلی هندیجان. مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۳، شماره ۲، صص. ۱۰۲ - ۱۱۲ .

۱۳- نظم‌فر، عشقی چهاربرج، عمرانی؛ حسین، علی، منیره (۱۳۹۸). تحلیل بافت شهری با استفاده از روش ترانسکت نمونه موردی: شهر ارومیه. فصلنامه آمایش محیط، دوره ۱،، شماره ٤۷، صص. ٤۵ - ٦۵ .

۱٤- یمانی، حسین‌زاده؛ مجتبی، محمدمهدی (۱۳۸۳). بررسی الگوی پیچان‌رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، دوره ۱۹، شماره ۲ (پیاپی ۷۳)، صص. ۱٤٤ - ۱۵٤ .

۱۵- یمانی، گورابی، عابدینی؛ مجتبی، ابوالقاسم، زهرا (۱۳۹٤). تحلیل روند تغییرات مورفولوژیکی الگوی آبراهه بابل رود از طریق نیمرخ‌های متساوی‌البعد (ترانسکت).

هیدروژئومورفولوژی, ۲ سال دوم، شماره ۳، صص. ۱۳۷-۱۵۷.

۱۶- یوسفی، وفاخواه، میرزایی؛ صالح، مهدی، سمیه (۱۳۹۲). پایش تغییرات طول وعرض جریان در رودخانه کارون طی دو دهه با استفاده از RS و GIS. بیستمین کنفرانس ملی نقشه و اطلاعات مکانی (ژئوماتیک)، تهران - سازمان نقشه‌برداری کشور.

17- Annayat, Wajahat. & Sundar Sil, Briti. (2020). Changes in Morphometric Meander Parameters and Prediction of Meander Channel Migration for the Alluvial Part of the Barak River, Journal of the Geological Society of India, Vol. 96, pp. 279–291

18- Bai, Jie., Li, Junli., Bao, Anmin & Chang ,Cun. (2021). Spatial-temporal variations of ecological vulnerability in the Tarim River Basin, Northwest China, Journal of Arid Land, Vol.13, 814–834

19- Brice, James. C. (1974). Evolution of meander loops. Geological Society of America Bulletin, Vol. 85, pp. 581- 586.

20- Guo, Xiwei., Gao, Peng. & Li, Zhiwei. (2021). Morphological characteristics and changes of two meandering rivers in the Qinghai-Tibet Plateau, China, Geomorphology, Vol.379, pp. 107-129.

21- Leopold, Luna Bergere. & Wolman, M.Gordon. (1957). River Channel Patterns- Braided, Meandering and Straight. Prof. Paper 282B. U.S. Geological Survey, Washington.

22- Li, Chengming., Zhu, Lining., Dai, Zhaoxin. & Wu, Zheng. (2021). Study on Spatiotemporal Evolution of the Yellow River Delta Coastline from 1976 to 2020, Remote Sensing, Vol. 13, No. 23 pp. 47-69, DOI: 10.3390/rs13234789

23- Nanson, Gerald.C. & Hickin, Edward.J. (1983). Channel migration and incision on the Beatton River. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 109, No. 3, pp. 327–337.

24- Nicoll, Tami. J. & Hickin, Edward .J. (2014). Planform geometry and channel migration of confined meandering rivers on the Canadian prairies, Geomorphology, Vol.116, No. 1–2, pp. 37-47

25- Thou, Tian. & Endreny, Theodor. (2020). The Straightening of a River Meander Leads to Extensive Losses in Flow Complexity and Ecosystem Services, Water, Vol. 12, No. 6, pp. 1680-1696, https://doi. org/10.3390/w12061680

26- Yan , Xue., Zhang , Jinliang., Li , Yang. & Sun, Long. (2021). Channel Migration of the Meandering River Fan: A Case Study: of the Okavango Delta, Water, Vol.13, pp.19-33 .