هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۶، پاییز ۱۳۹۷، صص ۱۰۰-۸۱

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۹/۱۸ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۰۴

# ارزیابی تأثیر تغییرات هیدروژئومورفولوژی و کاربری زمین در پایداری آبراهه‌ی زنجان‌رود

**ابوالقاسم گورابی*[۱]**

**مجتبی یمانی[۲]**

**سیدجواد حسینی[۳]**

## چکیده

الگوی رودخانه‌ها به ندرت ثابت بوده و همواره دست‌خوش تغییر هستند. کناره‌های رودخانه‌ها از دیرباز از مناطق مهم اسکان جمعیت به‌ویژه در قلمرو نیمه‌بیابانی ایران بوده‌اند. این امر موجب شده تا شناخت و ارزیابی تغییر شکل هندسی رودخانه‌ها از مباحث مهم کاربردی محسوب گردد. زنجان‌رود شاهرگ حیاتی-اقتصادی طبیعی استان زنجان محسوب می‌گردد. در پژوهش حاضر، با شناخت تغییرات زمانی هیدروژئومورفولوژیکی زنجان‌رود طی سال‌های ۱۳۹۰-۱۳۳۴ و تغییرات مکانی در قسمتی از بخش غربی این رودخانه (که از نظر کشاورزی اهمیت بیشتری دارد)، میزان تغییرات مورفولوژیکی محاسبه و در قالب نقشه ارائه شده است. روش تحقیق روش تحلیلی با مقایسه فضایی-مکانی تغییرات آبراهه است که با اتکا به کارهایی میدانی و دورسنجی از طریق تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نقشه‌ها صورت گرفته است. در روش مذکور ابتدا طبقه‌بندی بازه‌ها به بخش‌های مجزا بر اساس تشابه مورفولوژی-هیدرودینامیکی صورت گرفته و سپس با اعمال تحلیل‌های فضایی بر نقشه‌های رستری، الگو و میزان تغییرات با ترسیم ترانسکت‌های مماس بر سطوح پیشروی و پس‌روی در کناره‌های راست و چپ برآورد شده است. با تعیین سطوح پیشروی و پس‌روی دو طرف آبراهه، نوع و میزان

---

۱- دانشیار دانشگاه تهران، گروه ژئومورفولوژی دانشکده‌ی جغرافیا، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
E-mail:goorabi@ut.ac.ir

۲- استاد دانشگاه تهران، گروه ژئومورفولوژی دانشکده‌ی جغرافیا، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی،تهران، ایران.

تغییرات آبراهه در هر بازه نیز تعیین شده است. نتایج بررسی نشان می‌دهد که برایند کنش-واکنش عوامل مؤثر بر تغییرات زنجان‌رود در محدوده‌ی مورد مطالعه طی ۵۶ سال گذشته روند نسبتاً پایداری داشته است. مهم‌ترین عوامل دخیل در این روند توسعه کشاورزی، گسترش اقدامات مدیریتی جهت تثبیت آبراهه با مقاصد کشاورزی و زیرساختی و احداث سد بوده است. اگر چه تأثیر عامل شیب و شرایط زمین‌شناختی (نوزمین‌ساختی) نیز قابل چشم‌پوشی نیست.

**کلمات کلیدی:** تغییرات آبراهه، هیدروژئومورفولوژی، ناپایداری آبراهه.

## مقدمه

رودخانه‌ها شاهرگ‌های حیاتی برای تمرکز فعالیت‌های انسانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌روند (یمانی و فخری، ۱۳۹۱: ۱۶)، و منابع اصلی و در دسترس تأمین آب برای مصارف گوناگون می‌باشند (خسروی و نوحه‌گر، ۱۳۹۵: ۱). رودخانه‌ها بندرت در حالت پایدار بوده و تحت تأثیر عوامل و متغیرهای مختلف همواره از نظر ابعاد، شکل، راستا و الگو در تغییر هستند. بسترهای آبرفتی رودخانه خود به دو دسته پایدار و ناپایدار تقسیم می‌شوند. در یک بستر پایدار دیواره‌ها و کف تثبیت شده و در بستر ناپایدار دیواره‌ها و کف در وضعیتی ثابت نبوده و در حال تغییر هستند (معصومی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۰۴).

تحقیقات صورت گرفته تأثیر تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی در تغییر خصوصیات هیدرولوژیک رودخانه‌ها را به اثبات رسانده است (برخورداری و خسروشاهی، ۱۳۸۶: ۷). به دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه‌ای، هر ساله سطح وسیعی از اراضی کشاورزی و نواحی مسکونی و تأسیسات کناره‌ای در معرض نابودی و تخریب قرار می‌گیرند (رنگزن، صالحی و سلحشوری، ۱۳۸۷: ۱). زنجان‌رود نیز به عنوان یکی از زیرحوضه‌های دائمی قزل‌اوزن از این امر مستثنی نبوده و تغییرات رفتار هیدروژئومورفولوژیک آن همواره امر برنامه‌ریزی و مدیریت را به چالش کشیده است.

تحقیقات متعدد و مختلفی به بررسی تغییرات الگوی رودخانه‌ها پرداخته‌اند که در این خصوص اولرو[1] (۲۰۰۹) در مطالعه خود در رابطه با بازه‌ی پیچان‌رودی میان دست رودخانه‌ی ابرو[2] در اسپانیا، احداث سد، تغییر کاربری اراضی و احداث سیل شکن‌ها (یا سیل بندها) را عامل تغییر رفتار سیستم رودخانه قلمداد کرده است. گونرلپ و همکاران[3] (۲۰۱۲) در مقاله‌ای مروری بر کارهای قبلی، بیان داشته‌اند که آبراهه‌های پیچان‌رودی عرصه‌ی پژوهشی گسترده‌ای شامل تنوع گسترده‌ای از مقیاس‌های زمانی و مکانی، قلمروهای زیست‌محیطی و رویکردهای مفهومی و روش‌شناختی را شکل می‌دهند.

مک‌فال و دیگران[4] (۲۰۱۴) در بررسی سازوکارهای کنترل‌کننده‌ی شکل آبراهه و فرسایش رود هاو[5] در جنوب شرق ایالات متحده به محاسبه ضریب خطر فرسایش کناری (BEHI)[6] پرداخته‌اند. کوهن[7] (۲۰۱۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به تعیین نرخ فرسایش کناری بخشی از رود جیمز[8] در جنوب غرب میسوری در بازه‌های زمانی مختلف پرداخته و فرسایش کناری را بواسطه‌ی حضور رخنمون‌های سنگ بستر محدود و در قوس‌های پرتگاهی آزاد عنوان کرده است. لانگونی و دیگران[9] (۲۰۱۶) با پایش فرسایش کناری آبخیزهای کوهستانی شمال ایتالیا سه عامل کلیدی چگونگی فرسایش، موقع زمانی آن در سال و مقدار رسوب را بررسی کرده و در نهایت وانگ و همکاران[10] (۲۰۱۶) رودخانه‌ی زرد[11] را مورد بررسی قرر داده و به این نتیجه رسیدند که حجم بار رسوبی و تغییرات جریان و همچنین اختلاف مواد تشکیل‌دهنده‌ی بستر و کناره‌ها، عوامل مؤثری هستند که در تغییرات زمانی و مکانی آبراهه نقش دارند.

1- Ollero
2- Ebro
3- Guneralp et al.,
4- Macfall et al.,
5- Haw River
6- Bank Erosion Hazard index
7- Kuehn
8- James River
9- Longoni et al.,
10 - Wang et al.,
11- Yellow River

در میان منابع داخلی نیز یمانی و شرفی (۱۳۹۱) با بررسی عوامل مؤثر بر ناپایداری و فرسایش کناری رودخانه‌ی هررود لرستان مشاهده کردند که تغییرات مورفولوژی و فرسایش کناری از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش داشته است. بیاتی خطیبی (۱۳۹۳) با بررسی تغییرات پیچان‌رودی آجی‌چای، جابجایی مکرر آبراهه فعال آن در پهنه دشت سیلابی و در نتیجه فرسایش کناری رودخانه را متذکر شده است. خسروی و همکاران (۱۳۹۴) با بکارگیری یک مدل عددی در شبیه‌سازی هیدرودینامیک جریان و رسوب، قابلیت آن را ارزیابی کرده‌اند که نتیجه کار آن‌ها نشان‌دهنده‌ی خطای پایین مدل در پیش‌بینی شاخص جریان و رسوب می‌باشد.

شفیعی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی اثر هیدروژئومورفولوژی آبخوان دشت نورآباد (ممسنی) بر منابع آب زیرزمینی منطقه، نقش عوارض ژئومورفولوژی دینامیک و ساختمانی را نشان داده و پیروان و همکاران (۱۳۹۵) با طبقه‌بندی موفولوژیکی بخشی از قزل‌اوزن، به ارزیابی تغییرات آن در این بخش پرداخته و کناره‌ی چپ رودخانه را کانون تغییرات محور آبراهه قلمداد کرده است و در نهایت نیری و همکاران (۱۳۹۵) شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدرولوژی حوضه‌ی آبریز تروال (زیرحوضه‌ی خزر) را بررسی کرده و فرسایش و سیل‌خیزی این حوضه را کم و قابل کنترل دانسته‌اند.

به دلیل تغییر جنس تشکیلات حوضه‌ی رودخانه‌ی زنجان‌رود از ۳۵ کیلومتری غرب شهرستان زنجان (بعد از شهر نیک‌پی در ۳۸ مسیر زنجان-تبـریز) و غلبه تشکیلات مارن قرمز و سبز گچی و نمکی قابلیت فرسایش جانبی آبراهه افزایش می‌یابد که این مسئله موجب آسیب‌پذیری پهنه‌های زراعی و باغی و همچنین تهدید زیرساخت‌ها از جمله راه‌های اصلی و فرعی و راه‌آهن و تأسیسات مربوطه می‌شود. در رابطه با حوضه‌ی مورد نظر، حسن‌لو (۱۳۸۲) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به بررسی نقش عوامل ژئومورفولوژیک در فرسایش آبی بخشی از این حوضه پرداخته و به این نتیجه رسید که نقش عامل شیب و زمین‌شناسی در رسوب‌گذاری بسیار بیشتر از عامل توپوگرافی و جهت بوده است. عبدی (۱۳۸۷) به پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش اراضی حوضه‌ی زنجان‌رود

پرداخته و چنین نتیجه‌گیری کرد که اراضی پایین‌دست حوضه شدت و پتانسیل فرسایش بالایی دارند. غفاری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر واکنش‌های هیدرولوژیک حوضه پرداخته و به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر جریان رودخانه و دبی حوضه داشته است. حسنی‌ها و نجفی (۱۳۹۱) با مطالعه عوامل اصلی تخریب و فرسایش به این نتیجه رسیدند که حوضه مورد نظر با کاهش بارندگی، تناوب سیل، بحران آب و خشک‌سالی مواجه بوده که این عوامل منطقه را مستعد فرسایش، تخریب خاک و فقر پوشش گیاهی نموده است. با توجه به اهمیت زمین‌های مشرف بر بستر زنجان‌رود برای کاربری‌های مختلف بویژه کاربری زراعی و باغی و همجوار بودن رودخانه با راه‌های اصلی و فرعی و خطوط راه‌آهن و تأسیسات و زیرساخت‌های مربوطه و اثرگذاری رژیم تغییرات جانبی آبراهه بر آن‌ها، هدف پژوهش بررسی تغییرات قسمتی از رودخانه زنجان‌رود به روش تعیین محدوده‌های تغییر و نوع آن‌ها و پهنه‌بندی محدوده‌های مشرف بر آبراهه می‌باشد. تحلیل روند تغییرات مورفولوژی بازه‌ی مورد نظر و عوامل مؤثر بر آن در سه مقطع زمانی نیز از اهداف پژوهش است.

## محدوده‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی زنجان‌رود با شیب متوسط حدود ۰/۵درصد از شرق به حوضه‌ی ابهررود، از شمال و غرب به حوضه‌ی رود قزل‌اوزن و از جنوب نیز به حوضه‌ی سجاس‌رود منتهی می‌شود و حدود آن در شمال و جنوب به ترتیب کوه‌های طارم و سلطانیه می‌باشند (شکل ۱). این رودخانه دائمی بوده و با ۱۴۲ کیلومتر طول از ارتفاع ۱۷۸۰ متری کوه‌های شهرستان سلطانیه در ۳۸ کیلومتری شرق زنجان سرچشمه گرفته و دره‌ی پهناور زنجان‌رود را به سوی شمال غرب طی می‌کند. زنجان‌رود از جنوب شهر زنجان عبور می‌کند و به موازات جاده زنجان-تبریز (شکل ۳ پ) و راه‌آهن زنجان-تبریز (ایران-ترکیه) (شکل ۳) به سوی شمال غرب به جریان خود ادامه می‌دهد و در نهایت در ۳ کیلومتری غرب روستای رجعین به قزل‌اوزن می‌ریزد.

**شکل (۱) محدوده مورد مطالعه**

## مواد و روش‌ها

بـرای انـجام این پـژوهش از نقشه‌های توپوگـرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۴ (۱۹۵۵م) و تصاویر ماهواره‌ای ETM لندست ۷[1] سال ۱۳۶۴ (۱۹۸۵م) و ۱۳۹۰ (۲۰۱۱ م) و داده‌های رقومی ارتفاعی SRTM30m در قالب ArcGIS اسـتفاده شـده است. پـس از مختصات‌دار کـردن (ژئورفرنس-زون ۳۹) نقشه‌ها، عکس‌ها و تصاویر، با مبنا قرار دادن خط راه‌آهن زنجان-تبریز[2] که در امتداد کناره راست آبراهه کشیده شده است (شکل ۱ و ۲)، انطباق آن‌ها با زمین و در نتیجه یکدیگر حاصل شد و سپس آبراهه‌ها رده‌بندی و لایه‌های مورد نیاز

1- Landsat7

۲- راه‌آهن سال ۱۳۲۰ (قبل از سال ۱۳۳۴) و به موازات رودخانه احداث شده است و بهترین شاخص برای مقایسـه‌ی تغییـرات آبراهه این رودخانه به شمار می‌رود.

جهت انجام تحلیل‌ها استخراج شدند. حدود بستر در قالب دو کناره راست و چپ (شمالی و جنوبی) از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. برای تعیین نوع تغییرات در قالب پیشروی و پس‌روی کناره‌های رودخانه، یک خط مبنا تعیین و سپس با استفاده از آن نقشه‌ی مسافت تهیه و در نهایت فاصله‌ی هر یک از خطوط کناره‌ی چپ و راست در دوره‌های مختلف نسبت به آن اندازه‌گیری شد. محدوده‌های پیشروی و پس‌روی بر اساس عریض شدن یا کم عرض شدن آبراهه نسبت به محور آن مشخص شده‌اند. در ادامه برای هر بازه‌ی زمانی (دوره) مورد مطالعه، جدول آماری در نظر گرفته شد تا امکان مقایسه بین بازه‌های زمانی فراهم باشد. بر همین اساس وضعیت تغییرات در کل دوره (دوره‌ی آخر نسبت به دوره‌ی میانی و اول) نیز مورد مقایسه قرار گرفت. لایه‌ی پهنه‌های پیشروی و پس‌روی آبراهه در سه دوره‌ی زمانی ۱۳۳۴، ۱۳۶۳ و ۱۳۹۰ تهیه شد و بر اساس اطلاعات به دست آمده در رابطه با تغییرات بستر در بازه‌های زمانی مورد نظر، عوامل اصلی تأثیرگذار بر تغییرات شناسایی و بررسی شدند. بازه‌ی مورد مطالعه به طول حدود ۱۴ کیلومتر بین دو آبادی نیک‌پی و ایده‌لو در غرب و نزدیک خروجی حوضه واقع شده است (شکل ۲).

علاوه بر روش و فرایند مذکور برای تعیین محدوده‌های مجاور و مشرف بر کناره‌های بستر و پهنه‌های مماس بر پهنه‌های پیشروی و پس‌روی، ترانسکت‌های مماس بر کناره‌های چپ و راست بازه مورد مطالعه در سه دوره‌ی زمانی ترسیم و استخراج شد تا در صورت نیاز و وجود تفاوت محسوس بین محدوده‌های مختلف بستر در بازه‌ی مورد مطالعه، امکان مقایسه‌ی زوجی و بررسی علل و نتیجه‌گیری فراهم شود.

**شکل (۲) موقعیت بازه‌ی مورد مطالعه در حوضه‌ی زنجان‌رود**

**شکل (۳) الف- عکس هوایی سال ۱۳۳۴ بازه‌ی مورد مطالعه‌ی زنجان‌رود، ب- تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۶۴ بازه‌ی مورد مطالعه‌ی زنجان‌رود و پ- تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۹۰ بازه‌ی مورد مطالعه‌ی زنجان‌رود**

**ـ زمین‌شناسی و فرسایشی محدوده‌ی مورد مطالعه**

همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، تشکیلات پوشش‌دهنده‌ی بستر فعلی و سیلابی آبراهه و کناره‌ها و پهنه‌های مشرف به ترتیب شامل نهشته‌های آبرفتی، مارن، شیل، ماسه‌سنگ و کنگاومرا و در نهایت مخروط‌های پایکوهی و نهشته‌های پادگانه‌ای رودخانه‌ای است. از نظر وضعیت فرسایش، با توجه به جنس سازندها و بر اساس طبقه بندی پیروان و شریعت‌جعفری (۱۳۹۲)، سه طبقه فرسایشی VI (متوسط تا ضعیف) VII (ضعیف) و IX (فوق‌العاده ضعیف) محدوده مورد نظر را در برمی‌گیرند (شکل ۵).

**شکل( ۴) واحدهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه**

طبق بررسی صورت گرفته در رابطه با حوضه‌ی مورد مطالعه‌ی دهه‌ی ۸۰ دوره اوج سدسازی بوده و تعداد ۲۴ سد در زیرحوضه‌های مختلف آن احداث شده که رژیم دبی آب و رسوب و در نتیجه‌ی روند فرسایش و تغییرات مورفولوژی آبراهه تغییر یافته است. موقعیت سدهای حوضه‌ی زنجان‌رود در شکل (۶) نشان داده شده است.

**شکل(۵) طبقات فرسایش محدوده‌ی مورد مطالعه**

**شکل (۶)موقعیت سدهای حداث شده در حوضه‌ی زنجانرود**

## بحث و نتایج

ارزیابـی و تعیین کمّی الگوی تغییرات یـکی از الزامات برنامه‌ریزی در توسعه‌ی پایدار و

مدیریت رودخانه محسوب می‌گردد. در زیر میزان تغییرات در کناره‌ها در بازه‌های زمانی و مکانی مورد بررسی قرار گرفته است:

**ـ تغییرات کناره از ۱۳۳۴ تا ۱۳۶۴**

در پهنه‌ی مشرف بر کناره‌ی راست بازه‌ی مورد مطالعه تعداد ۴ سد احداث شده است. نتایج به دست آمده در جدول (۱) نشان داده شده است. کناره راست و کناره چپ در این دوره روند پیشروی و پس‌روی داشته‌اند.

**جدول (۱) سطوح پیشروی و پس‌روی کناره چپ و راست آبراهه در دوره‌ی اول (بر حسب $km^2$)**

| تغییرات دوره اول (۱۳۳۴) نسبت به دوره دوم (۱۳۶۴) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| کناره راست | | | کناره چپ | | |
| نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت | نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت |
| پیشروی | ۱۰ | ۱/۱۴ | پیشروی | ۸ | ۰/۶۰ |
| پس‌روی | ۱۱ | ۰/۴۹ | پس‌روی | ۱۰ | ۱/۴۱ |

**ـ تغییرات کناره از ۱۳۶۴ تا۱۳۹۰**

تعداد ۱ سد در پهنه‌ی مشرف بر کناره چپ احداث شده است. جاده‌ی قدیم زنجان-تبریز نیز در بیشتر قسمت‌ها منطبق بر حاشیه‌ی کناره چپ آبراهه بوده و آزادراه زنجان-تبریز در پهنه‌های مشرف بر آن احداث شده است. داده‌های این دوره در جدول (۲) نشان داده شده است. در این دوره هر دو کناره‌ی روند پس‌روی داشته‌اند.

**جدول (۲) سطوح پیشروی و پس‌روی کناره چپ و راست آبراهه‌ی در دوره‌ی دوم (بر حسب $km^2$)**

| تغییرات دوره دوم (۱۳۹۰ نسبت به ۱۳۶۴) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| کناره راست | | | کناره چپ | | |
| نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت | نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت |
| پیشروی | ۱۱ | ۰/۰۶ | پیشروی | ۱۵ | ۰/۰۵ |
| پس‌روی | ۱۳ | ۰/۸۷ | پس‌روی | ۱۵ | ۱/۱۵ |

### ـ تغییرات کناره از ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۰

داده‌های مربوط به پهنه‌های پیشروی و پس‌روی هر کدام از کناره‌ها در جدول (۳) نشان داده شده است. در این دوره نیز هر دو کناره دارای روند پس‌روی بوده‌اند.

**جدول (۳) سطوح پیشروی و پس‌روی کناره‌ی چپ و راست آبراهه در دوره‌ی سوم (بر حسب $km^2$)**

| تغییرات دوره‌ی سوم (۱۳۹۰ نسبت به ۱۳۳۴) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| کناره‌ی راست | | | کناره‌ی چپ | | |
| نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت | نوع تغییر | تعداد پهنه | مجموع مساحت |
| پیشروی | ۱۲ | ۰/۸۱ | پیشروی | ۷ | ۰/۲۹ |
| پس‌روی | ۱۲ | ۰/۹۵ | پس‌روی | ۹ | ۲/۱۶ |

### ـ تغییرات کناره از سال ۱۳۳۴ تا ۱۳۹۵

در روش مورد استفاده مقادیر پیشروی از مقادیر پس‌روی کم شده و در نتیجه اعداد مثبت به منزله‌ی پیشروی و مقادیر منفی به معنای پس‌روی است. بر این اساس آبراهه در همه‌ی دوره‌ها روند پسروی داشته است. مجموع مقدار پسروی در دوره‌ی اول ۰/۱۶ کیلومترمربع بوده است. در دوره‌ی دوم و دوره‌ی سوم بستر آبراهه به ترتیب ۱/۹۱ و ۲/۰۱ کیلومترمربع عقب‌نشینی داشته است. بنابراین از ابتدای دوره‌ی مطالعه (۵۶ سال) بستر آبراهه عقب‌نشینی و پایداری نسبی داشته است، با این تفاوت که از ابتدای دوره تا اواخر آن شدت آن افزایش یافته است.

**جدول (۴) تغییرات آبراهه در بازه‌ی مورد مطالعه**

| | دوره سوم | | دوره دوم | | دوره اول | | تغییرات کل |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | پس‌روی | پیشروی | پس‌روی | پیشروی | پس‌روی | پیشروی | دوره اول |
| کناره راست | ۰/۹۵ | ۰/۸۱ | ۰/۸۷ | ۰/۰۶ | ۰/۴۹ | ۱/۱۴ | |
| برایند تغییر | -۰/۱۴ | | -۰/۸۱ | | ۰/۶۵ | | |
| کناره چپ | ۲/۱۶ | ۰/۲۹ | ۱/۱۵ | ۰/۰۵ | ۱/۴۱ | ۰/۶۰ | |
| برایند تغییر | -۱/۸۷ | | -۱/۱ | | -۰/۸۱ | | |
| برایند تغییرات | -۲/۰۱ | | -۱/۹۱ | | -۰/۱۶ | | |

**ـ تغییرات بستر زنجان‌رود**

نتایج اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد که بستر رودخانه از دوره‌ی اول تا آخر دارای روند عقب‌نشینی از کناره‌ها بوده که در دو دوره‌ی بعدی بیشتر شده است. در حالی که این روند در دوره‌ی سوم نسبت به دوره‌ی دوم شدت بیشتری داشته است.

روش ترانسکت‌های مماس نیز برای تعیین موقعیت بهتر تغییرات در کناره‌های بستر در بازه‌ی مورد مطالعه اعمال شد. پهنای هر کدام از ترانسکت‌ها ۱ کیلومتر در نظر گرفته شده و ابتدا مساحت ترانسکت‌های حاشیه چپ بستر از مساحت‌های مربوط به حاشیه‌ی راست کم شد و مقدار به دست آمده برای هر ترانسکت در دوره‌ی اول از مقدار مشابه آن در دوره‌ی دوم کم شد. ارقام مثبت به منزله‌ی پیشروی بستر به سوی کناره‌ها و منفی بودن آن به معنای پسروی و تثبت بستر اصلی است. داده‌های به دست آمده از این روش (جدول ۵)، نشان می‌دهد که روند کلی عقب‌نشینی و تثبیت بستر آبراهه بیشتر در قسمت میانی بازه‌ی مورد مطالعه و روند کلی گسترش بستر آبراهه در محدوده‌ی ابتدایی و انتهایی بازه‌ی مورد مطالعه متمرکز بوده است (شکل ۸ و ۹).

**شکل (۷) (بالا) پهنه‌های پیشروی و پس‌روی کناره‌ی راست (بالا) و پهنه‌های پیشروی و پس‌روی چپ (پایین) دوره‌ی اول (الف)، دوره‌ی دوم (ب) و دوره‌ی سوم (پ)**

**شکل (۸) ترانسکت‌های مماس بر پهنه‌های مورد مطالعه**

**جدول (۵) تغییرات آبراهه در سه دوره‌ی زمانی با استفاده از روش ترانسکت‌های مماس**

| شماره‌ی ترانسکت | مساحت کناره‌ی راست ۳۴ | مساحت کناره‌ی چپ ۳۴ | مساحت کناره‌ی راست ۶۴ | مساحت کناره‌ی چپ ۶۴ | مساحت کناره‌ی راست ۹۰ | مساحت کناره‌ی چپ ۹۰ | تغییرات کناره‌ی راست | تغییرات کناره‌ی چپ | تغییرات کل آبراهه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۸/۴ | ۸/۶ | ۸/۴ | ۸/۵ | ۸/۴ | ۸/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ |
| ۲ | ۸/۲ | ۸/۵ | ۸/۱ | ۸/۳ | ۸/۲ | ۸/۳ | ۰/۱۳ | ۰/۱۶ | ۰/۱۱ |
| ۳ | ۷/۴ | ۷/۶ | ۷/۴ | ۷/۷ | ۷/۴ | ۷/۵ | ۰/۱۲ | -۰/۲۱ | -۰/۱۳ |
| ۴ | ۶/۷ | ۷/۱ | ۶/۴ | ۶/۹ | ۶/۵ | ۶/۷ | ۰/۳۵ | -۰/۰۲ | -۰/۱۱ |
| ۵ | ۵/۶ | ۵/۸ | ۵/۶ | ۵/۹ | ۵/۶ | ۵/۸ | ۰/۱۴ | -۰/۱۱ | -۰/۰۹ |
| ۶ | ۵/۱ | ۵/۳ | ۵/۲ | ۵/۴ | ۵/۲ | ۵/۳ | ۰/۰۰ | -۰/۱۶ | ۰/۰۰ |
| ۷ | ۴/۶ | ۴/۷ | ۴/۶ | ۴/۹ | ۴/۷ | ۴/۸ | ۰/۰۰ | -۰/۲۳ | -۰/۱۰ |
| ۸ | ۴/۴ | ۴/۶ | ۴/۴ | ۴/۶ | ۴/۵ | ۴/۶ | ۰/۰۷ | -۰/۰۷ | -۰/۰۲ |
| ۹ | ۴/۲ | ۴/۵ | ۴/۲ | ۴/۳ | ۴/۲ | ۴/۳ | ۰/۰۶ | ۰/۱۱ | ۰/۱۴ |
| ۱۰ | ۴/۰۳ | ۴/۳ | ۴/۰۵ | ۴/۲ | ۴/۱ | ۴/۱ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۱۱ |
| ۱۱ | ۳/۷ | ۴/۰۲ | ۳/۸ | ۴/۰۷ | ۳/۹ | ۴/۰۱ | -۰/۰۲ | -۰/۱۱ | ۰/۰۴ |
| ۱۲ | ۳/۸ | ۴/۰۴ | ۳/۸ | ۳/۹ | ۳/۸ | ۳/۹ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ |
| ۱۳ | ۳/۸ | ۴/۰۷ | ۳/۷ | ۳/۹ | ۳/۷ | ۳/۸ | ۰/۱۴ | ۰/۱۲ | ۰/۰۴ |
| میانگین | ۵/۴ | ۵/۶ | ۵/۳ | ۵/۶ | ۵/۴ | ۵/۵ | ۰/۰۸ | -۰/۰۳ | ۰/۰۰ |
| میانه | ۴/۶ | ۴/۷ | ۴/۶ | ۴/۹ | ۴/۷ | ۴/۸ | ۰/۰۷ | -۰/۰۲ | ۰/۰۳ |
| مد | ۳/۸ | - | ۳/۸ | ۳/۹ | - | - | ۰/۱۴ | -۰/۱۱ | ۰/۱۱ |

**جدول (۶) نتایج بررسی عوامل مؤثر در تغییرات بستر زنجان‌رود**

| عوامل | توضیحات |
|---|---|
| ژئومورفولوژی | شیب زنجان‌رود در بازه‌ی مورد بررسی بسیار کم بوده که این امر حساسیت به تغییرات مورفولوژیکی را افزایش داده است. شیب توپوگرافی بازه مورد بررسی ۰/۰۹ درصد است که تغییرات آن به ویژه در محدوده‌ی مورد مطالعه محسوس نیست. |
| زمین شناختی | بستر زنجان‌رود در بازه مورد بررسی بر واحدهای زمین‌شناسی فرسایش‌پذیر (آبرفت‌های دشت سیلابی و مخروط‌افکنه‌ای جدید) جاری است (شکل ۴). سراسر محدوده‌ی بازه‌ی مورد مطالعه فرسایش‌پذیری بالایی داشته و در طبقه فوق‌العاده ضعیف (IX) جای می‌گیرد (پیروان و شریعت جعفری، ۱۳۹۱: ۲۰۵) (شکل ۵). در گزارش روند رسوبگذاری مخزن سد سفیدرود نیز بیشترین حجم رسوبات ورودی از شاخه قزل‌اوزن (سطح اساس حوضه مورد مطالعه) متعلق به ذرات رس و در مراتب بعدی ذرات سیلت و ماسه قید شده است (رمضانی و قمشی، ۱۳۹۰: ۸۷۷). |
| پوشش گیاهی | پوشش گیاهی بستر اصلی عمدتاً زراعی و باغی است. پوشش زراعی نقش تثبیت‌کننده داشته و در سال‌های اخیر تغییرات کمتری را متحمل شده است. بیشتر تغییرات ژئومورفولوژیکی در محدوده‌ی پوشش گیاهی زراعی صورت گرفته است. از دوره‌ی اول تا دوره‌ی سوم بر وسعت اراضی پایدار افزوده شده است (شکل ۱۰). |
| هیدرولوژی | دهه ۸۰ دوره اوج سدسازی در حوضه مورد مطالعه بوده است (۲۴ عدد) (شکل ۶). از دیدگاه هیدرولوژیکی، فراوانی دبی‌های پیک بالا با احداث سد کاهش یافته است. این دبی‌ها یکی از عوامل مهم در تغییر مورفولوژی بستر جریان هستند. |
| کاربری اراضی | روند تغییرات ۴۰ سال اخیر سبب تغییر کاربری مراتع در حوضه، افزایش رواناب سطحی و دبی اوج سیلاب‌ها (غفاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۷۵-۱۷۱) و بار رسوبی و در نتیجه تغییر مورفولوژی بستر شده است. |
| عمرانی | با توجه به سیلابی بودن زنجان‌رود در ماه‌های پر باران سال (حسنی‌ها و نجفی، ۱۳۹۱: ۸)، و فرسایش کناری آبراهه و اثر آن بر تأسیسات و اراضی زراعی حاشیه رودخانه، طرح‌های ساماندهی مختلفی با هدف تثبیت کناره‌ها، کنترل فرسایش، حفاظت از جاده ترانزیت زنجان-تبریز صورت گرفته که این عوامل در تغییر رژیم جریان و در نتیجه تغییر مورفولوژی مؤثر بوده‌اند (شکل ۱۰). |

**شکل (۹)۰ پوشش گیاهی زارعی و باغی پیرامون و موانع عرضی و طولی ایجاد شده در کناره‌ها**

## نتیجه‌گیری

مورفولوژی رودخانه‌ها همواره دچار تغییر هستند. این تغییرات در قالب اثرگذاری بر اراضی و زیرساخت‌ها نقش خود را ایفا می نمایند. تعیین روند و محدوده‌ی تغییرات از اولویت‌های اساسی مدیریت رودخانه‌ها بشمار می‌رود. در پژوهش حاضر با بررسی مکانی-زمانی کناره‌ها و بستر زنجان‌رود در بخش شمالغربی حوضه، گستره‌های پیشروی و پسروی طی ۵۶ سال مشخص شد. نتایج حاصل بیانگر غلبه روند کلی کم عرض شدن آبراهه نسبت به محور آن است. این در حالی است که روند مزبور از دوره‌ی اول (۱۳۳۴ تا ۱۳۶۴) تا دوره‌ی دوم (۱۳۶۴ تا ۱۳۹۰) و سوم (۱۳۳۴ تا ۱۳۹۰) حالت افزایشی داشته است، به طوری که در اواخر بازه‌ی زمانی مورد نظر با شدت بیشتر سبب پایداری نسبی آبراهه شده است.

تغییر دبی به سمت پایاب سبب کاهش قدرت فرسایشی جریان رودخانه و افزایش پایداری و تثبیت نسبی بستر شده است. توسعه فعالیت‌های باغداری نسبتاً پایدار به صورت پراکنده روی بستر سیلابی، در پایداری آبراهه در بازه‌ی مورد مطالعه نقش مهمی داشته است، به طوری که باغ‌ها و مزارع قلمروهای پایدار کناری بستر اصلی تغییرات زیادی در تصاویر و عکس‌های مختلف از خود نشان می‌دهند.

نقش عوامل انسانی در حوضه‌ی زنجان‌رود به دلیل موقع نسبی جغرافیایی آن (ترانزیت شرق به شمالغرب)، زمینه‌ساز توسعه و آغاز پروژه‌های راه‌سازی متعدد (راه‌آهن، راه شوسه و آزادراه) در حریم رود و تغییر سیستم‌های هیدروژئومورفولوژیکی-هیدرودینامیکی و تغییر دینامیک آن شده است. ارزیابی کمی تغییرات بستر رودخانه نشان می‌دهد که میزان تغییرات (ضمن غلبه روند کلی پایداری و تثبیت) از دوره‌ی اول تا دوره‌ی آخر افزایشی بوده است. به طوری که میزان تثبیت در دوره‌ی اول ۰/۱۶ کیلومتر مربع و در دوره‌ی دوم و آخر به ترتیب ۱/۹۱ و ۲/۰۱ می‌باشد. پیشروی‌ها بیشتر در قسمت ابتدایی و انتهایی بازه متمرکز بوده (ترانسکت شماره‌ی ۱، ۲، ۶ و ۹ تا ۱۳) که متوجه اراضی روستاهای نیک‌پی، دره‌لیک، دولاناب، نجی، ایده‌لو و باغلوجه و سیف‌آباد می‌باشد.

پسروی‌ها نیز در ترانسکت شماره‌ی ۳ تا ۸ (به استثنای ترانسکت شماره‌ی ۶) متمرکز می‌باشند. بر اساس نتایج به دست آمده زنجان‌رود در مجموع روند رو به پایداری را از خود نشان می‌دهد. نواحی مجاور قسمت‌های ابتدایی و انتهایی بازه‌ی مورد مطالعه (مناطق اطراف روستاهای نیک‌پی و باغلوجه) از حساس‌ترین محدوده‌های بازه بوده و این امر می‌طلبد که برنامه‌ریزی‌ها در این بازه از رودخانه بیشتر در این قسمت‌ها متمرکز شوند.

## منابع

- برخورداری، جلال و محمد خسروشاهی (۱۳۸۶)، **بررسی اثر تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز میناب)**، پژوهش و سازندگی، شماره‌ی ۴، صص ۱۹۱-۱۹۹.

- بیاتی خطیبی، مریم (۱۳۹۳)، **بررسی تغییرات پیچان‌رود آجی‌چای در پهنه‌ی سیلاب دشت**، جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره‌ی ۴۹، صص ۵۵-۷۹.

- پیروان، حمیدرضا، جعفری‌اردکانی، علی و محسن شریعت‌جعفری (۱۳۹۵)، **طبقه‌بندی مورفولوژیکی رودخانه قزل‌اوزن سفلی و روند تغییرات آن**، مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره‌ی ۲، صص ۱۶۴-۱۵۲.

- پیروان، حمیدرضا و محسن شریعت‌جعفری (۱۳۹۱)، **ارائه‌ی روشی جامع برای تعیین فرسایش پذیری واحدهای سنگ‌شناسی با نگرشی بر زمین‌شناسی ایران**، مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره‌ی ۳، صص ۲۱۴-۱۹۹.

- حسن‌لو، محمدرضا (۱۳۸۲)، **بررسی عوامل ژئومورفولوژیک در میزان فرسایش و رسوب‌دهی در بخشی از حوضه آبخیز زنجان‌رود با استفاده از GIS**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

- حسنی‌ها، حسین‌علی و خدیجه نجفی (۱۳۹۱)، **بررسی عوامل اصلی تخریب و فرسایش در حوضه‌ی آبریز زنجان‌رود**، اولین همایش ملی بیابان، تهران، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران.

- رنگزن، کاظم، صالحی، بهرام و پروین سلحشوری (۱۳۸۷)، **بررسی تغییرات منطقه پایین‌دست سد کرخه قبل و بعد از ساخت سد با استفاده از تصاویر چندزمانه Landsat**، همایش ژئوماتیک ۸۷، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

- خسروی، غلامرضا و احمد نوحه‌گر (۱۳۹۵)، **تحلیل عددی الگوی جریان و رسوب و تغییرات مورفولوژی در یک بازه‌ی پیچان‌رود طبیعی (مطالعه‌ی موردی: پیچان‌رود پایین دست سد**

**میناب**)، یازدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، یاسوج، انجمن آبخیزداری ایران، دانشگاه یاسوج.

- خسروی، غلامرضا؛ اعظمی‌راد، محمود و مهدی نجفی (۱۳۹۴)، **ارزیابی قابلیت یک مدل عددی در شبیه سازی هیدرودینامیک جریان و رسوب**، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره‌ی ۳۰، صص ۶۷-۷۲.

- رضایی، علی (۱۳۸۵)، **بررسی اثر گسترش اراضی دیم بر شدت سیلاب حوضه‌ی آبخیز قزل اوزن**، مجموعه مقالات کارگاه فنی همزیستی با سیلاب، ۲۵ مردادماه ۱۳۸۵، صص ۷۵-۸۲.

- رمضانی، یوسف و قمشی، مهدی (۱۳۹۰)، **بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوبگذاری مخزن سد سفیدرود**، نشریه‌ی آب و خاک، شماره‌ی ۴، صص ۸۸۰-۸۷۴.

- شفیعی، نجمه؛ نگارش، حسین و محمدصادق درانی‌نژاد (۱۳۹۵)، **تأثیرهیدروژئومورفولوژی آبخوان دشت نورآباد ممسنی بر منابع آب زیرزمینی منطقه با استفاده از GIS**، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۳۱، صص ۱۰۴-۸۹.

- عبدی، پرویز (۱۳۸۷)، **پهنه‌بندی اولویت و پتانسیل شدت فرسایش در اراضی حوضه‌ی آبخیز زنجان‌رود با استفاده از GIS**، همایش ژئوماتیک ۸۲، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.

- غفاری، گلاله، قدوسی، جمال و حسن احمدی (۱۳۸۸)، **بررسی کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه‌ی آبخیز (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز زنجان‌رود)**، پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره‌ی ۱، صص ۱۶۳-۱۸۰.

- معصومی، حمیدرضا، غریب‌رضا، محمدرضا و احمد معتمد (۱۳۹۰)، **بررسی مورفولوژی و الگوی پیچان‌رودی رودخانه‌ی زهره در جلگه ساحلی هندیجان**، مهندسی و مدیریت آبخیز، ۳، شماره‌ی ۲، صص ۱۱۲-۱۰۲.

- نیری، هادی؛ امانی، خبات وحمید گنجائیان (۱۳۹۵)، **بررسی شاخص‌های هیدروژئومورفولوژی و هیدرولوژی حوضه‌ی آبریز تروال**، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۷، صص ۱۹-۳۸.

- یمانی، مجتبی و شرفی، سیامک (۱۳۹۱)، **ژئومورفولوژی و عوامل مؤثر در فرسایش کناری رودخانه هررود استان لرستان**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی ۱، صص ۱۵-۳۲.

- یمانی، مجتبی و فخری، سیروس (۱۳۹۱)، **بررسی عوامل مؤثر در تغییرات الگوی رودخانه جگین در جلگه ساحلی مکران**، جغرافیا، شماره‌ی ۳۴، صص ۱۴۱-۱۵۹.

-Alfredo Ollero., (2009), **Channel Changes and Floodplain Management in the Meandering Middle Ebro River, Spain**, Geomorphology, Vol. 117, No. 3-4, PP.247–260.

-Inci Guneralp & Richard A. Marston, (2012), **Process–form linkages in meander morphodynamics: Bridging theoretical modeling and real world complexity**, Progress in Physical Geography, Vol. 36, No. 6, PP.718-746.

-Kuehn Ezekiel., (2015), **Stream bank erosion trends and sediment contributions in a southwestern Missouri river**, Master Thesis, Geography, Geology and Planning Department of Missouri State University.

-Longoni, L.; Papini, M.; Brambilla, D.; Barazzetti, L.; Roncoroni, F.; Scaioni, M.; Ivanov, V.I., (2016), **Monitoring Riverbank Erosion in Mountain Catchments Using Terrestrial Laser Scanning**, Remote Sensing, Vol. 8, No. 3, PP.1-22.

-Macfall J, Robinette P, Welch D., (2014), **Factors Influencing Bank Geomorphology and Erosion of the Haw River, a High Order River in North Carolina, since European Settlement**, PLoS ONE., Vol. 9, No.10, PP.1-12.

-Wang, S., Li, L., Ran, L., Y. Yunxia. (2016), **Spatial and temporal variations of channel lateral migration rates in the Inner Mongolian reach of the upper Yellow River**, Environmental Earth Sciences, No.18, PP.1-14.