

بررسی حساسیت ژئومورفیک رودخانه طالقان با تاکید بر نقش پوشش گیاهان حاشیه‌ای

سحر دارابی شاهماری - دانش‌آموخته دکتری مخاطرات ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران.
عزت اله قنوتی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران.
علی احمدآبادی - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران.
مروت افتخاری - استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۹/۲۹ تأیید نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷

چکیده

مطالعه حساسیت ژئومورفیک رودخانه، مبنایی برای توسعه یک رویکرد تحلیلی فراهم می‌کند که می‌تواند برای ارزیابی رفتار رودخانه در دوره‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. هدف این مطالعه بررسی حساسیت ژئومورفیک رودخانه طالقان طی دوره مطالعاتی ۱۳۷۰-۱۴۰۰ بوده است. بدین منظور، رودخانه مورد مطالعه بر اساس روش GUS به ۵ بازه تقسیم شد. شاخص حساسیت رودخانه در هر بازه با استفاده از محاسبه شاخص‌های نسبت انشعاب (BI)، عرض رودخانه (CW) و فعالیت مجرا (CA) در دوره ۱۳۷۰-۱۳۸۵ و ۱۴۰۰-۱۳۸۵ از طریق مقایسه عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شد. سپس، موقعیت کلنی‌های پایدار پوشش گیاهی در حاشیه رودخانه در امتداد ۷۱ مقطع عرضی طی دوره مطالعاتی بررسی شد. بر اساس نتایج، مساحت پوشش گیاهی پایدار طی دوره مورد مطالعه از بالادست رودخانه به سمت پایین دست کاهش یافته و ناپایداری بستر افزایش یافته است. به همین ترتیب، میزان تاثیر اختلالات انسانی و حساسیت بستر نیز از بالادست به سمت پایین دست افزایش یافته است. با توجه به کاهش عرض بستر در بازه‌های ۱ و ۲ رودخانه طالقان و نیز افزایش مساحت پوشش گیاهی پایدار، می‌توانیم تاثیر مثبت کلنی‌های گیاهی ثابت را بر کاهش حساسیت ژئومورفیک این بازه‌ها نسبت به سایر بازه‌ها شاهد باشیم.

واژگان کلیدی: اکوزئومورفولوژی؛ پوشش گیاهان حاشیه‌ای؛ رودخانه طالقان؛ حساسیت ژئومورفیک.

مقدمه

در عصری که منابع آب رو به زوال است و نیز با تغییرات آب و هوایی جهانی و افزایش جمعیت انسانی مواجه هستیم، مدیریت منابع آب شیرین از اولویت بالایی برخوردار است. با توجه به تأثیر انسان بر چشم‌انداز رودخانه‌ها، میراث تداوم تغییرات آنتروپوژنیک می‌تواند به طور قابل توجهی بر اشکال و فرآیندهای رودخانه‌های معاصر تأثیر بگذارد (هول^۱، ۲۰۱۹). در این راستا، نیاز فزاینده‌ای به درک ویژگی «مورد انتظار» یا «طبیعی» رفتار رودخانه به‌ویژه در زمینه احیای رودخانه‌ها وجود دارد (فرایرز^۲ و همکاران، ۲۰۱۵). در این زمینه، یکی از مفاهیم کلیدی حساسیت رودخانه است (فرایرز، ۲۰۱۷). حساسیت رودخانه در مقیاس‌های مکانی و زمانی متعدد مورد ارزیابی قرار گرفته است و ژئومورفولوژیست‌ها از طیفی از اصطلاحات برای توصیف واکنش‌های پیچیده رودخانه به اختلال استفاده کرده‌اند همچون حساسیت، درجه ناپایداری، عدم انعطاف‌پذیری، و غیره.

براندسن و ترونز (۱۹۷۹) حساسیت یک چشم‌انداز را "به عنوان احتمال اینکه یک تغییر معین در سیستم، یک پاسخ معقول، قابل تشخیص و پایدار ایجاد کند" تعریف کرده‌اند. این تعریف شامل جنبه‌های مختلفی است: امکان تغییر، تمایل به تغییر و ظرفیت سیستم برای مقاومت، جذب یا سازگاری با تغییر (خان^۳ و فرایرز^۴، ۲۰۲۰؛ توت، ۲۰۱۸). با این حال، تعدیل ژئومورفیک رودخانه از نظر مکانی و زمانی ماهیتی پویا دارد که منجر به اشکال و فرآیندهای پیچیده می‌شود. برای درک این پیچیدگی و راه‌های مفهوم‌سازی و تحلیل آن، فرایرز و بریرلی (۲۰۱۳) تمایز واضحی بین رفتار رودخانه و تغییر رودخانه قائل شدند. رفتار رودخانه به‌عنوان «تنظیمات مورفولوژی رودخانه ناشی از طیف وسیعی از مکانیسم‌های فرسایشی و رسوبی است که به وسیله آن، رودخانه قالب‌بندی، بازسازی و شکل‌دهی می‌شود، و مجموعه‌ای مشخص از ژئوفرم‌ها را تولید می‌کند» (برایرز و فرایرز، ۲۰۰۵). رفتار رودخانه منعکس‌کننده تنظیمات ژئومورفیک مداوم در بازه‌های زمانی است که در آن شرایط مرزی جریان (به عنوان مثال، رژیم‌های جریان و رسوب، و فعل و انفعالات پوشش گیاهی) نسبتاً یکنواخت باقی می‌ماند، به طوری که مجموعه‌ای از فرآیندهای مشخص را حفظ می‌کنند.

هر رودخانه در یک رژیم رفتاری عمل می‌کند به طوری که برهم‌کنش بین جریان، رسوب و پوشش گیاهی در آن، لندفرم‌های مشخصه یا واحدهای ژئومورفیک ایجاد می‌کند. در این رژیم رفتاری، ترکیبی از فرآیندهای فرسایشی و رسوبی به طور منظم این لندفرم‌ها را قالب‌بندی، بازسازی و شکل‌دهی می‌کند و واحدهای ژئومورفیک را تولید می‌کند (فرایرز و بریرلی، ۲۰۱۳). اشکال و سهولت تعدیل رودخانه، حساسیت رفتاری ذاتی رودخانه را تعریف می‌کند (فرایرز، ۲۰۱۷). از آنجایی که انواع رودخانه‌ها ظرفیت متفاوتی برای تنظیم دارند، حساسیت رفتاری در سراسر طیف متنوع رودخانه رخ می‌دهد. با این حال، هنگامی که رودخانه‌ها در معرض رویدادهای آشفته‌اپیزودیک یا مجموعه‌ای از رویدادهای اختلال قرار می‌گیرند (فیلیپس^۵، ۲۰۰۹). رژیم رفتاری آنها می‌تواند دستخوش تغییرات عمده شود. در این حالت، یک دگردیسی ژئومورفیک (شوم^۶، ۱۹۶۹)، انتقال حالت (فیلیپس، ۲۰۱۴) یا تغییر رودخانه (فرایرز و بریرلی/ف، ۲۰۱۴) رخ می‌دهد. این امر با ایجاد مجموعه جدیدی از روابط فرم-فرآیند، باعث تغییر رودخانه می‌شود. چنین رودخانه‌هایی نسبت به تغییر حساس هستند. یکی از راه‌های ارزیابی رفتار یا حساسیت رودخانه، بررسی اشکال ژئومورفیک در رودخانه طی یک دوره تاریخی یا یک چارچوب زمانی از پیش تعریف‌شده است (لیزنی^۷ و همکاران، ۲۰۱۸). هنگامی که حساسیت رفتاری و یا تغییر رودخانه در سراسر یک حوضه آبریز تجزیه و تحلیل می‌شود، الگوی مکانی حساسیت را می‌توان ارزیابی کرد و نقاط

1. Wohl

2. Fryirs

3. Khan

4. Fryirs

5. Phillips

6. Schumm

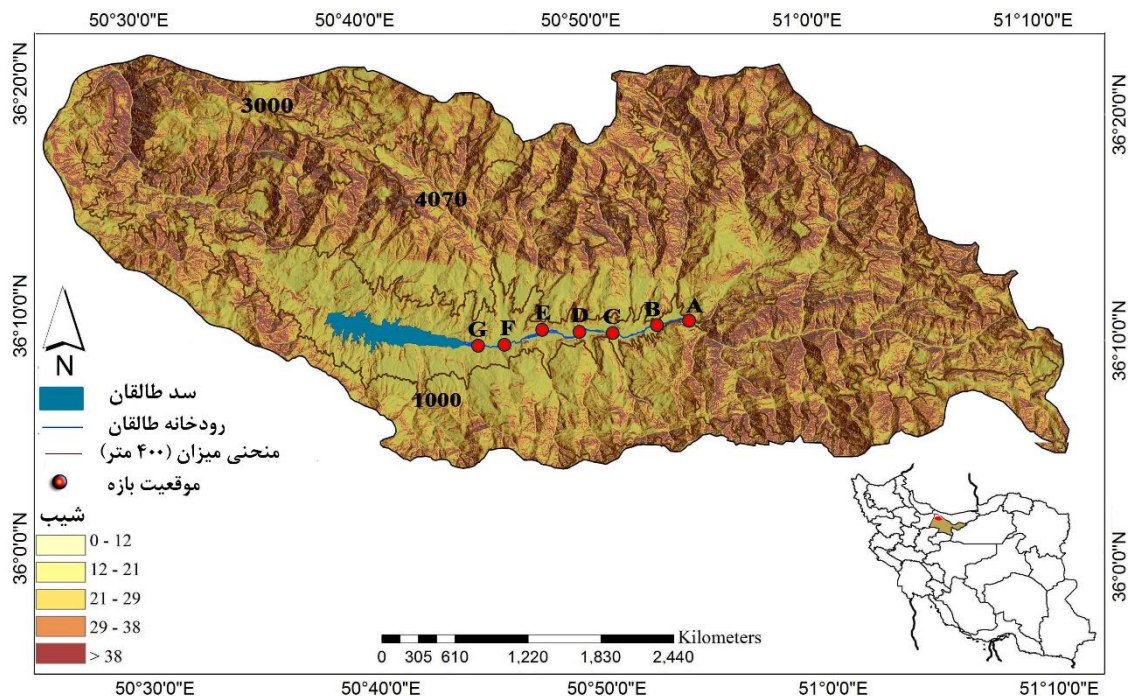
7. Lisenby

حساس را شناسایی کرد. ردیابی رفتار و تغییر رودخانه در طول زمان نشان می‌دهد که حساسیت رفتاری رودخانه در زمان ثابت نیست، اما می‌تواند به طور پویا به گونه‌ای تکامل یابد که برخی از رودخانه‌ها به اختلالات محتمل در آینده حساس‌تر شوند و یا بالعکس منعطف‌تر شوند. چنین تحلیل‌هایی امکان بررسی اثر ژئومورفیک رویدادهای اختلال محور بر روی حساسیت رودخانه را فراهم می‌کنند (فرایرز و همکاران، ۲۰۱۵). چنین درکی برای پیش‌بینی حساسیت ژئومورفولوژیک نسبت به طیفی از رویدادهای احتمالی مورد نیاز است. مطالعه حساسیت ژئومورفیک رودخانه، مبنایی برای توسعه یک رویکرد تحلیلی فراهم می‌کند که می‌تواند برای ارزیابی رفتار رودخانه در دوره‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرد. بر این اساس، هدف این مطالعه بررسی حساسیت ژئومورفیک رودخانه طالقان طی دوره مطالعاتی ۱۴۰۰-۱۳۷۰ بوده است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز طالقان که یکی از زیر حوضه‌های مهم سفیدرود به شمار می‌رود، در دامنه جنوبی رشته کوه‌های البرز و در فاصله ۱۲۰ کیلومتری شهر تهران واقع شده و از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین مختصات $51^{\circ} 12'$ و $50^{\circ} 37'$ طول شرقی و $36^{\circ} 05'$ و $36^{\circ} 20'$ عرض شمالی قرار گرفته است. وسعت حوضه آبخیز طالقان ۱۳۵۲۰۰ هکتار است. ارتفاع حوضه از سطح دریا از ۱۷۰۰ تا ۴۲۰۰ متر متغیر است. رودخانه طالقان در مرکز این حوضه، از گردنه عسلک در غرب کندوان سرچشمه گرفته و به سمت غرب جریان دارد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت رودخانه مورد مطالعه و بازه‌های مورد بررسی

این رودخانه پس از دریافت شاخه‌های متعدد، سرانجام به رودخانه الموت می‌پیوندد و پس از آن با نام رودخانه شاهرود به دریاچه سد سفید رود می‌ریزد. رودخانه طالقان تحت تاثیر مداخلات وسیع انسانی از قبیل احداث سد، تغییر کاربری اراضی حاشیه‌ای و فشارهای توریستی قرار دارد که این عوامل سبب ایجاد طیفی از حساسیت ژئومورفیک در امتداد رودخانه طالقان

شده است. جامعه پوشش گیاهی حاشیه‌ای در رودخانه طالقان به عنوان عاملی موثر بر تعدیل حساسیت ژئومورفیک، بیدیان ساحلی هستند که تیپولوژی عمده آنها، پوشش گیاهان چوبی به ویژه درختچه است. این مطالعه در امتداد ۱۹ کیلومتر (از شرق جویستان تا محل پیوستن به سد طالقان) از کریدور رودخانه طالقان انجام شده است.

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش از چهار دوره از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی استفاده شده است (جدول ۱). در ابتدا تصاویر مورد نظر با استفاده از عوارض مشخص و مشترک، اصلاح هندسی شده و سپس موزاییک شدند. سپس تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی موجود بر اساس مختصات برداشت شده از نقاط کنترل زمینی از طریق GPS و نقشه‌های توپوگرافی، در محیط نرم‌افزار ENVI ژئورفرنس شدند. در زمین مرجع‌سازی هر زوج از تصاویر اولتراکم از حداقل ۱۲۰ و حداکثر ۲۲۰ نقطه کنترل (نقاط کنترل زمینی و نقاط برداشت شده از نقشه‌های توپوگرافی) و نیز در زمین مرجع‌سازی هر زوج از عکس‌های هوایی از حداقل ۳۰ و حداکثر ۵۰ نقطه کنترل برای به حداقل رساندن خطای RMS^1 ، استفاده شده است (جدول ۱).

جدول ۱) مشخصات داده‌های مورد استفاده

تعداد	Cell Size	مرجع	داده
۷	۰/۸	سازمان نقشه برداری نیروهای مسلح	عکس هوایی ۱۳۷۰
۷	۱/۵	سازمان نقشه برداری ایران	عکس هوایی ۱۳۸۵
۲	۲/۵	سازمان نقشه برداری ایران	تصاویر کارتوست ۱۳۸۵

رودخانه مورد مطالعه، براساس تفاوت شیب و ارتفاع، با استفاده از مطالعه‌ی پروفیل طولی، به ۳ بخش بالادست، میان‌دست و پایین‌دست با میانگین ارتفاعی ۱۹۳۶، ۱۸۷۵ و ۱۷۹۳ متر و اختلاف شیب بسیار کم از سراب تا پایاب از حداقل ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۳ تقسیم شده است (با استفاده از پروفیل طولی استخراج شده از مدل رقومی ارتفاعی بر اساس تصاویر کارتوست). سپس در هر یک از این بخش‌ها، بازه‌هایی به‌منظور مطالعه مشخصات واحدهای ژئومورفیک مورد مطالعه بر اساس روش GUS (دارابی شاهماری و همکاران، ۱۴۰۰) تعیین شده است (جدول ۲). در شکل ۱ موقعیت هریک از بازه‌های مورد مطالعه مشخص شده است (شکل ۱). رودخانه مورد مطالعه، براساس تفاوت شیب و ارتفاع، با استفاده از مطالعه‌ی پروفیل طولی، به ۳ بخش بالادست، میان‌دست و پایین‌دست با میانگین ارتفاعی ۱۹۳۶، ۱۸۷۵ و ۱۷۹۳ متر و اختلاف شیب بسیار کم از سراب تا پایاب از حداقل ۰/۰۰۹ تا ۰/۰۱۳ تقسیم شد.

¹. Root Mean Square Deviation

جدول ۲: مشخصات بازه‌های مورد مطالعه رودخانه طالقان بر اساس روش GUS

بازه	کد GUS	طول بازه (متر)	طول دره (متر)	شیب	میانگین ارتفاع (متر)	نوع حصور	نوع رسوب	پلتفرم	واحد‌های ژئومورفیک	پایداری
۱	۷	۳۶۰۳/۱۸	۱۲۱۳/۸	۰/۰۱۶	۱۹۴۵	تا حدی محصور	ماسه/گراول	مستقیم-سینوسی	حوضچه/ریفل/برونزدگی سنگ بستر/تنداب/پوینت بارهای متناوب	نسبتاً پایدار، در معرض جابجایی فراوان بار آبرفتی
۲	۱۰	۵۰۴۶/۷	۴۶۰۹/۵	۰/۰۱۰	۱۸۹۸	تا حدی محصور/غیرمحصور	ماسه/گراول	سرگردان	جزایر/بارهای میانی/بارهای کناری/ریفل/حوضچه	به صورت عمودی و جانبی ناپایدار
۳	۱۲	۷۴۵۰/۷	۶۴۹۲/۵۴	۰/۰۰۸	۱۸۴۸	تا حدی محصور/غیرمحصور	ماسه/گراول	جزیره ای به هم بافته	جزایر/بارهای میانی/ریفل/حوضچه	به صورت عمودی و جانبی ناپایدار
۴	۱۹	۴۰۱۸/۴۷	۳۶۴۵/۱۸	۰/۰۱۰	۱۸۰۲	تا حدی محصور	سیلت/رس	مستقیم-سینوسی	حوضچه/مرداب	بسیار پایدار
۵	۱۲	۱۸۳۲/۶	۱۵۸۵/۳۵	۰/۰۰۹	۱۷۸۰	غیرمحصور	ماسه/گراول	جزیره ای به هم بافته	جزایر/بارهای میانی/ریفل-حوضچه	به صورت عمودی و جانبی ناپایدار

تجزیه و تحلیل ثبات مجرا

پایداری مجرا از طریق محاسبه و تحلیل شاخص‌های پلتفرم شامل شاخص نسبت انشعاب، عرض مجرای فعال و فعالیت سالانه مجرا ارزیابی می‌شود. قبل از محاسبه این شاخص‌ها، محاسبه مساحت مجرای فعال و طول مجرا ضروری است. در این مطالعه، مجرای فعال اشاره دارد به مجرای آبی، رسوبات میانی و کناری رودخانه. خط مرکزی مجرا در ArcGIS محاسبه شده است. روش‌های محاسبه هر یک از شاخص‌ها در ادامه شرح داده شده است.

عرض مجرای فعال (CW^۱)

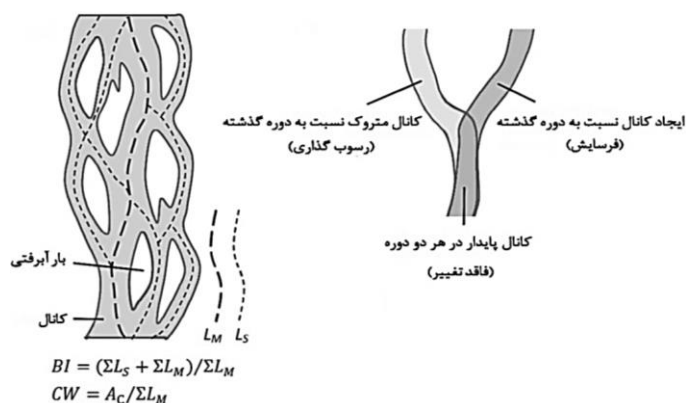
برای سنجش هرچه دقیق‌تر عرض مجرای فعال در دوره مورد مطالعه، در امتداد مسیر رودخانه، ۷۱ مقطع عرضی ترسیم شده و عرض مجرا برای هر یک از مقاطع در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ اندازه‌گیری شده است. عرض رودخانه از اساسی‌ترین پارامترهای حاکم بر هیدرولوژی رودخانه، ژئومورفولوژی، بیوشیمی و زیست‌بوم است. عرض رودخانه منعکس‌کننده میزان دبی، بار رسوبی، ترکیب بستر و حاشیه و تاثیر توپوگرافی محلی و تکتونیک است (فینگان^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). اساساً عرض بستر و نسبت آن با عمق از جمله اساسی‌ترین پارامترهایی هستند که تغییرات مورفولوژی در امتداد یک رودخانه را نشان می‌دهند (نیکلاس^۳ و همکاران، ۲۰۱۳). از نظر اکولوژیک، تغییرات در عرض می‌تواند مانع پراکنش زیستی گونه‌های زمینی و هوایی شود، در حالی که همچنین به عنوان زیستگاه بسیاری از گونه‌های آبی نیز عمل می‌کند (آلن^۴ و همکاران، ۲۰۱۵). برآورد توان رودخانه در واحد سطح بستر یا تنش برشی به دانش مستقیم از عرض مجرا، که به طور معمول به عنوان کانال دبی لبالب تقریب می‌خورد، نیاز دارد.

1. Channel Weight

2. Finnegan

3. Nicholas

4. Allen



شکل ۲) محاسبه شاخص نسبت انشعاب (BI) در عرض کانال فعال (CW)؛ B) دسته‌بندی تغییرات مجرا (فرسایش، رسوب-گذاری و فاقد تغییر)؛ LS: طول مجراهای ثانویه؛ LM: طول کانال اصلی؛ AC: مساحت مجرا (کیو^۱ و همکاران، ۲۰۱۷)

عرض مجرا دقیقاً مانند شیب مجرا، در ارتباط با تغییرات فضایی در فرسایش‌پذیری، به طور محلی متفاوت است (پاولسکی^۲ و همکاران، ۲۰۱۵).

عرض کانال فعال (CW) از طریق تقسیم مساحت مجرا (CA^۳) بر طول خط مرکزی مجرای اصلی (ΣL_M) محاسبه می‌شود (شکل ۱-۳). تفاوت در عرض [w] بین مراحل زمانی متوالی [wt2 - wt1] اندازه باریک شدن مجرا (اختلافات منفی) بر اثر رسوب‌گذاری و یا گسترش (اختلافات مثبت) بر اثر فرسایش را در طول هر بازه از رودخانه ارائه می‌دهد (کاسادو^۴ و همکاران، ۲۰۱۷) (شکل ۲).

شاخص نسبت انشعاب (BI)^۵

رودخانه‌های به هم بافته در رسوبات غیر منسجم که عمدتاً از رسوبات قلوه‌سنگ، گراول، شن و یا ماسه تشکیل شده‌اند، توسعه یافته و از طریق فعالیت جریان آب و رسوبات در شکل مجراهای چندگانه ظاهر می‌شوند. این نوع از رودخانه‌ها در نقاط گره، واگرا و همگرا می‌شوند. رشته‌های متعدد رودخانه‌های به هم بافته بسیار دینامیک و پیچیده و در طول زمان و فضا بسیار متفاوت هستند. این رشته‌ها توسط بارهای رسوبی به شکل جزیره از هم جدا می‌شوند که ممکن است پایداری آنها بسیار متفاوت باشد. پلانفرم رودخانه به سرعت در نتیجه فرسایش و رسوب گسترده تغییر می‌کند، و باعث تشکیل و تخریب مجراهای چندگانه می‌شود (ال آشمور^۶، ۲۰۱۳). این نوع از رودخانه‌ها عمدتاً بدون پوشش گیاهی هستند. با این حال، اگر جزایر رسوبی برای مدت کافی پایدار بمانند، می‌توانند به محلی برای استقرار ترجیحی گونه‌های گیاهی تبدیل شوند و در صورت تداوم پایداری، مستعد شکل‌گیری کلنی‌های گیاهی پایا شده و پنجره‌های بازخوردی فعال را در میان بستر رودخانه تشکیل می‌دهند. این دینامیک، تنوع گسترده‌ای از زیستگاه‌های فیزیکی و هیدرولیک، و موزاییک زیستگاهی بسیار پیچیده و غنی که از بایودایورسیتی بسیار بالایی پشتیبانی می‌کند را به وجود می‌آورد (تاکنر^۷، ۲۰۰۶). شاخص‌های متعددی برای اندازه‌گیری شاخص نسبت انشعاب رودخانه وجود دارد (لئوپلد و ولمن، ۱۹۵۷؛ شوم^۸ و خان^۹،

^۱.Kuo

^۲. Pavelsky

^۳. Chennel Area

^۴. Casado

^۵. Braiding Index

^۶. El-Ashmore

^۷. Tockner

^۸.Schumm

^۹.Khan

۱۹۷۲؛ هندرسون^۱، ۱۹۶۱؛ پارکر^۲، ۱۹۷۶؛ شارما^۳، ۲۰۰۴؛ اختر^۴ و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش شاخص نسبت انشعاب (BI) از طریق تقسیم طول کل مجرا، شامل مجراهای ثانویه فعال (ΣL_S)، بر طول مجرا اصلی (ΣL_M) محاسبه شد. مقادیر بیشتر این شاخص ناپایدار بودن رودخانه را نشان می‌دهد (جدول ۳) (کیو^۵ و همکاران، ۲۰۱۷).

جدول ۳: سطح ناپایداری مجرا رودخانه بر اساس شاخص BI

نسبت انشعاب	BI
کم	$> 1/5$
متوسط	$1/5 - 2/5$
زیاد	$2/5 - 3/5$
بسیار زیاد	$3/5 <$

شاخص فعالیت مجرا (CA)^۶

کمیت تغییرات پلنفرم با استفاده از درجه فعالیت مجرا محاسبه می‌شود (ولمیر^۷ و همکاران، ۲۰۰۵). فعالیت سالانه مجرا (CA) ترکیبی است از مساحت فرسایش و رسوب‌گذاری مجرای فعال در هر سال در واحد فاصله طولی. فعالیت مجرا، شاخص پایداری مجرا و نرخ مهاجرت مجرا است. فرسایش و رسوب‌گذاری با استفاده از هم‌پوشانی منطقه فعال مجرا و تشخیص تغییرات از دشت سیلابی به مجرا (فرسایش) و یا از مجرا به دشت سیلابی (رسوب‌گذاری) محاسبه می‌شود (شکل ۱-۳). هم‌پوشانی خطوط مرزی مجرا بین مراحل زمانی متوالی سه نوع مشخص از مجرا را ارائه می‌دهد: الف) منطقه اشغال شده در هر دو دوره زمانی (پلنفرم ثابت)، ب) منطقه اشغال شده تنها در مرحله زمانی دوم (ایجاد مجرا) و ج) منطقه اشغال شده تنها در مرحله اول (مجرا متروک) (کاسادو^۸ و همکاران، ۲۰۱۶). درصد ایجاد مجرا و مجرای متروک نسبت به مساحت کل مجرا در تصاویر دوره ۱ محاسبه شده است. نرخ ایجاد مجرا یا ترک مجرا به عنوان مساحت به دست آمده یا از دست رفته‌ی مجرا در تصاویر سری اول نسبت به سری دوم محاسبه شده است.

شاخص حساسیت مجرا (SI)^۹

شاخص حساسیت مجرا یک شاخص یکپارچه برای تشخیص مقاطع ناپایدار در رودخانه است (کیو^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۷). به منظور مقایسه تغییرات پایداری مجرا، ضرایب واریانس سه شاخص CA، CW و BI برای هر تیپولوژی محاسبه شده و سپس شاخص حساسیت مجرا از جمع واریانس آنها به دست آمده است ($SI = CVBI + CVCW + CVCA$). از این شاخص برای ارزیابی ثبات کلی مجرا استفاده شده است.

بررسی کلنی‌های گیاهی نسبتاً پایدار

در این مطالعه، محدوده‌ی فضایی پوشش گیاهی پایدار را مورد بررسی قرار دادیم، یعنی موزاییک‌های ژئومورفیک در امتداد

¹. Henderson

². Parker

³. Sharma

⁴. Akhtar

⁵. Kuo

⁶. Channel Aactivity

⁷. Wellmeyer

⁸. Casado

⁹. Sensitivity Index

¹⁰. Kuo

کریدور سواحل، جایی که گونه‌های گیاهان چوبی حاشیه‌ای در طول دوره مورد نظر به عنوان مهندسین اکوسیستم عمل کرده‌اند (دارابی شاهماری، ۱۴۰۰). بافتکی

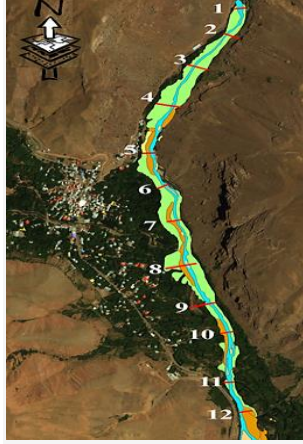
بحث و یافته‌ها

عرض بستر (CW)

برآورد عرض مجرا به دو حالت انجام می‌پذیرد. در روش نخست تنها عرض مجرا حاوی جریان آب مورد بررسی قرار می‌گیرد، در حالیکه در روش دوم با توجه به متغیر بودن سطح آب در هنگام تهیه تصاویر، عرض کلی مجرا که شامل بارهای آبرفتی و جزایر موجود است برآورد می‌شود (اسفندیاری^۱ و رحیمی^۲، ۲۰۱۹).

در این تحقیق از محاسبه عرض کل مجرا استفاده شده است که بارهای رسوبی حاشیه‌ای، بارهای رسوبی میانی، جزایر رسوبی و گیاهی میان بستر را نیز در بر می‌گیرد (رید^۳ و برابری^۴، ۲۰۱۵). برای سنجش هرچه دقیق‌تر عرض مجرا فعال، در امتداد مسیر مورد مطالعه ۷۱ مقطع عرضی ترسیم شد و عرض مجرا برای هر یک از مقاطع در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ اندازه‌گیری شد. روند کاهش عرض مجرا در دوره مورد مطالعه قابل مشاهده است. به طوری که متوسط عرض مجرا در سال ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب برابر با ۱۳۲/۹۶، ۱۳۱/۳۴ و ۱۲۲/۲۳ متر بوده است (جدول ۴).

جدول ۴: تغییرات عرض مجرا در مقاطع به تفکیک بازه‌ها بر اساس تیپولوژی رودخانه طالقان در دوره مورد مطالعه (۱۴۰۰ - ۱۳۷۰)

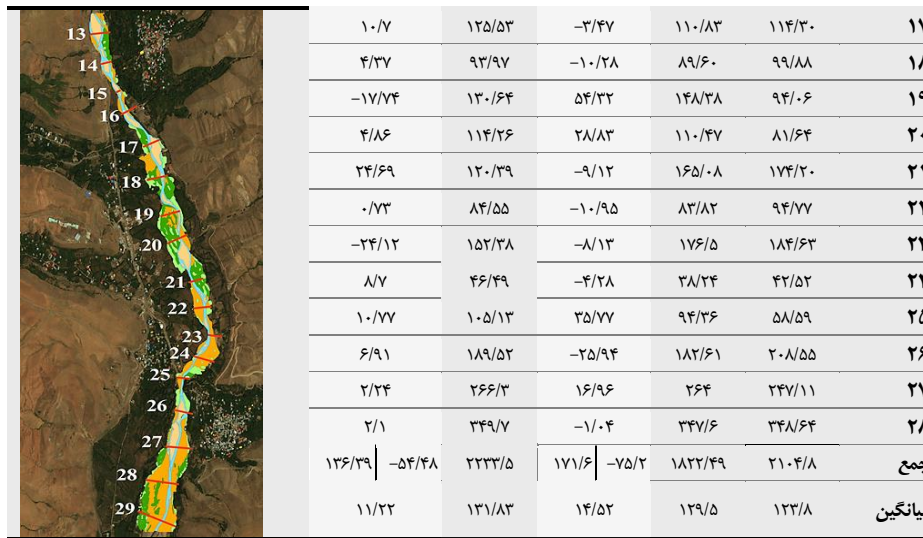
موقعیت مقاطع عرضی	اختلاف	۱۴۰۰ (m)	اختلاف	۱۳۸۵ (m)	۱۳۷۰ (m)	مقطع عرضی
	-۲/۷	۱۹/۹۵	-۳/۵۵	۲۲/۶۵	۲۶/۲۰	۱
	-۱/۳۸	۱۶/۱۴	-۱/۱	۱۷/۵۳	۱۸/۶۳	۲
	-۶/۶۶	۲۰/۴۷	۱/۳	۲۷/۱۳	۸۲/۲۵	۳
	-۱۲/۵۸	۲۴/۸۶	-۰/۵۳	۳۷/۴۴	۲۶/۹۱	۴
	-۹/۸۹	۳۶/۶۰	-۰/۷۷	۴۶/۴۹	۴۷/۲۶	۵
	-۹/۸۱	۱۷/۰۴	-۶/۹۸	۲۶/۸۵	۳۲/۸۳	۶
	-۶/۱۳	۲۱/۶۹	۳/۹۱	۲۷/۸۲	۲۲/۹۱	۷
	-۱/۲۴	۲۹/۲۹	-۴/۵۴	۳۰/۵۳	۳۵/۰۷۲	۸
	-۳/۵۹	۲۲/۱۵	-۵/۲۸	۲۰/۷۴	۳۱/۰۲۷	۹
	-۶/۰۸	۲۰/۲۸	-۱۰/۷۶	۲۶/۳۶	۳۷/۱۲	۱۰
	۱/۲۱	۲۵/۹۰	-۱۲/۷	۲۴/۶۹	۳۷/۳۹	۱۱
	-۶/۸۹	۴۶/۸۹	۱۲/۱۰	۵۳/۷۲	۴۱/۶۱	۱۲
جمع	۱/۲۱	۲۹۹/۷۹	۱/۸۴	۳۶۷/۰	۳۹۴/۸۰	
میانگین	۵/۶۸	۲۴/۹۸	۵/۲۹	۳۰/۵۸	۳۲/۹۰	
	-۱/۹۶	۱۲۵/۵	-۱/۸۳	۱۳۷/۴	۱۲۹/۳۰	۱۲
	-۱۰/۶۶	۸۹/۴۳	۱۹/۸۵	۱۰۰	۸۰/۲۴	۱۳
	۱۷/۰۷	۴۹/۰۵	-۰/۲۲	۳۱/۹۸	۳۱/۷۶	۱۴
	۷/۷۲	۴۸/۳۱	۷/۹۸	۴۰/۴۹	۳۲/۵۱	۱۵
	۳۵/۵۳	۱۲۵/۵۲	۷/۹۲	۸۹/۹۹	۸۲/۰۷	۱۶

^۱.Esfandiary

^۲.Rahimi

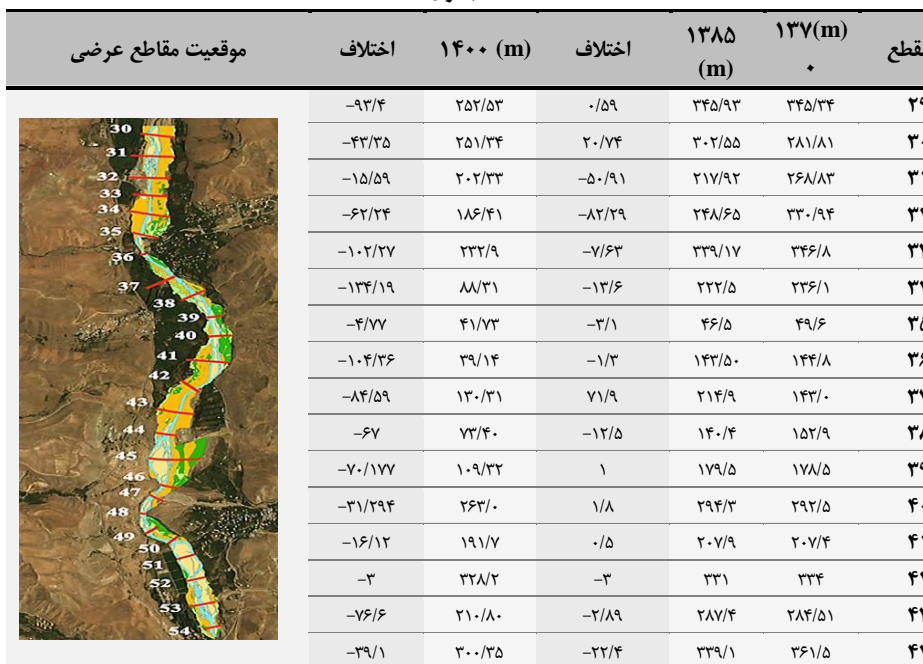
^۳.Reid

^۴.Brierly



در مجموع ۷۱ مقطع مورد مطالعه، دامنه تغییرات کاهشی عرض مجرا در سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳۷۰ از ۰/۵ متر تا ۸۲/۲۹ متر در ۴۷ مقطع مشاهده می‌شود ($m=۱۱/۴۶$). در مقابل این کاهش، سیر افزایشی عرض مجرا در ۲۴ مقطع در دامنه متغیر ۰/۵ تا ۷۱/۹ متر مشاهده شده است ($m=۱۲/۰۲$; جدول ۴). در برخی از مقاطع تغییرات فاحشی در عرض مجرا وجود داشته به عنوان مثال مقاطع عرضی بازه ۵ شامل مقاطع ۶۷ (-۲۶) و ۶۸ (-۷۸/۷۲)، و یا مقطع ۴۹ در بازه ۳ (-۴۸/۲۵)؛ که به دلیل تجاوز به حریم بستر این تغییرات ایجاد شده است. مجموع دامنه کاهشی ($۱۴۰۰=۱۴۵۷/۲۸$) و افزایشی تغییرات ($۱۳۸۵=۵۷۵/۹۸$) و ($۱۴۰۰=۸۳۷/۶ < ۱۳۸۵=۳۵۳/۸$) در عرض بستر رودخانه در سال ۱۴۰۰ نسبت به دوره قبل از خود روند متغیری داشته است. در سال ۱۴۰۰ متوسط عرض مجرا ۱۲۲/۲۳۸ متر بوده که در مقایسه با سال ۱۳۸۵ با میانگین ۱۳۱/۲۴۴، کاهش یافته است. دامنه‌های کاهشی متغیر در عرض مجرا در ۴۴ مقطع در سال ۱۴۰۰ نسبت به سال ۱۳۸۵ از ۰/۵ تا ۱۴۴/۱ متر بوده است ($m=۳۳/۱۲$). در مقابل این کاهش، سیر افزایش عرض مجرا در ۲۷ مقطع در دامنه متغیر ۰/۵۱ تا ۲۳۱/۹۹ متر مشاهده شده است ($m=۳۱/۰۲$) (جدول ۴).

ادامه جدول ۴



۴۵	۱۱۴/۴	۱۱۸/۸۱	۴/۴۱	۱۲۱/۳۸	۲/۵۷
۴۶	۱۲۵/۴	۱۲۷/۴	۲	۱۲۹/۰	۱/۶
۴۷	۶۱/۱۶	۵۷/۴	-۳/۷۶	۵۸/۳۷	-۰/۹۷
۴۸	۱۳۴/۰۹	۸۵/۸۱	-۴۸/۲۸	۸۴/۲۸	-۱/۵۳
۴۹	۲۴/۰۱	۲۲۷/۴	-۱۲/۷	۸۳/۳۰	-۱۴۴/۱
۵۰	۲۲۷/۶	۲۲۳/۳	-۴/۳	۱۹۲/۲۰	-۳۱/۱
۵۱	۲۷۹/۹	۲۷۱/۹۸	-۷/۹	۱۸۹/۳۹	-۸۲/۵۹
۵۲	۲۳۶/۹	۲۳۹/۶۶	-۲/۷۶	۲۷۱/۳۱	۳۱/۶۵
۵۳	۱۶۶/۲	۱۵۹/۷۴	-۶/۴۶	۱۳۰/۳۷	-۲۹/۴۷
جمع	۵۵۴۵/۲۳	۵۳۷۳/۹۳	۱۰/۹	۴۱۶۱/۵۸	-۱۲۸۰
میانگین	۲۲۱/۸۰	۲۱۴/۹۵	۱۵/۵۴	۱۶۶/۴۶	۵۲/۷۰

مقطع	۱۳۷۰ (m)	۱۳۸۵ (m)	اختلاف	۱۴۰۰ (m)	اختلاف	موقعیت مقاطع عرضی
۲۴/۱۸	۲۰/۷۹	-۳/۳۹	۱۹/۲۵	-۱/۵۴		
۲۷/۷	۳۸/۳۶	۱۰/۶۶	۳۶/۳۷	-۲/۰۹		
۳۲/۵۵	۲۷/۸۲	-۴/۷۳	۲۷/۱۴	-۰/۶۸		
۲۶/۶۹	۲۴/۳۶	-۲/۵۳	۳۴/۶۶	۱۰/۵		
۳۰/۲۶	۲۸-۲۸	-۱/۹۸	۲۸/۱۱	-۰/۱۷		
۳۱/۱۴	۲۹/۵۲	-۱/۶۲	۲۹/۵۷	-۰/۰۵		
۳۰/۵۹	۶۸/۲۲	۳۷/۶۳	۹۰/۶۱	۲۲/۳۹		
۹۲/۹۴	۸۷/۹	-۵/۰۴	۸۹/۱۲	۱/۲۲		
۲۲/۳۳	۲۶/۶۰	۴/۲۷	۲۷/۲۷	-۰/۶۷		
۲۹/۲	۳۱/۷۱	۲/۵۱	۲۴/۷۷	-۶/۹۴		
جمع	۳۷۵/۶۸	۴۱۱/۲۴	۵۵/۰۷	۴۳۶/۷۹	-۱۱/۴۷	
میانگین	۳۴/۱۵	۳۷/۳۸	۶/۷۷	۳۹/۷۰	۴/۳۹	
۲۸/۰۵	۲۸/۰۲	-۰/۰۳	۱۷۴/۴۵	۱۴۶/۴۳		
۱۰۰/۴۷	۱۲۶/۴۷	-۲۶	۲۶۲/۳۸	۱۳۵/۹۱		
۱۱۴/۳۱	۳۵/۵۹	-۷۸/۷۲	۲۶۷/۵۸	۱۳۲/۹۹		
۲۱۴/۴۶	۲۳۸/۳۸	-۲۳/۹۲	۳۵۰/۳۴	۱۱۱/۹۶		
۳۲۶/۰۹	۳۳۲/۴۲	۶/۳۲	۳۲۱/۸۸	-۱۰/۵۴		
۲۲۴/۶۸	۲۰۳/۵۹	-۲۱/۰۹	۱۷۰/۵۹	-۳۳		
جمع	۱۰۰۸/۰۹	۹۶۴/۵۰	-۱۴۹/۷۶	۱۵۴۷/۲۳		۶۲۶/۴۹
میانگین	۱۶۸/۰۱	۱۶۰/۷۵	۲۶/۰۱	۲۵۷/۸۷		۱۱۱/۶۷

شاخص نسبت انشعاب (BI)

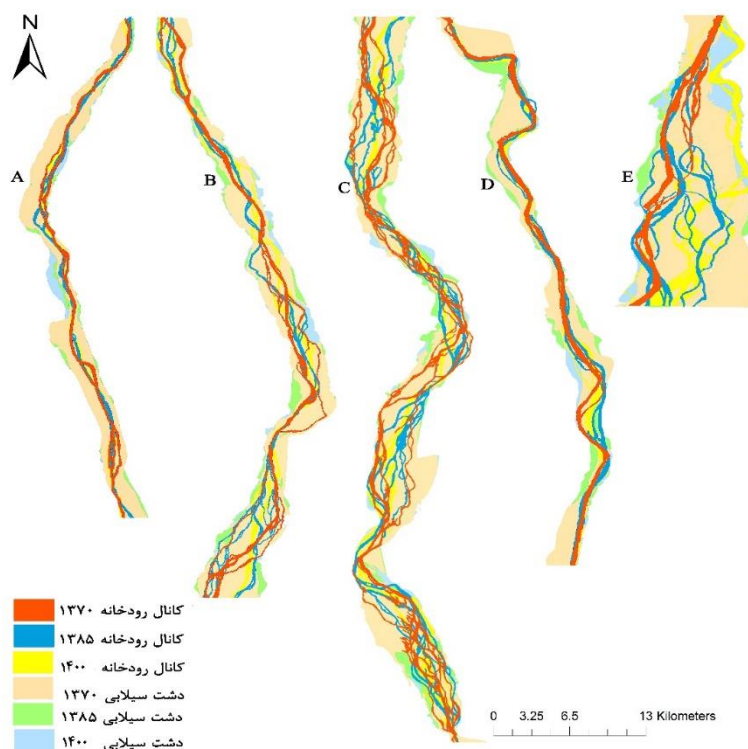
میانگین شاخص BI برای رودخانه طالقان در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۵ و ۱۴۰۰ به ترتیب ۲/۴، ۲/۰۶ و ۱/۹۸ بوده است که بیانگر کاهش شاخص برای کل رودخانه است. این شاخص در ۲۹ مقطع در سال ۱۳۸۵ نسبت به سال ۱۳۷۰ افزایش و در ۳۵ مقطع کاهش یافته و در ۷ مقطع نیز تغییری مشاهده نشده است. در حالی که در دوره بعد یعنی ۱۴۰۰-۱۳۸۵ شاخص BI در ۳۲ مقطع افزایش و در ۳۲ مقطع کاهش یافته و در ۷ مقطع نیز تغییری مشاهده نشده است. کمترین تغییر شاخص BI در دوره مورد مطالعه در بازه ۱ و بیشترین تغییر در بازه ۵ مشاهده شده است. افزایش شاخص BI در برخی از مقاطع ممکن است حاکی از رسوب‌گذاری بیشتر سیلت و رس در این مقاطع در مقایسه با دوره قبل باشد. بررسی تغییرات شاخص BI و شاخص CW حاکی از انطباق سیر تغییرات افزایشی کاهشی دو شاخص در دوره مورد مطالعه است. همچنین کاهش و افزایش در شاخص BI در مقاطع مورد بررسی به صورت تقریبی منطبق با شاخص CW است. بدین ترتیب که با افزایش عرض مجرا، شاخص BI نیز افزایش یافته و با کاهش عرض مجرا، شاخص BI نیز کاهش یافته است.

شاخص فعالیت مجرا (CA)

میزان فرسایش در کل رودخانه در دوره‌های ۱۳۸۵-۱۳۷۰ و ۱۴۰۰-۱۳۸۵ به ترتیب ۵۵/۴۹ و ۵۰/۱۶ هکتار در کیلومتر مربع بوده که حاکی از ۹/۶۰٪ کاهش نسبت به دوره قبل است. به همین ترتیب میزان رسوب‌گذاری نیز به ترتیب ۵۶/۱۸ و ۷۴/۲۰ بوده که نسبت به دوره قبل ۳۲/۰۷٪ افزایش داشته است (جدول ۴). در بازه‌های شماره ۱، ۲، ۳ و ۵ میزان فرسایش در مقایسه با دوره قبل به ترتیب ۰/۰۸۷، ۰/۴۸، ۰/۶۵٪ افزایش یافته است؛ در حالی که در بازه‌های ۳ و ۴ میزان فرسایش در مقایسه با دوره قبل به ترتیب ۳۱٪ و ۳۷٪ کاهش روبرو بوده است. طبق یافته‌ها، بیشترین و کمترین روند تغییر در میزان فرسایش به ترتیب مربوط به بازه ۵ با تیپولوژی جزایر به هم بافته و بازه ۱ با تیپولوژی مستقیم-سینوسی است. از لحاظ رسوب‌گذاری در بازه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و بازه ۴ به ترتیب ۵۱٪، ۲۴٪، ۴۸٪ افزایش و در بازه ۵، ۰/۱۹٪ کاهش ملاحظه می‌شود. به همین ترتیب، بیشترین و کمترین روند تغییر در میزان رسوب‌گذاری نیز در بازه ۱ با تیپولوژی مستقیم-سینوسی و بازه ۵ با تیپولوژی جزایر به هم بافته ملاحظه شده است.

در بازه ۲ میزان فرسایش و رسوب‌گذاری به ترتیب ۴۸٪ و ۵۱٪ افزایش داشته است. در این بازه، تاثیر عوامل آنتروپوژنیک بیش از بازه ۱ قابل ملاحظه است. پوشش گیاهی به صورت پراکنده در حاشیه بستر وجود دارد به طوری که در امتداد بخش‌هایی از موزایک‌های ژئومورفیک می‌توان ثبات مجرا و تاثیرگذاری پوشش گیاهی حاشیه‌ای را در مقایسه با دوره قبل مشاهده کرد. در بازه ۳ میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در سال ۱۴۰۰ به ترتیب ۳۱٪ کاهش و ۴۸٪ نسبت به دوره قبل افزایش داشته است. تیپولوژی جزیره‌ای- به هم بافته بیشترین طول رودخانه در این بازه را به خود اختصاص داده است.

از عوامل افزایش رسوب‌گذاری در این بازه می‌توان به احداث معدن شن و ماسه در میان بستر رودخانه و تبدیل اراضی حاشیه‌ای بستر رودخانه به اراضی کشاورزی در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۵ اشاره کرد. این عوامل تاثیر بسزایی در افزایش تخمین رسوب‌گذاری و کاهش بستر رودخانه داشته‌اند. در بازه ۴ از سال ۱۳۸۵-۱۳۷۰ تا ۱۴۰۰-۱۳۸۵ افزایش آثار آنتروپوژنیک و کاهش عرض بستر به وضوح قابل مشاهده است. از این رو در تخمین میزان رسوب‌گذاری و در نتیجه کاهش بستر رودخانه، آثار آنتروپوژنیک از جمله کانالیزه‌سازی بستر تاثیر بیشتری داشته است (شکل ۳: D). در بازه ۵ و انتهای رودخانه طالقان، در سال ۱۳۸۵ فرسایش نسبت به دوره قبل افزایش بیشتری نسبت به رسوب‌گذاری داشته است. در سال ۱۳۸۵ اراضی حاشیه‌ای رودخانه طالقان در این بازه به اراضی کشاورزی اختصاص یافته‌اند اما در سال ۱۴۰۰ فرسایش حاشیه‌ای و گسترش مجرای فعال رودخانه، سبب آبیگری این اراضی و گسترش عرض مجرا شده است.



شکل ۳: تغییرات مجرا و دشت سیلابی رودخانه طالقان در بازه‌های مورد بررسی رودخانه طالقان

در جدول ۵ شاخص کلی فعالیت مجرا قید شده است. مجرای رودخانه طالقان در سال ۱۴۰۰ نسبت به دوره‌های قبل فعالیت بیشتری را نشان می‌دهد. در بازه‌های ۱، ۲ و ۵ افزایش فعالیت مجرا و در بازه‌های ۳ و ۴ کاهش فعالیت مجرای رودخانه نسبت به دوره قبل مشاهده می‌شود. شاخص فعالیت مجرا در بازه‌های ۱، ۲ و ۵ در سال ۱۴۰۰-۱۳۸۵ نسبت به دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۰ افزایش داشته است. در بازه‌های ۳ و ۴ فعالیت مجرا تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است. با این وجود بیشترین فعالیت مجرا به ترتیب در بازه‌های ۳ و ۲ ملاحظه می‌شود. کمترین فعالیت که نمایانگر ثبات تقریبی مجرای رودخانه است به ترتیب در بازه‌های ۱ و ۴ رودخانه مشاهده می‌شود. به همین ترتیب کمترین مقادیر شاخص نسبت انشعاب مجرای رودخانه و تغییرات شاخص عرض مجرای فعال رودخانه نیز در همین بازه‌ها با پلنفرم مستقیم-سینوسی مشاهده می‌شود.

جدول ۵: شاخص فعالیت رودخانه طالقان برای کل رودخانه و نیز به تفکیک بازه‌های مورد بررسی

بازه	N	دامنه	حدادقل	حداکثر	CA	میانگین	انحراف معیار	CN	واریانس
بازه ۱	۱۲	۱/۶۲	-۱/۲۵	۱/۸۷	۷/۳۸	۰/۶۱	-۱/۴۶	-۱/۷۵	۰/۲۱۴
بازه ۲	۱۷	۲/۱۰	-۱/۴۴	۲/۵۳	۱۸/۸۱	۱/۱۰	-۱/۵۱	-۱/۴۶	۰/۲۶۱
بازه ۳	۲۵	۵/۰۱	-۱/۲۴	۶/۲۵	۶۲/۹۸	۲/۵۱	۱/۴۰	-۱/۵۵	۱/۹۸
بازه ۴	۱۱	۲/۱۲	-۱/۳۸	۲/۵۰	۱۲/۷۲	۱/۱۵	-۱/۵۸	-۱/۵۰	۰/۳۳
بازه ۵	۶	۲/۷۸	-۱/۲۱	۲/۹۹	۱۰/۷۹	۱/۷۹	۱/۰۱	-۱/۵۵	۱/۰۳
رودخانه	۷۱	۶/۰۴	-۱/۲۱	۶/۲۵	۱۱۱/۶۸	۱/۵۷	۱/۲۰	-۱/۷۶	۱/۴۶
بازه ۱	۱۲	۱/۰۲	-۱/۴۰	۱/۴۲	۱۰/۸۵	۰/۹۰۲	-۱/۳۴	-۱/۳۸	۰/۱۲۲
بازه ۲	۱۷	۲/۳۹	-۱/۲۹	۳/۸۵	۲۸/۲۸	۱/۶۶	-۱/۸۹	-۱/۵۳	۰/۸۰۶
بازه ۳	۲۵	۸/۷۶	-۱/۱۰	۵/۳۱	۶۰/۵۵	۲/۴۲	۱/۳۲	-۱/۵۴	۱/۷۵
بازه ۴	۱۱	۱/۳۶	-۱/۴۲	۱/۸۴	۱۱/۷۳	۱/۰۶	-۱/۴۴	-۱/۴۱	۱/۹۶
بازه ۵	۶	۲/۲۰	۱/۰۵	۳/۲۵	۱۳/۷۹	۲/۲۹	-۱/۹۳	-۱/۴۰	۰/۸۷
رودخانه	۷۱	۵/۲۱	-۱/۲۱	۶/۲۵	۱۲۴/۳۶	۱/۵۷	۱/۲۰	-۱/۷۶	۱/۴۶

شاخص حساسیت مجرا (SI)

حساسیت مجرا بر روند تغییر داده‌ها تاکید دارد یعنی هرچقدر داده‌ها پراکنش بیشتری داشته باشند، حساسیت ژئومورفیک مقاطع مورد بررسی رودخانه بیشتر است. مجرای رودخانه در سال ۱۳۷۰ به عنوان پایه محاسبات در دوره مورد مطالعه است، از این رو شاخص CA برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۰ و ۱۴۰۰-۱۳۸۵ محاسبه شده است. بر اساس نتایج، شاخص حساسیت مجرای رودخانه طالقان در کل رودخانه در دوره‌های مورد مطالعه روند تقریباً مشابهی داشته است و حساسیت مجرا در طیف زیاد قرار دارد؛ اما در سال ۱۳۸۵-۱۳۷۰ روند افزایشی حساسیت مجرا نسبت به دوره بعد از خود، محسوس‌تر است؛ بدین معنی که پراکنش تغییرات افزایشی-کاهشی قابل ملاحظه در دوره ۱۴۰۰-۱۳۸۵ نسبت به دوره قبل از خود کمتر است؛ اما میزان تغییرات در دوره ۱۴۰۰ نسبت به دوره قبل بیشتر است و پراکنش این تغییرات کمتر است. به این معنی که سیر تغییرات در تمامی مقاطع و بازه‌های مورد بررسی روند یکنواخت‌تری داشته است. بدین ترتیب حساسیت ژئومورفیک رودخانه نسبت به دوره قبل کاهش و میزان تغییرات نسبت به دوره پیش افزایش یافته است (جدول ۶).

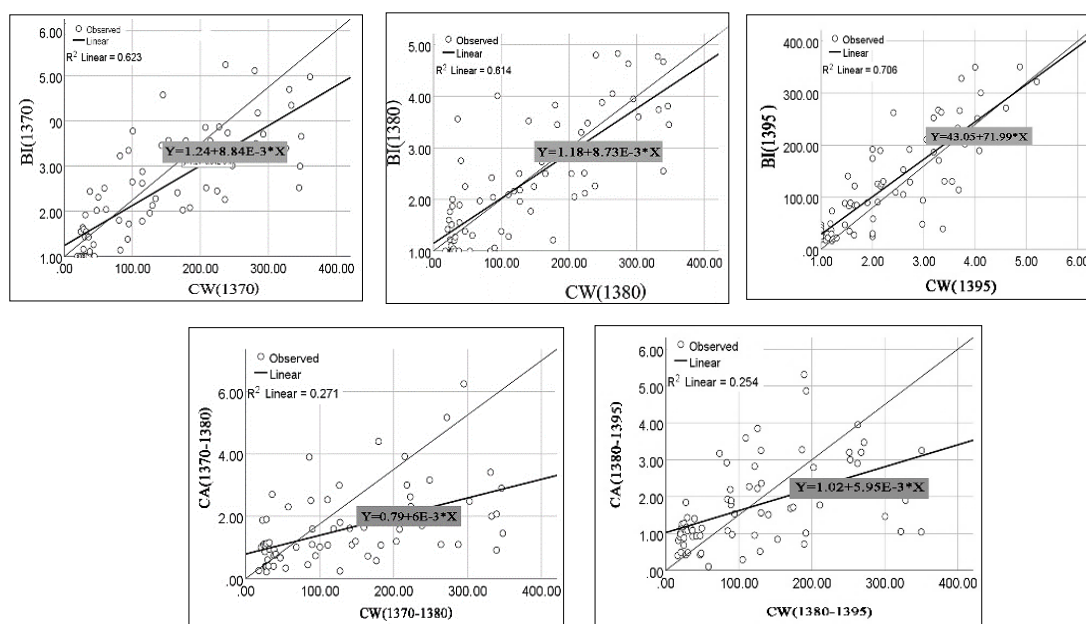
جدول ۶: شاخص حساسیت مجرا، نسبت انشعاب، عرض مجرای فعال و فعالیت مجرای رودخانه طالقان در دوره مورد مطالعه

	CA				CW				BI			
	SI	C.V.	S.D.	Mean	SI	C.V.	S.D.	Mean	C.V.	S.D.	Mean	
۱۳۷۰-۱۳۸۵	بازه ۱	۱/۲۹	۰/۷۵	۰/۴۶	۰/۶۱	۵۴٪	۰/۳۶	۱۰/۳۵	۳۰/۵۸	۰/۱۸	۰/۲۱	۱/۱۶
	بازه ۲	۱/۳۶	۰/۴۶	۰/۵۱	۱/۱۰	۹۰٪	۰/۴۴	۸۱/۴۴	۱۲۹/۵۰	۰/۴۶	۱/۰۷	۲/۱۴
	بازه ۳	۲/۹۷	۰/۵۵	۱/۴۰	۲/۵۱	۲۴۲٪	۰/۳۶	۸۸/۴۷	۲۱۴/۹۵	۲/۰۶	۱/۰۷	۳/۱۹
	بازه ۴	۱/۲۱	۰/۵۰	۰/۵۸	۱/۱۵	۷۱٪	۰/۴۳	۲۱/۰۴	۳۷/۳۸	۰/۲۸	۰/۴۵	۱/۴۵
	بازه ۵	۱/۵۶	۰/۵۶	۱/۰۱	۱/۷۹	۱۰۰٪	۰/۵۲	۱۱۹/۸۲	۱۶۰/۷۴	۰/۴۸	۰/۷۱	۲/۷۵
	رودخانه	۱/۸۸	۰/۷۶	۱/۲۰	۱/۵۷	۲۷۷٪	۰/۶۲	۱۰۴/۹۰	۱۳۱/۲۴	۰/۵۰	۱/۱۶	۲/۰۶
۱۳۸۵-۱۴۰۰	بازه ۱	۹۷٪	۰/۳۷	۰/۳۴	۰/۹۰۴	۶۰٪	۰/۳۸	۸/۸۵	۲۴/۹۸	۰/۲۲	۰/۲۷	۱/۱۹
	بازه ۲	۱/۲۸	۰/۵۳	۰/۸۹	۱/۶۶	۶۳٪	۰/۴۰	۷۷/۹۱	۱۳۱/۳۸	۰/۳۵	۰/۸۷	۲/۴۵
	بازه ۳	۱/۳۳	۰/۵۴	۱/۳۲	۲/۴۲	۹۵٪	۰/۴۲	۸۴/۱۹	۱۶۶/۴۶	۰/۳۵	۱/۰۱	۲/۸۳
	بازه ۴	۱/۲۲	۰/۴۱	۰/۴۴	۱/۰۶	۸۳٪	۰/۵۱	۲۵/۲۱	۳۹/۷۰	۰/۳۰	۰/۴۲	۱/۳۶
	بازه ۵	۹۸٪	۰/۴۰	۰/۹۳	۲/۲۹	۵۸٪	۰/۲۲	۷۳/۹۴	۲۵۷/۸۷	۰/۳۶	۱/۲۸	۳/۵۰
	رودخانه	۱/۷۳	۰/۶۴	۱/۱۳	۱/۷۵	۱۱۵٪	۰/۶۱	۹۶/۴۳	۱۲۲/۲۳	۰/۴۸	۱/۱۲	۱/۹۸

ترتیب صعودی حساسیت ژئومورفیک در سال ۱۴۰۰ در بازه‌های ۱، ۵، ۴، ۲ و ۳ دیده شده است. در سال ۱۳۸۵ این ترتیب در بازه‌های ۴، ۱، ۲، ۵ و ۳ مشاهده شده است. پراکنش تغییرات در دوره مورد بررسی روند متغیری داشته است. در این میان بازه ۱ روند متعادلی داشته و در مقابل، حساسیت ژئومورفیک در بازه ۳ در دوره مورد مطالعه بیش از سایر بازه‌ها بوده است (جدول ۶).

ارتباط بین شاخص‌های CA، BI، CW

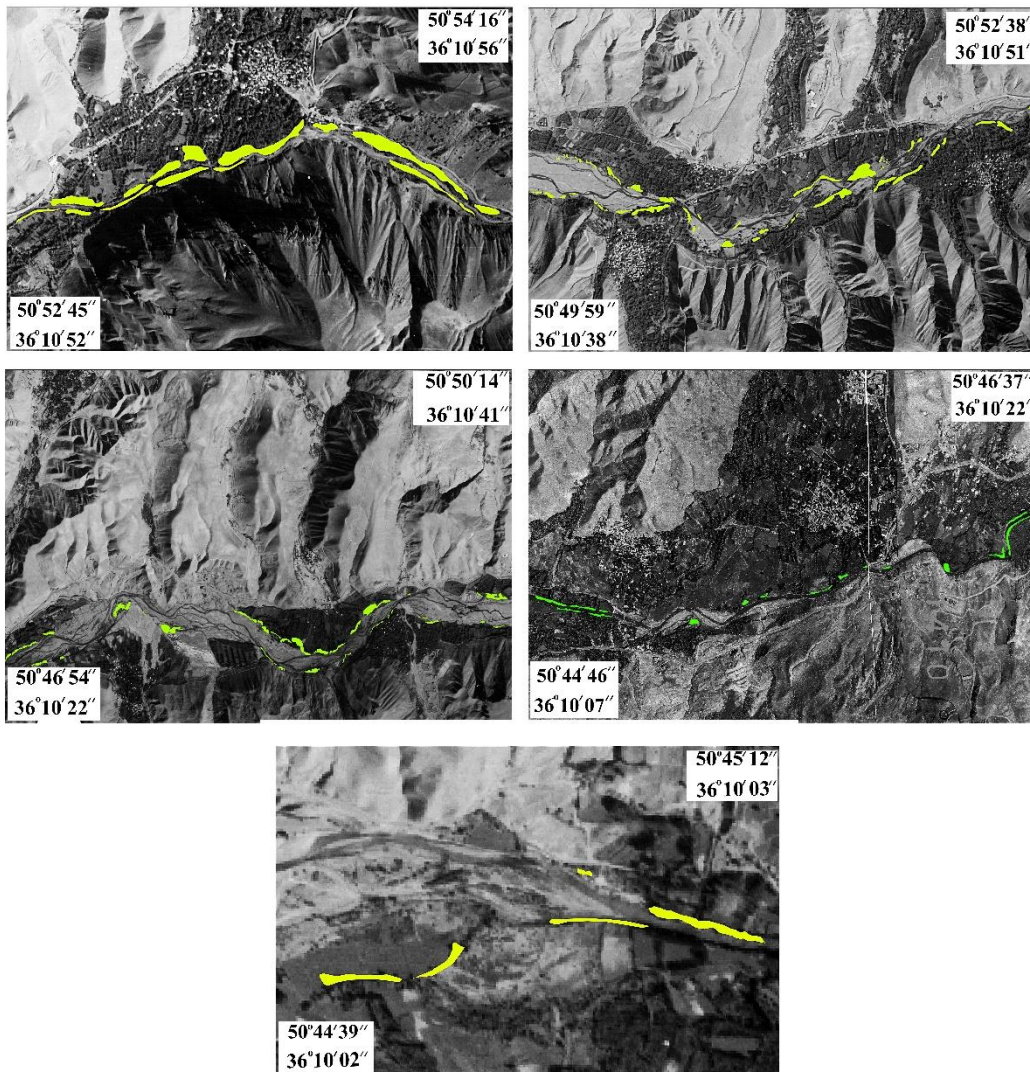
روابط عرض دره، شاخص فعالیت مجرا و شاخص نسبت انشعاب مجرا توسط پلات‌های پراکندگی X-Y شرح داده شده است (شکل ۴). نتایج بیانگر همبستگی مستقیم دو شاخص BI و CA با عرض دره است.



شکل ۴: پلات روابط میان شاخص‌های CW، CA و BI

موقعیت کنی‌های پایدار پوشش گیاهی

در شکل ۵ موقعیت کنی‌های گیاهی ثابت در امتداد رودخانه طالقان به تفکیک پلنفرم رودخانه مشخص شده است. بر اساس یافته‌ها، ۸۲ کنی گیاهی پایدار در حاشیه رودخانه طالقان طی دوره مورد مطالعه تشخیص داده شد. از این تعداد، ۱۹/۵۱٪ در بازه ۱، ۳۲/۹۲٪ در بازه ۲، ۳۱/۷۰٪ در بازه ۳، ۱۳/۴۱٪ در بازه ۴ و ۲/۴۶٪ در بازه ۵ وجود داشته است. کنی‌های گیاهی آسیب‌دیده در بازه‌های بالادست رودخانه و در اکثر موارد در حاشیه بلافاصله رودخانه قرار گرفته‌اند. عواملی همچون استقرار پوشش گیاهی بر روی کناره مجرا (پادگانه آبرفتی)، زیرشویی بستر بر اثر بالا بودن تنش هیدرولیک و کاهش عرض بستر و هجوم جریان به کناره‌ها در این امر دخیل هستند. در سایر مقاطع، تغییر پروفیل شدت تلاطم و تنش برشی، سبب فاصله گرفتن حداکثر مقادیر از کناره رودخانه شده است.



شکل ۵: موقعیت پوشش‌های گیاهی ثابت (با مساحت ۵۰۰ متر و کمتر از ۵۰۰ متر) در رودخانه طالقان طی دوره ۱۴۰۰-۱۳۷۰

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، به بررسی حساسیت ژئومورفیک رودخانه طالقان با تاکید بر نقش پوشش گیاهان حاشیه‌ای در دوره ۱۴۰۰-۱۳۷۰ پرداخته شد. بر اساس یافته‌ها، میزان شاخص‌های SI، CA، CW، BI در بازه ۱ با پلنفرم سینوسی-مستقیم طی دوره مورد مطالعه نسبت به سایر بازه‌ها کمتر و نیز میزان رسوب‌گذاری در مقایسه با فرسایش بیشتر بوده است. در بازه ۱ حساسیت ژئومورفیک در سال ۱۴۰۰ نسبت به دوره قبل کاهش قابل توجهی داشته است. از سویی مساحت کلنی‌های گیاهی پایدار در این بازه با طول تقریبی ۳۶۰۳/۱۸ متر ۸۹۶۴۵/۲۷ مترمربع بوده است. بدین ترتیب کمترین تغییرات در ژئومورفولوژی در این بازه قابل مشاهده بوده، در حالیکه مساحت کلنی‌های گیاهی نسبتاً پایدار در این بازه در مقایسه با سایر بازه‌ها بیشتر بوده است. در بازدیدهای میدانی مشاهده شد که پوشش گیاهی در بازه‌های ۱ و بخشی از بازه ۲ در حاشیه بلافاصل رودخانه استقرار یافته و نقش بارزی بر کاهش فرسایش، چسبندگی ذرات خاک و پیشگیری از انفصال ذرات خاک و از این رو افزایش انسجام در برابر فرسایش داشته است. با این وجود، میزان آسیب پوشش گیاهی در این بازه به دلیل افزایش شیب تنش هیدرولیک نسبت به سایر بازه‌ها قابل توجه است.

ترتیب صعودی حساسیت ژئومورفیک در سال ۱۴۰۰ در بازه‌های ۱، ۵، ۴، ۲ و ۳ دیده شده است. در سال ۱۳۸۵ این ترتیب در بازه‌های ۴، ۱، ۲، ۵ و ۳ مشاهده شده است. پراکنش تغییرات در دوره مورد بررسی روند متغیری داشته است. در این میان بازه ۱ روند متعادلی داشته و در مقابل، حساسیت ژئومورفیک در بازه ۳ در دوره مورد مطالعه بیش از سایر بازه‌ها بوده است (جدول ۴).

یافته‌ها حاکی از این است که عرض مجرا نقش اساسی در درجه BI و CA دارد. تا زمانی که محیط رسوب فراوانی داشته باشد (عمدتاً شن و ماسه)، افزایش دبی و وقایع سیلابی و عرض گسترده‌تر مجرا می‌تواند فضای بیشتری برای توسعه مجراهای به هم بافته فراهم کند. فعالیت مجرا در هر یک از مقاطع با افزایش عرض فعال رودخانه افزایش یافته است. اتصال شعب رودخانه در پایین دست، نه تنها عرض دره را گسترش می‌دهد بلکه باعث افزایش تخلیه جریان می‌شود. بنابراین همچنان که عرض مجرای فعال در افزایش شاخص‌های BI و CA نقش داشته است، به طور متقابل افزایش این شاخص‌ها نیز سبب گسترش عرض مجرا شده است. بدین ترتیب گسترش عرض مجرا و دره رودخانه سبب افزایش احتمال مهاجرت مجرا می‌شود. صرف نظر از کانالیزه‌سازی جریان در برخی مقاطع رودخانه طالقان، تعامل دو جانبه شاخص‌های حساسیت مجرا بخصوص در مقاطع پایین دست جریان، سبب افزایش احتمال مهاجرت جریان و جابجایی مجرای رودخانه می‌شود. در الگوهای رودخانه‌ای به هم بافته، شاخص حساسیت مجرای رودخانه پس از رسیدن به یک حالت پیک در برخی مقاطع به تدریج شروع به کاهش می‌کند، که دلیل اصلی این امر، تغییر پلنفرم مجرای رودخانه است.

طبق یافته‌ها، بیشترین و کمترین روند تغییر در میزان فرسایش به ترتیب مربوط به بازه ۵ با تیپولوژی جزایر به هم بافته و بازه ۱ با تیپولوژی مستقیم-سینوسی بوده است. از لحاظ رسوب‌گذاری، در بازه‌های ۱، ۲، ۳، و بازه ۴ به ترتیب ۰/۵۱، ۰/۲۴، ۰/۴۸، ۰/۱۹ درصد افزایش و در بازه ۵، ۰/۱۹ درصد کاهش ملاحظه می‌شود. به همین ترتیب، بیشترین و کمترین روند تغییر در میزان رسوب‌گذاری نیز در بازه ۱ با تیپولوژی مستقیم-سینوسی و بازه ۵ با تیپولوژی جزایر به هم بافته ملاحظه شده است.

در بازه‌های ۱، ۲، و ۵ میزان فرسایش در مقایسه با دوره قبل به ترتیب ۰/۰۸۷، ۰/۴۸، و ۰/۶۵ درصد افزایش داشته است؛ در حالی که در بازه‌های ۳ و ۴ میزان فرسایش در مقایسه با دوره قبل به ترتیب با ۰/۳۱ و ۰/۳۷ درصد کاهش روبه رو بوده است. از دلایل افزایش رسوب‌گذاری در بازه‌های ۳ و ۴ می‌توان به احداث معدن شن و ماسه در میان بستر رودخانه و تبدیل اراضی حاشیه‌ای بستر رودخانه به اراضی کشاورزی در دوره ۱۳۹۵-۱۳۸۵ اشاره کرد. این عوامل تأثیر بسزایی در افزایش تخمین رسوب‌گذاری بر اثر عوامل آنتروپوژنیک و کاهش عرض بستر رودخانه داشته‌اند (شکل ۳: C، D؛ شکل ۳: C). در بازه ۴ از سال ۱۳۸۵-۱۳۷۰ تا ۱۳۸۵-۱۴۰۰ افزایش آثار آنتروپوژنیک و کاهش عرض بستر به وضوح قابل مشاهده است. از این رو در تخمین میزان رسوب‌گذاری و در نتیجه کاهش بستر رودخانه، آثار آنتروپوژنیک از جمله کانالیزه‌سازی بستر تأثیر بیشتری داشته است. در بازه ۵ و انتهای رودخانه طالقان، در سال ۱۳۸۵ فرسایش نسبت به دوره قبل افزایش بیشتری نسبت به رسوب‌گذاری داشته است.

ناپایداری لن‌فرم رودخانه طالقان در بازه‌هایی از رودخانه سبب آسیب به جوامع گیاهی حاشیه‌ای و عدم وجود شرایط مناسب برای توسعه کلنی‌های گیاهی حاشیه رودخانه شده است. بر اساس تحقیقات، دخالت‌های انسانی در کریدور رودخانه‌ها به صورت مستقیم و غیر مستقیم بر جوامع گیاهی حاشیه‌ای تأثیرگذار است (زاگوریس^۱ و همکاران، ۲۰۰۹؛ چاتزینیکلا^۲ و همکاران، ۲۰۱۱). از سویی، استقرار ناپایدار و آسیب به جوامع گیاهی سبب کاهش انسجام کناره‌های رودخانه و فرسایش حاشیه‌ای و در نتیجه افزایش تحرک بستر و همچنین افزایش عرض بستر شده است. در واقع بر اساس یافته‌های سایر محققین، مهاجرت مجرای رودخانه، توزیع فضایی-زمانی جوامع گیاهی را از طریق تشکیل سطوح ژئومورفیک جدید، تغییر

¹. Zogaris

². Chatzinikolaou

می‌دهد (هارپر^۱ و همکاران، ۲۰۰۹). مساحت پوشش گیاهی پایدار طی دوره مورد مطالعه از بالادست رودخانه به سمت پایین دست کاهش یافته و ناپایداری بستر افزایش یافته است. به همین ترتیب، میزان تاثیر اختلالات انسانی و حساسیت بستر نیز از بالادست به سمت پایین دست افزایش یافته است. با توجه به کاهش عرض بستر در بازه‌های ۱ و ۲ رودخانه طالقان و نیز افزایش مساحت پوشش گیاهی پایدار، می‌توانیم تاثیر مثبت کلنی‌های گیاهی ثابت را بر کاهش حساسیت ژئومورفیک این بازه‌ها نسبت به سایر بازه‌ها شاهد باشیم.

مشاهدات ما نشان داده که در کلنی‌های مورد مطالعه می‌توان ترکیبی از پوشش گیاهی چوبی را به عنوان مهندسین اکوسیستم معرفی کرد زیرا سبب افزایش رسوب‌گذاری و ایجاد دنباله‌های رسوبی و در نتیجه ساخت لندفرم شده‌اند. اثر مهندسی تیپولوژی‌های گیاهی حاشیه رودخانه طالقان عمدتاً در مکان‌هایی با یک موقعیت فیزیکی مناسب برای رسوب-گذاری مرتبط با ویژگی‌های جریان رخ داده است. گونه‌های مهندس رودخانه می‌توانند مهارت‌ها و یا ویژگی‌های پاسخی مختلفی به محدودیت‌های هیدروژئومورفیک را توسعه دهند، و بنابراین زمینه استقرار خود در یک محیط ژئومورفیک ناپایدار و نوسانی را امکان‌پذیر سازند.

منابع

- دارابی شاهماری، سحر، قنوتی، عزت اله، توماس، مارتین، احمدآبادی، علی، افتخاری، مروت، ۱۳۹۹، تحلیل زیستگاه های حاشیه‌ای رودخانه طالقان بر اساس واحدهای ژئومورفیک رودخانه‌ای، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره ۹، شماره ۲، ۸۰-۶۰. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_118225.html
- Wohl, E., Brierley, G. J., Cadol, D., Coulthard, T. J., Covino, T., Fryirs, K. A., et al. (2019). Connectivity as an emergent property of geomorphic systems. *Earth Surface Processes and Landforms*, 44, 4–26. <https://doi.org/10.1002/esp.4434>
- Fryirs, K. (2013). (Dis)Connectivity in catchment sediment cascades: A fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38, 30–46. <https://doi.org/10.1002/esp.3242>
- Tooth, S., (2018), *The geomorphology of wetlands in drylands: Resilience, nonresilience, or ...?*. *Geomorphology*, 305:33-48. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X17301319>
- Fryirs, KA., (2017), *River sensitivity: A lost foundation concept in fluvial geomorphology*. *Earth surface & Processes landforms*, 42(1):55-70 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/esp.3940>
- Brierley, G., Fryirs, KA., (2005). *Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework*, 1st edition. Wiley-Blackwell; Newyork <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470751367>
- Fryirs, K., (2015), *Developing and using geomorphic condition assessments for river rehabilitation planning, implementation and monitoring*, *WIREs Water*. 2(6):649– 667. <https://wires.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1100>
- Phillips, JD., (2009), *Changes, perturbations and responses in geomorphic systems*. *Progress in Physical Geography*. 33(1):17-30. <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0309133309103889>
- Phillips, JD., (2014), *State transitions in geomorphic responses to environmental change*, *Geomorphology*, 204: 208-216. <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000328234200016?SID=EUW1ED0B36T9Jkgc3H758RqwjvNDy>

¹. Harper

- Schumm, SA., (1969), *River metamorphosis*. *Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 95: 255–274.
- <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JYCEAJ.0001938>
- Khan, S., Fryirs, K., (2020), *An approach for assessing geomorphic river sensitivity across a based on analysis of historical capacity for adjustment*, *Geomorphology*, 359:107135
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X20301070>
- Lisenby, PE., Croke, J., Fryirs, KA., (2018), *Geomorphic effectiveness: a linear concept in a non-linear world*, *Earth surface Processes & Landforms*, 43(1):4-20
- Finnegan, NJ., Roe, G., Montgomery, DR., Hallet, B., (2005), *Controls on the channel width of rivers: Implications for modeling fluvial incision of bedrock*, *Geology*, 33(3):229-232
- <https://pubs.geoscienceworld.org/gsa/geology/article-abstract/33/3/229/29578/Controls-on-the-channel-width-of-rivers>
- Allen, GH., David, CH., Andreadis, KM., Hossain, F., Famiglietti, SJ., (2015), *Global Estimates of River Flow Wave Travel Times and Implications for Low-Latency Satellite Data*, *Geophysical Research Letter*, 45:7551-7560.
- Nicholas, AP., Ashworth, PJ., Sambrook, GH., Sandbach, SD., (2013), *Numerical simulation of bar and island morphodynamics in anabranching megarivers*, *JGR Earth Surface*, 118(4):2019-2044
- <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jgrf.20132>
- Pavelsky, TM., Allen, GH., Miller, ZF., (2015), *Spatial patterns of river width in the Yukon river basin, 8 season of Remote Sensing of the Terrestrial Water Cycle*, *Geophysical Monograph 206, First Edition*, Edited by Venkat Lakshmi. American Geophysical Union, Published by John Wiley & Sons, Inc.
- Casado, A., Peiry, J.L., Campo, A.M., (2016), *Geomorphic and vegetation changes in a meandering dryland river regulated by a large dam, Sauce Grande River, Argentina*, *Geomorphology*, 268: 21-34.
- Kuo, C., Chen, CF., Chen, SC., Yang, TC., Chen, CW., (2017), *Channel Planform Dynamics Monitoring and Channel Stability Assessment in Two Sediment-Rich Rivers in Taiwan*, *Water*, 9(84)
- <http://www.pjoes.com/Determination-of-Temporal-Changes-in-the-Sinuosity-and-Braiding-Characteristics-of-the-Kizilirmak-River-Turkey,58765,0,2.html>
- EL-ASMAR, HM., HEREHER, ME., EL-KAFRAWY, SB., (2013), *Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: A remote sensing approach*. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.* 16(1):119.
- Tockner, K., Paetzold, A., Karaus, U., Clart, C., Zettel, J., (2006), *Ecology of braided rivers*. In *book: Braided Rivers: Process, Deposits, Ecology and Management*, Wiley-Blackwell: Newyork
- <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/9781444304374.ch17>
- Leopold, LB., Wolman, MG., (1957), *River channel patterns: Braided, meandering and straight*, *United States, Geological Survey Professional Paper*, 282-B:35–85.
- Schumm, SA., Khan, HR., (1972), *Experimental study of channel patterns*, *Bull. of Geological Society of America*, 83:1755–1770.
- Henderson, FM., (1961), *Stability of alluvial channels*. *Journal of Hydraulic Division, American Society for Civil Engineering*, 87:109–138.
- Parker, G., (1976), *On the cause and characteristics scale of meandering and braided in rivers*. *Journal of Fluid Mechanics*, 76:459–80.

- Sharma, N., (2004), *Mathematical modelling and braid indicators, In the Brahmaputra river basin water resources, V.P.Singh (Ed.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 47:229–260.*
- Akhtar, M., Sharma, N., Ojha, C., (2011), *Braiding process and bank erosion in the Brahmaputra River. International Journal of Sediment Research. 26(40):431–444.*
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001627912600031>
- Reid, HE., Brierly, GJ., (2015), *Assessing geomorphic sensitivity in relation to river capacity for adjustment. Geomorphology, 251:108-121*
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X15301458>
- Wellmeyer, J., Slattery, MC., Philips, J., (2005), *Quantifying downstream impacts of impoundment on flow regime and channel planform, lower Trinity River, Texas. Geomorphology. 69(1-4);1-13.*
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169555X04003319?via%3DiHub>
- Esfandiary, F., Rahimi, M., (2019), *Analysis of river lateral channel movement using quantitative geomorphometric indicators, Qara-Sou River, Iran. Environ Earth Sci. 78: 469.*
- <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-019-8478-7#citeas>
- Chatzinikolaou, Y., Ntemiri, K., Zogaris, S., (2011), *River riparian zone assessment using a rapid site-based index in greece. Fresenius Environmental Bulletin. 20(2);296-302*
- https://www.academia.edu/20370499/River_riparian_zone_assessment_using_a_rapid_site_based_index_in_Greece
- Zogaris, S., Economou, AN., (2017), *The Biogeographic Characteristics of the River Basins of Greece. In: Skoulikidis, N., Dimitriou, E., Karaouzas, I. (eds) The Rivers of Greece. The Handbook of Environmental Chemistry, vol 59. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/698_2017_475*