

## بررسی پتانسیل تغییرات مورفولوژیک رودخانه شهر چای ارومیه

صیاد اصغری سراسکانرود<sup>۱</sup>

### چکیده

هدف این تحقیق بررسی شکل و الگوی رودخانه، بررسی پایداری و به تبع آن تغییرات رودخانه شهر چای در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ می‌باشد جهت رسیدن به اهداف تحقیق از تصاویر ماهواره‌ای لندست، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های هیدرولوژیکی جریان برای بررسی الگوی رودخانه و تغییرات آن با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی پیچان رود استفاده شد. جهت بررسی پایداری رودخانه نیز از شاخص‌های تنش برشی و شاخص مقاومت نسبی بستر استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات الگوی رودخانه در طول بازه زمانی مورد مطالعه بسیار کم بوده و تحلیل پایداری رودخانه نیز نشان داد که میزان تنش برشی کل بیش‌تر از تنش برشی بحرانی می‌باشد. نتایج تحقیق نشان‌دهنده این است که پتانسیل رودخانه برای ایجاد تغییرات مورفولوژیک در بازه ساحلی بالا می‌باشد ولی کاهش دبی رودخانه باعث شده که تغییرات رودخانه‌ای در کم‌ترین مقدار ممکن باشد.

**واژگان کلیدی:** تغییرات رودخانه‌ای، پیچان رود، شاخص ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، تحلیل پایداری.

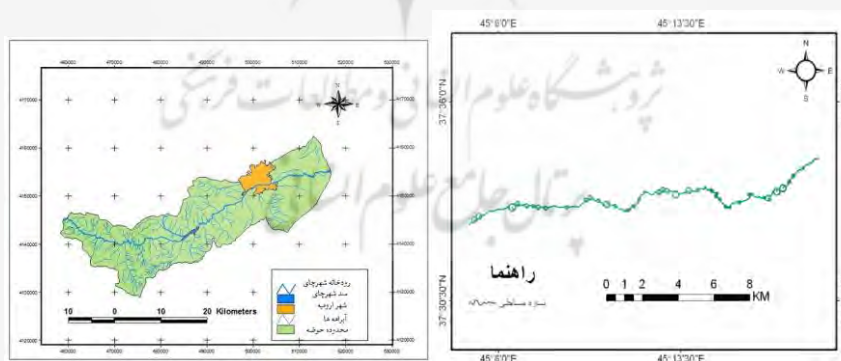
## مقدمه

نظارت بر تغییرات مورفولوژیک، اساس و پایه حل مشکلات و مسائل ژئومورفولوژی کاربردی می‌باشد و طراحی و شناسایی فرایندهای آن‌ها ضروری است. ژئومورفولوگ‌ها معمولاً به‌عنوان یک اصل ضروری به تشریح گذشته و حال پرداخته و آینده فرایندها را پیش‌بینی می‌کنند تا ماهیت و سرعت تغییرات را درک نمایند (کوک و دورنکمپ، ۱۹۹۰) از طرف دیگر مطالعات ژئومورفولوژی، از مهم‌ترین مباحث علم مهندسی رودخانه می‌باشد که بیان شکل هندسی، فرم بستر، پروفیل طولی آبراهه، مقاطع عرضی، تغییر شکل‌ها و تغییر مکان رودخانه در طول زمان می‌پردازد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۹۱). شکل کانال موضوع اساسی در ژئومورفولوژی رودخانه‌ای می‌باشد که براساس دو پارامتر گیسوی و سینوسی تعیین می‌گردد. محققان زیادی در مورد مورفولوژی سیستم رودخانه‌ای تحقیقاتی انجام داده‌اند تقسیمات مختلف و بحث‌های زیادی در مورد فرایندهای مؤثر بر آن‌ها ارائه شده است (نیری، ۱۳۸۹) به‌طور کلی انواع الگوهای کانال به الگوی مستقیم بسط داده شده، الگوی سینوسی، الگوی پیچان رودی و الگوی شریانی طبقه‌بندی می‌شوند (اصغری، ۱۳۹۱) از طرف دیگر شکل ظاهری و رفتار رودخانه نیز متأثر از توان جریان (دینامیک جریان) و مقاومت رسوبات در مقابل فرسایش است (نیری، ۱۳۸۹). بررسی و برآورد مقاومت ذرات رسوبی در مقابل فرسایش باعث شناسایی مناطق پایدار و ناپایدار در مناطق مختلف خواهد شد. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه نه تنها موجب خسارت به اراضی مستعد کشاورزی و تأسیسات مجاور ساحل رودخانه شده بلکه رسوبات حاصل از فرسایش در برخی مواقع درصد قابل توجهی از مجموع کل رسوبات انتقالی توسط جریان رودخانه را شامل می‌شوند. ناپایداری مجرا و سواحل رودخانه به‌دلیل تأثیرگذاری بر میزان فرسایش و خصوصیات مجاری رودخانه‌ها در توسعه پهنه سیلابی و مدیریت منابع آب اهمیت دارد (مینگوی و همکاران، ۲۰۱۰). مواد بستر و کناره رودخانه نقش مؤثری در تغییرات مورفولوژی رودخانه ایفا می‌کند. رودخانه‌هایی با مواد بستر ریزدانه نسبت به تغییرات دبی و بار رسوبی، حساسیت بیشتری از خود نشان می‌دهند (یمانی و شرقی، ۱۳۹۱) و به این دلیل است که در

رودخانه‌های واقع در مناطق دشتی تحول آبراهه بیش‌تر بوده و پیچان رودها و اشکال مورفولوژی رودخانه در زمان کوتاه‌تری توسعه می‌یابند (یمانی و حسین زاده، ۱۳۸۳). هدف این تحقیق در مرحله اول بررسی شکل و الگوی رودخانه در بازه دشتی رودخانه شهر چای بوده و در مرحله دوم بررسی پایداری رودخانه و تغییرات آن در بازه مورد مطالعه است.

#### منطقه مورد مطالعه

حوضه شهرچای یکی از حوضه‌های غربی دریاچه ارومیه است که در طول جغرافیایی  $37^{\circ} 19'$  تا  $37^{\circ} 35'$  و عرض جغرافیایی  $44^{\circ} 17'$  تا  $44^{\circ} 35'$  قرار گرفته (شکل ۱) رودخانه شهر چای به‌عنوان مهم‌ترین رودخانه این حوضه از ارتفاعات مرزی ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از عبور از سمت جنوبی شهر ارومیه در سمت پایینی کشتیبان وارد دریاچه ارومیه می‌شود در رودخانه شهر چای سه بازه قابل شناسایی می‌باشد؛ بازه اول در محدوده کوهستانی رودخانه تا محل سد شهر چایی را در بر می‌گیرد بازه دوم به کامل در داخل شهر ارومیه قرار می‌گیرد و بازه سوم در محدوده دشت دریاچه ارومیه (شکل ۲) واقع می‌باشد. محدوده مورد مطالعه این تحقیق بازه دشتی می‌باشد که فاصله بین خروجی رودخانه از شهر ارومیه تا دلتای رودخانه در دریاچه ارومیه را شامل می‌شود (اشکال ۱ و ۲).



شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه شکل (۲) بازه ساحلی با دوایر برازش شده بر پیچان رودها

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده ETM سال ۲۰۰۰ لندست ۷ سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۷ و لندست ۸ سنجنده‌های OLI و TIRS سال ۲۰۱۳، داده‌های هیدرولوژیکی جریان (سرعت جریان، دبی رودخانه از ایستگاه کشتیان (۱۳۴۴-۱۳۹۰) و عمق رودخانه (در ناحیه برداشت نمونه‌های رسوبی) و داده‌های دانه‌بندی رسوبات رودخانه استفاده شده است همچنین جهت کنترل نتایج به دست آمده از مطالعات میدانی جهت انطباق و صحت‌سنجی نتایج استفاده شده است. جهت تحلیل پیچان رودی رودخانه، مشخصات هندسی پیچان رودها از قبیل طول موج، طول قوس، شعاع انحنای و دامنه نوسان در محیط نرم‌افزار ARCGIS با استفاده از توابع موجود استخراج گردید. سپس با استفاده از رابطه زیر اندازه ضریب خمیدگی برای هر قوس محاسبه شد.

$$s = \frac{L}{\lambda/2}$$

که در این رابطه S ضریب خمیدگی، L طول قوس،  $\lambda/2$  نصف طول موج می‌باشد. سپس محدوده مورد مطالعه در بازه‌های زمانی مختلف برحسب ضریب خمیدگی تقسیم‌بندی گردید.

جدول (۱) تقسیم بندی رودخانه‌ها بر حسب ضریب خمیدگی (یمانی و شرقی، ۱۳۹۱)

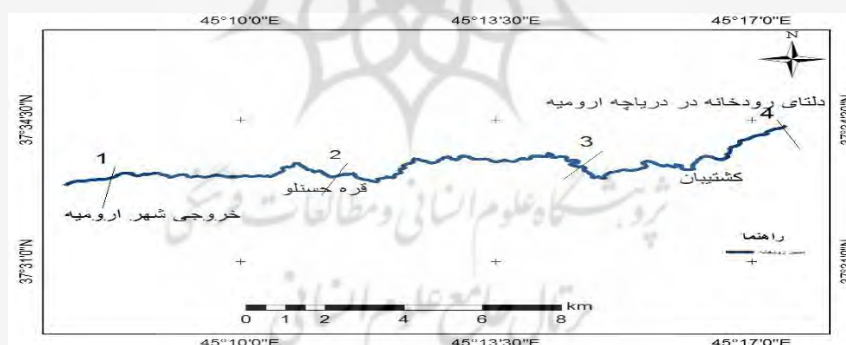
بیش‌تر از ۲	۱/۲۵-۲	۱/۰۶-۱/۲۵	۱-۱/۰۵	ضریب پیچشی
پیچان رودی شدید	پیچان رودی	سینوسی	مستقیم	نوع رودخانه

در ادامه زاویه مرکزی قوس‌های زده شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$A = \frac{180L}{R\pi}$$

که در این رابطه A زاویه مرکزی، R شعاع دایره برآزش داده شده می‌باشد. در نهایت میزان توسعه پیچان رودی به‌وسیله ضریب کورنایس (۱۹۸۰) مشخص گردید (تلوری، ۱۳۷۱).

در طول تحقیق جهت محاسبه پارامترهای هیدرولیکی، پارامترهای تنش برشی و مقاومت رسوبات به دانه‌بندی رسوبات رودخانه نیاز بود، بدین جهت در طول پیمایش میدانی از نواحی مشخص شده نمونه‌برداری صورت گرفت (شکل ۳). دانه‌بندی رسوبات بستر و کناره‌های رودخانه با استفاده از روش استاندارد اش تو ۸۰-۷۷ انجام گردید. پارامترهای زیر در مطالعات آزمایشگاهی دانه‌بندی خاک استخراج گردید: D10, D30, D50, D75, D90. D100، قطر D50 اندازه‌ای است که ۵۰ درصد وزنی ذرات از آن کوچک‌تر هستند و با نام قطر میانه خوانده می‌شوند. به‌همین ترتیب قطرهای D10 و D90 اندازه ذراتی هستند که به ترتیب ۹۰ درصد و ۱۰ درصد ذرات از آن کوچک‌تر باشند. در مطالعات و بررسی‌های رودخانه معمولاً قطر میانه اهمیت زیادی دارد و مبنای محاسبات قرار می‌گیرد (ژولین، ۱۳۸۷).



شکل (۳) موقعیت مناطق نمونه‌برداری و محدوده مورد مطالعه رودخانه شهر چای در بازه ساحلی

جدول (۲) نتایج دانه‌بندی نمونه‌های برداشت شد واحد به میلی‌متر (mm)

نمونه	D10	D30	D50	D60	D75	D90	D100
۱	۰/۲۹	۰/۷	۲/۸	۶/۹	۸/۵	۱۶	۲۹
۲	۴	۹	۱۴	۲۷	۳۱	۴۲	۵۰/۵
۳	۰/۱۶	۲/۱	۳/۹	۶/۸	۸/۲	۱۶	۴۱
۴	۱/۲	۸/۱	۱۷	۲۶	۳۴/۵	۴۴	۵۸

محاسبه تنش برشی موجود و تنش برشی بحرانی

به شروع حرکت ذرات رسوبی به‌وسیله جریان آب در بستر رود تنش برشی مرزی گفته می‌شود اسماعیلی و حسین‌زاده، (۱۳۸۹). پایداری و یا تغییرپذیری شکل رودها بستگی به مقاومت هر نقطه از پیرامون بستر مقطع جریان، در مقابل تنش برشی وارده از سوی جریان دارد (گلاله غفاری و همکاران، ۱۳۸۵).

تنش موجود با استفاده از رابطه زیر تعیین گردید.

$$t = \rho_w gRS$$

$\tau$  تنش برشی  $\rho_w$  چگالی آب  $\text{kg/m}^3$ ،  $g$  شتاب ثقل  $\text{m/s}^2$ ،  $R$  شعاع هیدرولیکی ( $m$ )،  $S$  شیب خط انرژی  $m/m$ . به‌علت عرض‌های متغیر رودخانه و نمونه‌برداری‌های در نواحی مختلف رودخانه و همزمان تعیین شعاع هیدرولیکی برای کدام از نمونه برداری‌ها، تعیین دقیق شعاع هیدرولیکی بسیار مشکل می‌باشد. به‌همین جهت به‌جای شعاع هیدرولیکی عمق آب جاگذاری شد. لازم به ذکر است که در رودخانه‌های عریض عمق آب مساوی شعاع هیدرولیکی در نظر گرفته می‌شود (تلوری، ۱۳۷۱) و  $S$  معادل شیب کف در بازه‌های مورد مطالعه در نظر گرفته شد. فرسایش ذرات موقعی اتفاق می‌افتد که نیروی محرک وارد بر ذرات بر نیروی مقاوم بین ذرات غلبه کند. لحظه‌ای که ذرات در اثر فرایند فوق شروع به حرکت می‌کنند را اصطلاحاً آستانه حرکت ذرات می‌گویند. تنش برشی

در لحظه آستانه حرکت رسوبات را تنش برشی بحرانی می‌گویند (وجدانی و قمشی، ۱۳۸۵) جهت محاسبه تنش برشی بحرانی از رابطه زیر استفاده گردید.

$$t_c = \theta_c (p_s - p_w)gd$$

که در این رابطه  $t_c$  تنش برشی بحرانی  $\rho_s N/m^2$  چگالی ذره رسوبی  $d$ ،  $kg/m^2$  اندازه قطر ذرات به متر و  $\theta_c$  یک مقدار ثابت بی بعد است که تابع شکل ذره، ویژگی‌های سیال و آرایش سطحی است و تنش برشی بحرانی بی بعد نامیده می‌شود. مطالعات تجربی این مقدار را معمولاً بین ۰,۰۴ تا ۰,۰۶ در نظر می‌گیرند (اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۸۹). تنش برشی شکل بستر ( $\tau'$ ) نیز که برای بیان مقدار مقاومت اشکال بستری می‌باشد. این مقدار نیز نسبت بین تنش برشی ذره به تنش برشی کل تعیین گردید.

شاخص پایداری نسبی بستر (RBS)

اولسن و همکاران (۱۹۹۷) این شاخص را نسبت بین تنش برشی بحرانی به تنش برشی کناره‌ها تعریف کرده‌اند. که از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$RBS = \frac{V_c}{V_b}$$

که در این رابطه  $V_c$  یا سرعت بحرانی از طریق رابطه زیر به‌دست می‌آید: و  $V_b$  سرعت حقیقی جریان نزدیک بستر رود از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$V_c = 0.155\sqrt{d}$$

که در این روابط  $d$  میانگین قطر ذرات به میلی‌متر و  $V$  میانگین سرعت  $V_b = 0.7V$

رود بر حسب متر بر ثانیه ( $m/s$ ) می‌باشد. اگر عدد به‌دست آمده از این رابطه از یک بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده پایداری بستر و هر چه قدر این مقدار بیش‌تر باشد نشان‌دهنده پایداری ذرات رسوبی موجود در کف بستر خواهد بود. و اگر از یک کم‌تر باشد نشان‌دهنده

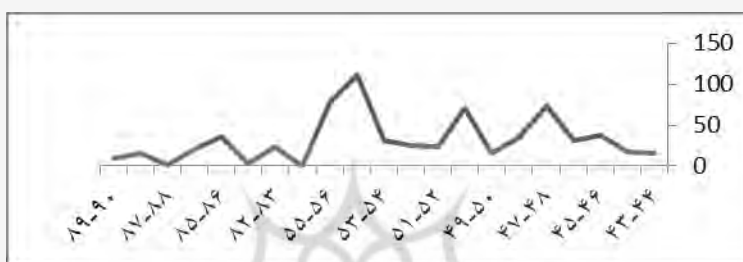
ناپایداری بستر بوده و رسوبات موجود در کف بستر در جریان‌های لبالی و کم‌تر قابل جابجایی هستند (اسماعیلی و حسین‌زاده، ۱۳۸۹).

### یافته‌ها و بحث

ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی مبین میزان توسعه پیچان رودی در مسیر می‌باشد (بیدنهارد و همکاران، ۱۹۹۷) در جدول ۳ مقدار ضریب پیچشی رودخانه در بازه‌های زمانی مورد مطالعه محاسبه شده است. مقایسه میانگین خمیدگی در هر سه دوره بررسی نشان‌دهنده تغییرات بسیار اندک خمیدگی رودخانه می‌باشد براساس ضریب خمیدگی الگوی غالب رودخانه در این محدوده براساس ضریب پیچشی، پیچان رودی می‌باشد ولی الگوی پیچان رودی شدید نیز دیده می‌شود. از عوامل اصلی در ایجاد الگوی پیچان رودی رودخانه در این بازه شیب کم دشت منتهی به دریاچه ارومیه و بافت رسوبی بسیار ریزدانه که بر روی دشت انباشتی دوره کواترنر رودخانه قرار گرفته است، می‌باشد. باید توجه داشت که مورفولوژی مجرای رودخانه توسط دبی شکل‌دهنده به مجرا (دبی لبالی) مشخص می‌شود. تغییرات در بارش و رواناب می‌تواند بزرگی دبی شکل‌دهنده به مجرا را تغییر داده و در نهایت ژئومتری مجرا را تغییر دهد. ایجاد سد شهر چای در بالاتر از شهر ارومیه بر روی رودخانه باعث شده که دبی رودخانه به‌صورت تنظیمی وارد رودخانه گردد. در شکل (۴) روند تغییرات دبی رودخانه در ایستگاه کشتیبان (در محل ورود به دریاچه ارومیه) نشان داده شده است همان‌طوری که از شکل نیز مشخص می‌باشد در طول زمان مورد بررسی دبی رودخانه دارای روند کاهشی می‌باشد. بنابراین پتانسیل و قدرت رودخانه برای ایجاد تغییرات و بالطبع تغییر الگو و شرایط خمیدگی رودخانه بسیار کم می‌باشد و در بسیاری از مواقع پیچان رودهای ایجاد شده مربوط به قبل از احداث سد شهر چای می‌باشند و این پیچان رودها تثبیت گشته‌اند. مقایسه میزان تغییرات ضریب خمیدگی رودخانه در سه بازه زمانی نشان دهنده حداقل تغییرات ممکن می‌باشد (جدول ۳). در محدوده ساحلی رودخانه شیب رودخانه بسیار کم می‌باشد و پتانسیل لازم برای حرکات پیچان رودی رودخانه وجود دارد ولی شرایط بالقوه موجود ناشی از دبی بسیار کم رودخانه و عدم وجود رسوب رودخانه تغییرات پیچان



رودی را به حداقل مقدار ممکن رسانده است. در صورت افزایش میزان دبی رودخانه، به علت وجود تشکیلات سست و با فرسایش پذیری بسیار بالا از یک طرف، و از طرف دیگر آزادی عمل بسیار بالای رودخانه برای جابجایی در بستر عریض، میزان خمیدگی رودخانه را به شدت تحت تأثیر قرار می دهد و پتانسیل رودخانه برای ایجاد تغییرات بیش تر می شود.



شکل (۴) روند تغییرات دبی رودخانه (متر مکعب در ثانیه) در ایستگاه کشتیبان (۱۳۹۰-۱۳۴۴)

جدول (۴) مقادیر پارامترهای محاسبه شده ضریب خمیدگی برای بازه ساحلی شهر چای

تعداد پیچان‌های شناسایی شده	نوع رودخانه در بازه	میانگین ضریب پیچشی بازه	بیش تر از ۲	۲-۱/۲۵	۱/۲۵-۱/۰۶	۱-۱/۰۵	ضریب پیچشی
۴۳	پیچان رودی	۱/۷۹	۴/۷	۸۸/۴	۷	۰	سال ۲۰۰۰
۴۱	پیچان رودی	۱/۸۳	۴/۹	۹۵/۱	۰	۰	سال ۲۰۰۷
۴۲	پیچان رودی	۱/۸۰	۴/۷۶	۹۰/۴۷	۲/۳۸	۲/۳۸	سال ۲۰۱۳

بر اساس شاخص زاویه مرکزی کورنایس (۱۹۸۰) (جدول ۵) الگوی غالب پیچان‌ها به صورت پیچان رود توسعه یافته می باشد و بعد از آن پیچان رود بیش از حد توسعه یافته تقریباً در ۱۹ درصد قوس‌های مطالعه شده و پیچان رود توسعه نیافته نیز ۱۲ تا ۱۶ درصد پیچان‌های مورد مطالعه را در بر می گیرد. احتمال برش پیچان رودها بسیار زیاد می باشد چون تکامل پیچان رودها در نواحی دشتی با برش و ایجاد میانبر در مسیر خودشان همراه می باشند (ناگی و همکاران، ۲۰۱۰) ولی به علت کاهش قدرت و نیروی رودخانه که ناشی از کاهش بسیار محسوس دبی رودخانه در سال‌های مورد بررسی می باشد، رودخانه توان برش

و یا تغییر در پارامترهای مورفولوژیکی خودش را ندارد و عملاً هیچ‌گونه کار مشخص مورفولوژیکی در طول مسیر نمی‌تواند انجام بدهد.

جدول (۵) نتایج زاویه مرکزی برای بازه ساحلی شهرچای

الگوی بازه	۲۹۶<	۱۵۸-۲۹۶	۸۵-۱۵۸	۴۱-۸۵	۴۱>	میانگین A	مسیر مطالعاتی
	(درجه)	(درجه)	(درجه)	(درجه)	(درجه)	(درجه)	
	۰	۱۸/۱	۶۵/۶	۱۶/۳	۰	۱۲۰/۲	سال ۲۰۰۰
پیچان رود توسعه یافته	۰	۱۹/۷	۶۸/۲	۱۲/۱	۰	۱۲۷/۸	سال ۲۰۰۷
	۰	۱۹	۶۶/۷	۱۴/۳	۰	۱۲۴/۶	سال ۲۰۱۳

با توجه به این که در بررسی مسئله مقاومت در برابر جریان، هر چه قطر ذره بزرگ‌تر باشد، مقدار مقاومت در برابر جریان و فرسایش بیش‌تر خواهد بود، با توجه به جدول ۲ قطر ذرات رودخانه ریز و کوچک می‌باشند بنابراین در صورت فراهم شدن دبی مناسب ذرات در مقابل تنش وارده ناپایدار خواهند بود و حرکت خواهند کرد حرکت ذرات نیز باعث تغییر الگوی رودخانه و ایجاد اشکال مورفولوژیکی خاص در مسیر رودخانه خواهد شد. با توجه به جدول ۵ در همه نمونه‌ها میزان تنش برشی کل بیش‌تر از تنش برشی بحرانی می‌باشد که نشان‌دهنده این است که رودخانه توان حمل رسوبات را دارد ولی وقتی قطر ذرات بزرگ‌تر باشد (نمونه ۴) ذرات رسوبی موجود در بستر رودخانه نسبت به فرسایش در بستر رودخانه مقاوم می‌باشند (افت انرژی) که ناشی از چندین عامل می‌باشد از جمله وجود اشکال بستری (سکو-چالاب و چالاب-خیزآب) در داخل رودخانه که باعث کاهش میزان تنش برشی کل رودخانه می‌گردد کاهش میزان تنش برشی کل کاهش انرژی رودخانه برای عمل کند و کاو و فرسایش را نشان می‌دهد در چنین حالتی نیروی خالص رودخانه صفر و یا نزدیک به صفر می‌باشد و جریان آب نه تنها مستعد عمل حفر نیست بلکه چون نیروی خام کم‌تر از نیروی حمل مواد و سایش داخلی می‌باشد رودخانه واند عمل حفر را انجام دهد بلکه مجبور است قسمتی از موادی را که به صورت‌های مختلف با خودش حمل می‌کند ته‌نشین‌سازی کند. فرایند ذکر شده در بسیاری از مقاطع رودخانه به‌طور کاملاً مشخص و واضح دیده می‌شود. بررسی شاخص تنش برشی شکل بستر موارد ذکر شده را به‌صورت دقیق نشان می‌دهد

شاخص تنش برشی شکل بستر نشان‌دهنده مقاومت اشکال بستری در مقابل فرسایش می‌باشد هر چه قدر میزان این شاخص کم‌تر باشد نشان‌دهنده این است که ذرات رسوبی در مقابل فرسایش مقاوم می‌باشند که ناشی از افت زیاد انرژی می‌باشد که باعث مقاومت ذرات رسوبی می‌باشد مقدار این شاخص نیز در جدول ۵ آورده شده است. شاخص دیگر برای بررسی میزان مقاومت ذرات رسوبی شاخص RBS هست با توجه به نتیجه محاسبات در جدول ۵ در همه نمونه‌ها میزان مقاومت اشکال رسوبی در مقابل فرسایش کم می‌باشد و جریان رودخانه در صورت فراهم شدن دبی مناسب می‌تواند ذرات رسوبی را حمل کند و یا این که مورد فرسایش قرار دهد. باید توجه داشت که مکانیسم تخریب دیواره و ساحل رودخانه به مشخصات خاک و شکل هندسی ساحل در نقطه شکست بستگی دارد (تورن و آبت، ۱۹۹۳) با توجه به مطالعات صحرایی جریان رودخانه به‌ندرت به سواحل برخورد می‌کند جریان عمدتاً در باریکه از نقطه مرکزی رودخانه عبور می‌کند و فقط در نقاط محدب دیواره پیچان رودها جایی که جریان مستقیماً به دیواره برخورد می‌کند ریزش و تخریب دیواره‌ها دیده می‌شود البته باید توجه داشت که مورد اخیر بسیار محدود در مسیر رودخانه مشاهده می‌شود.

جدول (۵) وضعیت پایداری رودخانه با توجه به شاخص‌های تنش برشی و شاخص RBS

ردیف	D50 mm	عمق آب m	$\tau \frac{n}{m^2}$	$\tau_C \frac{n}{m^2}$	$\tau'$	RBS
۱	۲/۸	۰/۶	۱۷/۶۵	۲/۷	۰/۱۵	۰/۱
۲	۱۴	۰/۷	۲۰/۶	۱۳/۹	۰/۶۷	۰/۲
۳	۳/۹	۰/۷۲	۲۱/۱۸	۳/۸	۰/۱۸	۰/۱
۴	۱۷	۰/۵۸	۱۷/۰۶	۱۶/۹	۰/۹۹	۰/۲

بنابراین نتایج تحقیق نشان‌دهنده این است که تغییرات در رودخانه بسیار کم بوده و در نتیجه نباید انتظار تغییر مورفولوژی رودخانه و مخصوصاً تغییر در پارامترهای پیچانرودی رودخانه را داشت.

### نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات رودخانه به‌وسیله شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی در

فاصله سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ نشان‌دهنده تغییرات بسیار اندک رودخانه در دوره مورد بررسی می‌باشد به طوری که پارامترهای پیچان رودی رودخانه در دوره بررسی کم‌ترین میزان تغییرات را داشته‌اند. ولی بررسی شاخص‌های تنش برشی (کل و بحرانی و تنش برشی شکل بستر و شاخص RBS) نشان‌دهنده پتانسیل بالای رودخانه برای تغییرات مورفولوژیک هست. ولی دو عامل اساسی باعث شده که تغییرات رودخانه‌ای در کم‌ترین مقدار ممکن و در بسیاری از جهات میزان تغییرات در سال‌های متمادی به حداقل مقدار ممکن برسد مهم‌ترین عامل کاهش دبی رودخانه مخصوصاً بعد از احداث سد شهر چای می‌باشد در سال‌های اخیر نیز افزایش خشکسالی و افزایش مصرف آب رودخانه توسط کشاورزی باعث شده که رودخانه در بسیاری از مواقع در تابستان خشک بشود و یا این که دبی بسیار کمی داشته باشد کاهش دبی رودخانه باعث کاهش نیروی کل رودخانه و محدودیت رودخانه در انجام فعالیت مورفولوژیکی خواهد شد. معمولاً بیش‌ترین میزان تغییرات و تعادل‌های ژئومورفولوژیکی در حالت‌های آستانه‌ای به‌وقوع می‌پیوندند و در مورفولوژی رودخانه‌ای حالت آستانه‌ای با ایجاد سیلاب‌های رودخانه ایجاد می‌شود که سدسازی باعث از بین بردن حالت آستانه‌ای می‌گردد. دلیل دوم کاهش تغییرات رودخانه به علت حصارکشی و تثبیت حاشیه باغات منتهی به رودخانه و محافظت باغات حاشیه رودخانه‌ها با سازه‌های سنگی و یا بتنی می‌باشد که باعث می‌شود میزان فرسایش کناری به حداقل مقدار ممکن برسد. در بسیاری از مواقع باغات تا بستر سیلابی رودخانه پیش آمده است و به حریم رودخانه تجاوز شده است و چون هم دبی کم است و هم بستر سیلابی توسط کشاورزان اشغال شده است بنابراین رودخانه در یک بستر ثابت جریان دارد تغییراتی نیز مشاهده نمی‌گردد و چون دبی رودخانه نیز در این بخش بسیار کم است بنابراین خطری نیز باغات را تهدید نمی‌کند. بنابراین ایجاد سد شهر چای در مسیر رودخانه به علت کاهش میزان دبی و تنظیم جریان دبی و کنترل سیلاب‌های که بیش‌ترین تأثیر را در مورفولوژی رودخانه دارند باعث باریک شدن مجرای فعال و کاهش تغییرات رودخانه در پایین دست رودخانه شده است.

## منابع

- اسماعیلی، رضا و محمد مهدی حسین زاده (۱۳۸۹)، «بررسی فرایندهای تشکیل دهنده موانع طولی در رودخانه‌های کوهستانی، مطالعه موردی: البرز شمالی، حوضه آبریز لاریج رود، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، شماره ۷۱ صص ۴۳-۵۰».
- اصغری، صیاد (۱۳۹۱)، «بررسی روند تغییرات تکاملی رودخانه قزل اوزن با استفاده از مدل‌های فلوویال (محدوده بین ۳۰ کیلومتری شهرستان میانه تا مرز سیاسی استان زنجان)»، رساله دکتری جغرافیایی طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.
- تلوری، عبدالرسول (۱۳۷۱)، «شناخت فرسایش کناری رودخانه‌ها در دشت‌های سیلابی»، انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، معاونت آموزش و تحقیقات وزارت جهاد سازندگی، ۱۳۹ صفحه.
- حافظی مقدس، ناصر؛ سلوکی، حمیدرضا؛ جلیوند، رضا و جعفر رهنماد (۱۳۹۱)، «مطالعه ژئومورفولوژی مهندسی رودخانه سیستان»، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۸، شماره ۱ صص ۱-۱۸.
- ژولین، پی‌یر (۱۳۸۷)، «مکانیک رودخانه»، ترجمه محمدرضا جعفرزاده، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول، ۵۴۰ صفحه.
- غفاری، گلانه؛ سلیمانی، کریم و ابوالفضل مساعدی (۱۳۸۵)، «بررسی تغییرات مورفولوژی کناری آبراهه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (بابرود مازندران)»، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۷ صص ۶۱-۷۱.
- نیری، هادی (۱۳۸۹)، «تحلیل دینامیک و شکل مجرا در حوضه آبریز رودخانه مهاباد»، رساله دکتری جغرافیایی طبیعی، گرایش ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تبریز.
- وجدانی، ناصر و مهدی قمشی (۱۳۸۵)، «بررسی آزمایشگاهی تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده شش کانال آبیاری در استان خوزستان»، مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۹، شماره ۴ صص ۴۵-۵۶.
- یمانی، مجتبی و محمد مهدی حسین زاده (۱۳۸۳)، «بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه تالار با استفاده از شاخص‌های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی»، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۲، صص ۱۴۴-۱۵۴.

- یمانی، مجتبی و سیامک شرقی (۱۳۹۱)، «ژئومورفولوژی و عوامل موثر در فرسایش کناری رودخانه هررود در استان لرستان»، *مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، شماره ۱، بهار، صص ۱۵-۳۲.

-Biedenharn D.S., Elliot, C.M. and Watson, C.C (1997), The WES stream investigation and stream bank stabilization handbook,, US. Army Engineering, P 286.

-Ckkk RUU Drrr kkam JCC (... ) **Geomorphology in Environmental Management** Scddddd iii tio Clarnnnnnneess, Oxford.

-Minghui YU, Hongyan WEI, Yanjie LIANG, and Chunyan H U., (2010), Study on the stability of non-cohesive river bank , *International Journal of Sediment Research*, Vol. 25 (4), 391° 398.

-Nagy, A.C., Toth, T., Vajk, O. & Sztano, O., (2010), Erosional scours and meander development in response to river engineering: middle Tisza region, Hungary,, *Proceedings of the Geologists Journal*, Vol. 121 (4), 238° 247.

-Olsen, D.S., Whitaker, A.C., and Potts, D.F. (1997), eeeee eii gg stremm channel stability thresholds using flow competence estimates at kkkkfl1 stgg *J. of the American Water Resources Association*, Vol. 33(6), 1197-1207.