نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال هشتم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰

صفحات ۱۶۵ – ۱۷۸

شبیه سازی تغییرات رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)

سمیه خالقی[1]؛ استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

محمد مهدی حسین زاده؛ دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

پیام فتح اله اتی کندی؛ دانش‌آموخته کارشناس ارشد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

دریافت مقاله :۱۳۹۸/۰۵/۲۹ پذیرش نهایی:۱۴۰۰/۰۲/۱۸

چکیده

تغییرات مجرای رودخانه، فرسایش کناره‌ای و رسوب گذاری کناره‌ای، فرآیندهای طبیعی رودخانه‌های آبرفتی هستند که باعث تخریب زمین‌های کشاورزی اطراف و خسارت به تأسیسات انسانی اطراف رودخانه می‌شود. در پژوهش حاضر از مدل CAESAR جهت ارزیابی تغییرات رودخانه کلیبرچای به منظور اندازه گیری میزان تغییرات ۳ کیلومتر از مجرای اصلی رودخانه استفاده شده است. CAESAR یک مدل اتومای سلولی از تکامل سیستم رودخانه است. برای مدلسازی، داده‌های ورودی مانند توپوگرافی(DEM)، دبی روزانه سال ۱۳۹۱ و اندازه رسوبات تهیه و سپس تغییرات مجرا شبیه سازی شد. تغییرات کانال در قبل و بعد از شبیه سازی با ترسیم نیمرخ‌های هر کدام از مقاطع و بررسی نقاط حساس به فرسایش و رسوبگذاری شناسایی شدند. ۶ مقطع از بازه مورد مطالعه انتخاب شدند. با مقایسه‌ای که بین نیمرخ‌های عرضی صورت گرفت، تغییرات در هندسه کانال قابل مشاهده بود. تغییرات در عرض کانال و شکل کانال در همه مقاطع دیده شد و تنها عمق متوسط کانال در مقاطع ۱ و ۲ و ۶ و ۴ تغییر پیدا کردند. و مقاطع ۱ و ۲ و ۳ که در قسمت اولیه کانال اصلی قرار داشتند، تحت تاثیر فرسایش قرار گرفتند. و بعد از طی کردن مسافتی، حالت رسوبگذاری در مقاطع ۴ و ۵ و ۶ مشاهده شد.

واژه های کلیدی: فرسایش و رسوبگذاری، سزار (CAESAR)، رودخانه کلیبرچای

[1] . نویسنده مسئول: Email: s_khaleghi@sbu.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

مقدمه

رودخانه به عنوان سیستمی پویا، مکان و خصوصیات مورفولوژیکی خود را همواره برحسب زمان، عوامل ژئومورفیک، زمین‌شناختی، هیدرولوژیکی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد (رضایی‌مقدم و همکاران،۱۳۹۱). در واقع به طور طبیعی، تعدیل چشم انداز توسط عوامل کنترلی درونی مانند شیب، توپوگرافی و نوع رسوبات و عوامل کنترلی بیرونی مانند تغییر اقلیم، تغییر رسوب و تغییرات پوشش گیاهی است (Brierley and Fryirs, ۲۰۰۵). تغییرات رودخانه‌ای به صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، تخریب دیواره‌ها، تغییر بستر جریان تغییر و جابجایی مئاندرها و تغییر درفرم رودخانه نمودار می‌شود (Schumm, ۲۰۰۵). که این تغییرات باعث تحمیل تغییرات فراوان در حاشیه های رودخانه و ایجاد مشکلات طبیعی و خسارات انسانی می شود (Gregory, ۲۰۰٦).در زمینه شبیه سازی و تحول سیستم های رودخانه های مدل های مختلفی ارائه گردیده است که یکی از آنها مدل های اتومات سلولی می باشد. اصول پایه‌ای مدل سازی سلولی در ژئومورفولوژی این است که لندفرم‌ها توسط شبکه‌ای از سلول‌ها و فعل و انفعالات بین آنها با استفاده از قوانین ساده و بر اساس کنترل‌های فیزیکی نمایش داده می‌شوند (Nicholas, ۲۰۰۵). مزایای اتومات سلولی شامل سرعت، فضای گسسته، محلی بودن و موازی بودن می باشد (فهیمی فر و همکاران، ۱۳۸۵). مدل اتومات سلولی اولین بار در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ به منظور شبیه سازی سیستم های پیچیده در فیزیک و زیست شناسی به کار گرفته شد و سپس در دهه ۱۹۷۰ در سایر حوزه های مطالعاتی دیگر مورد استفاده قرار گرفت (رضازاده و میراحمدی، ۱۳۸۸). مورای و پائولا[۱] (۱۹۹۴،۱۹۹۷) از پیشگامان کاربرد مدل سلولی در سیستم‌های رودخانه‌ای بوده‌اند. بعدها مدل‌های سلولی به طور گسترده در سیستم‌های رودخانه‌ای و سیلاب (Wu et al., ۲۰۰٦; Douvinet et al., ۲۰۰۷; Van et al., ۲۰۰۷) به کار گرفته شدند و کولتارد[۲] و همکاران (۱۹۹۶،۱۹۹۸) یک مدل اتومای سلولی از تکامل حوضه رودخانه را توسعه دادند که بعدها به نام مدل CAESAR[۳] نام گرفت که بعدها محققین دیگری این روش را بکار برده و توسعه دادند از جمله: ون[۴] و همکاران (۲۰۰۷) اتومای سلولی و مدل CAESAR را برای پیش بینی سیلاب در یک سیستم رودخانه گیسویی[۵] در لائوس[۶] به کار بردند و دینامیک مجرا را در رابطه با پیش‌بینی الگوی پهنه سیلاب و عمق آب محاسبه نمودند. نتایج نشان داد که این مدل، مدلی مناسب برای سیستم‌های پیچیده هیدرولیکی مانند رودخانه‌های گیسویی می‌باشد. ون‌دویل[۷] و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای به توضیح دینامیک رودخانه‌ای با استفاده از مدل CAESAR (مدل اتومای سلولی تکامل چشم انداز) در بازه‌ای از رودخانه تیفی[۸] در انگلستان پرداختند. این مدل بر پایه مفهوم اتومای سلولی بوده و به صورت تکرار یکسری از فرآیندهای محلی و قوانینی است که رفتار داخل یک سیستم را کنترل می‌کند. این مدل نسخه تغییر یافته CAESAR است که با کاربرد یک شرایط فیزیکی برای شبیه‌سازی تغییرات، حمل و رسوبگذاری ذرات است. به طوری که پاسخ ژئومورفولوژیکی غیر خطی می‌تواند در داخل مدل شبیه‌سازی شود. هنکوک[۹] و همکاران (۲۰۱۱) به

۱ - Murray and Paola
۲ - Coulthard
۳- Cellular Automaton Evolution Slope and River model
٤- Van
٥ - Bifurcation
٦- Laos
۷- Van De Wiel
۸ - Teifi
۹ - Hancock

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

مدل‌سازی فرسایش و حرکت مجرا در پاسخ به تغییرات بارش در حوضه‌ای در جنوب شرق استرالیا پرداختند. در این تحقیق از مدل سلولی CAESAR که قادر به نشان دادن میزان فرسایش و تغییرات مجرا می‌باشد، استفاده کردند. نتایج نشان داد که حساسیت حوضه به الگوهای متفاوت بارش زیاد بوده و تغییرات کوچک بارش می‌تواند منجر به بار رسوبی زیادی شود که نشان‌دهنده تغییر اقلیم است. زیلیانی[۱] و همکاران (۲۰۱۳) جهت کاهش پیچیدگی مدل‌سازی در رودخانه‌های گیسویی، به ارزیابی مدل CAESAR از طریق آنالیز حساسیت، کالیبره کردن و اعتبارسنجی مدل پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل قادر به تولید تغییرات مورفولوژیکی بازه و بار رسوبی سالانه می‌باشد. هنکوک و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از مدل CAESAR-Lisflood حساسیت بارش های حوضه ای معدن کاوی شده در شمال استرالیا در بر روی خروجی رسوب در یک دوره ۱۰۰ ساله پرداختند. نتایج نشان داد که هر تغییر در بارش روی حمل رسوب و شکل فرسایش و تکامل چشم انداز موثر است. از تحقیقات داخلی نیز تنها خالقی و همکاران (۱۳۹۵) به شبیه سازی میزان تحول و فرسایش در سیستم رودخانه ای حوضه آبریز لیقوان چای با استفاده از مدل CAESAR پرداختند و میزان حفر و رسوبگذاری در حوضه و مجرای رودخانه را مشخص نمودند.

در این تحقیق میزان تحول و فرسایش و رسوبگذاری بازه ای از رودخانه کلیبرچای با توجه به شرایط توپوگرافی، اندازه ذرات و دبی های روزانه سال ۱۳۹۱ با استفاده از مدل سزار مورد بررسی قرار می گیرد.

داده و روش کار

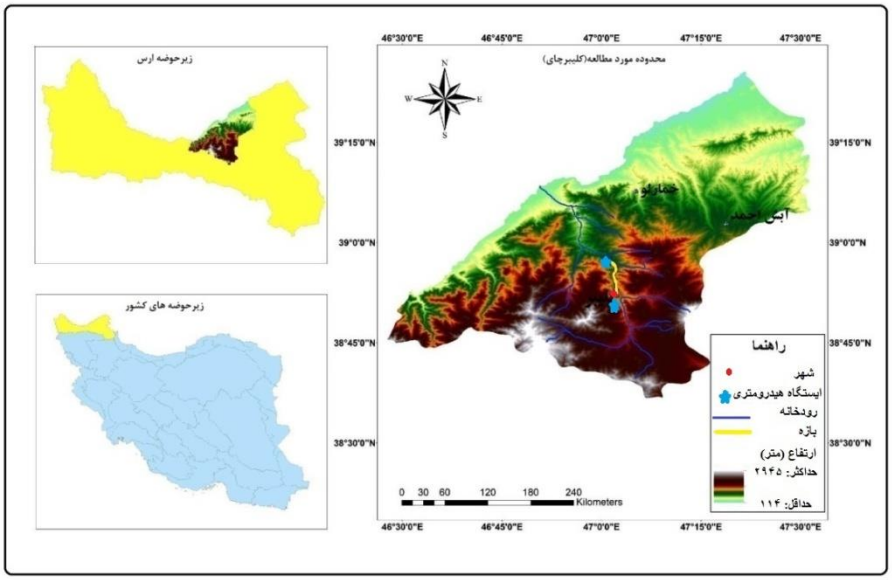
الف) منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز کلیبر چای به مختصات جغرافیایی"۴۵/۴۰/۲۵ تا "۴۷/۲۰/۳۵طول شرقی و "۳۸/۴۰/۲۵ تا "۳۹/۱۰/۳۵ عرض شمالی، در زون ساختاری البرز- آذربایجان قرار دارد که اصطلاحاً به کوه‌های قرا داغ موسوم است. آبراهه اصلی کلیبرچای که بازه مورد مطالعه در آن قرار دارد، از روستای پیغام در جنوب شهر کلیبر شروع می‌شود و تا روستای قشلاق ادامه دارد. رودخانه کلیبر چای بعد از پیوستن به رودخانه مرزرود که زهکشی اصلی ارتفاعات قندوان باشی و سایگرام داغی است، به رودخانه مرزی ارس می‌ریزد. میانگین بارندگی سالانه در این حوضه ۳۸۶ میلی‌متر گزارش شده است(سازمان هواشناسی کشور،۱۳۹۷). اقلیم منطقه نیمه مرطوب است. توجه به وضعیت زمین‌ساخت محدوده مورد مطالعه که بخشی از ورقه زمین‌شناسی شهرستان‌های ورزقان، کلیبر و اصلاندوز را شامل می‌گردد آشکار می‌کند که زمان تأثیر نیروهای تغییر شکل‌دهنده در محدوده مورد مطالعه همزمان با فازهای کوهزایی آلپی پسین است (نقشه زمین شناسی۱/۲۵۰۰۰۰ کلیبر). بازه مورد مطالعه مسیری به طول ۳ کیلومتر از رودخانه کلیبر چای است (شکل ۱) که با انجام عملیات صحرایی، برداشت‌ها و نمونه‌گیری‌ها مورد بررسی و سپس تغییرات آن با استفاده از مدل CAESAR شبیه سازی شد.

[۱] - Ziliani

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]



شکل ۱: حوضه کلیبر چای و بازه مورد مطالعه

ب)مواد و روش

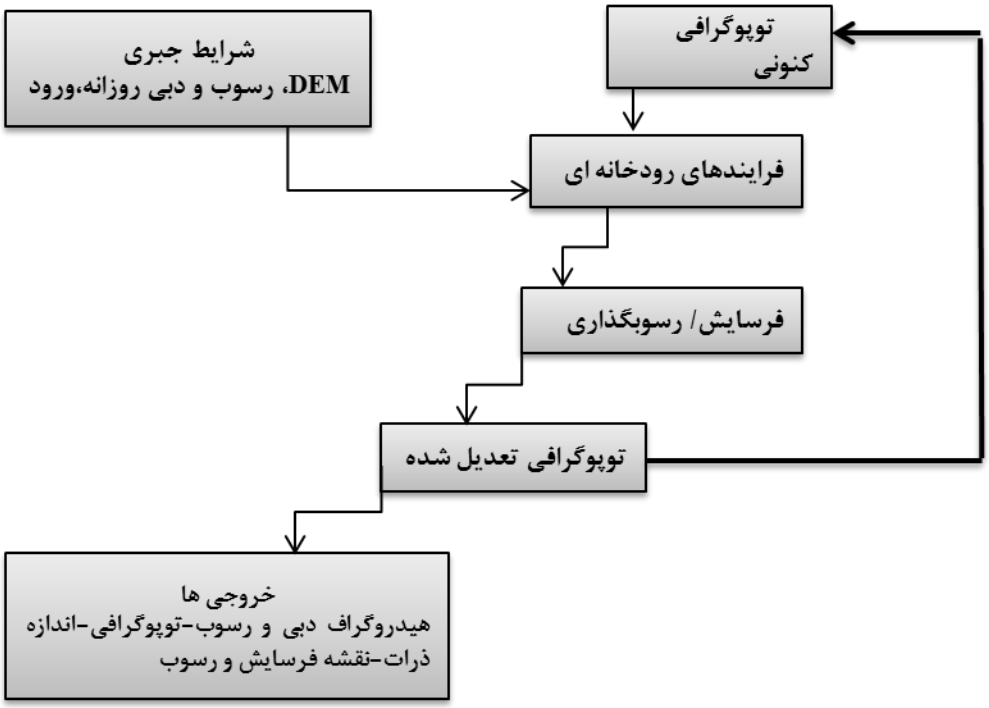
- **شبیه سازی تغییرات با مدل CAESAR**

به منظور بررسی تغییرات مورفولوژیکی در بازه رودخانه کلیبرچای، مدل سزار انتخاب شد. از میان مدل‌های سلولی تکامل چشم انداز، مدل سزار یک مدل دو بعدی حمل آب و رسوب است که یکی از جدیدترین مدل‌های سلولی رودخانه‌ای می‌باشد. در این مدل، دبی روزانه به عنوان ورودی برای مدل هیدورلوژیکی (بر پایه TOPMODEL) به کار می رود. اندازه ذرات مورد استفاده در مدل ۱تا ۲۵۶ میلی متر است. بعد از ورود داده‌ها شامل: دبی روزانه و اندازه رسوبات، مدل ارتفاعی سلول‌ها به طور همزمان به روز می‌شود. بنابراین با وجود پیچیدگی در عمل، مدل سزار در حالت بازه تنها نیازمند داده‌های ورودی ساده توپوگرافی(DEM)، دبی روزانه و اندازه رسوبات است (شکل۲).

در مورد منطقه مورد مطالعه، بر اساس تئوری حاکم بر اتومای سلولی با استفاده از داده‌های ایستگاه باران‌سنجی کلیبر، مدل ارتفاعی رقومی (با اندازه سلولی ۴ متر) تهیه شده از روی نقشه‌های توپوگرافی۱:۲۵۰۰۰ و برداشت‌های میدانی از طریق دوربین نقشه برداری، برداشت‌های زمینی از طریق دستگاه GPS و همچنین مشخص کردن نقاط بر روی تصاویر دیجیتال گلوب (محیط گوگل ارث)، داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات رسوبی در بازه، فرایند شبیه‌سازی انجام گرفت. بنابراین برای شبیه‌سازی تغییرات بازه رودخانه، تعریف توپوگرافی و شرایط اولیه بازه، داده‌های دبی روزانه ، مدل رقومی ارتفاع و اندازه رسوبات در بازه مورد مطالعه مورد نیاز است (شکل۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]



شکل ۲: طرح کلی اجرای مدل سزار (River Basin Dynamics and Hydrology Research Group, ۲۰۰۶)

شرح و تفسیر نتایج

جهت بررسی شدت بارش و میزان تاثیر آن بر تغییرات مورفولوژی، از روی داده‌های رگبار مربوط به سال ۱۳۹۱ دبی روزانه مرتب گردید. سپس مدل رقومی ارتفاع ۱۰متری مربوط به آذربایجان شرقی با توجه به محدوده حوضه کلیبر برش داده شد و سپس بر اساس تطبیق و آنالیز داده‌های برداشت شده در نرم افزار ArcGis ،مدل رقومی ارتفاع اصلاح و نهایی شد. از آنجایی که در مدل سزار نقطه خروجی از مدل رقومی ارتفاع باید در لبه سمت راست نقشه باشد، مدل رقومی ارتفاع با زاویه ۹۰ درجه در جهت مورد نظر چرخش یافت. همچنین مدل سزار داده‌ها را در فرمت رستر و اسکی[۱] می پذیرد.

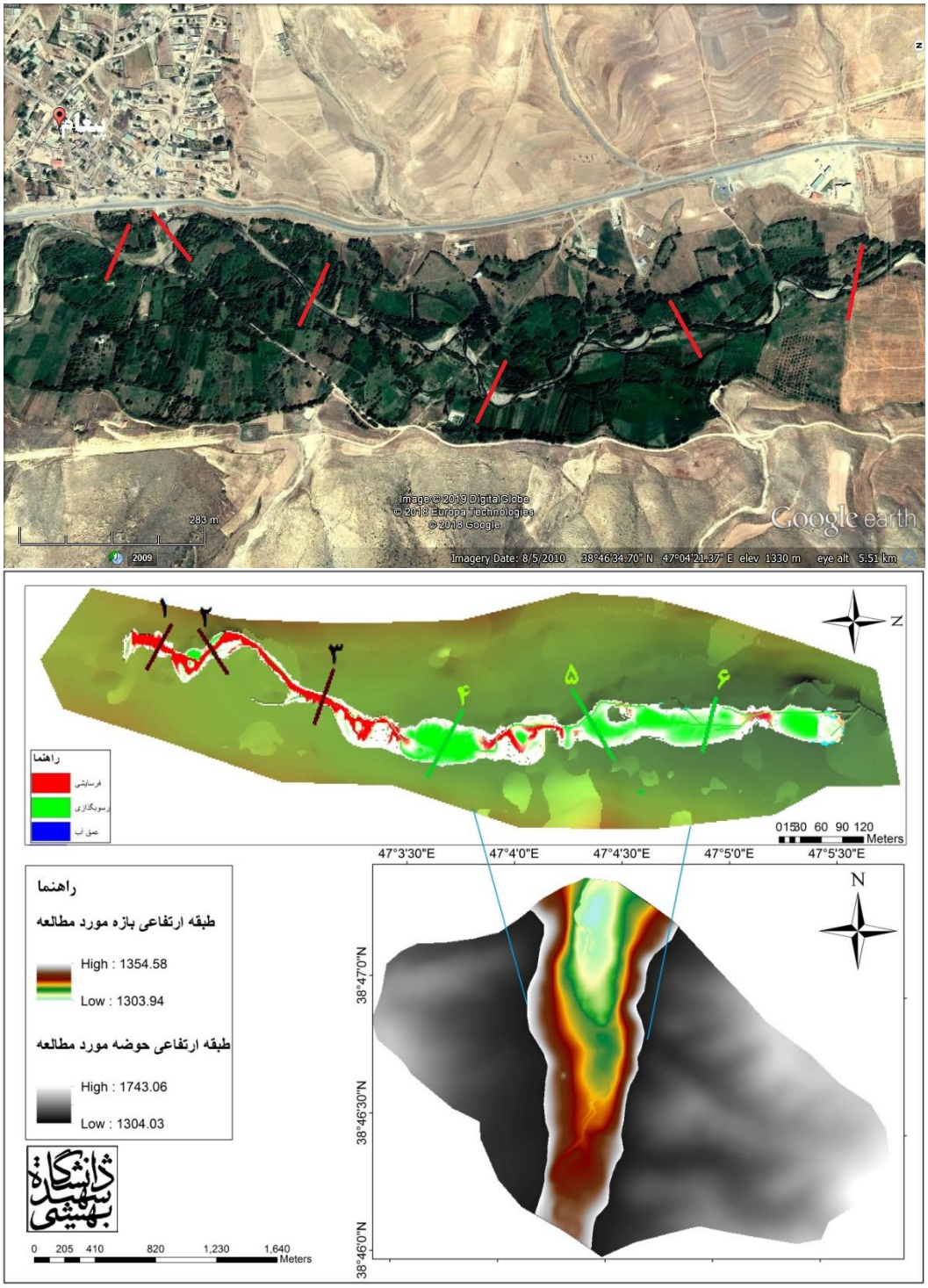
در این مدل، توزیع اندازه ذرات رسوبی دربرگیرنده ذراتی به اندازه ۱ تا ۲۵۶ میلی متر است که شامل بار بستر و بار معلق می‌باشد. مدل با استفاده از متغیر زمانی که توسط مقدار حفر و رسوبگذاری کنترل می‌شود، عمل می‌کند. جدول (۱) اندازه ذرات نمونه برداری شده از منطقه را نشان می‌دهد که از طریق برداشت‌های میدانی صورت گرفته است و بر حسب واحد متر بوده و ریزترین ذره، ذرات رس به قطر (۰/۰۰۰۰۰۴۰۹) به عنوان رسوبات معلق در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۱: نسبت اندازه ذرات بکار رفته در مدل سزار

اندازه ذرات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
(میلی متر)	۰/۰۰۴۰۹	۰/۰۴۰۹	۰/۱۱۸	۰/۲۰۷	۰/۵۸۹	۲/۳	۱۳	۲۹	۶۶/۸
نسبت ذرات (درصد)	۰/۰۰۵	۰/۰۱۹	۰/۰۳۲	۰/۰۸۶	۰/۱۳۶	۰/۲۱۹	/۲۶۶۰	۰/۰۸۹	۰/۱۴۷

[۱]:Raster and ascii

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]



شکل ۳: بالا: موقعیت بازه و مقاطع مورد مطالعه. پایین: شبیه سازی فرسایش و رسوبگذاری در بازه مورد مطالعه

بعد از بررسی تغییرات پلان کانال که در بازه مورد مطالعه انجام گرفت، از مدل سزار حاصل شبیه سازی جریان برای تحلیل تغییرات هندسه کانال در مقاطع انتخابی در شرایط قبل و بعد از شبیه سازی استفاده شد. مقاطع به‌گونه‌ای انتخاب شدند که تحت تاثیر شبیه‌سازی و مدل سازی شاهد تغییراتی بوده است. این نوع تغییرات یا از نوع رسوبگذاری و یا از

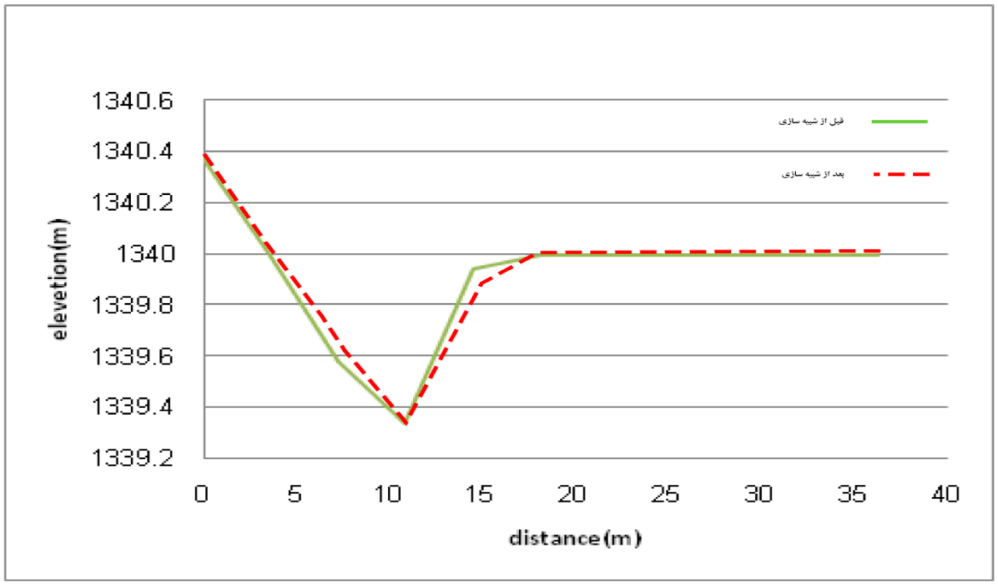
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

نوع فرسایشی بوده اند. تمامی پارامترهای کانال اصلی در همه مقاطع مورد بررسی قرارگرفت (جدول ۲) و برای هرکدام از آن‌ها نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه‌سازی ترسیم شده است که در ادامه شرح داده می شود.

جدول ۲: تغییرات پارامترهای مورفومتری کانال قبل و بعد از شبیه سازی

مقطع	قبل و بعد از شبیه سازی			قبل و بعد از شبیه سازی		
	عرض (متر)	ارتفاع (از سطح اساس به متر)	شکل نیمرخ عرضی	عرض(متر)	عمق(از سطح اساس به متر)	شکل نیمرخ عرضی
۱	۷	۱۳۳۹/۶۳	شکل (V)	۱۱	۱۳۳۹/۵۶	شکل (V)
۲	۱۵	۱۳۳۲	شکل (U)	۱۸	۱۳۳۲/۳	شکل (U)
۳	۲۰	۱۳۲۸/۶۶	شکل (U)	۱۹	۱۳۲۸/۶۶	شکل (V)
۴	۱۱/۵	۱۳۱۸/۶۶	شکل (U)	۸	۱۳۱۸/۴۳	شکل (V)
۵	۸	۱۳۱۳/۳	شکل (U)	۱۲	۱۳۱۳/۳	شکل (U)
۶	۱۰	۱۳۱۸/۶۶	شکل (V)	۶	۱۳۱۸/۴۴	شکل (V)

مقطع ۱ : با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی که در مقطع ۱ انجام گرفت، و با ترسیم این تغییرات هم در عرض کانال و هم در ارتفاع متوسط و هم در شکل هندسی رودخانه می‌باشد. با توجه به نیمرخ‌های عرضی، تغییرات کانال از نظر عمق متوسط و عرض کانال قبل از شبیه سازی به ترتیب ۱۳۳۹/۶۳و ۷ متر و بعد از شبیه سازی، به ترتیب ۱۳۳۹/۵۶ و ۱۱متر است (شکل ۴). مقایسه شکل حاصل از نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه سازی در مقطع ۱، نشان می‌دهد که مقطع فوق در شرایط فرسایشی است. اما با وجود تغییرات در هندسه کانال، در شکل کانال تغییر مشهودی مشاهده نشده است و شکل کلی کانال به صورت وی شکل (V) حفظ شده است. اما عرض کانال از ۷متر به ۱۱متر تغییر کرده است. لازم به ذکر است که این مقطع در ساحل سمت راست دارای دشت سیلابی، اما سمت چپ دارای یک دیواره است که به پادگانه مجاور متصل است. به نوعی می‌توان گفت که این نوع مقطع از نوع کانال‌های نسبتا محدود است که فقط در یک سمت رودخانه دشت سیلابی وجود دارد.

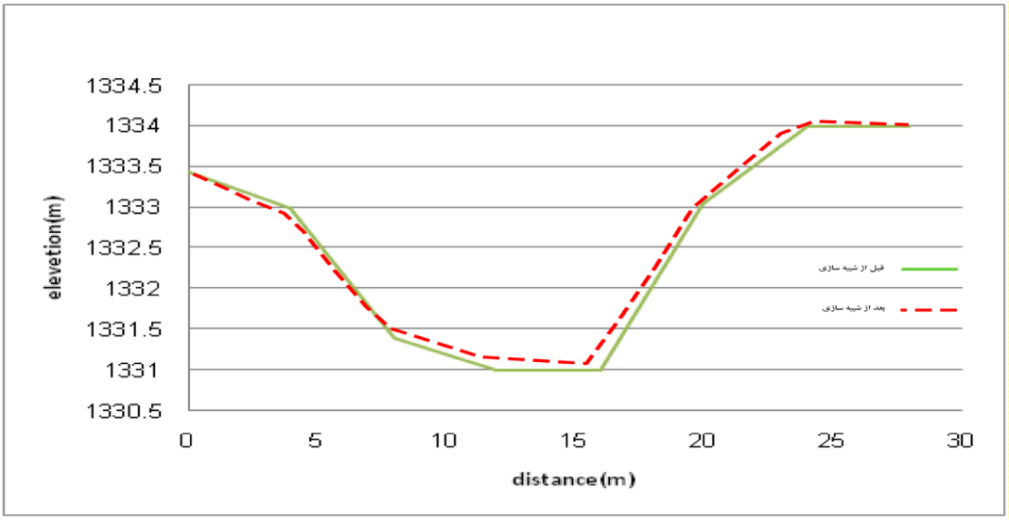


شکل ۴: مقطع عرضی ۱ قبل و از شبیه سازی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

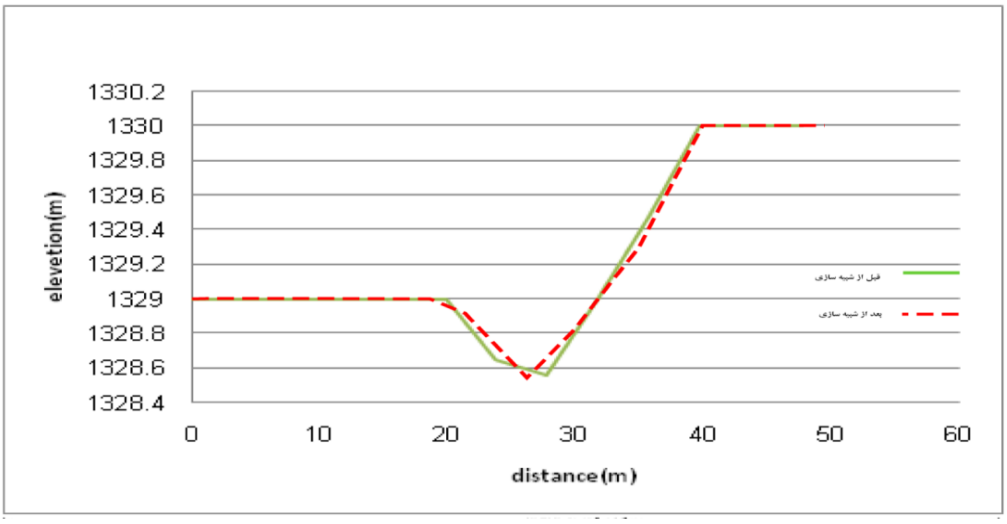
مقطع ۲ : مقطع بعدی در فاصله ۶۰۰ متری از مقطع اول انتخاب شد. این مقطع به گونه‌ای انتخاب شد که رودخانه از نظر هندسی در حالت پیچانرودی است و قوس کانال مد نظر قرار گرفت. با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی ضریب خمیدگی در این بازه ۱/۰۱ ، شیب ۰/۰۲۳ درصد و جنس مواد بستر از نوع شنی می باشد. اطلاعات هندسه کانال و تغییرات در بستر کانال (عرض کانال، عمق متوسط کانال، شکل هندسی) قبل و بعد از شبیه سازی نشان می دهد که عمق متوسط کانال قبل از شبیه سازی ۱۳۳۲متر و عرض کانال ۱۵ متر در حالی که عمق متوسط کانال بعد از شبیه سازی ۱۳۳۲/۳ و عرض کانال ۱۸متر می باشد. بعد از احتساب ارتفاع متوسط و عرض کانال قبل و بعد از شبیه سازی و مقایسه آنها نشان داده شد که مقطع ۲ همانند مقطع ۱ در شرایط فرسایشی است. با وجود تغییرات در هندسه کانال، تغییر در عرض از۱۵متر به ۱۸ متر افزایش یافته است. اما تغییراتی در شکل کانال مشاهده نمی‌شود و شکل کلی کانال هم قبل و هم بعد به صورت U شکل باقی مانده است (شکل ۵).



شکل .Error! No text of specified style in document **۵: مقطع عرضی ۲ قبل و از شبیه سازی**

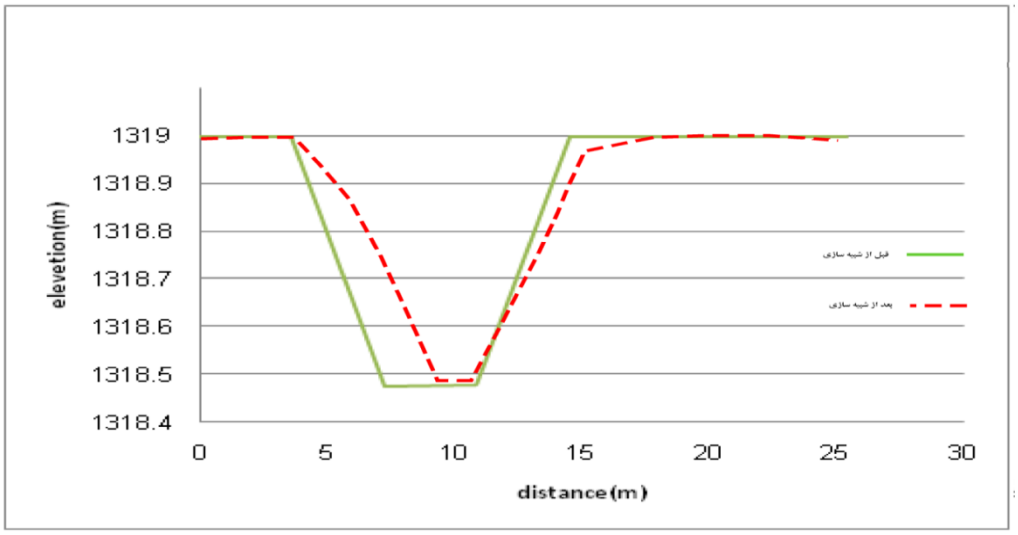
مقطع ۳ : با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی که در مقطع ۳ انجام گرفت، ضریب خمیدگی در این بازه ۱/۰۲ ، شیب ۰/۰۲۶ درصد و جنس مواد بستر از نوع شنی می باشد. در مقطع سه نیمرخ‌های عرضی، اطلاعات عرض و ارتفاع متوسط کانال هم قبل و هم بعد شبیه‌سازی نشان داد که قبل از شبیه سازی، ۲۰ متر و ۱۳۲۸/۶۶ متر و بعد از شبیه سازی عمق ۱۹متر و عرض کانال ۱۳۲۸/۶۶ متر است. شکل (۶). با مقایسه بین این دو نیمرخ می‌توان گفت که در هندسه کانال تغییرات مشهودی دیده نمی‌شود و شکل کانال تقریبا از یو شکل (U) به وی شکل (V) در آمده است. نکته قابل توجه در این مقطع بر خلاف مقاطع قبلی در این است که ساحل سمت چپ دارای دشت سیلابی است و ساحل سمت راست مرتفع‌تر از ساحل سمت راست و منتهی به یک پادگانه می شود. مقایسه نیمرخ عرضی دو مقطع، نشان می دهد که کانال در حال فرسایش است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]



شکل ۶: مقطع عرضی ۳ قبل و از شبیه سازی

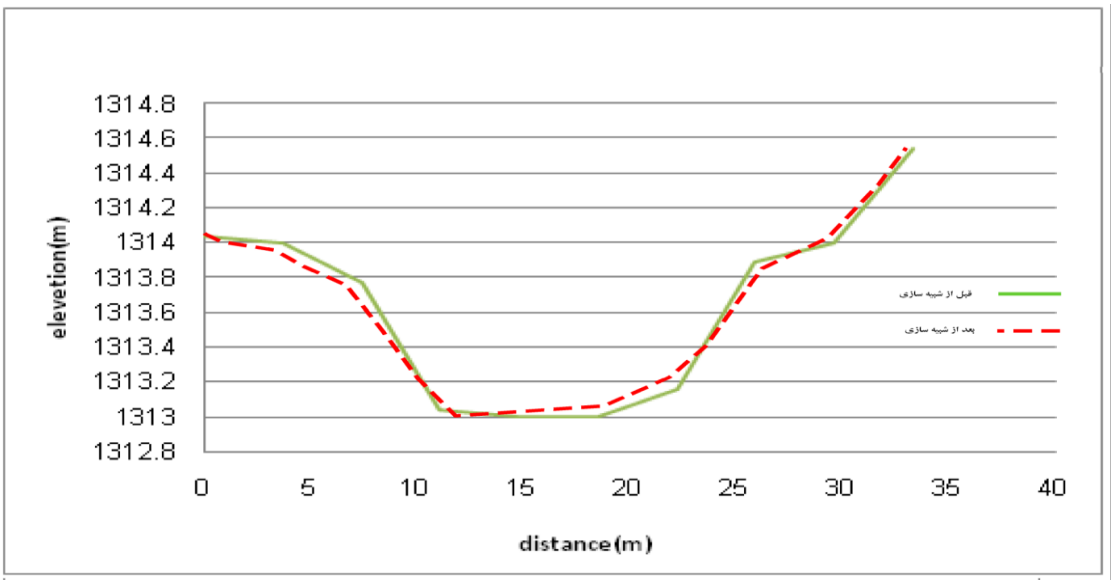
مقطع ۴ : با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی، ضریب خمیدگی در این بازه ۱/۱۷ ، شیب ۰/۰۲۵ درصد و جنس مواد بستر از نوع شنی می باشد. درمقطع ۴ عرض کانال و ارتفاع متوسط کانال قبل از شبیه سازی به ترتیب، ۱۱/۵متر و ۱۳۱۸/۶۶ متر است و بعد از شبیه سازی عرض کانال ۸ متر و ارتفاع متوسط ۱۳۱۸/۴۳ متر می‌باشد (شکل۶). با توجه به محاسبات به‌دست آمده از نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه سازی در این مقطع، عرض کانال قبلی از ۱۱/۵ به ۸ متر تقلیل پیدا کرده است، و همچنین ارتفاع از ۱۳۱۸/۶۶ به ۱۳۱۸/۴۳ کاهش یافته است. شکل کلی کانال از یو شکل (U) به حالت وی شکل (V) درآمده است. مقایسه شکل حاصل از نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه سازی در مقطع ۴، نشان می‌دهد که مقطع فوق در شرایط رسوبگذاری است. در این مقطع در هر دو سمت کانال، دشت سیلابی مشاهده می شود(شکل ۷).



شکل ۷: مقطع عرضی ۴ قبل و از شبیه سازی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

مقطع ۵ : با توجه به اندازه‌گیری‌های میدانی که در مقطع ۵ انجام گرفت، ضریب خمیدگی در این بازه ۱/۱۶ ، شیب ۰/۰۲۵ درصد و جنس مواد بستر از نوع شنی بود.. مقطع ۵ از بازه پنج با فاصله ۴۰۰ متری از مقطع ۴ انتخاب گردید. در این مقطع با توجه به عرض و ارتفاع متوسط کانال نیمرخ های مربوط ترسیم گردید. عرض کانال در قبل از شبیه سازی ۸ متر و ارتفاع متوسط ۱۳۱۳/۳ متر است. بعد از اعمال شبیه سازی هم عرض کانال ۱۲ متر و ارتفاع متوسط تغییری پیدا نکرد و همان ۱۳۱۳/۳ متر باقی مانده است (شکل ۸). مقایسه شکل حاصل از نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه سازی در مقطع ۵، نشان می‌دهد که مقطع فوق همانند مقطع سه در شرایط رسوبگذاری است و کانال در سمت چپ دارای دشت سیلابی می‌باشد.

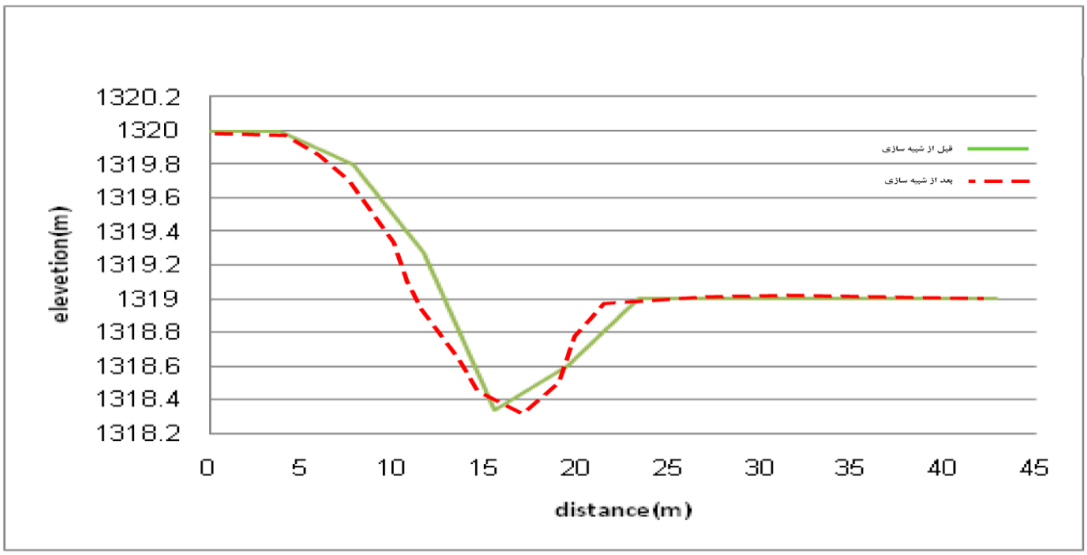


شکل ۸: مقطع عرضی ۵ قبل و از شبیه سازی

مقطع ۶ : ضریب خمیدگی در این بازه ۱/۰۲ ، شیب ۰/۰۲۷ درصد و جنس مواد بستر از نوع شنی می باشد. با توجه به نیمرخ های عرضی، ارتفاع متوسط و عرض کانال قبل از شبیه سازی به ترتیب ۱۳۱۸/۶۶ و ۱۰ متر و بعد از شبیه سازی، به ترتیب ۱۳۱۸/۴۴ و ۶ متر است (شکل ۹). مقایسه شکل حاصل از نیمرخ عرضی قبل و بعد از شبیه سازی در مقطع یک از بازه یک، نشان می‌دهد که مقطع فوق در شرایط رسوبگذاری است. اما با وجود تغییرات در هندسه کانال، در شکل کانال تغییر مشهودی مشاهده نشده است و شکل کلی کانال به صورت وی شکل (V) حفظ شده است. اما عرض کانال از ۱۰متر به ۶ متر تغییر کرده است. لازم به ذکر است که این مقطع در ساحل سمت راست دارای دشت سیلابی، اما سمت چپ دارای یک دیواره است. به نوعی می‌توان گفت که این نوع مقطع از نوع کانال‌های نسبتا محدود است که فقط در یک سمت رودخانه دشت سیلابی وجود دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]



شکل ۹: مقطع عرضی ۶ قبل و از شبیه سازی

نقشه‌ی خروجی از مدل سزار در شکل(۳) نشان داده شده است. بر روی نقشه شبیه سازی شده ۶ مقطع در طول رودخانه انتخاب و وضعیت تغییرات هندسه کانال مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نقشه خروجی و در وضعیت پلان رودخانه، قسمت ورودی کانال به طول ۹۰۰ متر در شرایط فرسایش قرار گرفته است. فرسایشی بودن در مقاطع ۱و ۲ و ۳ تحت تاثیر عرض کانال و ذرات بستر و کمبود و یا نبود پوشش گیاهی می‌باشد. حد فاصل بین مقطع ۴و ۵ که فرسایش وجود داشت به دلیل شیب تند کانال در این محدوده است. فرسایشی بودن بین مقطع ۴ و ۵ شکل کانال را از حالت مستقیم به حالت پیچانرودی تبدیل کرده است. قسمت میانی کانال بیشتر به صورت رسوبگذاری است. رسوبگذاری در این مقاطع به دلیل کم بودن شیب و عرض بیشتر و وجود پوشش گیاهی نسبتا زیاد می‌باشد (شکل۳). نتایج بدست آمده گویای فرسایش بیشتر در ابتدای بازه مورد مطالعه است که دارای الگوی پیچانرودی می باشد. همچنین نتایج این مطالعه با نتایج فتح اله اتی کندی (۱۳۹۶) مشابهت دارد که وی با مطالعه ناپایداری رودخانه کلیبر چای بر اساس روش راسگن به این نتیجه رسید که این بازه از رودخانه کلیبر چای در نزدیکی روستای پیغام ناپایدار می باشد.

نتیجه گیری

بعد از بررسی تغییرات کانال، قبل و بعد از شبیه سازی در مدل سزار و سپس ترسیم نیمرخ‌های هر کدام از مقاطع، مناطق حساس به فرسایش و رسوبگذاری شناسایی شدند. برای انجام این کار ۶ مقطع از بازه مورد مطالعه انتخاب شدند. مقاطع به‌گونه‌ای انتخاب شدند که تحت تاثیر شبیه‌سازی و مدل سازی تغییراتی را نشان داده است. با مقایسه‌ای که بین نیمرخ‌ها صورت گرفت، تغییرات در هندسه کانال قابل مشاهده بودند. تغییرات در عرض کانال و شکل کانال در همه مقاطع صورت پذیرفت و تنها عمق متوسط کانال در مقاطع ۱ و ۲ و ۶ و ۴ تغییر پیدا کردند. با توجه به پلان هوایی و نقشه خروجی از مدل سزار می‌توان گفت که قسمت اولیه کانال اصلی در بازه مورد مطالعه تحت تاثیر فرسایش قرار گرفت و بعد از ۹۰۰ متر وضعیت کانال از فرسایشی به حالت رسوبگذاری تبدیل شده است. هر چند در ادامه مسیر بخشی از آن در حدفاصل مقطع ۴ و ۵ به دلیل محدود شدن کانال، وضعیت فرسایش دیده می شود. در ادامه مسیر با

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

توجه به تعریض کانال و به دنبال آن کاهش سرعت و تنش اعمال شده بر کانال فرآیند رسوبگذاری غالب بوده است. درنهایت لازم به ذکر است که با وجود نقص داده ها و کوتاه بودن مقیاس زمانی مورد مطالعه در این تحقیق، در صورت وجود داده های مناسب و طولانی مدت، این مدل می تواند به شبیه سازی تکامل چشم انداز رودخانه ای و الگوی کلی فرسایش و رسوب و تغییرات رودخانه در دوره های زمانی متوالی بپردازد.

منابع

خالقی، سمیه؛ شهرام روستایی؛ علی محمد خورشید دوست؛ محمد حسین رضایی مقدم و محمد علی قربانی. ۱۳۹۵. قابلیت اتومای سلولی در شبیه سازی میزان تحول و فرسایش در سیستم رودخانه ای (مطالعه موردی: حوضه آبریز لیقوان). *نشریه جغرافیا و برنامه ریزی*، شماره **۵۸**: ۱۳۸-۱۱۹.

رضازاده، راضیه؛ مهرداد میراحمدی. ۱۳۸۸. مدل اتوماسیون سلولی، روشی نوین در شبیه سازی رشد شهری. *نشریه علمی پژوهشی فناوری آموزش*، سال چهارم، **۴(۱)**: ۴۸.

رضایی‌مقدم، محمد حسین؛ محمدرضا ثروتی و صیاد اصغری سراسکانرود. ۱۳۹۱. تحلیل وضعیت پایداری مجرای رودخانه قزل‌اوزن با استفاده از روش‌های تنش برشی، شاخص مقاومت نسبی بستر و مطالعات صحرایی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، **(۱)۱**: ۴۶-۳۳.

فتح اله اتی کندی، پیام. ۱۳۹۶. *مکانیسم وقوع فرسایش کناره ای در کلیبرچای، آذربایجان شرقی*، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید بهشتی. تهران.

فهیمی فر، احمد؛ میرعباس بحری؛ نسرین بخشایش اقبالی. ۱۳۸۵. تحلیل فرآیند حرکت و لغزش زمین لغزه ها بر پایه مدل اتومات سلولی، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور.

Brierley, G. J., Fryirs, K. ۲۰۰۵. *Geomorphology and River Management, Applications of the River Styles Framework*. Wiley-Blackwell Publishing, Hoboken, New Jersey, US.

Coulthard, T.J.; M.G. Macklin, and M.J. Kirkby. ۱۹۹٦. A cellular automaton fluvial and slope model of landscape evolution. In: R.J. Abrahart (Editor), Proceedings of the ۱st International Conference on Geocomputation, University of Leeds, , ۱۷-۱۹ September ۱۹۹٦, Leeds, UK, ۱٦۸-۱۸۵.

Coulthard, T. J.; M. J. Kirkby and M. G. Macklin. ۱۹۹۸. Non-linearity and spatial resolution in a cellular automaton model of a small upland basin. *Hydrology and Earth System Sciences*, **۲**: ۲۵۷-۲٦٤.

Douvinet, J.; D. Delahaye; P. Langlois. ۲۰۰۷. Use of cellular automata in physical geography. ۱۵th European Colloquium of Theoretical and Quantitative Geography, Montreux : Switzerland.

Hancock, G.R; T.J. Coulthard and G.R. Willgoose. ۲۰۱۱. Modelling erosion and channel movement-respose to rainfall variability in South East Australia, ۱۹th international congress on modelling and simulation, ۱۲–۱٦ December, Perth, Australia, ۱۸۷٤-۱۸۸۰.

Hancock, G.R; D. Verdon-Kidd and J.B.C. Lowry. ۲۰۱۷. Sediment output from a post-mining catchment – Centennial impacts using stochastically generated rainfall. *Journal of Hydrology*, **٥٤٤**: ۱۸۰–۱۹٤.

Gregory, k.j (۲۰۰٦), the Human role in changing River Channels Geomorphology ۸٤, pp۲۷۷-۲۹٦.

Murray, A.B. and C. A. Paola. ۱۹۹٤. *Cellular model of braided rivers. Nature*. ۳۷۱: ٥٤–٥۷.

Murray, A.B. and C. Paola. ۱۹۹۷. Properties of a cellular braided stream model. *Earth Surface Processes and Landforms*, **۲۲**: ۱۰۰۱-۱۰۲٥.

Nicholas, A.P. ۲۰۰٥. Cellular modelling in fluvial geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, **۳۰**: ٦٤٥-٦٤۹.

Richards, K.S. ۱۹۸۲. *Rivers, form and process in alluvial channels*. Methuen. New York.

River Basin Dynamics and Hydrology Research Group (RBDHRG)., Predictive and investigative modelling of flood hazard in Welsh river catchments, Volume ۱, University of Wales, Aberystwyth. ۲۰۰٦.

Schumm, S. A., ۲۰۰٥, River Variability and Complexity, First Published, Cambridge University Press, Published in the United States of America.

Van De Wiel, M.J.; T.J. Coulthrd, M.G. Macklin and J. Lewin. ۲۰۰۷. Embedding reach-scale fluvial dynamics within the CAESAR cellular automaton landscape evolution model. *Geomorphology* , **۹۰**: ۲۸۳-۳۰۱.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

Van, Tri P.D.; P.A. Carling, T.J., Coulthard and P. M. Atkinson. ۲۰۰۷. Cellular Automata Approach for Flood Forecasting in a Bifurcation River System. *PUBLS. INST. GEOPHYS. POL. ACAD. SC.*, **E-۷ (٤٠١)**: ۲٥٥-۲٦٠.

Wu, Huan, Yi, Yonghong, Chen, Xiuwan..۲۰۰٥. HydroCA: a watershed routing model based on GIS and cellular automata. Proceedings- Spie The International Society for Optical Engineering, VOL ٦١٩٩, pages ٦١٩٩٠Q.

Ziliani, L.; N. Surian, T.J. Coulthard and S. Tarantola. ۲۰۱۳. Reduced-complexity modeling of braided rivers: Assessing model performance by sensitivity analysis, calibration, and validation. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, ۱۱۸: ۱-۲۰.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOI: 10.52547/jsaeh.8.2.165]