# شبیه‌سازی تغییرات رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)

**فریبا اسفندیاری درآباد [۱*]، بهروز نظافت تکله،[۲] زهرا شهبازی شرفه**

۱*- استاد گروه جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۲- دانشجوی دکتری، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی

ایمیل نویسنده مسئول: esfandyari@uma.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۴

**چکیده**

تغییرات بستر رودخانه، فرسایش و رسوب‌گذاری فرایندهای طبیعی رودخانه هستند که هر کدام به نوبه خود باعث تخریب زمین‌های اراضی و خسارات بسیار زیادی به تاسیسات انسانی می‌گردند. رودخانه به‌عنوان سیستمی در حال توسعه، مکان و ویژگی‌های مورفولوژیکی خود را همواره برحسب بازه زمان، فاکتورهای ژئومورفیک، زمینشناسی، جریانات آبی و بعضا در اثر مداخلات انسانی تغییر می‌دهد. هدف از تحقیق فوق، شبیه‌سازی تغییرات رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR) و مدل هیدرولیکی HEC-RAS در استان اردبیل می‌باشد. هم‌چنین جهت برآورد احتمال وقوع سیلاب از نرم‌افزار Hyfran استفاده گردید. بدین منظور جهت شبیه‌سازی تغییرات از مدل اتومای سلولی استفاده گردید. مدل CAESAR یک مدل تکامل یافته سلولی رودخانه است. در این مدل برای مدل‌سازی، داده‌های ورودی مانند توپوگرافی، دبی روزانه سال (۱۳۹۴) و اندازه رسوبات بستر رودخانه تهیه و در مرحله بعد تغییرات مجرا شبیه‌سازی شد. نتایج مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS نشان داد که بیش‌ترین پهنه سیلابی در دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال به ترتیب با مقدار ۱۳/۸ هکتار و احتمال وقوع ۹۹/۹ درصد است و برای جواع انسانی و تاسیسات بشری مخاطره آمیز خواهد بود. نتایج حاصله از مدل اتومای سلولی نیز نشان داد که تغییرات مورفولوژیکی بستر رودخانه در مقاطع عرض شماره ۲۲ در بازه دوم برابر ۱ متر بوده است. هم‌چنین تغییرات بستر رودخانه در بازه سوم مقاطع ۴۴ و ۶۰ به ترتیب برابر ۱ متر و ۲ متر را نشان داد که در این مقاطع حداقل و حداکثر میزان تغییرات قابل مشاهده است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد با توجه به نتایج حاصله بیش‌ترین میزان تغییرات بستر رودخانه خیاوچای در بازه سوم و نزدیک مناطق مسکونی رخ داده است درنهایت پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آتی به بررسی میزان تاثیرگذاری جوامع بشری در ایجاد و افزایش میزان تغییرات بستر رودخانه و افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری پرداخته شود و اقدامات پیش‌گیرانه هم‌چون کاهش دخالت‌های انسانی در بستر رودخانه، عدم تجاوز به حریم رودخانه، جلوگیری از تغییر کاربری‌های اراضی انجام گردد و این امر منجر به حرکت عادی رودخانه در بستر خود خواهد گردید.

**کلمات کلیدی**

" استان اردبیل "، " مورفولوژی دشت "، " رودخانه خیاوچای "، " شبیه‌سازی مدل CAESAR ".

## ۱- مقدمه

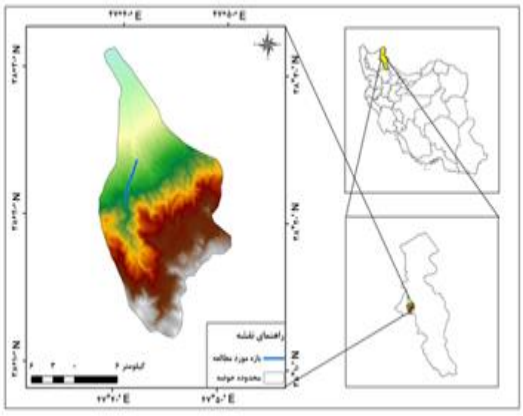
رودخانه به‌عنوان سیستمی در حال توسعه، مکان و ویژگی‌های مورفولوژیکی خود را همواره برحسب بازه زمان، فاکتورهای ژئومورفیک، زمین‌شناسی، جریانات آبی و بعضا در اثر مداخلات انسانی تغییر می‌دهد (رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۱). در واقع به‌طور عادی، تعدیل چشم‌انداز توسط فاکتورهای مدیریتی درونی مانند شیب، جهت شیب، توپوگرافی و نوع رسوبات و فاکتورهای مدیریتی بیرونی مانند تغییر آب و هوا، تغییر رسوب و تغییرات پوشش‌گیاهی است (Fryirs and Brierley, 2005). تغییرات و تکامل رودخانه‌ای به صورت فرسایش یا رسوب‌گذاری در بستر، از بین بردن دیواره‌ها، تغییر بستر جریان تغییر و جابجایی پیچان‌رودها و تغییر در فرم رودخانه آشکار می‌گردد . (Schumm, 2005) به عبارتی این تغییرات باعث تحمیل تغییرات بسیار زیادی در اطراف رودخانه و ایجاد مشکالات طبیعی و خسارات جانی و مالی انسانی می‌گردد (Gregory, 2006). رودخانه خیاوچای یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان اردبیل به حساب می‌آید رودخانه خیاوچای از نقطه اتصال رودخانه‌های بالای روستاهای دیزو و مویل در جنوب مشگین شهر شروع شده و جریانات جاری در روستای مویل یکی از مهمترین شاخه‌های خیاوچای است. این رودخانه از مسیری در حدود پانزده کیلومتری شرق شهر توریستی مشگین‌شهر عبور می‌کند. بسیاری از شاخه‌ها به رودخانه خیاوچای متصل می‌گردند. هم‌چنین، به‌دلیل مرتفع بودن منطقه، شیب منطقه به سمت رودخانه زیاد و شیب بستر رودخانه شیب‌دار است. استفاده از هرگونه سیستم طبقه‌بندی رودخانه‌ای تلاشی در جهت ساده کردن روابط پیچیده بین رودخانه و آبریزهای آن‌ها می‌باشد. تغییرات مداوم از اصول دقیق و کامل بر هر رودخانه‌ای می‌باشد که همگام جریان یافتن و رسوب در بستر آن، تغییر و جابه‌جایی در سایر مشخصات هندسی رودخانه به‌وقوع می‌پیوندد . اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰)، به بررسی ژئومورفولوژیکی مجرای رودخانه حمزه خانلو بر اساس مدل رزگن پرداختند. ایشان به این نتیجه دست پیدا کردند که الگوهای مجرای موجود در رودخانه و به تبع آن فاکتورهای مؤثر در طبقه‌بندی و جدا کردن مجراها با مدل رزگن همخوانی دارند. خالقی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزابی و شبیه‌سازی تغییرات بستر و مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل اتومای سلولی (CAESAR) پرداختند. این

پژوهشگران در بررسی خود به این نتایج دست یافتند که تغییرات در مقاطع ۱ و ۴ و ۶ و ۲ کانال و شکل کانال در کلیه مقاطع مشاهده گردید. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی و تحلیل فضایی مخاطره طبیعی با بهره‌گیری از مدل Hec-Hms و منطق فازی در حوضه آبریز نیرچای پرداختند. نتایج تحقیق این محققین نشان داد که در حدود ۸/۶ درصد از سطح حوضه در پهنه‌های با خطر بسیار بالای وقوع سیلاب قرار دارد. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱)، به‌منظور شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران‌چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین خطر سیلاب با دوره بازگشت دویست سال با پهنه سیلابی ۵۰۰ متر خواهد بود. هم‌چنین در راستای کاهش خسارت‌های مالی و جانی ایجاد شده در اثر وقوع سیلاب باید از تجاوز به حریم رودخانه و تغییرات کاربری اراضی جلوگیری کرد. زیلیانی و همکاران (۲۰۱۳)، به‌منظور کاهش میزان پیچیدگی مدل‌سازی در رودخانه‌های گیسویی، به ارزیابی مدل اتومای سلولی (CAESAR)، از طریق آنالیز حساسیت و اعتبارسنجی پرداختند. این محققین به این نتایج رسیدند که این مدل توانایی تولید تغییرات مورفولوژیکی بازه و بار رسوبی سالانه دارا می‌باشد . ایسوب و همکاران (۲۰۱۵)، به مطالعه خطر احتمال وقوع سیلاب در حوضه اوزا با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS پرداختند. نتایج مطالعات این محققین این نتایج را نشان داد که با دوره بازگشت‌های مختلف برای این حوضه در منطقه مورد بررسی حدود ۱۴۷ ساختمان و تاسیسات در بخش دشت سیلابی رودخانه با مخاطره سیل روبرو می‌باشند. ختتاک و همکاران (۲۰۱۶)، به پهنه‌بندی سیلاب‌های رودخانه کابول با استفاده از مدل هیدرو HEC-RAS پرداختند. از تحقیق ایشان این نتایج حاصل گردید که حاشیه رودخانه بیش‌ترین تاثیرگذاری را بر اراضی کشاورزی دارد. هنکوک و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی ارزیابی و حساسیت بارندگی در شمال استرالیا در بر روی خروجی رسوب در یک دوره صد ساله در حوضه معدن کاوی شده با استفاده از مدل CAESAR Lisflood پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که هر تغییر در بارش روی حمل رسوب و شکل فرسایش و تکامل چشم انداز موثر است . رازی و همکاران (۲۰۱۸)، به‌منظور بررسی سیلاب‌های رودخانه بر اساس مدل هیدروژئومورفولوژیکی HEC-RAS در رودخانه سمبرونگ پرداختند. از مطالعات ایشان این نتایج حاصل گردید که نزدیک ۳۳ ایستگاه در اطراف رودخانه با خطر وقوع سیلاب و خسارات ناشی از آن روبه رو می‌باشند . اوقراس و اونن (۲۰۲۰)، به ارزیابی و شبیه‌سازی دشت سیلابی با مدل HEC-RAS در محدوده بین بزرگراه دیاربکر- سیلوان و پل تاریخی ده چشم به تحقیق و مطالعه پرداختند. براساس مطالعات انجام شده ایشان به این نتایج رسیدند که پل‌های تاریخی و هم‌چنین زمین‌های کشاورزی حاصلخیز، تأسیسات و بیمارستان‌ها و برخی مناطق مسکونی در محدوده خطر اقع شده‌اند. ازین و همکاران (۲۰۲۰)، در پژوهشی به بررسی و عملکرد مدل هیدرولیکی HEC-RAS در شبیه‌سازی سیلاب‌های شمال‌غرب تونس پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولیکی دوبعدی (HEC-RAS v-5)می‌تواند به دقت سیلاب‌های منطقه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کرده و پروفیل سطح آب و توزیع سرعت سیل را تعیین کند. هدف از این طرح پژوهشی، شبیه‌سازی تغییرات رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR) در استان اردبیل می‌باشد.

## ۲- روش انجام تحقیق

- **محدوده مورد مطالعه**

حوضه آبخیز خیاوچای به وسعت تقریبی ۱۳۰۰ هکتار، در حاشیه غربی کوه سبلان، در جنوب شهرستان مشگین شهر قرار گرفته است، از نظر تقسیمات سیاسی بخشی از استان اردبیل و از لحاظ تقسیمات جاماب از زیر حوضه‌های آبخیز بزرگ خزر محسوب می‌شود؛ که با هشت زیر حوضه در محدوده جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه ۲۳ دقیقه عرض شمالی، با بیشینه ارتفاع ۴۵۶۰ متر از سطح دریا در محل قله کسری در ارتفاعات جنوبی حوضه و کمینه ارتفاع ۱۳۷۵ متر در محل خروجی حوضه در محل ایستگاه هیدرومتری پل سلطان واقع شده است. خیاوچای رودخانه اصلی این حوضه می‌باشد که جزو رودخانه‌های با سابقه وقوع سیلاب‌های واریزه‌ای محسوب می‌شود که تهدیدی بالفعل برای منابع طبیعی و ساکنین منطقه است. رودخانه خیاوچای از سرشاخه‌های مهم رودخانه قره‌سو در شهرستان مشگین شهر است. این رودخانه از ارتفاعات هزار میخ، آیی قاری، دلی آلی، جنوار داغی سرچشمه می‌گیرد و روستاهای دیزو، آغبلاغ، نصرآباد، دستگیر، پاشالو، حاجیلو و شهر مشگین را مشروب می‌سازد. منبع تغذیه این رودخانه نزولات جوی، چشمه‌ها بود و از جهت جنوب به شمال جریان دارد. طول رودخانه خیاوچای نزدیک ۳۵ کیلومتر بوده و شیب متوسط بستر آن در مناطق کوهستانی ۸ درصد و در دشت ۴ درصد و جهت جریان رودخانه جنوبی- شمالی می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی رودخانه خیاوچای ارائه شده است.



**شکل (۱): موقعیت جغرافیایی رودخانه خیاوچای**

## شبیه‌سازی تغییرات بستر رودخانه خیاوچای با استفاده ازCAESAR

به‌منظور بررسی قابلیت اتومای سلولی در شبیه‌سازی تغییرات مورفولوژیکی سیستم رودخانه‌ای در بازه رودخانه خیاوچای، مدل سزار انتخاب شد. از میان مدل‌های سلولی تکامل چشم‌انداز،

مدل سزار یک مدل دوبعدی حمل آب و رسوب است که یکی از جدیدترین مدل‌های سلولی رودخانه‌ای است. در این مدل، دبی روزانه به‌عنوان ورودی برای مدل هیدرولوژیکی بر پایه (TOPMODEL)به کار می‌رود. اندازه ذرات مورداستفاده در مدل ۱ تا ۲۵۶ میلی‌متر است. بعد از ورود داده‌ها شامل: دبی روزانه و اندازه رسوبات، مدل ارتفاعی سلول‌ها به‌طور هم‌زمان به‌روز می‌شود؛ بنابراین باوجود پیچیدگی در عمل، مدل سزار در حالت بازه تنها نیازمند داده‌های ورودی ساده توپوگرافی (DEM)، دبی روزانه و اندازه رسوبات است. در مورد منطقه مورد مطالعه، بر اساس تئوری حاکم بر اتومای سلولی با استفاده از داده‌های ایستگاه باران‌سنجی خیاوچای، مدل ارتفاعی رقومی (با اندازه سلولی ۴ متر) تهیه‌شده از روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و برداشت‌های میدانی از طریق دوربین نقشه‌برداری، برداشت‌های زمینی از طریق دستگاه GPS و همچنین مشخص کردن نقاط بر روی نرم‌افزار گوگل ارث، داده‌های مربوط به توزیع اندازه ذرات رسوبی در بازه، فرایند شبیه‌سازی انجام گرفت؛ بنابراین برای شبیه‌سازی تغییرات بازه رودخانه، همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، جهت تعریف توپوگرافی و شرایط اولیه بازه، داده‌های دبی روزانه، DEMو اندازه رسوبات در بازه موردمطالعه موردنیاز است.

## استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS جهت شبیه‌سازی کانال رودخانه خیاوچای

به‌منظور پهنه‌بندی مجرای سیلابی رودخانه خیاوچای از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS استفاده گردید. مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS مدلی است که توسط ارتش ایالات متحده آمریکا ایجاد و تکامل یافته است. در سال ۱۹۶۴ میلادی، HECمدلی رایانه‌ای HEC-2 را به‌منظور ارائه راهکارهای مناسب و در جهت افزایش کارای و بهبود با کمک به مهندسان هیدرولیک در تحلیل کانال رودخانه‌ها و تعیین پهنه‌های سیلابی توسعه داد .HEC-2 مدلی بود که با سرعت بسیار زیادی به یک برنامه با تمام قابلیت‌های استاندارد برای محاسبات تحلیلی رودخانه مبدل شد. در نهایت قدرت و پتانسیل‌های آن در سال‌های بعد برای اِعمال مواردی از قبیل تحلیل‌های پل، خاکریزها گسترش پیدا کرد. با توجه به افزایش عمکلرد و کارایی نرم‌افزارهای تحلیلی شخصی مبتنی بر ویندوز، در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، HECیک همتای سازگار با ویندوز HEC-2 موسوم به سیستم تحلیل رودخانه (RAS) را معرفی کرد . مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS محاسبات پروفیل سطح آب را برای جریان ماندگار متغیر تدریجی در رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی در رژیم‌های جریان زیربحرانی، فوق بحرانی و مختلط می‌تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به‌طرف مقاطع دیگر به‌وسیله حل معادله انرژی به‌روش استاندارد گام‌به‌گام انجام می‌شود. معادله انرژی به‌صورت زیر است:(HEC, 2010)

برای پهنه‌بندی سیلاب مجرای رودخانه خیاوچای از نقشه‌های بزرگ مقیاس ۱:۲۰۰۰ شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل استفاده شد.

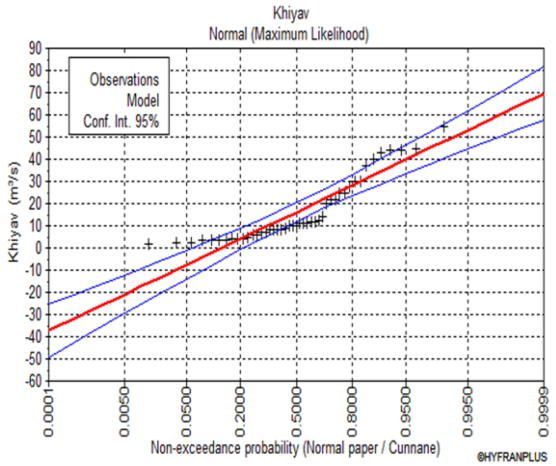
## ۳- نتایج

## نتایج ترکیبی مدل اتومای سلولی (CAESAR) و مدل هیدرولوژیکی (HEC-RAS)

بر این اساس ابتدا نتایج مدل اتومای سلولی قبل و بعد از شبیه‌سازی استخراج گردید و سپس با مدل هیدرولیکی-HEC) (RAS، میزان پهنه‌های سیل‌گیر استخراج گردید. محاسبه دوره بازگشت احتمال وقوع سیلاب با استفاده از نرم‌افزارHyfran سیلاب‌ها مخاطرات بسیار زیادی را متوجه جوامع انسانی و هم‌چنین تاسیسات انسانی می‌سازند که باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می‌گردند. بر این اساس داده‌های مربوط به ایستگاه هیدرومتری خیاوچای از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه گردید. پس از آماده کردن دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه، با استفاده از نرم‌افزار Hyfran توزیع پیرسون تیپ ۳ به لگاریتم مبنای ۱۰ بر دبی‌های پیک برازش داده شد و حداکثر دبی لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه گردید. دبی جریان سیلاب با دوره‌های بازگشت ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰۰ ساله رودخانه خیاوچای در جدول (۱)، نمودار (۱)، نمایش داده شده است. براساس نتایج به دست آمده از جدول (۱)، کم‌ترین احتمال وقوع سیلاب با دوره بازگشت ۲ سال حدود ۵۰ درصد بوده و بیش‌ترین احتمال وقوع سیلاب به ترتیب با دوره بازگشت ۱۰۰۰ و ۲۰۰ سال به ترتیب ۹۹/۹ و ۹۹/۵ درصد می‌باشد.

**جدول (۱): مقادیر دبی محاسبه شده با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه خیاوچای با استفاده از نرم‌افزار Hyfran**

| دوره بازگشت (سال) | احتمال وقوع (درصد) | دبی محاسبه شده (m3/s) | انحراف استاندارد |
|---|---|---|---|
| ۱۰۰۰ | ۹۹/۹ | ۶۴/۲ | ۵/۴۳ |
| ۲۰۰ | ۹۹/۵ | ۵۶/۵ | ۴/۶۹ |
| ۱۰۰ | ۹۹ | ۵۲/۸ | ۴/۳۵ |
| ۵۰ | ۹۸ | ۴۸/۷ | ۳/۹۸ |
| ۲۰ | ۹۵ | ۴۲/۵ | ۳/۴۶ |
| ۱۰ | ۹۰ | ۳۷/۱ | ۳/۰۴ |
| ۵ | ۸۰ | ۳۰/۵ | ۲/۶۱ |
| ۳ | ۶۶ | ۲۴/۳ | ۲/۳۴ |
| ۲ | ۵۰ | ۱۷/۸ | ۲/۲۴ |

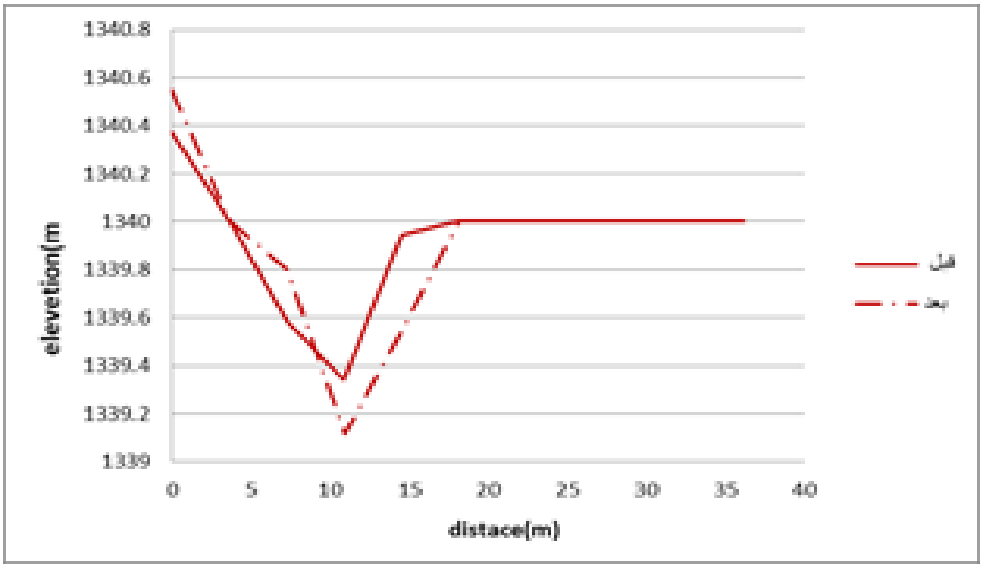



**نمودار (۱): توزیع احتماع وقوع سیلاب در ایستگاه هیدرومتری با استفاده از نرم افزار Hyfran**

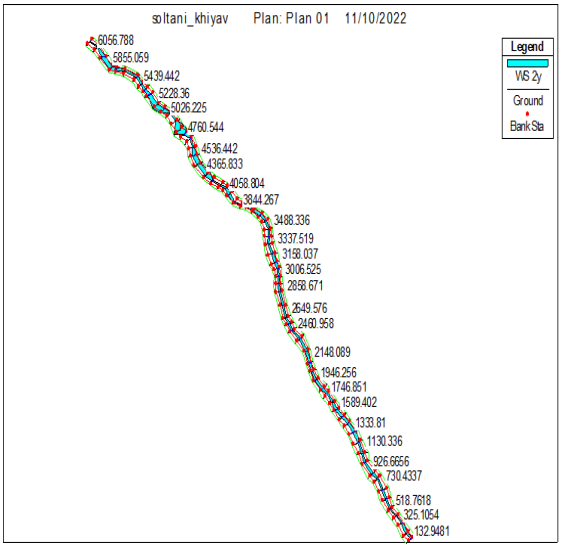
## نتایج قبل و بعد از شبیه‌سازی مدل اتومای سلولی (CAESAR)

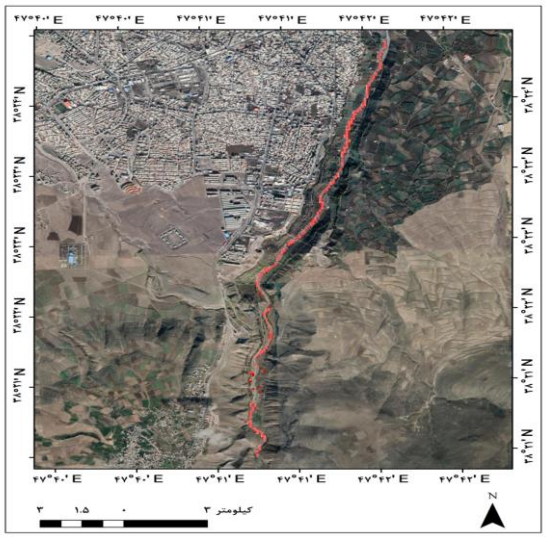
با توجه به اندازه‌گیری‌های که در مقطع یک از بازه یک انجام گرفت و با ترسیم نیمرخ عرضی کانال اصلی (قبل شبیه‌سازی و بعد شبیه‌سازی) تغییرات دو نیمرخ مورد مقایسه قرار گرفت. این تغییرات هم در عرض کانال و هم در ارتفاع متوسط و هم در شکل هندسی رودخانه است. با توجه به نیمرخ‌های عرضی، تغییرات کانال موردبررسی قرار گرفت. عمق متوسط و عرض کانال قبل از شبیه‌سازی به ترتیب ۱۳۳۹ و ۷ متر و بعد از شبیه‌سازی، به ترتیب ۱۳۳۹/۵۶ و ۱۱ متر است نمودار (۲).

**نمودار (۲): تغییرات قبل و بعد از شبیه‌سازی رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل CAESAR**



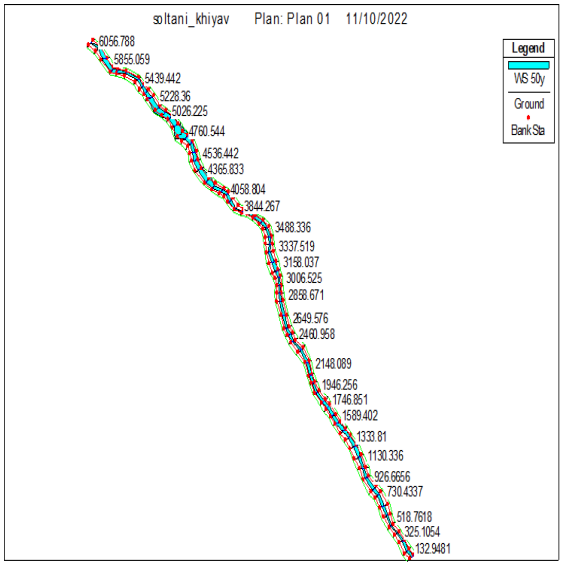

شکل (۲)، میزان مقادیر پهنه سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲ سال رو نشان می‌دهد. بر اساس نقشه حاصل شده از خروجی نرم‌افزار HEC-RASو با استناد به جدول (۴) و تغییرات بستر رودخانه قبل و بعد از شبیه‌سازی شده در مدل اتومای سلولی (CAESAR)، میزان مساحت پهنه سیلابی رودخانه خیاوچای با دوره بازگشت ۲ سال در حدود ۸/۳ هکتار است. این پهنه‌های سیلابی اکثرا با تغییرات موورولوژیکی بستر رودخانه مطابقت دارند که به صورت محلی حاشیه مجرا رودخانه را در برمی‌گیرند. میزان وسعت عرض مناطق در معرض سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲ سال در حدود ۱۵۳ متر می‌باشد. به عبارتی با دوره بازگشت ۲ سال بستر موفولوژیکی رودخانه خیاوچای دچار تغییرات آن‌چنانی نخواهد شد و هم‌چنین سیلاب‌های ایجاد شده نیز خطرات قابل توجهی به مناطق شهری و روستایی نخواهند داشت. درنهایت بیش‌ترین پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال قسمتی از پایین‌دست رودخانه خیاوچای در بر می‌گیرد. با این حال، این سیلاب‌ها به‌دلیل تناوب و پتانسیل بالا برای شکل‌دهی پلان‌فرم مجرا از اهمیت زیادی در شکل‌گیری اشکال متعدد و فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری آرام و تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه خیاوچای برخوردارند.

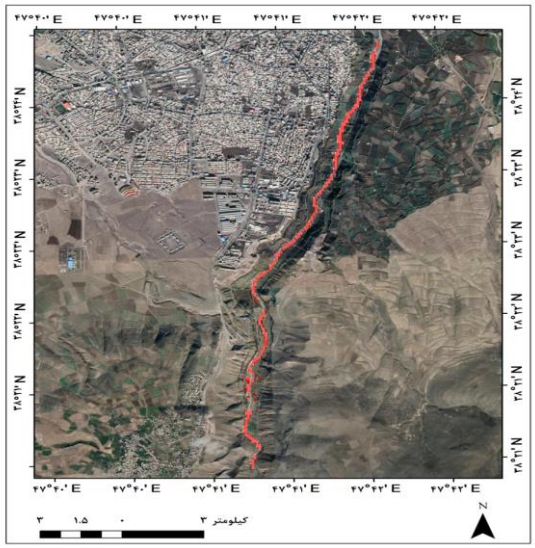



**شکل (۲): شبیه‌سازی میزان سیل‌گیری رودخانه خیاوچای با دوره بازگشت ۲ سال**

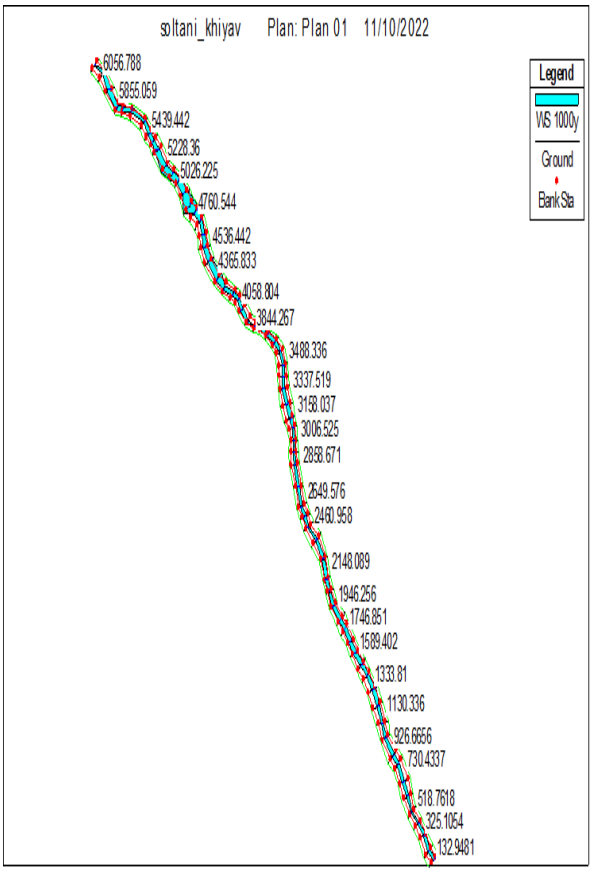
بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب (شکل ۳)، محدوده اثرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ سال در امتداد رودخانه خیاوچای حدود ۱۲/۸ هکتار افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۵۰ سال به حدود ۲۷۷ متر بالغ می‌شود. پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت ۵۰ سال دوره‌های بازگشت ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، سال را در برمی‌گیرد. این سیلاب‌ها باعث شده اراضی کشاورزی اطراف رودخانه خیاوچای را غرقاب کرده و حتی برخی از مناطق مسکونی نیز دچار خسارت و خطراتی شده باشد. براساس نتایج حاصله از خروجی حاصله از مدل‌های CAESAR و HEC-RAS این سیلاب‌ها به ندرت از کانال و مجرای خود خارج شده و منجر به خسارت می‌گردند. این گونه سیلاب‌ها منجر به فرسایش‌پذیری و تولید رسوب می‌گردند.

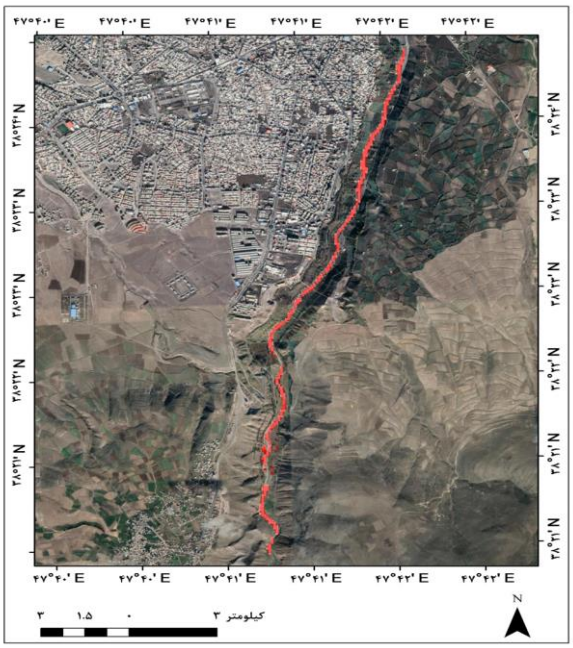



**شکل (۳): شبیه‌سازی میزان سیل‌گیری رودخانه خیاوچای با دوره بازگشت ۵۰ سال**

بر اساس اشکال (۴) بخش دربرگیرنده سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال در امتداد رودخانه خیاوچای حدود ۱۳/۸ هکتار افزایش پیدا می‌کند. میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۱۰۰۰ سال به حدود ۳۴۵ متر می‌رسد. این سیلاب‌ها، همه پهنه‌های سیلابی مورد مطالعه در این پژوهش در با دوره‌های بازگشت مختلف در برمی‌گیرد. در نتیجه این افزایش مساحت و عرض بیش‌تر در همه قسمت‌های بالادست، میان‌دست و پایین‌دست رودخانه خیاوچای قابل مشاهده است. به عبارتی در دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال پهنه سیلابی رودخانه خیاوچای همه بخش‌های رودخانه را در برگرفته است. این‌گونه سیلاب‌ها به‌دلیل دبی بالا و مشارکت دبی‌های انشعابات مختلف می‌توانند بخش عمده‌ای از مساحت دشت سیلابی رودخانه را تحت تاثیر قرار دهند و علاوه بر خسارات جانی و مالی و تخریب اراضی کشاورزی پیامدهای مورفولوژیکی متعددی از قبیل تغییر مسیرهای کوتاه، میان‌برها و غیره را به‌همراه داشته باشند. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال بیش‌تر مناطق مسکونی روستاهای اطراف رودخانه خیاوچای تحت تاثیر قرار داده و میزان ارتفاع بستر رودخانه در بازه‌های مختلف را تغیر داده و در نهایت منجر به تغییرات بستر رودخانه شده و میزان فرسایش، رسوب‌گذاری و در نهایت تغییرات اشکال رودخانه را در دراز مدت گردد.






**شکل (٤): شبیه‌سازی میزان سیل‌گیری رودخانه خیاوچای با دوره بازگشت ۱۰۰۰سال**

## ٤- نتیجه‌گیری

با توجه به شبیه‌سازی تغییرات بستر و سیلاب رودخانه خیاوچای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS و مدل اتومای سلولی (CAESAR)، این نتایج حاصل گردید که نشان‌دهنده تغییرپذیری مکانی بسیار بالای خطر سیلاب و تغییرات بستر رودخانه خیاوچای می‌باشد. این تغییرپذیری از شرایط ژئومورفولوژیکی متغیر در امتداد رودخانه نشات می‌گیرد. نتایج حاصله از مدل CAESAR نشان می‌دهد که شبیه سازی تغییرات رودخانه قبل و بعداز شبیه‌سازی در مقطع شماره ۲۲ در بازه دوم به مقدار ۱۵۱۸ الی ۱۵۲۰ متغیر بوده است که این امر تغییرات بستر رودخانه در حدود ۲ متر را نشان می‌دهد. در شبیه‌سازی مقطع عرضی شماره ۴۴ بازه سوم میزان تغییرات بستر رودخانه در حدود ۱۴۴۲/۵ الی ۱۴۴۳/۵ متر بوده است که میزان تغییرات ۱ متر را نشان می‌دهد. مقطع عرضی شماره ۶۰ نیز حدود ۲ متر را نشان می‌دهد که این مقطع در بازه سوم بیش‌ترین تغییرات بستر رودخانه را به خود اختصاص داد. نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی HEC-RAS نشان داد که میزان پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال حدود ۸/۳ هکتار، دوره بازگشت ۵۰ سال ۱۲/۸ هکتار و دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال حدود ۱۳/۸ هکتار از مساحت اطراف رودخانه خیاوچای را دربرمی‌گیرد. در نهایت سیلاب‌های ایجاد شده در دوره بازگشت‌های ۱۰۰۰ سال برای جوامع بشری مخاطره‌آمیز خواهد بود. تحقیقات مشابهی هم‌چون خالقی و همکاران (۱۴۰۰)، به ارزابی و شبیه‌سازی تغییرات بستر و مجرای رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل اتومای سلولی (CAESAR) پرداختند. این پژوهشگران در بررسی خود به این نتایج دست یافتند که تغییرات در مقاطع ۱ و ۴ و ۶ و ۲ کانال و شکل کانال در کلیه مقاطع مشاهده گردید. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۱)، به‌منظور شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران‌چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین خطر سیلاب با دوره بازگشت دویست سال با پهنه سیلابی ۵۰۰ متر خواهد بود. هم‌چنین بر اساس نتایج حاصله پیشنهاد می‌گردد اقدامات پیش‌گیرانه جهت جلوگیری و دستکاری جوامع بشری در جهت افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری در پایین دست رودخانه انجام گیرد.

## منابع


- اسفندیاری درآباد، فریبا، خیری زاده آروق، منصور، رحیمی، مسعود. ۱۴۰۱. تحلیل فضایی مخاطره طبیعی در حوضه آبریز نیرچای با استفاده از مدل Hec-Hmsو منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۲، شماره ۶۶، صص ۱۰۳-۷۹.
- اسفندیاری درآباد فریبا، نظافت تکله بهروز، پاسبان امیرحسام. شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران‌چای با استفاده از مدل هیدرولیکی .HEC-RAS پژوهش های فرسایش محیطی ۱۴۰۱; ۱۲ (۳) :۱۹۰-۲۱۰.
- خالقی سمیه، حسین زاده محمد مهدی، فتح اله اتی کندی پیام۱۴۰۰. شبیه سازی تغییرات رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل سزار .(CAESAR)تحلیل فضایی مخاطرات محیطی; ۸ (۲) :۱۶۵-۱۷۸
- رضایی مقدم، محمد حسین؛ خیری زاده، منصور و مسعود رحیمی، ۱۳۹۵، بررسی جابجایی جانبی مجرای رودخانه ارس از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ (از ۱۵ کیلومتری غرب شهر اصلاندوز تا خروج رودخانه از محدوده سیاسی ایران)، جغرافیا وبرنامه ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۳، صص ۱۵-۳۲.
- رضایی مقدم، محمدحسین؛ ثروتی، محمدرضا؛ اصغری سراسکانرود، اصغر، ۱۳۹۱، بررسی الگوی پیچان رودی رودخانه قزل اوزن با استفاده از شاخص های ضریب خمیدگی و زاویه مرکزی، جغرافیا (فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، سال دهم، شماره ۳۴، صص ۱۰۲-۸۵.
- Hancock, G.R, Coulthard, T.J., Willgoose, G.R. 2011. Modelling erosion and channel movement-respose to rainfall variability in South East Australia, 19th international congress on modelling and simulation, 12–16 December, Perth, Australia, pp. 1874-1880.
- Hancock, G.R, Lowry, JBC, Coulthard, T.J., Evans, KG, Moliere, DR. 2010. A catchment scale evaluation of the SIBERIA and CAESAR landscape evolution models. Eearth Surface, Process and Landforms, 35: 863-875.
- Iosub, M. Minea, I. Hapciuc, O. & Romanescu, G. H. (2015). The use of HEC-RAS modelling in flood risk analysis. Aerul si Apa. Componente ale Mediului, 315.

- Khattak, M. S. Anwar, F. Saeed, T. U. Sharif, M. Sheraz, K. & Ahmed, A. (2016). Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. Arabian Journal for Science and Engineering, 41(4), 1375-1390.
- Razi, M. A. M., Marimin, N. A., Ahmad, M. A., Adnan, M. S., & Rahmat, S. N. (2018). HEC-RAS Hydraulic Model for Floodplain Area in Sembrong River. International Journal of Integrated Engineering, 10(2).
- Schumm, S.A., (1988). Variability of the fluvial system in space and time. In: T. Rosswall, R.G. Woodmansee and P.G. Risser (Eds), Scales and Global Change: Spatial and Temporal Variability in Biosheric and Geospheric Processes.
- Ziliani, L., Surian, N. 2012. Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. Geomorphology 173–174: 104– 117.
- Ziliani, L., Surian, N., Coulthard, T.J., Tarantola, S. 2013. Reduced-complexity modeling of braided rivers: Assessing model performance by sensitivity analysis, calibration, and validation. Journal of Geophysical Research: Earth Surface, Vol. 118, 1-20.
- Yang, Jie; Townsend, Ronald. D; Daneshfar, Bahram. 2006. Applying the HEC-RAS model and GIS techniques in river network floodplain delineation. Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 33, No. 1, pp. 19-28.

# Simulating the changes of the Khiauchai river using the Caesar model (CAESAR)

**Fariba Esfandiari Darabad [1*] ; Behrouz nezafat taklhe[2], Zahra shahbazi[3]**
[*]1- Professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- PhD Student in Natural Geography Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3-aster's student in Natural Geography Department, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
[*]Email Address: esfandyari@uma.ac.ir

## Abstract

### Introduction

As a developing system, the river always changes its location and morphological characteristics according to the time period, geomorphic factors, geology, water currents and sometimes due to human interventions (Rezai Moghadam et al., 2013). In fact, normally, the landscape is adjusted by internal management factors such as slope, direction of slope, topography and type of sediments and external management factors such as climate change, sediment change and vegetation changes. The form of erosion or sedimentation in the bed, removing the walls, changing the flow bed, changing and moving the rivers and changing the form of the river is revealed. (Schumm, 2005). In other words, these changes cause many changes around the river and create natural problems and human and financial losses. (Gregory, 2006) Khiauchai river is considered one of the most important rivers of Ardabil province, Khiauchai river from the junction point The rivers above the villages of Dizo and Moyil started in the south of Meshgin Shahr, and the streams flowing in the village of Moyil are one of the most important branches of Khiauchai. This river passes through a path about fifteen kilometers east of the tourist town of Meshginshahr. Many branches connect to Khiauchai River. Also, due to the elevation of the area, the slope of the area towards the river is high and the slope of the river bed is steep. Using any river classification system is an attempt to simplify the complex relationships between rivers and their catchments. Continuous changes are one of the precise and complete principles of any river, which changes and shifts in other geometric characteristics of the river along with the flow and sedimentation in its bed. Esfandiari Darabad et al. (1400) conducted a geomorphological survey of the Hamza Khanlu river channel based on the Rozgen model. They came to the conclusion that the channel patterns in the river and, accordingly, the effective factors in classifying and separating the channels are consistent with Rozgen's model. Khaleghi et al. (1400), assessed and simulated the changes in the bed and channel of Kalibarchai River using the cellular automaton model (CAESAR). In their investigation, these researchers reached these results that changes were observed in sections 1, 4, 6 and 2 of the channel and the shape of the channel in all sections. Esfandiari Darabad et al. (1401) evaluated and spatially analyzed natural hazards using the Hec-Hms model and fuzzy logic in the Nirchai watershed. The research results of these researchers showed that about 8.6% of the basin's surface is located in areas with a very high risk of flooding. Esfandiari Darabad et al. (1401) studied the morphological simulation of floods in Nuranchai River using the HEC-RAS hydraulic model. They came to the conclusion that the maximum risk of flood with a return period of two hundred years will be with a flood zone of 500 meters. Also, in order to reduce financial and human losses caused by floods, encroachment on river boundaries and land use changes should be prevented. Ziliani et al. (2013), in order to reduce the complexity of modeling in Gisavi rivers, evaluated the CAESAR model through sensitivity analysis and validation. These researchers came to the conclusion that this model has the ability to produce morphological changes in the interval and annual sediment load. is. Okhras and Onen (2020), researched and studied the evaluation and simulation of the flood plain with the HEC-RAS model in the area between Diyarbakir-Silvan highway and Deh Chashm historical bridge. Based on their studies, they came to the conclusion that historical bridges as well as fertile agricultural lands, facilities and hospitals and some residential areas are in danger. Ezin et al. (2020), in a research, examined the performance of the HEC-RAS hydraulic model in the simulation of floods in North-West Tunisia. They concluded that the two-dimensional hydraulic model (HEC-RAS v-5) can accurately simulate floods in the study area and determine the water level profile and flood speed distribution. The purpose of this research project is to simulate the changes of Khiauchai river using CAESAR model in Ardabil province.

### Methodology

Simulation of Khiauchai riverbed changes using CAESAR

In order to investigate the capability of cellular automation in simulating the morphological changes of the river system in the Khiauchai river basin, the Caesar model was chosen. Among the cellular models of landscape evolution, the Caesar model is a two-dimensional model of water and sediment transport, which is one of the most recent cellular river models. In this model, daily discharge is used as input for the hydrological model based on TOPMODEL. The size of the particles used in the model is 1 to 256 mm. After entering the data including: daily discharge and sediment size, the height model of the cells is updated simultaneously; Therefore, despite the complexity in practice, the Caesar model in interval mode only requires simple input data of topography (DEM), daily discharge and sediment size. In the case of the studied area, based on the theory of cellular automatism using the data of Khiauchai rain gauge station, a digital elevation model (with a cell size of 4 meters) prepared from topographic maps 1:25000 and field impressions through a mapping camera, ground impressions from Through the GPS device and also specifying the points on the Google Earth software, the data related to the size distribution of the sediment particles in the interval, the simulation process was carried out; Therefore, to simulate the changes of the river span, as seen in the figure, in order to define the topography and initial conditions of the span, daily flow data, DEM and sediment size in the studied span are needed.

Using HEC-RAS software to simulate Khiauchai river channel

HEC-RAS hydrological model was used for the zoning of Khiauchai river flood channel. The HEC-RAS hydrodynamic model is a model developed and developed by the United States Army. In 1964, HEC developed a computer model, HEC-2, in order to provide appropriate solutions to increase efficiency and improve by helping hydraulic engineers in analyzing river channels and determining flood zones. HEC-2 was a model that quickly evolved into a full-featured program for analytical river calculations. Finally, its power and potentials were expanded in the following years to apply things such as bridge and embankment analyses. Due to the increasing popularity and efficiency of personal Windows-based analysis software, in the early 1990s, HEC introduced a Windows-compatible counterpart of HEC-2 called the River Analysis System (RAS). The HEC-RAS hydrological model can perform water level profile calculations for gradual variable steady flow in rivers and artificial channels in subcritical, supercritical and mixed flow regimes. Calculation of the water level profile starting from one cross-section towards other sections is done by solving the energy equation in a standard step-by-step way. The energy equation is as follows (HEC, 2010): For flood zoning of Khiauchai river channel, large scale maps of 1:2000 of Ardabil province regional water company were used.

**Results**

Combined results of cellular automaton model (CAESAR) and hydrological model (HEC-RAS) Based on this, first, the results of the cellular automaton model before and after the simulation were extracted, and then the amount of flood zones was extracted with the hydraulic model (HEC-RAS). Calculating the return period of flood probability using Hyfran software Floods cause many risks to human societies and human facilities, which cause significant geomorphological changes. Based on this, the data related to Khiauchai hydrometric station was prepared from the regional water company of Ardabil province. After preparing the annual maximum instantaneous discharge, Pearson type 3 distribution was fitted to the base 10 logarithm of the peak discharges using Hyfran software, and the maximum instantaneous discharge was calculated for different return periods. The flow of flood flow with return periods of 2, 3, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 1000 years of Khiauchai River is shown in table (1), graph (1). Based on the results obtained from table (1), the lowest probability of flooding with a return period of 2 years is about 50%, and the highest probability of flooding with a return period of 1000 and 200 years is 99.9% and 99.5%, respectively. The results before and after the simulation of the cellular automaton model (CAESAR) According to the measurements that were done in the first section of the first interval and by drawing the transverse profile of the main channel (before simulation and after simulation), the changes of the two profiles were compared. These changes are both in the width of the channel and in the average height and in the geometric shape of the river. According to the transverse profiles, the changes of the channel were investigated. The average depth and width of the channel before the simulation is 1339 and 7 meters, respectively, and after the simulation, it is 1339.56 and 11 meters, respectively, diagram (2). Figure (2) shows the values of the flood zone with a return period of 2 years. Based on the map obtained from the output of HEC-RAS software and referring to table (4) and the river bed changes before and after being simulated in the

cellular automation model (CAESAR), the area of the Khiauchai river flood zone with a return period of 2 years is about It is 3.8 hectares. These floodplains mostly correspond to the morphologic changes of the river bed, which locally include the edge of the river channel. The width of the areas exposed to floods with a return period of 2 years is about 153 meters. In other words, with the return period of 2 years, the morphological bed of the Khiauchai River will not undergo such changes, and the floods created will not pose significant risks to urban and rural areas. Finally, the largest flood zone with a return period of 2 years includes a part of the lower reaches of the Khiauchai River. However, due to their periodicity and high potential for forming the planform of the channel, these floods are of great importance in the formation of multiple forms and erosion and slow sedimentation and morphological changes of the Khiauchai river channel. According to the flood zoning map (Figure 3), the effect range of floods with a return period of 50 years along the Khiauchai River increases by about 12.8 hectares. Also, the average flood width of 50-year floods reaches about 277 meters. Flood zones with a return period of 50 years include return periods of 2, 3, 5, 10, 25 years. These floods have flooded the agricultural lands around the Khiauchai river and even some residential areas have suffered damage and danger. Based on the results obtained from the output of CAESAR and HEC-RAS models, these floods rarely go out of their channels and lead to damage. Such floods lead to erosion and sediment production. Based on form (4), the section containing floods with a return period of 1000 years along the Khiauchai river will increase by about 13.8 hectares. The average flood width of 1000-year floods reaches about 345 meters. These floods include all the floodplains studied in this research with different return periods. As a result of this increase in area and width, it can be seen in all the upstream, middle and downstream parts of Khiauchai River. In other words, during the return period of 1000 years, the floodplain of the Khiauchai River covers all parts of the river. Such floods can affect a major part of the area of the river flood plain due to the high discharge and participation of the discharges of different branches, and in addition to human and financial losses and destruction of agricultural lands, they have many morphological consequences such as changing short routes, shortcuts, etc. . Floods with a return period of more than 1000 years have affected the residential areas of the villages around the Khiauchai river and changed the height of the river bed in different periods and finally led to changes in the river bed and the amount of erosion, sedimentation and finally the changes in the shape of the river in be long-term

**Conclusion**

According to the simulation of Khiauchai River bed and flood changes using HEC-RAS hydraulic model and CAESAR cellular automation model, these results were obtained, which shows the very high spatial variability of flood risk and Khiauchai River bed changes. This variability originates from the variable geomorphological conditions along the river. The results of CAESAR model show that the simulation of the river changes before and after the simulation in section number 22 in the second period varied from 1518 to 1520, which shows the changes of the river bed in about 2 meters. In the simulation of cross-section number 44 of the third interval, the amount of changes in the river bed was about 1442.5 to 1443.5 meters, which shows the amount of changes of 1 meter. Transverse section No. 60 also shows about 2 meters, which in the third period accounted for the most changes in the river bed. The results of the HEC-RAS hydraulic model showed that the flood zone with a return period of 2 years covers about 8.3 hectares, a return period of 50 years covers 12.8 hectares, and a return period of 1000 years covers about 13.8 hectares of the area around Khiauchai River. . Finally, the floods created during the return period of 1000 years will be dangerous for human societies.

**Keywords**

" Ardabil province ", " plain morphology ", " Khiauchai River ", " simulation ", " CAESAR model".