جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱٤۰۱، دوره۵، شماره۳، صص۸۲-٦٤

شبیه‌سازی تغییرات رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)

فریبا اسفندیاری درآباد [۱*]، بهروز نظافت تکله[۲]، زهرا شهبازی شرفه[۳]

۱-استاد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی،گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران

esfandyari@uma.ac.ir،

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی،گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی)، اردبیل، ایران

(Behrouznezafat75@gmail.com)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی،گروه جغرافیای طبیعی (گرایش ژئومورفولوژی) ، اردبیل، ایران

(zahra.shahbazi771@gmail.com)

تاریخ دریافت:۱٤۰۱/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۱/۰٦/۱٤

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. هدف از تحقیق فوق، شبیه‌سازی تغییرات رودخانه بالیخلی‌چای 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 (۱۳۹٤) 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 دوره‌های بازگشت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال به ترتیب با مقادیر ۲۳۷/۲ و ۲٤۲/۲ هکتار و احتمال وقوع ۹۹/۹۵ و ۹۹/۹۹ درصد است و هم‌چنین عرض پهنای به ترتیب ۱۱۷۰ و ۱۲۸۸ متر می‌باشد که برای جوامع 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 ۱ در بازه اول برابر ۰/۵ متر بوده است. هم‌چنین تغییرات بستر رودخانه در بازه دوم مقاطع ۲۸ به ترتیب برابر ۱ متر و ۳۰ سانتی‌متر را نشان داد که در این مقاطع حداقل و حداکثر میزان تغییرات قابل مشاهده است. تغییرات بستر رودخانه در بازه سوم در حدود ۱/۵ متر و میزان تغییرات در بازه چهارم حدود ۱/۵ متر بوده است. بنابراین نتیجه‌گیری می‌گردد با توجه به نتایج حاصله بیش‌ترین میزان تغییرات بستر رودخانه بالیخلی‌چای در بازه سوم و چهارم در نزدیک مناطق مسکونی استان اردبیل رخ داده است زیرا دخالت‌های انسانی منجر به رشد سریع فرسایش و تغییر بستر رودخانه گردیده 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.

کلیدواژگان: "استان اردبیل" مورفولوژی دشت" رودخانه بالیخلی‌چای" شبیه‌سازی" مدل CAESAR"

شاپا الکترونیکی:645-3851 doi: 10.22034/GAHR.2022.371352.1770

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 ,۲۰۰۵) 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) بنابراین در زمینه شبیه‌سازی و تحول سیستم‌های رودخانه ای مدل‌های بسیار زیادی ارائه گردیده است که یکی از آن‌ها مدل‌های اتومای سلولی می‌باشد. به عبارتی اصول و مبنای مدلسازی به صورت اتومای سلولی اصول در علم ژئومورفولوژی به این صورت 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. 2005) رودخانه بالیخلی‌چای در قسمت میانی استان اردبیل جریان دارد. این رودخانه از رودخانه‌های دائمی استان اردبیل به حساب می‌آید. رودخانه از سمت جنوب غرب به طرف شمال و شمال شرق در حال حرکت است. سرچشمه‌های این رودخانه از ارتفاعات روستایی ایلانجیق شروع شده و به طرف استان اردبیل جریان یافته و در راه خود رودخانه‌های فرعی به این رودخانه متصل می‌گردند و در نهایت به رودخانه پرآب قره سو وصل می‌گردد. رودخانه بالیخلی‌چای از نظر توپوگرافی دارای دو محدوده کوهستانی که از بخش کوهستان سبلان سرچشمه می‌گیرد و بخش دشت که در دشت اردبیل به رودخانه قره سو متصل می‌گردد. این رودخانه در راه خود اراضی بسیار زیاد کشاورزی را سیراب کرده و منبع بسیار مهمی از جهت کشاورزی و منبع آب شرب در سد یامچی می‌باشد. هدف از این طرح پژوهشی، شبیه‌سازی تغییرات رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده از مدل سزار (CAESAR) و مدل هیدرولیکی در استان اردبیل می‌باشد.

پیشینه تحقیق

حجازی و همکاران (۱۳۹۹)، به منظور تحلیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS در حوضه ورکش‌چای پرداختند. این مهندسین به این نتایج رسیدند که سیلاب‌های با دوره بازگشت پنجاه سال حدود ۱۱۰ کیلومتر و ۲۵ سال حدود ٦۳ کیلومتر از مساحت حوضه آبخیز را تحت سیطره قرار می‌دهد. پورنبی و همکاران (۱٤۰۰)، به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبخیز چشمه کیله با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS پرداختند. این محققین به این نتایج دست پیدا کردند که هر چه مدت زمان دوره بازگشت بیش‌تر باشد سطح وسیع‌تری از اراضی را تحت تاثیر و سیطره سیلاب قرار می‌دهد. مهرورز و همکاران (۱٤۰۰)، به

شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS در رودخانه دره ائورت روستای شورستان تا تلاقی رودخانه ارس پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در صورت وقوع سیلاب با دوره احتماال وقوع ۲۵ سال حدود ۱۷۴۳ هکتار به زیر آب خواهد رفت. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱۴۰۰)، به تحلیل و ارزیابی ژئومورفولوژیکی بر اساس مدل رزگن بر روی کانال رودخانه حمزه خانلو پرداختند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که الگوهای مجرای موجود در رودخانه و به تبع آن عامل‌های مؤثر در طبقه‌بندی و جدا کردن مجراها با مدل رزگن همخوانی دارند. خالقی و همکاران (۱۴۰۰)، به 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 ٤ و ٦ و ۲ کانال و شکل کانال در کلیه مقاطع مشاهده گردید. رحمتی و همکاران (۱۴۰۰)، بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل‌خیزی حوضه سقز قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل ArcSWAT پرداختند. ایشان به این نتیجه رسیدند که مدل SWAT برای حوضه به خوبی پاسخگو است. درنهایت مشخص شد زمین‌های کشاورزی همراه با مراتع متراکم و مراتع به ترتیب با ۲/۱۳٤ و ۱۷/۱۹٤٤ کاهش و زمین‌های بایر و مناطق مسکونی به ترتیب ۱٦/٤٦ و ۲/۰۷۲۲ افزایش مساحت روبرو بوده‌اند. موحد و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی و تحلیل نقش شاخص‌های ژئومورفولوژی در مکان گزینی و توسعه فیزیکی آتی شهر (مطالعه موردی: شهر زاهدان) پرداختند ایشان به این نتیجه رسیدند که شرق شهر زاهدان به دلیل قرارگیری در وضعیت شیب نامناسب که ریزش و سقوط سنگ‌ریزه‌ها این قسمت از شهر را تهدید می‌کند و همچنین به دلیل نزدیکی به حریم گسل برای توسعه شهر مناسب نیست. 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 ۸/٦ 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. خنتاک و همکاران (۲۰۱٦)، 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.

روش‌شناسی

اساسی‌ترین داده‌های پژوهش حاضر عبارتند از:

نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ بستر رودخانه بالیخلی‌چای، نقشه‌های توپوگرافی استان اردبیل مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه، داده‌های ایستگاه هیدرومتری بالیخلی‌چای، داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک بالیخلی‌چای، داده های رسوبی در ایستگاه بالیخلی‌چای.

در تحقیق حاضر به بررسی و شبیه‌سازی تغییرات مجرای رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده مدل اتومای سلولی CAESAR استفاده گردید.

شبیه‌سازی تغییرات بستر رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده از CAESAR

به‌منظور بررسی قابلیت اتومای سلولی در شبیه‌سازی تغییرات مورفولوژیکی سیستم رودخانه‌ای در بازه رودخانه بالیخلی‌چای، 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 بالیخلی‌چای، مدل ارتفاعی رقومی (با اندازه سلولی ٤ 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،DEM و اندازه رسوبات در بازه موردمطالعه موردنیاز است.

تصحیح مدل رقومی ارتفاع (DEM)

ابتدا مدل رقومی ارتفاع ٤ متری مربوط به بازه مورد مطالعه با توجه به محدوده حوضه بالیخلی‌چای تهیه شد و سپس بر اساس تطبیق و آنالیز داده‌های برداشت‌شده در نرم‌افزارش ArcGis، مدل رقومی ارتفاع اصلاح و نهایی شد. ازآنجایی‌که در مدل سزار نقطه خروجی از DEM باید در لبه سمت راست نقشه باشد، مدل رقومی ارتفاع با زاویه ۹۰ درجه به این جهت چرخش یافت. هم‌چنین مدل سزار داده‌ها را در فرمت رس‌تر و اسکی می‌پذیرد.

توزیع اندازه ذرات رسوبی رودخانه بالیخلی‌چای

توزیع اندازه ذرات رسوبی دربرگیرنده ذراتی به‌اندازه ۱ تا ۲۵۶ میلی‌متر است که شامل بار بستر و بار معلق است. مدل با استفاده از متغیر زمانی که توسط مقدار حفر و رسوب‌گذاری کنترل می‌شود، عمل می‌کند. جدول اندازه ذرات نمونه‌برداری شده از منطقه را نشان می‌دهد که از طریق برداشت‌های میدانی صورت گرفته است و برحسب واحد متر بوده و ریزترین ذره، ذرات رس به قطر (۰/۰۰۰۰۰۴۰۹) به‌عنوان رسوبات معلق در نظر گرفته‌شده‌اند.

جدول ۱ توزیع رسوب و دبی رودخانه بالیخلی‌چای

ردیف	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	٦	٥	٤	۳	۲	۱
رسوب میلی‌متر	۱۱۹/٦۹٥	۳۳/٦٦٤	۱۹/۲٥۱	۷/٥۲۷	٥/۱۹۱	٤/۳٤۲	۳/٦۹٤	۳/۲۷٤	۲/۸۳٦	۲/٤٥۸	۲/۳۲٥	۱
دبی متر بر ثانیه	۱/٤۳٦	۰/۹۲۹	۲/۰۸۲	۷/۱۷۸	۷/٤۲۷	۱/۱۱۹	۱/۲۷	۱/۳۲۲	۰/۲۰۳	۱/۳۱۱	۱/٥۳۸	۰/۷۰۲

استفاده از نرم افزار HEC-RAS جهت شبیه‌سازی کانال رودخانه بالیخلی‌چای

به‌منظور شبیه‌سازی پهنه سیلابی و هم‌چنین جریان در مجرا، به‌ویژه توان رودخانه، از مدل HEC-RAS استفاده گردید. مدل هیدرودینامیکی HEC-RAS مدلی است که توسط بخش مهندسی ارتش ایالات متحده آمریکا طراحی و گسترش یافته است. در سال ۱۹٦٤ میلادی، HEC مدلی 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 استادارد برای محاسبات تحلیلی رودخانه مبدل شد. در نهایت قدرت و پتانسیل‌های آن در سال‌های بعد برای اعمال 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، HEC یک 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.

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

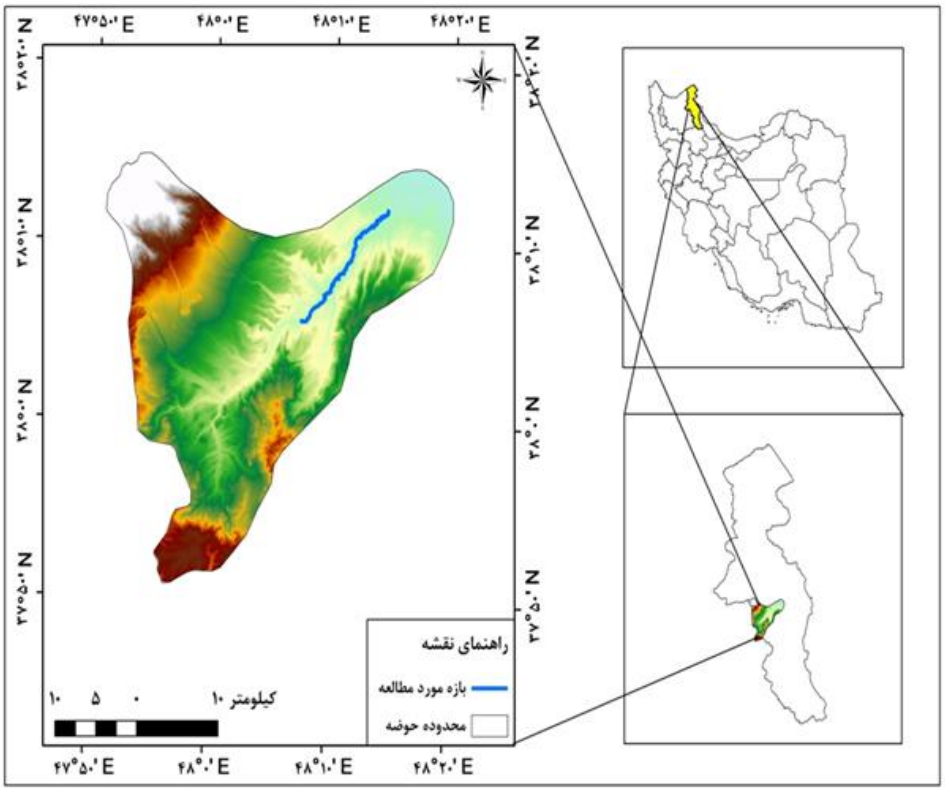
محاسبه دوره‌های بازگشت با استفاده از نرم‌افزار Hyfran

سیلاب‌ها علاوه بر اینکه به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم خطراتی را متوجه جوامع انسانی می‌سازند باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می‌گردند. بدین ترتیب ارزیابی رخداد سیلاب از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت

است. برای ارزیابی سیلاب، روش‌ها و رویکردهای مختلفی وجود دارد. بر این اساس داده‌های مربوط به ایستگاه هیدرومتری بالیخلی‌چای 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 شده و حداکثر دبی لحظه‌ای برای دوره‌های بازگشت مختلف محاسبه می‌گردید.

معرفی منطقه مورد مطالعه

رودخانه بالیخلی‌چای در قسمت میانی استان اردبیل جریان دارد. این رودخانه از رودخانه‌های دائمی استان اردبیل به‌حساب می‌آید. رودخانه از سمت جنوب غرب به طرف شمال و شمال شرق در حال حرکت است. سرچشمه‌های این رودخانه از ارتفاعات روستایی ایلانجیق شروع شده و به طرف استان اردبیل جریان یافته و در راه خود رودخانه‌های فرعی به این رودخانه متصل می‌گردند و در نهایت به رودخانه پرآب قره‌سو وصل می‌گردد. رودخانه بالیخلی‌چای از نظر توپوگرافی دارای دو محدوده کوهستانی که از بخش کوهستان سبلان سرچشمه می‌گیرد و بخش دشت که در دشت اردبیل به رودخانه قره سو متصل می‌گردد. این رودخانه در راه خود اراضی بسیار زیاد کشاورزی را سیراب کرده و منبع بسیار مهمی از جهت کشاورزی و منبع آب شرب در سد یامچی می‌باشد وسعت رودخانه بالیخلی‌چای حدود ۱۶۰۰ کیلومتر مربع است و طول آن ۷۵ کیلومتر است که ۵۰ کیلومتر آن در ارتفاعات کوه سبلان و ۲۵ کیلومتر آن در دشت اردبیل جریان دارد. موقعیت جغرافیایی رودخانه بالیخلی‌چای در شکل قابل مشاهده است طول و عرض رودخانه در ابتدای بازه برابر است با ۳۸درجه ۵دقیقه ، ۴۸درجه ۲۰دقیقه و در انتهای بازه ۳۸درجه ۱۱دقیقه، ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه می‌باشد شکل (۱).



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی رودخانه بالیخلی چای (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

نتایج و تجزیه و تحلیل داده‌ها

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.

نتایج محاسبه دوره بازگشت احتمال وقوع سیلاب با استفاده از نرم‌افزار Hyfran

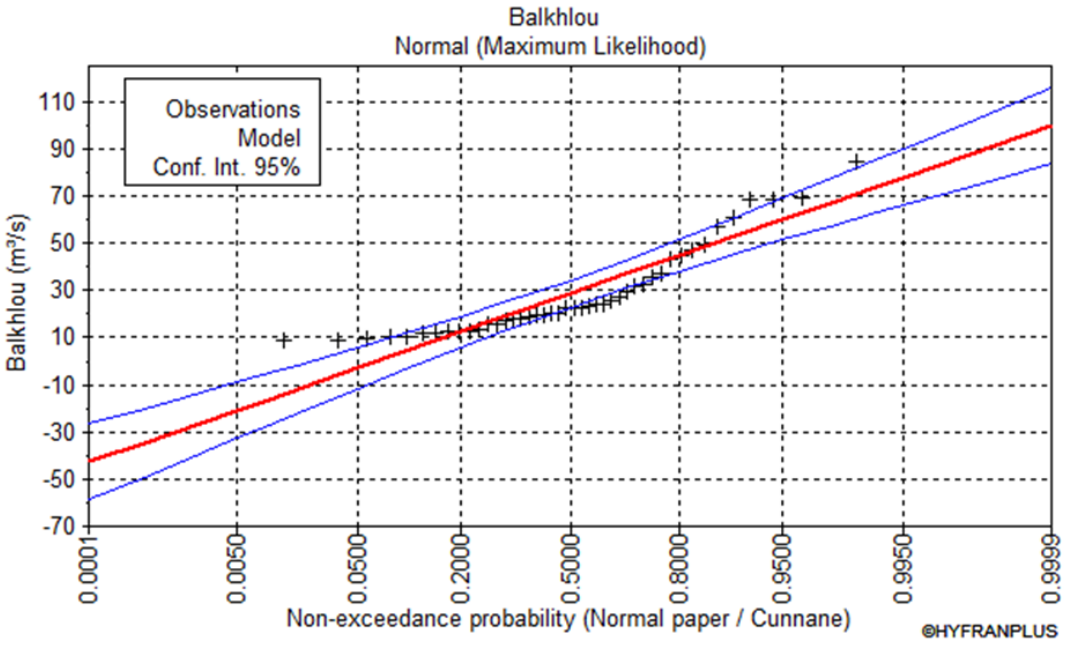
سیلاب‌ها مخاطرات بسیار زیادی را متوجه جوامع انسانی و هم‌چنین تاسیسات انسانی می‌سازند که باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می‌گردند. بر این اساس داده‌های مربوط به ایستگاه هیدرومتری بالیخلی‌چای از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه گردید. پس از آماده کردن دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه، با استفاده 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، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰۰ ساله رودخانه بالیخلی‌چای در جدول (۲)، 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 ۱۰۰۰۰ و ۲۰۰۰ سال به ترتیب ۹۹/۹۹ و ۹۹/۹۵ درصد می‌باشد.

جدول ۲ مقادیر دبی محاسبه شده با دوره بازگشت‌های مختلف رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده از نرم‌افزار Hyfran

دوره بازگشت (سال)	احتمال وقوع (درصد)	دبی محاسبه شده(m3/s)	انحراف استاندارد
۱۰۰۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۸	۸/۲۱
۲۰۰۰	۹۹/۹۵	۹۱/٦	۷/۳۹
۱۰۰۰	۹۹/۹۰	۸۷/۸	۷/۰۱
۲۰۰	۹۹/۵۰	۷۷/۹	٦/۰٦
۵۰	۹۸	٦۷/۹	۵/۱٤
۲۰	۹۵	٦۰/۱	٤/٤٦
۵	۸۰	٤٤/۷	۳/۳۷
۲	۵۰	۲۸/۵	۲/۸۹

(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)

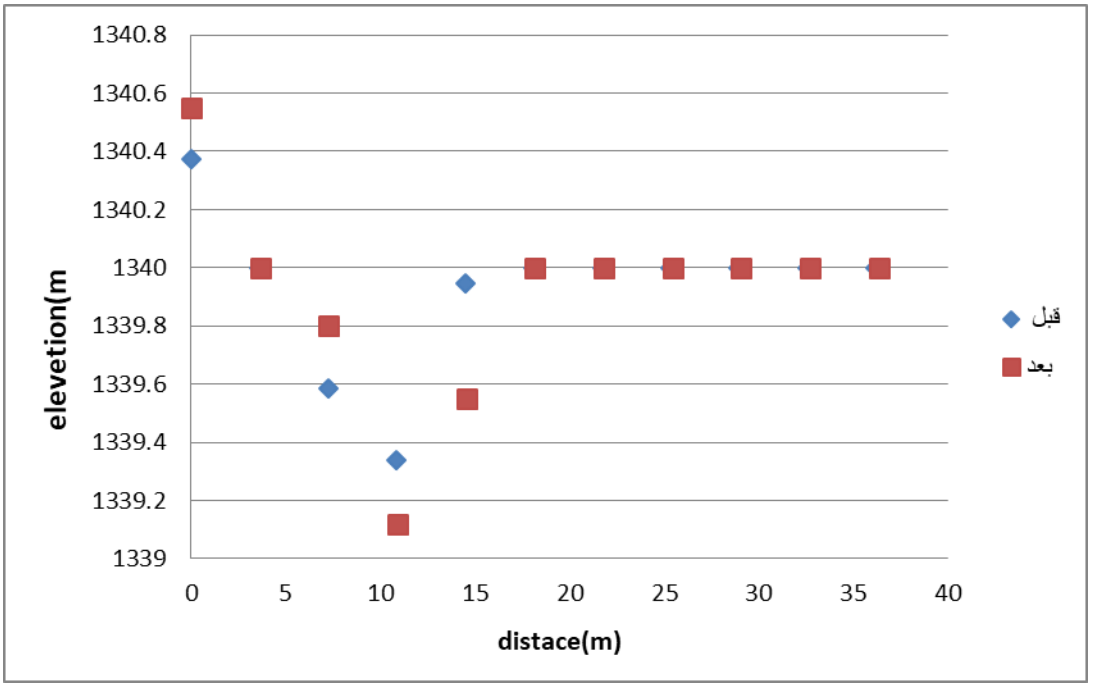


نمودار ۱ توزیع احتماع وقوع سیلاب در ایستگاه هیدرومتری بالیخلی‌چای با استفاده از نرم افزار Hyfran (منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)

نتایج قبل و بعد از شبیه‌سازی تغییرات بستر رودخانه بالیخلی‌چای با 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 ۳ متر و بعد از شبیه‌سازی، به ترتیب ۱۳۳۹/۳۸ و ۹ متر است. تغییرات قبل از شبیه سازی نیز با مقدار ۱۳۳۹/۳۰ الی ۱۳۴۰/٦ متر بوده است نمودار (۲).



نمودار ۲ تغییرات قبل و بعد از شبیه‌سازی رودخانه بالیخلی‌چای با استفاده از مدل CAESAR (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

نتایج شبیه‌سازی و تغییرات بستر سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای در دوره‌های بازگشت مختلف در مدل CAESAR و مدل HEC-RAS

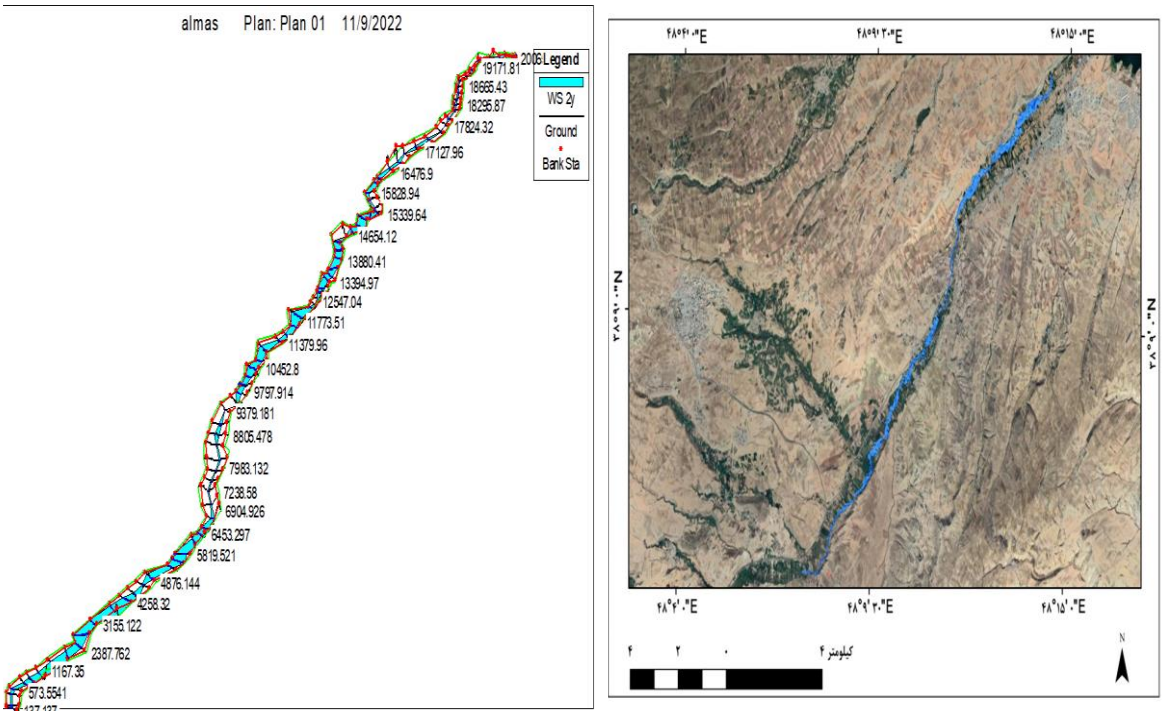
براساس نتایج حاصله از خروجی نرم‌افزار HEC-RAS پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰۰ سال استخراج گردید. جدول (۳)، اطلاعات توصیفی مقادیر پهنه‌های سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای در دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد. براساس جدول (۳)، حداقل میزان پهنه سیلابی به دوره بازگشت دو سال با مقدار ۱۴۷ هکتار و حداکثر پهنه سیلابی مربوط به دوره بازگشت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال به ترتیب برابر با مقدار ۲۳۷/۲ و ۲۴۲/۲ هکتار می‌باشد.

جدول ۳ اطلاعات توصیفی مقادیر پهنه‌های سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت	مساحت (هکتار)	میانگین عرض پهنا (متر)
۲	۱٤۷	٤۸۸
۵	۱۷۹	۷٦۲
۲۰	۲۰۲/۱	۷۹٦
۵۰	۲۱٤/۲	۹۱۲
۲۰۰	۲۲۲/۳	۸۷۱
۱۰۰۰	۲۳۳/٦	۱۰۷۸
۲۰۰۰	۲۳۷/۲	۱۱۷۰
۱۰۰۰۰	۲٤۲/۲	۱۲۸۸

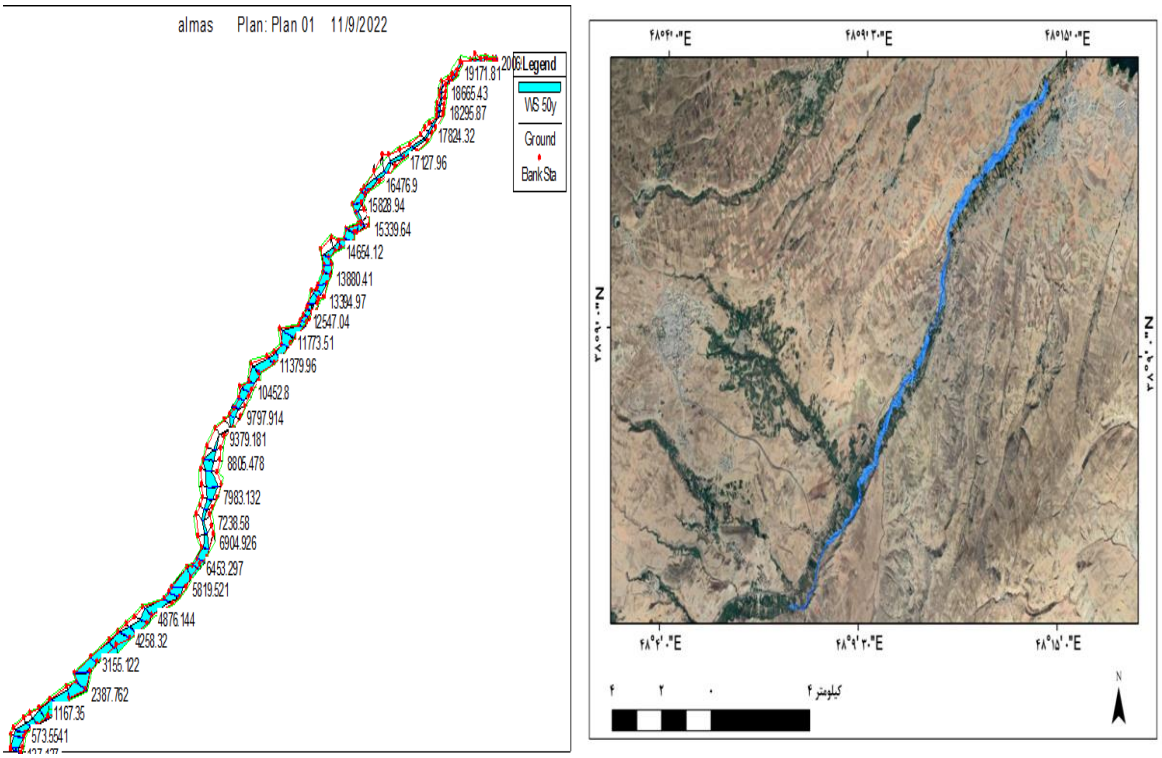
(منبع: نگارندگان، ۱٤۰۱)

شکل (۲)، میزان مقادیر پهنه سیل‌گیر با دوره بازگشت ۲ سال رو نشان می‌دهد. بر اساس نقشه حاصل شده از خروجی نرم‌افزار HEC-RAS و با استناد به جدول (۳) و تغییرات بستر رودخانه قبل و بعد از شبیه‌سازی شده در مدل اتومای سلولی (CAESAR)، میزان مساحت پهنه سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۲ سال در حدود ۱٤۷ 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 ٤۸۸ متر می‌باشد. به عبارتی با دوره بازگشت ۲ سال بستر موفولوژیکی رودخانه بالیخلی‌چای دچار تغییرات آن‌چنانی نخواهد شد و هم‌چنین سیلاب‌های ایجاد شده نیز خطرات قابل توجهی به مناطق شهری و روستایی نخواهند داشت. این دوره بازگشت با احتمال وقوع ۵۰ درصد برآورد گردید. درنهایت بیش‌ترین پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال قسمتی از پایین‌دست رودخانه بالیخلی‌چای 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 بالیخلی‌چای برخوردارند.



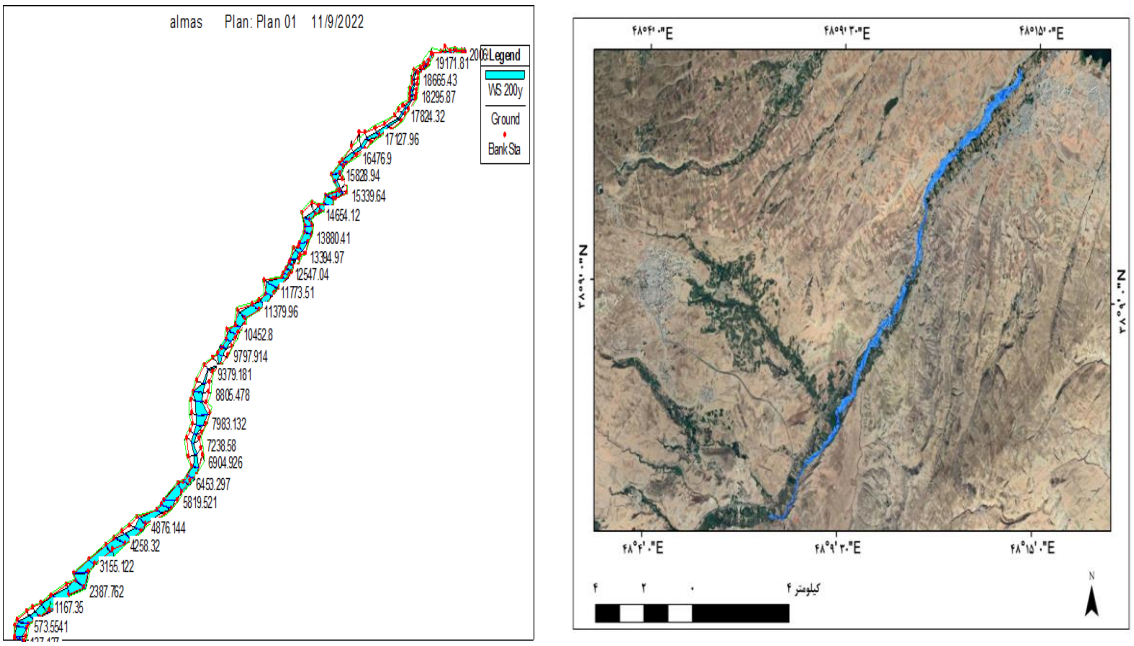
شکل ۲ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۲ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل (۳)، بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب منطقه تاثیرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی‌چای حدود ۲۱۴/۲ هکتار افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۵۰ سال به حدود ۹۱۲ 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 بالیخلی‌چای 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. به عبارتی با افزایش میزان دبی و دوره بازگشت باعث می‌گردد فرسایش و عمل رسوب‌گذاری در پایین دست رودخانه بالیخلی‌چای زیادتر شده و درنهایت بستر رودخانه دچار تغییرات مورفولوژیکی شدیدتری گردند.



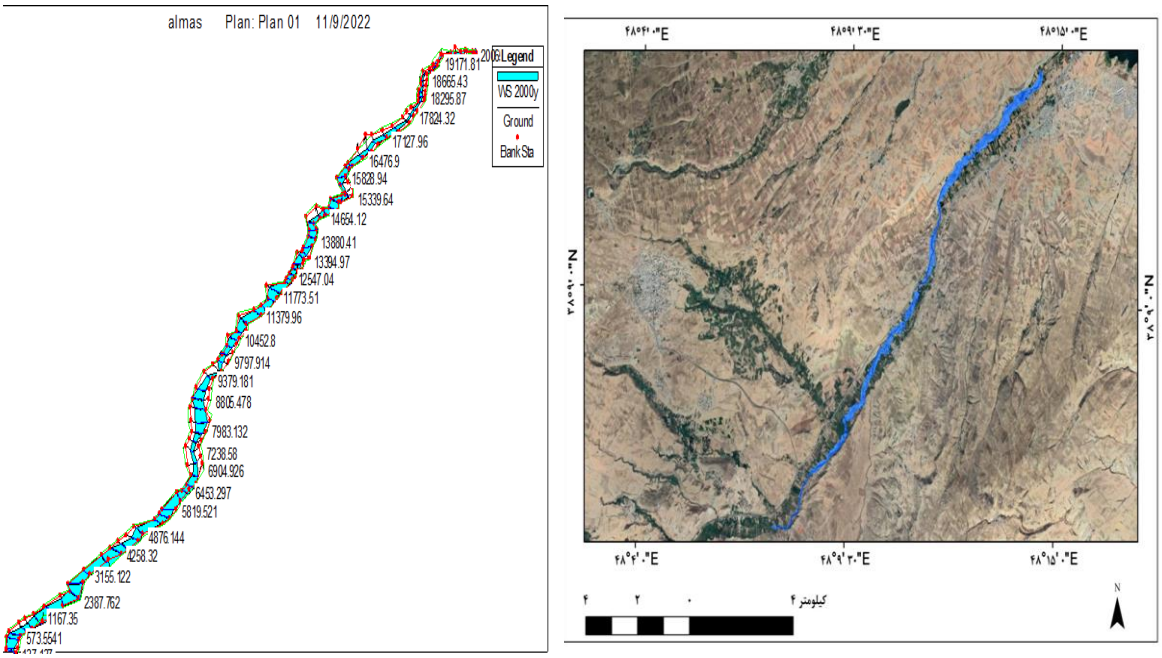
شکل ۳ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۵۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل (٤)، بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب منطقه تاثیرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی‌چای حدود ۲۲۲/۳ هکتار افزایش پیدا می‌کند. هم‌چنین میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۲۰۰ سال به حدود ۸۷۱ متر بالغ می‌شود. پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت ۲۰۰ سال دوره‌های بازگشت ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰ سال را در برمی‌گیرد. این سیلاب‌ها باعث شده اراضی کشاورزی اطراف رودخانه بالیخلی‌چای 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. به عبارتی با افزایش میزان دبی و دوره بازگشت باعث می‌گردد فرسایش و عمل رسوب‌گذاری در پایین دست رودخانه بالیخلی‌چای زیادتر شده و درنهایت بستر رودخانه دچار تغییرات مورفولوژیکی شدیدتری گردند.



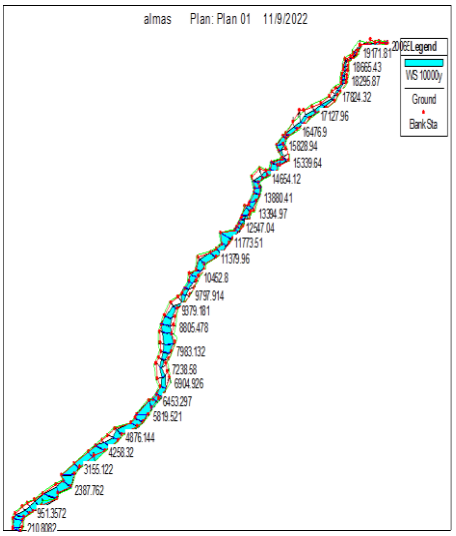
شکل ٤ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۲۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

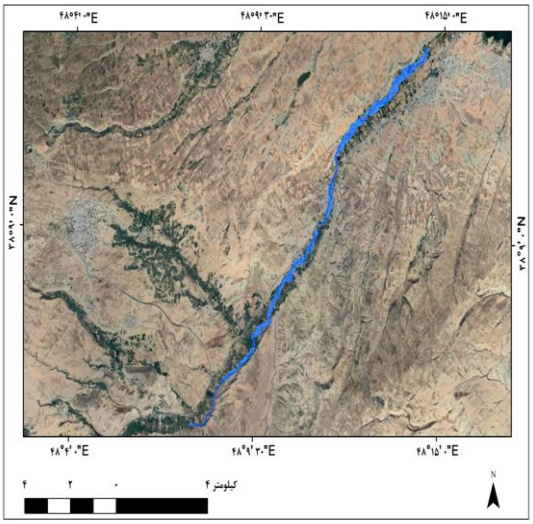
بر اساس اشکال (۵)، بخش دربرگیرنده سیلابهای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی‌چای حدود ۲۳۷/۲ هکتار افزایش پیدا می‌کند. میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۲۰۰۰ سال به حدود ۱۱۷۰ متر می‌رسد. این سیلاب‌ها، همه پهنه‌های سیلابی مورد مطالعه در این پژوهش در با دوره‌های بازگشت مختلف در برمی‌گیرد. در نتیجه این افزایش مساحت و عرض بیش‌تر در همه قسمت‌های بالادست، میان‌دست و پایین‌دست رودخانه بالیخلی‌چای قابل مشاهده است. به عبارتی در دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال پهنه سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای 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 ۲۰۰۰ سال بیش‌تر مناطق مسکونی روستاهای اطراف رودخانه بالیخلی‌چای تحت تاثیر قرار داده و میزاان 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. حدود ۹۹/۹۵ درصد احتمال وقوع این دوره بازگشت وجود دارد که منجر به تغییرات بستر رودخانه می‌گردد.



شکل ۵ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

بر اساس اشکال (٦)، بخش دربرگیرنده سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی‌چای حدود ۲۴۲/۲ هکتار افزایش پیدا می‌کند. میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۱۰۰۰۰ سال به حدود ۱۲۸۸ 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 بالیخلی‌چای قابل مشاهده است. به عبارتی در دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال پهنه سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای 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 بالیخلی‌چای تحت تاثیر قرار داده و میزاان 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. حدود ۹۹/۹۹ درصد احتمال وقوع این دوره بازگشت وجود دارد که منجر به تغییرات بستر رودخانه می‌گردد.

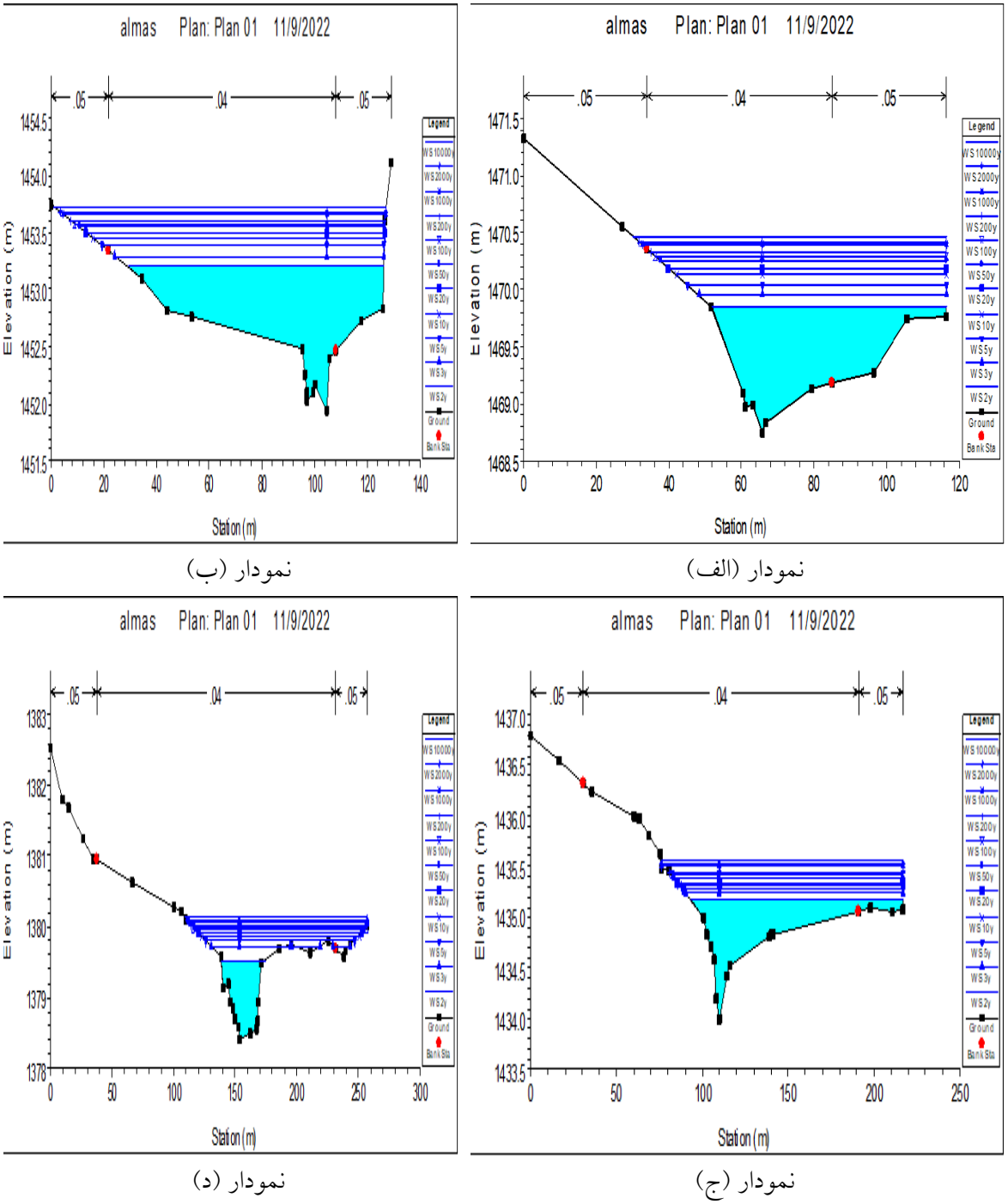




شکل ٦ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل ۷ نشان دهنده این است که نمودار (الف)، مقطع عرضی شماره ۱ رودخانه بالیخلی‌چای را در بالادست بازه اول نشان می‌دهد. براساس نمودار فوق، بالاترین مقدار میانگین عرض پهنه سیلابی با توجه به پروفیل عرضی مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال و ۱۰۰۰۰ سال می‌باشد. بر اساس تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) در این مقطع میزان تغییرات در ارتفاع ١٤٦٩ متر تا ١٤٦٩/٥ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. نمودار (ب)، مقطع عرضی شماره ۲۸ رودخانه بالیخلی‌چای را در بالادست بازه دوم نشان می‌دهد. براساس نمودار فوق، بالاترین مقدار میانگین عرض پهنه سیلابی با توجه به پروفیل عرضی مربوط به دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال می‌باشد. بر اساس تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) در این مقطع میزان تغییرات در ارتفاع ١٤٥٢ متر تا ١٤٥٣/٣٠ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. نمودار (ج)، مقطع عرضی شماره ٤٢ رودخانه بالیخلی‌چای را در بالادست بازه سوم نشان می‌دهد. براساس نمودار فوق، بالاترین مقدار میانگین عرض پهنه سیلابی با توجه به پروفیل عرضی مربوط به دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال می‌باشد. بر اساس تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) در این مقطع میزان تغییرات در ارتفاع ١٤٣٤ متر تا ١٤٣٥/٥ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. بر این اساس بشترین میزان رسوب گذاری نیز در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر قابل مشاهده است نمودار (د)، مقطع عرضی شماره ۹۰ رودخانه بالیخلی‌چای را در بالادست بازه چهارم نشان می‌دهد. براساس نمودار فوق، بالاترین مقدار میانگین عرض پهنه سیلابی با توجه به پروفیل عرضی مربوط به دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال می‌باشد. بر اساس تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) در این مقطع میزان تغییرات در ارتفاع ۱۳۷۸/۵ متر تا ۱۳۸۰

متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. بر این اساس بشترین میزان رسوب گذاری نیز در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر قابل مشاهده است.



نمودار (الف) نمودار (ب)

نمودار (ج) نمودار (د)

شکل ۷ مقاطع عرضی در بازه های مختلف از تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

نتیجه‌گیری

با توجه به شبیه‌سازی تغییرات بستر و سیلاب رودخانه بالیخلی‌چای 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 بالیخلی‌چای 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 ۱ در بازه اول به مقدار ۰/۵ متر متغیر بوده است که این امر تغییرات بستر رودخانه حداقلی را نشان می‌دهد. در شبیه‌سازی مقطع عرضی شماره ۲۸ بازه دوم میزان تغییرات بستر رودخانه در حدود ۱ متر و ۳۰ سانتی‌متر متر بوده است که میزان تغییرات کانال و بستر رودخانه را نشان می‌دهد. مقطع عرضی شماره ٤۲ بازه سوم در حدود ۱/۵ متر بوده است که نشان دهنده افزایش تغییرات مورفولوژی رودخانه در پایین دست است. مقطع شماره ۹۰ در بازه چهارم با مقدار ۱/۵ متر نیز نشان از تغییرات بستر رودخانه و در نهایت افزایش فرسایش و رسوب‌گذاری در دوره‌های بازگشت مختلف شده است. نتایج حاصله از مدل هیدرولیکی HEC-RAS نشان داد که میزان پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال حدود ۱٤۷ هکتار، دوره بازگشت ۵ سال حدود ۱۷۹ هکتار، دوره بازگشت ۲۰ سال حدود ۲۰۲/۱ هکتار، دوره بازگشت ۵۰ سال ۲۱٤/۲ هکتار، دوره بازگشت ۲۰۰ سال حدود ۲۲۲/۳ هکتار و دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال حدود ۲۳۳/٦ هکتار، ۲۰۰۰ سال حدود ۲۳۷/۲ هکتار و دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال حدود ۲٤۲/۲ هکتار از مساحت اطراف رودخانه بالیخلی‌چای را دربرمی‌گیرد. در نهایت سیلاب‌های ایجاد شده در دوره بازگشت‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال برای جوامع بشری مخاطره‌آمیز خواهد بود. تحقیقات مشابهی هم‌چون خالقی و همکاران (۱٤۰۰)، 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 ٤ و ٦ و ۲ کانال و شکل کانال در کلیه مقاطع مشاهده گردید. اسفندیاری درآباد و همکاران (۱٤۰۱)، 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، نظافت تکله بهروز، پاسبان امیرحسام۱٤۰۱. شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران‌چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS. پژوهش های فرسایش محیطی; ۱۲ (۳) :۱۹۰-۲۱۰.

اسفندیاری درآباد، فریبا، بخشنده، رسول، رحیمی، مسعود، حاجی، خدیجه، مصطفی زاده، رئوف. ۱٤۰۱. طبقه بندی و تحلیل ژئومورفولوژی بخشی از رودخانه حمزه خانلو با استفاده از مدل رزگان، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲۵، سال هفتم، صص ۵۹-۳۹.

اسفندیاری درآباد، فریبا، خیری زاده آروق، منصور، رحیمی، مسعود. ۱٤۰۱. تحلیل فضایی مخاطره طبیعی در حوضه آبریز نیرچای با استفاده از مدل Hec-Hms و منطق فازی، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال ۲۲، شماره ٦٦، صص ۱۰۳-۷۹.

پورنبی درزی، سمیه، وفاخواه، مهدی، رجبی، محمد رسول، ۱٤۰۰. پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل هیدرولیک RAS در محیط GIS، مطالعه موردی حوضه آبخیز چشمه کیله تنکابن. مخاطرات محیطی طبیعی، شماره ۲۸، دوره ۱۰، صص ۱۵-۲۸.

حجازی، اسدالله، خدایی قشلاق، فاطمه، خدایی قشلاق لیلا، ۱٤۰۰. پهنه بندی خطر سیل در حوضه آبریز ورکش چای با استفاده از مدل هیدرولیک HEC-RAS و افزونه HEC-GEORAS. مجله تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۳، سال نوزدهم، صص ۱۳۷-۱۵۵، ۷۱-۸۰.

خالقی سمیه، حسین زاده محمد مهدی، فتح اله اتی کندی پیام. ۱٤۰۰، شبیه سازی تغییرات رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی; ۸ (۲) :۱۷۸-۱٦۵

خیری زاده اروق، منصور; رضایی مقدم، محمدحسین; رجبی، معصومه; دانش فراز، رسول. ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات جانبی کانال رودخانه زرین رود با استفاده از روش های ژئومورفولوژی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره ٤. صص ۷٦ – ۱۰۲.

رحمتی، فاطمه، رضایی مقدم، محمد حسین، نیکجو، محمدرضا. ۱٤۰۰، بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل‌خیزی حوضه سقز قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل ArcSWAT، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ٤، شماره ۱، صص ۱٤٤-۱۲۷.

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.

موحد، علی، حاتمی، داود، بهروج، فاطمه، پویش، زبیده، دولتشاهی، زینب. ۱٤۰۰، بررسی و تحلیل نقش شاخص‌های ژئومورفولوژی در مکان گزینی و توسعه فیزیکی آتی شهر (مطالعه موردی: شهر زاهدان)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ٤، شماره ٤، صص ٦۳٦-٦۱۹.

مهرورز، ارسلان، مددی، عقیل، اسفندیاری در آباد، فریبا، رحیمی، مسعود. ۲۰۲۱، شبیه سازی سیلاب رودخانه آئورت با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط GIS (محدوده مورد مطالعه: از روستای شورستان تا تلاقی رودخانه ارس). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ٤، سال هشتم، صص ۱۳۱-۱٤٦.

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.

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.

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.