



جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره ۳، صص ۸۲-۶۴

شبیه‌سازی تغییرات رودخانه بالیخلی چای با استفاده از مدل سزار (CAESAR)

فریبا اسفندیاری درآباد^{*۱}، بهروز نظافت تکلہ^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 پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۰۱

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 بالیخلی چای 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 دوره‌های بازگشت ۲۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ سال به ترتیب با مقادیر ۲۳۷/۲ و ۲۴۲/۲ 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 بالیخلی چای 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 بالیخلی چای" شبیه‌سازی "مدل CAESAR"



مقدمه

رودخانه به‌عنوان سیستمی در حال توسعه، مکان و ویژگی‌های مورفولوژیکی خود را همواره برحسب بازه زمان، فاکتورهای ژئومورفیک، زمینشناسی، جریان‌ات آبی و بعضاً 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 پوشش گیاهی 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 مشکلات طبیعی و خسارات جانی و مالی انسانی می‌گردد. (Gregory, 2006) بنابراین در زمینه شبیه‌سازی و تحول سیستم‌های رودخانه‌ای 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 مهندسين به این نتایج رسیدند که سیلاب‌های با دوره بازگشت پنجاه سال حدود ۱۱۰ کیلومتر و ۲۵ سال حدود ۶۳ کیلومتر از مساحت حوضه آبخیز را تحت سیطره قرار می‌دهد. پورنبی و همکاران (۱۴۰۰)، 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 (۱۴۰۰)، 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 احتمال 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 ۴ و ۶ 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 ۲/۱۳۴ و ۱۷/۱۹۴۴ کاهش و زمین‌های بایر و مناطق مسکونی به ترتیب ۱۶/۴۶ و ۲/۰۷۲۲ افزایش مساحت روبرو بوده‌اند. موحد و همکاران (۱۴۰۱)، بررسی و تحلیل نقش شاخص‌های ژئومورفولوژی در مکان‌گزینی و توسعه فیزیکی آبی 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 منطق‌فازی 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)، به منظور 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. ختاک 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 تأثیرگذاری 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 چشم‌انداز موثر است.

روش شناسی

اساسی ترین 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، داده‌های 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 مورد استفاده 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 ۴ متر) تهیه شده 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 مورد مطالعه مورد نیاز است.

تصحیح مدل رقومی ارتفاع (DEM)

ابتدا مدل رقومی ارتفاع ۴ متری مربوط به بازه مورد مطالعه با توجه به محدوده حوضه بالیخلی‌چای تهیه شد و سپس بر اساس تطبیق و آنالیز داده‌های برداشت‌شده در نرم‌افزار ArcGis، مدل رقومی ارتفاع اصلاح و نهایی شد. از آنجایی که 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 بالیخلی چای

توزیع اندازه ذرات رسوبی دربرگیرنده ذراتی به اندازه ۱ تا ۲۵۶ میلی متر است که شامل بار بستر و بار معلق است. مدل با استفاده از متغیر زمانی که توسط مقدار حفر و رسوب گذاری کنترل می شود، عمل می کند. جدول اندازه ذرات نمونه برداری شده از منطقه را نشان می دهد که از طریق برداشت های میدانی صورت گرفته است و برحسب واحد متر بوده و ریزترین ذره، ذرات رس به قطر (۰/۰۰۰۰۰۴۰۹) به عنوان رسوبات معلق در نظر گرفته شده اند.

جدول ۱ توزیع رسوب و دبی رودخانه بالیخلی چای

ردیف	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱
رسوب میلی متر	۱۱۹/۶۹۵	۳۳/۶۶۴	۱۹/۲۵۱	۷/۵۲۷	۵/۱۹۱	۴/۳۴۲	۳/۶۹۴	۳/۲۷۴	۲/۸۳۶	۲/۴۵۸	۲/۳۲۵	۱
دبی متر بر ثانیه	۱/۴۳۶	۰/۹۲۹	۲/۰۸۲	۷/۱۷۸	۷/۴۲۷	۱/۱۱۹	۱/۲۷	۱/۳۲۲	۰/۲۰۳	۱/۳۱۱	۱/۵۳۸	۰/۷۰۲

استفاده از نرم افزار HEC-RAS جهت شبیه سازی کانال رودخانه بالیخلی چای

به منظور شبیه سازی پهنه سیلابی و هم چنین جریان در مجرا، به ویژه 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 ۱۹۶۴ میلادی، HEC مدلی رایانه ای HEC-2 را به منظور ارائه راهکارهای مناسب و در جهت افزایش کارایی و بهبود با کمک به مهندسان هیدرولیک در تحلیل کانال رودخانه ها و تعیین پهنه های سیلابی توسعه داد. HEC-2 مدلی بود که با سرعت بسیار زیادی به یک برنامه با تمام قابلیت های استاندارد برای محاسبات تحلیلی رودخانه مبدل شد. در نهایت قدرت و پتانسیل های آن در سال های بعد برای اعمال مواردی از قبیل تحلیل های پل، خاکریزها گسترش پیدا کرد. با توجه به افزایش عملکرد و کارایی نرم افزارهای 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 رودخانه ها و کانال های مصنوعی در رژیم های جریان زیر بحرانی، فوق بحرانی و مختلط می تواند انجام دهد. محاسبه پروفیل سطح آب با شروع از یک مقطع عرضی به طرف مقاطع دیگر به وسیله حل معادله انرژی به روش استاندارد گام به گام انجام می شود.

برای پهنه بندی سیلاب مجرای رودخانه بالیخلی چای از نقشه های بزرگ مقیاس ۱:۲۰۰۰ شرکت آب منطقه ای استان اردبیل استفاده شد.

محاسبه دوره های بازگشت با استفاده از نرم افزار Hyfran

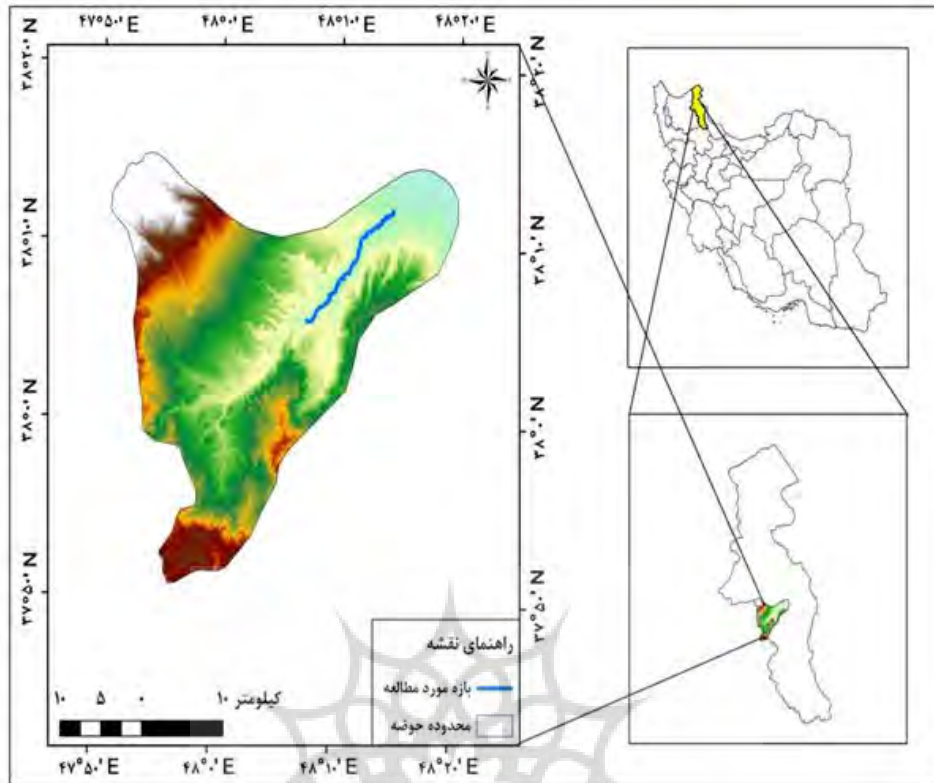
سیلاب ها علاوه بر اینکه به طور مستقیم یا غیر مستقیم خطراتی را متوجه جوامع انسانی می سازند باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می گردند. بدین ترتیب ارزیابی رخداد سیلاب از جنبه های مختلف حائز اهمیت

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 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 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 قره‌سو 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 و سعت 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 ۳۸ درجه ۵ دقیقه، ۴۸ درجه ۲۰ دقیقه و در انتهای بازه ۳۸ درجه ۱۱ دقیقه، ۴۸ درجه و ۱۴ دقیقه می‌باشد شکل (۱).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 رتال جامع علوم انسانی



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

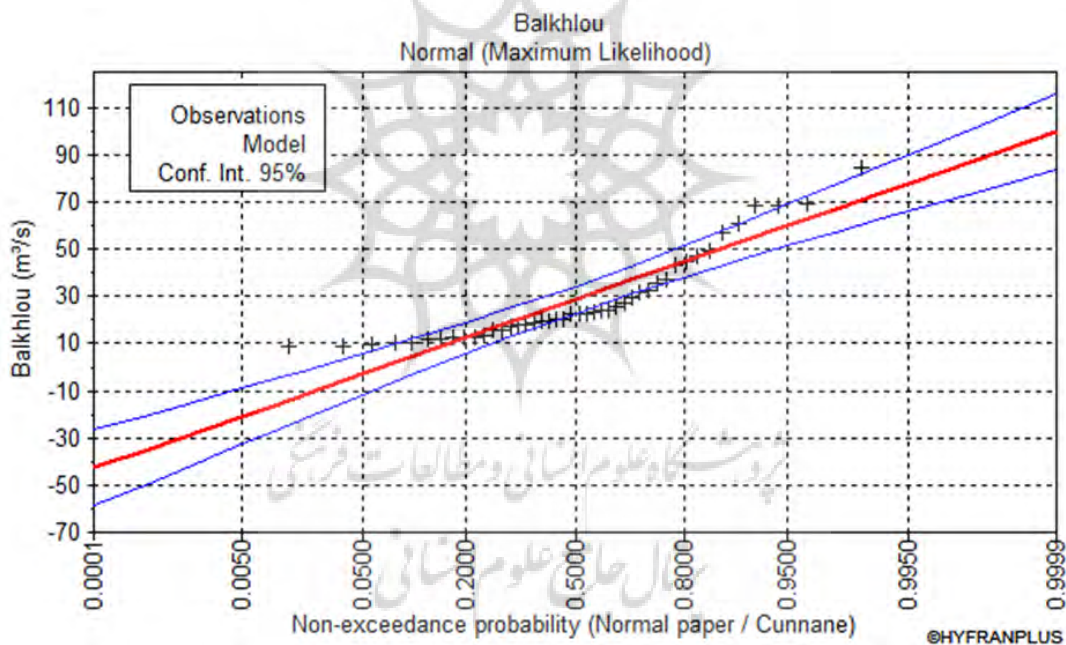
سیلاب‌ها مخاطرات بسیار زیادی را متوجه جوامع انسانی و هم‌چنین تأسیسات انسانی می‌سازند که باعث تغییرات ژئومورفولوژیکی قابل توجهی نیز می‌گردند. بر این اساس داده‌های مربوط به ایستگاه هیدرومتری بالیخلی چای از شرکت آب منطقه‌ای استان اردبیل تهیه گردید. پس از آماده کردن دبی حداکثر لحظه‌ای سالانه، با استفاده از نرم‌افزار Hyfran توزیع پیرسون تپ 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 بالیخلی چای 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 بالیخلی چای با استفاده از نرم‌افزار **Hyfran**

دوره بازگشت (سال)	احتمال وقوع (درصد)	دبی محاسبه شده (m ³ /s)	انحراف استاندارد
۱۰۰۰۰	۹۹/۹۹	۹۹/۸	۸/۲۱
۲۰۰۰	۹۹/۹۵	۹۱/۶	۷/۳۹
۱۰۰۰	۹۹/۹۰	۸۷/۸	۷/۰۱
۲۰۰	۹۹/۵۰	۷۷/۹	۶/۰۶
۵۰	۹۸	۶۷/۹	۵/۱۴
۲۰	۹۵	۶۰/۱	۴/۴۶
۵	۸۰	۴۴/۷	۳/۳۷
۲	۵۰	۲۸/۵	۲/۸۹

(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

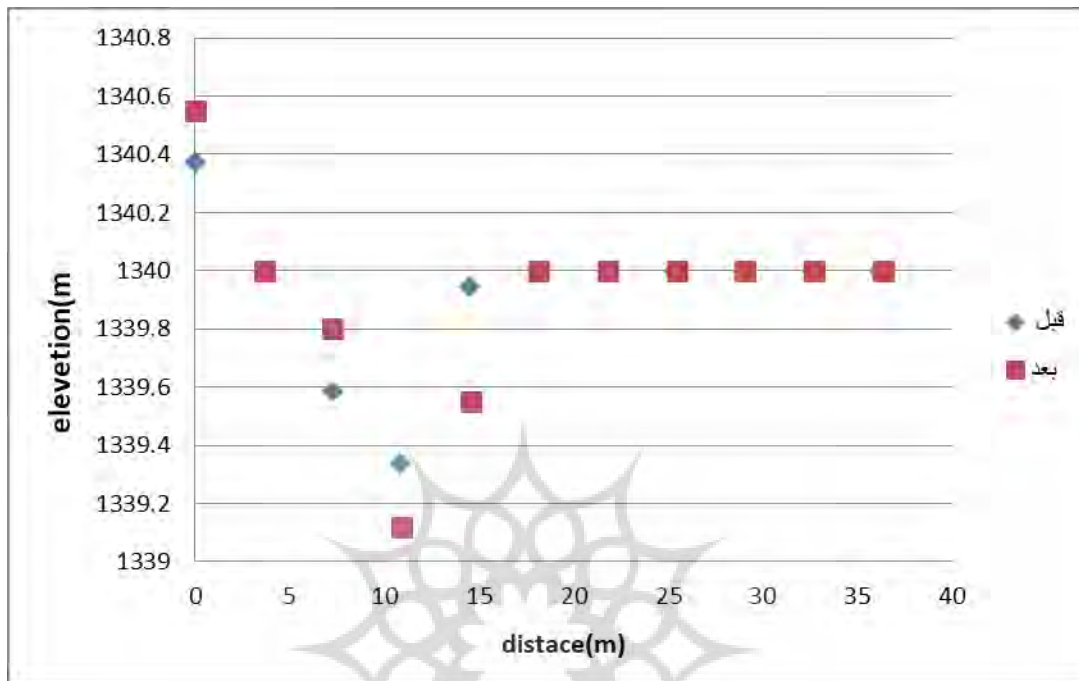


نمودار ۱ توزیع احتمال وقوع سیلاب در ایستگاه هیدرومتری بالیخلی چای با استفاده از نرم افزار **Hyfran** (منبع:

نگارندگان، ۱۴۰۱)

نتایج قبل و بعد از شبیه‌سازی تغییرات بستر رودخانه بالیخلی چای 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 مورد بررسی 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 شبیه‌سازی نیز با مقدار ۱۳۳۹/۳۰ الی ۱۳۴۰/۶ 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

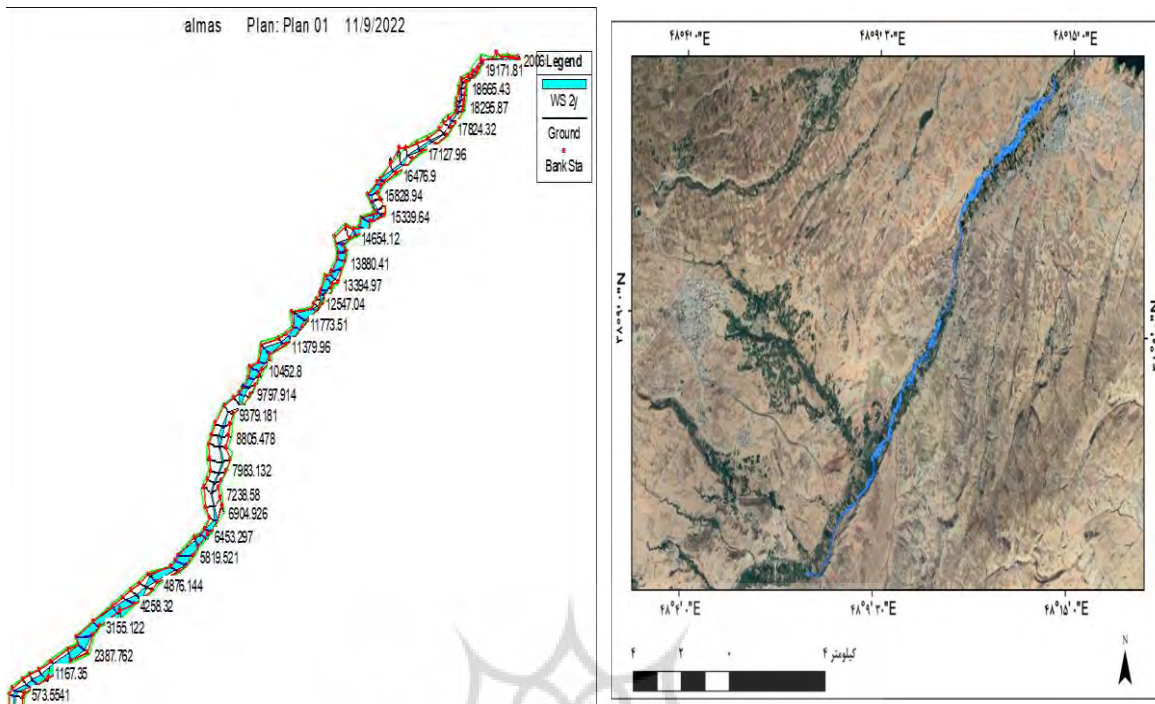
براساس نتایج حاصله از خروجی نرم‌افزار HEC-RAS پهنه‌های سیل‌گیر برای دوره‌های بازگشت مختلف ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۱۰۰۰۰ سال استخراج گردید. جدول (۳)، اطلاعات توصیفی مقادیر پهنه‌های سیلابی رودخانه بالیخلی‌چای در دوره‌های بازگشت مختلف را نشان می‌دهد. براساس جدول (۳)، حداقل میزان پهنه 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 بالیخلی چای در دوره‌های بازگشت مختلف

دوره بازگشت	مساحت (هکتار)	میانگین عرض پهنا (متر)
۲	۱۴۷	۴۸۸
۵	۱۷۹	۷۶۲
۲۰	۲۰۲/۱	۷۹۶
۵۰	۲۱۴/۲	۹۱۲
۲۰۰	۲۲۲/۳	۸۷۱
۱۰۰۰	۲۳۳/۶	۱۰۷۸
۲۰۰۰	۲۳۷/۲	۱۱۷۰
۱۰۰۰۰	۲۴۲/۲	۱۲۸۸

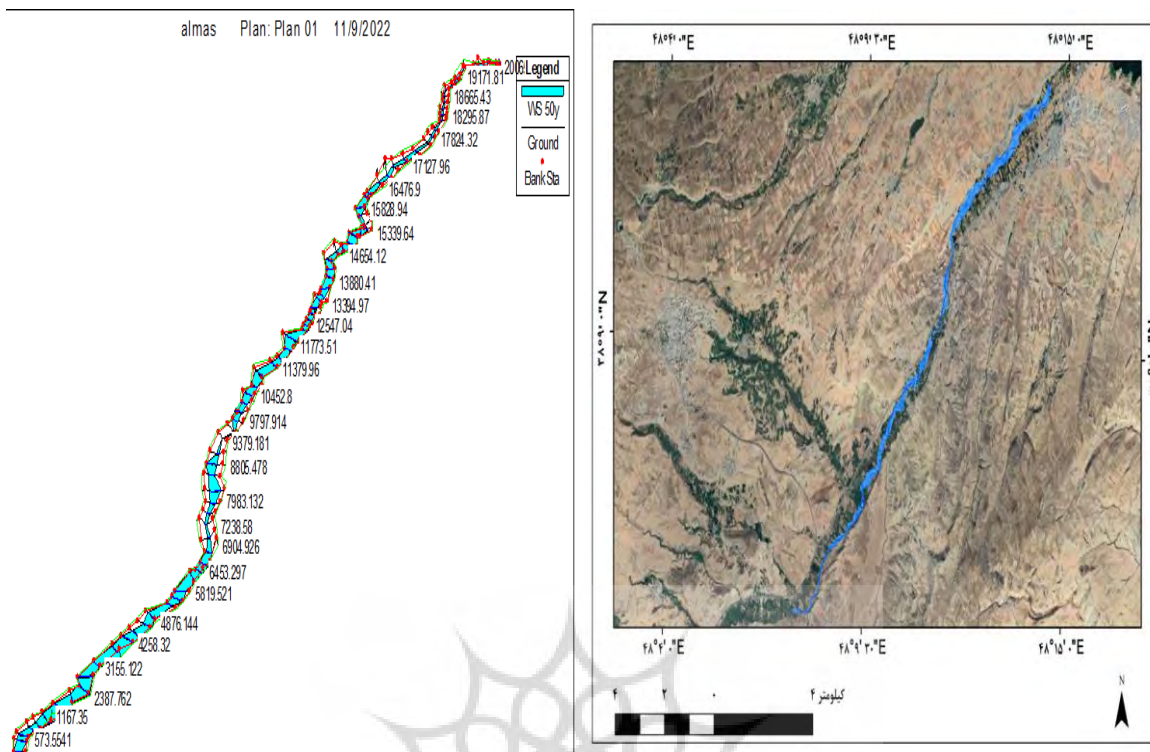
(منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل (۲)، میزان مقادیر پهنه سیل گیر با دوره بازگشت ۲ سال رو نشان می‌دهد. بر اساس نقشه حاصل شده از خروجی نرم افزار 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 بالیخلی چای با دوره بازگشت ۲ سال در حدود ۱۴۷ هکتار است. این پهنه‌های سیلابی اکثرا با تغییرات مورفولوژیکی 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 ۴۸۸ متر می‌باشد. به عبارتی با دوره بازگشت ۲ سال بستر مورفولوژیکی رودخانه بالیخلی چای 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. در نهایت بیش‌ترین پهنه سیلابی با دوره بازگشت ۲ سال قسمتی از پایین دست رودخانه بالیخلی چای در بر می‌گیرد. با این حال، این سیلاب‌ها به دلیل تناوب و پتانسیل بالا برای شکل‌دهی پلان فرم مجرا از اهمیت زیادی در شکل‌گیری اشکال متعدد و فرسایش‌پذیری و رسوب‌گذاری آرام و تغییرات مورفولوژیکی مجرای رودخانه بالیخلی چای برخوردارند.



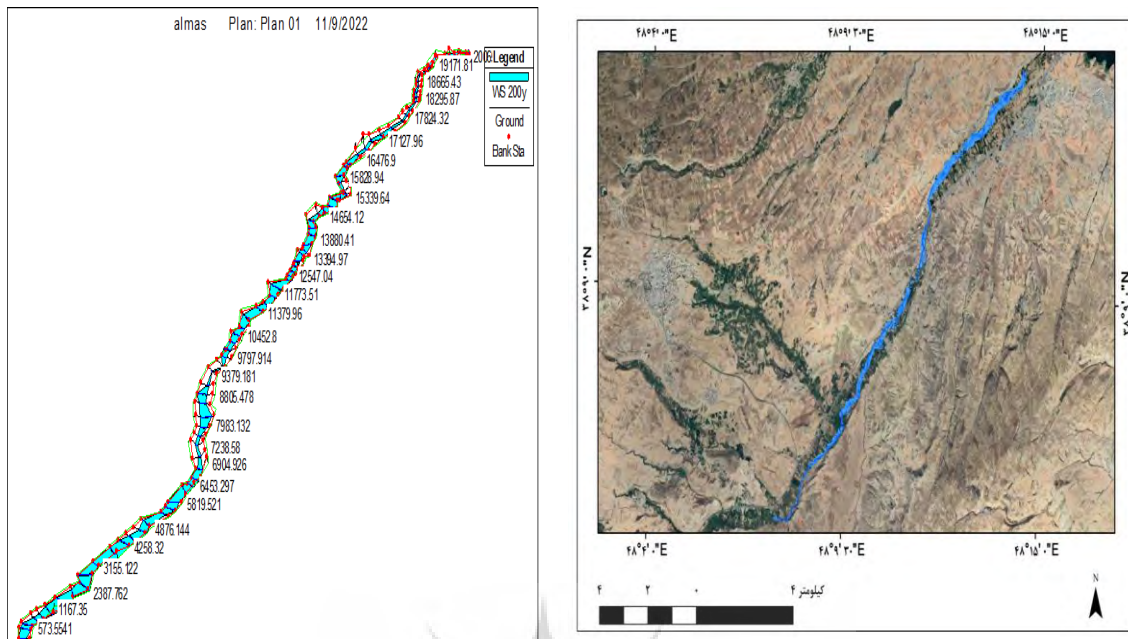
شکل ۲ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی چای با دوره بازگشت ۲ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل (۳)، بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب منطقه تاثیرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۵۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی چای حدود ۲/۲۱۴ 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 بالیخلی چای را غرقاب کرده و حتی برخی از مناطق مسکونی نیز دچار خسارت و خطرانی 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 بالیخلی چای زیادتر شده و در نهایت بستر رودخانه دچار تغییرات مورفولوژیکی شدیدتری گردند.



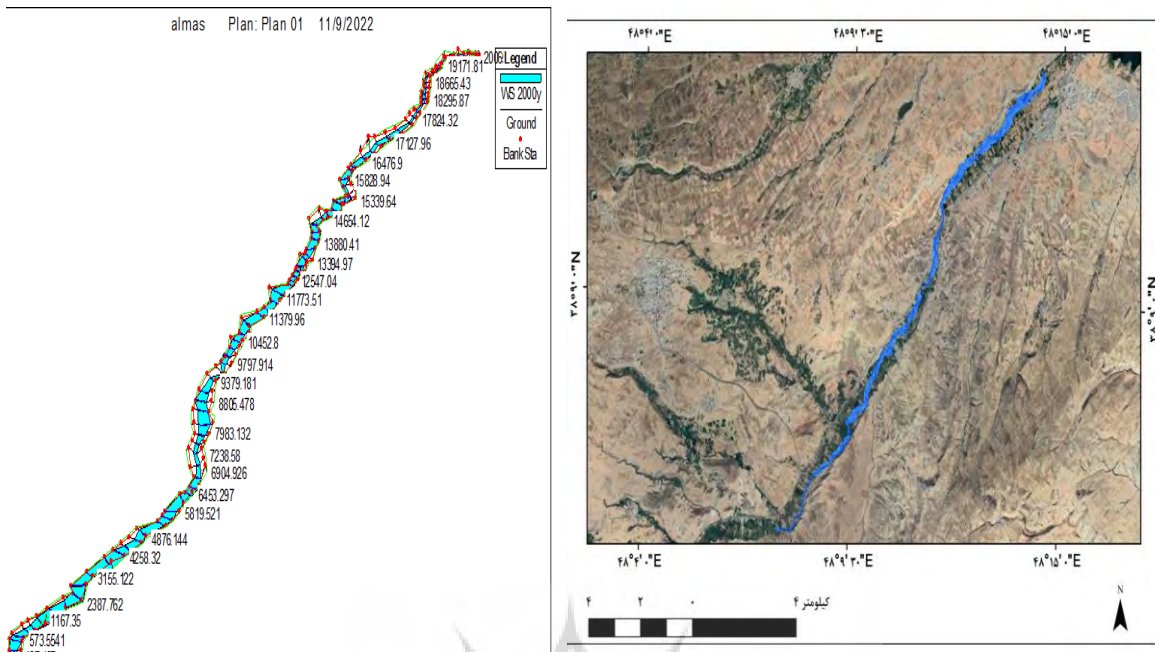
شکل ۳ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی چای با دوره بازگشت ۵۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل (۴)، بر اساس نقشه پهنه‌بندی سیلاب منطقه تاثیرگذاری سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی چای 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 بالیخلی چای را غرقاب کرده و حتی برخی از مناطق مسکونی نیز دچار خسارت و خطرانی 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 بالیخلی چای زیادتر شده و درنهایت بستر رودخانه دچار تغییرات مورفولوژیکی شدیدتری گردند.



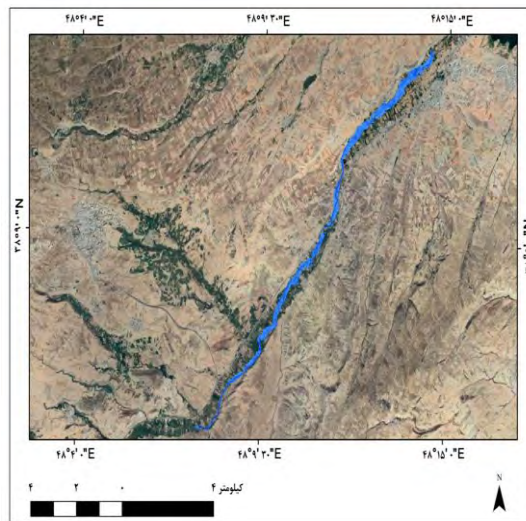
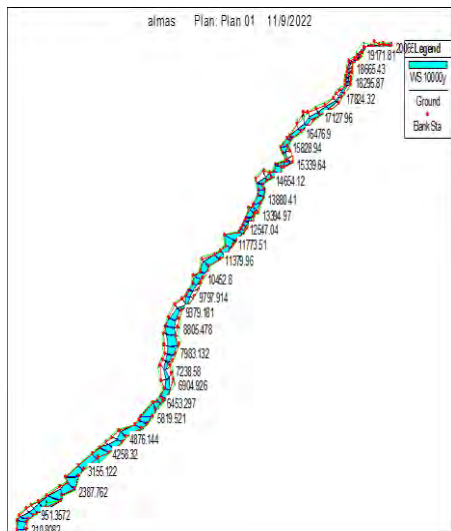
شکل ۴ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی چای با دوره بازگشت ۲۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

بر اساس اشکال (۵)، بخش دربرگیرنده سیلابهای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی چای 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 بالیخلی چای قابل مشاهده است. به عبارتی در دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال پهنه سیلابی رودخانه بالیخلی چای همه بخش‌های رودخانه را در بر گرفته است. این‌گونه سیلاب‌ها به دلیل 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 به همراه داشته باشند. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال بیش‌تر مناطق مسکونی روستاهای اطراف رودخانه بالیخلی چای تحت تاثیر قرار داده و میزان ارتفاع بستر رودخانه در بازه‌های مختلف را تغییر 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 بالیخلی چای با دوره بازگشت ۲۰۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

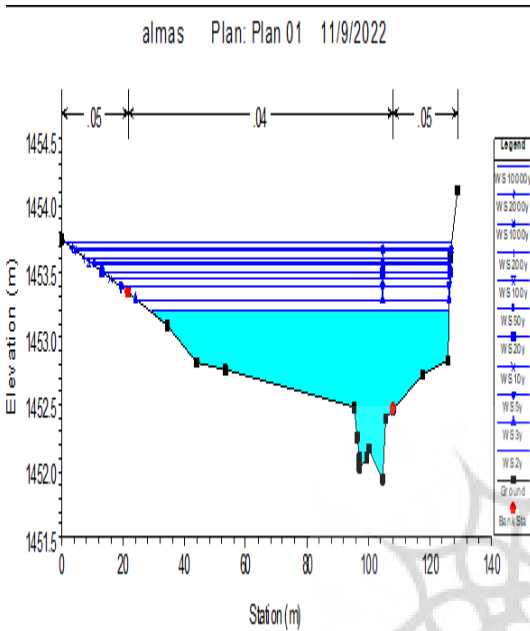
بر اساس اشکال (۶)، بخش دربرگیرنده سیلابهای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال در امتداد رودخانه بالیخلی چای حدود ۲۴۲/۲ هکتار افزایش پیدا می‌کند. میانگین عرض سیل‌گیری سیلاب‌های ۱۰۰۰۰ سال به حدود ۱۲۸۸ متر می‌رسد. این سیلاب‌ها، همه پهنه‌های سیلابی مورد مطالعه در این پژوهش در با دوره‌های بازگشت مختلف در برمی‌گیرد. در نتیجه این افزایش مساحت و عرض بیشتر در همه قسمت‌های بالادست، میان‌دست و پایین‌دست رودخانه بالیخلی چای قابل مشاهده است. به عبارتی در دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال پهنه سیلابی رودخانه بالیخلی چای همه بخش‌های رودخانه را در بر گرفته است. این گونه سیلاب‌ها به دلیل 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 به همراه داشته باشند. سیلاب‌های با دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال بیش‌تر مناطق مسکونی روستاهای اطراف رودخانه بالیخلی چای تحت تاثیر قرار داده و میزان ارتفاع بستر رودخانه در بازه‌های مختلف را تغییر 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.



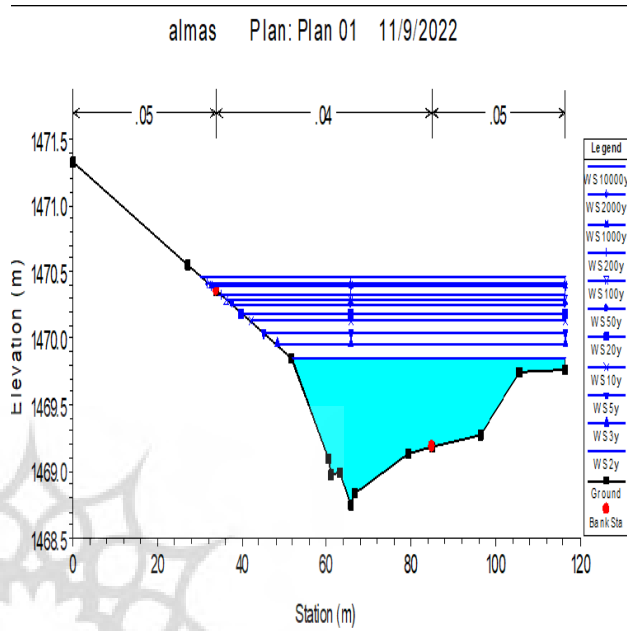
شکل ۶ شبیه‌سازی سیلاب رودخانه بالیخلی چای با دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال (منبع: نگارندگان، ۱۴۰۱)

شکل ۷ نشان دهنده این است که نمودار (الف)، مقطع عرضی شماره ۱ رودخانه بالیخلی چای 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 ۱۰۰۰۰ سال و ۱۰۰۰۰ سال می‌باشد. بر اساس تلفیق نتایج مدل اتومای سلولی (CAESAR) در این مقطع میزان تغییرات در ارتفاع ۱۴۶۹ متر تا ۱۴۶۹/۵ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. نمودار (ب)، مقطع عرضی شماره ۲۸ رودخانه بالیخلی چای 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 ۱۴۵۲ متر تا ۱۴۵۳/۳۰ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. نمودار (ج)، مقطع عرضی شماره ۴۲ رودخانه بالیخلی چای 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 ۱۴۳۴ متر تا ۱۴۳۵/۵ متر قابل مشاهده است که بیش‌ترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. بر این اساس بیش‌ترین میزان رسوب‌گذاری نیز در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر قابل مشاهده است نمودار (د)، مقطع عرضی شماره ۹۰ رودخانه بالیخلی چای 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

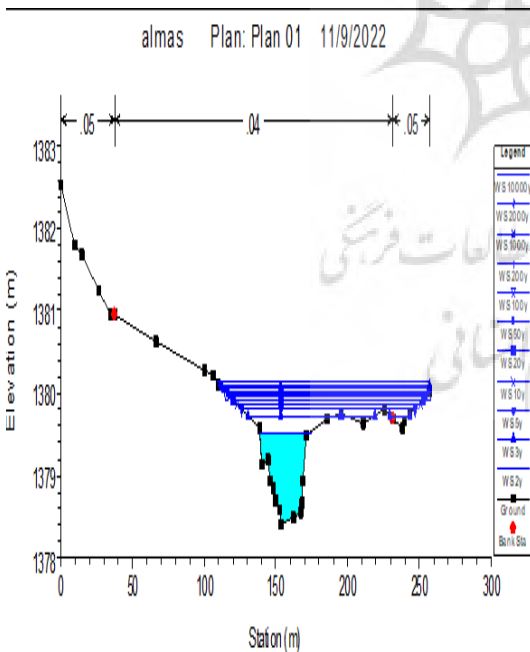
متر قابل مشاهده است که بیشترین میزان فرسایش در این قسمت رخ داده است. بر این اساس بیشترین میزان رسوب گذاری نیز در این بازه نسبت به سایر بازه‌ها بیشتر قابل مشاهده است.



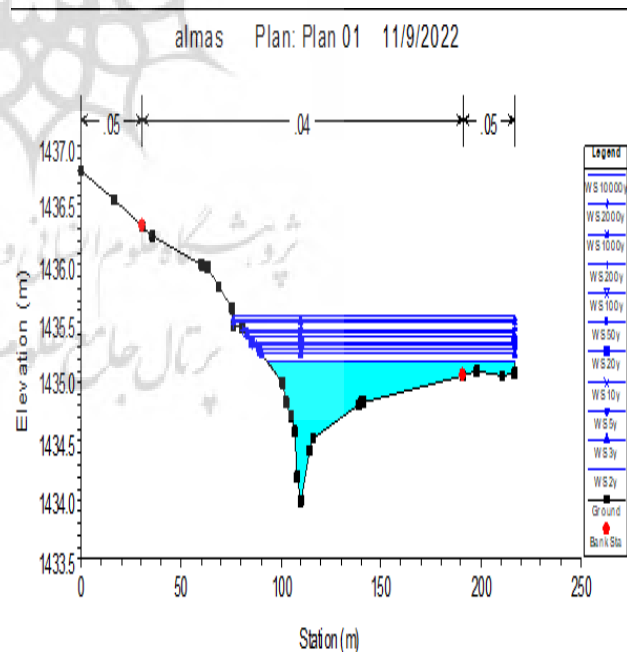
نمودار (ب)



نمودار (الف)



نمودار (د)



نمودار (ج)

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

نتیجه گیری

با توجه به شبیه‌سازی تغییرات بستر و سیلاب رودخانه بالیخلی چای 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 بالیخلی چای می‌باشد. این تغییرپذیری از شرایط ژئومورفولوژیکی متغیر در امتداد رودخانه نشأت می‌گیرد. نتایج حاصله از مدل CAESAR نشان می‌دهد که شبیه‌سازی تغییرات رودخانه قبل و بعد از 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 ۴۲ بازه سوم در حدود ۱/۵ متر بوده است که نشان‌دهنده 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 ۱۴۷ هکتار، دوره بازگشت ۵ سال حدود ۱۷۹ هکتار، دوره بازگشت ۲۰ سال حدود ۲۰۲/۱ هکتار، دوره بازگشت ۵۰ سال ۲۱۴/۲ هکتار، دوره بازگشت ۲۰۰ سال حدود ۲۲۲/۳ هکتار و دوره بازگشت ۱۰۰۰ سال حدود ۲۳۳/۶ هکتار، ۲۰۰۰ سال حدود ۲۳۷/۲ هکتار و دوره بازگشت ۱۰۰۰۰ سال حدود ۲۴۲/۲ هکتار از مساحت اطراف رودخانه بالیخلی چای 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 (۱۴۰۰)، به ارزیابی 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 منظور 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 تکل بهروز، پاسبان امیرحسام ۱۴۰۱. شبیه‌سازی مورفولوژیکی وقوع سیلاب در رودخانه نوران‌چای با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS. پژوهش‌های فرسایش محیطی؛ ۱۲ (۳) ۱۹۰: ۲۱۰.

- اسفندیاری درآباد، فریبا، بخشنده، رسول، رحیمی، مسعود، حاجی، خدیجه، مصطفی زاده، رئوف. ۱۴۰۱. طبقه بندی و تحلیل ژئومورفولوژی بخشی از رودخانه حمزه خانلو با استفاده از مدل رزگان، هیدروژئومورفولوژی، شماره ۲۵، سال هفتم، صص ۳۹-۵۹.
- اسفندیاری درآباد، فریبا، خیری زاده آروق، منصور، رحیمی، مسعود. ۱۴۰۱. 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 ۶۶، صص ۱۰۳-۷۹.
- پورنبی درزی، سمیه، وفاخواه، مهدی، رجبی، محمد رسول، ۱۴۰۰. 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، ۱۴۰۰. 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. ۱۴۰۰. شبیه سازی تغییرات رودخانه کلیبرچای با استفاده از مدل سزار (CAESAR). تحلیل فضایی مخاطرات محیطی؛ ۸ (۲): ۱۷۸-۱۶۵
- خیری زاده آروق، منصور؛ رضایی مقدم، محمدحسین؛ رجبی، معصومه؛ دانش فراز، رسول. ۱۳۹۷. تحلیل تغییرات جانبی کانال رودخانه زرین رود با استفاده از روش های ژئومورفولوژی. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی. شماره ۴. صص ۷۶ - ۱۰۲.
- رحمتی، فاطمه، رضایی مقدم، محمد حسین، نیکجو، محمدرضا. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل خیزی حوضه سقز قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل ArcSWAT، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۲۷.
- 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 و برنامه ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۳، صص ۱۵-۳۲.
- موحد، علی، حاتمی، داود، بهروج، فاطمه، پویش، زبیده، دولتشاهی، زینب. ۱۴۰۰. بررسی و تحلیل نقش شاخص های ژئومورفولوژی در مکان گزینی و توسعه فیزیکی آتی شهر (مطالعه موردی: شهر زاهدان)، جغرافیا و روابط انسانی، دوره ۴، شماره ۴، صص ۶۳۶-۶۱۹.

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 ۴، سال هشتم، صص ۱۳۱-۱۴۶.

Hancock, G.R, Coulthard, T.J., Willgoose, G.R. 2011. Modelling erosion and channel movement- response 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. *Earth 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 Biospheric 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.