



کاربرد سنجش از دور در مدل سازی هیدرولیکی و تعیین حد بستر رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه ارداک)

مقاله پژوهشی

سیدحمید میرقاسمی^۱، حسین بانژاد^۲، علیرضا فریدحسینی^۳

دریافت: ۱ شهریور ۱۴۰۰ / بازنگری: ۳ مهر ۱۴۰۰ / پذیرش: ۲۵ مهر ۱۴۰۰

دسترسی اینترنتی: ۲۵ مهر ۱۴۰۰ / دسترسی چاپی: ۱ فروردین ۱۴۰۲

چکیده

کاربری اراضی بستر آن‌ها همراه است. این اقدام باعث بهم خوردن رژیم طبیعی رودخانه و در نتیجه وقوع سیل و خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی را به دنبال دارد. مدیریت منابع آب و به‌خصوص مدیریت سیل بدون شناخت و تحلیل جریان رودخانه‌ها، پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم آن‌ها میسر نمی‌باشد. در حال حاضر برای تعیین گستره سیلاب و مشخص کردن حد بستر رودخانه‌ها نقشه‌برداری زمینی انجام می‌شود. این روش بسیار زمان‌بر بوده و هزینه انجام آن زیاد می‌باشد. در همین راستا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به جای نقشه‌برداری زمینی برای سرعت بخشیدن به انجام مطالعات و کاهش هزینه‌ها می‌تواند راهگشا باشد. تحقیقات زیادی در کشور و دنیا در خصوص استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه‌های مختلف انجام شده است. به‌ویژه در پژوهش‌های متعددی از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه‌های آبخیز و نیز مطالعه تغییرات مورفولوژی رودخانه استفاده شده است. پژوهش‌هایی پیرامون استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات هیدرولوژی و حوضه‌های آبخیز انجام شده است، اما در این پژوهش برای اولین بار امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه رودخانه و استخراج مقاطع عرضی آن برای پهنه‌بندی

پیشینه و هدف براساس اصل ۴۵ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و ماده ۲ قانون توزیع عادلانه آب، رودخانه‌ها ثروت ملی بوده و در اختیار حکومت اسلامی است. بنابراین دولت مکلف است مطالعه و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها را انجام و در صورتی که اعیانی‌های موجود در بستر و حریم آن‌ها را برای امور مربوط به آب یا برق مزاحم تشخیص دهد نسبت به تخلیه آن‌ها اقدام نماید. امروزه به‌علت افزایش ارزش اقتصادی زمین و تقاضا جهت احداث اعیانی در اراضی حاشیه رودخانه‌ها و مجاری آبی متأسفانه روند تصرفات حدود بستر و حریم رودخانه‌ها افزایش یافته که خود تهدیدی برای دسترسی به آب سالم و حفاظت از آن برای نسل‌های آتی محسوب می‌شود. تصرف رودخانه‌ها با کاهش عرض و تغییر

سیدحمید میرقاسمی^۱، حسین بانژاد^۲ (✉)، علیرضا فریدحسینی^۳

۱. دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۲. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۳. دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: banejad@um.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685799>

<https://dori.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.2.7>

طریق الحاقیه HEC-GeoRAS به محیط GIS منتقل و در محیط مذکور پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه به دو روش استفاده از اطلاعات نقشه‌برداری زمینی و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای تعیین و با هم مقایسه شد.

نتایج و بحث نتایج بیانگر آن است که پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۸×۲۸ متر قابل انجام است. در این مورد شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی و ضریب همبستگی رگرسیون به ترتیب ۱۳/۲ و ۹۲ درصد بدست آمد. اگر در چند نقطه از مسیر رودخانه مقطع عرضی از طریق نقشه‌برداری زمینی برداشت و جایگزین مقاطع عرضی که از روش تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده اند، دقت پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای افزایش می‌یابد. به طوری که اگر به فاصله ۱۵۰ متر و در طول ۸ کیلومتر ۴۷ مقطع عرضی جانمایی و به صورت برداشت زمینی انجام و در مدل HEC-RAS جایگزین مقاطع عرضی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای شود، خطای استفاده از روش تصاویر ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه به ۸/۱ درصد کاهش خواهد یافت.

نتیجه‌گیری استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت ۲۸×۲۸ متر برای تعیین حد بستر رودخانه امکان‌پذیر است. این روش با میانگین خطای نسبی و ضریب همبستگی رگرسیون به ترتیب ۱۳/۲ و ۹۲ درصد همراه است که این خطا را با مقطع‌برداری زمینی می‌توان تا ۸ درصد کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه ارداک، سیلاب، تصاویر ماهواره‌ای، HEC-RAS، HEC-HMS

سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر بستر رودخانه ارداک در بالادست سد ارداک، به طور گسترده تصرف و تغییر کاربری داده شده است. این امر باعث شده است تا تعداد حوادث سیل افزایش و کمیت و کیفیت آب سد ارداک که بخشی از آب شرب شهر مشهد را تامین می‌نماید، کاهش یابد. برای مدیریت سیل و حفاظت کمی و کیفی از سد ارداک، پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه ارداک ضروری می‌باشد. در حال حاضر برای انجام این کار ابتدا باید نقشه برداری زمینی انجام می‌شود. نقشه برداری زمینی برای تهیه نقشه رودخانه و استخراج مقاطع عرضی آن مستلزم صرف زمان طولانی و هزینه زیادی است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۸×۲۸ متر به جای نقشه‌برداری زمینی به منظور افزایش سرعت انجام کار و کاهش هزینه‌های مطالعات طرح‌ها و پروژه‌های آبی و مهندسی رودخانه است.

مواد و روش‌ها برای ترسیم حوضه آبریز و استخراج پارامترهای فیزیکی آن از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و نرم‌افزار HEC-GeoHMS استفاده شد. نقشه بستر موجود رودخانه و حاشیه آن تهیه و به عنوان یک لایه جدید به نقشه کاربری اراضی حوضه اضافه شد. برای شبیه سازی بارش و رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. ابتدا برای پنج واقعه بارش و رواناب مدل واسنجی و اعتباریابی گردید. سپس هایتوگراف بارش مربوط به دوره بازگشت‌های مختلف در پایه زمان تمرکز حوضه به مدل HEC-HMS معرفی شد. مدل اجرا و سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شد. اطلاعات هندسی رودخانه در قالب مقاطع عرضی هم از نقشه‌برداری زمینی و هم از تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS استخراج گردید. اطلاعات حاصل از مدل‌سازی جریان رودخانه در نرم‌افزار HEC-RAS از

مقدمه

براساس اصل ۴۵ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران و ماده ۲ قانون توزیع عادلانه آب، رودخانه‌ها ثروت ملی بوده و در اختیار حکومت اسلامی است (۶). بنابراین دولت مکلف است مطالعه و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌ها را انجام و در صورتی که اعیانی‌های موجود در بستر و حریم آن‌ها را برای امور مربوط به آب یا برق مزاحم تشخیص دهد نسبت به تخلیه یا قلع و قمع آن‌ها اقدام نماید. امروزه به علت افزایش ارزش اقتصادی زمین و تقاضا جهت احداث اعیانی در اراضی حاشیه رودخانه‌ها و مجاری آبی متأسفانه روند تصرفات حدود بستر و حریم رودخانه‌ها افزایش یافته که خود تهدیدی برای دسترسی به آب سالم و حفاظت از آن برای نسل‌های آتی محسوب می‌شود. تصرف رودخانه‌ها با کاهش عرض و تغییر کاربری اراضی بستر آنها همراه است. این اقدام باعث بهم خوردن رژیم طبیعی رودخانه و در نتیجه وقوع سیل و خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست محیطی را به دنبال دارد (۱۴). مدیریت منابع آب و به خصوص مدیریت سیل بدون شناخت و تحلیل جریان رودخانه‌ها، پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم آن‌ها میسر نمی‌باشد. در حال حاضر برای تعیین گستره سیلاب و مشخص کردن حد بستر رودخانه‌ها نقشه برداری زمینی انجام می‌شود (۱۱). این روش بسیار زمانبر بوده و هزینه انجام آن زیاد می‌باشد. در همین راستا استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به جای نقشه برداری زمینی برای سرعت بخشیدن به انجام مطالعات و کاهش هزینه‌ها می‌تواند راهگشا باشد (۱۲). تحقیقات زیادی در کشور عزیزمان ایران و دنیا درخصوص استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در حوزه‌های مختلف انجام شده است. به ویژه در پژوهش‌های متعددی از تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی روند تغییرات کاربری اراضی حوضه‌های آبخیز و نیز مطالعه تغییرات مورفولوژی رودخانه استفاده شده است. پاونلی و همکاران (۱۵) اثر طولانی مدت تغییر کاربری اراضی و آب و هوا را بر روی جریان آب و مورفولوژی رودخانه رنو در شمال ایتالیا را بررسی و نتیجه‌گیری کردند که از سال ۱۹۵۰ به دلیل تغییر

کاربری اراضی اندازه بستر رودخانه بین ۴۰ تا ۸۰ درصد و جریان رودخانه و مقدار رسوب به ترتیب ۳۶ و ۳۸ درصد کاهش داشته است. در حالی که تغییرات آب و هوایی تأثیر قابل توجه نداشته است. چن و همکاران (۳) سیل‌های ناگهانی، تغییر کاربری زمین و خطر سیل در مناطق توریستی کوهستانی Yesanpo، پکن، چین بررسی کردند. مدل سازی خطر سیل با استفاده از HEC-HMS و FIO-2D انجام شد. سه سناریوی سیل (یک رویداد واقعی که در سال ۲۰۱۲ رخ داد، یک سیل فرضی در سال ۲۰۱۷ و یک سناریوی سیل در آینده) با استفاده از ابزارهای سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی شد. نتایج نشان می‌دهد که از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۷، به دلیل توسعه گردشگری و تغییر کاربری اراضی در منطقه، خطر سیل ناگهانی ۲۸ درصد افزایش یافته است. در طول این دوره شش ساله، بیشتر زمین‌های کشاورزی اطراف رودخانه جمعه به کاربری گردشگری تغییر یافته و ارزش زمین ۳۸ درصد افزایش یافته است. چانگ و هوانگ (۲) برای پیش بینی سیلاب‌های شدید در حوضه آبخیز شیمن در تایوان از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده کردند. آنها با استفاده از داده‌های سه سیلاب خطرناک با دوره بازگشت‌های ۱ تا ۹۰ ساله رواناب حاصل از بارش‌های سیل آسا را در مدل HEC-HMS شبیه سازی کردند. آن‌ها با توجه به رضایت بخش بودن یافته‌هایشان به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولوژیکی کالیبره و تأییدشده HEC-HMS قادر به پیش بینی سیلاب‌ها می‌باشد. ایمانی و همکاران (۹) امکان پیش بینی سیلاب‌های رودخانه کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل مذکور کارآیی بالایی در شبیه سازی رواناب روزانه طی دوره ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره بازگشت‌های کمتر از ۳۰۰ سال دارد. خانقان و مجردی (۱۴) روش تلفیق مدل‌های HEC-HMS و HEC-RAS برای شبیه سازی سیل در منطقه کرج را مورد مطالعه قرار دادند. با استفاده از داده‌های بارندگی و رواناب مدل HEC-HMS کالیبره شد. سپس آن‌ها با بهره‌گیری از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و

تغییرات کاربری اراضی روی سیلاب در حوضه آبخیز تیروسولام را مطالعه کردند. پژوهش آنها در چهار سناریو انجام شده است. در ابتدا با استفاده از تکنیک سنجش از دور و روش طبقه بندی، کاربری های اراضی حوضه مورد نظر در دو سال ۱۹۷۶ و ۲۰۰۵ میلادی استخراج شده تا آشکارسازی تغییرات انجام گیرد. در سناریوی دوم، مدل سازی بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS انجام شده و سناریوی سوم نقشه خطر سیل محدوده مورد مطالعه با استفاده از GIS و RS تهیه گردیده است. در نهایت نقشه پهنه بندی سیل با به کارگیری مدل یک بعدی HEC-RAS تهیه شده است. گیچامو و همکاران (۷) برای استخراج مقاطع عرضی در بخشی از رودخانه Tisza واقع در مجارستان از HEC-RAS و HEC-GeoRAS استفاده کردند و به این نتیجه دست یافتند که یک روش برای تولید مقاطع عرضی، مدل رقومی ارتفاع است و در مناطقی که کمبود داده های توپوگرافی دارند پتانسیل خوبی برای استفاده از این روش می باشد. ویلی و همکاران (۲۰) اثرات تغییر اقلیم و کاربری اراضی بر اکوسیستم رودخانه در حوضه آبریز رودخانه دریاچه های بزرگ آمریکای شمالی به مساحت ۷۶۰۰ کیلومتر مربع را ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند، در مدل سازی مبتنی بر سناریو، تغییرات آب و هوایی و کاربری اراضی چندین ویژگی اکوسیستم را تغییر می دهد. جامعه بیولوژیکی نسبت به تغییرات آب و هوایی در مقایسه با تغییر کاربری اراضی حساس تر بودند. نهارو و همکاران (۱۲) پهنه بندی سیلاب در حوضه آبریز زامبزی با استفاده از روش های مشاهده زمین، تصاویر MODIS NDVI، مدل سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS و مدل هیدرولیک تک بعدی HEC-RAS انجام دادند. مناطق آبیگری نقشه برداری شده برای دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ نشان داد که ۱۶ ژانویه ۲۰۰۶ بیشترین سیلاب ۱۹۳۴ کیلومتر مربع را داشته است. نیکونوروف و همکاران (۱۳) استفاده از محیط GIS تحت تجزیه و تحلیل راه حل های مدیریتی برای اقدامات حفاظت از حوادث سیل در حوضه رودخانه باکستر را بررسی و از داده های سنجش از دور و فن آوری های GIS برای نظارت بر سیلاب و مدل سازی سیل

مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط GIS، پهنه بندی سیلاب با دوره بازگشت های ۱۰، ۲۰ و ۵۰ سال را انجام دادند. دسیلوا و همکاران (۵) با به کارگیری مدل اقدام به شبیه سازی هیدرولوژیکی HEC-HMS حوضه رودخانه ی کلانی در سریلانکا کردند که نتایج حاصله از شبیه سازی حاکی از دقت بالای مدل مذکور داشت. رحمانی و همکاران (۱۶) ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر ویژگی های هیدرولوژیک حوضه آبخیز کسپلیان را انجام دادند. از تصاویر سنجنده های MSS، ETM⁺ و LISSIII به ترتیب مربوط به سال های ۱۳۵۶، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۶ برای ارزیابی تغییرات کاربری اراضی حوضه و از مدل HEC-HMS برای شبیه سازی بارش و رواناب استفاده گردیده است. نتایج نشان می دهد طی این دوره ۳۰ ساله ۹۸/۸ میلیون مترمکعب به حجم رواناب و ۱۱/۲ مترمکعب برثانیه به دبی اوج افزوده شده که ناشی از کاهش ۲۵۲ هکتار از سطح جنگل های منطقه می باشد. بنابراین، تغییرات اندک روی کاربری منطقه باعث تغییرات محسوس بر دبی اوج و حجم رواناب حوضه کسپلیان گردیده است. زوپ و همکاران (۲۱) تأثیر تغییر کاربری اراضی به کاربری مسکونی بر روی سیل در حوضه رودخانه اوشیوارا در بمبئی هند را با استفاده از مدل های HEC-GeoHMS و HEC-HMS مورد بررسی قرار دادند. آنها به این نتیجه دست یافتند که در ۴۳ سال گذشته (بین سال های ۱۹۶۶ و ۲۰۰۹) به دلیل تغییر کاربری اراضی، حجم و دبی حداکثر رواناب به ترتیب ۳/۳ و ۴/۴۵ درصد برای دوره بازگشت ۱۰۰ ساله و ۱۰/۴ و ۱۲/۲ درصد برای دوره بازگشت ۲ ساله افزایش یافته است. سراسکانرود و پورفراش زاده (۱۷) تغییرات کاربری زمین و اثرات آن بر رژیم هیدرولوژیک حوضه های اصلی شهرستان بینالود را با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد کاهش سطح مراتع و افزایش زمین های بایر بسیار چشمگیر بوده است و رابطه معنی داری بین تغییرات مساحت کاربری های و تغییرات دبی حوضه زیربند گلستان وجود دارد که همبستگی منفی حاصل بین مساحت کاربری مرتع و دبی حوضه از نتایج مهم پژوهش بود. سوریا و مادگال (۱۸) تأثیر

پژوهش بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک 28×28 متر به جای نقشه‌برداری زمینی به منظور افزایش سرعت انجام کار و کاهش هزینه‌های مطالعات طرح‌ها و پروژه‌های آبی و مهندسی رودخانه می‌باشد. تصاویر ASTER-DEM مدل رقومی ارتفاع با توان تفکیک 28×28 متر که بصورت رایگان از طریق درگاه اینترنتی قابل دسترس می‌باشد، دریافت گردید. سنجنده استر; ASTER; Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) فضای پیشرفته ناشی از انتشار و بازتاب حرارتی که روی ماهواره‌ی Terra نصب گردیده به طور مشترک توسط آژانس فضایی آمریکا (ناسا) و آژانس فضایی ژاپن در مدار قرار گرفته است. این ماهواره پوشش کاملی از توپوگرافی سطح زمین در اختیار قرار می‌دهد.

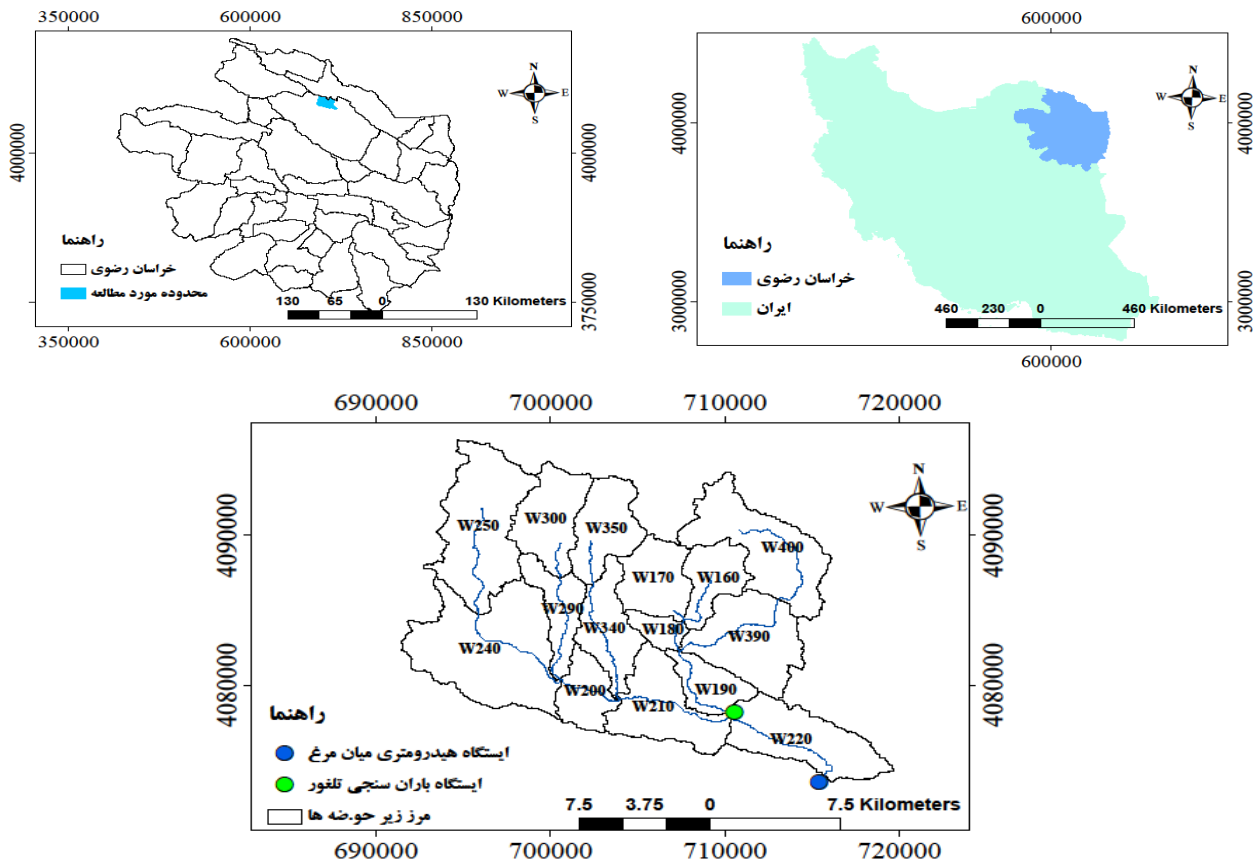
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

مشخصات اقلیمی و جغرافیایی محدوده مورد مطالعه این مطالعه در حوضه آبریز رودخانه ارداک در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان مشهد طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ انجام شد. این منطقه در مختصات جغرافیایی، $59^{\circ} 5' 4''$ تا $18''$ تا $28'$ و 59° طول شرقی و $4''$ $47'$ $36''$ تا $4''$ $59'$ $36''$ عرض شمالی قرار دارد. وسعت حوضه آبریز تا محل ایستگاه هیدرومتری میان مرغ 356 کیلومتر بوده و به 15 زیرحوضه تقسیم شده است (شکل ۱). در داخل حوضه آبریز و در روستای تلغور یک ایستگاه باران سنجی به همین نام وجود دارد که از داده‌های دو ایستگاه مذکور در شبیه‌سازی بارش رواناب استفاده گردید. متوسط دما و رطوبت نسبی در حوضه به ترتیب $7/7$ درجه سانتی گراد و 58 درصد بوده و میانگین بارندگی سالانه 304 میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان حدود 100 روز در سال می‌باشد. متوسط رواناب سالانه 33 میلیون متر مکعب و دبی پایه رودخانه 540 لیتر در ثانیه برآورد گردیده است. بر اساس اقلیم نمای آمبرژه حوضه آبریز مورد مطالعه در اقلیم نیمه سرد خشک قرار می‌گیرد (۴).

استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد، خروجی مدل از پهنه سیلاب دقت لازم را ندارد. زیرا خروجی مدل با وضعیت واقعی تفاوت قابل توجهی داشت. هاشمیان و همکاران (۸) برای شبیه‌سازی سیل در حوضه خشکه رود استان فارس از ترکیب دو مدل HEC-HMS, HEC-RAS و GIS استفاده و مدل‌ها را با داده‌های بارش با دوره بازگشت 10 و 20 ، 50 ، 100 ساله ایستگاه‌ها و باران سنج کالیبره کردند. نتایج نشان داد که استفاده از این مدل‌ها به همراه نرم افزاراز کارایی بالایی برخوردار است. آنها استفاده از این مدل‌ها را برای برنامه ریزی مناطق مسکونی و کشاورزی مناسب می‌دانند. ولیزاده و همکاران (۱۹) پهنه‌بندی سیلاب و تأثیر آن بر کاربری اراضی محیط پیرامونی با استفاده از تصاویر پهپاد و سیستم اطلاعات جغرافیایی را انجام دادند. نتایج نشان داد با افزایش دوره بازگشت که مطابق با آن دبی نیز زیاد می‌شود؛ پهنه‌های سیل‌خیز افزایش یافته و همچنین مشخص گردید به ترتیب باغات، اراضی بایر و مناطق مسکونی بیش‌تر از سایر کاربری‌ها تحت تأثیر سیل قرار می‌گیرند.

همان‌طور که ملاحظه شد، پژوهش‌هایی پیرامون استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات هیدرولوژی و حوضه‌های آبخیز انجام شده است، اما در این پژوهش برای اولین بار امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه رودخانه و استخراج مقاطع عرضی آن برای پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر بستر رودخانه ارداک در بالادست سد ارداک، به طور گسترده تصرف و تغییر کاربری داده شده است. این امر باعث شده است تا تعداد حوادث سیل افزایش و کمیت و کیفیت آب سد ارداک که بخشی از آب شرب شهر مشهد را تامین می‌نماید، کاهش یابد. برای مدیریت سیل و حفاظت کمی و کیفی از سد ارداک، پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه ارداک ضروری می‌باشد. در حال حاضر برای انجام این کار ابتدا باید نقشه برداری زمینی انجام می‌شود. نقشه برداری زمینی برای تهیه نقشه رودخانه و استخراج مقاطع عرضی آن مستلزم صرف زمان طولانی و هزینه زیادی است. بنابراین هدف از این

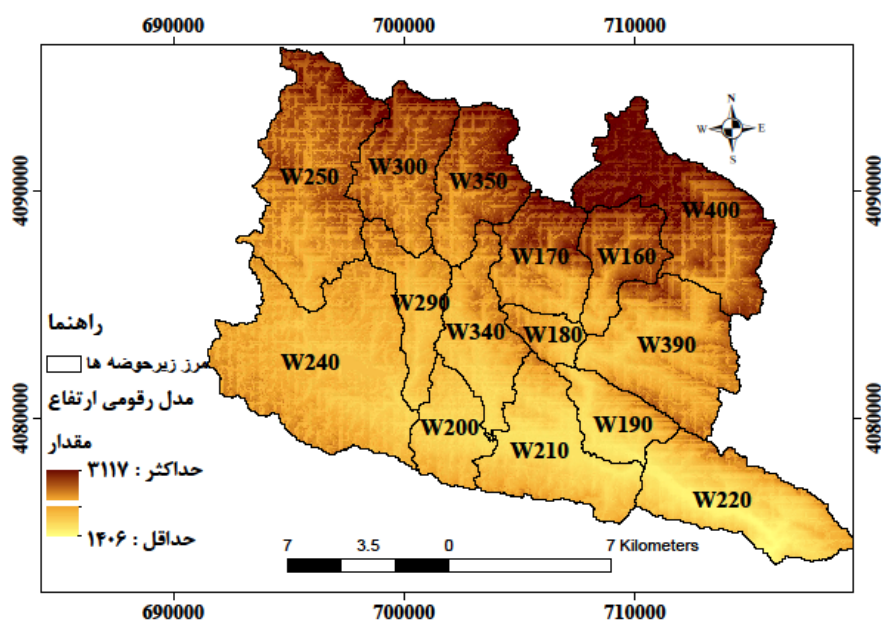


شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه در استان و ایران و تقسیم بندی زیرحوضه‌ها
 Fig. 1. Location of the study area in the province and Iran

فیزیوگرافی حوضه آبریز

حوضه آبریز و زیرحوضه‌ها مدل هیدرولوژیکی HEC-GeoHMS به کار گرفته شد. به منظور شناخت بهتر خصوصیات هیدرولوژیکی واحدهای مختلف و به کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در برآورد و پهنه‌بندی دقیق‌تر سیل، حوضه آبخیز به ۱۵ زیرحوضه کوچکتر تقسیم‌بندی شد (جدول ۱؛ شکل ۲).

برای ترسیم حوضه آبریز و زیرحوضه‌ها و همچنین استخراج پارامترهای فیزیکی آنها از تصاویر ماهواره‌ای ASTER مربوط به سال ۱۳۹۵ و نرم افزار HEC-GeoHMS استفاده شد. در این پژوهش از مدل D8 برای تعیین مرز حوضه آبریز و زیرحوضه‌ها و استخراج پارامترهای فیزیکی از DEM استفاده شد. برای مکانیزه کردن فرایند تهیه فیزیوگرافی



شکل ۲. مدل رقومی ارتفاع (DEM) محدوده مورد مطالعه

Fig. 2. Digital height model (DEM) of the study area

جدول ۱. مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها

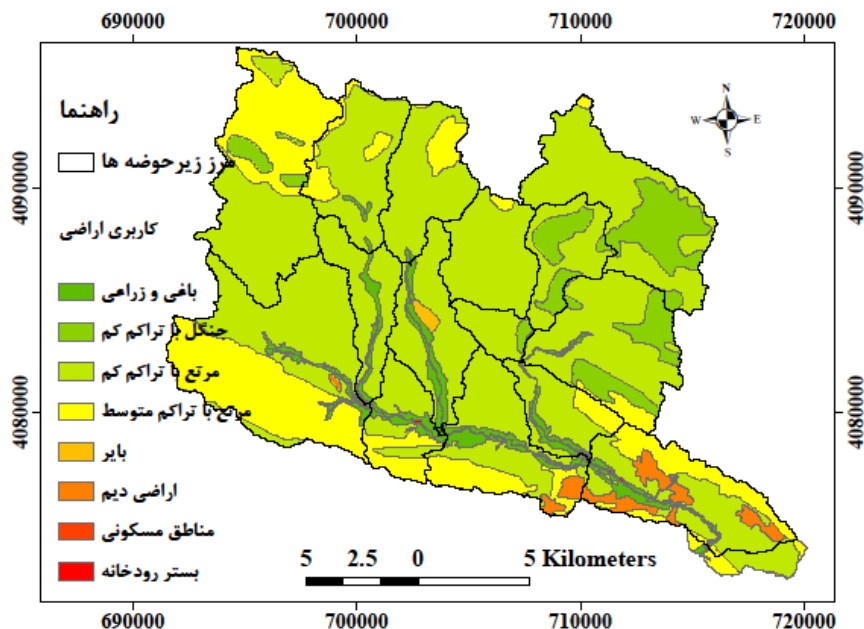
Table 1. Physical characteristics of sub-basins

ردیف	نام زیرحوضه	مساحت (KM ²)	محیط (KM)	طول آبراهه (KM)	زمان تمرکز (MIN)	زمان تاخیر (MIN)
۱	W240	۵۳	۵۴	۱۴	۴۵	۲۷
۲	W390	۳۲	۳۴	۱۲	۵۵	۳۳
۳	W340	۱۹	۳۴	۱۳	۳۸	۲۳
۴	W290	۱۴	۳۱	۱۲	۷۵	۴۵
۵	W160	۱۴	۲۵	۹	۴۵	۲۷
۶	W170	۱۸	۲۵	۱۰	۷۵	۴۵
۷	W180	۶	۱۵	۷	۸۹	۵۳
۸	W190	۱۲	۲۳	۸	۱۰۴	۶۲
۹	W200	۱۳	۲۳	۶	۷۶	۴۶
۱۰	W210	۲۷	۳۹	۱۱	۸۱	۴۹
۱۱	W220	۲۹	۳۵	۱۱	۷۶	۴۶
۱۲	W250	۴۱	۴۹	۱۵	۹۵	۵۷
۱۳	W300	۲۱	۳۱	۱۰	۶۱	۳۷
۱۴	W350	۲۰	۲۸	۹	۵۶	۳۴
۱۵	W400	۳۶	۴۸	۱۵	۸۰	۴۸
	کل حوضه	۳۵۶	۱۵۴	۵۷	۳۴۵	۲۰۷

نقشه کاربری اراضی

نقشه اولیه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۵ از اداره کل منابع طبیعی استان اخذ گردید. برای دقیق کردن نقشه کاربری اراضی، بستر موجود رودخانه و حاشیه آن که پوشیده از اراضی زراعی و باغی بود در محیط گوگل ارث ترسیم و با بازدید میدانی در طی یک ماه در سال ۱۳۹۵ و پیمایش صحرایی رودخانه اصلی به طول ۲۵ کیلومتر و نیز از طریق تصویربرداری به وسیله پهباد کاربری اراضی حوضه آبریز کنترل شد. بدین ترتیب که با استفاده از مشاهدات صحرایی و برداشت‌های

میدانی و با بهره گیری از تصاویری که با پهباد تهیه شده بود کاربری اراضی زیرحوضه ها در مکان هایی که با واقعیت مطابقت نداشت روی نقشه اصلاح گردید. همچنین نقشه بستر موجود رودخانه و حاشیه آن به مساحت ۱۳۱۲ هکتار معادل ۳/۷ مساحت کل حوضه تهیه و این نقشه به عنوان یک لایه جدید به نقشه کاربری اراضی حوضه اضافه شد. در نهایت روی نقشه کاربری اراضی مرز زیرحوضه‌ها در محیط GIS مشخص و رقمی گردید (شکل ۳).



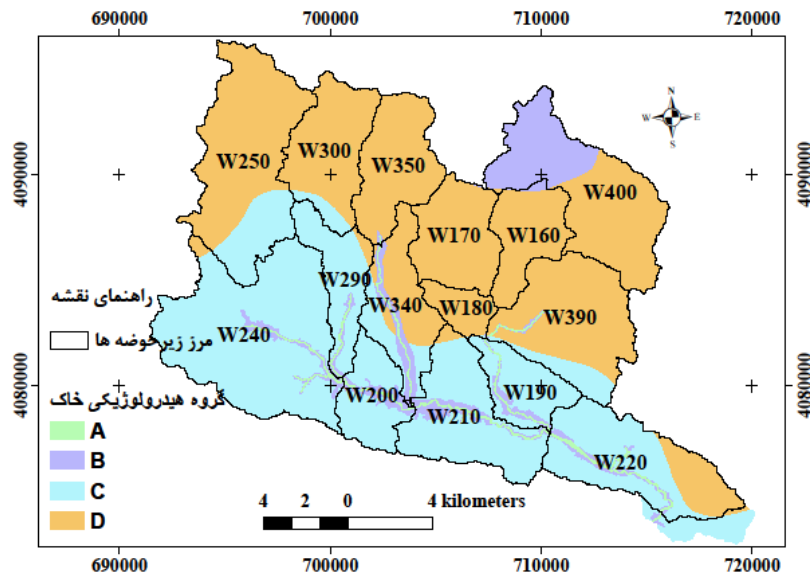
شکل ۳. نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

Fig. 3. land use map of the study area

نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک

نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه مورد مطالعه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شد. نقشه مذکور در محیط GIS

رقومی و سپس مرز زیرحوضه‌ها بر روی نقشه مشخص گردید. در نتیجه گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها در گروه‌های B، C و D قرار گرفتند (شکل ۴).



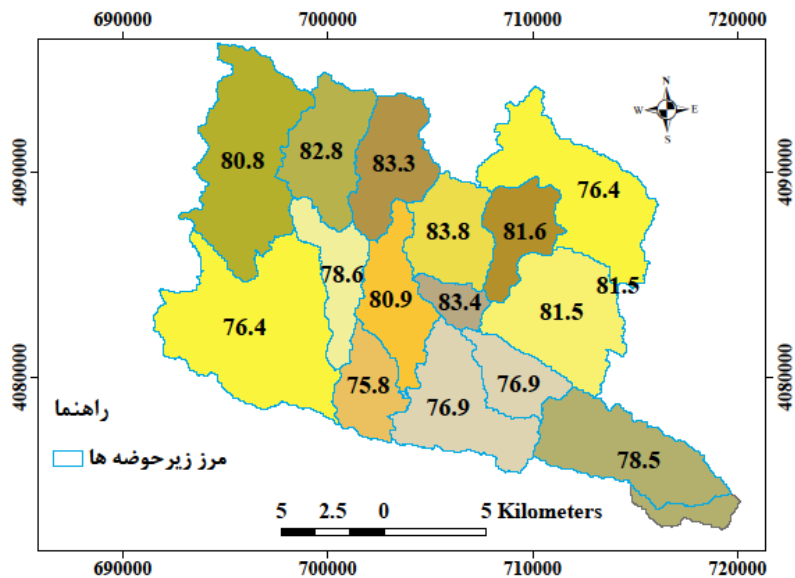
شکل ۴. نقشه گروه هیدرولوژیکی خاک محدوده مورد مطالعه

Fig. 4. Soil Hydrological Group Map of the study area

حوضه آبریز برای شرایط رطوبتی متوسط تهیه گردید. بر روی این نقشه مرز زیرحوضه‌ها تعیین و پس از آن متوسط CN هر زیرحوضه محاسبه شد (شکل ۵).

نقشه شماره منحنی (CN)

بعد از تهیه نقشه‌های کاربری ارضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های یادشده با یکدیگر تلفیق و در نتیجه نقشه CN



شکل ۵. نقشه CN متوسط زیرحوضه‌ها برای شرایط رطوبتی متوسط

Fig. 5. Medium CN sub-maps for medium humidity conditions

اجرای مدل HEC-HMS

در این رابطه‌ها؛ Q_2 دبی جریان خروجی در انتهای هر گام زمانی، O_1 دبی جریان خروجی در ابتدای هر گام روندیابی، C_1 ، C_2 و C_3 ضرایب روندیابی، I_1 و I_2 دبی جریان ورودی در ابتدا و انتهای هر گام زمانی روندیابی، ΔT گام زمانی روندیابی، K ضریب تناسب یا ثابت ذخیره می‌باشد که دارای بعد زمان بوده و معادل زمان عبور سیل در بازه آبراهه است، X ضریب بدون بعدی است که درجه اهمیت I و O را در تعیین ظرفیت رودخانه نشان می‌دهد.

مدل هواشناسی در بخش مدل هواشناسی حوضه باید داده‌های بارندگی، تبخیر و تعرق و داده‌های مشاهده‌ای سیلاب برای شبیه سازی وارد شود.

شاخص کنترلی زمان تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه سازی بارش و رواناب در فاصله زمانی مورد نظر در این بخش به مدل معرفی می‌شود. کار اصلی مشخصه‌های کنترل، کنترل سرعت و دقت محاسبات است. محاسبه زمان تمرکز: برای محاسبه زمان تمرکز یعنی مدت زمان رسیدن رواناب از دورترین نقطه حوضه به نقطه خروجی از روش کریچ استفاده شد. معادله کریچ برای تخمین زمان تمرکز به صورت زیر است.

$$t_c = 0.0949 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad [9]$$

در این رابطه؛ t_c زمان تمرکز بر حسب ساعت، L طول آبراهه اصلی به کیلومتر و H اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پایین‌ترین نقطه حوضه

محاسبه زمان تاخیر: زمان تاخیر، فاصله زمینی بین مرکز ثقل بارش مازاد و مرکز ثقل هیدروگراف می‌باشد و غالباً به جای آن زمان تاخیر تا اوج هیدروگراف در نظر گرفته می‌شود که به طریق زیر طبق پیشنهاد سازمان حفاظت خاک امریکا قابل محاسبه است.

$$T_{lag} = 0.6t_c \quad [10]$$

ساختار مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS برای شبیه سازی بارش و رواناب شامل ۳ بخش اصلی مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص کنترلی زمان می‌باشد.

مدل حوضه در این قسمت، حوضه بصورت شماتیک مشتمل بر زیرحوضه‌ها، اتصال آن‌ها به یکدیگر و بازه‌ها که از طریق الحاقیه HEC-GeoHMS تهیه شده بود به مدل معرفی گردید. سپس باید روش مناسبی برای تعیین تلفات اولیه رواناب، آب پایه و روندیابی سیل در رودخانه انتخاب و اطلاعات فیزیکی حوضه آبریز وارد مدل گردد. در این پژوهش برای شبیه سازی رواناب و روند یابی سیل که به ترتیب از روش SCS و ماسکینگام استفاده شده است (۱).

$$Q_p = \frac{0.0208 AR}{T_p} \quad [1]$$

$$R = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad [2]$$

$$S = \frac{2540}{CN} - 25. \quad [3]$$

$$T_p = 0.6T_c + \sqrt{T_c} \quad [4]$$

در این رابطه‌ها؛ A مساحت حوضه (هکتار)، R مقدار رواناب (سانتی متر)، T_p زمان رسیدن به حداکثر دبی (ساعت)، S نگهداشت سطحی آب (سانتی متر)، T_c زمان تمرکز (ساعت)، CN شماره منحنی حوضه، P مقدار بارش (سانتی متر). رابطه ماسکینگام مورد استفاده برای محاسبات روندیابی به صورت زیر است (۱).

$$Q_2 = C_1 I_1 + C_2 I_2 + C_3 O_1 \quad [5]$$

$$C_1 = \frac{\Delta T + 2KX}{\Delta T + 2K - 2KX} \quad [6]$$

$$C_2 = \frac{\Delta T - 2KX}{\Delta T + 2K - 2KX} \quad [7]$$

$$C_3 = \frac{-\Delta T + 2K - 2KX}{\Delta T + 2K - 2KX} \quad [8]$$

واسنجی و اعتبار یابی مدل HEC-HMS

برای تکمیل مدل بارش و رواناب، هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، هایتوگراف متناظر آن و دبی مشاهده‌ای ماهانه ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوضه آبخیز به مدل HEC-HMS معرف گردید. از کل داده‌های موجود ایستگاه باران سنجی تلغور و ایستگاه هیدرومتری میان مرغ در مجموع ۲۱ واقعه بارش و رواناب بررسی و در نهایت تعداد ۵ واقعه با شرایط لازم و مناسب برای واسنجی و اعتباریابی مدل انتخاب

گردید (جدول‌های ۲ و ۳). تاریخ و زمان شروع و پایان شبیه سازی بارش و رواناب با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای (فاصله زمانی بایستی از ۲۹ درصد زمان تاخیر حوضه کمتر باشد)، به مدل معرفی شد. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مرحله واسنجی و اعتباریابی، با استفاده از شاخص‌های ناش-ساتکلیف رابطه ۱۱ و اریبی مدل رابطه ۱۲ مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲. توزیع بارش‌ها برای مرحله واسنجی مدل HEC-HMS

Table 2. Distribution of precipitation for the HEC-HMS model calibration step

توزیع بارش در تاریخ ۹۳/۱۲/۱			توزیع بارش در تاریخ ۹۰/۰۳/۲۱			توزیع بارش در تاریخ ۹۳/۰۳/۱۱		
مقدار بارش (MM)	زمان	ردیف	مقدار بارش (MM)	زمان	ردیف	مقدار بارش (MM)	زمان	ردیف
۰	۲۱:۳۰	۱	۰	۱۶:۰۰	۱	۰	۱۸:۰۲	۱
۱/۲	۲۱:۴۵	۲	۲/۵	۱۶:۱۵	۲	۳	۱۸:۱۷	۲
۲	۲۲:۰۰	۳	۴/۷	۱۶:۳۰	۳	۵/۵	۱۸:۳۲	۳
۲/۴	۲۲:۱۵	۴	۵/۱	۱۶:۴۵	۴	۷/۴	۱۸:۴۷	۴
			۵/۲	۱۷:۰۰	۵	۷/۶	۱۹:۰۲	۵
						۷/۶	۱۹:۱۷	۶
						۷/۶	۱۹:۳۲	۷

جدول ۳. توزیع بارش‌ها برای مرحله اعتباریابی مدل HEC-HMS

Table 3. Distribution of precipitation for the HEC-HMS model validation Step

توزیع بارش در تاریخ ۹۵/۰۳/۲۵			توزیع بارش در تاریخ ۹۴/۰۱/۰۳		
مقدار بارش (MM)	زمان	ردیف	مقدار بارش (MM)	زمان	ردیف
۰	۱۵:۳۴	۱	۰	۱:۱۵	۱
۵/۲	۱۵:۴۹	۲	۲/۸	۱:۳۰	۲
۷	۱۶:۰۴	۳	۴/۸	۱:۴۵	۳
۷/۴	۱۶:۱۹	۴	۶/۸	۲:۰۰	۴
			۷/۳	۲:۱۵	۵
			۷/۸	۲:۳۰	۶
			۸	۲:۴۵	۷

مقدار بیشتر از ۰/۵ این فاکتور نشان دهنده شبیه‌سازی خوب و مقدار بیشتر از ۰/۷۵ بیانگر کارایی عالی توسط مدل است. رابطه آن عبارت است از:

ضریب نش-ساتکلیف (NS) اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی نهایت تغییر می‌کند.

و الحاقیه HEC-GeoRAS به کارگرفته شد. برای اطلاعات رقومی محدوده مورد مطالعه و ایجاد لایه TIN هم از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۸×۲۸ متر وهم از نقشه‌ی توپوگرافی رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰، استفاده گردید. با بهره‌گیری از الحاقیه HEC-GeoRAS در محیط GIS فایل هندسی برای استفاده در مدل HEC-RAS شامل اطلاعاتی در مورد خط مرکزی رودخانه، خطوط سواحل، مسیرهای جریان و مقاطع عرضی رودخانه تهیه شد. در پروژه حاضر در شاخه امرودک از آنجاییکه مقرر بود پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام و با روش نقشه برداری زمینی مقایسه شود، در طول ۸ کیلومتر از رودخانه ۲۰۰ مقطع عرضی از تصاویر ماهواره‌ای و ۲۰۰ مقطع عرضی دیگر با موقعیت‌های مشابه از نقشه برداری زمینی استخراج گردید.

تهیه مقاطع عرضی با استفاده از نقشه برداری زمینی

تهیه مقاطع عرضی به دو روش برداشت نقاط زمینی مقاطع عرضی و یا از طریق انجام عملیات نقشه برداری زمینی و تهیه نقشه توپوگرافی منطقه و در نهایت استخراج مقاطع عرضی بر مبنای آن امکان پذیر است. در این پژوهش برای تهیه نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۰۰۰، عملیات نقشه‌برداری در طول ۸ کیلومتر از رودخانه با استفاده از GPS سه فرکانسه اجرا گردید. پس از آن مقاطع عرضی رودخانه از مدل رقومی زمینی در قالب شبکه نامنظم مثلثی (TIN) استخراج شد.

تهیه مقاطع عرضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

مدل رقومی ارتفاع (DEM) هم می‌تواند از نقشه‌های توپوگرافی و هم از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شود. با توجه به اینکه مقاطع عرضی از مدل رقومی زمینی در قالب شبکه نامنظم مثلثی (TIN) قابل استخراج می‌باشد، بنابراین به منظور تهیه نقشه TIN، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۸×۲۸ متر از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> دریافت شد. با به کارگیری الحاقیه HEC-GeoRAS و DEM دریافتی از

$$C_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (Q_{Si} - Q_{Oi})^2}{\sum_{i=0}^n (Q_{Oi} - Q_0)^2} \quad [11]$$

به انحراف سیستماتیک برآوردهای انجام شده از یک صفت از مقدار واقعی آن، آریبی گفته می‌شود (رابطه ۱۲).

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=0}^n Q_{Si}}{\sum_{i=0}^n Q_{Oi}} - 1 \quad [12]$$

در این رابطه؛ Q_{Si} و Q_{Oi} به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و شبیه سازی شده و Q_0 مقدار دبی متوسط مشاهده‌ای است.

تعیین رگبارهای طرح و توزیع زمانی بارش

برای ارزیابی پاسخ حوضه آبخیز به رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف یا به عبارتی تعیین هیدروگراف‌های سیل با دوره برگشت‌های متفاوت، لازم بود رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف و توزیع زمانی بارش تعیین گردند. برای این منظور جدول شدت مدت و فراوانی ایستگاه باران سنجدی تلغور مورد استفاده قرار گرفت. بنابراین بارش‌های با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال از روی جدول یادشده در پایه زمان تمرکز زیرحوضه‌ها استخراج گردید. در مرحله بعد هایتوگراف با فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای برای دوره بازگشت‌های مذکور محاسبه و توزیع زمانی بارش برای ورود به مدل HEC-HMS تعیین شد.

پاسخ حوضه آبریز به رگبارهای با دوره بازگشت‌های مختلف

پس از آن که با لحاظ پارامترهای بهینه هایتوگراف بارش مربوط به دوره بازگشت‌های یادشده در پایه زمان تمرکز حوضه وارد مدل HEC-HMS گردید، مدل اجرا و سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف شبیه سازی شد.

ایجاد لایه های RAS با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS

اطلاعات هندسی رودخانه در قالب مقاطع عرضی یکی از مهمترین اجزای مدل سازی هیدرولیکی به شمار می رود. از این حیث برای استخراج پارمترهای هندسی مدل HEC-RAS

انجام محاسبات برای جریان ماندگار و رژیم جریان مختلط (جریان بحرانی و زیر بحرانی).

پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه

نتایج حاصل از مدل سازی جریان رودخانه در نرم افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS به محیط GIS منتقل گردید. در محیط مذکور با هدف پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه مرحله‌ای به شرح ذیل صورت پذیرفت؛ تولید لایه گستره سیل یا همان محدوده آب گرفتگی رودخانه و زمین‌های اطراف آن. ایجاد لایه تغییرات سرعت و عمق جریان آب. تولید لایه حاصلضرب عمق در سرعت جریان آب (این لایه در تعیین حدبستر رودخانه کاربرد خواهد داشت). استخراج لایه تغییرات حاصلضرب عمق در سرعت جریان آب برای شرایطی که حاصل آن کمتر از ۱ می‌باشد ($V \times D < 1$) و سپس ترسیم حد بستر رودخانه. آن بخش از سطح مقطع جریان که حاصلضرب سرعت جریان در عمق در آن کمتر از ۱ مترمربع بر ثانیه است، بستر رودخانه محسوب نمی‌شود سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی.

نتایج

مدل سازی بارش و رواناب

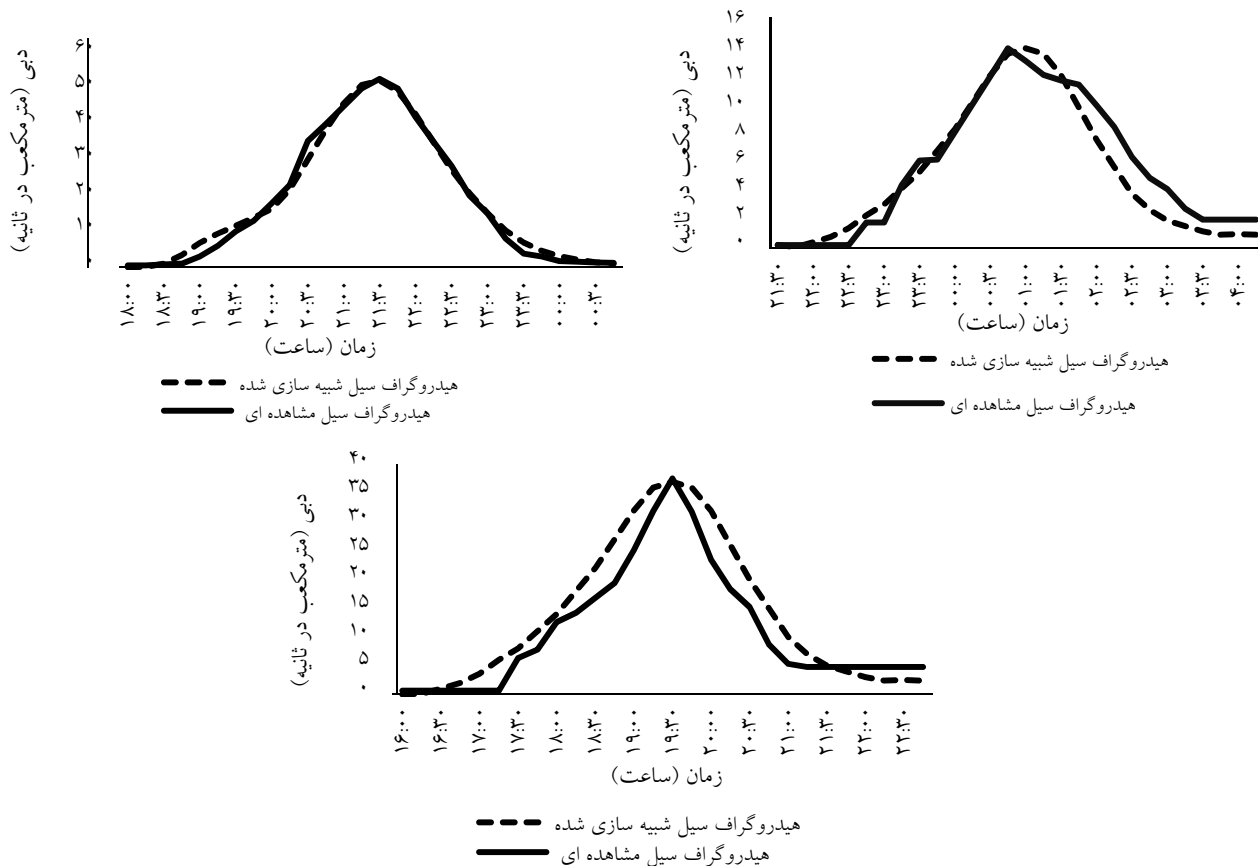
اطلاعات مربوط به مدل حوضه، مدل هواشناسی و مدل شاخص کنترلی به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS معرفی و مدل اجرا گردید. با توجه به آمار و اطلاعاتی که در اختیار بود، برای سه واقعه بارش و رواناب، مدل واسنجی و برای دو واقعه بارش و رواناب دیگر مدل اعتباریابی شد در این مرحله هیدروگراف‌های شبیه سازی شده با هیدروگراف‌های مشاهده شده، مقایسه گردید (شکل ۶). کارایی مدل در شبیه سازی هیدروگراف در مرحله واسنجی و اعتبار یابی با استفاده از شاخص‌های ناش ساتکلیف و اریبی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه مقادیر شاخص ناش ساتکلیف بیش از ۰/۷۵ بدست آمد، بنابراین نتایج نشان دهنده کارایی

آدرسی که گفته شد مقاطع عرضی رودخانه در همان موقعیتی که مقاطع عرضی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه شده بود، استخراج گردید. این مقاطع دقت لازم را نداشته و قابل استفاده در نرم افزار HEC-RAS برای مدل سازی هیدرولوژیکی نبودند. بنابراین به منظور بهبود کیفیت تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک 28×28 متر و افزایش دقت آنها مراحل زیر اجرا شد؛ ابتدا خط القعر رودخانه با پیمایش مسیر رودخانه و برداشت مختصات آن با استفاده از GPS سه فرکانسه تهیه گردید. لایه خط القعر رودخانه در محیط GIS معرفی شد. در نرم افزار HEC-GeoHMS با اجرای مرحله Reconditioning نسبت به اصلاح مسیر رودخانه و مدل رقومی ارتفاع (DEM) اقدام شد. در این مرحله با استفاده از ابزار Raster to TIN مدل شبکه نامنظم مثلث بندی (TIN) حوضه آبخیز مورد مطالعه از روی DEM تولید شد. برای رودخانه تعداد ۲۰۰ مقطع عرضی به فواصل تقریبی هر ۴۰ متر یک مقطع عرضی از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS استخراج شد.

اجرای مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS

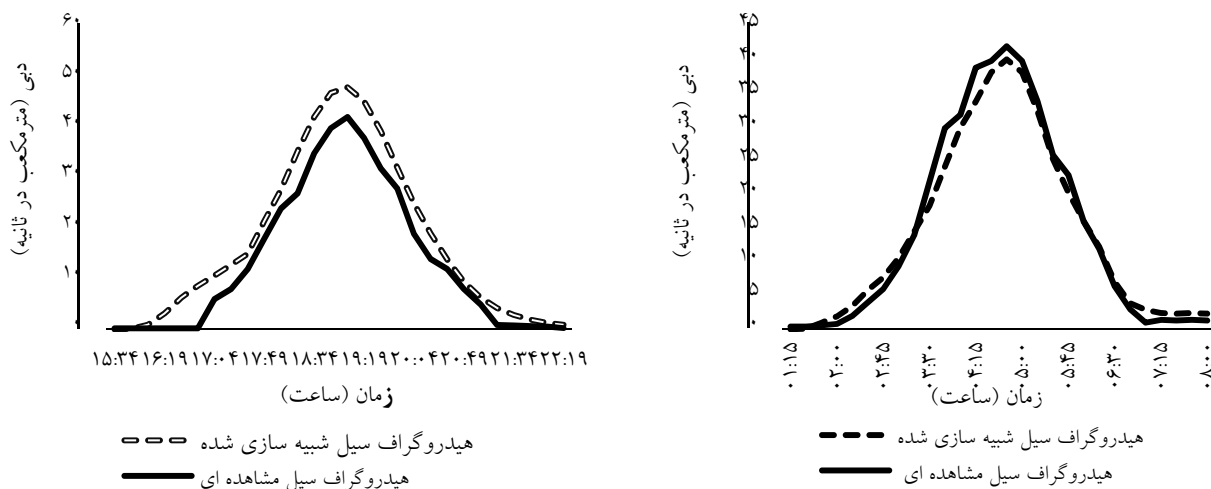
برای مدل سازی هیدرولوژیکی جریان رودخانه از مدل HEC-RAS استفاده و گام‌های به شرح ذیل اجرا شد؛ انتقال اطلاعات هندسی رودخانه از الحاقیه HEC-GeoRAS که در بخش قبلی راجع به آن توضیح داده شد به مدل HEC-RAS. وارد نمودن مقادیر ضریب زبری مانینگ سواحل راست و چپ و کانال اصلی رودخانه. میانگین مقادیر ضریب مانینگ برای بستر ۰/۳۵ و سیلابدشت‌های چپ و راست ۰/۵۵ تعیین گردید. ورود داده‌های مربوط به جریان رودخانه شامل دبی سیلاب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله که از اجرای مدل HEC-HMS حاصل شده بود. معرفی شرایط مرزی جریان (در این تحقیق با توجه به شیب، شرایط منطقه و اطلاعات موجود روش عمق نرمال انتخاب شد). میزان شیب در نظر گرفته شده برای بالادست و پایین‌دست بازه به ترتیب ۰/۰۱۷ و ۰/۰۱۴ است. اجرای مدل و

بسیار بالای مدل در شبیه سازی بارش و رواناب است (شکل ۷؛ جدول ۴).



شکل ۶. هیدروگراف سیل مشاهداتی و شبیه سازی شده حوضه آبریز در مرحله واسنجی

Fig. 6. Hydrographic flood of observed and simulated flood in the calibration stage



شکل ۷. هیدروگراف سیل مشاهداتی و شبیه سازی شده حوضه آبریز در مرحله اعتباریابی

Fig. 7. Hydrographic flood of observed and simulated flood in the validation stage

جدول ۴. نتایج ارزیابی کارایی مدل HEC-HMS در مراحل واسنجی و اعتباریابی

Table 4. Results of HEC-HMS model performance evaluation in the calibration and validation stages

Bias	Nash	تاریخ	مرحله مدل
-۰/۱۴	۰/۸۸	۹۳/۱۲/۱	واسنجی
۰/۲۲	۰/۹۹	۹۳/۳/۱۱	واسنجی
۰/۲۳	۰/۸۵	۹۰/۳/۲۱	واسنجی
۰/۰۲۶	۰/۹۸	۹۵/۳/۲۵	اعتباریابی
۰/۲۹	۰/۸۹	۹۴/۱/۳	اعتباریابی

رگبارهای با دوره بازگشت های مختلف

برای تعیین هیدروگراف سیل با دوره بازگشت های مختلف از اطلاعات جدول شدت -مدت- فراوانی ایستگاه باران سنجی تلغور واقع در حوضه آبریز مورد مطالعه استفاده شد. بر همین اساس و بر پایه زمان تمرکز زیر حوضه ها شدت بارش های با دوره برگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله محاسبه شد نتایج نشان داد حداقل شدت بارش در دوره بازگشت ۲ ساله ۶ و حداکثر شدت بارش در دوره بازگشت ۵۰۰ ساله ۵۱ میلی متر در ساعت می باشد (جدول ۵).

جدول ۵. شدت بارش (میلی متر در ساعت) بر پایه زمان تمرکز زیر حوضه ها برای دوره بازگشت های مختلف

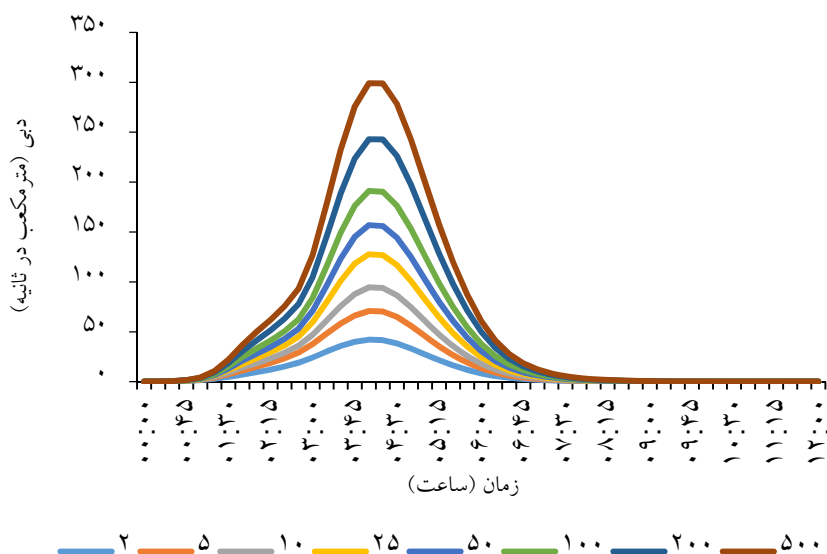
Table 5. Intensity of precipitation based on the concentration time of sub-basins for different return periods

ردیف	نام زیرحوضه	مساحت (KM ²)	زمان تمرکز (MIN)	دوره بازگشت (سال)							
				۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰	۵۰۰
۱	W160	۱۴	۴۵	۱۲	۱۹	۲۴	۳۰	۳۵	۳۹	۴۱	۴۷
۲	W170	۱۸	۵۵	۱۰	۱۶	۲۰	۲۶	۲۹	۳۳	۳۴	۳۹
۳	W180	۶	۳۸	۱۲	۱۹	۲۴	۳۰	۳۵	۳۹	۴۵	۵۱
۴	W190	۱۲	۷۵	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۲۹
۵	W200	۱۳	۴۵	۱۲	۱۹	۲۴	۳۰	۳۵	۳۹	۴۱	۴۷
۶	W210	۲۷	۷۵	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۲۹
۷	W220	۲۹	۸۹	۶	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۳
۸	W240	۵۳	۱۰۴	۶	۸	۱۰	۱۳	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰
۹	W390	۳۲	۷۶	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۲۹
۱۰	W340	۱۹	۸۱	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۴	۲۷
۱۱	W290	۱۴	۷۶	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۶	۲۹
۱۲	W250	۴۱	۹۵	۶	۱۰	۱۲	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۳
۱۳	W300	۲۱	۶۱	۹	۱۴	۱۷	۲۱	۲۵	۲۸	۳۱	۳۶
۱۴	W350	۲۰	۵۶	۹	۱۴	۱۷	۲۱	۲۵	۲۸	۳۴	۳۹
۱۵	W400	۳۶	۸۰	۸	۱۲	۱۴	۱۸	۲۰	۲۳	۲۴	۲۷

هیدروگراف سیل برای دوره بازگشت های مختلف

پس از ورود اطلاعات به نرم افزار HEC-HMS و واسنجی و اعتبار یابی مدل، اطلاعات رگبارهای با دوره بازگشت های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله و برای تداوم های معادل با زمان تمرکز هر زیرحوضه وارد مدل گردید، مدل اجرا و هیدروگراف سیل با دوره بازگشت های یادشده

تعیین شد خروجی مدل نشان داد حداقل دبی سیلاب در دوره بازگشت ۲ ساله ۴۳ مترمکعب در ثانیه و حداکثر دبی سیلاب در دوره بازگشت ۵۰۰ ساله ۲۹۵ مترمکعب در ثانیه می باشد که از این مقادیر برای تعیین حداقل و حداکثر پهنای بستر رودخانه استفاده گردید (شکل ۸).



شکل ۸. هیدروگراف سیل با دوره بازگشت های ۲ تا ۵۰۰ ساله حوضه آبخیز

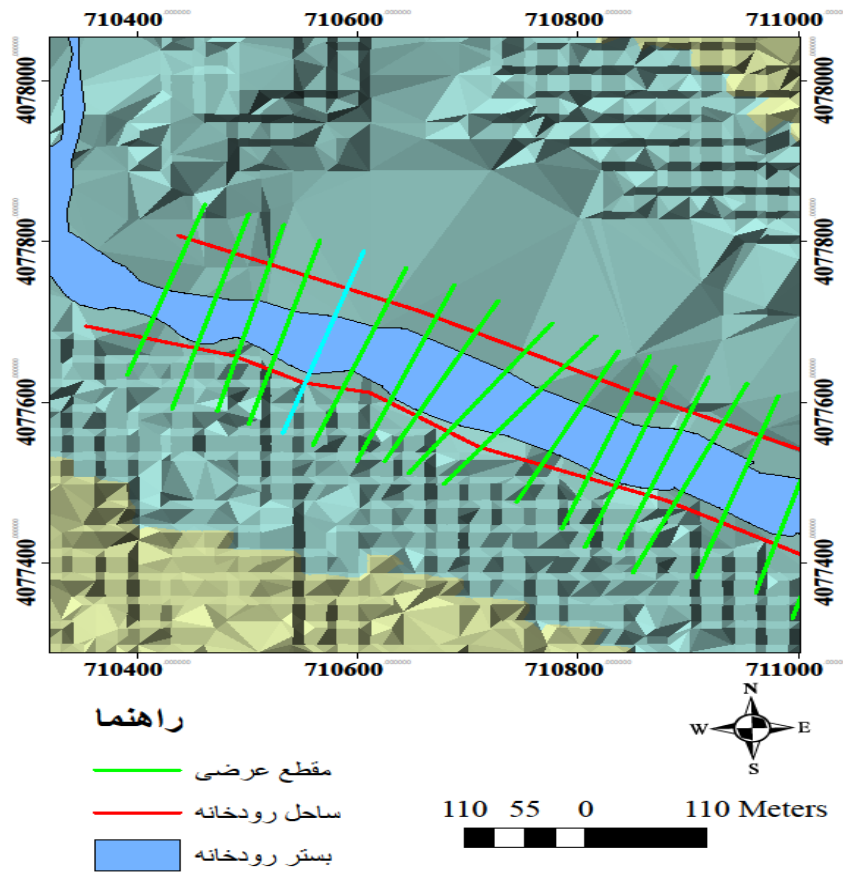
Fig. 8. Flood hydrograph with 2 to 500 year return period

مشخصات هندسی این مقاطع، هم با استفاده از تصاویر ماهواره ای و هم از طریق نقشه برداری زمینی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ استخراج شد. شکل های ۱۰ و ۱۱ نمونه مقطع عرضی رودخانه و تفاوت آن ها را در یک نقطه که هم با استفاده از نقشه برداری زمینی و هم از طریق تصاویر ماهواره ای استخراج گردیده است، نمایش می دهد.

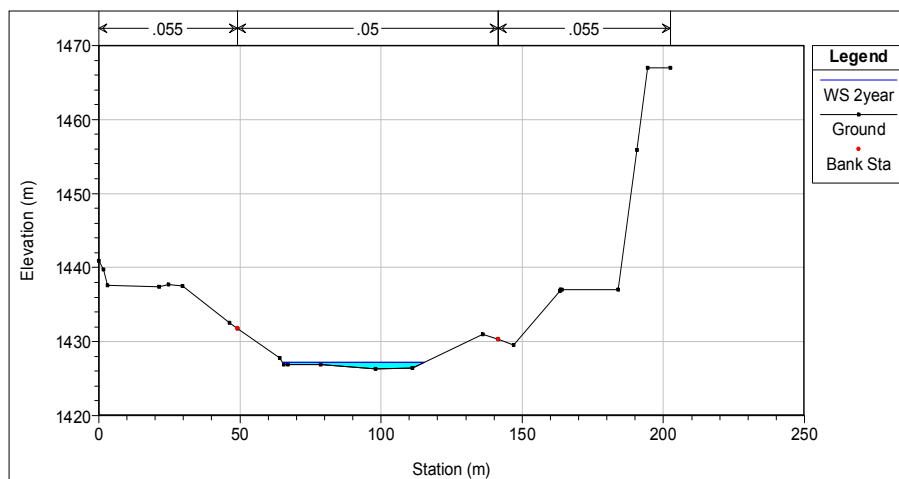
استخراج اطلاعات هندسی رودخانه با استفاده از الحاقیه

HEC-GeoRAS

با توجه به تهیه نقشه TIN از تصاویر ماهواره ای و با بهره گیری از الحاقیه HEC-GeoRAS، در طول ۸ کیلومتر مسیر رودخانه ارداک در شاخه امروک به فاصله حدود هر ۴۰ متر یک نقطه و در مجموع به تعداد ۲۰۰ نقطه برای تهیه مقاطع عرضی رودخانه مشخص و جانمایی گردید (شکل ۹). سپس



شکل ۹. جانمایی و استخراج مقاطع عرضی رودخانه در محیط HEC-GeoRAS
 Fig. 9. Location and extraction of river crossings in HEC-GeoRAS

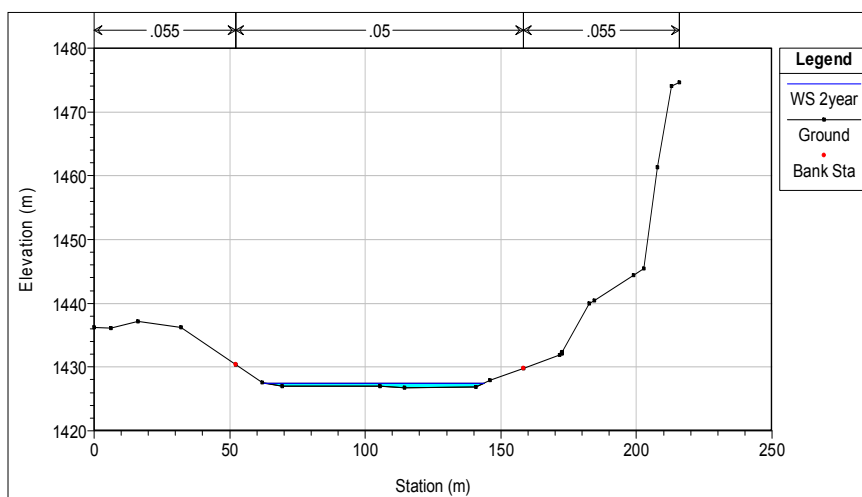


شکل ۱۰. نمونه مقطع عرضی و تراز سطح آب رودخانه استخراج شده از نقشه برداری زمینی
 Fig. 10. Cross-sectional sample and river water level extracted from ground map

محاسبات هیدرولیکی اجرای مدل HEC-RAS

پس از اینکه اطلاعات هندسی رودخانه، مقادیر ضریب زبری مانینگ، داده‌های مربوط به جریان رودخانه با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله و شرایط مرزی جریان به مدل HEC-RAS معرفی شد، مدل

برای جریان ماندگار و رژیم جریان مختلط (جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی) اجرا گردید. برای مقایسه در شکل ۱۲ نمونه استخراج مقطع عرضی و محاسبه تراز سطح آب رودخانه با استفاده از نقشه‌زمینی (تصویر سمت راست) و تصویر ماهواره‌ای (تصویر سمت چپ) نشان داده شده است.



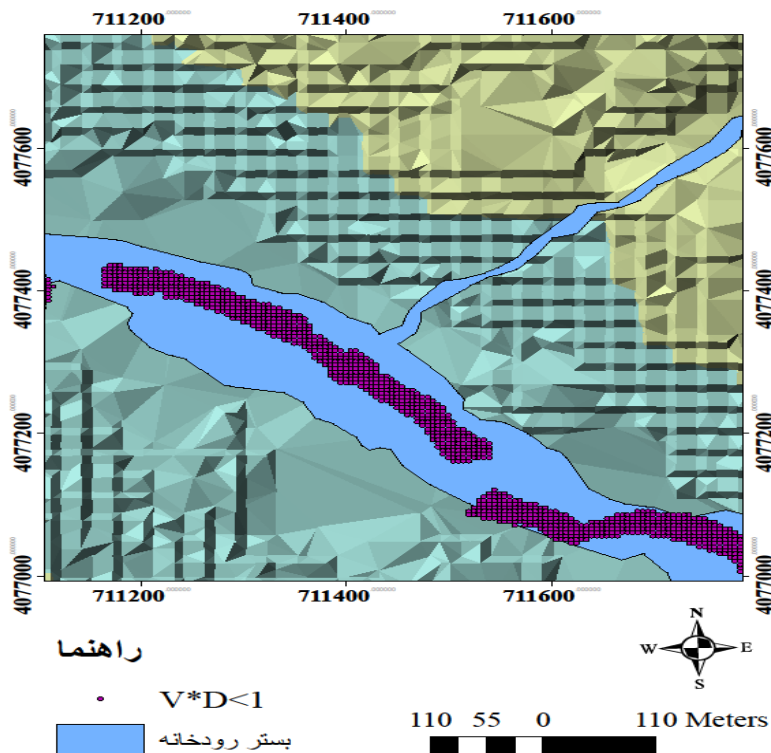
شکل ۱۱. نمونه مقطع عرضی و تراز سطح آب رودخانه استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 11. Cross-sectional sample and river water level extracted satellite images

پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر رودخانه

بعد از اجرای مدل HEC-RAS نتایج آن به الحاقیه HEC-GeoRAS منتقل گردید. در محیط این نرم افزار لایه‌های پهنه‌بندی سیل، تغییرات عمق و سرعت جریان آب، لایه حاصلرب عمق در سرعت جریان آب ($V \times D$) تولید و در نهایت خط بستر رودخانه با استفاده از عرض بالایی سطح آب،

ترسیم شد. در واقع در این مرحله پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه برداری زمینی انجام و عرض بالایی سطح آب در ۲۰۰ مقطع عرضی که در موقعیت مشابه در طول مسیر رودخانه جانمایی شده بودند، مورد بررسی و مقایسه قرارگرفت (شکل‌های ۱۲ و ۱۳؛ جدول ۶).



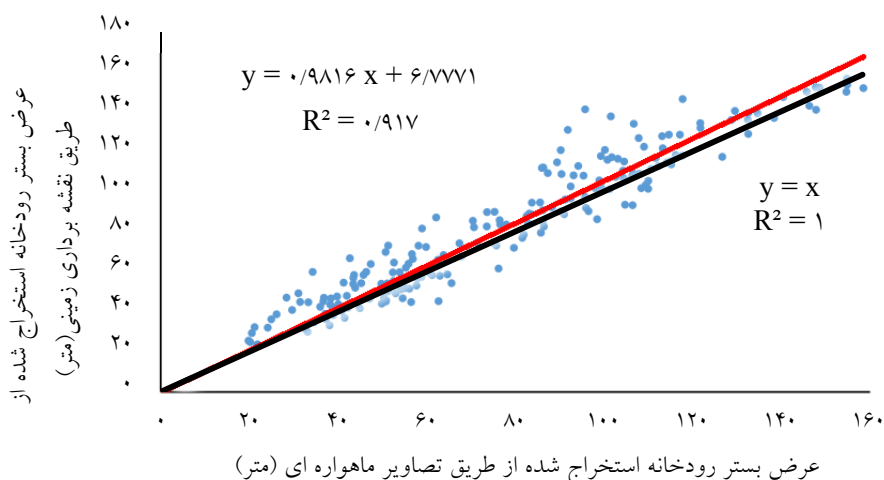
شکل ۱۲. مکان هندسی نقاطی از پهنه سیل که حاصلضرب سرعت در عمق جریان کمتر از ۱

Fig. 12. The geometrical location of points of the flood zone where the product of velocity in the flow depth is less than 1

جدول ۶. نمونه (از ۲۰۰ مقطع عرضی) مقادیر عرض بستر رودخانه (متر) استخراج شده از دو روش نقشه برداری زمینی (۱) و تصاویر ماهواره‌ای (۲)

Table 6. Sample (of 200 cross sections) River bed width (m) values extracted from two methods of ground vector mapping (1) and satellite imagery (2)

شماره مقطع	فاصله از خروجی حوضه (M)	عرض بستر رودخانه (۱)	عرض بستر رودخانه (۲)	اختلاف	درصد خطای نسبی
۱	۷۸۰۰	۹۱	۱۰۷	-۱۵	-۱۷
۲	۷۷۵۳	۹۳	۱۰۷	-۱۳	-۱۴
۳	۷۷۱۶	۸۵	۸۱	۴	۵
۴	۷۶۸۲	۸۹	۸۷	۲	۳
۵	۷۶۴۴	۸۸	۸۸	۰	۰
۶	۷۶۰۶	۷۲	۸۱	-۹	-۱۲
۷	۷۵۵۹	۸۷	۹۰	-۴	-۴
۸	۷۵۲۴	۹۱	۹۴	-۴	-۴
۹	۷۴۸۰	۸۴	۹۳	-۹	-۱۰
۱۰	۷۴۴۲	۷۶	۸۲	-۵	-۷
ادامه تا ۲۰۰	۶۵	۵۰	۷۲	-۲۱	-۴۲



شکل ۱۳. مقایسه استخراج عرض بستر رودخانه از دو روش نقشه برداری زمینی و تصاویر ماهواره‌ای

Fig. 13. Comparison of riverbed width extraction by two methods of terrestrial mapping and satellite imagery

تعیین حد بستر رودخانه پرهزینه، زمانبر و در مواردی با مشکلات اجرایی و اجتماعی همراه می‌باشد.

ترکیبی از نقشه زمینی و تصویر ماهواره‌ای در پهنه‌بندی سیل و تعیین حد بستر رودخانه

برای اینکه بتوان دقت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر رودخانه را افزایش داد، در نقاطی از مسیر رودخانه برداشت زمینی مقاطعی عرضی انجام و در هنگام مدل سازی هیدرولیکی جریان رودخانه در محیط HEC-RAS جایگزین مقاطع عرضی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای شد. سپس مدل برای حالت‌های مختلف برای ۶ مرتبه اجرا و نتایج اجرای مدل برای شرایط مختلف به شرح جدول ۷ و شکل ۱۴ بدست آمد. دقت تعیین حد بستر رودخانه ارداک در رابطه با تعداد مقاطع عرضی را که از نتایج این پژوهش است از رابطه ۱۴ برآورد گردید.

$$y=0.063x+11.95 \quad [14]$$

در این رابطه؛ X تعداد مقاطع عرضی رودخانه، Y درصد خطای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در پهنه بندی سیل و تعیین حد بستر رودخانه.

برای انجام اعتبارسنجی تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از شاخص اعتبارسنجی میانگین خطای نسبی به صورت زیر استفاده گردید.

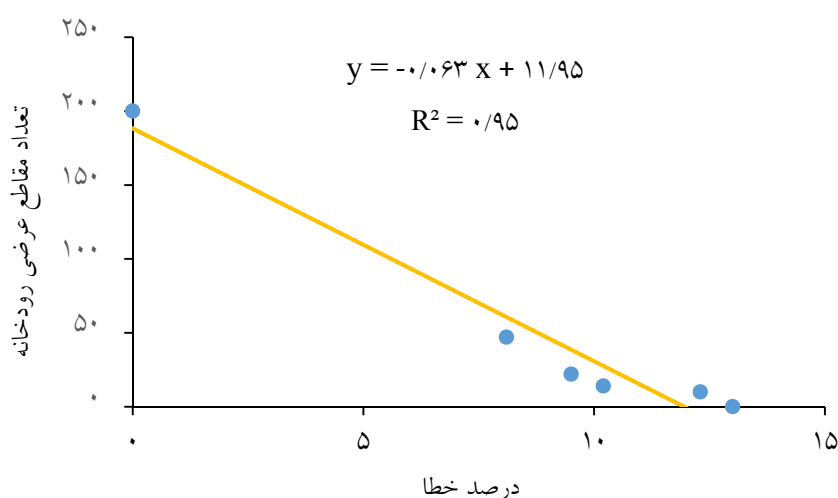
$$MRE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - x|}{|x|} \times 100 = 13.2\% \quad [13]$$

در این رابطه؛ x تعیین عرض بستر در هر مقطع از رودخانه با استفاده از نقشه برداری زمینی جدول ۶ ستون سوم، x_i تعیین عرض بستر در هر مقطع از رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای جدول ۶ ستون چهارم، n تعداد مقاطع عرضی رودخانه. با توجه به حاصل رابطه بالا مشاهده می‌شود که میانگین خطای نسبی تعیین حد بستر رودخانه ارداک در طول ۸ کیلومتر از آن در شاخه امرودک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مقایسه با روش استفاده از نقشه برداری زمینی ۱۳/۲ درصد بدست آمده است. این مقدار خطا با در نظر داشتن عدم قطعیت پارامترهای هیدرولژیکی به ویژه تعیین دبی حداکثر سیلاب در مطالعات پهنه بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه‌ها قابل قبول خواهد بود. اضافه بر این دسترسی به تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت ۲۸×۲۸ متر آسان، سریع و رایگان بوده، در صورتی که تهیه نقشه زمینی برای

جدول ۷. رابطه فاصله و تعداد مقاطع عرضی با خطای تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره ای

Table 7. The relationship between distance and number of cross sections with error in determining river bed limit using satellite images

ردیف	فاصله مقاطع عرضی (متر)	تعداد مقاطع عرضی	درصد خطا
۱	۸۰۰۰	۰	۱۳
۲	۸۰۰	۱۰	۱۲/۳
۳	۵۵۰	۱۴	۱۰/۲
۴	۳۵۰	۲۲	۹/۵
۵	۱۵۰	۴۷	۸/۱
۶	۴۰	۲۰۰	۰



شکل ۱۴. رابطه تعداد مقاطع عرضی با خطای تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره ای

Fig. 14. The relationship between the number of cross sections and the error of determining the riverbed using satellite images

بحث و نتیجه گیری

برای آب شرب شهر مشهد استفاده می شود. از این جهت حفاظت کمی و کیفی از آب سد ارداک بسیار ضروری خواهد بود. برای ترسیم حوضه آبریز و استخراج پارامترهای فیزیکی آن از تصاویر ماهواره ای ASTER و نرم افزار HEC-GeoHMS استفاده شد. نقشه بستر موجود رودخانه و حاشیه آن تهیه و به عنوان یک لایه جدید به نقشه کاربری اراضی حوضه اضافه شد. برای شبیه سازی بارش و رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. ابتدا برای پنج واقعه بارش و رواناب مدل واسنجی و اعتبار یابی گردید. سپس هایتوگراف بارش مربوط به دوره بازگشت های مختلف در پایه زمان تمرکز حوضه به مدل HEC-HMS معرفی شد. مدل اجرا و سیلاب با دوره بازگشت های مختلف شبیه سازی شد. اطلاعات

در سال های اخیر تصرف روز افزون بستر و حریم رودخانه ها و تغییر کاربری آنها سبب شده است تا کمیت و کیفیت منابع آب با چالش جدی مواجه باشند. از طرفی افزایش تعداد حوادث سیل به دلیل کاهش عرض رودخانه مشکل دیگری است که باید به آن توجه شود. پس برای حفاظت و مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب، شناخت و تعیین حد بستر و حریم رودخانه ها ضروری به نظر می رسد. این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از تصاویر ماهواره ای در مدل سازی هیدرولوژیکی و تعیین حد بستر رودخانه ها در رودخانه ارداک که در بالادست سد ارداک قرار دارد، اجرا شد. آب جاری در رودخانه مذکور در سد ارداک ذخیره شده و از آن

جایگزین مقاطع عرضی بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای شود، خطای استفاده از روش تصاویر ماهواره‌ای برای پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه به ۸/۱ درصد کاهش خواهد یافت. هاشمیان و همکاران (۸)، و خانقان و مجردی (۱۰) رفتار هیدرولیکی رودخانه را بررسی و پهنه‌بندی سیلاب را با استفاده از نقشه‌برداری زمینی با مقیاس‌های مختلف انجام دادند. سوریا و مادگال (۱۸) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و فن‌آوری‌های GIS نقشه پهنه بندی سیل را تهیه کردند اما تفاوت خروجی مدل با وضعیت واقعی پهنه سیلاب را مورد مقایسه قرار ندادند. نیکونوروف و همکاران (۱۳) از داده های سنجش از دور برای نظارت بر سیلاب و مدل سازی سیل استفاده کردند. نتایج نشان می‌دهد، خروجی مدل از پهنه سیلاب دقت لازم را ندارد. زیرا خروجی مدل با وضعیت واقعی تفاوت قابل توجهی داشت. گیچامو و همکاران (۷) امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با کیفیت پایین برای تولید مدل رقومی ارتفاع در مناطقی که کمبود داده‌های توپوگرافی دارند را در مجارستان بررسی و به نتایج مشابه و قابل مقایسه با نتایج پژوهش حاضر رسیدند.

هندسی رودخانه در قالب مقاطع عرضی هم از نقشه‌برداری زمینی و هم از تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از الحاقیه HEC-GeoRAS استخراج گردید. اطلاعات حاصل از مدل سازی جریان رودخانه در نرم‌افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-GeoRAS به محیط GIS منتقل و در محیط مذکور پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه به دو روش استفاده از اطلاعات نقشه‌برداری زمینی و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای تعیین و با هم مقایسه شد. نتایج بیانگر آن است که پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۲۸×۲۸ متر قابل انجام است. در این مورد شاخص‌های آماری میانگین خطای نسبی و ضریب همبستگی رگرسیون به ترتیب ۱۳/۲ و ۹۲ درصد بدست آمد. اگر در چند نقطه از مسیر رودخانه مقطع عرضی از طریق نقشه برداری زمینی برداشت و جایگزین مقاطع عرضی که از روش تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده اند، گردند دقت پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای افزایش می‌یابد. بطوریکه اگر به فاصله ۱۵۰ متر و در طول ۸ کیلومتر ۴۷ مقطع عرضی جانمایی و به‌صورت برداشت زمینی انجام و در مدل HEC-RAS

References

- Alizadeh A. 2010. Principles of Applied Hydrology, Fifth Edition of Imam Reza University. 942 p. (In Persian).
- Chang C, Huang W. 2013. Hydrological modeling of typhoon-induced extreme storm runoffs from Shihmen watershed to reservoir, Taiwan. *Natural Hazards*, 67: 747-761. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0600-7>.
- Chen Y, Wang Y, Zhang Y, Luan Q, Chen X. 2020. Flash floods, land-use change, and risk dynamics in mountainous tourist areas: A case study of the Yesanpo Scenic Area, Beijing, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50: 101873. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101873>.
- Company IWRM. 2017. Analytical report on protection and exploitation and management of rivers and beaches. (In Persian). 178 p.
- De Silva M, Weerakoon S, Herath S. 2014. Modeling of event and continuous flow hydrographs with HEC-HMS: case study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4): 800-806. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000846](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000846).
- Farahani MS, Parveen K. 2020. Recognizing the concept of "public wealth" in Article 45 of the Constitution of the Islamic Republic of Iran. *Journal of Knowledge of public law*, 9(28): 19-44. <https://doi.org/10.22034/qjplk.2020.195>. (In Persian).
- Gichamo TZ, Popescu I, Jonoski A, Solomatine D. 2012. River cross-section extraction from the ASTER global DEM for flood modeling. *Environmental Modelling & Software*, 31: 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.12.003>.
- Hashemyan F, Khaleghi M, Kamyar M. 2015. Combination of HEC-HMS and HEC-RAS models in GIS in order to simulate flood (case study: khoshke Rudan river in Fars province, Iran). *Research Journal of Recent Sciences*, 4(8): 122-127. (In Persian).
- Imani S, Hassanoli SAM, Farkhnia A, Javadi F, Najafi MS. 2021. Evaluating the efficiency of

- WRF-hydro model for development of flood forecasting systems (Case study: Kashkan Watershed). *Iran-Water Resources Research*, 16(4): 225-240. (In Persian).
10. Khaghan AAM, Mojaradi B. 2016. The Integrate of HEC-HMS and HEC-RAS Models in GIS Integration Models to Simulate Flood (Case Study: Area of Karaj). *Current World Environment*, 11(Special Issue): 1-6.
 11. Miri M. 2020. The Reflection on legal challenges Infringement to the river bed and Riparian Zone in Iran. *Iran-Water Resources Research*, 16(1): 428-446.
 12. Nharo T, Makurira H, Gumindoga W. 2019. Mapping floods in the middle Zambezi Basin using earth observation and hydrological modeling techniques. *Physics and chemistry of the earth, Parts A/B/C*, 114: 102787. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.06.002>.
 13. Nikonorov A, Badenko V, Terleev V, Togo I, Volkova Y, Skvortsova O, Nikonova O, Pavlov S, Mirschel W. 2016. Use of GIS-environment under the Analysis of the Managerial Solutions for Flood Events Protection Measures. *Procedia Engineering*, 165: 1731-1740. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.916>.
 14. Paul A, Biswas M. 2019. Changes in river bed terrain and its impact on flood propagation—a case study of River Jayanti, West Bengal, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1): 1928-1947. <https://doi.org/10.1080/19475705.2019.1650124>.
 15. Pavanelli D, Cavazza C, Lavrnić S, Toscano A. 2019. The long-term effects of land use and climate changes on the hydro-morphology of the Reno river catchment (Northern Italy). *Water*, 11(9): 1831. <https://doi.org/10.3390/w11091831>.
 16. Rahmani N, Shahedi K, Soleimani K, Miryaghoubzadeh M. 2016. Evaluation of the Land use Change Impact on Hydrologic Characteristics (Case Study: Kasilian Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 7(13): 23-32. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jwmr.7.13.32>. (In Persian).
 17. Saraskanrood SA, Pourfarrash Zadeh F. 2022. Study the landuse change and its effects on the hydrologic regime in main catchments of Binalood county. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 13(2): 84-106. <https://doi.org/10.30495/girs.2022.683834>. (In Persian).
 18. Suriya S, Mudgal B. 2012. Impact of urbanization on flooding: The Thirusoolam sub watershed—A case study. *Journal of Hydrology*, 412: 210-219. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.05.008>.
 19. Valizadeh Kamran K, Delire Hasannia R, Azari Amghani K. 2019. Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3): 59-75. https://girs.bushehr.iau.ir/article_668470.html?lang=en. (In Persian).
 20. Wiley M, Hyndman D, Pijanowski B, Kendall A, Riseng C, Rutherford E, Cheng S, Carlson M, Tyler J, Stevenson R. 2010. A multi-modeling approach to evaluating climate and land use change impacts in a Great Lakes River Basin. *Hydrobiologia*, 657: 243-262. <https://doi.org/10.1007/s10750-010-0239-2>.
 21. Zope P, Eldho T, Jothiprakash V. 2016. Impacts of land use—land cover change and urbanization on flooding: A case study of Oshiwara River Basin in Mumbai, India. *Catena*, 145: 142-154. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.06.009>.



Application of remote sensing in hydraulic modeling and determination of riverbed boundaries (Case study: Ardak River)

Seyed Hamid Mirghasemi, Hossein Banejad, Alireza Farid Hosseini

Received: 23 August 2021 / Received in revised form 25 September 2021 / Accepted: 17 October 2021
Available online 17 October 2021 / Available print 21 March 2023

Abstract

Background and Objective According to Article 45 of the Constitution of the Islamic Republic of Iran and Article 2 of the Law on Fair Water Distribution, rivers are a national asset. They are in possession of the Islamic State. Therefore, the government is obliged to study and determine the bed and river boundaries, and if it recognizes the aristocracy in the bed and their area for disturbing water or electricity issues, to evacuate or tin and suppress them. Today, due to the increase in the economic value of land and the demand for land construction in lands along rivers and waterways, unfortunately, the process of using the riverbed has increased, which is a threat to access to safe water and its protection for future generations. Occupying rivers is associated with reduced land use and land use change. This disrupts the natural flow of the river, resulting in flooding and social, economic, and environmental damage. It is not possible to manage

water resources, especially flood management, without knowing and analyzing the flow of rivers, flood zoning, and determining their bed boundaries and boundaries. At present, a land survey is being conducted to determine the extent of the floods and to determine the extent of the riverbed. This method is very time-consuming and expensive to perform. In this regard, using satellite imagery and aerial photographs instead of terrestrial mapping can be helpful in speeding up studies and reducing costs. Much research has been done in our beloved country of Iran and the world on the use of satellite images in various fields. In particular, several studies have used satellite imagery to study the changes in land use in watersheds and to study the morphological changes of the river. As noted, research has been conducted on the use of satellite imagery in hydrological studies and watersheds, but for the first time in this study, it is possible to use satellite imagery to map the river and extract its cross-sectional areas for flooding and riverbed delimitation. Has been studied. In recent years, the bed of the Ardak River above the Eradak Dam has been extensively occupied and altered. This has led to an increase in the number of floods and a decrease in the quantity and quality of water in the Ardak Dam, which supplies part of Mashhad's drinking water. For flood management and quantitative and qualitative protection of the Ardak dam, flood zoning and determination of the Ardak riverbed is necessary. At present, the ground mapping must be done first. Land surveying to map the river

S. H. Mirghasemi¹, H. Banejad², A. R. Farid Hosseini³

1. PhD. Student, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
2. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran
3. Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

e-mail: banejad@um.ac.ir

<https://doi.org/10.30495/GIRS.2023.685799>

<https://dorl.net/dor/20.1001.1.26767082.1402.14.1.2.7>

and extract its cross sections requires a lot of time and money. Therefore, the aim of this study was to investigate the possibility of using satellite images with a resolution of 28.28 m instead of terrestrial mapping to increase the speed of work and reduce the cost of studies of water projects and projects and river engineering.

Materials and Methods ASTER satellite imagery and HEC-GeoHMS software were used to draw the catchment area and extract its physical parameters. The existing riverbed map and its margin were prepared and added to the land use map of the basin as a new layer. The HEC-HMS hydrological model was used to simulate precipitation and runoff. First, a metering and validation model was used for five rainfall and runoff events. The precipitation histogram for different return periods was then introduced to the HEC-HMS model based on the basin concentration time. The execution and flood model were simulated with different return periods. The river's geometric information was extracted in transverse sections from both terrestrial mapping and satellite imagery using the HEC-GeoRAS appendix. Information from river flow modeling in HEC-RAS software was transferred to the GIS environment through HEC-GeoRAS extension and in the mentioned environment, flood zoning and riverbed boundary determination were determined by two methods of using land mapping

information and using satellite images.

Results and Discussion The results indicate that the flooding area and the determination of the riverbed can be done by using satellite images with a resolution of 28×28 m. In this case, the statistical indicators of the mean relative error and regression correlation coefficient were 13.2 and 92%, respectively. If cross-sectional crossings are taken at several points along the river route and replaced by cross-sections obtained by satellite imagery, the accuracy of flood zoning and riverbed delimitation will be enhanced by the use of satellite imagery. If at a distance of 150 meters and at a distance of 8 km, 47 cross-sections are located and grounded and replaced in the HEC-RAS model by cross-sections obtained from satellite images, the error of using the satellite imagery method for flood zoning and riverbed delimitation Will be reduced to 8.1%.

Conclusion It is possible to use satellite images with a quality of 28×28 m to determine the river bed limit. This method is associated with the average relative error and regression correlation coefficient of 13.2% and 92%, respectively, which can be reduced by 8% with ground cutting.

Keywords: Ardak river, Flood, Satellite images, HEC-HMS, HEC-RAS