

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و ششم، تابستان ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۳۰

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۵/۱۹

صص ۴۴-۶۱

**ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه‌ها بر میزان و شدت سیل  
(مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی ارداک)**

سیدحمید میرقاسمی، دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی-دانشگاه فردوسی مشهد  
حسین بانژاد\*، دانشیار آبیاری، زهکشی و منابع آب-دانشگاه فردوسی مشهد  
علیرضا فریدحسینی، دانشیار آبیاری، زهکشی و منابع آب-دانشگاه فردوسی مشهد

**چکیده**

در سال‌های اخیر تصرف روزافزون بستر و حریم رودخانه‌ها و تغییر کاربری آن‌ها نه تنها تهدیدی برای دسترسی به آب سالم محسوب می‌شود، بلکه باعث شده است که با وجود تداوم دوره‌های خشک‌سالی، مخاطرات سیل افزایش یابد. مدیریت منابع آب و بهره‌گیری از سیل و تبدیل آن به یک موهبت الهی بدون شناخت و تحلیل واکنش مؤلفه‌های هیدرولوژی به تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی بستر و حریم رودخانه‌ها میسر نیست. این پژوهش در سال ۱۳۹۶ در مشهد مقدس و در حوضه‌ی رودخانه ارداک انجام گرفت. برای ترسیم حوضه‌ی آبخیز و استخراج پارامترهای فیزیکی آن از تصاویر ماهواره‌ی ASTER و نرم‌افزار HEC-GeoHMS استفاده شد. نقشه‌ی بستر موجود رودخانه و حاشیه‌ی آن تهیه و به‌عنوان یک لایه‌ی جدید به نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه اضافه شد. با هم‌پوشانی نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه در محیط GIS، نقشه‌ی CN حوضه‌ی آبخیز و متوسط CN هر زیرحوضه محاسبه گردید. پس از ورود اطلاعات به مدل HEC-HMS، مدل اجرا و سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شد. نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک برای شرایط تغییر کاربری بستر رودخانه اصلاح و نقشه‌ی جدید CN و سپس متوسط CN هر زیرحوضه تعیین و به مدل معرفی شد. مدل HEC-HMS مجدد برای شرایطی که CN متوسط زیرحوضه‌ها تغییر و سایر مشخصات آن‌ها ثابت می‌مانند، اجرا گردید. نتایج نشان داد که با تغییر بستر رودخانه به کاربری باغی و زراعی، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب کاهش می‌یابد که نرخ این کاهش با افزایش دوره‌ی بازگشت سیلاب کم‌تر می‌شود؛ به‌طوری‌که برای سیلاب با دوره‌ی بازگشت ۲۵ ساله در اثر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب به ترتیب ۳/۳ و ۲/۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد.

**واژگان کلیدی:** بستر رودخانه، تغییر کاربری، رواناب، GIS، HEC-HMS.

\* Email: banejad@um.ac.ir

نویسنده‌ی مسئول:

این مقاله برگرفته از رساله‌ی دکتری سیدحمید میرقاسمی تحت عنوان "ارزیابی واکنش رواناب به تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه (مطالعه‌ی موردی: ارداک)" می‌باشد.

## ۱- مقدمه

امروزه به علت افزایش ارزش اقتصادی زمین و تقاضا جهت احداث اعیانی در حاشیه رودخانه‌ها و مجاری آبی، متأسفانه روند تصرفات حدود بستر و حریم رودخانه‌ها افزایش یافته است و این 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 کاهش عرض بستر و تغییر کاربری باعث به هم خوردن رژیم طبیعی رودخانه‌ها شده و در نتیجه وقوع سیل و خسارت‌های اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و غیره را به دنبال دارد؛ بنابراین ضرورت دارد با شناسایی و ارائه راهکارهای مناسب از سیل به‌عنوان یک ظرفیت ارزشمند برای ایجاد تعادل کمی و کیفی منابع آب استفاده گردد. مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب و به‌خصوص مدیریت سیل بدون شناخت و تحلیل واکنش مؤلفه‌های هیدرولوژی به تغییر اقلیم و دخالت‌های انسانی از جمله تغییر کاربری اراضی بستر و حریم رودخانه‌ها میسر نخواهد بود. پژوهش‌های زیادی در ایران و دنیا در خصوص واکنش مؤلفه‌های هیدرولوژی به تغییر اقلیم و دخالت‌های انسان از جمله تغییر کاربری اراضی در سطح حوضه‌های آبخیز انجام شده است که در ذیل به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.

اعلمی و همکاران (۱۳۸۷) رفتار هیدرولیکی ۸۰۰۰ متر از طول رودخانه‌ی قرنقو را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها از مدل هیدرولیکی HEC-RAS برای مطالعه‌ی سیلاب، از نرم‌افزار ArcView برای استخراج مقاطع عرضی رودخانه و از ابزار HEC-GeoRAS به‌منظور بررسی نتایج مدل HEC-RAS و پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۱۰ و ۱۰۰ ساله استفاده کردند.

ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۷) اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی زاگرس مرکزی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی تویسرکان) را بررسی کردند. آن‌ها با بررسی هیدروگراف حوضه در سه مقطع زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ (دوره‌ی ۲۵ ساله) نتیجه گرفتند رواناب در حوضه‌ی دارای روند افزایشی است که علت آن خشک‌سالی نه‌چندان محسوس، تغییر کاربری اراضی قابل توجه و افزایش بارندگی در برخی سال‌هاست.

بهنام و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل رودخانه‌ی زاینده‌رود در محدوده‌ی شهری اصفهان پرداختند. نتایج نشان داد اثر تغییر کاربری اراضی در دبی پیک سیلاب با افزایش دوره‌ی بازگشت سیل، کاهش می‌یابد؛ به‌طوری‌که در دوره‌ی بازگشت ۵ ساله، دبی اوج کل حوضه در محل خروجی از سال ۱۳۶۹ تا ۱۳۸۷، ۳۹/۹ درصد افزایش یافته، ولی در دوره‌ی بازگشت ۲۰۰ ساله تنها ۱۰/۳ درصد افزایش داشته است.

بیت‌اله‌پور و همکاران (۱۳۹۷) امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین حد بستر رودخانه‌ها (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی گابریک) را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه برای تعیین حد بستر رودخانه‌ی گابریک در استان هرمزگان و نیز تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب از تلفیق نرم‌افزارهای ArcGIS، HEC-RAS و برنامه‌ی جانبی HEC-GeoRAS استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای قابلیت مناسب و خوبی جهت تخمین بستر رودخانه‌ها را دارا هستند.

ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵) با تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل تک واقعه‌ای HEC-HMS اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز سد گلستان را بررسی کردند. آن‌ها با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی سال‌های ۱۳۴۶ و ۱۳۷۵ و نقشه‌های گروه هیدرولوژیک خاک، نقشه‌ی شماره‌ی منحنی CN را به دست آوردند. نتایج شبیه‌سازی هیدروگراف نشان داد که به علت تغییر کاربری اراضی و تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، دبی اوج سیل در دوره‌ی بازگشت‌های ۵ و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب به میزان ۳۱/۷ و ۱۷/۸ درصد افزایش یافته است.

جانسون و همکاران (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای با عنوان استفاده از مدل‌های HEC-GeoHMS و HEC-HMS برای ایجاد شبکه‌ی آنالیز و هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز، در بالادست رودخانه‌ی حوضه‌ی سن جاکینتو، مدل‌های توزیعی، نیمه-توزیعی و یکپارچه را به منظور شبیه‌سازی هیدروگراف سیل مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که نتایج مدل‌سازی جواب‌های منطقی به سیلاب مشاهده‌ای و حجم کل رواناب نشان می‌دهد.

چنگ و همکاران (۲۰۱۳) برای پیش‌بینی سیلاب‌های شدید در حوضه‌ی آبخیز شیمین در تایوان از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده کردند. آن‌ها با استفاده از داده‌های سه سیلاب خطرناک با دوره‌ی بازگشت‌های ۱ تا ۹۰ ساله رواناب حاصل از بارش‌های سیل‌آسا را در مدل HEC-HMS شبیه‌سازی کردند. آن‌ها با توجه به رضایت‌بخش بودن یافته‌هایشان به این نتیجه رسیدند که مدل هیدرولوژیکی کالیبره و تأییدشده HEC-HMS قادر به پیش‌بینی سیلاب‌هاست.

حاجی قلی‌زاده (۱۳۸۳) در تحقیقی به بررسی نقش دخالت‌های انسانی شامل احداث پل‌ها، آبگذرها، آب‌شکن‌ها، شیب‌شکن‌ها در رودخانه‌ی کن تهران با استفاده از مدل HEC-RAS پرداخت. نتایج مطالعه‌ی ایشان دلالت بر تأثیر متفاوت هر یک از اقدامات سازه‌ای کنترل سیلاب بر عمق و سطح سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۳) امکان پیش‌بینی سیلاب‌های رودخانه‌ی کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS را بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل مذکور کارایی بالایی در شبیه‌سازی رواناب روزانه طی دوره‌ی ترسالی و همچنین در حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب به ازای دوره‌ی بازگشت‌های کم‌تر از ۳۰۰ سال دارد.

خلیقی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در حوضه‌ی باراندوزچای در استان آذربایجان غربی در طول یک دوره‌ی ۴۵ ساله (۱۳۳۴ تا ۱۳۷۹) دریافتند که اراضی دیم از ۴۲۸ هکتار به ۲۰۲۳۱ هکتار افزایش یافته است. در این تحقیق آن‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی قدیم و تصاویر ماهواره‌ای جدید، نقشه‌ی کاربری زمین در هر دو زمان را تهیه کردند. سپس با استفاده از مدل حفاظت منابع طبیعی امریکا (NRCS)<sup>۱</sup> در محیط مدل تک رویدادی HEC-HMS شبیه‌سازی بارش-رواناب را انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که سیلاب در دوره‌ی جدید در بعضی از زیرحوضه‌ها تا ۷۰ درصد نسبت به دوره‌ی قدیم افزایش یافته است.

درفشی و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی با عنوان بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی بارش-رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوضه‌ی آبخیز بابلرود انجام دادند. آن‌ها گزارش دادند که تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ی بابلرود و کاربری اراضی محدوده‌ی آن باعث افزایش ارتفاع و ضریب رواناب و افزایش دبی حداکثر و افزایش دبی متوسط رودخانه می‌گردد. دسیلوا و همکاران (۲۰۱۳) با به‌کارگیری مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، بارش و رواناب حوضه‌ی رودخانه‌ی کلانی در سریلانکا را شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی حاکی از دقت بالای مدل مذکور داشت.

زوپ و همکاران (۲۰۱۶) تأثیر تغییر کاربری اراضی به کاربری مسکونی بر روی سیل در حوضه‌ی رودخانه‌ی اوشیوارا در بمبئی هند را با استفاده از مدل‌های HEC-GeoHMS و HEC-HMS مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها به این نتیجه دست یافتند که در ۴۳ سال گذشته (بین سال‌های ۱۹۶۶ و ۲۰۰۹) به دلیل تغییر کاربری اراضی، حجم و دبی حداکثر رواناب به ترتیب ۳/۳ و ۴/۴۵ درصد برای دوره‌ی بازگشت ۱۰۰ ساله و ۱۰/۴ و ۱۲/۲ درصد برای دوره‌ی بازگشت ۲ ساله افزایش یافته است.

میلر و همکاران (۲۰۰۲) با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیکی و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر عکس‌العمل هیدرولوژیکی دو حوضه‌ی آبخیز ایالات متحده‌ی امریکا مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها

داده‌های ارتفاعی، خاک، خصوصیات پوشش اراضی و تغییرات شماره‌ی منحنی (CN) را در طول زمان برای ورود به مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS تهیه کردند. بررسی روند تغییرات رواناب در محیط مدل HEC-HMS و با استفاده از روش شماره‌ی منحنی نشان داد که در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی سن پدر و با مساحت ۳۱۵۰ کیلومترمربع به علت کاهش سطح جنگل‌ها و ازدیاد اراضی کشاورزی و مناطق شهری بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۷، رواناب متوسط سالانه افزایش یافته است. شی و همکاران (۲۰۰۷) اثر شهرسازی بر دبی اوج سیل با استفاده از مدل SCS و نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای در حوضه‌ی شینزن چین را بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که شهرسازی در ۲۰ سال گذشته به‌طور متوسط باعث افزایش ۱۳/۴ درصدی ضریب رواناب و ۱۲/۹ درصدی دبی حداکثر سیل شده است.

صادقی و همکاران (۱۳۸۲) از تلفیق مدل HEC-RAS و GIS به‌منظور پهنه‌بندی سیلاب در رودخانه‌ی دارآباد استفاده نمودند که نتایج تحقیق دلالت بر کارایی مدل مذکور در پهنه‌بندی سیلاب دارد.

طالبی و همکاران (۱۳۹۲) اثر کاربری اراضی در شرایط فعلی و بهینه روی رسوب‌دهی حوضه‌ی آبخیز شور و شیرین شیراز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مقدار رسوب به میزان متوسط ۱۲ درصد در شرایط کاربری بهینه کم‌تر از شرایط فعلی است و تغییر و نوع کاربری اراضی نقش به‌سزایی در کاهش یا افزایش ارتفاع رواناب و در نتیجه دبی اوج سیلاب دارد. غفاری و همکاران (۱۳۸۷) اثرات هیدرولوژی تغییر کاربری اراضی در طی ۴۰ سال اخیر در حوضه‌ی زنگان‌رود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش بیانگر افزایش مقدار رواناب سطحی در حدود ۳۳ درصد و کاهش سطح آب سفره‌های آب زیرزمینی در حدود ۲۲ درصد به علت تغییرات کاربری است.

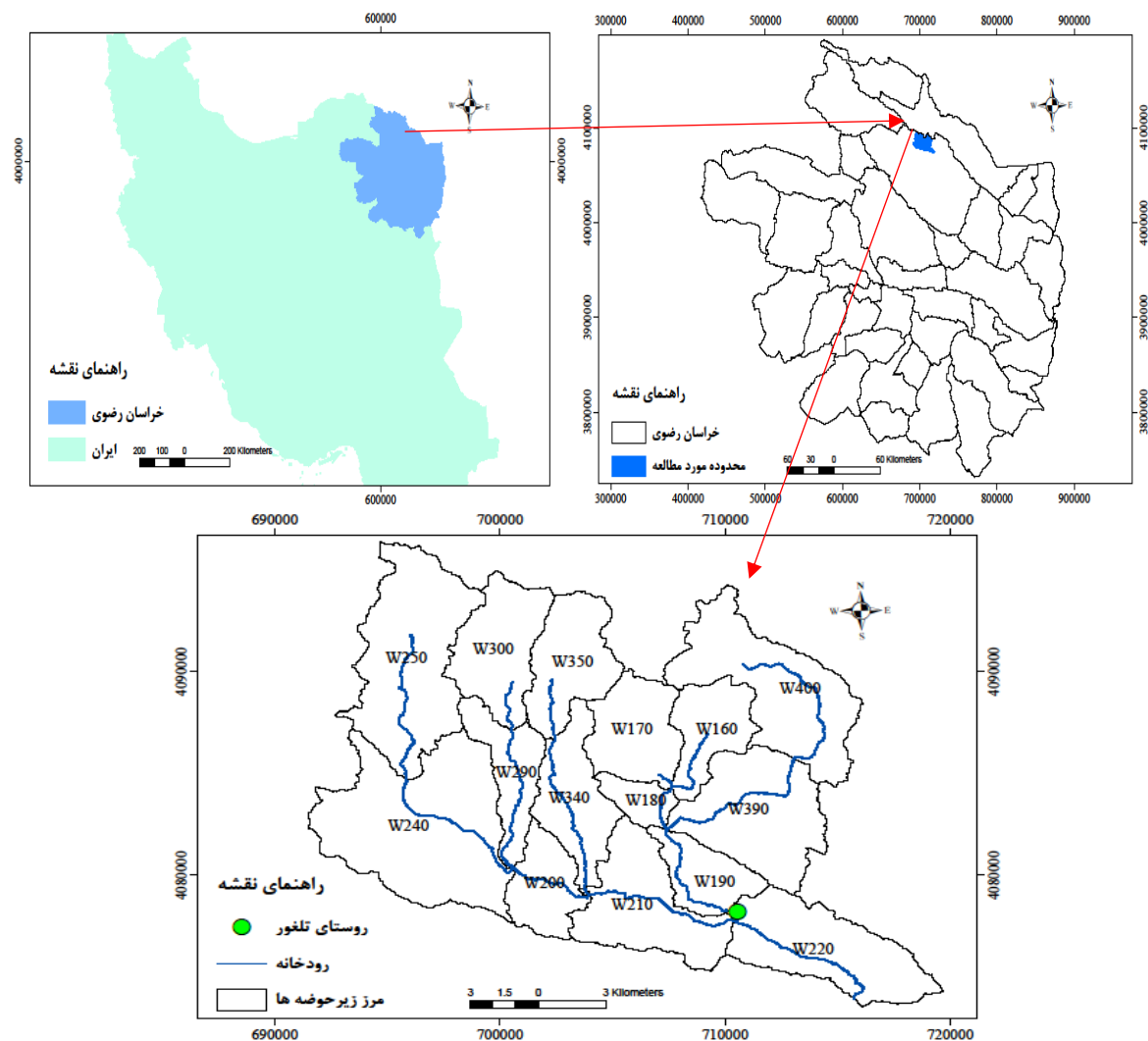
فرج‌زاده و فلاح (۱۳۸۴) تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم سیلابی رودخانه‌ی تجن با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور را ارزیابی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند افزایش رواناب بیش‌تر به دلیل کاهش جنگل و مرتع بوده که در این میان، نوع خاک نیز آن را تشدید نموده و عوامل آب و هوایی و میزان بارندگی تأثیر قابل‌توجهی در آن نداشته است.

همان‌طور که ملاحظه شد، پژوهش‌های زیادی پیرامون واکنش مؤلفه‌های هیدرولوژی به تغییر کاربری اراضی در سطح حوضه‌های آبخیز انجام شده است، اما در این پژوهش برای اولین بار به ارزیابی واکنش رواناب به تغییر کاربری اراضی در بستر رودخانه پرداخته شده است. در همین راستا در سال‌های اخیر بستر رودخانه‌ی ارداک در بالادست سد ارداک، به‌طور 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 تأمین می‌نماید، کاهش یابد. با توجه به اهمیت مدیریت سیل و حفاظت کمی و کیفی از منابع آب هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه‌ی ارداک بر میزان و شدت رواناب است. با استفاده از نتایج پژوهش حاضر می‌توان قبل از اجرای طرح‌های سامان‌دهی رودخانه از جمله رفع تصرف از رودخانه‌ی ارداک، اثربخشی آن را بر بهبود شرایط کمی آب سد ارداک مورد ارزیابی قرارداد.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

این مطالعه در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی ارداک در فاصله‌ی ۷۵ کیلومتری شمال غرب شهرستان مشهد طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۷ انجام شد. این منطقه در مختصات جغرافیایی، ۶۸۶۰۰۰ تا ۷۲۰۰۰۰ طول شرقی و ۴۰۷۳۰۰۰ تا ۴۰۹۶۰۰۰ عرض شمالی در سیستم UTM قرار دارد. رودخانه‌ی ارداک یکی از سرشاخه‌های کشف‌رود است که از سمت شمال به این رودخانه می‌پیوندد. وسعت حوضه‌ی آبخیز تا محل ایستگاه هیدرومتری میان مرغ ۳۵۶ کیلومتر بوده و به ۱۵ زیرحوضه‌ی تقسیم شده است. در داخل حوضه‌ی آبخیز و در روستای تلغور یک ایستگاه باران‌سنجی 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 ۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۵۸ درصد بوده و میانگین بارندگی سالانه ۳۰۴ میلی‌متر و تعداد روزهای یخبندان حدود ۱۰۰ روز در

سال است. متوسط رواناب سالانه ۳۳ میلیون مترمکعب و دبی پایه‌ی رودخانه ۵۴۰ لیتر در ثانیه برآورد گردیده است. بر اساس اقلیم نمای آمبرژه حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه در اقلیم نیمه‌سرد خشک قرار می‌گیرد.



شکل ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه در استان و ایران و تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- فیزیوگرافی حوضه‌ی آبخیز

برای ترسیم حوضه‌ی آبخیز و زیرحوضه‌ها و نیز استخراج پارامترهای فیزیکی آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای ASTER و نرم‌افزار HEC-GeoHMS استفاده شد (شکل و جدول ۱). به‌منظور شناخت بهتر خصوصیات هیدرولوژیکی واحدهای مختلف و به‌کارگیری مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در برآورد و پهنه‌بندی دقیق‌تر سیل، حوضه‌ی آبخیز به ۱۵ زیرحوضه‌ی کوچک‌تر تقسیم‌بندی شد. این مهم با استفاده از نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع (DEM) و با بهره‌گیری از نرم‌افزار HEC-GeoHMS در محیط ArcMap انجام شد. تصاویر ASTER-DEM مدل رقومی ارتفاع با توان تفکیک ۲۸×۲۸ متر به‌صورت رایگان از طریق درگاه اینترنتی دریافت گردید. در این پژوهش برای حذف عوامل ایجاد خطا در اجرای الگوریتم D8 مراحل

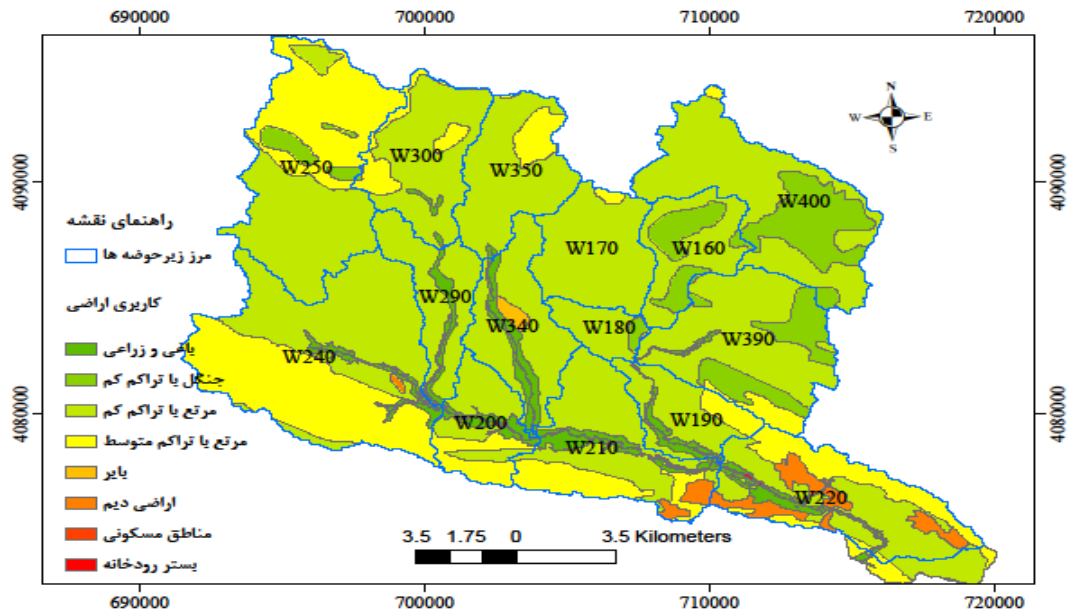
پر کردن چاله‌ها (Fill-Sink) و اصلاح مسیر آبراهه‌ی اصلی (Reconditioning) در نرم‌افزار HEC-GeoHMS اجرا شد. نقشه‌ی آبراهه‌ی اصلی نیز از Google Earth استخراج و پس از تطبیق میدانی وارد مدل شد.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌ها

ردیف	نام زیرحوضه	مساحت (KM <sup>2</sup> )	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

### ۳-۲- نقشه‌ی کاربری اراضی

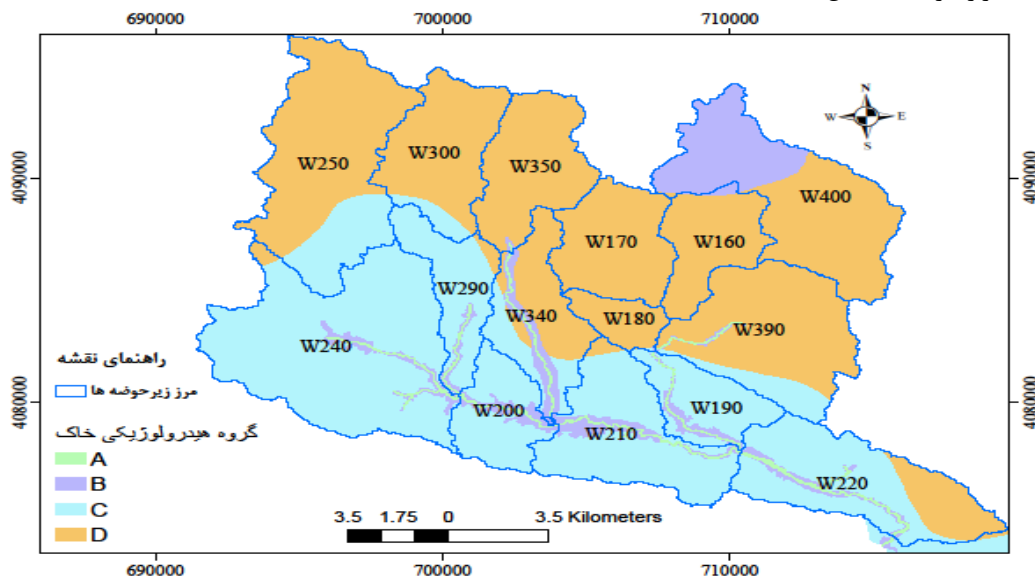
نقشه‌ی اولیه کاربری اراضی از اداره کل منابع طبیعی استان اخذ گردید. برای دقیق کردن نقشه‌ی کاربری اراضی با بازدید میدانی و پیمایش صحرایی کاربری حوضه‌ی آبخیز کنترل شد. نقشه‌ی بستر موجود رودخانه و حاشیه‌ی آن تهیه و به‌عنوان یک لایه‌ی جدید به نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه اضافه و درنهایت پس از اصلاح آن، نقشه‌ی نهایی کاربری اراضی آماده شد. در این نقشه که کاربری اراضی حوضه‌ی آبخیز شامل ۸ نوع کاربری متفاوت است، مرز زیرحوضه‌ها در محیط GIS مشخص و رقمی گردید (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه‌ی کاربری اراضی محدوده‌ی مورد مطالعه

### ۳-۳- نقشه‌ی گروه هیدرولوژیکی خاک

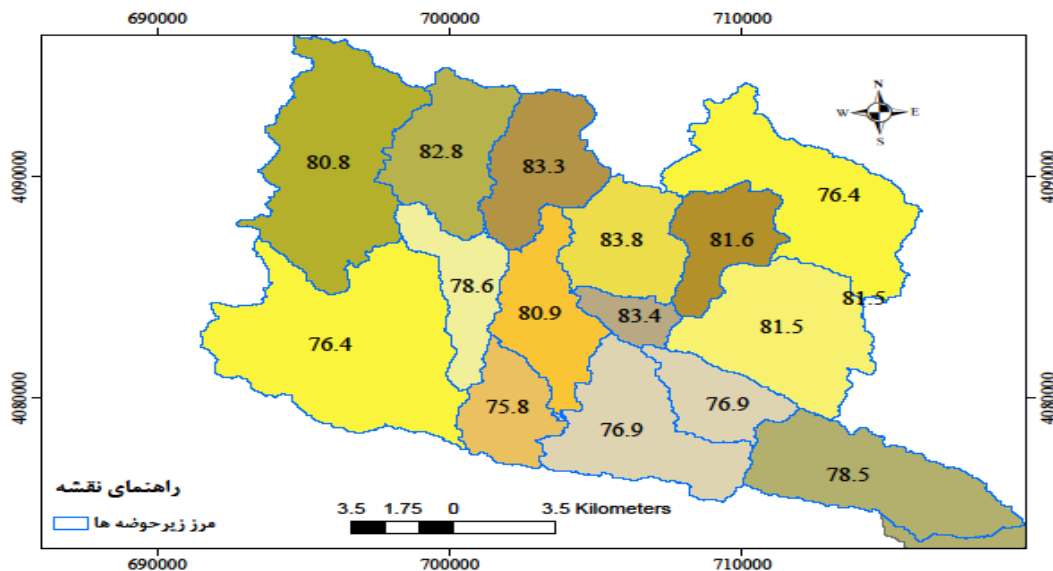
نقشه‌ی گروه هیدرولوژیکی خاک منطقه‌ی مورد مطالعه از اداره کل منابع طبیعی استان تهیه شد. نقشه‌ی مذکور در محیط GIS رقومی و سپس مرز زیرحوضه‌ها بر روی نقشه مشخص گردید. در نتیجه گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها در گروه‌های B, C و D قرار گرفتند (شکل ۳).



شکل ۳: نقشه‌ی گروه هیدرولوژیکی خاک محدوده‌ی مورد مطالعه

## ۳-۴- نقشه‌ی شماره‌ی منحنی (CN)

بعد از تهیه‌ی نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک زیرحوضه‌ها، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌های یادشده با یکدیگر هم‌پوشانی داده شد و در نتیجه نقشه‌ی CN حوضه‌ی آبخیز برای شرایط رطوبتی متوسط تهیه گردید. بر روی این نقشه‌ی مرز زیرحوضه‌ها تعیین و پس از آن متوسط CN هر زیرحوضه محاسبه شد (شکل ۴).



شکل ۴: نقشه‌ی CN متوسط زیرحوضه‌ها برای شرایط رطوبتی متوسط

## ۳-۵- اجرای مدل HEC-HMS

برای شبیه‌سازی بارش و رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. ساختار مدل شامل ۳ بخش اصلی مدل حوضه، مدل هواشناسی و شاخص کنترلی زمان است.

مدل حوضه: در این قسمت، حوضه به صورت 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 اولیه‌ی رواناب، آب‌پایه و روندیابی سیل در رودخانه انتخاب و اطلاعات فیزیکی حوضه‌ی آبخیز وارد مدل گردد. در این مدل، روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رواناب و روندیابی سیل وجود دارد که در این پژوهش به ترتیب از روش SCS و ماسکینگام استفاده شده است.

مدل هواشناسی: در بخش مدل هواشناسی حوضه باید داده‌های بارندگی، تبخیر و ترقق و داده‌های مشاهده‌ای سیلاب برای شبیه‌سازی وارد شود. مدل هواشناسی که در این پژوهش استفاده شده، روش های توگراف سفارشی است که بر همین اساس داده‌های ایستگاه باران‌سنجی تلغور و ایستگاه هیدرومتری میان مرغ مورد استفاده قرار گرفت.

شاخص کنترلی زمان: تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه‌سازی 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.

محاسبه‌ی زمان تمرکز: برای محاسبه‌ی زمان تمرکز؛ یعنی مدت زمان رسیدن رواناب از دورترین نقطه‌ی حوضه به نقطه‌ی خروجی از روش کرپیچ استفاده شد. معادله‌ی کرپیچ برای تخمین زمان تمرکز به صورت زیر است:



$$T_c = .0949 \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0.385} \quad \text{رابطه ۱}$$

$T_c$ : زمان تمرکز بر حسب ساعت، طول آبراهه‌ی اصلی به کیلومتر و  $H$  اختلاف ارتفاع بین بلندترین و پایین‌ترین نقطه‌ی حوضه

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

$$T_{lag} = 0.6T_c \quad \text{رابطه ۲}$$

$T_{lag}$ : زمان تأخیر بر حسب ساعت

### ۳-۶- واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS

برای تکمیل مدل بارش و رواناب، هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، هایتوگراف متناظر آن و دبی مشاهده‌ای ماهانه‌ی ایستگاه هیدرومتری در خروجی حوضه‌ی آبخیز به مدل HEC-HMS معرفی گردید. از کل داده‌های موجود ایستگاه باران‌سنجی تلغور و ایستگاه هیدرومتری میان مرغ در مجموع ۱۹ واقعه‌ی بارش و رواناب بررسی و در نهایت تعداد ۲ واقعه با شرایط لازم و مناسب برای واسنجی و اعتباریابی مدل انتخاب گردید (جدول ۲ و ۳). در قسمت شاخص کنترلی مدل، تاریخ و زمان شروع و پایان شبیه‌سازی بارش و رواناب با فاصله زمانی ۱۵ دقیقه‌ای (فاصله زمانی بایستی از ۲۹ درصد زمان تأخیر حوضه کم‌تر باشد)، به مدل معرفی شد. در این مرحله، پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها واسنجی و از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه‌شده برای گروه دوم داده‌ها اعتباریابی شد. در نهایت، هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده با هیدروگراف مشاهده‌شده مقایسه گردید. کارایی مدل هیدرولوژی در شبیه‌سازی هیدروگراف سیل در مرحله‌ی واسنجی و اعتباریابی، با استفاده از شاخص‌های ناش - ساتکلیف (رابطه‌ی ۳) و اریبی مدل (رابطه‌ی ۴) مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲: توزیع بارش‌ها برای واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS

توزیع بارش در تاریخ ۹۳/۰۳/۱۱ (مرحله‌ی واسنجی) توزیع بارش در تاریخ ۹۵/۰۳/۲۵ (مرحله‌ی اعتباریابی)

ردیف	زمان	مقدار بارش (MM)	ردیف	زمان	مقدار بارش (MM)
۱	۱۸:۰۲	۰	۱	۱:۱۵	۰
۲	۱۸:۱۷	۳	۲	۱:۳۰	۲/۸
۳	۱۸:۳۲	۵/۵	۳	۱:۴۵	۴/۸
۴	۱۸:۴۷	۷/۴	۴	۲:۰۰	۶/۸
۵	۱۹:۰۲	۷/۶	۵	۲:۱۵	۷/۳
۶	۱۹:۱۷	۷/۶	۶	۲:۳۰	۷/۸
۷	۱۹:۳۲	۷/۶	۷	۲:۴۵	۸

$$C_{ns} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (Q_{si} - Q_{oi})^2}{\sum_{i=0}^n (Q_{oi} - Q_o)^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=0}^n Q_{si}}{\sum_{i=0}^n Q_{oi}} - 1 \quad \text{رابطه ۴}$$

$Q_{si}$  و  $Q_{oi}$  به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده و  $Q_o$  مقدار دبی متوسط مشاهده‌ای است.

### ۳-۷- تعیین رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف و توزیع زمانی بارش

برای ارزیابی پاسخ حوضه‌ی آبخیز به رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف یا به عبارتی، تعیین هیدروگراف‌های سیل با دوره‌ی برگشت‌های متفاوت لازم بود رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف و توزیع زمانی بارش تعیین گردند. بدین منظور، جدول شدت مدت و فراوانی ایستگاه باران‌سنجی تلغور که توسط قهرمان و همکاران تهیه شده بود، مورد استفاده قرار گرفت (قهرمان و همکاران، ۱۳۸۵: ۱۱۰)؛ بنابراین بارش‌های با دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ سال از روی جدول یادشده در پایه‌ی زمان تمرکز زیرحوضه‌ها استخراج گردید. در مرحله‌ی بعد، هایتوگراف با فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای برای دوره‌ی بازگشت‌های مذکور محاسبه و توزیع زمانی بارش برای ورود به مدل HEC-HMS تعیین شد.

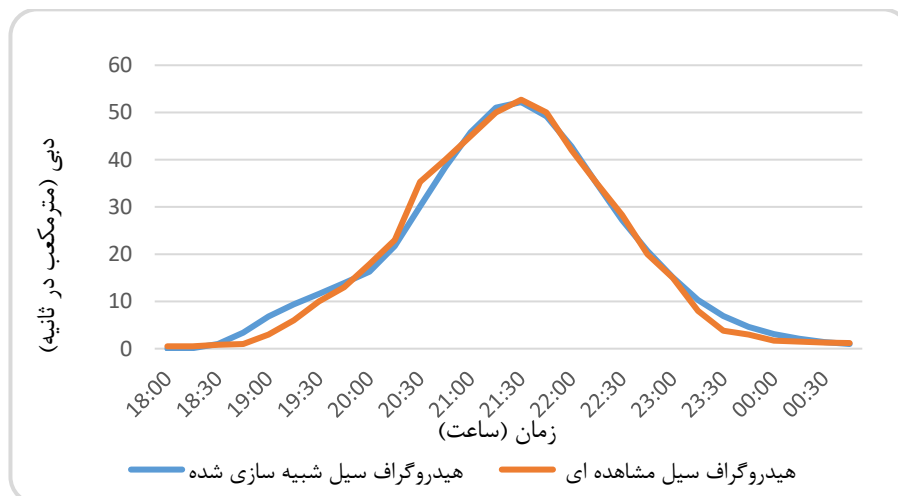
### ۳-۸- پاسخ حوضه‌ی آبخیز به رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

پس‌از آن که با لحاظ پارامترهای بهینه‌ی هایتوگراف بارش مربوط به دوره‌ی بازگشت‌های یادشده در پایه‌ی زمان تمرکز حوضه‌ی وارد مدل HEC-HMS گردید، مدل اجرا و سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شد. بعد از اجرا، واسنجی و اعتباریابی مدل HEC-HMS و نیز تعیین پاسخ حوضه‌ی آبخیز و زیرحوضه‌ها به بارش‌های کوتاه‌مدت با دوره‌ی تناوب‌های مختلف، تغییرات CN به شکل دو سناریوی مختلف (قبل و بعد تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه) به مدل معرفی گردید. در مرحله‌ی اول با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، نقشه‌ی CN و سپس متوسط CN هر زیرحوضه برای شرایط طبیعی رودخانه تعیین و به مدل معرفی شد. در مرحله‌ی دوم با هم‌پوشانی نقشه‌های یادشده، نقشه‌ی جدید CN و سپس متوسط CN هر زیرحوضه برای شرایطی که بستر رودخانه به کاربری باغی و زراعی تغییر می‌نماید، تعیین و به مدل معرفی گردید. مدل HEC-HMS در دو مرحله اجرا و خروجی‌های آن (سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف) با یکدیگر مقایسه شد. راجع به تجزیه و تحلیل اثر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه بر هیدروگراف سیل در بخش نتایج صحبت خواهد شد.

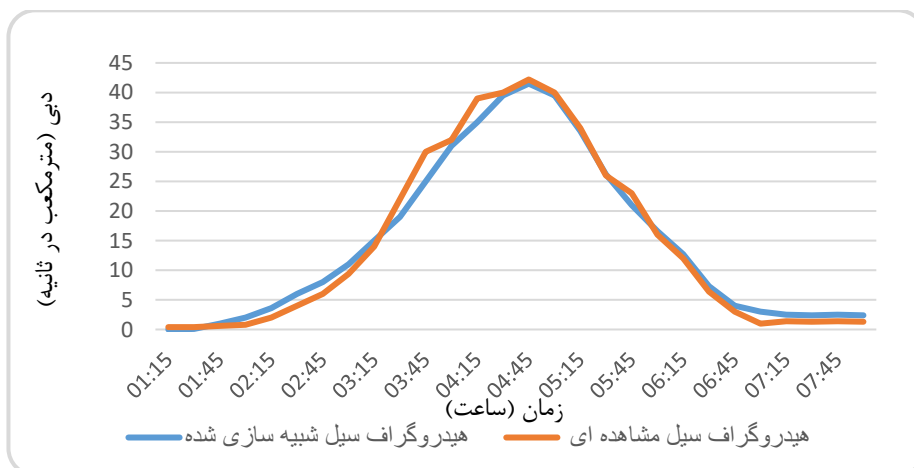
### ۴- نتایج و بحث

#### ۴-۱- مدل‌سازی بارش و رواناب

همان‌طور که گفته شد، برای شبیه‌سازی بارش و رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. اطلاعات مربوط به مدل حوضه، مدل هواشناسی و مدل شاخص کنترلی به نرم‌افزار یادشده معرفی و مدل اجرا گردید. با توجه به آمار و اطلاعاتی که در اختیار بود، برای یک واقعه‌ی بارش و رواناب به تاریخ ۹۳/۳/۱۱، مدل واسنجی و برای واقعه بارش و رواناب دیگر به تاریخ ۹۵/۳/۲۵ مدل اعتباریابی شد. نتایج اجرای مدل در دو مرحله‌ی واسنجی و اعتباریابی را می‌توان در اشکال (۵ و ۶) مشاهده نمود.



شکل ۵: هیدروگراف سیل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده حوضه‌ی آبخیز در مرحله‌ی واسنجی



شکل ۶: هیدروگراف سیل مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده حوضه‌ی آبخیز در مرحله‌ی اعتباریابی

#### ۴-۲- واسنجی و اعتباریابی مدل بارش و رواناب

در این مرحله، هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده با هیدروگراف مشاهده‌شده مقایسه گردید (جدول ۳). کارایی مدل در شبیه‌سازی هیدروگراف در مرحله‌ی واسنجی و اعتباریابی با استفاده از شاخص‌های ناش ساتکلیم و اریبی مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به اینکه مقادیر شاخص کارایی مدل با ضریب ناش ساتکلیم و ضریب اریبی مدل در مرحله‌ی واسنجی به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۲۳- و در مرحله‌ی اعتباریابی ۰/۹۸ و ۰/۰۴- به دست آمد، بنابراین این نشان‌دهنده‌ی کارایی بسیار بالای مدل شبیه‌سازی بارش و رواناب است.

جدول ۳: دبی‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی و اعتبار یابی مدل بارش و رواناب  
 مرحله‌ی واسنجی مدل HEC-HMS (تاریخ ۹۳/۳/۱۱)      مرحله‌ی اعتباریابی مدل HEC-HMS (تاریخ ۹۵/۳/۲۵)

ردیف	زمان	دبی سیلاب مشاهده‌ای (M <sup>3</sup> /S)	دبی سیلاب شبیه‌سازی شده (M <sup>3</sup> /S)
۱	۱:۱۵	۰/۴	۰
۲	۱:۳۰	۰/۴	۰/۱
۳	۱:۴۵	۰/۶	۱
۴	۲:۰۰	۰/۸	۲
۵	۲:۱۵	۲	۳/۶
۶	۲:۳۰	۴	۶
۷	۲:۴۵	۶	۸
۸	۳:۰۰	۹/۴	۱۱
۹	۳:۱۵	۱۴	۱۵
۱۰	۳:۳۰	۲۲	۱۹
۱۱	۳:۴۵	۳۰	۲۵
۱۲	۴:۰۰	۳۲	۳۱
۱۳	۴:۱۵	۳۹	۳۵
۱۴	۴:۳۰	۴۰	۳۹/۵
۱۵	۴:۴۵	۴۲/۲	۴۱/۵
۱۶	۵:۰۰	۴۰	۳۹/۵
۱۷	۵:۱۵	۳۴	۳۳/۵
۱۸	۵:۳۰	۲۶	۲۶/۲
۱۹	۵:۴۵	۲۳	۲۱
۲۰	۶:۰۰	۱۶	۱۶/۶
۲۱	۶:۱۵	۱۲	۱۲/۷
۲۲	۶:۳۰	۶/۴	۷/۳
۲۳	۶:۴۵	۳	۴
۲۴	۷:۰۰	۱	۳
۲۵	۷:۱۵	۱/۴	۲/۵
۲۶	۷:۳۰	۱/۳	۲/۴
۲۷	۷:۴۵	۱/۴	۲/۵
۲۸	۸:۰۰	۱/۳	۲/۴

ردیف	زمان	دبی سیلاب مشاهده‌ای (M <sup>3</sup> /S)	دبی سیلاب شبیه‌سازی شده (M <sup>3</sup> /S)
۱	۱۸:۰۰	۰/۵	۰
۲	۱۸:۱۵	۰/۵	۰/۱
۳	۱۸:۳۰	۰/۸	۱
۴	۱۸:۴۵	۱	۳/۴
۵	۱۹:۰۰	۳	۶/۸
۶	۱۹:۱۵	۶	۹/۴
۷	۱۹:۳۰	۱۰	۱۱/۶
۸	۱۹:۴۵	۱۳	۱۳/۹
۹	۲۰:۰۰	۱۷/۹	۱۶/۳
۱۰	۲۰:۱۵	۲۳	۲۱/۷
۱۱	۲۰:۳۰	۳۵/۳	۳۰/۱
۱۲	۲۰:۴۵	۴۰	۳۸/۴
۱۳	۲۱:۰۰	۴۵	۴۵/۸
۱۴	۲۱:۱۵	۵۰	۵۱
۱۵	۲۱:۳۰	۵۲/۷	۵۲/۲
۱۶	۲۱:۴۵	۵۰	۴۹/۲
۱۷	۲۲:۰۰	۴۲	۴۲/۸
۱۸	۲۲:۱۵	۳۵	۳۴/۹
۱۹	۲۲:۳۰	۲۸/۳	۲۷/۲
۲۰	۲۲:۴۵	۲۰	۲۰/۷
۲۱	۲۳:۰۰	۱۵	۱۵/۱
۲۲	۲۳:۱۵	۸	۱۰/۳
۲۳	۲۳:۳۰	۳/۸	۶/۹
۲۴	۲۳:۴۵	۳	۴/۶
۲۵	۲۴:۰۰	۱/۷	۳/۱
۲۶	۲۴:۱۵	۱/۵	۲/۱
۲۷	۲۴:۳۰	۱/۳	۱/۴
۲۸	۲۴:۴۵	۱/۲	۱

## ۳-۴- رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

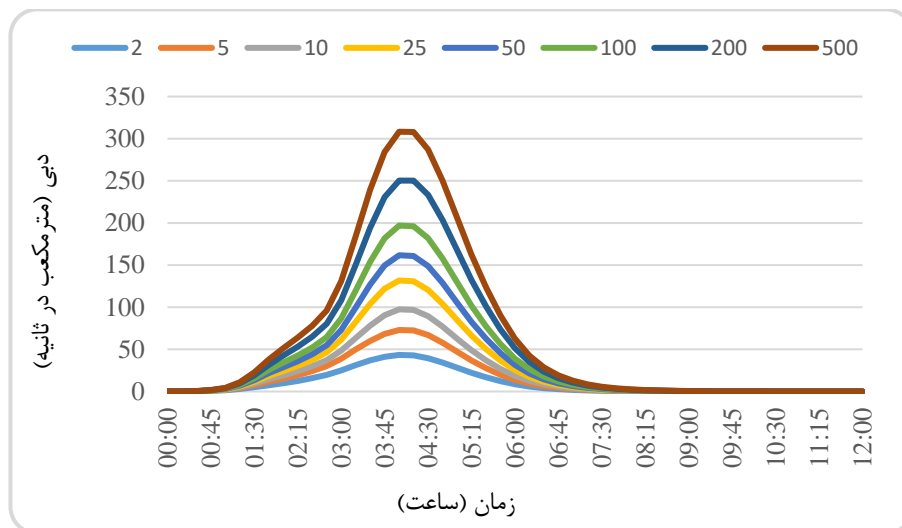
برای تعیین هیدروگراف سیل با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف، شدت و توزیع زمانی بارش‌ها لازم بود. بدین منظور از اطلاعات جدول شدت-مدت-فراوانی ایستگاه باران‌سنجی تلغور(قهرمان، ۱۳۸۵: ۱۱۰) واقع در حوضه‌ی آبخیز مورد مطالعه که در روستای تلغور قرار داشت، استفاده شد. با توجه به جدول مذکور و بر پایه‌ی زمان تمرکز زیرحوضه‌ها شدت بارش‌های با دوره‌ی برگشت‌های مختلف محاسبه و توزیع بارش با فواصل زمانی ۱۵ دقیقه‌ای به مدل معرفی گردید (جدول ۴).

جدول ۴: شدت بارش (میلی‌متر در ساعت) بر پایه‌ی زمان تمرکز زیرحوضه‌ها برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

ردیف	نام زیرحوضه	مساحت (KM <sup>2</sup> )	زمان تمرکز (MIN)	دوره‌ی 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

## ۴-۴- هیدروگراف سیل برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

پس از ورود اطلاعات به نرم‌افزار HEC-HMS و واسنجی و اعتبار یابی مدل، اطلاعات رگبارهای با دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله وارد مدل گردید. سپس با اجرای مدل هیدروگراف سیل با دوره‌ی بازگشت‌های یادشده محاسبه و تعیین شد (شکل ۷).



شکل ۷: هیدروگراف سیل با دوره‌ی بازگشت‌های ۲ تا ۵۰۰ ساله حوضه‌ی آبخیز

#### ۴-۵- رابطه‌ی رواناب با تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه

با تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه، نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک حوضه و به تبع آن‌ها CN متوسط زیرحوضه‌ها تغییر می‌کند. برای بررسی واکنش رواناب به تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه CN متوسط زیرحوضه‌ها برای شرایط قبل و بعد تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه تهیه و به مدل معرفی گردید. مدل در دو مرحله اجرا و سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف شبیه‌سازی شد. سپس خروجی‌های مدل برای دو مرحله‌ی گفته‌شده مورد مقایسه قرار گرفت (جدول ۵ و ۶، اشکال ۸ و ۹).

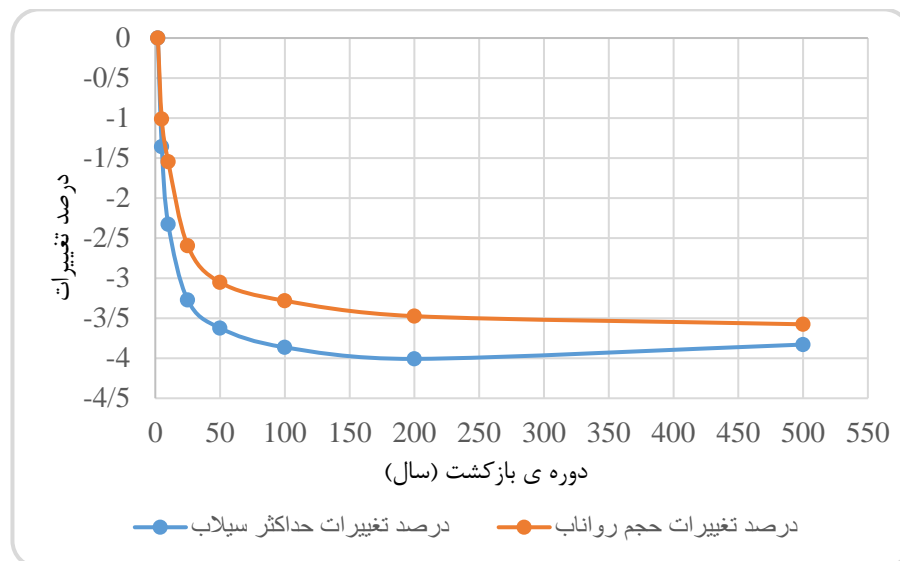
جدول ۵: متوسط CN زیرحوضه‌ها قبل و بعد از تغییر کاربری بستر رودخانه

ردیف	نام زیرحوضه	مقدار CN قبل از تغییر کاربری	مقدار CN بعد از تغییر کاربری	تغییرات CN
۱	W160	۷۵/۱	۷۵/۱	۰
۲	W170	۸۸/۵	۸۸/۵	۰
۳	W180	۷۷/۸	۷۷/۸	۰
۴	W190	۶۹/۸	۶۹/۸	۲
۵	W200	۷۸/۳	۷۶/۳	۲
۶	W210	۷۹/۵	۷۷/۵	۲
۷	W220	۸۱/۲	۸۰/۲	۱
۸	W240	۷۸	۷۷/۵	۰/۵
۹	W390	۸۵/۱	۸۴/۶	۰/۵
۱۰	W340	۸۶/۳	۸۳/۳	۳
۱۱	W290	۸۱/۵	۸۰/۵	۱
۱۲	W250	۸۳/۹	۸۳/۹	۰
۱۳	W300	۸۶/۹	۸۶/۴	۰/۵
۱۴	W350	۸۷/۸	۸۷/۳	۰/۵
۱۵	W400	۷۷/۶	۷۷/۶	۰

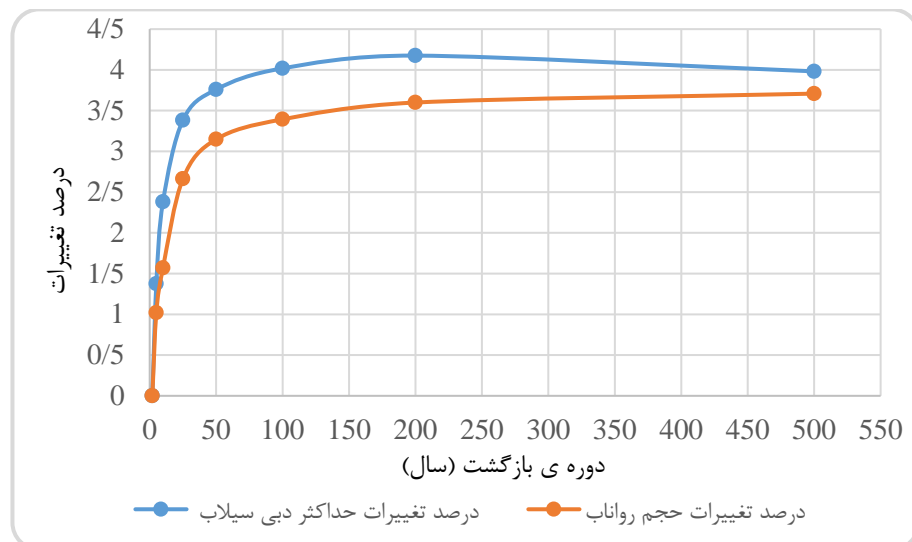
جدول ۶: تغییرات حداکثر دبی سیلاب و حجم رواناب در قبل و بعد از تغییر کاربری بستر رودخانه

ردیف	دوره‌ی بازگشت	قبل از تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه		بعد از تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه		درصد تغییرات حداکثر دبی سیلاب	درصد تغییرات حجم رواناب	p-value	p-value
		حداکثر دبی سیلاب (M <sup>3</sup> /S)	حجم رواناب (MCM)	حداکثر دبی سیلاب (M <sup>3</sup> /S)	حجم رواناب (MCM)				
۱	۲	۴۳/۴	۱/۲	۴۳/۴	۱/۲	۰/۰	۰/۰	-	-
۲	۵	۷۳/۷	۲/۰	۷۲/۷	۲/۰	۱/۴	۱/۰	۰/۱۰۹	۰/۰۷
۳	۱۰	۹۸/۹	۲/۶	۹۶/۶	۲/۶	۲/۳	۱/۵	۰/۰۹۱	۰/۰۶۷
۴	۲۵	۱۳۴/۵	۳/۵	۱۳۰/۱	۳/۴	۳/۳	۲/۶	*۰/۰۳۶	*۰/۰۲۵
۵	۵۰	۱۶۵/۶	۴/۳	۱۵۹/۶	۴/۱	۳/۶	۳/۱	*۰/۰۲۶	*۰/۰۱۶
۶	۱۰۰	۲۰۱/۹	۵/۲	۱۹۴/۱	۵/۰	۳/۹	۳/۳	*۰/۰۱۹	*۰/۰۰۹
۷	۲۰۰	۲۵۷/۰	۶/۶	۲۴۶/۷	۶/۴	۴/۰	۳/۵	*۰/۰۱۵	*۰/۰۰۷
۸	۵۰۰	۳۱۶/۰	۸/۱	۳۰۳/۹	۷/۸	۳/۸	۳/۶	*۰/۰۱۱	*۰/۰۰۵

\*هر جا با علامت ستاره مشخص گردیده است، در سطح اطمینان ۹۵ درصد با توجه به اینکه p-value کم‌تر از ۰/۰۵ است، تغییرات معنی‌دار است.



شکل ۸: رابطه‌ی تغییرات حداکثر دبی سیلاب و حجم رواناب با تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف



شکل ۹: رابطه‌ی تغییرات حداکثر دبی سیلاب و حجم رواناب با بازگشایی بستر رودخانه در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف

## ۵- نتیجه‌گیری

تأمین آب سالم و پایدار یکی از مسائل مهم صنعت آب کشور است. در سال‌های اخیر تصرف روزافزون بستر و حریم رودخانه‌ها 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 مدیریت یکپارچه و پایدار منابع آب شناخت و تحلیل واکنش مؤلفه‌های هیدرولوژی به دخالت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی بستر و حریم رودخانه‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو، پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه بر میزان و شدت سیل در رودخانه ارداک که در بالادست سد ارداک قرار دارد، اجرا شد. آب جاری در رودخانه‌ی مذکور در سد ارداک ذخیره شده و از آن برای آب شرب شهر مشهد استفاده می‌شود. از این‌جهت، حفاظت کمی و کیفی از آب سد ارداک بسیار ضروری خواهد بود. برای ترسیم حوضه‌ی آبخیز و استخراج پارامترهای فیزیکی آن تصاویر ماهواره‌ای ASTER و نرم‌افزار HEC-GeoHMS مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌ی بستر موجود رودخانه و حاشیه‌ی آن تهیه و به‌عنوان یک لایه‌ی جدید به نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه اضافه شد. برای شبیه‌سازی بارش و رواناب از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS استفاده شد. ابتدا برای دو واقعه‌ی بارش و رواناب مدل واسنجی و اعتباریابی گردید. سپس هایتوگراف بارش مربوط به دوره‌ی بازگشت‌های مختلف در پایه‌ی زمان تمرکز حوضه به مدل HEC-HMS معرفی شد. مدل در دو مرحله اجرا و خروجی‌های آن (سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف) با یکدیگر مقایسه شد. در مرحله‌ی اول با تلفیق نقشه‌های کاربری اراضی و گروه هیدرولوژیکی خاک، نقشه‌ی CN و سپس متوسط CN هر زیرحوضه‌ی برای شرایط طبیعی رودخانه تعیین و به مدل معرفی شد. در مرحله‌ی دوم با هم‌پوشانی نقشه‌های یادشده، نقشه‌ی جدید CN و سپس متوسط CN هر زیرحوضه برای شرایطی که بستر رودخانه به کاربری باغی و زراعی تغییر می‌نماید، تعیین و به مدل معرفی گردید. نتایج نشان می‌دهد مدل HEC-HMS کارایی بالایی در شبیه‌سازی بارش و رواناب دارد. بررسی جانسون و همکاران (۲۰۰۱)، چنگ و همکاران (۲۰۱۳)، حسینی و همکاران (۱۳۹۳)، دسیلوا و همکاران (۲۰۱۳) که بارش و رواناب را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS شبیه‌سازی کرده‌اند، با نتایج پژوهش حاضر مشابه و قابل‌مقایسه است. همچنین نتایج نشان داد تغییر اراضی بستر رودخانه به کاربری زراعی و باغی باعث می‌شود، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب کاهش یابد. البته در سطح اطمینان ۹۵ درصد دبی



حداکثر سیلاب و حجم رواناب در قبل و بعد از تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه در دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۵ و ۱۰ ساله اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند، ولی در دوره‌ی بازگشت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۵۰۰ ساله اختلاف آن‌ها معنی‌دار است. این تغییر ناشی از کاهش CN و درواقع به دلیل افزایش ظرفیت نفوذپذیری خاک است؛ اما سرعت این کاهش در سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف متغیر است. به عبارت دیگر، نرخ اثر تغییر کاربری اراضی بستر رودخانه بر دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب با افزایش دوره‌ی بازگشت کاهش پیدا می‌کند. ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۷)، بهنام و همکاران (۱۳۹۲)، ثقفیان و همکاران (۱۳۸۵)، حسینی و همکاران (۱۳۹۳)، درفشی و همکاران (۱۳۹۳)، زوپ و همکاران (۲۰۱۶)، فرج‌زاده و فلاح (۱۳۸۴)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه‌ی آبخیز و تأثیر آن بر مشخصات هیدروگراف سیل پرداخته و به نتایج مشابه و قابل‌مقایسه با نتایج پژوهش حاضر رسیده‌اند. نتایج دیگر پژوهش حاضر بیانگر آن است که اثر تغییر اراضی بستر رودخانه به کاربری زراعی و باغی بر کاهش دبی حداکثر سیلاب نسبت به اثر آن بر کاهش حجم رواناب بیش‌تر است. نظر به یافته‌های این پژوهش استنباط می‌شود که با بازگشایی رودخانه و اعاده به وضع شرایط طبیعی آن، دبی حداکثر سیلاب و حجم رواناب هردو افزایش خواهد یافت. این مهم برای رودخانه‌هایی که آورد آن‌ها در پشت سد که سرمایه‌گذاری هنگفتی برای طراحی و احداث آن‌ها صرف می‌شود، اهمیت زیادی دارد. افزایش حجم رواناب برای ذخیره‌ی آبی سد مفید است، اما افزایش دبی حداکثر دبی سیلاب باعث تشدید خطرات سیل می‌گردد که این امر باید در مدیریت منابع آب و مدیریت ریسک سیل موردتوجه باشد. باید در نظر داشت، اگرچه تصرف بستر رودخانه و تغییر کاربری آن به باغی و زراعی کاهش دبی حداکثر دبی سیلاب در خروجی حوضه را به همراه دارد، اما در مقابل به دلیل اینکه با تصرف رودخانه عرض آن کم می‌شود، در نتیجه ظرفیت عبور سیلاب محدودتر شده و مخاطرات سیل تشدید می‌گردد.

تغییر اراضی بستر رودخانه به کاربری زراعی و باغی در میزان رسوب و کیفیت آب خروجی از حوضه مؤثر است که این می‌تواند در قالب پژوهش‌هایی برای دوره‌ی برگشت‌های مختلف سیلاب موردبررسی قرار گیرد.

## ۶- منابع

- ۱- اعلمی، محمدتقی و مصطفی‌پور، هادی (۱۳۸۷). پهنه‌بندی حریم و بستر و تعیین کاربری اراضی (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی قرنقو)، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- ۲- ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، کاظمی، سارا (۱۳۹۷). اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی زاگرس مرکزی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی تویسرکان)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۸ (۳۱): ۴۲-۲۳.
- ۳- بهنام، پگاه، صمدی، حسین، شایان نژاد، محمد، ابراهیمی، عطاله (۱۳۹۲). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل رودخانه‌ی زاینده‌رود در محدوده‌ی شهری اصفهان، مجله‌ی آب و فاضلاب، ۲۴ (۴)، ۱۱۱-۱۰۳.
- ۴- بیت‌اله‌پور و همکاران (۱۳۹۷). امکان‌سنجی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در تعیین حد بستر رودخانه‌ها (مطالعه‌ی موردی: رودخانه گابریک)، یازدهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه.
- ۵- ثقفیان، بهرام، فرازجو، حسن، سپهر، عادل، نجفی‌نژاد، علی (۱۳۸۵). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز سد گلستان، تحقیقات منابع آب ایران، سال دوم، شماره‌ی ۲۷، ۱۸-۱.
- ۶- حاجی‌قلی‌زاده، محمد (۱۳۸۳). بررسی نقش دخالت‌های انسانی بر رفتار سیل در بخشی از رودخانه‌ی کن تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده‌ی منابع طبیعی و علوم دریایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، ۱۲۸ ص.
- ۷- حسینی، سید موسی، جعفربیگلو، منصور، یمانی، مجتبی، گراوند، فاطمه (۱۳۹۴). پیش‌بینی سیلاب‌های تاریخی رودخانه‌ی کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره‌ی ۱، صص ۱۳۳-۱۱۸.
- ۸- خلیقی سیگارودی، شهرام، مهدوی، محمد، ثقفیان، بهرام (۱۳۸۴). بررسی اثر تغییر کاربری اراضی در حوضه‌ی باراندوزچای در استان آذربایجان غربی در طول یک دوره‌ی ۴۵ ساله (۱۳۳۴ تا ۱۳۷۹)، منابع طبیعی ایران، دوره ۵۸، صص ۷۴۲-۷۳۳.

- ۹- درفشی، خهبات، خالدی، شهریار، شعبانی‌نیا، حسن، مهرجوئاد، اکبر (۱۳۹۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی و مدل‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS در حوضه‌ی آبخیز بابلرود، مجله‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۳۳-۴۴.
- ۱۰- سلطانی، شکور، جعفری، غزال (۱۳۹۰). رودخانه‌ها و سواحل در آیین‌های قانون، شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۲۰۵.
- ۱۱- صادقی، سحر، جلالی‌راد، رامین، علی محمدی سراب، علی (۱۳۸۲). پهنه‌بندی سیل با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (منطقه‌ی مورد مطالعه: حوضه‌ی آبخیز شهری دارآباد تهران)، پژوهشنامه‌ی علوم کشاورزی و منابع طبیعی خزر، شماره ۲، صص ۳۴-۴۷.
- ۱۲- علیزاده، امین (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی، ویرایش پنجم دانشگاه امام رضا، ۹۱۱.
- ۱۳- فرج‌زاده اصل، منوچهر، فلاح، مهنام (۱۳۸۷). ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر رژیم سیلابی رودخانه تجن با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۸۴-۱۰۹.
- ۱۴- قانون توزیع عادلانه آب مصوب سال ۱۳۶۱ مجلس شورای اسلامی، قابل‌دسترس در سایت مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
- ۱۵- قهرمان، بیژن، حسینی، سید محمود، داوری، کامران (۱۳۸۵). تحلیل باران‌های کوتاه‌مدت در استان خراسان، کمیته‌ی تحقیقات کاربردی شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۵۲.
- 16- Chang, C., & Huang, W. (2013). Hydrological modeling of typhoon-induced extreme storm runoffs from Shihmen watershed to reservoir, Taiwan. *Natural hazards*, 67(2), 747-761.
- 17- De Silva, M. M. G. T., Weerakoon, S. B., & Herath, S. (2013). 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.
- 18- Johnson C, Yung A, Nixon K, Legates D.(2001).The use of HEC-GeoHMS and HEC-HMS to Perform Grid-Based Hydrology Analysis of a Watershed. Texas: Dodson & Associated. 85 p.
- 19- Miller, S. N., Kepner, W. G., Mehaffey, M. H., Hernandez, M., Miller, R. C., Goodrich, D. C & Miller, W. P. (2002). INTEGRATING LANDSCAPE ASSESSMENT AND HYDROLOGIC MODELING FOR LAND COVER CHANGE ANALYSIS 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 38(4), 915-929.
- 20- Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J. A., Ge, Y., & Qiu, G. Y. (2007). The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. *Catena*, 69(1), 31-35.
- 21- Zope, P. E., Eldho, T. I., & 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.