

## ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه و پهنه‌های سیلابی رودخانه (مورد مطالعه: حوضه کشکان در استان لرستان)

فاطمه گراوند<sup>۱</sup>، شیرین محمدخان<sup>۲\*</sup>، سید موسی حسینی<sup>۳</sup> و پریسا پیرانی<sup>۴</sup>

### چکیده

تغییر کاربری اراضی، یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پاسخ هیدرولوژیک حوضه نسبت به بارش، از جمله نرخ نفوذ است. در این پژوهش برای بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک، نقشه کاربری اراضی حوضه کشکان در استان لرستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ استخراج شد؛ سپس برای شبیه‌سازی بارش رواناب با کمک مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS ابتدا، پارامترهای لازم برای محاسبه ارتفاع رواناب با مدل منحنی اداره حفاظت خاک آمریکا (SCS-CN) شامل منحنی و زمان نگهداشت سطحی حوضه برآورد شد. در مرحله بعدی، نقشه پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف با مدل هیدرولوژیکی HEC-Geo-RAS استخراج و مساحت اراضی با کاربری‌های مختلف، که در محدوده پهنه‌های سیلابی قرار گرفته است، در دوره مورد مطالعه، محاسبه شد. نتایج نشان داد تغییرات کاربری در دوره مورد بررسی در حوضه باعث کاهش نرخ نفوذ آب در سطح حوضه شد؛ به گونه‌ای که مقدار منحنی محاسبه‌شده در سال ۱۳۶۸ برابر ۴۵ به مقدار ۶۸/۴ در سال ۱۳۹۳ افزایش یافت. در همین دوره، مقدار نگهداشت سطحی از ۴۱ میلی‌متر به ۲۴/۳ میلی‌متر کاهش یافت که موجب افزایش پتانسیل سیل‌خیزی حوضه شد. همچنین، نتایج مدل هیدرولوژیکی نشان داد مناطق مسکونی در دوره اخیر (از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) نسبت به دوره قبل (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹)، که در دوره بازگشت ۵۰ ساله دچار آبگرفتگی می‌شد، اکنون در دوره بازگشت کوتاه‌مدت ۲۵ ساله، دچار آبگرفتگی شده است. از نتایج این پژوهش به‌عنوان مبنایی برای درک اهمیت نقش پوشش گیاهی در کنترل سیلاب می‌توان استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه کشکان، رواناب، کاربری اراضی، مؤلفه‌های هیدرولوژیک، مدل HEC-HMS، مدل HEC-geo-RAS.

**ارجاع:** گراوند ف. محمدخان ش. حسینی س. م. و پیرانی پ. ۱۴۰۰. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر ویژگی‌های هیدرولوژیک حوضه و پهنه‌های سیلابی رودخانه (مورد مطالعه: حوضه کشکان در استان لرستان). مجله پژوهش آب ایران. ۴۱: ۸۷-۹۸.

۱- دانشجوی دکترای رشته ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۲- استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

۴- دانشجوی دکترای رشته ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: mohamadkh@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۲۱

## مقدمه

بر اساس آمار منتشرشده در میان بلایای طبیعی، سیل، بیشترین تلفات و خسارت‌ها را به جوامع بشری وارد کرده است (قدسیان، ۱۳۷۷). سطح مناطق سیل‌خیز کشور، حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده است؛ به عبارت دیگر، ۵۵ درصد از سطح کشور در تولید رواناب مستقیم و سریع نقش دارد که حدود ۴۲ میلیون هکتار آن، شدت سیل‌خیزی متوسط تا خیلی زیاد دارد (ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱). تغییرات کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک، فرسایش حوضه و انهدام تنوع زیستی است؛ بنابراین، با آگاهی از روند تغییرات کاربری اراضی همسو با هدایت اکوسیستم‌ها می‌توان به سمت تعادل قدم برداشت و واکنش هیدرولوژیکی حوضه را با خطای کمتری شبیه‌سازی کرد (پلچروا، ۲۰۰۴). سرعت تغییر اکوسیستم‌ها در سال‌های اخیر، چنان شتاب‌زده بوده است که امکان سازگاری موجودات زنده با تغییرات محیطی به‌سختی انجام می‌شود و بی‌توجهی به تغییرات کاربری اراضی و بهره‌برداری از منابع طبیعی به‌علت برهم‌زدن تعادل زیستی، یکی از عوامل مؤثر در افزایش پهنه‌های سیلابی بوده است (مس و همکاران، ۲۰۰۴). میلر و همکاران (۲۰۰۲) با تلفیق مدل‌های هیدرولوژیک و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر واکنش هیدرولوژیک دو حوضه ایالات متحده آمریکا مطالعه کردند. نتایج بررسی روند تغییرات رواناب در محیط مدل HEC-HMS و با استفاده از روش منحنی نشان داد در حوضه رودخانه سن پدرو با مساحت ۳۱۵۰ کیلومتر مربع به‌علت کاهش سطح جنگل‌ها و ازدیاد اراضی کشاورزی و مناطق شهری بین سال‌های ۱۹۷۳ تا ۱۹۹۷، رواناب متوسط سالانه افزایش یافته است. کبل و همکاران (۲۰۰۵) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS و استفاده از تخمین بارش راداری در آمریکای مرکزی، مدلی منطقه‌ای برای سیلاب ارائه و مدل را با سیلاب تابستان سال ۲۰۰۲ مقایسه کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد این مدل، کارایی زیادی در پیش‌بینی سیلاب در مقیاس منطقه‌ای دارد. زیویی و همکاران (۲۰۱۵)، تأثیر سیلاب را بر سازه‌های شهری در شهر ساحلی بمبئی هند بررسی کردند. آنها با استفاده از نقشه‌های تغییرات پوشش سطح زمین و

کاربری اراضی، نقشه خطر سیل برای کاربری‌های اراضی مختلف را با مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS تهیه کردند. نتایج نشان داد نقشه‌های پهنه‌بندی سیل با مدل HEC-RAS برای برآورد سیلاب و خطر سیل بسیار مؤثر است. کنتی و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیکی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تأثیر تغییرات کاربری اراضی در رواناب رودخانه گداواری هند را بررسی کردند. نتایج پژوهش نشان داد جنگل‌زدایی به کاهش تبخیر تعرق کلی و نفوذ منجر شده که این امر باعث افزایش ضریب رواناب در حوضه گداواری شده است. عبقری (۱۳۸۳)، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در بخشی از حوضه جاجرود با استفاده از مدل HEC-RAS و GIS برای دوره بازگشت‌های متفاوت اقدام کرد. نتیجه مطالعه نشان داد این مدل، قابلیت خوبی در تحلیل هیدرولوژیکی تراز سطح آب در دوره بازگشت‌های مختلف دارد. روشن و همکاران (۱۳۹۱)، با هدف تلفیق مدل HEC-RAS با نرم‌افزار ArcView به شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی رودخانه بشار اقدام کردند. نتیجه نشان داد مدل HEC-RAS مقادیر عددی مناسبی را برای مطالعه خصوصیات هیدرولوژیکی جریان در رودخانه‌ها ارائه می‌دهد و برای پهنه‌بندی سیلاب با دقت زیاد و هزینه اندک استفاده می‌شود. شنایی هویزه و همکاران (۱۳۹۷)، با استفاده از تلفیق روش‌های سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل هیدرولوژیکی، اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل در حوضه ابوالعباس در استان خوزستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد به‌علت تغییرات کاربری اراضی، میزان دبی اوج و حجم سیلاب به‌طور متوسط، ۵/۵ درصد افزایش یافته است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد بی‌توجهی به حریم مسیل‌ها و رودخانه‌ها باعث ایجاد رشد نامایی در فراوانی وقوع سیلاب و میزان خسارت‌ها شده است. بررسی تغییرات ژئومورفولوژیکی مجاری رود و سیلابی‌شدن برخی از آنها، به‌علت تغییرات انسانی زیادی است که در بستر رودخانه به وجود آمده است (جیمز، ۱۹۹۹). تخریب شدید منابع طبیعی، خواه به‌صورت بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها و مراتع و خواه به شکل تغییر کاربری اراضی و تبدیل آنها به اراضی کشاورزی نامناسب و یا ساخت بی‌رویه مناطق مسکونی موجب شده است سیلاب‌ها سال به سال هم از نظر تعداد وقوع و هم از نظر شدت خسارت‌ها افزایش یابد. بررسی

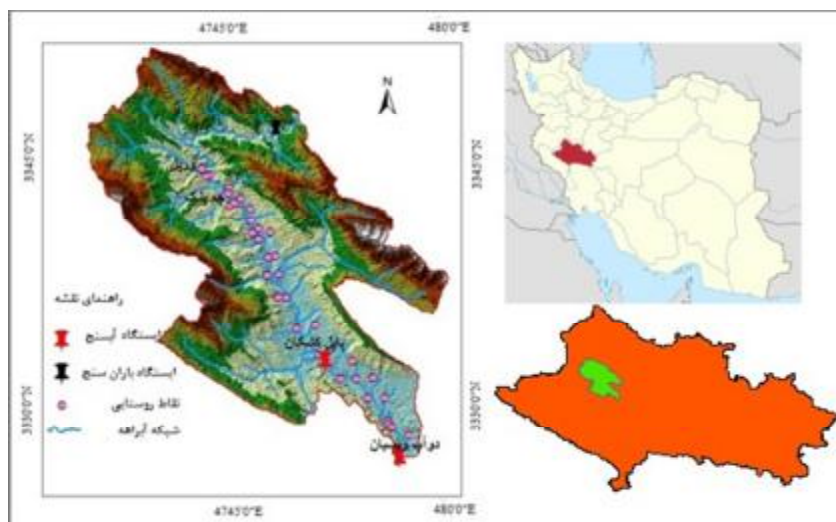
۱۳۳۴ تاکنون در یک دوره ۵۸ ساله، رودخانه کشکان با ۱۶ سیلاب بالای ۱۰۰۰ مترمکعب در ثانیه، سیل خیزترین رودخانه استان است. بزرگترین سیلاب ثبت شده استان، سیل ۱۵ بهمن سال ۱۳۸۴ رودخانه کشکان با آبدهی بیشینه ۳۰۹۰ مترمکعب در ثانیه بوده است که میزان خسارت‌های ناشی از آن در بخش‌های مختلف، معادل ۸۰ میلیارد تومان بوده است (شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان، ۱۳۹۲). براساس آمار موجود سیل‌های رخ داده در حوضه مد نظر و با توجه به شرایط فیزیوگرافی و دخالت عوامل انسانی، از جمله مهم‌ترین آنها به تغییرات کاربری اراضی (از بین بردن انواع پوشش‌های طبیعی گیاهی) و دخالت در حریم بستر رودخانه (شخم‌زدن بستر و تبدیل آن به اراضی کشاورزی) می‌توان اشاره کرد که این عوامل باعث پتانسیل زیاد سیل‌خیزی این حوضه شده است. چنین وضعیتی در این حوضه ایجاب می‌کند که با دقت و صحت زیاد، رواناب خروجی را براساس وضعیت پارامترهای مؤثر در میزان رواناب خروجی حاصل از بارش و مساحت پهنه آن برآورد کند که در امر برنامه‌ریزی، طراحی و پیاده‌سازی کنترل سیل بتوان از آن استفاده کرد؛ بنابراین، برای نیل به این هدف مهم، در این پژوهش برای بازه‌ای به طول تقریبی ۴۰ کیلومتر از رودخانه کشکان از روستای پلک تا روستای دوآب و یسیان واقع در زیرحوضه شیراوند (شکل ۱)، ابتدا با استفاده از تکنیک سنجش از دور و روش طبقه‌بندی، کاربری‌های اراضی حوضه مدنظر برای دو سال ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ برای آشکارسازی تغییرات استخراج شد. در مرحله بعدی، فرایند بارش- رواناب در مقیاس روزانه با مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS شبیه‌سازی و سپس، نقشه پهنه سیل با تلفیق مدل HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در قالب الحاقیه HEC-geo-RAS - تهیه شد که براساس آن با شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر بر سیلاب رودخانه در مقابل سیلاب‌های مختلف، از مخاطرات سیل ناشی از طغیان رودخانه در پیرامون آبراهه اصلی تا حدودی می‌توان کاست و تمهیدات لازم را برای برنامه‌ریزی برای کنترل سیل اتخاذ کرد.

آمار خسارت‌های سالانه ناشی از وقوع سیلاب‌ها نشان‌دهنده گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است؛ از این‌رو، کنترل سیل و مقابله با آن و شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر بر آن، اهمیت بسیار زیادی دارد؛ به عبارت دیگر، پیش از هر گونه برنامه‌ریزی برای کنترل سیل باید رفتار فرایندهای آن را شناخت (اسمیت، ۱۹۹۲). با توجه به تأثیر عوامل مختلف در بروز سیل، انواع اقدامات مدیریتی (آبخیزداری و مدیریت کاربری اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت در مسیر رودخانه‌ها و مسیل‌ها، پیش‌بینی و هشدار سیل، اقدامات پیشگیری و حمایتی در مناطق سیل‌گیر و پهنه‌بندی خطر سیل) در کاهش خسارت‌های ناشی از آن مؤثر است (قمی اوپلی و همکاران، ۱۳۸۹). از جمله اقدامات مدیریتی، که نقش بسزایی در کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع سیلاب دارد، مدل‌سازی فرایند بارش- رواناب و پهنه‌بندی خطر سیل است که مدل‌های ریاضی، توانایی زیادی برای برآورد رواناب و پهنه سیلابی آن دارد و با شناخت عوامل و پارامترهای مؤثر بر سیلاب، اطلاعات مؤثری را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. چنین مدل‌هایی، توانایی زیادی در مدیریت حوضه پیش از وقوع سیل و حتی مدیریت بحران و امداد و نجات در حین وقوع سیل را در اختیار مدیران و کارشناسان مربوط قرار می‌دهد (گراوند، ۱۳۹۴).

## مواد و روش‌ها

### ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه

استان لرستان به لحاظ قرارگیری در زاگرس میانی و شیب زیاد کوهستانی (با شیب متوسط حدود ۱۱ درصد)، ساختار ژئومورفولوژی (واحدهای کوهستانی مرتفع با ساختمان سنگی و شیب بسیار زیاد و دیواره‌های قائم به صورت پرتگاه‌های فرسایشی و خاک ریزدانه و نفوذناپذیر رس و سیلت)، شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی و فیزیوگرافی حوضه‌ها و براساس آمارهای موجود در بیشتر سال‌های گذشته، متحمل خسارت‌های سنگین و حوادث ناگواری ناشی از وقوع بلایای طبیعی بوده است. در این میان، سیلاب، بیشترین خسارت را به زیرساخت‌های استان وارد کرده است. از بین رودخانه‌های دائمی لرستان از سال



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه شیراوند کشکان در لرستان و ایران

### شرح پژوهش

در این پژوهش برای بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ خردادماه مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ (TMC1) و ۱۳۹۳ (Landsat8) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شده و مراحل پیش‌پردازش تصاویر، مانند تصحیح اتمسفری، ارتفاعی و هندسی با نرم‌افزار ENVI انجام و آنگاه در این طبقه‌بندی، باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ استفاده شد. در مراحل بعد برای تشخیص بهتر و طبقه‌بندی صحیح عوارض به واضح کردن تصویر، اقدام و سپس مؤلفه‌های اصلی، تعیین و طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال به صورت نظارت‌شده انجام شد. در این روش طبقه‌بندی از داده‌هایی مانند میانگین متوسط‌های برآورد و واریانس‌های طبقات استفاده می‌شود. این روش، متوسط واریانس‌ها و تغییرپذیری در ارزش‌های طیفی هر طبقه را به عنوان مجموعه‌ای از داده‌های زمینی به دست می‌دهد؛ بنابراین، نیازمند داده‌های زمینی دقیق است (سوریا و مودگال، ۲۰۱۱)؛ سپس با استفاده از ضریب کاپا، صحت طبقه‌بندی، ارزیابی و در Google Earth نیز دقت طبقه‌بندی بررسی شد. در نهایت، با کمک Arc-GIS طبقات رقومی شده و مساحت طبقات، محاسبه و نقشه کاربری اراضی برای زمان‌های مورد مطالعه حاصل شد. در گام بعدی برای بررسی تأثیر مشخصه‌های مورفولوژی و هندسی رودخانه به همراه تغییرات کاربری اراضی از مدل ریاضی (HEC-HMS) برای شبیه‌سازی بارش- رواناب روزانه استفاده شد که در واقع، نسخه تحت ویندوز مدل HEC۱- است که در سال ۱۹۸۱،

مرکز مهندسی هیدرولوژی ارتش ایالات متحده آمریکا برای تهیه هیدروگراف سیل ارائه کرد و پس از آن، اصلاحات زیادی روی آن انجام شد تا در سال ۱۹۹۸ به نام HEC-HMS و تحت ویندوز ارائه شد (گروه مهندسان ارتش آمریکا، ۲۰۰۰). بدین منظور، آمار دبی، بارش، دما و تبخیر در مقیاس روزانه در دوره آماری (۱۳۵۱-۱۳۹۶) از سازمان آب منطقه‌ای استان لرستان تهیه شد. وقوع سیلی در اسفند ۱۳۷۰ با دبی پیک ۱۰۲۰ مترمکعب در ثانیه، ایستگاه هیدرومتری پل کشکان را ویران کرده و ایستگاه دوآب ویسیان بعد از آن در سال ۱۳۷۸ تأسیس شد؛ بنابراین، داده‌های روزانه دبی از بین داده‌های این دو ایستگاه به علت فرارگیری در خروجی حوضه در دو دوره آماری ۱۸ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) انتخاب شده و داده‌های ایستگاه باران‌سنجی سراب صیدعلی در بالادست حوضه به کار رفته است که برای نشان دادن تأثیر صرف تغییرات کاربری بر رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل هیدرولوژیکی، دوره‌های نرمال هواشناسی از بین سری زمانی داده‌های بارش ماهانه این ایستگاه با کمک شاخص بارش استاندارد (SPI) مشخص شده است.

این شاخص را رضیئی و همکاران (۱۳۹۰) برای تعیین دوره‌های خشکسالی و ارزیابی شدت آن تدوین کردند که تاکنون به یکی از پرکاربردترین روش‌ها برای تحلیل خشکسالی در سراسر دنیا تبدیل شده است و هم‌اکنون نیز مراکز مدیریت خشکسالی در کشور، در وزارتخانه‌های نیرو و جهاد کشاورزی برای پایش خشکسالی از آن

حجم دبی شبیه‌سازی‌شده،  $(T_p)_{obs}$  زمان دبی اوج مشاهداتی و  $(T_p)_{sim}$  زمان دبی اوج شبیه‌سازی‌شده است. برای بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در بستر و حریم رودخانه باید نقشه پهنه‌های سیلابی رودخانه در دوره بازگشت‌های مختلف انجام شود. برای دستیابی به این هدف، گام اول شامل تهیه اطلاعات ورودی برای نرم‌افزار HEC-RAS است. برای تهیه لایه‌های هندسی مورد نیاز RAS و محاسبه پهنه‌های سیلابی، TIN منطقه از نقشه رقومی ۱:۱۵۰ (نقشه برداری شده توسط سازمان آب منطقه‌ای لرستان) تهیه و برای دستیابی به دبی پیک با دوره بازگشت‌های مختلف از دو دوره آماری ۱۸ ساله (از سال ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و از ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه هیدرومتری دوآب و بیسان استفاده شد. برای تعیین ضریب زبری مانینگ، معادله معروف کاون (۱۹۵۶) به کار رفته است که ابتدا براساس جدول‌های موجود، ضریب مانینگ اولیه تخمین زده می‌شود؛ سپس با توجه به دیگر شرایط حاکم بر رودخانه در مقاطع مختلف، تأثیر عوامل دیگر مانند درجه ناهمواری، وجود موانع، پوشش گیاهی و شکل مسیر اعمال و ضرایب مانینگ مطابق معادله ذیل اصلاح می‌شود.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)n_5 \quad (۶)$$

که در معادله مذکور،  $n$ : ضریب مانینگ ترکیبی،  $n_0$ : ضریب مانینگ مربوط به دانه‌بندی مواد بستر،  $n_1$ : ضریب مانینگ مربوط به درجه ناهمواری در سطح بستر رودخانه،  $n_2$ : ضریب مانینگ مربوط به تغییرات مقطع رودخانه،  $n_3$ : ضریب مانینگ مربوط به موانع موجود در مسیر رودخانه،  $n_4$ : ضریب مانینگ مربوط به پوشش گیاهی و  $n_5$ : ضریب مانینگ مربوط به درجه انحنای مسیر رودخانه است. با کمک روش کاون و تکمیل داده‌های هندسی، از جمله شبیه‌سازی تمام موانع و سازه‌های ایجادشده در مسیر جریان با بازدیدهای میدانی از منطقه، اطلاعات مربوط به پل‌ها شامل طول و عرض پل، تعداد پایه‌های پل، طول و عرض هر یک از پایه‌ها و اندازه عرشه پل، که مورد نیاز بود، حاصل و در نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. برای تحلیل جریان به روش ماندگار، از نرم‌افزارهای HEC-RAS و الحاقیه HEC-geo -RAS در محیط Arc GIS استفاده شد. برای تهیه دبی‌های پیک برای دوره بازگشت‌های مختلف، نرم‌افزار Easy fit به کار رفت.

استفاده می‌کنند (رضیعی و همکاران، ۱۳۹۰). براساس مقادیر شاخص SPI، که در شکل ۲ نشان داده شده است، برای مطابقت با دوره‌های استخراج کاربری‌های اراضی، دو دوره نرمال مربوط به سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ انتخاب شد. منحنی حوضه برای محاسبه ارتفاع رواناب در مدل هیدرولوژیکی با کمک لایه کاربری اراضی حاصل شده از تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و اطلاعات زمین‌شناسی و خاک‌شناسی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک منطقه مورد مطالعه تعیین شد که در واقع، این گروه‌های هیدرولوژیک، نشان‌دهنده وضعیت بافت و نفوذپذیری خاک حوضه است. براساس وضعیت بافت و نفوذپذیری در این روش، خاک‌های حوضه به چهار گروه A، B، C، D تقسیم و در مرحله بعد با تلفیق گروه‌های هیدرولوژیک خاک حوضه، شیب، کاربری زمین و وضعیت رطوبت زمین، که با میزان و زمان بارندگی منطقه تعیین می‌شود، از طریق جدول‌های موجود منحنی نقشه CN حوضه مورد مطالعه براساس مشخصات ذکرشده استخراج شد. برای ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی مقادیر سیلاب روزانه، معیارهای خطای ضریب تبیین ( $R^2$ )، شاخص پراکندگی ( $SI$ )، درصد خطای حجم ( $\%V$ )، درصد خطای مقدار رسیدن به زمان اوج ( $\%Q_p$ ) و خطای زمان رسیدن به اوج ( $T_p$ ) در نظر گرفته شده است.

۱- ضریب تبیین ( $R^2$ ):

$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}] [Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim}]^2}{\sqrt{\sum_{t=1}^n [Q_{obs}(t) - \bar{Q}_{obs}]^2 \sum_{t=1}^n [Q_{sim}(t) - \bar{Q}_{sim}]^2}} \quad (۱)$$

۲- شاخص پراکندگی داده‌های شبیه‌سازی‌شده پیرامون میانگین مشاهداتی ( $SI$ ):

$$SI = \frac{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t)|}{\bar{Q}_{obs}} \quad (۲)$$

۳- درصد خطای حجم سیلاب ( $\%V$ ):

$$\%V = \frac{V_{obs} - V_{sim}}{V_{obs}} \times 100 \quad (۳)$$

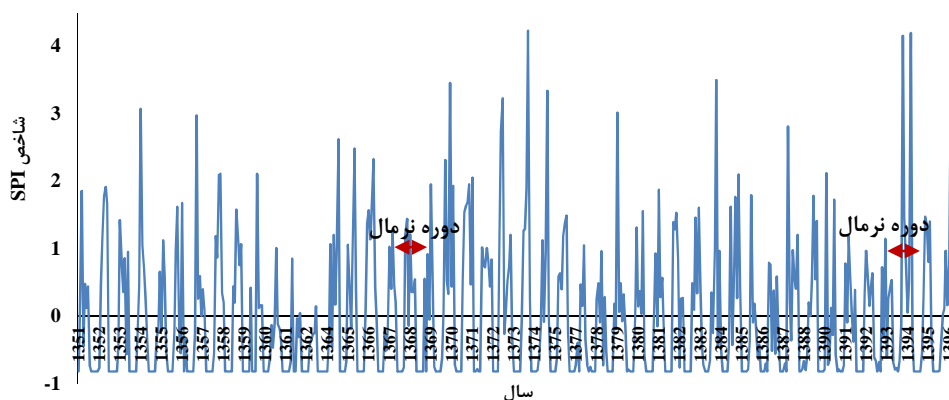
۴- درصد خطای پیش‌بینی دبی پیک ( $\%Q_p$ ):

$$\%Q_p = \frac{(Q_p)_{obs} - (Q_p)_{sim}}{(Q_p)_{obs}} \times 100 \quad (۴)$$

۵- خطای پیش‌بینی زمان پیک سیلاب ( $T_p$ ):

$$T_p = (T_p)_{obs} - (T_p)_{sim} \quad (۵)$$

که در آنها  $(Q_p)_{obs}$  مقدار دبی اوج مشاهداتی،  $(\bar{Q}_p)_{obs}$  متوسط مقدار دبی اوج مشاهداتی،  $(Q_p)_{sim}$  مقدار دبی اوج شبیه‌سازی‌شده،  $(\bar{Q}_p)_{sim}$  متوسط مقدار دبی اوج شبیه‌سازی‌شده،  $(V)_{obs}$  حجم دبی مشاهداتی،  $(V)_{sim}$



شکل ۲- مقادیر SPI محاسبه شده در مقیاس ماهانه و دوره‌های منتخب برای شبیه‌سازی مدل HEC-HMS

### یافته‌های پژوهش

کاسته شده و مساحت کاربری‌هایی مانند سطوح بایر و سازه‌های انسانی افزایش یافته است (جدول ۱ و شکل ۳). پس از آشکارسازی تغییرات کاربری به کمک تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های بارش- رواناب مربوط به سال ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ برای واسنجی پارامترها به مدل داده شد. نتایج به دست آمده از برآورد مقادیر پارامترها با روش‌های تجربی و مدل هیدرولوژیکی در مرحله واسنجی در جدول ۲ آمده است. نتایج نشان داد زمان تمرکز واقعی حوضه، ۵/۹ ساعت و منحنی حوضه برای سال ۱۳۶۸ برابر ۴۵ و سال ۱۳۹۳ برابر ۲۸ است که کاهش اثر عوامل نفوذ آب را در سطح حوضه نشان می‌دهد.

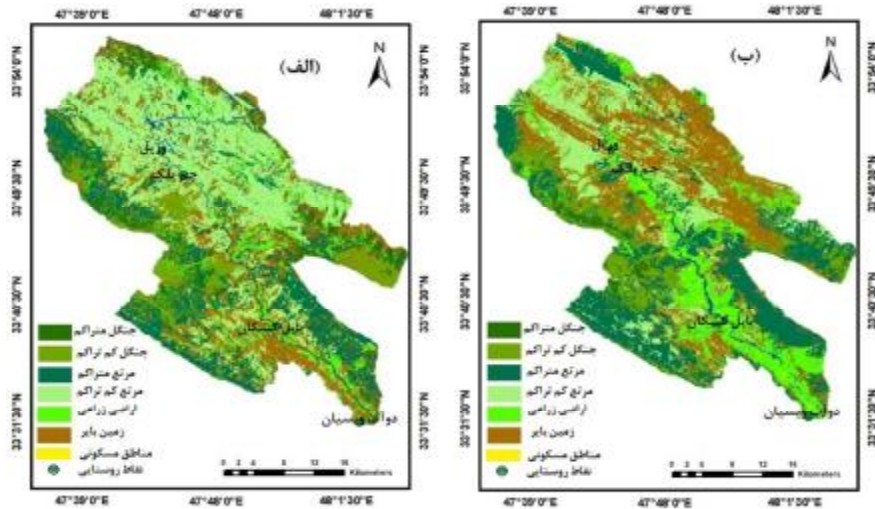
برای فراهم‌شدن نقشه کاربری اراضی، هر کدام از تصاویر به هفت نوع کاربری جنگل (متراکم و کم‌تراکم)، مرتع (متراکم و کم‌تراکم)، مناطق مسکونی و صنعتی، اراضی زراعی و زمین بایر طبقه‌بندی و مساحت هر کدام از کاربری‌ها نیز در محیط ArcGIS محاسبه شد که بیشترین مساحت‌ها در هر دو دوره به ترتیب، مربوط به مراتع کم‌تراکم و مرتع متراکم و کمترین مساحت در هر دو دوره مربوط به مناطق مسکونی و صنعتی است. نتایج نشان داد از مساحت کاربری‌هایی که باعث نفوذ و مصرف آب در حوضه می‌شود، مانند کاربری‌های مرتعی و جنگلی

جدول ۱- مساحت محاسبه شده هر کدام از کاربری‌ها بر حسب کیلومتر مربع

مساحت کل (کیلومتر مربع)		نوع کاربری
سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۶۸	
۷۷/۷	۲۵/۳	اراضی زراعی
۲۶/۴۱	۱۵/۸۴	مناطق مسکونی
۱۷۸/۰۳	۱۹۸/۶۴	مرتع متراکم
۱۸۱/۶۵	۲۶۸/۴۲	مرتع کم‌تراکم
۲۷/۶۶	۷۲/۴۲	جنگل متراکم
۱۲۰/۱۷	۱۰۹/۱۴	جنگل کم تراکم
۱۷۲/۸۵	۹۱/۶۹	زمین بایر

مرحله واسنجی (براساس آمار سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳) ارائه شده است که مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده برای سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ به ترتیب، برابر ۳۳۹ و ۴۹۷ مترمکعب بر ثانیه و مقدار حجم دبی اوج شبیه‌سازی شده برابر ۲۶۸/۴ و ۳۶۵ مترمکعب بر ثانیه است (جدول ۳).

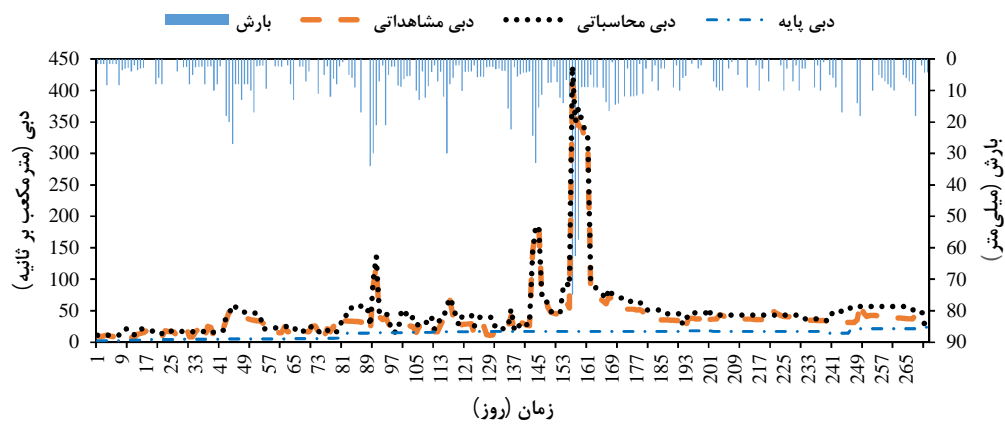
پس از واسنجی پارامترها با مدل HEC-HMS به شبیه‌سازی بارش- رواناب برای دوره آماری سال‌های ۱۳۶۸ و ۱۳۹۳ در این مدل اقدام شد که در شکل‌های ۴ و ۵ هایتوگراف بارش مازاد و تلفات بارش و هیدروگراف دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در



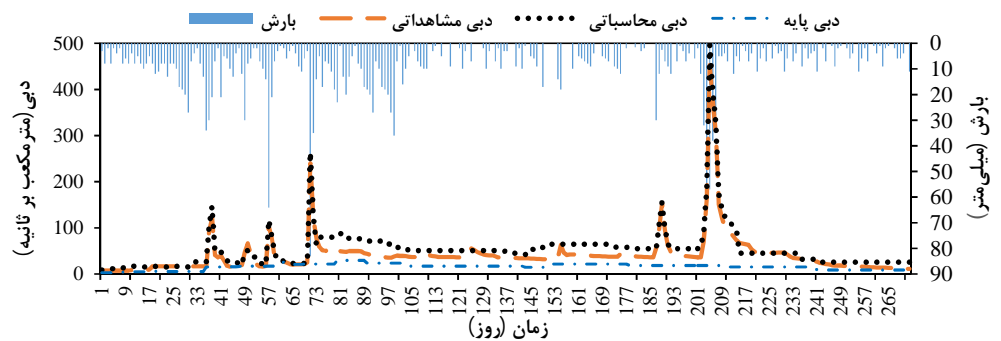
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی استخراج شده منطقه مورد مطالعه در زیر حوضه کشکان. الف سال ۱۳۶۸ و ب سال ۱۳۹۳

جدول ۲- نتایج بررسی حساسیت مدل های استفاده شده در HEC-HMS

دوره های واسنجی شده		پارامتر
سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۶۸	
۲/۶	۳/۰۰	زمان تأخیر (ساعت)
۵/۲	۵/۹	زمان تمرکز (ساعت)
۶۸/۴	۴۵/۱۲	منحنی (-)
۲۴/۳	۴۱/۴۶	تلفات اولیه (میلی متر)



شکل ۴- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده با مدل HEC-HMS برای سال ۱۳۶۸



شکل ۵- هیدروگراف مشاهداتی و شبیه سازی شده با مدل HEC-HMS برای سال ۱۳۹۳

آماري  $R^2$  و  $SI$  به ترتیب،  $0/63$  و  $0/71$  است که بیشترین مقدار درصد خطای مدل در شبیه‌سازی مقدار دبی اوج است و  $7$  درصد بیشتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی شده است. براساس تحلیل این نتایج، خطاهای مدل هیدرولوژیکی در دو دوره مورد مطالعه بسیار نزدیک به یکدیگر است و اختلاف آنها معنی‌دار نیست که این موضوع، کارایی مدل و قابل اعتماد بودن پارامترهای واسنجی شده را در دو دوره نشان می‌دهد.

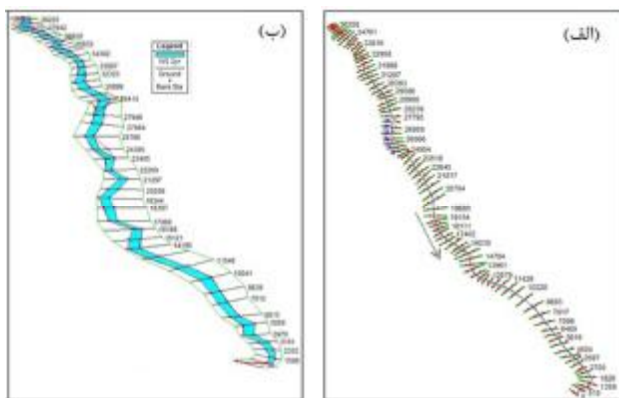
برای ارزیابی کمی و دقیق‌تر مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی مقادیر بارش- رواناب در حوضه مورد مطالعه، معیارهای خطای ارائه‌شده در معادلات (۱) تا (۵) محاسبه و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین درصد خطای مقدار دبی اوج،  $6/1$  درصد و میانگین درصد حجم دبی اوج،  $4/1$  درصد است که مدل، بیشتر از مقدار مشاهداتی، شبیه‌سازی کرده است. میانگین خطای زمان رسیدن به اوج،  $1$  روز است. همچنین، بالاترین شاخص

جدول ۳- نتایج معیارهای خطا برای ارزیابی نکویی برازش مدل HEC-HMS به داده‌های مشاهداتی در دوره‌های واسنجی

دوره‌های واسنجی		پارامترهای مورد ارزیابی
سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۶۸	دوره سیلاب
$0/71$	$0/63$	شاخص آماری $R^2$
$0/14$	$0/72$	شاخص آماری $SI$
۴۵۳	۳۱۲	مقدار دبی اوج مشاهداتی
۴۹۷	۳۳۹	مقدار دبی اوج شبیه‌سازی شده
$7/6\%$	$4/5\%$	درصد خطای مقدار دبی اوج
۳۴۳	۲۲۵	حجم دبی اوج مشاهداتی
۳۶۵	۲۶۸/۴	حجم دبی اوج شبیه‌سازی شده
$3/2\%$	$5/1\%$	درصد خطای حجم دبی اوج
۲۶ فروردین	۷ اسفند	زمان دبی اوج مشاهداتی
۲۵ فروردین	۸ اسفند	زمان دبی اوج شبیه‌سازی شده
۱	۱	خطای زمان رسیدن به اوج (به روز)

رودخانه کشکان در بازه مد نظر برای سیلاب‌های با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۰۰ ساله با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه‌سازی شد که شکل ۶، مقاطع ایجادشده با الحاقیه HEC-geo-RAS - در محیط Arc-GIS و تراز سطح آب را در طول افقی رودخانه در دوره بازگشت ۲ ساله نشان می‌دهد.

پس از واکاوی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه به تغییرات کاربری اراضی، تأثیر این تغییرات در پهنه‌های سیل‌گیر اطراف رودخانه نیز بررسی شد؛ بدین‌منظور، مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه پس از تهیه مدل هندسی و شبیه‌سازی کلیه عوارض موجود در مسیر رودخانه و معرفی کلیه پارامترهای لازم در مدل، شرایط هیدرولیکی



شکل ۶- الف: شمایی از مقاطع ایجادشده با الحاقیه HEC-geo-RAS - و ب: پروفیل طولی سطح آب در دوره بازگشت ۲ ساله در محیط HEC-RAS



بهترین برازش توزیع برای حداکثر دبی لحظه‌ای توزیع پیرسون تیپ پنج سه پارامتری است. پس از تعیین بهترین توزیع برازشی به داده‌های دبی حداکثر لحظه‌ای و ماکزیمم بارش یک‌روزه، دوره بازگشت‌های مختلف این دو متغیر از دو تا ۲۰۰ ساله در نرم‌افزار Easy fit محاسبه و نتایج در جدول ۴ ارائه شده است.

با استفاده از نرم‌افزار Easy fit، بهترین برازش توزیع برای حداکثر دبی لحظه‌ای و ماکزیمم بارش یک‌روزه برای دوره‌های بازگشت دو تا ۲۰۰ ساله در دوره‌های آماری (سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) انجام شد. پس از بررسی توزیع‌های مختلف آماری برای هر دو دوره براساس آزمون نکویی برازش کلموگروف-اسمرینف در سطح اعتماد ۹۵ درصد ( $\alpha = 0.05$ ) مشخص شد که

جدول ۴- مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای به‌ازای دوره بازگشت‌های مختلف در دوره‌های آماری (سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶)

T (year)	دوره	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
$Q_{max}$ (m <sup>3</sup> /s)	۱۳۶۹-۱۳۵۱	۲۲۶	۴۱۱	۵۹۸	۹۳۴	۱۳۰۸	۱۷۹۸	۲۴۵۷
	۱۳۷۸-۱۳۹۶	۲۶۳	۵۱۷	۷۳۸	۱۰۹۷	۱۴۳۵	۱۸۴۷	۲۶۹۸

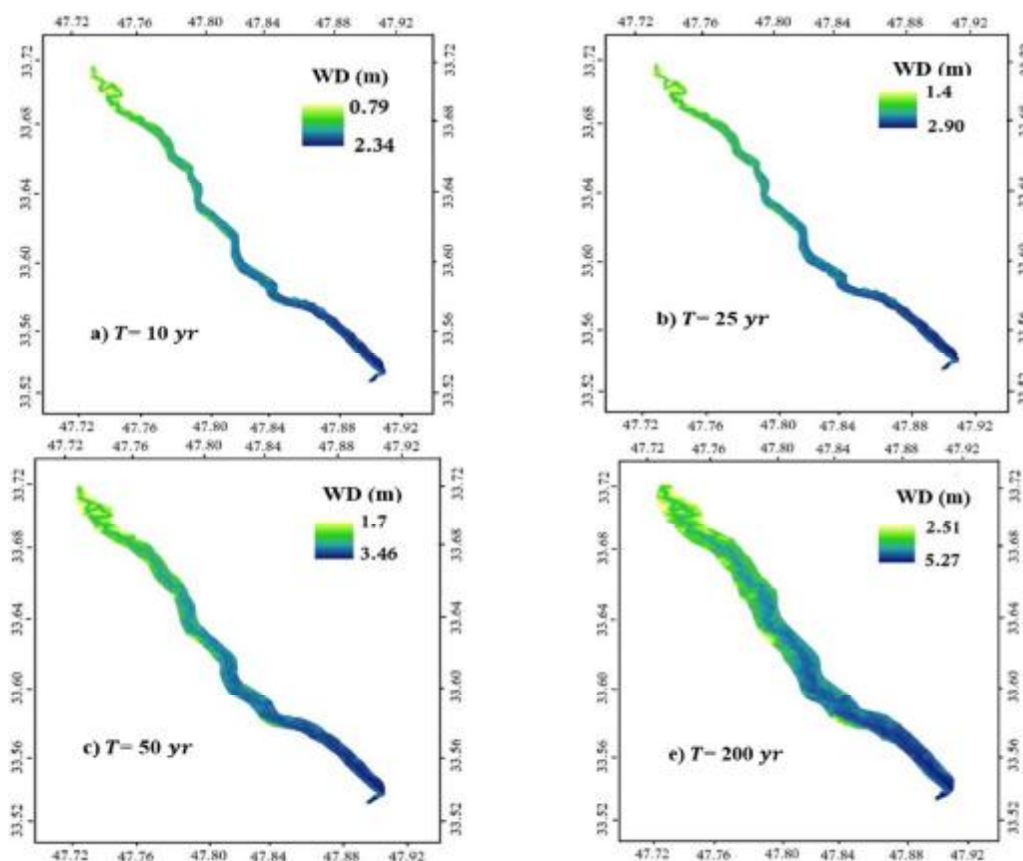
می‌شود. با توجه به پروفیل هر یک از این مقاطع، سطح سیلاب، کاهش یا افزایش را نسبت به سایر مقاطع نشان داد و با افزایش سطح مقطع، ارتفاع سیل‌گیری کاهش یافت. به موازات همین کاهش یا افزایش سطح سیلابی، عمق نیز کاهش یا افزایش را در خود نشان داد که در هر مقطع با افزایش دوره بازگشت، عمق سیلاب دیده می‌شود. شبیه‌سازی عرضی مقاطع و به‌ویژه پروفیل طولی سیل‌گیری رودخانه، نشان‌دهنده افزایش سطح سیلاب بوده و علت کاهش سطح سیلاب در برخی مقاطع یا به‌علت وجود موانع یا تنگ‌شدگی مقاطع است که در این صورت، سطح سیلاب کاهش می‌یابد و بر عمق آب‌گرفتگی افزوده می‌شود (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴).

پس از محاسبه مساحت پهنه‌های سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های مختلف، مساحت این پهنه‌ها برای کاربری‌های مختلف در دوره‌های آماری (سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) محاسبه شد که براساس نتایج حاصل‌شده در جدول ۵، مناطق مسکونی در دوره جدید در معرض خطر سیل‌گرفتگی دوره بازگشت ۲۵ ساله (دوره بازگشت کوتاه‌مدت) واقع شده است و این خطر برای اراضی زراعی مطابق دوره بازگشت ۱۰ ساله است.

پس از بررسی پاسخ هیدرولوژیک حوضه نسبت به تغییرات کاربری اراضی، نقش این تغییرات در پهنه‌های سیل‌گیر نیز مد نظر قرار گرفت. برای شبیه‌سازی بستر رودخانه و تهیه نقشه پهنه‌های سیلابی بر مبنای مطالعات هیدرولیک در محیط Arc-GIS پس از اجرای مدل با نرم‌افزار HEC-RAS و تولید خروجی مدل، نتایج، دوباره به محیط Arc-GIS ارسال شد. پس از انجام دادن تمام این مراحل، نرم‌افزار Arc-GIS لایه‌های مختلفی مانند توپوگرافی سطح آزاد آب، عمق آب و پهنه سیلاب را با دوره بازگشت‌های مختلف تهیه می‌کند که کاربردی‌ترین این لایه‌ها پهنه سیلاب است که حدود دشت سیلابی را در دوره بازگشت‌های مختلف مشخص می‌کند. از نظر ژئومورفولوژیک، دشت سیلابی به منطقه مجاور کانال رودخانه گفته می‌شود که به وسیله رودخانه موجود در اقلیم کنونی و تکرار طغیان‌های عظیم تغییر می‌کند (مقیم، ۱۳۸۸). در شکل ۷ و جدول ۵، نقشه پهنه‌های سیل‌گیر و مساحت سطح آب و تغییرات عمق آب با دوره بازگشت‌های مختلف در بازه مطالعاتی نشان داده شده است که به‌ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر، میزان دبی، بیشتر و به سطح سیلاب در هر یک از مقاطع افزوده

جدول ۵- مساحت کل پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع

دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
کل مساحت پهنه سیل‌گیر	۳/۲	۸/۹۵	۱۲/۸	۱۵/۹	۲۰/۹۴	۲۴/۷۷	۲۷/۹



شکل ۷- نمایش پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های ۱۰ تا ۲۰۰ ساله (WD عمق آب بر حسب متر است)

جدول ۶- مساحت کاربری‌ها در پهنه‌های سیل‌گیر با دوره بازگشت‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع در دوره‌های آماری (سال‌های ۱۳۵۱ تا ۱۳۶۹ و ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶)

دوره	دوره بازگشت	۲	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
۱۳۶۹-۱۳۵۱	اراضی زراعی	-	-	-	۶/۸۸	۹/۱	۱۲/۹۷	۱۴/۳۲
	مناطق مسکونی	-	-	-	-	۷	۹	۱۲
۱۳۹۶-۱۳۷۸	اراضی زراعی	-	-	۵/۹۹	۸/۹۴	۱۳/۲۹	۱۷/۶	۲۲/۹۳
	مناطق مسکونی	-	-	-	۵	۹	۱۳	۱۹

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر تغییرات کاربری اراضی بر رواناب حوضه و پهنه‌های سیلابی و مخاطرات ناشی از آن در حوضه رودخانه کشکان بررسی شد. نتایج تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۳ نشان داد از مساحت کاربری‌هایی مانند کاربری‌های مرتعی و جنگلی کاسته شده و مساحت کاربری‌هایی مانند سطوح بایر و سازه‌های انسانی افزایش یافته است که در نتیجه این تغییرات، مقدار منحنی محاسبه‌شده در سال ۱۳۶۸ برابر ۴۵ بوده که در سال ۱۳۹۳ این مقدار به عدد ۶۸/۴ افزایش یافت. نگهداشت سطحی در سال ۱۳۶۸ برابر ۴۱ میلی‌متر بود

که در سال ۱۳۹۳ با ۱۷ میلی‌متر کاهش به ۲۴/۳ میلی‌متر رسید که همه این عوامل، نشان‌دهنده کاهش عوامل مصرف و نفوذ آب در سطح حوضه بود و سیل‌خیز شدن حوضه را نشان داد. مقادیر دبی حداکثر لحظه‌ای محاسبه‌شده با افزایش رواناب خروجی دوره بازگشت‌های مختلف در دوره اخیر (۱۳۶۹-۱۳۷۸) نسبت به دوره قبل (۱۳۵۱-۱۳۶۹)، درستی این نتایج را تأیید می‌کند. مساحت کاربری‌های مختلف روی نقشه‌های سیلابی در دوره بازگشت‌های مختلف نشان داد مناطق مسکونی در دوره جدید نسبت به دوره قدیم، که در دوره بازگشت ۵۰ ساله دچار آبگرفتگی می‌شده است، اکنون

۶. شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان. ۱۳۹۲. اطلاعات و مشخصات رودخانه‌های استان لرستان.
۷. عبقری ه. ۱۳۸۳. پهنه‌بندی سیلاب در حوضه آبخیز جاجرود با استفاده از GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران: ۱۰۹ ص.
۸. قدسیان م. ۱۳۷۷. مهار سیلاب و مهندسی زهکشی، چاپ اول. تهران، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۹۱ ص.
۹. قمی اوپلی ف. صادقیان م. ص. جاوید ا. ح. و میرباقری س. ا. ۱۳۸۹. شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه کارون حدفاصل بند قیر تا اهواز). فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی. ۱: ۱۰۵-۱۱۵.
۱۰. گراوند ف. ۱۳۹۴. تحلیل هیدرولوژیکی رودخانه کشکان در زیرحوضه شیراند و تعیین مرز سیلابدشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. ۱۵۶ ص.
۱۱. مقیمی ا. ۱۳۸۸. اکوزئومورفولوژی و حقوق رودخانه، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول. ۲۹۶ ص.

12. Cowan W. L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients: Agricultural Engineering. 37(7): 473-475.
13. James A. 1999. Time and the Persistence of Alluvium: River engineering, fluvial, geomorphology, and mining sediments California, Geomorphology. 31: 256-290.
14. Keble M. R. Yang Z. L. Hutchison K. and Maidment D. R. 2005. Regional Scale Flood Modeling using NEXRAD, Rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: A Case Study for the San Antonio River Basin Summer 2002 Storm Event, Journal of Environmental Management. 75: 325-336.
15. Konei S. Sunkara S. E. and Roy P. S. 2018. Hydrological Modeling with Respect to Impact of Land-Use and Land-Cover Change on the Runoff Dynamics in Godavari River Basin Using the HEC-HMS Model, International Journal of Geo-Information. 7: 1-17.
16. Mas J. F. Velazquez J. Gallegos D. Mayorga Saucedo R. Alcantara C. Bocco G. Castro R. Fernandez T. and Perez Vega A. 2004. Assessing land use/cover changes: a nationwide multi-date spatial database for

به‌علت بیشترشدن دبی پیک سیلاب و توسعه مناطق روستایی در حاشیه رودخانه در دوره بازگشت کوتاه‌مدت ۲۵ ساله دچار آبگرفتگی شده است؛ حتی در دوره اخیر (۱۳۷۸-۱۳۹۶)، اراضی زراعی افزایش‌یافته در حواشی رودخانه در دوره بازگشت کوتاه‌تر ۱۰ ساله در معرض سیلاب قرار می‌گیرد که تحلیل این عوامل، نشان‌دهنده تغییر مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی و برهم‌خوردن پاسخ هیدرولوژیکی رودخانه و در نتیجه، افزایش تولید مقدار رواناب به‌علت کاهش مساحت کاربری‌های مرتعی و جنگلی و افزایش کاربری‌های مانند سطوح بایر و سازه‌های انسانی است؛ بنابراین، بهبود و اصلاح کاربری‌های فعلی حوضه، یکی از راهکارهای اساسی برای مدیریت رواناب سطحی در حوضه مورد مطالعه است.

#### منابع

۱. ایلخچی ع. حاج عباسی م. ع. و جلالیان ا. ۱۳۸۱. اثر تغییر کاربری زمین‌های مرتعی به دیم‌کاری بر تولید رواناب. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۶(۴): ۲۵-۳۶.
۲. حسینی س. م. جعفر بیگلو م. و گراوند ف. ۱۳۹۴. تعیین پهنه‌های سیل‌گیر رود کشکان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی به‌منظور کاهش مخاطرات سیل. دانش مخاطرات. ۲(۳): ۳۵۵-۳۶۹.
۳. رضیئی ط. شکوهی ع. ر. و عبادی ف. ۱۳۹۰. شناسایی برانزده تابع توزیع احتمال بر داده‌های بارش مناطق مختلف آب‌وهوایی در مقیاس‌های زمانی مختلف (SPI) ایران به‌منظور محاسبه نمایه بارش استاندارد، اولین همایش ملی خشکسالی و تغییر آب‌وهوای ایران، کرج، ایران. ۲۸-۳۹.
۴. روشن ح. وهاب‌زاده ق. سلیمانی ک. و فرهادی ر. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی رودخانه بشاره، استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. ۶(۷): ۷۰-۸۴.
۵. شنائی هویزه س. م. زارعی ح. و رضانی ح. ۱۳۹۷. بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر هیدروگراف سیل (مطالعه موردی: حوضه آبریز ابوالعباس). علوم و مهندسی آبیاری. ۹۲(۱): ۲۱۹-۲۲۹.

- Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geo-Information*. 32: 262-267.
17. Miller S. N. Kepner W. G. and Mehaffey M. H. 2002. Integration Landscape Assessment and Hydrologic Modeling for Land Cover Change Analysis. *Journal of the American Water Resources Association*. 38(4): 919-929.
  18. Pelletreau A. 2004. Pricing soil degradation in uplands, the case of the Houay Pano catchment, Lao PDR. Internship Report. IRD-IWMI-NAFRI, Vientiane, Laos appends. pp. 64.
  19. Smith K. 1992. *Environmental Hazards, Assessing Risks and Reducing Disaster*, England: Routledge. pp. 254.
  20. Suriya S. and Mudgal B. V. 2011. Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed a case study. *Journal of Hydrology*. 412: 210-219.
  21. US Army Corps of Engineers. 2000. *Hydrologic modeling system HEC-HMS: Technical Reference Manuals*. Hydrologic Engineering Center, USA.
  22. Zope P. E. Eldho T. I. and Jothiprakash V. 2015. Impacts of urbanization on flooding of a coastal urban catchment: a case study of Mumbai City, India, *Journal of Natural Hazards*. 75(1): 887-908.