

## اثرات تغییر کاربری اراضی بر بیلان هیدرولوژیکی حوضه کردان

### با استفاده از مدل HEC- HMS

مجتبی یمانی\* - دانشیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

اکبر مهرجونزاد - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۰۹/۱۴      تأیید نهایی: ۱۳۹۱/۰۳/۲۰

#### چکیده

تغییر در کاربری اراضی، فرآیندهای هیدرولوژیکی را در حوضه‌ها متأثر ساخته، تعادل طبیعی جریان آب را مختل می‌کند. در پژوهش حاضر، تغییر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز کردان در نتیجه تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ بررسی شده است. داده‌های کاربری اراضی برای سه سال گفته‌شده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به‌دست آمد که با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده به پنج نوع کاربری شهری، کشاورزی، مرتع، باغ و اراضی بایر طبقه‌بندی شد. با توجه به این طبقه‌بندی، کاربری شهری حوضه آبخیز کردان در سه سال موردبررسی به ترتیب ۳/۰۸، ۵/۲۳ و ۹/۹۹ درصد از مجموع مساحت حوضه را شامل می‌شود. داده‌های بارندگی، دبی و دمای روزانه و همچنین تبخیر ماهانه ایستگاه نجم‌آباد برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ برای شبیه‌سازی بارش - رواناب با مدل HEC-HMS استفاده شد. در مؤلفه مدل حوضه، روش‌های SCS Curve Number و SCS Unit Hydrograph به ترتیب برای قسمت‌های تلفات بارش و انتقال جریان انتخاب و از Specified Hyetograph در مؤلفه مدل هواشناسی استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد، ضریب رواناب از ۷۱/۳۸ درصد در سال ۱۳۶۶ به ۷۳/۷۱ درصد در سال ۱۳۷۹ و ۷۷/۸۹ درصد، در سال ۱۳۸۸ افزایش پیدا کرده است.

کلیدواژه‌ها: کاربری اراضی، بارش، رواناب، حوضه کردان، HEC-HMS

## مقدمه

آرایش طبیعی فرآیندهای انتقال آب و رسوب از حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک به سمت پایین‌دست، متأثر از دخالت‌های انسانی است. مهم‌ترین مداخله انسانی در چنین حوضه‌هایی، تغییرات کاربری اراضی است. نتایج این تغییرات در حوضه‌های تحت‌تأثیر شهرسازی، تخریب خطوط تقسیم آب، قطع کردن مسیل‌های زهکشی طبیعی و افزایش سطوح نفوذناپذیر است. تغییر در مشخصه‌های رواناب از طریق تغییر الگوی کاربری اراضی، برای فهم تأثیرات تغییر کاربری و یا پوشش اراضی روی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطح زمین ضروری است (Shi & et al, 2007: 31).

تغییر کاربری اراضی و گسترش شهرسازی به سمت حوضه‌های کوهستانی مجاور شهرها، خطر سیلاب را به علت افزایش اوج و حجم دبی بیشتر کرده، زمان رسیدن دبی به اوج را نیز کاهش می‌دهد (Nirupama & Simonovi, 2007: 26; Saghafian et al, 2008: 1052; Liu et al, 2004: 228 Campinas & Tucci, 2001: 114). نواحی ساخته‌شده به‌طور متوسط نود درصد از بارش را به رواناب تبدیل می‌کنند، درحالی‌که در نواحی غیرشهری مثل جنگل، ۲۵ درصد از بارش نگه داشته می‌شود (Shang and Wilson, 2009: 1052).

در نتیجه‌ی دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب برای محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب فراهم می‌شود. تأثیر تغییرات انسان‌ساخت بر هیدرولوژی سطحی می‌تواند از طریق نسبت دبی سیلاب پس از ایجاد این تغییرات به دبی سیلاب پیش از آنها طی دوره‌های بازگشت اندازه‌گیری شود (Kibler et al, 2007: 270). ولی با وجود این، تحلیل تأثیرات تغییر کاربری بر فراوانی سیلاب مسئله‌ای سخت به‌نظر می‌رسد که این به‌خاطر کمبود داده‌های سیلاب و همچنین فرآیند توسعه غیرایستا یا پویا به‌ویژه در نواحی ساخته‌شده است (Suriya & Mudgal, 2011: 210).

ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی روی فرآیندهای سیلاب در زمین پیچیده به‌وسیله‌ی GIS و دیدگاه مدل‌سازی پژوهشی است که توسط پژوهشگران مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است:

گوپتا و همکاران (۱۹۶۳)، با بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی در شیب‌های درصد و بارش‌های زمستانه و تابستانه، بر میزان تولید در دهرادون هندوستان به این نتیجه رسیدند که بیشترین میزان تولید رواناب مربوط به بارش‌های تابستانه و اراضی آیش، سخت و شخم خورده است. سوان ورکمتورن (۱۹۹۴)، اثرات تغییر کاربری اراضی بالادست حوضه را روی الگوی سیلاب در نواحی پایین‌دست حوضه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS و GIS بررسی کرد و به این نتیجه رسید که موقعی که مساحت جنگل کاهش پیدا می‌کند، رواناب حوضه و زیر حوضه بیشتر می‌شود. به این ترتیب تأثیر تغییرات کاربری اراضی در بالادست حوضه، در تراز سیل پایین‌دست حوضه نشان داده شد.

کالر و همکاران (۱۹۹۵)، تأثیر تبدیل جنگل‌های مناطق خشک به اراضی کشاورزی را بر رواناب حوضه

آبخیز دریاچه ملاوی در آفریقا بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاهش سیزده درصد جنگل‌ها باعث افزایش رواناب خروجی و افزایش سطح دریاچه شده است.

دهو (۱۹۹۹)، اثر تغییرات کاربری اراضی را روی وقوع سیلاب در حوضه را بررسی کرد. نتایج حاکی از افزایش خطر وقوع سیلاب در اثر تغییر کاربری اراضی طی سی سال آینده است.

فوهر و همکاران (۲۰۰۲)، با استفاده از GIS توزیع مکانی سناریوهای مختلف کاربری اراضی را مشخص کرده، سپس به کمک مدل هیدرولوژیکی SWAT- G تأثیر سناریوهای موردنظر را بر تعادل آبی در حوضه آبخیز مورد مطالعه، پیش‌بینی کردند و به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی از جنگل به سایر کاربری‌ها موجب افزایش خطر بالقوه سیل می‌شود. کامارانی و همکاران (۲۰۰۵)، اثر تغییر کاربری اراضی در وقوع سیلاب حوضه رودخانه پو واقع در نزدیکی شهر بلونگا در شمال ایتالیا را بررسی کرده‌اند، نتایج تأثیر شایان توجه تغییر کاربری اراضی را روی هیدروگراف شبیه‌سازی شده نشان داد. پژوهش‌های آنان مشخص کرد که تغییر کاربری اراضی برای بارش‌های با شدت بالا تأثیر زیادی بر سیلاب حوضه دارد. وانگ و همکاران (۲۰۰۸)، با مدل‌سازی اثر گزینه‌های مختلف کاربری اراضی در حوضه‌ای در چین به این نتیجه رسیدند که تبدیل اراضی مرتعی به اراضی جنگلی در حوضه منجر به افزایش میزان رواناب سالانه و کاهش آب زیرزمینی در اثر کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش تعرق در حوضه می‌شود. در جدیدترین پژوهش‌های انجام‌شده مرتبط با موضوع تغییر کاربری اراضی روی سیلاب، ارتباط رفتار سیلاب و الگوی ایجاد و توسعه شاخص‌های شهرسازی (کاربری اراضی، جمعیت، شبکه ارتباطی و ...) در بازه‌های زمانی مشخص بررسی می‌شود. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به "تأثیر تغییرات کاربری اراضی روی سیلاب در حوضه آبخیز تیروسولام" اشاره کرد که سوریا و مادگال در سال ۲۰۱۱ انجام داده‌اند. این پژوهش در چهار سناریو انجام شده است؛ در ابتدا با استفاده از تکنیک سنجش از دور و روش طبقه‌بندی، کاربری‌های اراضی حوضه موردنظر در دو سال ۱۹۷۶ و ۲۰۰۵ میلادی استخراج شده تا آشکارسازی تغییرات انجام می‌گیرد. در سناریوی دوم، مدل‌سازی بارش- رواناب با استفاده از مدل HEC-HMS انجام شده و سناریوی سوم شامل تهیه نقشه خطر سیل محدوده مورد مطالعه با استفاده از RS و GIS است. در نهایت نقشه پهنه‌بندی سیل با به‌کارگیری مدل یک بعدی (HEC-RAS) تهیه شده است.

تهرانی (۱۳۸۰)، به بررسی اثر تغییر پوشش گیاهی بر تشدید پیامدهای سیلاب با استفاده از GIS و RS در حوضه آبخیز مادرسو (دوغ) پرداخت و به این نتیجه رسید که استفاده نابجا از اراضی، تخریب پوشش گیاهی و همچنین بروز رگبارهای موسمی شدید در منطقه می‌تواند از علل اصلی افزایش میزان رواناب در منطقه باشد. فرازجو (۱۳۸۲)، در پژوهشی با تلفیق GIS و مدل هیدرولوژی HEC-HMS اثرات تغییر پوشش گیاهی از طریق تغییر کاربری اراضی بر دبی اوج و حجم سیل حوضه آبخیز سد گلستان را براساس سناریوهای

مختلف کاربری اراضی بررسی کرده، نتیجه گیری کرد که با تغییر کاربری اراضی در اثر تخریب جنگل‌ها و مراتع حوضه، دبی اوج و حجم سیل روند افزایش داشته است.

خلیقی و همکاران (۱۳۸۴)، اثر تغییر کاربری اراضی را بر سیل‌خیزی حوضه در باراندوزچای آذربایجان غربی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که سیلاب در دوره جدید (۱۳۷۹)، در بعضی از زیرحوضه‌ها تا هفتاد درصد نسبت به دوره قدیم (۱۳۳۴)، افزایش یافته، ولی این افزایش دبی پیک در دوره بازگشت بزرگ‌تر، کمتر است.

هادپانی (۱۳۸۵)، در پژوهشی با عنوان نقش تغییر کاربری اراضی بر دبی سیلاب‌های منطقه‌ای حوضه آبخیز مادرسو، با استفاده از روش SCS دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب را در دو وضعیت کاربری فعلی اراضی و کاربری اراضی براساس قابلیت برآورد کرد. برخورداری و همکاران (۱۳۸۶)، با مشخص کردن تغییرات کاربری اراضی در سه مقطع زمانی ۱۳۵۴، ۱۳۶۷، ۱۳۸۱، کاربری اراضی را بر رفتار هیدرولوژی و سیل‌خیزی حوضه آبخیز سد استقلال میناب هرمزگان بررسی کرده، به این نتیجه رسید که تأثیر تغییر کاربری اراضی بر رژیم رودخانه با توجه به روند تغییرات دبی حداکثر سیلاب ناشی از بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت کمتر از پنج سال دارای نقش قابل ملاحظه است.

آهنی و همکاران (۱۳۸۷)، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای اسپات مربوط به سال ۱۳۸۵ و لندست TM مربوط به سال ۱۳۶۷، اقدام به تهیه نقشه‌های کاربری اراضی حوضه آبخیز تنگ سرخ شیراز کرده، با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک امریکا<sup>۱</sup> میزان سیل‌خیزی را برای سال‌های یادشده برآورد کرده‌اند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین کاهش سطوح مربوط به کاربری‌های جنگلی و مرتع و بیشترین افزایش سطوح مربوط به کاربری اراضی بایر و دیم‌زارهای کم‌بازده بوده و بر این اساس میزان سیل‌خیزی ۲۲ درصد افزایش یافته، به طوری که با کاهش پوشش گیاهی عمق رواناب به صورت نمایی افزایش می‌یابد.

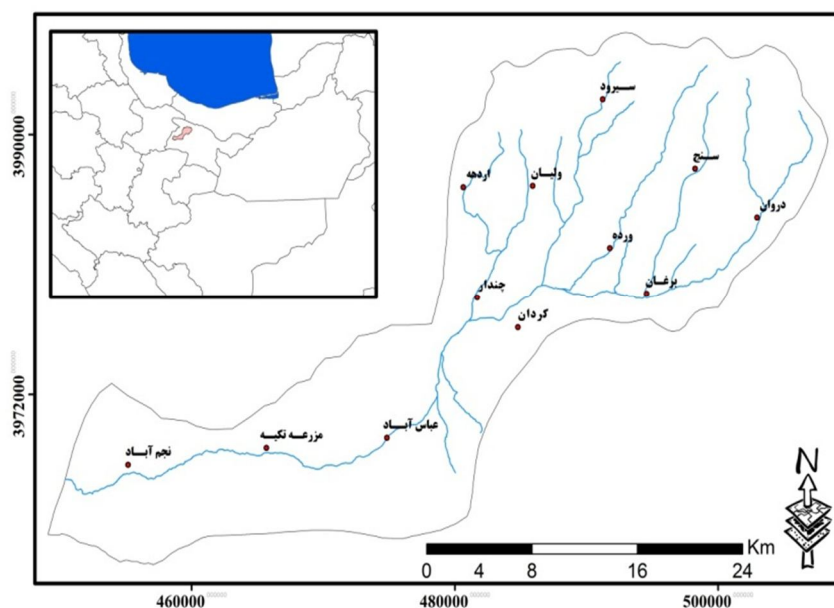
درفشی و همکاران (۱۳۹۰)، نقش تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه آبخیز کن را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ضریب رواناب از ۵۶/۴۹ درصد در سال ۱۳۶۷، به ۶۴/۱ درصد در سال ۱۳۸۵، افزایش پیدا کرده است.

طی سه دهه اخیر، حوضه آبخیز کردان به‌ویژه پایین‌دست آن با رشد سریع ساخت‌وساز و گسترش سازه‌های سکونتگاهی مواجه بوده است. فعالیت‌های انسانی و تغییرات کاربری در این حوضه، باعث شده تا آرایش طبیعی فرآیندهای آبراه‌های که آب و رسوب را از حوضه‌های بالادست به پایین‌دست انتقال می‌دهند، تحت تأثیر مداخلات انسانی قرار گرفته، یکی از مسائل اساسی مخاطره‌آمیز در این حوضه را که همانا تغییرات ایجادشده در الگوی جریان‌های سطحی و شرایط طبیعی حوضه‌ها و تجاوز به حریم رودها و آبراهه‌ها است،

به وجود می‌آورد. یکی از نتایج این تغییر کاربری‌ها، افزایش ضریب رواناب و سیل‌خیزی حوضه است. به طوری که ضریب رواناب از ۷۱/۳۸ درصد در سال ۱۳۶۶، به ۷۱/۷۹ درصد در سال ۱۳۷۹، و ۷۷/۸۹ درصد در سال ۱۳۸۸، افزایش پیدا کرده است. هدف پژوهش حاضر در ابتدا، بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه مطالعاتی با استفاده از تکنیک RS و GIS و در ادامه ارزیابی اثر این تغییرات بر مشخصه‌های رواناب سطحی تولیدشده و دبی‌های حداکثر با استفاده از مدل HEC-HMS در سه سال ۱۳۶۶ و ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ است.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه کردان با وسعتی برابر ۸۳۸ کیلومتر مربع، در موقعیت جغرافیایی  $۳۵^{\circ} ۵۵'$  تا  $۳۶^{\circ} ۰۵'$  عرض شمالی و  $۵۰^{\circ} ۴۵'$  تا  $۵۱^{\circ} ۰۵'$  طول شرقی واقع شده است (شکل شماره ۱). این حوضه از بخش شمال به رشته کوه‌های البرز، حد حوضه آبخیز طالقان، از غرب به یال جداکننده آبخیز رودخانه فشنند، از جنوب به جاده کرج- قزوین و رشته کوه سرداران و از شرق به رشته کوه لیک، جوچال (حوزه آبریز رودخانه برغان) محدود می‌شود. حوضه مطالعاتی براساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن، دارای ماکرو اقلیم از نوع نیمه‌خشک، مدیترانه‌ای، نیمه‌مرطوب و مرطوب است. میانگین بارندگی سالانه منطقه، ۴۵۰ میلی‌متر است. حداکثر بارش در زمستان به صورت برف و حداقل آن در تابستان به صورت رگبار می‌بارد. متوسط درجه حرارت سالانه ۱۳ درجه سانتی‌گراد بوده، متوسط حداکثر و حداقل دمای مطلق سالانه نیز به ترتیب ۳۸ و ۱۰- درجه سانتی‌گراد است.



شکل ۱. موقعیت عمومی حوضه آبخیز و دشت کردان

## مواد و روش‌ها

## آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

برای تعیین تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردن از تصاویر ماهواره‌ای TM<sup>۱</sup> سال ۱۳۶۶ و ETM<sup>+</sup> سال ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰ با ضریب تفکیک مکانی<sup>۲</sup> ۳۰ متری استفاده شد. برای تعیین تغییرات کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه طی این دوره زمانی ۲۰ ساله (۱۳۶۶-۱۳۸۵)، بر مبنای تصویر ماهواره‌ای سال ۱۳۶۶ و با استفاده از نقاط کنترل روی نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین مرجع کردن تصاویر ماهواره‌ای جهت تصحیح خطای هندسی آنها انجام شد. این تصاویر در محیط ERDAS Imagine پردازش شدند؛ آنگاه طبقه‌بندی کاربری اراضی با روش احتمال کلی<sup>۳</sup> در طبقه‌بندی نظارت‌شده<sup>۴</sup> انجام شد. هر کدام از تصاویر به پنج نوع کاربری شهری، کشاورزی، مرتع، باغ و اراضی بایر طبقه‌بندی شدند. پس از این فرآیند، طبقه‌بندی‌های به دست آمده در محیط Arc Map، رقومی شدند تا نقشه کاربری اراضی حوضه مورد مطالعه برای سال‌های مورد بررسی به دست آید.

## مدل HEC-HMS

داده‌های بارندگی، دبی و دمای روزانه و همچنین تبخیر ماهانه ایستگاه نجم‌آباد، برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ برای شبیه‌سازی بارش-رواناب با مدل HEC-HMS استفاده شد. در مؤلفه مدل، روش SCS Curve Number در قسمت تلفات<sup>۵</sup> بارش استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز این روش گیرش اولیه<sup>۶</sup>، شماره منحنی و درصد سطح غیرقابل نفوذ حوضه است. پس از تهیه مقدار متوسط CN، امکان محاسبه ذخیره سطحی خاک (S) از طریق رابطه (۱) فراهم شد. تخمین میزان تجربی گیرش اولیه با استفاده از رابطه (۲) صورت می‌گیرد که در مطالعه‌های زیادی استفاده شده است (بالتاس، ۲۰۰۷: ۱۸۲۷؛ لیم و همکاران، ۲۰۰۶: ۶۳۵).

$$S = (25400/CN) - 254 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$I_a = 0.2S \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۱)، CN، یک عدد بدون بعد بوده، بین صفر تا ۱۰۰ متغیر است؛ در CN، برابر ۱۰۰ خاک توان جذب بارندگی را ندارد و در نتیجه ارتفاع رواناب با بارندگی مساوی است.

در رابطه (۲)، I<sub>a</sub>، گیرش اولیه (میلی‌متر) و S (میلی‌متر)، مقدار ذخیره سطحی خاک است. درصد سطح

1. Thematic Mapper
2. Location Resolution
3. Maximum Likelihood
4. Supervised Classification
5. Loss
6. Initial Abstraction

غیرقابل نفوذ حوضه نیز به‌منزله‌ی پارامتر دیگر روش SCS Curve Number، از لایه کاربری اراضی تهیه‌شده در سه سال ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ به‌دست آمد.

در بخش "تبدیل یا انتقال"<sup>۱</sup> مؤلفه مدل حوضه از روش هیدروگراف واحد<sup>۲</sup> SCS استفاده شد. پارامتر مورد نیاز این روش، زمان تأخیر<sup>۳</sup> است که از رابطه (۳) به‌دست آمد؛ با توجه به هدف پژوهش و اهمیت میزان S و CN در شبیه‌سازی رواناب حوضه مطالعاتی، از این رابطه استفاده شد.

$$t_{lag} = [L^{0.8} * (S+1)^{0.7}] / 1900y^{0.5} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$S = (1000/CN) - 10$$

در این رابطه L، طول رودخانه اصلی برحسب فوت؛ y، شیب رودخانه اصلی برحسب درصد؛ CN، شماره منحنی؛  $t_{lag}$ ، زمان تأخیر برحسب ساعت و S، نگهداشت آب در سطح حوضه است.

در مؤلفه مدل هواشناسی، روش Specified Hyetograph به‌کار گرفته شد و مدیریت سال‌های شبیه‌سازی در نرم‌افزار با عنوان دوره‌های کنترل<sup>۴</sup>، بر مبنای سال‌های آماری مورد استفاده در این پژوهش تعیین شد. در ادامه واسنجی مدل اجرا شده از طریق روش خودکار و با فرض انتخاب بهترین پارامترها بر کم بودن درصد خطای پیک انجام شد.

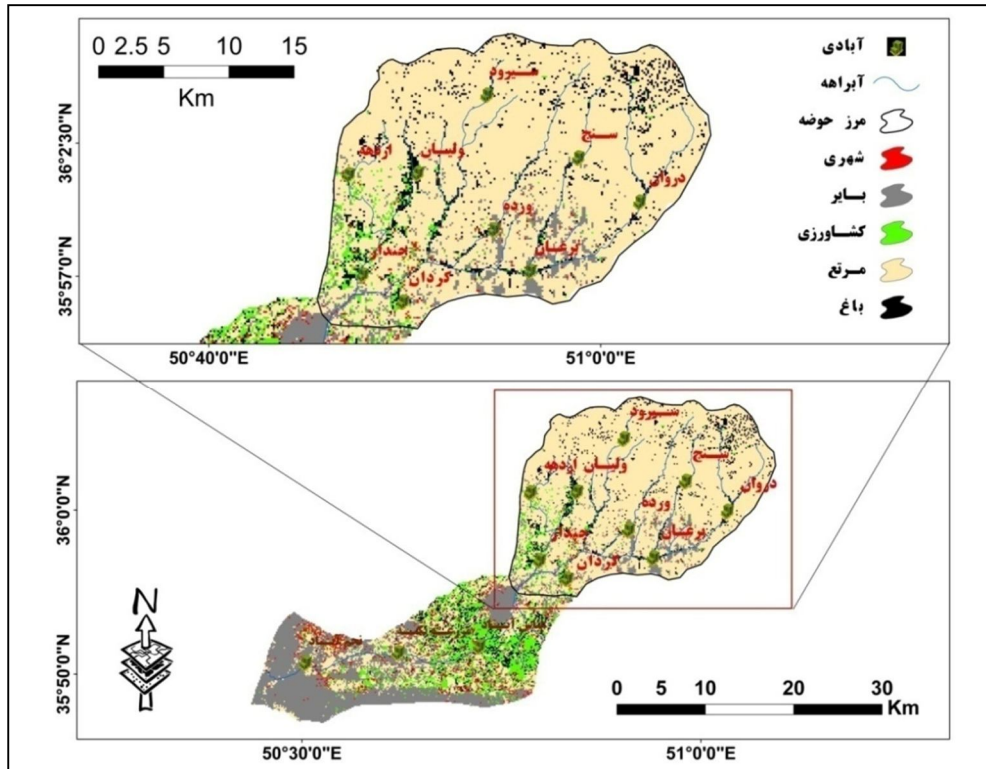
### یافته‌های پژوهش

نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌ها، ارتباط مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی و تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان را طی سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۹۰، نشان می‌دهد (جدول شماره ۱ و شکل‌های شماره ۲ تا ۴).

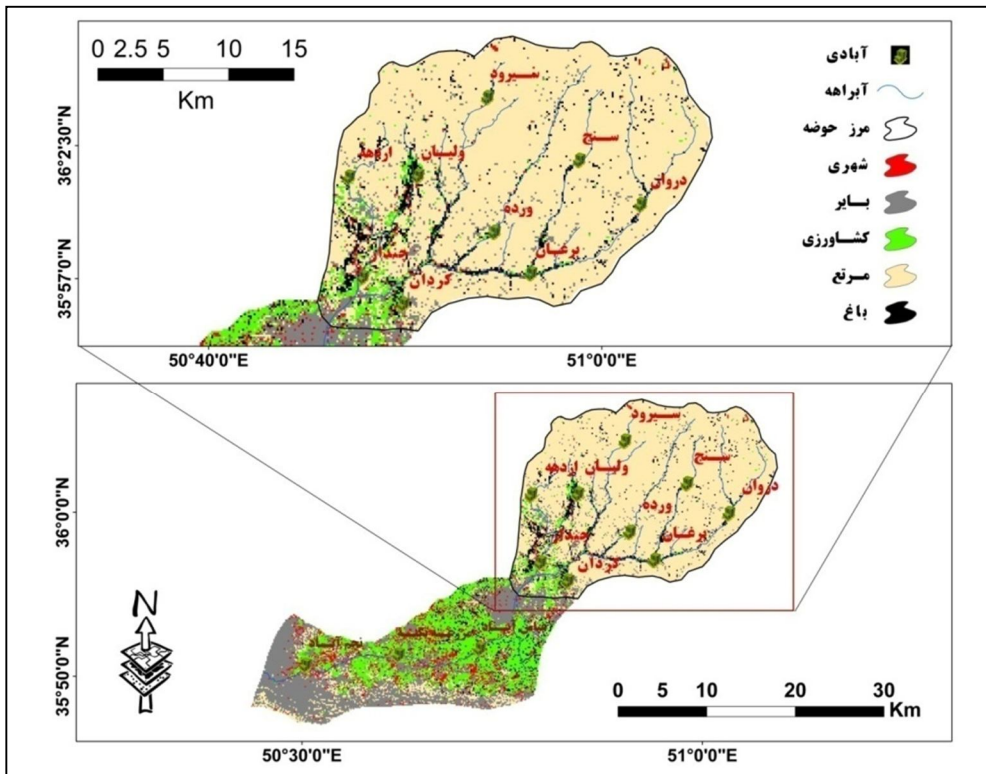
جدول ۱. تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان طی سال‌های (۱۳۶۶، ۱۳۷۹، ۱۳۹۰)

| ۱۳۹۰  |                         | ۱۳۷۹  |                         | ۱۳۶۶  |                         | نوع کاربری |
|-------|-------------------------|-------|-------------------------|-------|-------------------------|------------|
| درصد  | مساحت<br>(کیلومتر مربع) | درصد  | مساحت<br>(کیلومتر مربع) | درصد  | مساحت<br>(کیلومتر مربع) |            |
| ۹/۹۹  | ۸۳/۷۳                   | ۵/۲۳  | ۴۳/۷۴                   | ۳/۰۸  | ۲۵/۸۶                   | شهر        |
| ۱۹/۰۳ | ۱۵۹/۵۰                  | ۲۱/۴۴ | ۱۷۹/۵۶                  | ۲۳/۷۵ | ۱۹۹/۰۴                  | زمین بایر  |
| ۱۷/۹۰ | ۱۵۰/۰۱                  | ۱۵/۶۱ | ۱۳۰/۷۱                  | ۹/۱۳  | ۷۶/۵۶                   | کشاورزی    |
| ۴۷/۵۳ | ۳۹۸/۳۰                  | ۵۳/۵۲ | ۴۴۸/۰۱                  | ۵۷/۶۶ | ۴۸۳/۲۲                  | مرتع       |
| ۵/۵۳  | ۴۶/۳۵                   | ۴/۲۰  | ۳۵/۱۳                   | ۶/۳۶  | ۵۳/۳۱                   | باغ        |

1. Transformation
2. Hyetograph Unit SCS
3. Lag Time
4. Control Specified

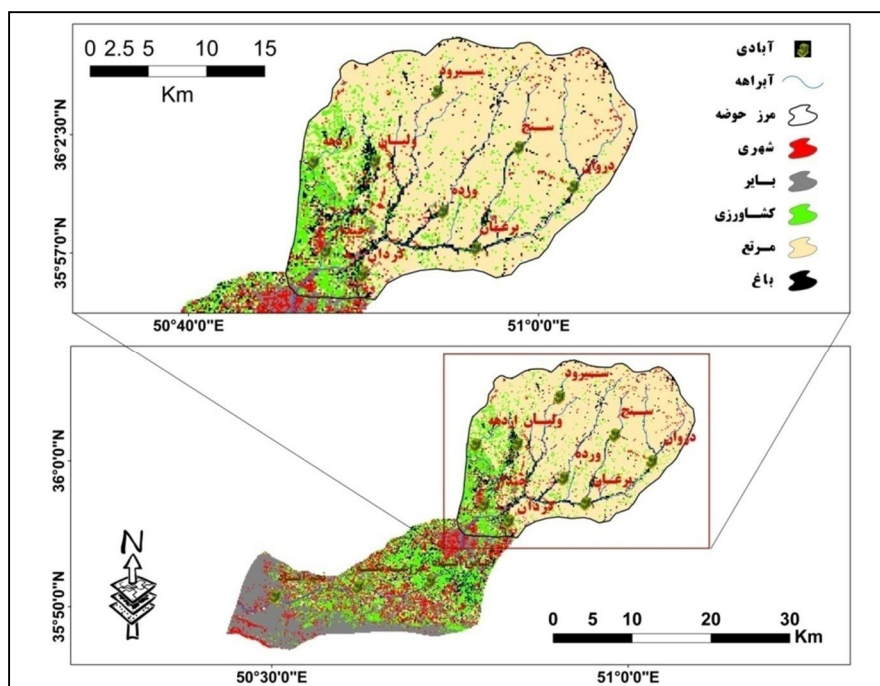


شکل ۲. تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان در سال ۱۳۶۶



شکل ۳. تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان در سال ۱۳۷۹





شکل ۴. تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان در سال ۱۳۹۰

با توجه به یافته‌های پژوهش (جدول شماره ۱ و شکل‌های شماره ۲، ۳ و ۴)، تغییرات کاربری اراضی حوضه و آبراهه کردان (کل محدوده مورد مطالعه) به شرح زیر است:

کاربری شهری در سال ۱۳۶۶، دارای ۲۵/۸۶ کیلومترمربع مساحت است که ۳/۰۸ درصد از مجموع مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد؛ این میزان در سال ۱۳۷۹، به ۴۳/۷۴ کیلومتر مربع مساحت یعنی معادل ۵/۲۳ درصد و در سال ۱۳۹۰، به ۸۳/۷۳ کیلومتر مربع، معادل ۹/۹۹ درصد از مجموع مساحت حوضه کردان می‌رسد که نشانگر افزایش کاربری شهری طی ۲۴ سال است.

اراضی مرتعی در سال ۱۳۶۶، دارای ۴۸۳/۲۲ کیلومتر مربع مساحت بوده است که ۵۷/۶۶ درصد از مجموع مساحت حوضه است. مساحت این کاربری در سال ۱۳۷۹، به ۴۴۸/۰۱ کیلومترمربع مساحت یعنی معادل ۵۳/۵۲ درصد و در سال ۱۳۹۰، به ۳۹۸/۳۰ کیلومترمربع مساحت، معادل ۴۷/۵۱ درصد از مجموع مساحت حوضه کردان می‌رسد؛ این امر به دلیل از بین بردن مراتع و تبدیل آن به اراضی کشاورزی و کاربری شهری است.

اراضی کشاورزی در سال ۱۳۶۶، دارای ۷۶/۵۶ کیلومترمربع مساحت است که ۹/۱۳ درصد از مجموع مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. این میزان در سال ۱۳۷۹، به ۱۳۰/۷۱ کیلومتر مربع مساحت یعنی معادل ۱۵/۶۱ درصد و در سال ۱۳۹۰، به ۱۵۰/۰۱ کیلومترمربع مساحت، معادل ۱۷/۹۰ از مجموع مساحت حوضه کردان می‌رسد؛ این امر به دلیل تخریب اراضی مرتعی و تبدیل آن به اراضی کشاورزی است.

اراضی بایر طی ۲۴ سال مورد مطالعه، کاهش نسبتاً شدیدی در مجموع مساحت حوضه کردان دارد؛ این کاربری در سال ۱۳۶۶، مساحتی معادل ۱۹۹/۰۴ کیلومتر مربع داشته است که ۲۳/۷۵ درصد از مجموع مساحت حوضه را به خود اختصاص داده که در سال ۱۳۷۹، مساحت آن به ۱۷۹/۵۶ کیلومتر مربع کاهش یافته که ۲۱/۴۵ درصد و در سال ۱۳۹۰، به ۱۵۹/۵۰ کیلومتر مربع، معادل ۱۹/۰۳ درصد از مجموع مساحت حوضه کردان را دربرمی گیرد. این امر به دلیل تبدیل این اراضی به شهر و سازه‌های شهری است.

اراضی باغی در سال ۱۳۶۶، دارای ۵۳/۳۱ کیلومتر مربع مساحت است که ۶/۳۶ درصد از مجموع مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. این میزان در سال ۱۳۷۹، به ۳۵/۱۳ کیلومتر مربع مساحت یعنی معادل ۴/۲۰ درصد و در سال ۱۳۹۰، به ۴۶/۳۵ کیلومتر مربع، معادل ۵/۵۳ درصد از مجموع مساحت حوضه کردان را دربر می‌گیرد که این به دلیل تخریب این اراضی و تبدیل آن به ویلاسازی است.

بر مبنای یافته‌های تغییر کاربری اراضی، مقدار CN برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸، به ترتیب ۷۳/۵، ۷۴ و ۷۴/۵ محاسبه شد؛ این مقادیر به همراه مشخصه‌های فیزیکی حوضه و آبراهه کردان از مهم‌ترین پارامترهای وارد شده در مدل HEC-HMS هستند (جدول شماره ۲). با توجه به جدول، ذخیره سطحی و زمان تأخیر محاسبه شده به ترتیب در سال ۱۳۶۶، ۹۱/۳۴ میلی‌متر، ۱۹/۷۸ ساعت؛ در سال ۱۳۷۹، ۸۹/۱۵ میلی‌متر، ۱۹/۷۴ ساعت و در سال ۱۳۸۸، ۸۶/۸۰ میلی‌متر، ۱۹/۴۶ ساعت است. گیرش اولیه و سطح غیرقابل نفوذ نیز به ترتیب ۱۸/۲۶ میلی‌متر، ۴ درصد در سال ۱۳۶۶، ۱۷/۸۳ میلی‌متر، ۶ درصد در سال ۱۳۷۹ و ۱۷/۳۶ میلی‌متر، ۱۰ درصد در سال ۱۳۸۸ است.

جدول ۲. مشخصه‌های فیزیکی حوضه و آبراهه کردان و پارامترهای وارد شده در مدل HEC-HMS

| سال  | طول آبراهه اصلی (فوت) | شیب آبراهه به درصد | شماره منحنی | ذخیره سطحی (میلی‌متر) | گیرش اولیه (میلی‌متر) | زمان تأخیر (ساعت) | سطح غیرقابل نفوذ (درصد) |
|------|-----------------------|--------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------|
| ۱۳۶۶ | ۲۴۸۲۵۷/۷۰             | ۲/۵۶               | ۷۳/۵        | ۹۱/۳۴                 | ۱۸/۲۶                 | ۱۹/۷۸             | ۴                       |
| ۱۳۷۹ |                       |                    | ۷۴          | ۸۹/۱۵                 | ۱۷/۸۳                 | ۱۹/۷۴             | ۶                       |
| ۱۳۸۸ |                       |                    | ۷۴/۵        | ۸۶/۸۰                 | ۱۷/۳۶                 | ۱۹/۴۶             | ۱۰                      |

نتایج شبیه‌سازی بارش- رواناب حوضه مورد بررسی با مدل HEC-HMS نشان داد، بارش سالانه و تلفات بارش، به ترتیب در سال ۱۳۶۶، ۳۴۶ و ۹۹ میلی‌متر، در سال ۱۳۷۹، ۳۱۲ و ۸۸ میلی‌متر و ۴۴۵/۵ و ۹۸/۵ در سال ۱۳۸۸ است (جدول شماره ۳). رواناب سالانه نیز از ۲۴۷ میلی‌متر در سال ۱۳۶۶ به ۲۳۰ میلی‌متر در سال ۱۳۷۹ و ۳۴۷ میلی‌متر در سال ۱۳۸۸ می‌رسد. دبی حداکثر لحظه‌ای در سه سال مورد مطالعه به ترتیب ۳۳/۷، ۳۲ و ۴۷/۹ مترمکعب بر ثانیه است. ضریب رواناب نیز از ۷۱/۳۸ درصد در سال ۱۳۶۶ به ۷۳/۷۱ درصد در سال ۱۳۷۹ و ۷۷/۸۹ در سال ۱۳۸۸ افزایش پیدا کرده است که این افزایش رویداد بیشتر سیلاب را در

محدوده حوضه و آبراهه کردان به دنبال دارد. شکل‌های شماره (۵، ۶ و ۷) هیدروگراف دبی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در حوضه و آبراهه کردان را نشان می‌دهد.

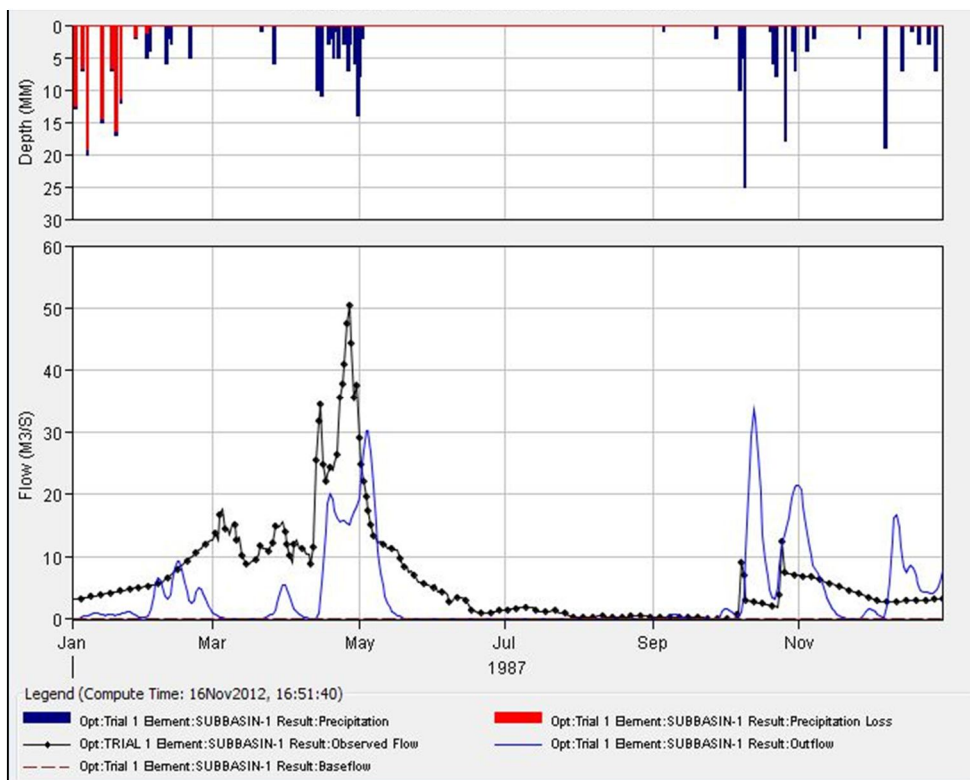
جدول ۳. کمیت مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه و آبراهه کردان در سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹، ۱۳۸۸

| سال  | بارش سالانه<br>(میلی‌متر) | رواناب سالانه<br>(میلی‌متر) | تلفات بارش<br>(میلی‌متر) | دبی حداکثر<br>(مترمکعب بر ثانیه) | ضریب رواناب<br>(درصد) |
|------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|----------------------------------|-----------------------|
| ۱۳۶۶ | ۳۴۶                       | ۲۴۷                         | ۹۹                       | ۳۳/۷                             | ۷۱/۳۸                 |
| ۱۳۷۹ | ۳۱۲                       | ۲۳۰                         | ۸۲                       | ۳۲                               | ۷۳/۷۱                 |
| ۱۳۸۸ | ۴۴۵/۵                     | ۳۴۷                         | ۹۸/۵                     | ۴۷/۹                             | ۷۷/۸۹                 |

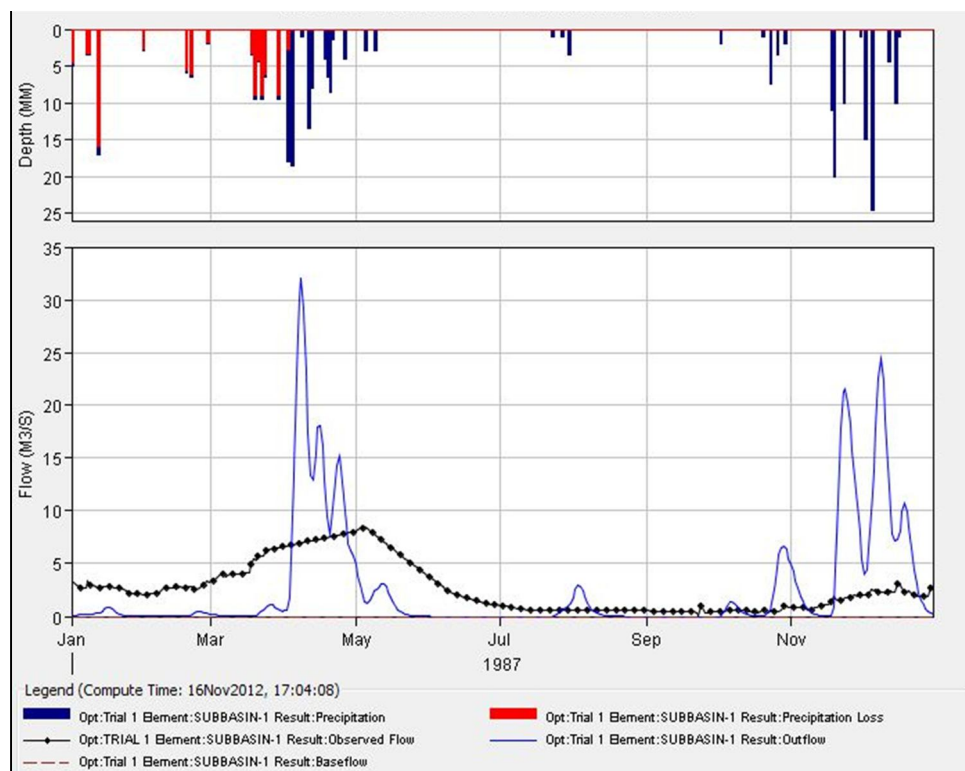
برای واسنجی مدل اجرا شده از مقادیر آغازین، حداقل و حداکثر استفاده شد (جدول شماره ۴). با توجه به جدول، پارامتر واسنجی در سه سال مورد مطالعه شامل شماره منحنی، گیرش اولیه و زمان تأخیر است که مقدار آغازین آنها به ترتیب ۷۳/۵۵، ۱۸/۲۶ و ۱۱۸۷ در سال ۱۳۶۶، ۷۴/۰۲، ۱۷/۸۳، ۱۱۸۴ در سال ۱۳۷۹ و ۷۴/۵۳، ۱۷/۳۶ و ۱۱۶۸ در سال ۱۳۸۸ است. مقدار حداقل و حداکثر مجاز نیز برای پارامترهای واسنجی، به ترتیب ۳۵ و ۹۹، ۰/۰۰۱ و ۵۰۰، ۰ و ۳۰۰۰۰ برای هر سه سال مورد مطالعه است. هیدروگراف دبی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در حوضه و آبراهه کردان بعد از واسنجی مدل، برای سال‌های ۱۳۶۶، ۱۳۷۹ و ۱۳۸۸ در شکل‌های شماره (۵، ۶ و ۷) نشان داده شده است. در این شکل‌ها، منحنی‌های آبی پررنگ و قرمز به ترتیب نمایانگر بارش روزانه و تلفات بارش بوده، منحنی‌های آبی و مشکی نیز به ترتیب جریان شبیه‌سازی شده از مدل و ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری را نشان می‌دهند.

جدول ۴. مقادیر آغازین، حداقل و حداکثر استفاده شده در مرحله واسنجی مدل

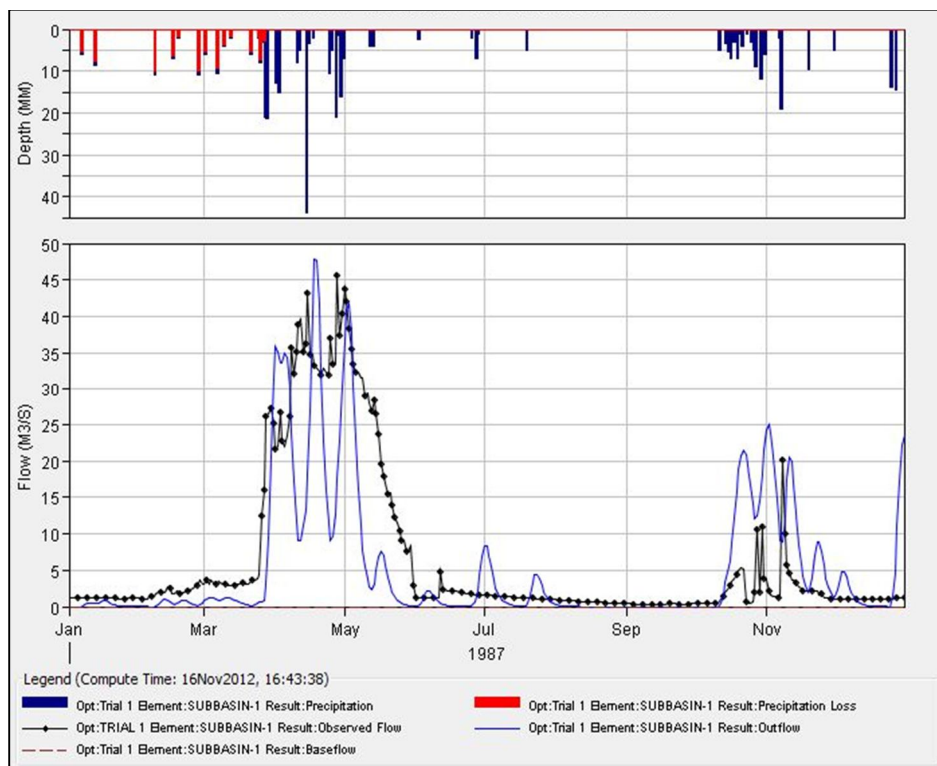
| سال  | پارامترهای واسنجی  | مقدار آغازین | مقدار حداقل مجاز | مقدار حداکثر مجاز |
|------|--------------------|--------------|------------------|-------------------|
| ۱۳۶۶ | شماره منحنی        | ۷۳/۵۵        | ۳۵               | ۹۹                |
|      | گیرش اولیه         | ۱۸/۲۶        | ۰/۰۰۱            | ۵۰۰               |
|      | زمان تأخیر (دقیقه) | ۱۱۸۷         | ۰                | ۳۰۰۰۰             |
| ۱۳۷۹ | شماره منحنی        | ۷۴/۰۲        | ۳۵               | ۹۹                |
|      | گیرش اولیه         | ۱۷/۸۳        | ۰/۰۰۱            | ۵۰۰               |
|      | زمان تأخیر         | ۱۱۸۴         | ۰                | ۳۰۰۰۰             |
| ۱۳۸۸ | شماره منحنی        | ۷۴/۵۳        | ۳۵               | ۹۹                |
|      | گیرش اولیه         | ۱۷/۳۶        | ۰/۰۰۱            | ۵۰۰               |
|      | زمان تأخیر (دقیقه) | ۱۱۶۸         | ۰                | ۳۰۰۰۰             |



شکل ۵. دبی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در حوضه و آبراهه کردان (سال ۱۳۶۶)



شکل ۶. دبی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در حوضه و آبراهه کردان (سال ۱۳۷۹)



شکل ۷. دبی روزانه شبیه‌سازی شده با مدل HEC-HMS در حوضه و آبراهه کردان (سال ۱۳۸۸)

### بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین مداخله انسانی در چرخه هیدرولوژیک حوضه‌ها، تغییرات کاربری اراضی است. نتایج این تغییرات شامل تخریب خطوط تقسیم آب، قطع کردن مسیل‌های زهکشی طبیعی و افزایش سطوح نفوذناپذیر است. گسترش ساخت‌وساز شهری منجر به افزایش پیک دبی و حجم رواناب می‌شود (Pappas et al., 2008; Brilliyetal, 2006:1094). طی سه دهه اخیر حوضه آبخیز کردان به‌ویژه پایین دست آن، با رشد سریع ساخت‌وساز و گسترش سازه‌های سکونتگاهی مواجه بوده است؛ به‌گونه‌ای که درصد کاربری شهری از ۳/۰۸ درصد مجموع مساحت منطقه در سال ۱۳۶۶، به ۵/۲۳ درصد در سال ۱۳۷۹ و ۹/۹۹ درصد در سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است. فعالیت‌های انسانی و تغییر کاربری اراضی در این منطقه، چرخه هیدرولوژی و تولید رواناب را طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۸۸، به شدت متأثر ساخته است. به طوری که ضریب رواناب نیز از ۷۱/۳۸ درصد در سال ۱۳۶۶ به ۷۱/۷۹ درصد در سال ۱۳۷۹ و ۷۷/۸۹ درصد در سال ۱۳۸۸، افزایش پیدا کرده است. افزایش ضریب رواناب سال ۱۳۷۹، در نتیجه تغییرات کاربری اراضی است؛ به دلیل این که میزان بارش و رواناب در این سال نسبت به سال ۱۳۶۶ کاهش داشته اما ضریب رواناب بیشتری تولید کرده است؛ اما افزایش ضریب رواناب در سال ۱۳۸۸ نسبت به سال ۱۳۶۶ هم در نتیجه افزایش بارش و هم تغییر کاربری بوده است. به طور کلی تغییرات ایجاد شده، در نتیجه تأثیر تغییر کاربری اراضی این حوضه بر سیستم هیدرولوژیکی آن

اتفاق افتاده که با گسترش اراضی غیرقابل نفوذ و افزایش میزان CN، موجب افزایش ضریب رواناب و در نتیجه دبی‌های حداکثر لحظه‌ای بزرگ‌تر در کل محدوده مورد مطالعه شده است که نتایج شبیه‌سازی رواناب با مدل HEC-HMS نشان از افزایش مقدار دبی حداکثر در سال ۱۳۸۸ نسبت به دو دوره قبلی دارد.

## منابع

- آهنی، ح. طالب‌بیدختی، ن. قربانی، ا. خرد، م. ۱۳۷۸، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر میزان تولید رواناب (مطالعه موردی، حوضه آبخیز تنگ سرخ شیراز)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز. صص. ۱۲۵-۱۳۳
- برخورداری، ج. خسروشاهی، م. ۱۳۸۶، بررسی اثر تغییرات پوشش اراضی و اقلیم بر جریان رودخانه (مطالعه موردی حوزه آبخیز میناب)، مجله پژوهش و سازندگی. شماره ۷۷، صص. ۱۹۱-۱۹۹.
- تهرانی، ن. ۱۳۸۰، بررسی اثر تغییر پوشش گیاهی بر روی تشدید پیامدهای پدیده سیلاب با استفاده از RS و GIS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تهران.
- خلیقی‌سیگاردی، ش. ثقفیان، ب. ۱۳۸۴، بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر سیل‌خیزی با مدل (NRCS) مطالعه موردی حوضه آبخیز باراندوز چای در آذربایجان غربی، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۸، شماره ۴، صص. ۷۴۲-۷۳۳.
- درفشی، خ. ۱۳۹۱، نقش تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های بیلان هیدرولوژیکی حوضه کن، مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه لرستان.
- فرازجو، ح. ۱۳۸۲، بررسی اثر تغییرات پوشش گیاهی بر هیدروگراف سیل حوضه آبخیز سد گلستان با استفاده از GIS و مدل HEC-HMS، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، صص. ۱۶۶.
- هادیانی، م. ۱۳۸۶، نقش تغییر کاربری اراضی بر دبی سیلاب‌های منطقه‌ای (مطالعه موردی در حوزه‌ی آبخیز مادرسو)، محیط‌شناسی، دوره ۳۳، شماره ۴۲، صص. ۹-۱۶.
- Baltas E.A. Dervos N.A. and Mimikou M.A. 2007, **Technical note: Determination of SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece.** Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1825-1829, doi: 10.5194/hess-11-1825-2007.
- Brilly M. Rusjan S. and Vidmar A. 2006, **Monitoring the impact of urbanization on the Gliscic stream** Phys, Chem. Journal, J. Hydrol. Hydromech, 58, 2010, 1, 3-14  
DOI: 10.2478/v10098-010-0001-5. Volume 31, Issue 17, 2006, Pages 1089-1096
- Calder I.R. Hall R.L. Bastable H.G. Gunston H.M. Shela O. Chirwa and Kafundu A.R. 1995. **the Impacts of land use changes on water resources in sub-saharan Africa: A modelling study of lake malawi**, Journal of Hydrology, Volume 170, Number 1, August 1995, pp. 123-135(13)

- Camorani G, castellarin, A. Brath, A. 2005, **Effects of landuse changes on the hydrologic response of reclamation systems**, Physics and Chemistry of the Earth, Volume 30, Issues 8–10, 2005, Pages 561–574.
- Campaignas N.A. and Tucci E.M. 2001, **Predicting floods from urban development scenarios: Case study of the Diluvio basin, Porto Alegre, Brazil**. Urban Water, Volume 3, Issues 1–2, March–June 2001, Pages 113–124.
- Dehoo A. 1999. **LISFLOOD: A rainfall-runoff model for large river basins to assess the influence of land use changes on flood risk**. Physics and Chemistry of the Earth, Part B.
- Foher N. Steiner N. Moller D. 2002, **Multidisciplinary trade-off Function for Land use option in Low Mountain Ranges Area: A Modeling Approach**, Thrid International Conference on Water Resources and Environment Research, Dresden University of technology, PP. 387-391.
- Gupta R.S. Khybri M.L. Singh B. 1963, **Runoff plot studied with different grasses with special reference to conditions in Himalaya and Swanlike Region**, Indian forester, Vol. 89, No. 2, PP. 128-133.
- Kilbler D. F. Froelich C. D. and Aron G. 2007, **Analyzing urbanization impacts on Pennsylvania flood peak**, Journal of American Water Resources Association. Vol. 17, Issue 2, PP. 270-274.
- Lim K.J. Bernard A. Suresh E. and Horbor J. 2006, **Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology**, American Water Resource Association, PP. 629-643.
- Liu Y.B. Smedt F. Hoffmann F. and Pfister L. 2004, **Assessing land use impact on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach**, Environmental modeling and assessment, 2004 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands*. Volume (9), PP. 227-235.
- Nirupama N. and Simonovic S.P. 2007, **Increase of flood risk due to urbanization: A Canadian example**, Natural Hazards (2007) 40:25–41, DOI 10.1007/s11069-006-0003-0
- Pappas E.A. Smith D.R. Huang C. Shuster W.C. and Bonta, 2008, **Impervious surface impacts to runoff and sediment discharge under laboratory rainfall simulation**, Catena Journal, Volume 72, Issue 1, 1 January 2008, Pages 146–152
- Saghafian B. Farzjoo H. Bozorgy B. and Yazdandoost F. 2008, **Flood intensification due to changes in land use**, Water Resource Management, Volume 22, Issue 8, pp 1051-1067.
- Shang J. and Wilson P. 2009, **Watershed urbanization and changing flood behavior across the Los Angeles metropolitan region**, Natural Hazard, DOI 10.1007/ SI 1069-008-9241-7, volume (48), 41-57.
- Shi P.J. Yuan Y. Zheng J. Wang J.A. Ge Y. and Qiu G.Y. 2007, **The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China**, Catena, Volume 69, Issue 1, 16 January 2007, Pages 31–35

- Suriya S. and Mudgal B.V. 2011, **Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed-A case study**, Hydrology Journal doi 10.1016/j.jhydrol, Vol. 412–413, PP. 210–219.
- Suwanwerakamtorn R. 1994, **GIS and hydrologic modeling for management of small watersheds**, ITC Journal 1994-4, Netherland. Volume (4), PP. 343-349.
- Wang S. Shaozhong k. Lu Z. and Fusheng L. 2008, **Modeling hydrological response to diffrenet land use and climate change scenarios in the zamu river basin of northwest China**, **Journal Hydrological Processes**, DOI.10.1002/hyp.6846, Vol. 22, No. 14, PP. 2502-2510.