



اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب بخشی از حوضه آبخیز قره‌سو اردبیل

میثم یاری^۱، سمیه سلطانی گردفرامری^{۲*}، محسن قاسمی^۳، روح‌الله تقی‌زاده^۴

۱- دانش آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

۲- استادیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

۳- دکتری علوم و مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

۴- استادیار دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۱۱/۲۱

وصول مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰

چکیده

تغییرات کاربری اراضی، یکی از عواملی است که بر خصوصیات رواناب سطحی و سیلاب در سطوح مختلف حوضه‌ها، تأثیر می‌گذارد. هدف از پژوهش حاضر بررسی اثر تغییرات بوجود آمده در کاربری و پوشش اراضی بخشی از حوضه آبخیز قره‌سو اردبیل در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۲-۱۹۹۲ بر روی ارتفاع رواناب حوضه است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نقشه‌ی گروه هیدرولوژیکی خاک و نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲، شماره‌ی منحنی منطقه به دست آمد و سپس با استفاده از این نقشه‌ها، میزان نگهداشت ویژه‌ی خاک (S) محاسبه و میزان رواناب از طریق روش SCS برآورد شد. نتایج نشان داد که در طول دوره‌های مورد مطالعه، مساحت کاربری‌های اراضی جنگل، زراعت آبی و زمین بایر به ترتیب ۲/۵۴، ۱۶/۶۹ و ۱/۱۹ درصد کاهش پیدا کرده و مساحت کاربری‌های مرتع، زراعت دیم و مناطق مسکونی به ترتیب ۵/۷۴، ۱۲/۳۹ و ۲/۲۹ درصد افزایش یافته است. این تغییرات باعث افزایش شماره‌ی منحنی از ۷۸/۵۷ در سال ۱۹۹۲ تا مقدار ۷۹/۷۷ در سال ۲۰۱۲ شده و به دنبال آن نگهداشت ویژه از ۶۹/۲۸ در سال ۱۹۹۲ به مقدار ۶۴/۴۲ در سال ۲۰۱۲ کاهش پیدا کرده است. تغییرات این عوامل باعث افزایش رواناب از مقدار ۲۶۳/۴ میلی‌متر در سال ۱۹۹۲ تا ۲۹۷/۰۷ میلی‌متر در سال ۲۰۱۲ گردیده است که بیانگر افزایش ۳۳/۶۷ میلی‌متری (۱۱/۳۳ درصد) رواناب در طول دوره‌ی مورد مطالعه می‌باشد. محاسبه‌ی ضریب همبستگی بین کاربری‌های مختلف و شماره‌ی منحنی و ارتفاع رواناب نشان داد که این متغیرها با کاربری‌های مرتع، زراعت دیم و مناطق مسکونی رابطه‌ی مستقیم دارند، در حالی که با کاربری‌های جنگل، زراعت آبی و زمین بایر، دارای رابطه‌ی معکوس هستند.

کلمات کلیدی: رواناب سطحی، شماره‌ی منحنی، قره‌سو اردبیل، کاربری اراضی، همبستگی.

۱- مقدمه

با توجه به روند رو به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی، حفظ آب و خاک به عنوان سرمایه‌هایی ارزشمند، اهمیت فراوان دارند. در مبحث حفاظت از منابع آب و خاک، اطلاع از میزان تولید رواناب و فرسایش جهت دست یافتن به توسعه پایدار، پایه و اساس برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری‌ها است. از این رو بررسی دقیق رواناب سطحی و سیلاب، یک گام مهم و کلیدی در برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه‌ی منابع آب به شمار می‌آید. یکی از عواملی که بر خصوصیات رواناب سطحی تأثیر می‌گذارد، تغییرات کاربری اراضی در سطوح مختلف حوضه‌ها می‌باشد. کاربری اراضی تحت تأثیر دو مؤلفه‌ی نیازهای انسان و فرآیندهای زیست محیطی تشکیل می‌گردد. تغییر کاربری زمین نیز می‌تواند تبدیل یک نوع کاربری به کاربری دیگر باشد، یا به عبارت دیگر به تغییرات در ترکیب و الگوی کاربری‌های اراضی در یک منطقه و یا اصلاح یک نوع کاربری خاص، تغییر کاربری اراضی گفته می‌شود (جکمن^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). تغییرات نادرست کاربری اراضی باعث به هم خوردن چرخه‌ی آب از تعادل طبیعی می‌شود، که زیان‌های ناشی از سیل‌های ویرانگر اعم از خسارت‌های اقتصادی، تلفات جانی، هدر رفت آب و در نتیجه کاهش منابع آب را در پی خواهد داشت. در دهه‌ی اخیر، خسارات اقتصادی ناشی از بروز سیلاب‌ها در اثر تخریب سازه‌ها، تأسیسات و امکانات، تخریب اراضی و فرسایش خاک، اهمیت بررسی تأثیر تغییر کاربری‌ها بر سیلاب را بیشتر کرده است. در این زمینه تحقیقات مختلفی انجام شده است. برای مثال شیراوند (۱۳۹۴) ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و رفتار هیدرولوژیک و تأثیرات آن بر آب زیرزمینی در دشت نجف‌آباد را بررسی و نشان داد که در دوره‌های مورد نظر افزایش کاربری‌های مناطق مسکونی، مراتع تخریب‌یافته، کاهش اراضی کشاورزی و درختان دست کاشت باعث افزایش شماره‌ی منحنی و به دنبال آن کاهش تلفات کل و افزایش رواناب می‌گردد. فوهر^۲ و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از GIS توزیع مکانی سناریوهای مختلف کاربری اراضی را مشخص کرده، سپس به کمک مدل هیدرولوژیکی

1- Jakeman

2- Foher

SWAT تأثیر سناریوهای مورد نظر را بر تعادل آبی در حوضه ی 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. نظر نژاد و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر سناریوهای مختلف کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک با مدل USLE در حوضه ی کلیبرچای را مطالعه کردند. بر اساس نتایج به دست آمده، متوسط فرسایش خاک در سناریوی تبدیل مرتع طبیعی به پوشش درختی و دیم‌زار به ترتیب ۹/۰۳ و ۱۵/۴۳ تن در هکتار در سال اتفاق خواهد افتاد. معینی و همکاران (۱۳۹۶) سطح بهینه ی کاربری اراضی و عملیات بیولوژیک برای کاهش فرسایش و رسوب در حوضه ی آبخیز سقزچی استان اردبیل را تعیین کردند. نتایج نشان داد که با بهینه‌سازی کاربری اراضی، در شرایط فعلی، در شرایط استاندارد کاربری‌ها و با اعمال عملیات بیولوژیک کاربری‌ها میزان فرسایش خاک و رسوبدهی کل حوضه به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. شفیع مطلق و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر تغییر کاربری اراضی در طی چهار دهه ی اخیر را بر کمیت و کیفیت رودخانه ی مارون در استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. نتایج نشان داد که با ادامه ی روند تخریبی در کاربری اراضی، مقادیر رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق کاهش یافته است. نادری و همکاران (۱۳۹۷) تأثیر تغییر کاربری اراضی و اقلیم را بر رواناب حوضه ی گرین بررسی کردند. نتایج نشان داد که با ثابت ماندن تغییرات دوره ی پایه، این منطقه شاهد افزایش مساحت جنگل، کاهش مساحت مرتع و کاهش میزان رواناب می‌باشد. شایسته و عابدیان (۱۳۹۸) اثرات درازمدت هیدرولوژیک تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سالانه در حوضه ی آبریز زیارت را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که در طی ۲۱ سال، علی‌رغم روند کاهش می‌زان بارندگی در منطقه و ثابت بودن ویژگی‌های هیدرولوژیکی در طول زمان، عمق رواناب تولیدی در حوضه به طور متوسط ۲/۱۴ میلی‌متر بر اثر تغییرات در کاربری زمین افزایش داشته است که سهم مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی در افزایش حجم رواناب به ترتیب ۲۶/۳۷ و ۹۱/۲۸ درصد بوده است. ضیائی و همکاران (۱۳۹۸) نقش کاربری اراضی بر تولید رسوب و رواناب سطحی با استفاده از مدل SWAT در حوضه ی

آبخیز بهشت آباد را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اراضی کشت دیم با رواناب سطحی متوسط ۱۹۰ میلی‌متر و رسوب متوسط ۲۴/۵ تن بر هکتار در سال و باغات با میانگین ۸۰ میلی‌متر رواناب سطحی و متوسط تولید رسوب ۱/۶۳ تن بر هکتار در سال به ترتیب بیشترین و کمترین مقادیر متوسط سالیانه تولید رواناب و رسوب را دارند. زوپ^۱ و همکاران (۲۰۱۶) به منظور بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی و شهرنشینی بر جاری شدن سیل در حوضه اوشیوارا در بمبئی هند، تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۶۶، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۹ با استفاده از تصویر ماهواره‌ای استخراج کردند. نتایج نشان داد در ۴۳ سال گذشته به دلیل افزایش ساخت و ساز در منطقه سبب افزایش دبی اوج سیل و حجم سیل شده و به طور کلی مناطق خطر سیل افزایش یافته است. دینکا و کلیک^۲ (۲۰۱۹) اثر تغییر کاربری اراضی بر تغییرات رژیم رواناب سطحی در حوزه باساکا در اتیوپی را مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که پاسخ رواناب از سال ۱۹۷۰ به ویژه پس از شروع برنامه های آبیاری در مقیاس بزرگ در منطقه در حال افزایش بوده است و بیشترین میزان افزایش سطح رواناب پس از اواسط دهه ۱۹۸۰ رخ داد که مطابق با تغییرات قابل توجه کاربری اراضی و افزایش سطح تراز دریاچه در آن دوره در این حوزه بوده است. چن^۳ و همکاران (۲۰۲۰) اثر تغییر اقلیم و کاربری اراضی را بر رواناب حوضه رودخانه‌ی جینشا در چین با مدل SWAT بررسی کردند. نتایج حاکی از این است که با توجه به تغییرات جهانی آب و هوا، میزان بارش، دما و رواناب در این حوزه از سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۵۰ افزایش خواهد یافت. هو^۴ و همکاران (۲۰۲۰) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روی رواناب سطح شهر در یک شهر با سرعت بسیار سریع شهری (منطقه مرکزی پکن) را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که روند تغییر رواناب سطحی مطابق با روند زمین های غیرقابل نفوذ در منطقه است که در طی سال‌های اخیر افزایش یافته است. تجزیه و تحلیل همبستگی نشان داد که تغییرات در رواناب سطحی به شدت با تغییرات در سطوح غیرقابل نفوذ در ارتباط با همبستگی رواناب

1- Zope

2- Dinka and Klik

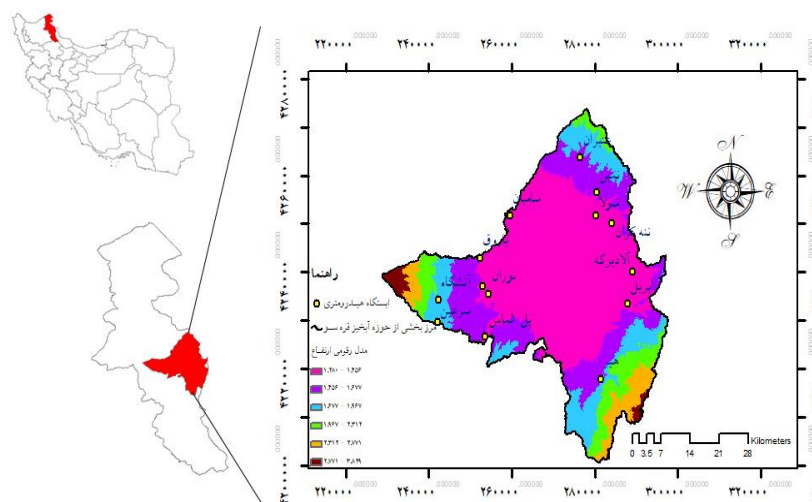
3- Chen

4- Hu

با سایر انواع کاربری زمین در ارتباط است. طی یک، دو دهه ی اخیر، حوضه ی آبخیز قره سو به ویژه پایین دست آن با رشد سریع ساخت و ساز و گسترش سازه های سکونتگاهی مواجه بوده است. فعالیت های انسانی و تغییرات کاربری در این حوضه، باعث شده تا آرایش طبیعی فرآیندهای آبراهه ای که آب و رسوب را از حوضه های بالادست به پایین دست انتقال می دهند، تحت تأثیر مداخلات انسانی قرار بگیرد، یکی از مسائل اساسی مخاطره آمیز در این حوضه را که همانا تغییرات ایجاد شده در الگوی جریان های سطحی و شرایط طبیعی حوضه ها و تجاوز به حریم رودها و آبراهه ها است، بوجود می آورد. در همین راستا تحقیق حاضر با هدف بررسی نقش تغییر کاربری اراضی بر رواناب بخشی از حوضه ی آبخیز قره سو در استان اردبیل در یک دوره ی زمانی تقریباً ۲۰ ساله، به سبب موجود بودن اطلاعات و دسترسی به تصاویر ماهواره ای دوره های مختلف زمانی، انجام پذیرفته است.

۲- مواد و روش ها

منطقه ی مورد مطالعه در تحقیق حاضر شامل بخشی از حوضه ی آبخیز قره سو واقع در استان اردبیل با مساحت $2162/6283$ کیلومتر مربع است که در محدوده ی جغرافیایی $38^{\circ} 37' 25''$ عرض و $48^{\circ} 27' 36''$ و $49^{\circ} 12' 06''$ طول شرقی و $37^{\circ} 47' 20''$ و $38^{\circ} 37' 25''$ شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع حوضه ی آبخیز مذکور به ترتیب 1280 و 3829 متر از سطح دریا و شیب متوسط آن $11/57$ درصد می باشد. کاربری اراضی در این منطقه غالباً شامل زراعت دیم و آبی، مرتع، جنگل و مناطق مسکونی است. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه ی مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه های هیدرومتری را نشان می دهد. به دلیل وجود سد در برخی از زیرحوضه ها، از زیرحوضه هایی استفاده شد که سد در بالادست وجود نداشته باشد. بیشترین بارندگی فصلی حوضه ی مورد مطالعه در فصل بهار اتفاق می افتد و کمترین بارندگی فصلی حوضه مربوط به فصل تابستان می باشد. در کل حوضه قره سو یک سیستم برفی - سیلابی است و مقدار زیادی از آب رودخانه ها، حاصل ذوب برفی است که در فصل زمستان تا اواخر فروردین ماه در ارتفاعات انباشته شده است، این انبار بزرگ آبی در تابستان به تدریج ذوب گشته و در رودخانه ها جریان می یابد.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی بخشی از حوضه آبخیز قره سو در کشور و استان اردبیل
Fig (1) Geographical location of a part of Ghareh-su watershed in Ardabil province and country

- تهیه نقشه کاربری اراضی

گزینش و انتخاب نوع سنجده، بستگی به هدف مطالعه، مشخصات منطقه و مقیاس زمانی و مکانی مورد نظر دارد. در این تحقیق از میان تصاویر قابل دسترس، تصاویری انتخاب شد که از نظر ماه برداشت به هم نزدیک باشند. در همین راستا ابتدا به تهیه تصاویر ماهواره‌ای مورد نیاز در سال‌های مورد مطالعه (۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲) از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا اقدام شد. مشخصات تصاویر دانلود شده در جدول (۱) ارائه شده است. برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای دانلود شده استفاده شد، که ابتدا تصحیحات رادیومتریک و هندسی لازم بر روی این داده‌ها به وسیله نرم‌افزار ENVI صورت گرفته و سپس تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه مورد نظر در دستور کار قرار گرفت. برای طبقه‌بندی تصاویر از روش حداکثر احتمال یا بیشترین شباهت در محیط نرم‌افزار IDRISI Selva استفاده شد. بدین صورت که ابتدا نقاط تعلیمی با تصاویر Google Earth و بازدیدهای میدانی از منطقه تعیین گردید و نرم‌افزار بر اساس این نقاط ۶ کاربری شامل

جنگل، مرتع، زراعت دیم، زراعت آبی، مناطق مسکونی و زمین بایر سال ۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲ را به دست آورد.

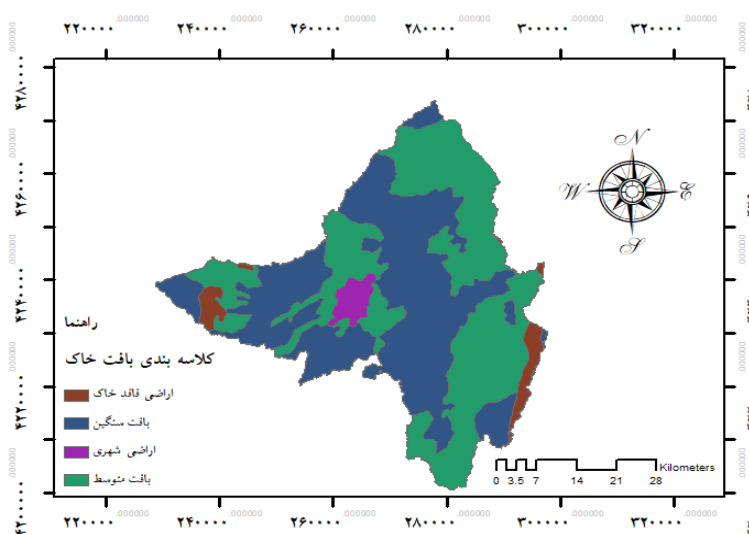
جدول (۱) مشخصات تصاویر دانلود شده
Tab (1) Specifications of downloaded images

ردیف	ماهواره	سنجنده	تاریخ اخذ تصاویر	تعداد باند
۱	لندست ۵	TM	۱۹۹۲/۰۷/۰۹	۷
۲	لندست ۷	ETM ⁺	۲۰۰۲/۰۹/۱۵	۸
۳	لندست ۷	ETM ⁺	۲۰۱۲/۰۸/۰۹	۸

- تهیه نقشه‌ی شماره‌ی منحنی

پس از مشخص شدن تغییر کاربری‌ها در طول سال‌های مورد مطالعه اقدام به تهیه‌ی نقشه‌ی شماره‌ی منحنی گردید. در ابتدا لازم به ذکر است که CN مورد استفاده در این تحقیق برای وضعیتی است که در آن فرض شده است، خاک حوضه‌ی مورد مطالعه به لحاظ رطوبتی قبل از بارندگی در وضعیت متوسط بوده است (خاک منطقه‌ی قبل از بارندگی نه زیاد خشک و نه زیاد مرطوب بوده است). اگر بارندگی زمانی باشد که از قبل خاک حوضه خشک باشد و یا بارندگی زمانی صورت گیرد که قبل از آن باران دیگری باریده و خاک حوضه مرطوب باشد، در این صورت باید CN برای هر دو وضعیت خشک (CN_T) یا مرطوب (CN_M) اصلاح شود. در این پژوهش با استفاده از نقشه‌ی خاکشناسی منطقه که از گروه علوم خاک دانشگاه تهران اخذ گردید (شکل ۲) و دربرگیرنده‌ی خصوصیات مختلف خاک (نفوذپذیری، عمق خاک، بافت خاک و ...) می‌باشد، نقشه‌ی گروه‌های هیدرولوژیک خاک (A، B، C و D) استخراج شد، سپس با استفاده از جداول مربوط به تعیین CN (جدول استاندارد SCS)، برای هر واحد چندضلعی، حاصل از تلفیق نقشه‌ی کاربری اراضی و گروه‌های هیدرولوژیک خاک، با استفاده از نرم‌افزار HECGEO-HMS در محیط نرم‌افزار Arc GIS شماره منحنی تولید شده و سپس شماره‌ی منحنی هر واحد همگن در مساحت تحت پوشش آن ضرب شده و مجموع حاصل ضرب‌ها به مساحت کل

حوضه تقسیم گردید و بدین ترتیب شماره‌ی منحنی متوسط وزنی کل حوضه محاسبه گردید.



شکل (۲) نقشه‌ی کلاس‌های بافت خاک
Fig (2) Map of soil texture classes

- محاسبه‌ی ارتفاع رواناب

بعد از تهیه‌ی شماره‌ی منحنی برای سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲ اقدام به محاسبه‌ی نگهداشت ویژه از رابطه‌ی تجربی ذیل گردید:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (1)$$

در این معادله CN : شماره منحنی و S : حداکثر نگهداشت خاک بعد از شروع رواناب یا نگهداشت ویژه (میلی‌متر) می‌باشد.

جهت محاسبه‌ی ارتفاع رواناب سالانه، از میانگین بارش بلندمدت سالانه برای ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی استفاده گردید که ابتدا از بارش سالیانه آنها با استفاده از روش فاصله معکوس وزنی میانبایی انجام گرفت و میانگین بارش از کل منطقه در نظر گرفته شد و بر

اساس آن ارتفاع رواناب محاسبه گردید و با جایگذاری میانگین بارش و نگهداشت ویژه در رابطه ی (۲) ارتفاع رواناب هر سال محاسبه گردید.

$$Q = \frac{(p-0.2S)^2}{p+0.8S} \quad (2)$$

در این معادله Q ارتفاع رواناب (میلی متر)، P بارندگی (میلی متر)، S نگهداشت ویژه (میلی متر) می باشد.

- محاسبه ی ضریب همبستگی بین متغیرهای تحقیق

هدف از محاسبه ضریب همبستگی، مشخص کردن رابطه مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرهای تحقیق می باشد. متغیرهایی که بین آنها همبستگی محاسبه گردید عبارتند از: کاربری های تولید شده (جنگل، مرتع، زراعت دیم، زراعت آبی، مناطق مسکونی و زمین بایر)، شماره ی منحنی، رواناب. در این مطالعه از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد که با نماد r نشان داده می شود و مقدار آن بین $+1$ تا -1 می باشد.

۳- بحث و نتایج

- نقشه ی کاربری اراضی

به منظور بیان صحت نقشه ها از دو معیار صحت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. صحت کلی عبارت است از نسبت پیکسل هایی که درست طبقه بندی می شوند به تعداد کل پیکسل های مورد مقایسه به این ترتیب صحت کلی که به درصد بیان می شود، نشان دهنده ی میزان همخوانی تصویر حاصل از طبقه بندی با واقعیت زمینی است. همچنین برای ارزیابی دقت از کاپا که معیار مشخص اختلاف توافق بین نقشه ها (که به صورت کلی بیان می شود) و توافقی که ممکن است ناشی از همخوانی اتفاقی دو نقشه باشد، استفاده می شود. این شاخص سعی می کند تا معیار سنجش توافق تصادفی فراهم کند. جدول (۲) نتایج ماتریس خطای طبقه بندی انجام شده را نشان می دهد.

جدول (۲) ماتریس خطای طبقه‌بندی انجام شده
Tab (2) Classification error matrix performe

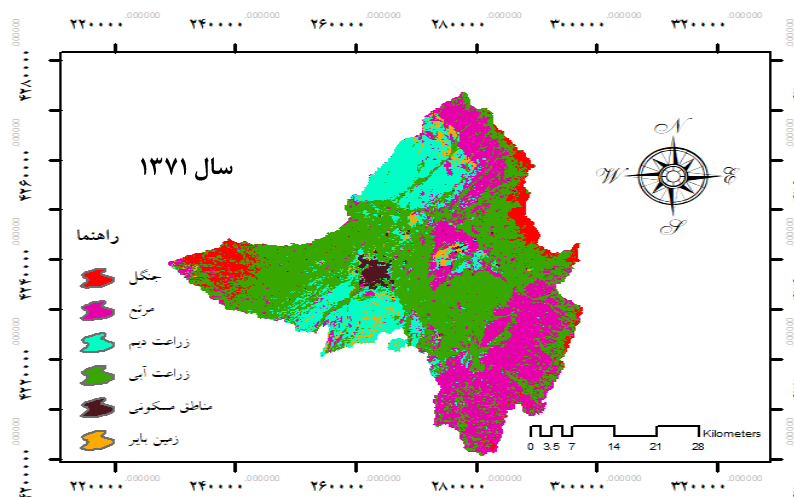
سال	جمع پیکسل‌های انتخاب شده	جمع پیکسل‌های صحیح	دقت کلی	کاپای کلی
۱۳۷۱	۹۰۵	۸۲۲	٪۹۰/۸۳	٪۸۸/۷۲
۱۳۸۱	۱۰۵۲	۹۳۲	٪۸۸/۵۹	٪۸۶/۲۱
۱۳۹۱	۹۵۸	۸۶۷	٪۹۰/۵	٪۸۷/۴۷

نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲ در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۳) و جدول (۳) مشخص است، در سال ۱۹۹۲، بیشترین مساحت را کاربری زراعت آبی با ۱۰۱۸۵۱ هکتار که ۴۷/۱ درصد از سطح حوضه را به خود اختصاص داده و کمترین مساحت را کاربری مناطق مسکونی با ۲۷۹۱ هکتار که برابر ۱/۲۹ درصد از سطح حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد، تشکیل می‌دهد. همچنین مساحت کاربری‌های جنگل، مرتع، زراعت دیم و زمین بایر به ترتیب ۱۱۹۸۲ (۵/۵۴ درصد از سطح حوضه)، ۵۸۹۳۴/۶۸ (۲۷/۲۵ درصد از سطح حوضه)، ۳۶۶۰۲/۶ (۱۶/۹۲ درصد از سطح حوضه) و ۴۱۰۱/۱۵ هکتار (۱/۹ درصد از سطح حوضه) برآورد شد. نقشه‌ی کاربری اراضی و مساحت هر کدام از کاربری‌ها در سال ۲۰۰۲ به ترتیب در شکل (۳) و جدول (۴) نشان داده شده است، که باتوجه به یافته‌ها در این سال، کاربری زراعت آبی بیشترین مساحت در حوضه‌ی مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است و مساحت آن برابر ۷۶۳۷۹/۴ هکتار که ۳۵/۳۲ درصد از مساحت حوضه‌ی مورد مطالعه می‌باشد و کمترین مساحت کاربری نیز متعلق به کاربری زمین بایر با مساحت حدود ۲۲۸۷ هکتار است، که ۱/۰۶ درصد سطح حوضه‌ی مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد. همچنین مساحت کاربری‌های جنگل، مرتع، زراعت دیم و مناطق مسکونی در سال ۲۰۰۲ به ترتیب ۸۹۹۷/۶۹ (۴/۱۶ درصد از سطح حوضه)، ۶۵۷۴۴/۹ (۳۰/۴ درصد از سطح حوضه)، ۵۷۴۸۹/۵ (۲۶/۵۸ درصد از سطح حوضه) و ۵۳۶۴/۹۹ هکتار (۲/۴۸ درصد از سطح حوضه) محاسبه گردید. همچنین باتوجه به شکل (۳) و نیز جدول (۵) بیشترین مساحت کاربری اراضی در سال ۲۰۱۲ برای بخشی از حوضه‌ی آبخیز قره‌سو، متعلق به کاربری مرتع می‌باشد، که مساحت آن برابر ۷۱۳۳۴/۶۹

هکتار (۳۲/۹۹ درصد) و کمترین مساحت کاربری را نیز زمین بایر تشکیل می دهد که مساحت آن نیز برابر با ۱۵۳۴/۵۹ هکتار (۰/۷۱ درصد) می باشد. همچنین مساحت کاربری های جنگل، زراعت دیم، زراعت آبی و مناطق مسکونی در سال ۲۰۱۲ به ترتیب ۶۵۰۴/۰۷ (۳ درصد از سطح حوضه)، ۶۳۳۸۸ (۲۹/۳۱ درصد از سطح حوضه)، ۶۵۷۶۵/۲ (۳۰/۴۱ درصد از سطح حوضه) و ۷۷۳۶/۲۸ هکتار (۳/۵۸ درصد از سطح حوضه) محاسبه گردید.

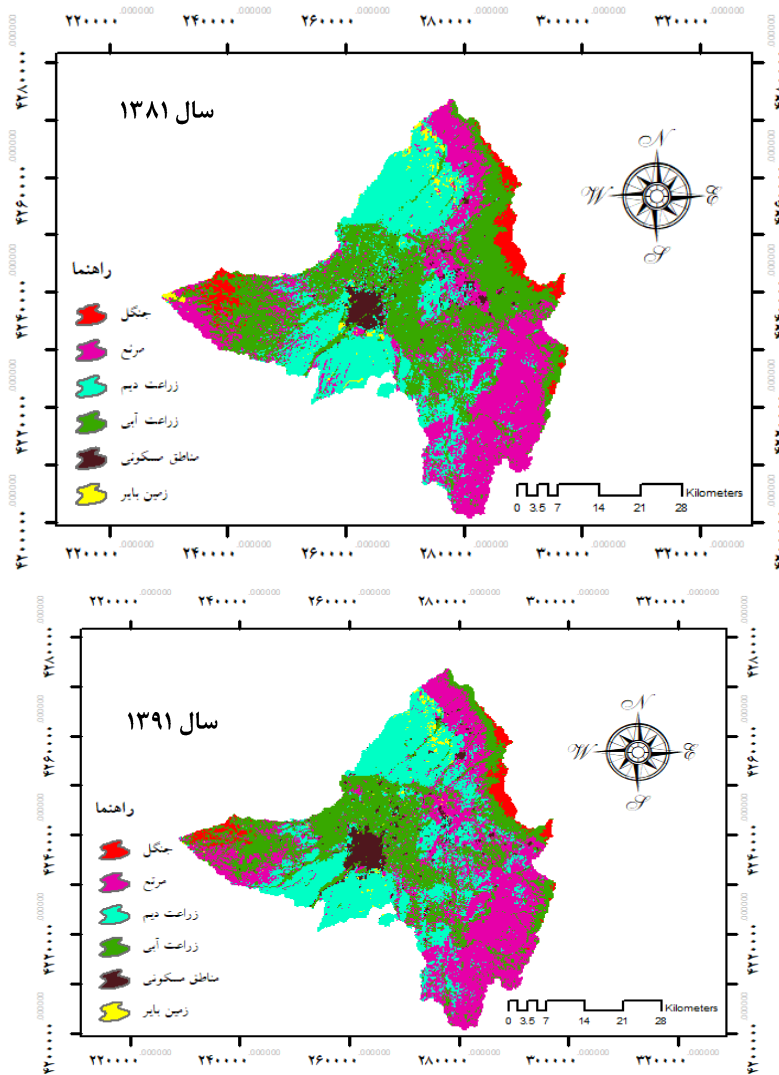
- روند تغییرات کاربری اراضی

با توجه به مطالب مذکور و نیز شکل (۴) و جدول (۶) از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲، مساحت کاربری زراعت آبی بیشترین تغییرات را داشته که ۱۱/۷۸ درصد با کاهش روبرو شده است. کاربری زراعت دیم نیز ۹/۶۶ درصد در سال ۲۰۰۲ نسبت به سال ۱۹۹۲ دچار افزایش شده است. کاربری مرتع ۳/۱۵ درصد افزایش، کاربری جنگل نیز ۱/۳۸ درصد کاهش، مناطق مسکونی ۱/۱۹ درصد افزایش و زمین بایر نیز ۰/۸۴ درصد کاهش یافته است.



شکل (۳) نقشه های کاربری اراضی برای دوره های مورد مطالعه

Fig (3) Land use maps for the period under study



ادامه‌ی شکل (۳) نقشه‌های کاربری اراضی برای دوره‌های مورد مطالعه
 Continued Fig (3) Land use maps for the period under study

جدول (۳) مساحت کاربری‌های اراضی بخشی از حوزه‌ی آبخیز قره‌سو در سال ۱۹۹۲
 Tab (3) Land use area of a part of Ghareh-Su watershed in 1992

نوع کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	۱۱۹۸۲	۵/۵۴
مرتع	۵۸۹۳۴/۶۸	۲۷/۲۵
زراعت دیم	۳۶۶۰۲/۶	۱۶/۹۲
زراعت آبی	۱۰۱۸۵۱/۱	۴۷/۱
مناطق مسکونی	۲۷۹۱/۳	۱/۲۹
بایر	۴۱۰۱/۱۵	۱/۹
جمع	۲۱۶۲۶۲/۸۳	۱۰۰

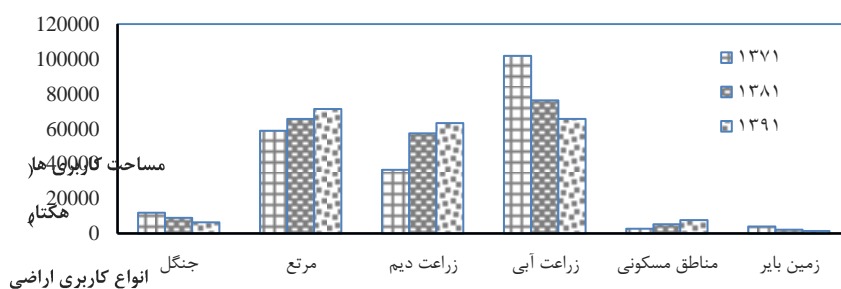
از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ نیز مساحت کاربری‌های زراعت آبی و جنگل به ترتیب ۴/۹۱ و ۱/۱۶ درصد کاهش داشته است و زراعت دیم ۲/۷۳ درصد و مرتع ۲/۵۹ درصد و مناطق مسکونی ۱/۱ درصد با افزایش مساحت روبرو شده است و زمین بایر نیز ۰/۳۵ درصد کاهش داشته است. هم‌چنین طی بیست سال مورد مطالعه یعنی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ مساحت کاربری‌های جنگل، زراعت آبی و زمین بایر به ترتیب ۲/۵۴، ۱۶/۶۹ و ۱/۱۹ درصد کاهش یافته و مساحت کاربری‌های مرتع، زراعت دیم و مناطق مسکونی به ترتیب ۵/۷۴، ۱۲/۳۹ و ۲/۲۹ درصد افزایش پیدا کرده است.

جدول (۴) مساحت کاربری‌های اراضی بخشی از حوزه‌ی آبخیز قره‌سو در سال ۲۰۰۲
 Tab (4) Land use area of a part of Ghareh-Su watershed in 2002

نوع کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	۸۹۹۷/۶۹	۴/۱۶
مرتع	۶۵۷۴۴/۰۹	۳۰/۴
زراعت دیم	۵۷۴۸۹/۵	۲۶/۵۸
زراعت آبی	۷۶۳۷۹/۴	۳۵/۳۲
مناطق مسکونی	۵۳۶۴/۹۹	۲/۴۸
بایر	۲۲۸۷/۱۶	۱/۰۶
جمع	۲۱۶۲۶۲/۸۳	۱۰۰

جدول (۵) مساحت کاربری‌های اراضی بخشی از حوزه آبخیز قره‌سو در سال ۲۰۱۲
Tab (5) Land use area of a part of Ghareh-Su watershed in 2012

نوع کاربری اراضی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت
جنگل	۶۵۰۴/۰۷	۳
مرتع	۷۱۳۳۴/۶۹	۳۲/۹۹
زراعت دیم	۶۳۳۸۸	۲۹/۳۱
زراعت آبی	۶۵۷۶۵/۲	۳۰/۴۱
مناطق مسکونی	۷۷۳۶/۲۸	۳/۵۸
بایر	۱۵۳۴/۵۹	۰/۷۱
جمع	۲۱۶۲۶۲/۸۳	۱۰۰



شکل (۴) روند تغییرات مساحت کاربری‌های اراضی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲

Fig (4) Trend of land use area changes from 1992 to 2012

جدول (۶) روند تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲

Table (6) Trend of land use changes from 1992 to 2012

تغییر مساحت (درصد)	نوع کاربری اراضی	دوره
-۱/۳۸	جنگل	تغییرات دوره‌ی دوم نسبت به دوره‌ی اول (۱۹۹۲-۲۰۰۲)
+۳/۱۵	مرتع	
+۹/۶۶	زراعت دیم	
-۱۱/۷۸	زراعت آبی	
+۱/۱۹	مناطق مسکونی	
-۰/۸۴	زمین بایر	

جدول (۶) ادامه
Table (6) Countinue

-۲/۵۴	جنگل	
+۵/۷۴	مرتع	
+۱۲/۳۹	زراعت دیم	تغییرات دوره ی سوم نسبت به دوره ی
-۱۶/۶۹	زراعت آبی	اول
+۲/۲۹	مناطق مسکونی	(۱۹۹۲-۲۰۱۲)
-۱/۱۹	زمین بایر	
-۱/۱۶	جنگل	
+۲/۵۹	مرتع	
+۲/۷۳	زراعت دیم	تغییرات دوره ی سوم نسبت به دوره ی
-۴/۹۱	زراعت آبی	دوم
+۱/۱	مناطق مسکونی	(۲۰۰۲-۲۰۱۲)
-۰/۳۵	زمین بایر	

- شماره ی منحنی

نقشه ی شماره منحنی تولید شده برای سال های ۱۹۹۲، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۲ در شکل (۵) ارائه شده است. مقدار شماره ی منحنی برای بخشی از حوضه ی آبخیز قره سو در شرایط رطوبتی متوسط (CN_{II}) برای سال ۱۹۹۲ محاسبه شد که بر طبق جدول (۷) در سال ۱۹۹۲ مقدار شماره ی منحنی برابر با ۷۸/۵۷ بدست آمد. همچنین شماره ی منحنی در شرایط رطوبتی خشک و مرطوب برای سال ۱۹۹۲ محاسبه گردید که به ترتیب ۶۰/۶۳ و ۸۹/۴ می باشد. مقدار شماره ی منحنی در شرایط رطوبت پیشین متوسط (CN_{II}) برای سال ۱۳۸۱ نیز محاسبه گردید که بر طبق جدول (۷) برای سال ۲۰۰۲ مقدار شماره ی منحنی برابر با ۷۹/۱۴ می باشد، که نسبت به سال ۱۹۹۲ با افزایش ۰/۵۷ همراه بوده است. همچنین شماره ی منحنی در شرایط رطوبتی خشک و مرطوب برای سال ۲۰۰۲ به ترتیب ۶۱/۴۴ و ۸۹/۷۲ می باشد. مقدار شماره ی منحنی در شرایط رطوبت پیشین متوسط (CN_{II}) برای سال ۲۰۱۲ محاسبه شد که با توجه به جدول (۷) برای سال ۲۰۱۲ مقدار شماره ی منحنی

برابر با ۷۹/۷۷ می‌باشد، که نسبت به سال ۲۰۰۲ با افزایش (۰/۶۳) روبرو شده است. در ادامه شماره‌ی منحنی در شرایط رطوبتی خشک و مرطوب برای سال ۲۰۱۲ محاسبه گردید، که به ترتیب ۶۲/۳۵ و ۹۰/۰۷ می‌باشد. این مقدار شماره‌ی منحنی نشان از توانایی بالای حوضه‌ی مورد مطالعه در تولید رواناب می‌باشد. با توجه به این یافته‌ها می‌توان گفت که حوضه‌های آبخیز هرچه از شرایط رطوبتی خشک به مرطوب برسد، بر میزان شماره‌ی منحنی افزوده می‌شود.

- محاسبه‌ی ارتفاع رواناب

در ادامه برای محاسبه‌ی رواناب حاصل از بارش سالانه، از میانگین بارش بلندمدت سالانه ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی بخشی از حوضه‌ی آبخیز قره‌سو استفاده شد. با استفاده از روابطی که در بخش مواد و روش ارائه شد، به طوری که با در دست داشتن مقدار شماره‌ی منحنی، نگهداشت ویژه و بارش بلندمدت سالانه، ارتفاع رواناب محاسبه گردید و نتایج آن در جدول (۸) ارائه شده است. بنابراین با توجه به نتایج نگهداشت ویژه در سال ۱۹۹۲، ۶۹/۲۸ میلی‌متر بوده که در سال ۲۰۰۲ به میزان ۶۶/۹۵ میلی‌متر و در سال ۲۰۱۲ میزان آن به ۶۴/۴۲ میلی‌متر کاهش یافته است. بر اثر کاهش مقدار نگهداشت ویژه، بر میزان رواناب سطحی افزوده می‌شود که در سال ۱۹۹۲، ۲۶۳/۴ میلی‌متر ولی در سال ۲۰۰۲ میزان رواناب به ۲۹۴/۷۸ میلی‌متر و در سال ۲۰۱۲ نیز به مقدار ۲۹۷/۰۷ میلی‌متر افزایش یافته است. افزایش در میزان رواناب در حوضه‌ی مورد مطالعه می‌تواند به دلیل افزایش در میزان شماره‌ی منحنی باشد.

جدول (۷) مقدار میانگین وزنی شماره منحنی از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲

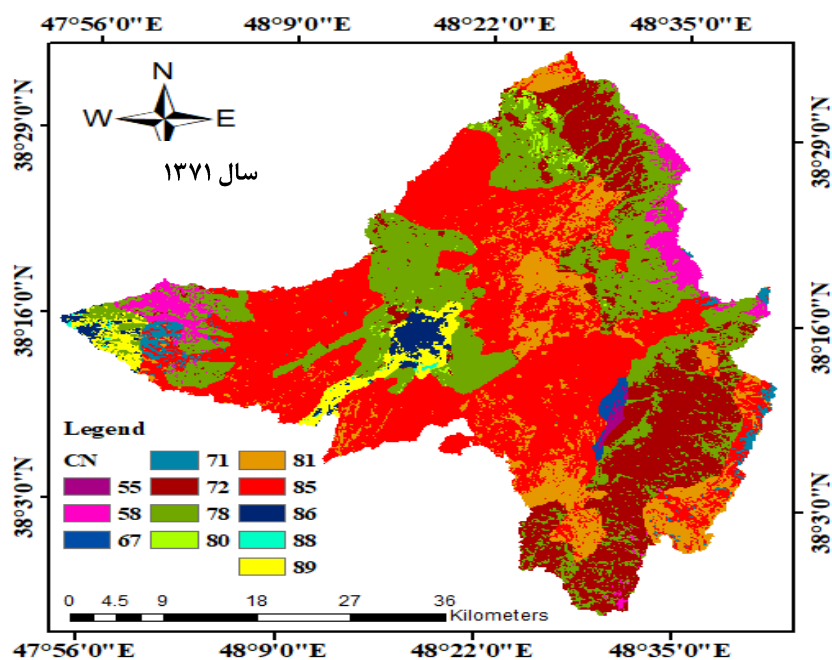
Table (7) Weighted average value of the curve number from 1992 to 2012

CN _{III}	CN _{II}	CN _I	سال
۸۹/۴	۷۸/۵۷	۶۰/۶۳	۱۹۹۲
۸۹/۷۲	۷۹/۱۴	۶۱/۴۴	۲۰۰۲
۹۰/۰۷	۷۹/۷۷	۶۲/۳۵	۲۰۱۲
۰/۰۷۴	٪۱/۵	٪۲/۷۶	درصد افزایش شماره منحنی در سال ۲۰۱۲ نسبت به ۱۹۹۲

جدول (۸) متوسط ارتفاع رواناب سالانه از روش شماره ی منحنی

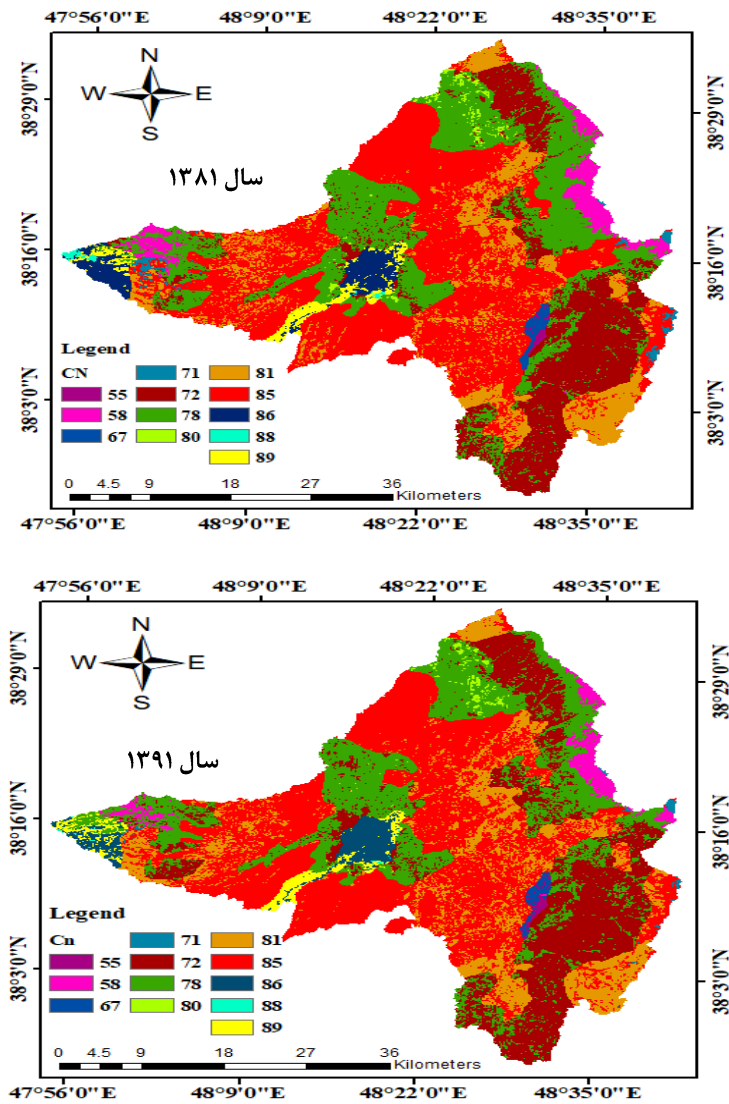
Table (8) Average annual runoff height from curve number method

سال	شماره ی منحنی	نگهداشت ویژه (S) (میلی متر)	متوسط بلند مدت بارش سالانه (P) (میلی متر)	ارتفاع رواناب (Q) (میلی متر)
۱۹۹۲	۷۸/۵۷	۶۹/۲۸	۳۶۴/۳۹	۲۶۳/۴
۲۰۰۲	۷۹/۱۴	۶۶/۹۵	۳۶۴/۳۹	۲۹۴/۷۸
۲۰۱۲	۷۹/۷۷	۶۴/۴۲	۳۶۴/۳۹	۲۹۷/۰۷



شکل (۵) نقشه های شماره ی منحنی برای دوره های مورد مطالعه

Fig (5) Curve number maps for the periods studied



ادامه‌ی شکل (۵) نقشه‌های شماره منحنی برای دوره‌های مورد مطالعه
Continued Tab(5) Curve number maps for the periods studied

- محاسبه ی ضریب همبستگی

هدف از محاسبه ضریب همبستگی، مشخص کردن رابطه ی مستقیم و غیرمستقیم بین متغیرهای تحقیق است. نتایج همبستگی در جدول (۹) ارائه شده است. با توجه به نتایج، همبستگی بین متغیرهای شماره ی منحنی و انواع کاربری نشان می دهد که قوی ترین همبستگی مثبت با کاربری مناطق مسکونی ($r=+0/999$) بدست آمده است. علامت مثبت به این معنی است که بین شماره ی منحنی و کاربری مناطق مسکونی رابطه ی مستقیم وجود دارد و بیشترین همبستگی منفی با کاربری جنگل ($r=-0/997$) مشاهده گردید. علامت منفی نیز نشان دهنده ی رابطه ی معکوس بین شماره ی منحنی و کاربری جنگل است. به عبارت دیگر با افزایش مساحت کاربری جنگل، مقدار شماره ی منحنی کاهش می یابد. همچنین همبستگی بین متغیرهای رواناب و انواع کاربری اراضی نشان داد که قوی ترین رابطه ی مثبت (رابطه مستقیم) با کاربری زراعت دیم ($r=+0/989$)، و بیشترین همبستگی منفی (رابطه ی معکوس) با کاربری های زراعت آبی و زمین بایر ($r=-0/974$) وجود دارد. نتایج محاسبه ی همبستگی بین متغیرهای حجم سیلاب و انواع کاربری اراضی نیز نشان می دهد که قوی ترین همبستگی مثبت با کاربری مناطق مسکونی ($r=+0/986$) بوده و حجم سیلاب بیشترین همبستگی منفی را با کاربری جنگل ($r=-0/981$) داشته است.

جدول (۹) ماتریس همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه

Table (9) Correlation matrix between the variables studied

متغیر	جنگل	مرتع	زراعت دیم	زراعت آبی	مناطق مسکونی	زمین بایر
شماره منحنی	-0/997	+0/996	+0/942	-0/996	+0/999	-0/996
رواناب	-0/917	+0/919	+0/989	-0/974	+0/905	-0/974

۴- نتیجه گیری

مهم ترین مداخله ی انسانی در چرخه ی هیدرولوژیک حوض ها، تغییرات کاربری اراضی است. نتایج این تغییرات شامل تخریب خطوط تقسیم آب، قطع کردن مسیل های زهکشی طبیعی و افزایش سطوح نفوذناپذیر است. در پژوهش حاضر نیز نتایج تحقیق نشان داد که

تغییر کاربری اراضی با توجه به تأثیر آن بر روی شماره‌ی منحنی حوضه‌ی مورد مطالعه باعث تغییر بر روی رواناب سطحی می‌شود. در این تحقیق در طول دوره‌ی ۲۰ ساله، کاربری اراضی دستخوش تغییر شده است و این تغییر کاربری اراضی به سمتی میل کرده است که شماره منحنی آن افزایش یافته است. همانطور که مشاهده گردید از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۲ کاربری‌های اراضی، مناطق مسکونی، مرتع و زراعت دیم به ترتیب ۲/۲۹، ۱۲/۳۹ و ۵/۷۴ درصد افزایش یافته و همچنین کاربری‌های جنگل، زراعت آبی و زمین بایر به ترتیب ۲/۵۴، ۱۶/۶۹ و ۱/۱۹ درصد کاهش یافته و به تبع آن بر میزان رواناب حاصله از این کاربری نیز افزوده شده است. چنانکه نتایج نشان داد، شماره منحنی حوضه‌ی مورد مطالعه در سال ۱۳۷۱ برابر با ۷۸/۵۷ که در سال ۱۳۹۱ این مقدار تا حدود ۷۹/۷۷ افزایش یافته است و به دنبال آن ارتفاع رواناب از مقدار ۲۶۳/۴ میلی‌متر در سال ۱۳۷۱ تا ۲۹۷/۰۷ میلی‌متر در سال ۱۳۹۱ گردیده است که بیانگر افزایش ۳۳/۶۷ میلی‌متری (۱۱/۳۳ درصد) رواناب در طول دوره‌ی مورد مطالعه می‌باشد. زوپ و همکاران (۲۰۱۶) بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی و شهرنشینی بر جاری شدن سیل در حوضه‌ی اوشیوارا در بمبئی هند را مورد مطالعه قرار داده‌اند نشان دادند که افزایش رواناب یا به عبارتی سیل خیز شدن حوضه بر اثر تغییر کاربری و پوشش اراضی است. همانطور که مشاهده می‌شود با نتایج تحقیق حاضر مطابقت داشته و افزایش رواناب حوضه تحت تأثیر افزایش کاربری‌های غیرقابل نفوذ، در نتیجه افزایش شماره منحنی و کاهش تلفات کل قرار می‌گیرد. بنابراین با توجه به آمار و نتایج آورده شده، تغییر کاربری‌های مختلف بر روی رواناب سطحی تأثیر بسزایی داشته و افزایش کاربری‌هایی مثل مناطق مسکونی، مراتع و زراعت دیم، رواناب سطحی را با افزایش مواجه کرده است. یافته‌های تحقیق با نتایج محققانی همچون شیرواند (۱۳۹۴)، نظرنژاد و همکاران (۱۳۹۶)، چن و همکاران (۲۰۲۰)، ضیائی و همکاران (۱۳۹۸) و زوپ و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. تبیین این مسأله نشان می‌دهد که در یک اکوسیستم طبیعی، بهره‌برداری از زمین و ایجاد تغییر در شرایط محیطی به ویژه پوشش گیاهی و کاربری اراضی آن اکوسیستم بر پاسخ‌های هیدرولوژیکی مانند جاری شدن سیلاب و میزان فرسایش و رسوب منطقه تأثیرگذار می‌باشد و در نهایت باعث

خسارات شدید اقتصادی، اجتماعی می‌شود. تغییر در حجم کل رواناب و تغییر در تعادل هیدرولوژیک از مهم‌ترین اثرات تغییر کاربری اراضی بر روی هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز می‌باشد. به همین علت کاربری اراضی و پوشش زمین یکی از عوامل اصلی در کنترل تعادل هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز است. افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش کاربری‌های شهری، باعث می‌شود جنگل‌ها و مراتع تخریب شده یا به زمین زراعتی تبدیل شوند، در نتیجه آب کمتری در بالادست رودخانه‌ها به زمین نفوذ کرده و سریع‌تر به طرف دشت جریان پیدا کنند. به این ترتیب حجم سیل بیشتر شده و خسارت بیشتری نیز به مردم پایین‌دست حوضه وارد می‌سازد.

۵- منابع

-Reference

- Chen, Q., Chen, H., Zhang, J. Hou, Y., Shen, M., Chen, J., & Xu, C. (2020). Impacts of climate change and LULC change on runoff in the Jinsha River Basin. *Journal of Geographical Sciences*, 30(1): 85-102.
- Dinka, M., & Klik, A. (2020) Effect of land use–land cover change on the regimes of surface runoff—the case of Lake Basaka catchment (Ethiopia). *Environmental Monitoring and Assessment*, 191: 278-291.
- 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*, 387-391.
- Hu, S., Fan, Y., & Zhang, T. (2020). Assessing the Effect of Land Use Change on Surface Runoff in a Rapidly Urbanized City: A Case Study of the Central Area of Beijing. *Land*, 9(17): 1-15.
- Jakeman, A., Letcher, R. A., Rojanasoonthon, S., Cuddy, S., & Scott, A. (2005). Integrating knowledge for river basin management. *Australian Centre for International Agricultural Research*.
- Moeini, E., Najafi Sani, M., Mohammadi Khorasani, S. H., & Mofidi, S. (2017). Determination of Optimal Land Use and Biological Operations for Erosion and Sediment Reduction (Case Study: Saghezchi Watershed of Ardabil Province). *Journal of Soil and Water Resources Conservation* 7 (1): 61-73. (In Persian).
- Naderi, M., Eldermi, A., Noori, H., Aghabegi, S., & Zeinevand, H. (2017). Investigation of the Impact of Land Use and Climate Change on Watershed Runoff Using SWAT Model (Case Study: Greene Basin), *Geohydrology Journal*, 4(16): 61-79. (In Persian).
- Nazarnejad, H., Qahramannezhad, I., & Miryagubzadeh, M. H. (2017). Influence of Different Land Use Management Scenarios on Soil Erosion Using USLE Model in Kalibrachai Basin. *Journal of Water and Soil Conservation*, 7(2): 91-103. (In Persian).

- Shafie Motlaq, K.h., Porhemat, J., Sedghi, H., & Hosseini, M. (2018). Effects of land use change on maroon river runoff at Aidank station using remote sensing data and SWAT model. *Journal of Soil and Water Resources Conservation*, 7(3): 71-86. (In Persian).
- Shayesteh, K., & Abedian, S. (2019). Investigating the Long-Term Hydrologic Impacts of Land Use Change on Annual Runoff in the Ziyarat Basin. *Geographic Space*, 19 (66):43-61. (In Persian).
- Shiravand, S. (2015). Impact of Land Use Change on Surface Runoff and Groundwater Fluctuations (Case Study: Najaf Abad Plain). *M.Sc., Isfahan University of Technology, Faculty of Natural Resources*. (In Persian).
- Ziaei, D., Zare Bidaki, R., & Besalatpour, A. (2019). Comparative Study on the Role of Land Use in Surface Runoff and Sediment Yield Using SWAT Model (A Case Syudy: Beheshtabad Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3): 785-799. (In Persian).
- 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.