

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره سی و یکم، بهار ۱۳۹۷

تأیید نهایی: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۰۴

صص ۲۳-۴۲

اثر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی زاگرس مرکزی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی توپسرکان)

سارا کاظمی، دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد مرتع و آبخیزداری-دانشگاه ملایر

علیرضا ایلدرمی*، دانشیار ژئومورفولوژی-دانشگاه ملایر

حمید نوری، استادیار مرتع و آبخیزداری-دانشگاه ملایر

چکیده

تغییر کاربری اراضی در آبخیزداری یک از عوامل مؤثر هیدرولوژیکی در تغییر رواناب سطحی و روش‌های مدیریت منابع آب است. هدف از این تحقیق، بررسی تأثیر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی آبخیز توپسرکان همدان در زاگرس مرکزی در سه دوره‌ی زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ (دوره‌ی ۲۵ ساله) با استفاده از مدل‌سازی هیدرولوژیک رابطه‌ی بارش-رواناب (IHACRES) است. برای تهیه و بررسی نقشه‌ی کاربری اراضی از داده‌های رقومی سنجنده‌های TM و ETM+ و نرم‌افزار Arc Gis 9,3 و نیز برای محاسبه‌ی خشک‌سالی از شاخص SPI با مدل DIP و از دوره‌ی زمانی سالانه به‌عنوان یک سیکل متداول هیدرولوژیک استفاده شد. نتایج بررسی شاخص خشک‌سالی ۳ و ۱۲ ماهه در دوره‌ی ۲۵ ساله نشان داد که بیش‌تر سال‌ها در سه طبقه‌ی مرطوب ملایم، خشک‌سالی ملایم و بسیار شدید قرار می‌گیرد و دارای نوسانات شدید هیدرولوژی است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین تغییر کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی ۲۵ ساله در عرصه‌های منابع طبیعی به‌ویژه در مراتع، تحت تأثیر پدیده‌ی خشک‌سالی رخ داده و کاهش این عرصه همراه با نوسانات خشک‌سالی در طول زمان باعث افزایش حجم رواناب شده است. نتایج حاصل از واسنجی رواناب شبیه‌سازی در مدل بارش و رواناب، بیانگر کارایی قابل‌قبول مدل بوده و بررسی هیدروگراف حوضه در سه مقطع زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ (دوره‌ی ۲۵ ساله) نشان می‌دهد که رواناب در حوضه دارای روند افزایشی است که علت آن خشک‌سالی نه‌چندان محسوس، تغییر کاربری اراضی قابل‌توجه و افزایش بارندگی در برخی سال‌ها است؛ لذا پیشنهاد می‌شود به‌منظور مدیریت منابع آب و خاک، طرح جامع کنترل و جلوگیری از تغییر کاربری اراضی و آمایش سرزمین در حوضه‌ی آبخیز تهیه گردد.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، هیدروگراف، SPI، مدل بارش و رواناب.

۱- مقدمه

مفهوم کلی کاربری اراضی به نوع استفاده و تمام فعالیت‌های موجود در یک منطقه، ناحیه یا یک حوضه‌ی آبخیز در روی زمین و تخصیص اراضی به فعالیت‌های زراعی، مناطق مسکونی، جنگل، مرتع، معدن، تأسیسات صنعتی و همانند آن گفته می‌شود (چوبه، ۱۳۹۴: ۷). یکی از مهم‌ترین پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم، طی سال‌های اخیر افزایش وقوع خشک‌سالی، سیل و به‌ویژه تغییر کاربری اراضی ناشی از خشک‌سالی در ایران است (ایلدرمی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۱). در حال حاضر بررسی نوع و نحوه‌ی کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین موارد در مدیریت زمین است (شریفی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۹). کاربری اراضی یا الگوی نامناسب پوشش گیاهی می‌تواند باعث هدررفت شدید آب، خاک و مواد غذایی و تخریب اراضی شود (We et al., 2007; 247); لذا آگاهی از مقادیر کمی فرسایش خاک و رواناب ناشی از تغییر کاربری اراضی در برآورد دقیق آثار نامطلوب آن به برنامه‌ریزی‌های راهبردی جهت مدیریت پایدار اراضی کمک می‌کند (آذرخشی و همکاران، ۱۳۹۶: ۲۵). تعیین اثرات خشک‌سالی یا ترسالی در یک منطقه، یکی از نیازهای اساسی برنامه‌ریزی‌های محیطی و اقتصادی، برای مدیریت منابع آب است. یکی از مهم‌ترین تأثیرات دوره‌های خشک‌سالی یا ترسالی، تأثیر بر میزان بار معلق رودخانه‌ها و میزان دبی رسوب است که در مباحث مهندسی رودخانه و منابع آب دارای اهمیت خاصی است (Ghaffari et al., 2014; 49). تغییرات کاربری و پوشش اراضی که به دلیل بروز خشک‌سالی‌ها رخ داده، تأثیر مستقیمی بر رژیم هیدرولوژیکی حوضه دارد و با افزایش سطوح زمینه‌ای بایر می‌تواند بر کاهش دبی نقش مؤثری داشته باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۱).

۲- پیشینه‌ی پژوهش

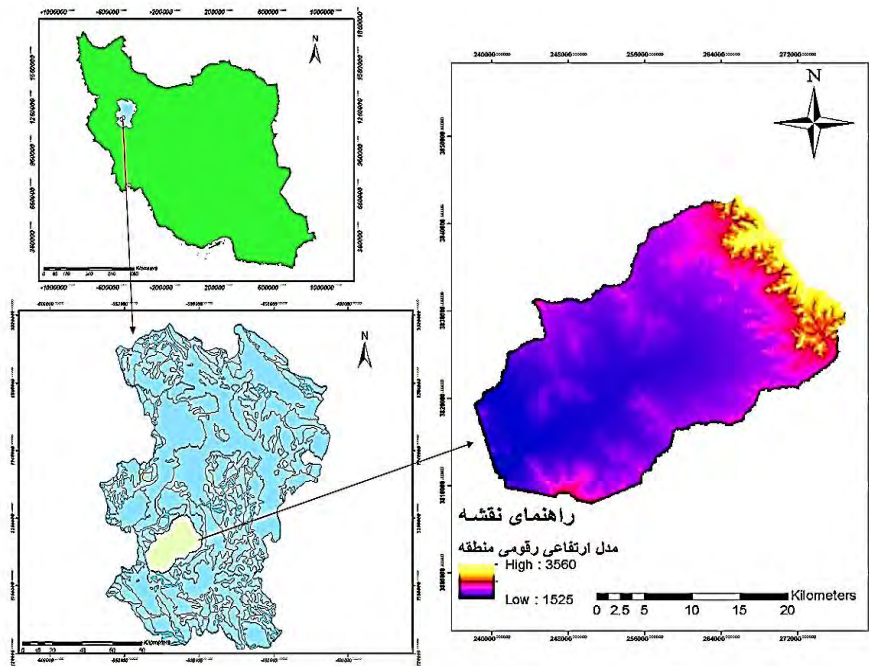
پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی کاربری اراضی و خشک‌سالی انجام شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: لوپز^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی چهار سناریو مدیریت کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش و رسوب با استفاده از مدل اصلاح‌شده مورگان-فینی در حوضه‌ی آبخیز استنکو آریبا^۲ در اسپانیا پرداختند. نتایج بیانگر تأثیر مثبت افزایش حفاظتی پوشش گیاهی و کشاورزی بر کاهش رواناب و رسوب بود. برانگر^۳ و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ی تأثیر کاربری اراضی را با استفاده از مدل‌سازی توزیع‌شده در یک حوضه‌ی آبخیز شهری واقع در لیون فرانسه بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌شده از طریق دورسنجی تطابق قابل‌قبولی وجود دارد. سانتوس^۴ و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل SWAT اثرات تغییر کاربری و تغییر اقلیم را روی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش خاک در حوضه‌ای با اقلیم مدیترانه‌ای بررسی کردند. آن‌ها همچنین از نتایج خود برای ارائه‌ی سناریوهایی در سال‌های ۲۰۷۱-۲۱۰۰ استفاده کردند. دگادو^۵ و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیرات بارش و کاربری اراضی در تولید رسوب در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی بلیساریو در آرژانتین نشان دادند که مناطق مختلف حوضه، پاسخ‌های متفاوتی در تولید رسوب دارند که ناشی از تأثیرات بارش و کاربری اراضی در تولید رسوب است. راوات کومار^۶ (۲۰۱۵) مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی در هند را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۹۰ انجام دادند. این محققان با پردازش تصاویر ماهواره‌ای بر کارآمدی تصاویر سنجش‌ازدور در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی تأکید می‌نمایند. ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به ارزیابی سناریوهای تغییر بهینه‌ی کاربری اراضی و تأثیر آن بر پارامترهای هیدرولوژیکی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز دینور) پرداختند. نتایج نشان داد که اصلاح تغییر کاربری

-
- 1- Lopez
 - 2- Estanque de Arriba
 - 3- Branger
 - 4- Santos
 - 5- Delgado
 - 6- Rawat komar

اراضی سبب کاهش رسوب معلق تولید شده به میزان ۵۲ درصد و رواناب به میزان حدود ۳۲ درصد شده است. ایلدرمی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی خشک‌سالی و تغییر اقلیم در دوره‌ی آبی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گرگان‌رود-قره‌سو-ایران) پرداختند. نتایج بیانگر کاهش بارندگی‌ها در فصل زمستان و کاهش ذخیره‌ی آب و تشدید خشک‌سالی در فصل زمستان است. پیرنیا و همکاران (۱۳۹۶) در ارزیابی کارکرد تغییرپذیری اقلیم و تغییر کاربری اراضی در رودخانه هراز (استان مازندران) به این نتیجه رسیدند که هر دو عامل اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی می‌توانند در کاهش کیفیت منابع آب تأثیرگذار باشند. فیضی‌زاده (۱۳۹۶) در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه‌ی سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS به این نتیجه رسیدند که تغییر کاربری اراضی، نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری منطقه‌ی مورد مطالعه در مقابل فرسایش خاک داشته است. آذرخشی و همکاران (۱۳۹۶) در بررسی اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز صنوبر- تربت حیدریه) به این نتیجه رسیدند که افزایش وقوع خشک‌سالی‌ها و در نتیجه‌ی کاهش آبدهی رودخانه و تبدیل اراضی زراعی به مرتع منجر به کاهش میزان رسوب معلق حوضه‌ی آبخیز صنوبر شده است. سلمانی و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز تیل‌آباد استان گلستان طی دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده پرداختند. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی رواناب ماهانه نسبت به رسوب، دقت بیشتری دارد و آثار تغییرات در سال ۲۰۴۰ نسبت به ۲۰۲۵ بیش‌تر شده است. بررسی تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های اقلیمی و هیدرومتری رودخانه‌های حوضه‌های آبخیز زاگرس نشان می‌دهد که کاهش بارش و افزایش تبخیر در سال‌های اخیر موجب تغییر کاربری اراضی و به‌طور قابل توجه موجب تغییرات ناگهانی و بی‌نظمی در دبی و بروز سیلاب شده است. لذا هدف از این پژوهش، بررسی تغییر کاربری اراضی متأثر از خشک‌سالی و تأثیر آن بر تغییر حجم رواناب با استفاده از مدل نیمه‌مفهومی مدل بارش و رواناب (مدل IHACRES) و شاخص خشک‌سالی SPI در حوضه‌ی آبخیز تویسرکان همدان از زیرحوضه‌های آبخیز سد کرخه در زاگرس مرکزی است. در این بررسی سعی شده سه موضوع اساسی خشک‌سالی، تغییر کاربری اراضی و رواناب در ارتباط با هم تحلیل و تأثیر هر یک از آن‌ها بر یکدیگر در سه بازه‌ی زمانی بررسی شود؛ لذا شناخت این اثرات و روابط بین آن‌ها در این زیرحوضه‌ی مهم کرخه ضروری به نظر می‌رسد.

۳- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبخیز تویسرکان در فاصله‌ی ۹۳ کیلومتری از شهر همدان با مختصات جغرافیایی، ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه طول جغرافیایی با وسعت ۸۰۵ کیلومترمربع یکی از زیر حوضه‌های علیای رودخانه کرخه محسوب می‌گردد که در جنوب کوه الوند واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه‌ی حوضه‌ی آبریز قله‌ی الوند با ۳۵۸۰ متر و پست‌ترین نقطه با ارتفاع کم‌تر از ۱۶۰۰ متر از سطح دریا در زاگرس مرکزی قرار گرفته است. از نظر تقسیمات زمین‌شناسی کشور، بخش کوچکی از زون سنندج-سیرجان محسوب می‌گردد که از سنگ‌های آذرینی شامل گرانیت، گرانودیوریت، سنگ‌های دگرگونی، هورنفلس، شیل، اسلیت و شیست و آهک‌های متبلور تشکیل شده است (شکل ۱). متوسط بارندگی سالانه‌ی ایستگاه باران‌سنجی در منطقه، ایستگاه سرابی در دوره‌ی آماری ۱۵ ساله، ۴۳۲ میلی‌متر و متوسط بارندگی دوره‌ی آماری ۱۳ ساله‌ی ایستگاه بابا پیرعلی ۴۲۸/۹ میلی‌متر است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان و ایران

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- داده‌های موردنیاز

در این تحقیق از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM^+ ماهواره Landsat مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۲، ۲۰۱۴ که در دسترس و منطبق بر سال‌های مربوط به داده‌های آماری ایستگاه‌های کليما تولوژی و هیدرومتری موجود از منطقه می‌باشد، انتخاب و استفاده شده است (جدول ۱). داده‌های اقلیمی نیز شامل آمار بلندمدت بارندگی، دما و دبی روزانه‌ی مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی و هیدرومتری در بازه‌ی زمانی ۱۳۷۰-۱۳۹۴ مستقر در منطقه‌ی مورد مطالعه است که جهت تعیین شاخص خشک‌سالی و بررسی رواناب استفاده گردیده است (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ردیف	شماره Landsat	سنجنده	تاریخ تصویر برداری		گذر/ردیف	فرمت
۱	۵	TM	۱۳۷۰	۱۹۹۰	۱۶۶/۳۶	TIFF
۲	۷	ETM^+	۱۳۸۱	۲۰۰۲		
۳	۷	ETM^+	۱۳۹۴	۲۰۱۴		

جدول ۲: مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در حوضه تویسرکان

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	X	Y	ارتفاع (متر)	طول	عرض
۱	نعمت آباد	هیدرومتری	۲۲۹۰۶۰	۳۸۶۱۹۱۴	۱۷۹۰	۴۸.۰۲.۱۰	۳۴.۵۱.۴۹
۲	بوجین	هیدرومتری	۲۲۹۷۳۷	۳۸۵۶۲۵۹	۱۶۱۱	۴۸.۰۲.۴۴	۳۴.۴۸.۴۶
۳	خسرو آباد	هیدرومتری	۲۲۹۲۹۶	۳۸۳۶۱۰۶	۱۵۵۵	۴۸.۰۲.۵۰	۳۴.۳۷.۵۲
۴	شهن آباد	هیدرومتری	۲۳۴۴۳۲	۳۸۳۲۵۶۸	۱۵۳۶	۴۸.۰۶.۱۸	۳۴.۳۶.۰۲
۵	آقاجانبلاغی	باران سنج معمولی	۲۳۰۶۷۴	۳۸۵۹۸۷۷	۱۸۰۲	۴۸.۳.۱۶	۳۴.۵۰.۴۴
۶	سرابی	باران سنج ثابت	۲۶۸۲۴۶	۳۸۲۳۷۸۱	۱۹۲۵	۴۸.۲۸.۳۰	۳۴.۳۱.۴۷

۳۴.۳۷.۴۰	۴۷.۲۰.۵۳	۱۹۱۷	۳۸۳۴۹۶۲	۲۵۶۸۷۷	باران سنج معمولی	بابا پیر علی	۷
۳۴.۲۷.۵۸	۴۸.۳۴.۱۰	۱۷۷۰	۳۸۱۶۵۱۷	۲۷۶۷۴۸	تبخیر سنجی	خیرآباد	۸
۳۴.۲۵.۲۵	۴۸.۱۱.۲۹	۱۵۷۲	۳۸۱۲۶۹۳	۲۴۱۸۹۷	هیدرومتری-۱	کارخانه	۹
۳۴.۴۵.۳۶	۴۸.۳۶.۱۱	۱۹۵۷	۳۸۴۹۰۳۵	۲۸۰۶۲۳	باران سنج ثبات	سد اکباتان	۱۰

۴-۲- نرم افزارها و مدل‌ها

- ENVI 4.8: جهت تصحیح، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای.
 Landsat_ETM_Gap_Fill: جهت اصلاح گپ موجود در تصاویر لندست هفت.
 Arc GIS 9.3: جهت محاسبه‌ی مساحت، تهیه‌ی نقشه‌های هم‌باران و نقشه‌ی نهایی کاربری اراضی.
 DIP: جهت محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی.
 IHACRES: جهت شبیه‌سازی رواناب.

۴-۳- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

جهت پردازش تصاویر در این بررسی از نرم‌افزار پردازش تصویر ENVI استفاده شده که توابع اصلی پردازش تصاویر، طبقه‌بندی، تصحیح هندسی به‌طور کامل در آن یافت می‌شود. در این مطالعه تصحیح، پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم‌افزار ENVI 4.8 و با استفاده از روش حداکثر احتمال^۷ انجام گرفته است. به‌علاوه محاسبات مربوط به مساحت، تهیه‌ی نقشه‌های هم‌باران و نقشه‌ی نهایی کاربری اراضی نیز با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 9.3 انجام شده است. طبقه‌بندی کاربری اراضی در منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس مشاهدات میدانی به کلاس‌های اراضی مسکونی، اراضی کشاورزی آبی و دیم، اراضی مرتعی و سایر اراضی دسته‌بندی شده و دقت و صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای نیز از طریق روش دقت کلی^۸ و ضریب کاپا^۹ بررسی گردید. دقت کلی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که با تمام کلاس‌ها به‌طور یکسان برخورد می‌کند. همچنین از دقت کلی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی و از رابطه‌ی (۱) استفاده شده است (نیک‌خو و همکاران، ۱۳۹۳: ۸).

$$O.A. = \frac{\sum_{i=1}^n E_{ii}}{N}$$

رابطه‌ی ۱

که در آن؛ n تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده، E_{ii} اعضای قطری ماتریس خطا و O. A. دقت کلی طبقه‌بندی است. برای محاسبه‌ی دقت تولیدکننده نیز از رابطه‌ی (۲) استفاده شده است (نیک‌خو و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۴).

$$P.A_i = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^r X_{ij}}$$

رابطه‌ی ۲

دقت کاربر، احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه‌ی واقعیت زمینی است که برای محاسبه‌ی آن از رابطه‌ی (۳) استفاده شده است:

$$U.A._j = \frac{X_{ii}}{\sum_{j=1}^r X_{ij}}$$

رابطه‌ی ۳

- 7- Maximum Likelihood (ML)
 8- Overall Accuracy
 9- Kapa Coefficient

غالباً در کارهای اجرایی که مقایسه‌ی دقت طبقه‌بندی‌ها مدنظر است، از ضریب کاپا استفاده می‌شود؛ زیرا ضریب کاپا پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی‌شده و مقادیر غیرقطری ماتریس خطا را مدنظر قرار می‌دهد. ضریب کاپا، اشتباه به‌وجود آمده از یک طبقه‌بندی را در مقایسه با اشتباه ناشی از یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی کاهش می‌دهد (Kaul, 2012: 146). کاپای معادل یک، به مفهوم توافق ۱۰۰٪ بین حاصل طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است. اگر $K < 0/4$ ، $K < 0/75$ و $0/4 < K < 0/75$ باشد، طبقه‌بندی به ترتیب ضعیف، نسبتاً خوب و خیلی خوب خواهد بود. البته بهترین طبقه‌بندی زمانی اتفاق می‌افتد که صحت کلی و ضریب کاپا هر دو بالا باشند. یکی از معروف‌ترین برآوردهای کاپا با استفاده از عناصر ماتریس خطا عبارت است از:

$$K = \frac{N \sum_K X_{KK} - \sum_K X_{K\Sigma} X_{\Sigma K}}{N^2 - \sum_K X_{K\Sigma} X_{\Sigma K}} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

که X_{KK} قطرهای ماتریس خطا، $X_{K\Sigma}$ تعداد پیکسل‌های واقعیت زمینی، $X_{\Sigma K}$ جمع پیکسل‌های طبقه‌بندی‌شده و N تعداد کلاس‌های واقعیت زمینی است.

۴-۴- روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال^{۱۰}

بعد از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی که در روند طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند، اقدام به ارزیابی صحت تصاویر طبقه‌بندی‌شده می‌گردد. برای این کار نمونه‌های تعلیمی هر کلاس به دو قسمت ۷۵٪ و ۲۵٪ تقسیم می‌شود. بدین‌صورت که ۷۵٪ پیکسل‌ها در طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفته و ارزیابی درستی طبقه‌بندی بر روی ۲۵٪ باقی‌مانده‌ی پیکسل‌ها انجام می‌شود. درواقع، کنار گذاشتن ۲۵٪ پیکسل‌های نمونه‌های تعلیمی و عدم استفاده از آن‌ها در طبقه‌بندی اولیه باعث مستقل کردن دو فرآیند طبقه‌بندی و ارزیابی درستی طبقه‌بندی می‌شود (ماهینی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۷). از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی از کاراترین روش‌ها محسوب می‌شود. در بسیاری از تحقیقات و مطالعات، این روش به‌عنوان دقیق‌ترین و پرکاربردترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است. روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال یک روش ساده مبتنی بر پیکسل است که اغلب برای کشف تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیک‌خو و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۱).

۴-۵- شاخص بارندگی استاندارد شده‌ی SPI

برای محاسبه‌ی خشک‌سالی از شاخص SPI با مدل DIP و از دوره‌ی زمانی سالانه به‌عنوان یک سیکل متداول هیدرولوژیک استفاده شده است. در این مجموعه می‌توان با کم‌ترین اطلاعات ممکن به پیش‌خشک‌سالی پرداخت. در تحقیق حاضر، آمار ماهانه بارندگی در یک بازه‌ی ۲۵ ساله بر اساس سال شمسی مرتب گردید. برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی از شاخص SPI سه‌ماهه و نیز به‌منظور بررسی خشک‌سالی‌های سالانه (هیدرولوژیکی) از شاخص SPI دوازده‌ماهه استفاده شد. برای محاسبه‌ی این شاخص از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌شود:

$$SPI_n = \frac{[P_0 + \sum(P_i) - \mu_n]}{\delta_n} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

که در آن n تعداد ماه‌هایی که بارندگی تجمعی برای آن‌ها حساب شده است، P_0 مقدار نرمال شده‌ی بارندگی ماه فعلی، P_i مقدار نرمال شده‌ی بارندگی ماه قبل، μ_n میانگین مقدار بارندگی تجمعی برای ماه n و δ_n انحراف معیار مقدار بارندگی برای همه‌ی ماه‌ها است (جدول ۳).

جدول ۳: نمایه SPI برای پایش خشک‌سالی

وضعیت آب و هوایی	نمایه SPI
شدیداً مرطوب	۲ و بیش‌تر
بسیار مرطوب	بین ۱/۵ تا ۱/۹۹
مرطوب متوسط	بین ۱ تا ۱/۴۹
رطوبت کم	بین ۰ تا ۰/۹۹
خشک‌سالی کم	بین ۰/۹۹- تا ۰/۹۹
خشک‌سالی متوسط	بین ۱- تا ۱/۴۹-
خشک‌سالی زیاد	بین ۱/۵- تا ۱/۹۹-
خشک‌سالی خیلی زیاد	۲- و کمتر

۴-۶- ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی و هیدرولوژیکی

شاخص SPI برای هر مقیاس زمانی قابل‌محاسبه است. SPI سه‌ماهه، مقایسه‌ی بارندگی دوره‌ی سه‌ماهه‌ی خاص را با بارندگی همان دوره‌ی سه‌ماهه برای همه‌ی سال‌هایی که اطلاعات برای آن‌ها ثبت شده است، فراهم می‌آورد. SPI سه‌ماهه، شرایط رطوبتی کوتاه‌مدت را منعکس می‌کند و برآورد فصلی از بارندگی را فراهم می‌آورد. SPI دوازده‌ماهه، مقایسه‌ی از بارندگی دوازده ماه متوالی را با بارندگی همان دوازده ماه در طی سال‌های گذشته که دارای آمار بارندگی است، انجام می‌دهد. SPI در این مقیاس زمانی، الگوهای بارندگی بلندمدت سالانه را منعکس می‌کند. در مطالعه‌ی حاضر برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی از شاخص SPI سه‌ماهه و نیز به‌منظور بررسی خشک‌سالی‌های سالانه (هیدرولوژیکی) از شاخص SPI دوازده‌ماهه استفاده شده است.

۴-۷- معرفی مدل DIP

یکی از ابزارهای محاسبه‌ی شاخص SPI، مدل DIP^{۱۱} است. در این مجموعه می‌توان با کم‌ترین اطلاعات ممکن به پایش خشک‌سالی پرداخت. در تحقیق حاضر آمار ماهانه‌ی بارندگی در یک بازه‌ی ۲۵ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۴) بر اساس سال شمسی مرتب شد و در مدل فراخوانی گردید. برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی از شاخص SPI سه‌ماهه و همچنین به‌منظور بررسی خشک‌سالی‌های سالانه (هیدرولوژیکی) از شاخص SPI دوازده‌ماهه استفاده شد.

۴-۸- معرفی مدل بارش و رواناب IHACRES

جهت شبیه‌سازی رواناب در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه، از مدل یکپارچه‌ی IHACRES استفاده شد. بر اساس رویکرد مفهومی مورد استفاده در مدل IHACRES، این مدل می‌تواند برای اهدافی مانند بررسی اثرات متغیرهای اقلیمی مانند تغییرات بارش، دما و نیز تغییرات ضریب رواناب مورد استفاده قرار گیرد (خیرفام و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۴). مدل IHACRES در بسیاری از موارد بهتر از مدل‌های توزیعی بوده است. کاربرد این مدل در هر دو دوره‌ی واسنجی و ارزیابی آسان است. همچنین داده‌های ورودی به‌آسانی قابل دسترس بوده و محاسبات کوتاهی لازم دارد. جهت شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES در تحقیق حاضر از آمار روزانه و بلندمدت ماهانه استفاده شده است.

۴-۹- تبدیل بارش به بارش مؤثر (بخش غیرخطی)

بارش مؤثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه‌ی زمانی طبق رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌شود.

$$u_k = [c (\Phi_k - l)]^p r_k$$

رابطه‌ی ۶

که در آن c ضریب تعادل حجم بارش، I آستانه شاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیرخطی و r_k بارش مشاهداتی است. Φ شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه‌ی ۷ محاسبه می‌گردد:

$$\Phi_k = r_k + \left(1 - \frac{1}{\tau_k}\right) \Phi_{k-1} \quad \text{رابطه‌ی ۷}$$

در این رابطه، پارامتر τ_k برابر شدت خشکی خاک و به‌عنوان تابعی از دما است که با استفاده از رابطه‌ی ۸ به دست می‌آید:

$$\tau_k = \tau_w \exp(f(T_{ref} - T_k) \times 0.062) \quad \text{رابطه‌ی ۸}$$

که در آن τ_k شدت خشکی خاک مینا، f تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، T_{ref} دمای مرجع و T_k دما در بازه‌ی زمانی موردنظر هستند. بعد از محاسبه‌ی بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می‌گردد.

۴-۱۰- تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی)

بخش خطی دارای سه پارامتر τ_s ، τ_q و V_s است. ترکیب دو مؤلفه‌ی جریان سریع X_k^q و جریان آهسته X_k^s منجر به تولید رواناب می‌شود که با استفاده از روابط ۹ تا ۱۱ محاسبه می‌گردد:

$$X_k = X_k^{(q)} + X_k^{(s)} \quad \text{رابطه‌ی ۹}$$

$$X_k^q = -\alpha_q x_{k-1}^{(q)} + \beta_q u_k \quad \text{رابطه‌ی ۱۰}$$

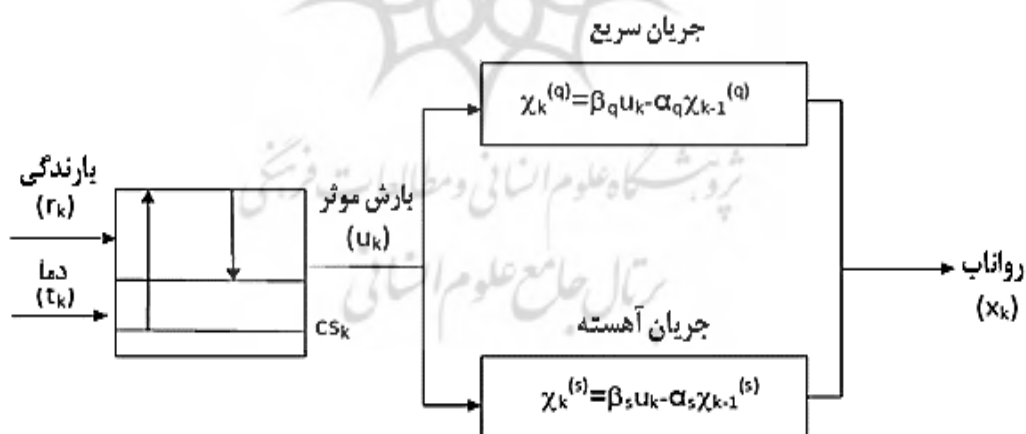
$$X_k^s = -\alpha_s x_{k-1}^{(s)} + \beta_s u_k \quad \text{رابطه‌ی ۱۱}$$

که در آن، α_q و β_q ثابت زمانی جریان سریع و α_s و β_s ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشند. این ضرایب با استفاده از روابط ۱۲ و ۱۳ محاسبه می‌شوند.

$$\tau_q = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_q)} \quad \text{رابطه‌ی ۱۲}$$

$$\tau_s = \frac{-\Delta}{\ln(-\alpha_s)} \quad \text{رابطه‌ی ۱۳}$$

به‌طور کلی ساختار مدل IHACRES به‌صورت زیر است:



شکل ۲: ساختار مدل IHACRES

۴-۱۱- واسنجی و اعتبار سنجی مدل بارش و رواناب

در این راستا، پس از کالیبراسیون و شبیه‌سازی رواناب برای کل دوره‌ی آماری موجود، از آنالیز انجام‌شده، خروجی گرفته و برای دوره‌ی پس از واسنجی از ضریب همبستگی استفاده شد. جهت شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES، بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله جهت واسنجی مدل انتخاب شد (دوستی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۷۷). در تحقیق حاضر بر اساس

تعداد داده‌ها، ۱۷۰ داده جهت واسنجی انتخاب شد. در واقع، دوره‌ی کالیبراسیون مدل از داده‌ی صفر تا ۱۷۰ و برای شروع شبیه‌سازی ۲۰ داده در نظر گرفته شد.

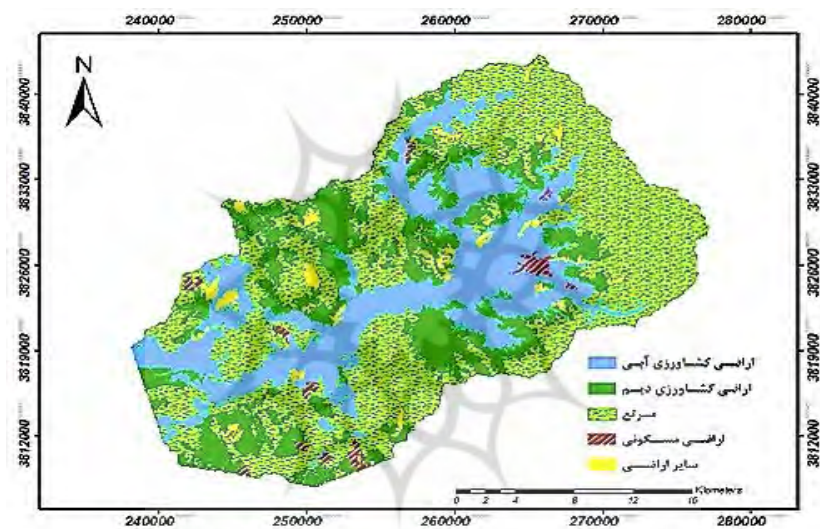
۱۲-۴- بررسی صحت سنجی مدل

پس از مرحله‌ی شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES، از داده‌های شبیه‌سازی شده برای کل بازه‌ی زمانی مورد مطالعه خروجی گرفته شد. در نرم‌افزار اکسل فراخوانی و به روش رگرسیون صحت‌سنجی شد. شاخص‌های ارزیابی در این بررسی شامل R^2 ، APRE، BIAS است.

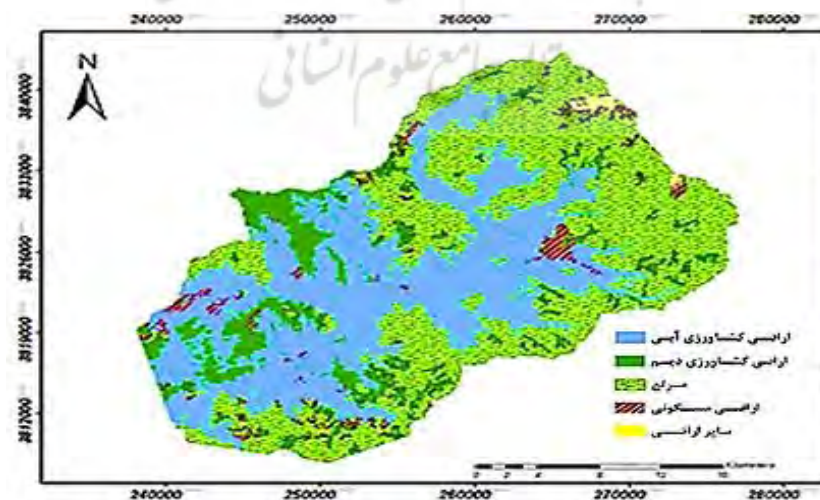
۵- بحث و نتایج

۵-۱- بررسی تغییر کاربری اراضی

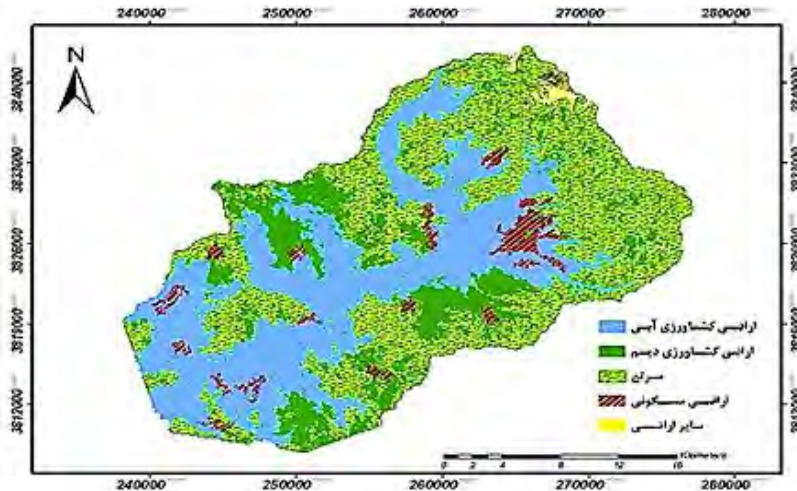
پس از استخراج کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای و بررسی صحت آن در بازه‌های زمانی مورد مطالعه، درصد مساحت هر کاربری محاسبه شد (اشکال ۳، ۴ و ۵).



شکل ۳: نقشه‌ی کاربری اراضی ۱۹۹۰



شکل ۴: نقشه‌ی کاربری اراضی ۲۰۰۲



شکل ۵: نقشه‌ی کاربری اراضی ۲۰۱۴

با توجه به مقادیر جدول (۴)، مقادیر صحت کلی و ضریب کاپا، روش حداکثر احتمال برای تمامی سال‌ها بالای ۷۰٪/ صحت کلی برای تمامی سال‌ها بالای ۸۵٪/ به دست آمده است که از نظر صحت این روش برای تمامی سال‌ها بسیار خوب ارزیابی شده است (نیک‌خو، ۱۳۹۳: ۷۰). با توجه به طبقه‌بندی میزان مقبولیت ضریب کاپا (جدول ۵)، مقبولیت ضریب کاپا برای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۴ عالی ارزیابی شده است (جدول ۴).

جدول ۴: شاخص کاپا و دقت کلی در طبقه‌بندی کاربری اراضی منطقه

تصویر و سال مورد مطالعه	شاخص کاپا	دقت کلی
TM ۱۹۹۰	۰/۹۴	۰/۹۶
ETM+ ۲۰۰۲	۰/۹۵	۰/۹۷
ETM+ ۲۰۱۴	۰/۹۳	۰/۹۵

جدول ۵: طبقه‌بندی میزان مقبولیت ضریب کاپا توسط

میزان مقبولیت	ضریب کاپا (٪)
ضعیف	کم‌تر از ۰
کم	۰-۲۰
متوسط	۲۱-۴۰
مناسب	۴۱-۶۰
قابل قبول	۶۱-۸۰
عالی	۸۱-۱۰۰

با توجه به جدول (۶) و اشکال (۳، ۴ و ۵) به‌طور کلی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ اراضی کشاورزی آبی به میزان ۸۷/۴۲ (معادل ۶۴/۰۵ کیلومترمربع) افزایش داشته که به دلیل استفاده از منابع آب زیرزمینی در بخش مرکزی دشت توپسرکان به سمت جنوب غربی شهرستان بوده است. به‌علاوه بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ اراضی کشاورزی دیم به میزان ۱/۸۶٪ (معادل ۵۱/۸۴ کیلومترمربع) کاهش داشته است. اصلاح روش‌های آبیاری، توسعه‌ی کشاورزی آبی، کاهش نزولات جوی و تبدیل به مراتع فقیر (به دلیل کاهش بازدهی) از مهم‌ترین دلایل آن بوده است. بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ اراضی مرتعی به میزان ۲/۰۸٪ (معادل ۱۵/۸ کیلومترمربع) کاهش یافته که علت این امر، کاهش کاربری اراضی

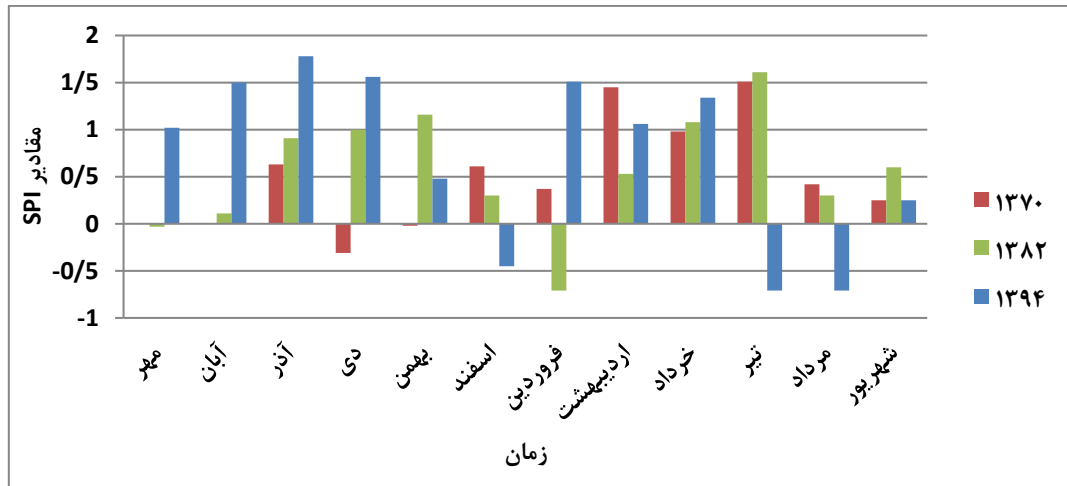
کشاورزی در این سال‌ها بوده است. با توجه به شکل‌های ۳ و ۴ افزایش جزئی اراضی مرتعی بیش‌تر در سمت شمال به دلیل کاهش کشاورزی در این سال‌ها بوده است (جدول ۶). بررسی‌ها نشان می‌دهد که طی بازه‌ی زمانی ۲۵ ساله، اراضی شهری به میزان ۲/۰۳٪ (معادل ۱۵/۳۹ کیلومترمربع) در جهت شمال و شمال شرق به دلیل افزایش ساخت‌وسازها و در جهت غرب و جنوب غربی با توسعه‌ی صنایع و راه‌سازی افزایش یافته است (شکل ۵). در این بررسی سایر کاربری‌ها شامل سنگ، خاک، کوه، آب و... است که در بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۴ به میزان ۱/۵۶٪ (معادل ۱۱/۸ کیلومترمربع) کاهش یافته است و دلیل آن توسعه‌ی مناطق مسکونی بوده است (اشکال ۳ تا ۵).

جدول ۶: مساحت تغییرات کاربری اراضی حوضه‌ی تویسرکان (۱۹۹۰-۲۰۱۴)

نام کاربری‌ها	مساحت ۱۹۹۰		مساحت ۲۰۰۲		مساحت ۲۰۱۴	
	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد	کیلومترمربع	درصد
کشاورزی آبی	۱۸۹/۸۷	۲۴/۹۶	۲۷۰/۸۲	۳۵/۶	۲۵۳/۹۲	۳۳/۳۸
کشاورزی دیم	۱۵۲/۱۱	۱۹/۹۹	۹۰/۰۶	۱۱/۸۴	۱۰۰/۲۷	۱۸/۱۳
مرتع	۳۹۳/۰۲	۵۱/۶۶	۳۷۵/۴۸	۴۹/۳۵	۳۷۷/۲۲	۴۹/۵۸
اراضی مسکونی	۷/۹۴	۱/۰۴	۱۹/۹۲	۲/۶۲	۲۳/۳۳	۳/۰۷
سایر کاربری‌ها	۱۷/۸۴	۲/۳۵	۴/۵	۰/۵۹	۶/۰۴	۰/۷۹
مجموع			۷۶۰/۷۹			

۵-۲- بررسی شاخص خشک‌سالی ۳ و ۱۲ ماهه

پس از استخراج طبقات خشک‌سالی در مدل DIP، جهت پایش دقیق خشک‌سالی بر اساس سال‌های آماری، مقادیر SPI و طبقات خشک‌سالی به تفکیک ۳ ماهه و ۱۲ ماهه موردبررسی قرار گرفت (جدول ۷ و شکل ۶). نتایج بررسی جدول (۷) نشان می‌دهد که خشک‌سالی کشاورزی در سال ۱۳۷۰ (۱۹۹۰ میلادی)، ملایم و سال زراعی از رطوبت ملایم برخوردار است. در این سال، فقط در ماه‌های دی و بهمن خشکی ملایم مشاهده می‌شود. خشک‌سالی کشاورزی در سال ۱۳۸۲ (۲۰۰۲ میلادی)، نسبتاً مرطوب و خشکی ملایم یک‌بار در مهرماه و یک‌بار در اردیبهشت‌ماه رخ داده و در ماه‌های دی، بهمن و خرداد نسبتاً با رطوبت ملایم و تیرماه بسیار مرطوب است. خشک‌سالی کشاورزی در سال ۱۳۹۴ (۲۰۱۴ میلادی)، خیلی مرطوب و خشکی ملایم در ماه‌های اسفند، تیر و مرداد، رطوبت ملایم در ماه بهمن و شهریور، در ماه مهر، اردیبهشت و خرداد نسبتاً مرطوب و در ماه‌های آبان، آذر، دی و فروردین خیلی مرطوب به علت افزایش بارندگی در این سال است. با توجه به نتایج جدول (۸) سال ۱۳۷۰، مرطوب ملایم و منطقه از نظر هیدرولوژی در سال زراعی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ از رطوبت کمی برخوردار بوده، ولی خشک‌سالی مشهود نیست. در سال ۱۳۸۲، نسبتاً مرطوب و سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۲-۱۳۸۳ مرطوب و خشک‌سالی وجود ندارد که علت اصلی آن افزایش بارندگی است. در سال ۱۳۹۴، ارزیابی شاخص خشک‌سالی مرطوب ملایم را نشان می‌دهد که علت اصلی آن احتمالاً افزایش ریزگردها و افزایش بارندگی است؛ به‌طوری‌که خشکی چندان مشهود نبوده و چهار ماه از سال زراعی بسیار مرطوب است (شکل ۷).



شکل ۶: نمودار شاخص خشک‌سالی ۳ ماهه‌ی حوضه‌ی تویسرکان

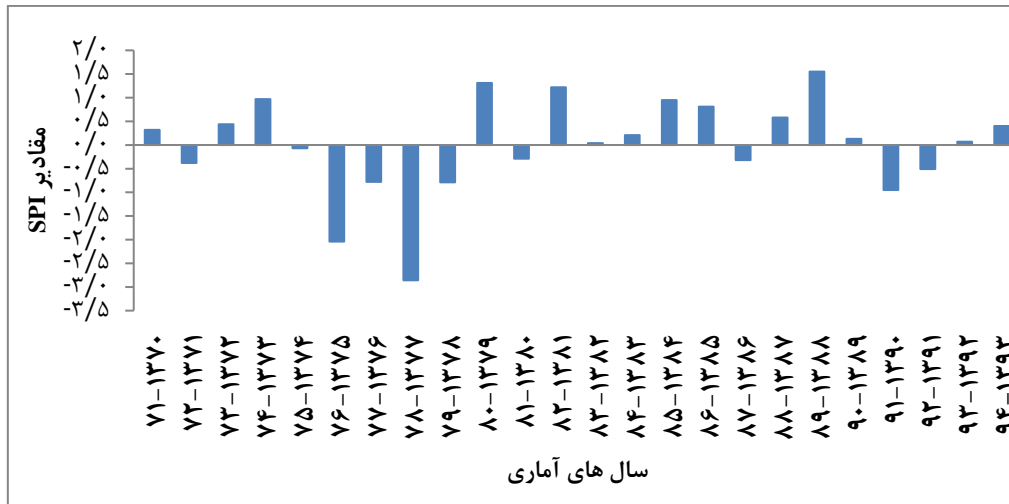
جدول ۷: طبقات خشک‌سالی ۳ ماهه (کشاورزی) در ۳ بازه‌ی زمانی مورد مطالعه‌ی حوضه‌ی تویسرکان

سال زراعی	ماه	شاخص SPI	طبقات خشک‌سالی
۱۳۷۰	آذر	۰/۶۳	مرطوب ملایم
	دی	-۰/۳۱	خشک‌سالی ملایم
	بهمن	-۰/۰۲	خشک‌سالی ملایم
	اسفند	۰/۶۱	مرطوب ملایم
	فروردین	۰/۳۷	مرطوب ملایم
	اردیبهشت	۱/۴۵	نسبتاً مرطوب
	خرداد	۰/۹۸	مرطوب ملایم
	تیر	۱/۵۱	خیلی مرطوب
	مرداد	۰/۴۲	مرطوب ملایم
	شهریور	۱/۲۵۰	مرطوب ملایم
	مهر	-۰/۰۳	خشک‌سالی ملایم
	آبان	۰/۱۱	مرطوب ملایم
۱۳۸۲	آذر	۰/۹۱	مرطوب ملایم
	دی	۱	نسبتاً مرطوب
	بهمن	۱/۱۶	نسبتاً مرطوب
	اسفند	۰/۳	مرطوب ملایم
	فروردین	-۰/۷۱	خشک‌سالی ملایم
	اردیبهشت	۰/۵۳	مرطوب ملایم
	خرداد	۱/۰۸	نسبتاً مرطوب
	تیر	۱/۶۱	خیلی مرطوب
	مرداد	۰/۳	مرطوب ملایم
	شهریور	۰/۶	مرطوب ملایم
	مهر	۱/۰۲	نسبتاً مرطوب
	آبان	۱/۵	خیلی مرطوب
آذر	۱/۷۸	خیلی مرطوب	

خیلی مرطوب	۱/۵۶	دی	۱۳۹۴
مرطوب ملایم	۰/۴۸	بهمن	
خشک‌سالی ملایم	-۰/۴۵	اسفند	
خیلی مرطوب	۱/۵۱	فروردین	
نسبتاً مرطوب	۱/۰۶	اردیبهشت	
نسبتاً مرطوب	۱/۳۴	خرداد	
خشک‌سالی ملایم	-۰/۷۱	تیر	
خشک‌سالی ملایم	-۰/۷۱	مرداد	
مرطوب ملایم	۰/۲۵	شهریور	

جدول ۸: طبقات خشک‌سالی (۱۲ ماهه) در حوضه‌ی تویسرکان

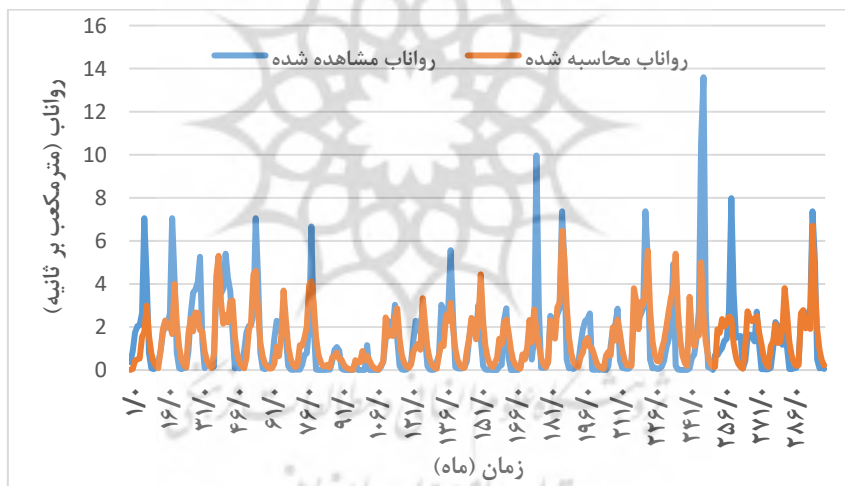
سال زراعی	شاخص SPI	طبقات خشک‌سالی
۱۳۷۰-۷۱	۰/۳۲	مرطوب ملایم
۱۳۷۱-۷۲	-۰/۳۸	خشک‌سالی ملایم
۱۳۷۲-۷۳	۰/۴۴	مرطوب ملایم
۱۳۷۳-۷۴	۰/۹۷	مرطوب ملایم
۱۳۷۴-۷۵	-۰/۰۷	خشک‌سالی ملایم
۱۳۷۵-۷۶	-۲/۰۴	خشک‌سالی بسیار شدید
۱۳۷۶-۷۷	-۰/۷۸	خشک‌سالی ملایم
۱۳۷۷-۷۸	-۲/۸۶	خشک‌سالی بسیار شدید
۱۳۷۸-۷۹	-۰/۷۹	خشک‌سالی ملایم
۱۳۷۹-۸۰	۱/۳۱	نسبتاً مرطوب
۱۳۸۰-۸۱	-۰/۲۹	خشک‌سالی ملایم
۱۳۸۱-۸۲	۱/۲۲	نسبتاً مرطوب
۱۳۸۲-۸۳	۰/۰۴	مرطوب ملایم
۱۳۸۳-۸۴	۰/۲۱	مرطوب ملایم
۱۳۸۴-۸۵	۰/۹۵	مرطوب ملایم
۱۳۸۵-۸۶	۰/۸۱	مرطوب ملایم
۱۳۸۶-۸۷	-۰/۳۲	خشک‌سالی ملایم
۱۳۸۷-۸۸	۰/۵۸	مرطوب ملایم
۱۳۸۸-۸۹	۱/۵۵	خیلی مرطوب
۱۳۸۹-۹۰	۰/۱۳	مرطوب ملایم
۱۳۹۰-۹۱	-۰/۹۵	خشک‌سالی ملایم
۱۳۹۱-۹۲	-۰/۵۱	خشک‌سالی ملایم
۱۳۹۲-۹۳	۰/۰۷	مرطوب ملایم
۱۳۹۳-۹۴	۰/۴	مرطوب ملایم



شکل ۷: نمودار شاخص خشک‌سالی سالانه در حوضه‌ی توپسرکان

۵-۳- شبیه‌سازی رواناب

جهت بررسی حجم و شبیه‌سازی رواناب منطقه از مدل بارش و رواناب و برای واسنجی بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله انتخاب شد (شکل ۸).



شکل ۸: نمودار رواناب شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در حوضه‌ی توپسرکان

۵-۴- بررسی واسنجی مدل

جهت شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES، بازه‌ی زمانی ۱۰ ساله جهت واسنجی مدل انتخاب شد (جدول ۹).

جدول ۹: نتایج آماره‌های مربوط به اعتبارسنجی مدل برای دبی روزانه و پارامترهای واسنجی‌شده در مدل بارش و رواناب

پارامتر	C	bs	as	τ_w	f
کالیبره	۰/۰۰۶۸	۰/۵۴۰	-۰/۴۶۰	۲۲	۱/۵

۵-۵- بررسی صحت سنجی مدل

پس از مرحله شبیه‌سازی رواناب در مدل IHACRES، از داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای کل بازه‌ی زمانی مورد مطالعه خروجی گرفته شد و به روش رگرسیون صحت‌سنجی شد (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: نتایج عملکرد مرحله‌ی واسنجی و ارزیابی مدل IHACRES

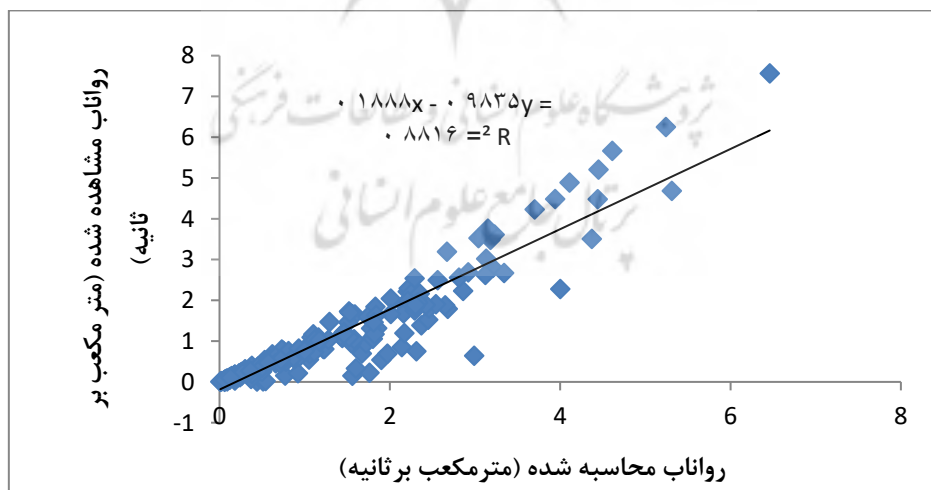
دوره	R ²	APRE	BIAS
واسنجی	۰/۸۰	۰/۰۰۸	۳/۴۱۲
صحت‌سنجی	۰/۸۸	۰/۰۲۹	۰/۴۱۶

R²: بیانگر ارتباط خطی بین داده‌های بزرگ‌مقیاس و کوچک‌مقیاس است که هرچه به یک نزدیک باشد نشان‌دهنده‌ی ارتباط قوی بین داده‌هاست که در این بررسی در دوره‌ی واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب برابر ۰/۸۰ و ۰/۸۸ است. APRE: (میانگین خطای نسبی) بیانگر میزان خطا در شبیه‌سازی است که در این تحقیق مقادیر قابل‌قبولی ارائه کرده است و میزان کم انحرافات مدل را نشان می‌دهد.

BIAS: (خطای کل در حجم جریان) بیانگر کم‌تر و یا بیش‌تر بودن متوسط دبی محاسباتی نسبت به دبی مشاهده شده است که مدل دبی کم‌تری نسبت به مشاهده شده را محاسبه نموده که شاید یکی از دلایل آن در نظر نگرفتن رواناب ناشی از ذوب برف در مدل است. نتایج مربوط به شاخص‌های آماری نشان می‌دهد که مقدار فاکتور P کم‌تر از دوره‌ی واسنجی بوده که نشان‌دهنده‌ی عدم قطعیت بیش‌تر مدل در این مرحله است. مقدار ضریب NS و R² در این مرحله بیش‌تر از مرحله‌ی واسنجی و مقدار فاکتور R نیز کم‌تر از یک بوده که شبیه‌سازی نسبتاً خوب دبی در این مرحله را بیان می‌کند. مقدار RMSE خطای مدل را نشان می‌دهد و پایین بودن مقادیر مربوط به این معیار نمایانگر کارایی بهتر مدل است (جدول ۱۱). پس از مرحله‌ی شبیه‌سازی رواناب در مدل بارش و رواناب، از داده‌های شبیه‌سازی شده برای کل بازه‌ی زمانی مورد مطالعه خروجی گرفته شد و به روش رگرسیون صحت‌سنجی شد (شکل ۹).

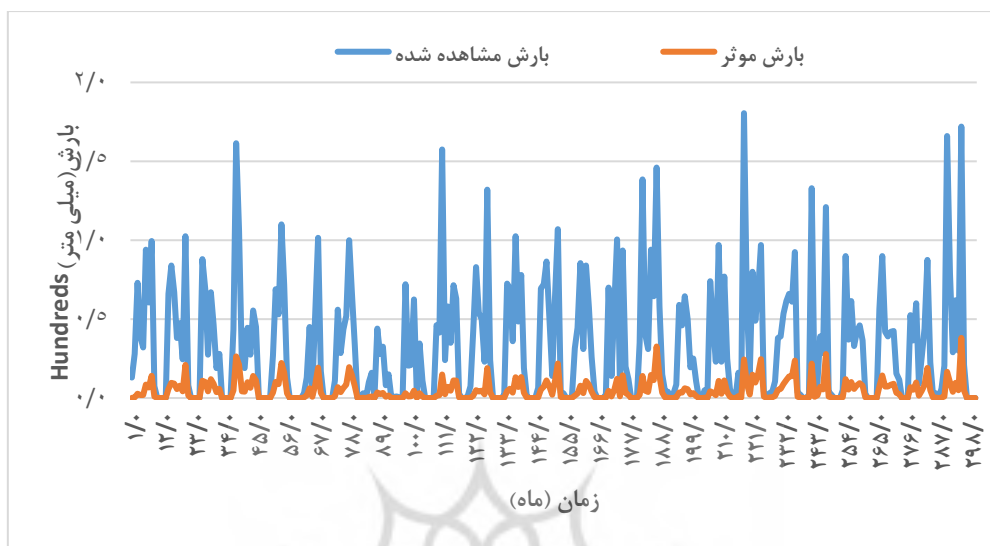
جدول ۱۱: نتایج آماره‌های مربوط به واسنجی مدل برای دبی روزانه

bR2	RMSE	P_factor	R-factor	R2	NS
۰/۵۱	۰/۱۶	۰/۳۹	۰/۰۴	۰/۶۴	۰/۶۶



شکل ۹: نمودار پراکندگی عملکرد مدل IHACRES (بارش و رواناب) در دوره‌ی صحت‌سنجی

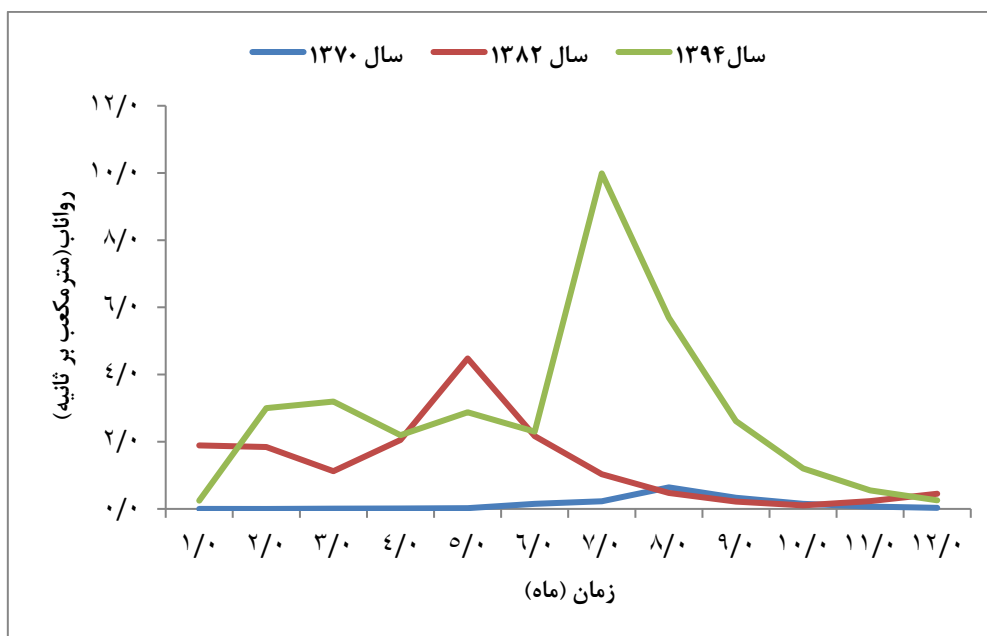
بررسی بارش مؤثر در مدل بارش و رواناب می‌تواند به کسب نتایج بهتر در ارزیابی میزان رواناب تولیدشده کمک کند. به همین جهت، بارش مؤثر در مقایسه با بارش مشاهده‌شده محاسبه شده است (شکل ۱۰). مقایسه‌ی اشکال (۹ و ۱۰) نشان می‌دهد که به‌کارگیری بارش مؤثر در شبیه‌سازی رواناب دارای دقت بیش‌تری نسبت به بارش است؛ از این‌رو، در مدل بارش و رواناب می‌تواند باعث افزایش دقت شبیه‌سازی رواناب شود.



شکل ۱۰: نمودار بارندگی شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده در حوضه‌ی تویسرکان

۷-۵- بررسی تغییرات رواناب

با توجه به شکل (۱۰) رواناب محاسبه‌شده در مدل بارش و رواناب، روند افزایشی در سه مقطع زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ را نشان می‌دهد که علت آن می‌تواند افزایش بارندگی و تغییر کاربری اراضی باشد. با توجه به نتایج جدول (۶) در رابطه با تغییرات کاربری اراضی و نتایج جدول ۷ در رابطه با تغییرات خشک‌سالی در بازه‌ی زمانی موردنظر مشخص است که کاربری اراضی دچار تغییرات محسوس به‌خصوص در عرصه‌های منابع طبیعی بوده است. این در صورتی است که از خشک‌سالی کاسته شده و در مقطع زمانی ۱۳۹۴ ترسالی رخ داده است. بررسی‌های حاصل از جدول (۶) و شکل‌های (۳، ۴ و ۵) نشان می‌دهد که کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی ۲۵ ساله دارای تغییرات مساحت در کلاس‌های موردنظر به‌ویژه در عرصه‌های منابع طبیعی بوده و رو به کاهش است و در حوضه‌ی مورد مطالعه بیش‌تر کاربری اراضی تحت تأثیر پدیده‌ی خشک‌سالی است؛ به‌طوری‌که در سال ۱۳۹۴ با بروز ترسالی تغییر کاربری اراضی باعث توسعه‌ی زمین‌های کشاورزی و اراضی مسکونی شده است؛ اما کاهش عرصه‌های منابع طبیعی افزایش رواناب را به دنبال داشته و با توجه به نتایج جدول (۶) در رابطه با تغییرات کاربری و نتایج بررسی شکل (۱۱) در خصوص تغییرات رواناب در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه مشخص شد که با کاهش عرصه‌های منابع طبیعی افزایش رواناب تغییر محسوس پیدا کرده است (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: نمودار رواناب محاسبه شده در سه بازه‌ی زمانی در حوضه‌ی تویسرکان

شکل (۱۱) و رواناب محاسبه شده در مدل IHACRES بیانگر روند افزایشی در سه مقطع زمانی در منطقه‌ی مورد مطالعه است که علت آن افزایش بارندگی به‌ویژه در سال ۱۳۹۴ است. بررسی آمار بارندگی و رواناب حوضه‌ی مورد بررسی نیز نشان می‌دهد که بارش با رواناب حاصل از آن در ارتباط بوده و این موضوع نشان می‌دهد که با تغییر کاربری اراضی، بروز دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی در میزان رواناب نوسان شدیدی رخ داده است.

۶- نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری اراضی و نوسانات پدیده‌ی خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی آبخیز تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که کاهش عرصه‌های طبیعی در نتیجه‌ی تغییر کاربری اراضی در طول زمان باعث افزایش حجم رواناب می‌شود. همچنین خشک‌سالی متأثر از تغییرات اقلیمی باعث کاهش حجم رواناب و با بروز ترسالی افزایش رواناب را به همراه دارد. در تحقیق حاضر برای ارزیابی خشک‌سالی از شاخص سالانه‌ی خشک‌سالی و داده‌های سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی استفاده شد تا تأثیر تغییر کاربری اراضی و خشک‌سالی بر رواناب حوضه‌ی آبخیز تویسرکان در زاگرس مرکزی معلوم گردد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که کاربری اراضی در بازه‌ی زمانی ۲۵ ساله‌ی مورد مطالعه، دارای تغییرات مساحت در کلاس‌های مشخصی است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که عرصه‌های منابع طبیعی در حوضه‌ی تویسرکان رو به کاهش بوده و بیش‌تر کاربری اراضی تحت تأثیر پدیده‌ی خشک‌سالی است. به‌علاوه حتی در سال ۱۳۹۴ با بروز ترسالی تغییر کاربری اراضی موجب کاهش عرصه‌های منابع طبیعی به‌ویژه تبدیل مراتع به دیم‌زارها شده و افزایش رواناب را به دنبال داشته است. نتایج حاصل با بررسی چوبه و همکاران (۱۳۹۴)، برانگر و همکاران (۲۰۱۳)، میلر و همکاران (۲۰۱۴)، ازدمیر^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۴) و شاه‌طهماسبی و همکاران (۲۰۱۴) که تغییر کاربری اراضی همراه با خشک‌سالی و بروز ترسالی و تأثیر آن را بر رواناب بررسی کرده‌اند، مشابه و قابل‌مقایسه با تحقیق حاضر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که خشک‌سالی یک پدیده‌ی اقلیمی است که تحت تأثیر بارش و دما قرار دارد و در حوضه‌ی تویسرکان روند مقطعی داشته و دارای نوسانات شدیدی است. به‌طور کلی از شدت خشک‌سالی در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه کاسته شده است که در همین راستا محققانی همچون: لوکاس و همکاران (۲۰۰۴)، شارما (۲۰۰۶) نیز در بررسی پایش و اثرات خشک‌سالی

به نتایج مشابه و قابل‌مقایسه با نتایج تحقیق حاضر دست یافته‌اند. با توجه به نتایج حاصل، سال ۱۳۷۰ مرطوب ملایم و از نظر هیدرولوژی سال زراعی ۱۳۷۰-۱۳۷۱ از رطوبت کمی برخوردار بوده که با این وجود از شدت خشک‌سالی کاسته شده است. در سال ۱۳۸۲ نسبتاً مرطوب و سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۲ و ۱۳۸۲-۱۳۸۳ مرطوب بوده و خشک‌سالی وجود ندارد که علت اصلی آن افزایش بارندگی است. در سال ۱۳۹۴ ارزیابی شاخص خشک‌سالی، مقدار شاخص مرطوب ملایم را نشان داده که علت اصلی آن احتمالاً افزایش ریزگردها و افزایش بارندگی است و خشکی چندان مشهود نبوده و چهار ماه از این سال زراعی بسیار مرطوب گزارش شده است. در بازه‌ی مورد مطالعه، رواناب با افزایش بارندگی افزایش یافته است و نشان می‌دهد که رواناب، تابع تغییرات بارش بوده و شدت خشک‌سالی بر آن اثر چندان محسوسی نداشته است. نتایج حاصل از مدل بارش و رواناب نشان می‌دهد که رواناب در بازه‌ی مورد مطالعه (۲۵ ساله) بیش‌تر تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی است و دارای روند افزایشی در سه مقطع زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۴ است؛ به طوری که تغییر کاربری اراضی موجب تغییر مقادیر CN و گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و به تبع آن باعث تغییر رفتار هیدرولوژیکی حوضه به شکل افزایش رواناب شده است. ادامه‌ی چنین روندی حتی ممکن است موجب بروز سیلاب‌ها در سال‌های آتی در حوضه شود که در همین راستا با نتایج بررسی‌های (خیرفام و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۱۴) و (دوستی و همکاران، ۱۳۹۳: ۲۷۷) که تغییر کاربری اراضی را روی رواناب مطالعه کردند، مشابه و قابل‌مقایسه با نتایج تحقیق حاضر است.

با توجه به نتایج تحقیق حاضر پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- بررسی تغییر کاربری اراضی با استفاده از سنجنده‌های دیگر و شاخص‌هایی نظیر NDSI، ضریب آلبیدو؛
- مقایسه‌ی نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ی لندست (با روش‌های فازی، شبکه‌ی عصبی مصنوعی و ماشین‌بردار پشتیبان) و با تصاویر ماهواره‌های دیگر همچون SPOT، IKONOS و IRS در سال‌های مختلف؛
- استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده مانند روش ISO Data و K-means و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده؛
- تهیه‌ی طرح جامع کنترل و جلوگیری از تغییر کاربری اراضی و آمایش سرزمین و اجرای طرح حفاظت و صیانت از اراضی ملی در حوضه‌ی آبخیز؛
- اجرای مدل‌های جدید مثل مدل WinTR-55 و مقایسه‌ی نتایج محاسبات با سایر مدل‌های مشابه دیگر که نقش تغییرات کاربری را در رابطه با رواناب بهتر تحلیل می‌نماید.

۷- منابع

- ۱- آذرخشی، مریم، مساعدی، ابوالفضل، بشیری، مهدی، اوجاقلو شهابی، رعنا (۱۳۹۶). اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز صنوبر-تربت حیدریه)، علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال یازدهم، شماره‌ی ۲۷، صص ۳۳-۲۵.
- ۲- ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، آقا بیگی امین، سهیلا، حقیقی، افسانه (۱۳۹۶). ارزیابی سناریوهای تغییر بهینه‌ی کاربری اراضی و تأثیر آن بر پارامترهای هیدرولوژیکی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز دینور)، سال ۷، شماره‌ی ۳، صص ۹۹-۸۶.
- ۳- ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، کرمی، مهناز (۱۳۹۶). ارزیابی خشک‌سالی و تغییر اقلیم در دوره‌ی آتی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گرگان‌رود-قره سو-ایران)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲۶، صص ۱۱۱-۱۲۴.
- ۴- پیرنیا، عبدالله، سلیمانی، کریم، حبیب‌نژاد روشن، محمد (۱۳۹۶). ارزیابی کارکرد تغییرپذیری اقلیم و تغییر کاربری اراضی در کیفیت آب رودخانه‌ی هراز (استان مازندران)، اکوهیدرولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۴، صص ۱۱۶۳-۱۱۵۱.
- ۵- چوبه، سپیده (۱۳۹۴). بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه‌ی آبخیز بالیقلو چای اردبیل، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه ملایر، ایران.
- ۶- خیرفام، حسین، مصطفی‌زاده، رؤف، صادقی، حمیدرضا (۱۳۹۳). تخمین دبی روزانه با استفاده از مدل بارش و رواناب در برخی از حوضه‌های آبخیز استان گلستان، پژوهش‌نامه‌ی مدیریت حوضه‌ی آبخیز سال ۴، شماره‌ی ۷، صص ۱۲۷-۱۱۴.

- ۷- دوستی، مریم، شاهدی، کاکا، حبیب‌نژاد، محمود، میریعقوب‌زاده، میرحسن (۱۳۹۳). استفاده از مدل نیمه‌مفهومی مدل بارش و رواناب در شبیه‌سازی جریان روزانه (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز تهر)، نشریه‌ی پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک جلد ۲۱، شماره‌ی ۲، صص ۲۹۲-۲۷۷.
- ۸- سلمانی، حسین، ماهینی، عبدالرسول، اونق، مجید، فتح‌آبادی، ابوالحسن (۱۳۹۷). ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبخیز تیل‌آباد استان گلستان طی دوره‌های آبی تحت تأثیر تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده، اکوهیدرولوژی، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۲، صص ۴۱۸-۳۹۹.
- ۹- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه‌ی سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و GIS، هیدرو ژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۱، صص ۳۸-۲۱.
- ۱۰- ماهینی، عبدالرسول، نادعلی، آزاده، فقهی، جهانگیر، ریاضی، برهان (۱۳۹۱). طبقه‌بندی مناطق جنگلی استان گلستان به روش حداکثر احتمال با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM+ سال ۲۰۰۱، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره‌ی ۱۴، شماره‌ی ۳، صص ۵۶-۴۷.
- ۱۱- نیک‌خو، نوا، ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید (۱۳۹۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش‌ازدور (مطالعه‌ی موردی: شهر ملایر)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد محیط زیست، دانشکده‌ی منابع طبیعی و محیط زیست، گروه محیط زیست، دانشگاه ملایر، ایران.
- 12- Branger, F., Kermadi, S., Jacqueminet, C., Michel, K., Labbas, M., Krause, P., Braud, I. (2013). Assessment of the influence of land use data on the water balance components of a peri-urban catchment using a distributed modelling approach. *Journal of Hydrology*, 505, pp 312-325.
- 13- Delgado, M. I. Gaspari, F. J. and Kruse, E. E. (2015). Land Use Changes and Sediment Yield on a Hilly Watershed in Central-East Argentina. *Soil & Water Res.* 10 (3): pp 189-197.
- 14- Ghaffari, G. and Mahdavi, M. (2014). Effect of wet and dry periods on the amount of specific sediment (Case Study: Kharkheh Watershed). *Iran-Watershed Management Science and Engineering*, 9(30): pp 49-54. (In Persian).
- 15- López-Vicente M., J.Poesen, A.Navas, L. Gasparb, B. Gaspar. (2011). Predicting runoff and sediment connectivity and soil erosion by water for different land use scenarios in the Spanish Pre-Pyrenees, *Catena*.pp 201-215.
- 16- Lukas, A and Vasiliades, L. (2004). Probilistic analysis of drought spatio-temporal characteristics in Thessaly region, Greece. *National Hazard and Earth System Sciences*, 4: pp719-731.
- 17- Miller, D.H. (1959). Transmission of insulations through pine forest canopy as it effects the melting of snow. *Mitteilungen der Schweizerischen Anstalt fur das forstliche Versuchswesen. Versuchsw.Mitt.* 35: pp 35-79.
- 18- Ozdemir, H. and E. Elbaşı. (2014). Benchmarking land use change impacts on direct runoff in ungauged urban watersheds. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*.
- 19- Rawat, J.D., Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India, *The Egeptyan Journal of Resmoet Senaing and space scinces*, 18: PP 77- 84.
- 20- Santos, J., Nunes, J., sampaio, E., Moreira, M., Lima, J., Jacinto, R., Corte-Real, J. (2014). Climate and Landuse Change Impacts on hydrological processes and soil erosion in a dry Mediterranean agro-forested catchment, southern Portugal. *Hydrology and earth system sciences discussions*. 16:pp 715-730
- 21- Shahtahmasebi, A., Pan, Y., Lin, L., Shortridge, A., Wang, K., Wu, J. X.,... Zhang, J. (2014). Implications of land use policy on impervious surface cover change in Cixi County, Zhejiang Province, China. *Cities*, 39,pp 21-36.
- 22- Sharifi, L., Kamel, S., Feizizadeh, B. (2015). Monitoring Bioenvironmental Impacts of Dam Construction on Land Use/Cover Changes in Sattarkhan Basin Using Multi-Temporal Satellite Imagery, *Iranica Journal of Energy and Environment*, 6 (1): PP 39-46.

- 23- Sharma, A .(2006). Spatial data mining for drought monitoring, An approach using temporal NDVI and relationship, Thesis Geo- Information Science and Earth Observation, India.
- 24- Wei W., L. Chen, B.Fu, Huang, Z., D. Wu, L.Gui. (2007). The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China, Journal of Hydrology. 335: pp 247– 258.

