

ارزیابی اثر تغییر کاربری بر میزان رواناب با استفاده از زنجیره مارکوف در حوضه آبخیز نهر اعظم شیراز

آرش مهدوی^{۱*}، سعید سلطانی کویانی^۱، رضا مدرس^۱ و مسعود سمیعی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۳/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۷/۱۵)

چکیده

تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل اصلی تغییر در میزان رواناب سطحی حوزه‌های آبخیز بوده که بررسی آن برای کاهش خسارات حاصل از سیل (جانی و مالی) و اعمال مدیریت صحیح در حوزه‌های آبخیز ضروری است. این در حالیست که حوضه آبخیز نهر اعظم در شمال کلان‌شهر شیراز واقع شده و در سال‌های قبل شاهد لطمات جانی و مالی فراوان به ساکنین شیراز در اثر سیل بوده‌ایم. پژوهش حاضر به منظور بررسی رابطه تغییر کاربری با میزان رواناب حوضه آبخیز نهر اعظم شهر شیراز با مساحت ۹۴۴۶۳ هکتار بوده که با استفاده از مدل SWAT در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۴ انجام شده است. مدل با استفاده از داده‌های سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ و واسنجی و از سال ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰ اعتبارسنجی شده و از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰ استفاده شد. این تصاویر بعد از انجام پیش‌پردازش‌های ضروری با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده به ۶ کاربری اصلی طبقه‌بندی شده و با استفاده از روش زنجیره مارکوف برای سال ۲۰۴۰ نقشه کاربری اراضی تهیه شد. سپس با مدل واسنجی شده، تأثیر تغییر کاربری سال ۲۰۰۳ و ۲۰۴۰ روی میزان رواناب شبیه‌سازی شده، ارزیابی شد. نتایج مرحله واسنجی حوضه آبخیز نهر اعظم برای مقادیر پارامترهای آماری برای ضریب تبیین، P-Facor و R-Facor به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۷۲، ۲/۴۳ و برای مرحله اعتبارسنجی این پارامترهای آماری به ترتیب ۰/۶۹، ۰/۶۵ و ۲/۳ به دست آمد. تحلیل نقشه کاربری نشان می‌دهد که بیشترین تغییر کاربری موجود در منطقه، مربوط به تبدیل مراتع به زمین کشاورزی آبی (۱۴۲ هکتار) و اراضی شهری (۴۸۵۴ هکتار) بوده که موجب کاهش مراتع می‌شود. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با به‌کارگیری نقشه‌های کاربری سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۴۰ نشان می‌دهد میزان رواناب به‌طور کلی ۳۳ درصد کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که اگر همه عدم قطعیت‌ها کمینه شود، مدل SWAT واسنجی شده به خوبی می‌تواند نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژی قابل‌قبولی در ارتباط با کاربری اراضی ایجاد کند که برای مدیران منابع طبیعی و آب و محیط‌زیست و سیاستمداران و مدیران شهری شیراز مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: رواناب، کاربری اراضی، تغییرات اقلیمی، زنجیره مارکوف، مدل SWAT، اعتبارسنجی، واسنجی

۱. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۲. اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان فارس، شیراز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Arshia.mah@gmail.com

مقدمه

شهر شیراز یکی از شش کلان‌شهر کشور بوده که جمعیت حدود دو میلیون نفر را در خود جای داده است. رودخانه خشک از وسط این شهر می‌گذرد و رواناب ورودی به این رودخانه، از خروجی حوزه آبخیز مورد مطالعه، تأمین می‌شود؛ بنابراین مدیریت، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی آبی رواناب رودخانه خشک این شهر، برای جلوگیری از آسیب‌های مالی و جانی احتمالی بسیار مهم است. تخریب جنگل، شهرسازی و سایر فعالیت‌های تغییر کاربری به‌طور معنی‌داری توزیع سالانه و فصلی جریان را تغییر داده است (۱۹) که تخریب سازه‌های شهری و در نتیجه خسارات مالی و جانی فراوان به همراه دارد. دانستن چگونگی اثرات تغییر کاربری بر تغییرات هیدرولوژی حوزه آبخیز به طراحان برای برنامه‌ریزی سیاست‌های اجرایی برای کمینه کردن اثرهای نامطلوب تغییر کاربری آبی کمک می‌کند. کاهش پوشش گیاهی، سبب کاهش میزان نفوذپذیری زمین، افزایش میزان رواناب و در نهایت باعث کاهش جریان پایه طی فصول خشک می‌شود. تغییر کاربری در فرایندهای رواناب شامل: نفوذپذیری خاک، فرسایش خاک و تبخیر و تعرق اثر محسوس می‌گذارد. اثر تغییرات کاربری بر ایجاد رواناب، موضوع مهمی در پژوهش‌های هیدرولوژیک است و اغلب با شبیه‌سازی مدل بارش، میزان رواناب ارزیابی می‌شود. با این حال مدل SWAT قادر به اجرای شبیه‌سازی‌هایی در حوضه‌های خیلی بزرگ، عملیات مدیریتی بدون صرف زمان زیاد و منابع محاسباتی زیاد است. مدل SWAT شامل شش مرحله است که عبارتند از: ۱- آماده‌سازی اطلاعات ۲- تقسیم زیرحوضه‌ها ۳- تعریف واحدکاری ۴- تحلیل حساسیت پارامتر ۵- واسنجی و اعتبارسنجی ۶- تحلیل عدم قطعیت (۷). تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در سیکل هیدرولوژیک حوضه شده و در نتیجه باعث تغییر تعادل آب بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری و پاسخ رواناب می‌شوند. درک رابطه بین

تغییرات کاربری اراضی و عوامل به‌وجود آورنده آن و اثرهای حاصل شده آن بر رژیم هیدرولوژیک، اطلاعات ضروری را برای برنامه‌ریزی استفاده از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم می‌کند (۲۲). علیمحمدی سراب و همکاران (۳) تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی زمین در حومه جنوب غربی تهران را با استفاده از مدل سلول‌های خودکار را شبیه‌سازی کرده و کارایی این مدل را برای شرایط منطقه مورد مطالعه، مناسب ارزیابی کرده‌اند. عزیزی قلاتی و همکاران (۶) نقشه کاربری اراضی منطقه کوهمره سرخی استان فارس برای چشم انداز ۱۴۰۳ را با مدل CA-Markov پیش‌بینی کردند. نتایج مدل‌سازی رضایت‌بخش بود و بیشترین تغییر در مساحت جنگل گزارش شد. مروری بر ۹۴ حوضه آبخیز آزمایشی مرتبط با اثر تغییرات پوشش گیاهی بر بار آبی سالانه توسط بوش و هولت (۷) نشان داد، قطع جنگل به طول معمول، بار آبی را افزایش و احیاء جنگل‌ها، بار آبی را کاهش داده است و موجب افزایش تبخیر و تعرق واقعی می‌شود. چانگ و چانگ (۹) برای بررسی پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییرات منطقه جیوجیو از مدل کاربری CA-Markov و داده‌های ماهواره اسپات در زمان‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ استفاده کرده‌اند که نتایج آن گویای قابلیت زیاد مدل در پیش‌بینی روند تغییرات پوشش گیاهی است. ژان و همکاران (۲۸) اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری را برای تغییرات رواناب در حوضه وی در چین مورد بررسی قرار دادند. دوره مورد مطالعه به دو زیردوره (۱۹۵۸-۱۹۸۹ و ۲۰۰۸-۱۹۹۰) با آزمون من‌کنندال تقسیم شد. نتایج نشان داد، ۴۰-۳۷ درصد کاهش رواناب متأثر از اقلیم است، درحالی‌که فعالیت‌های انسانی موجب ۶۳-۶۰ درصد تغییر رواناب شده است. آنا‌با و همکاران (۴) مدل SWAT را برای ارزیابی اثرهای تغییر کاربری در حوضه خلیج مارجیسون در اوگاندا به کار بردند. نتایج این مطالعه نشان داد، رواناب و متوسط بار رسوب برآوردی حوضه آبخیز، در اثر تغییر کاربری،

اعتبارسنجی مدل، میزان دبی ورودی حوضه آبخیز نهر اعظم شبیه‌سازی شد (شکل ۲ و ۳).

تهیه نقشه کاربری اراضی

در این پژوهش اقدام به طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴) و ۸ (۲۰۱۴ به بعد) شد. در مرحله اول، ابتدا با استفاده از تصاویر رنگی کاذب به‌ویژه ترکیب (۲۳، ۶ و ۲۴) در محیط نرم‌افزار ENVI و بررسی هیستوگرام باندهای طیفی و بر اساس تفاوت خصوصیات نظیر رنگ، تن، بافت، شکل و اندازه در تصویر، کلاس‌های مدنظر مشخص و تعریف شدند. سپس با شناخت کلی تصاویر و با استفاده از الگوریتم‌های مختلف، پردازش تصویر هر یک از کلاس‌ها در مراحل جداگانه و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال از یکدیگر تفکیک شدند. سپس میزان صحت نقشه‌های تهیه شده با اطلاعات واقعیت زمینی و تحلیل ماتریس خطا ارزیابی شد. در نهایت، ۶ کلاس کاربری (شامل: اراضی بایر، زراعی دیم، زراعی آبی، جنگل، مرتع و مسکونی) برای منطقه مورد مطالعه تفکیک شد (شکل ۴).

مدل سلول‌های خودکار

سلول‌های خودکار (اتوماتای سلولی) مدل‌های دینامیک گسسته‌ای هستند که در شبیه‌سازی گسترده وسیعی از فرایندهای طبیعی و انسانی کاربرد دارند. مفاهیم سلول‌های خودکار بر پایه تئوری پیچیدگی بنا نهاده شده است و در آن، چندین مؤلفه ساده برای ایجاد الگوهای پیچیده با هم همکاری می‌کنند. در مدل سلول‌های خودکار، فضا به صورت یک شبکه تعریف می‌شود که به هر خانه آن یک سلول گفته می‌شود. هر سلول یک اتوماتون با حالت‌های محدود است و می‌تواند $k > 1$ مقدار مختلف به خود بگیرد. سلول‌های اتوماتای سلولی، در زمان‌های گسسته به‌طور همزمان و برطبق یک قانون محلی به‌نگام می‌شوند. مقدار هر سلول بر اساس مقادیر سلول‌های همسایه و خود آن سلول تعیین می‌شود.

افزایش یافته است. اگرچه دانشمندان تشخیص داده‌اند، تغییر در کاربری و پوشش گیاهی طبیعی زمین، فاکتورهای مهم اثرگذار بر چرخش آب و تغییرات زمانی و مکانی توزیع منابع آب هستند؛ اما رابطه بین تغییر کاربری و رواناب کمتر شناخته شده است (۲۷). هدف از انجام مطالعه حاضر، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی آبی با استفاده از زنجیره مارکوف و برآورد میزان رواناب حوضه آبخیز نهر اعظم با استفاده از مدل SWAT است.

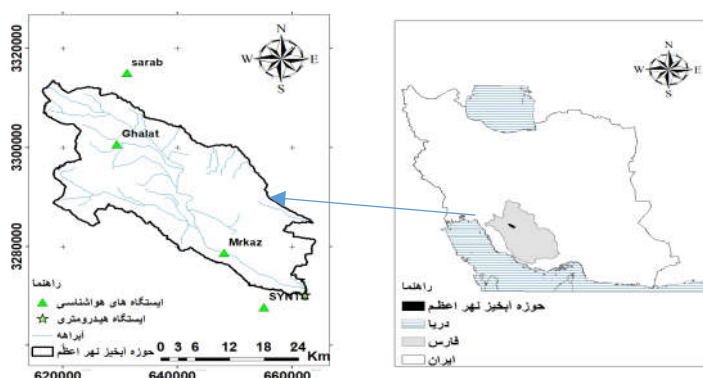
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه در قسمت شمالی شهر شیراز به نام نهر اعظم به مساحت ۹۴۴۶۳ هکتار، حداقل ارتفاع ۱۶۴۷ و حداکثر ارتفاع ۳۱۲۶ متر، ارتفاع متوسط ۲۳۶۳ متر و مختصات خروجی حوضه (UTM) با عرض جغرافیایی ۳۲۸۶۳۷۳ و طول جغرافیایی ۶۲۲۴۷۳، در بلوک ۳۹ واقع است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان فارس نشان می‌دهد.

روش انجام مطالعه

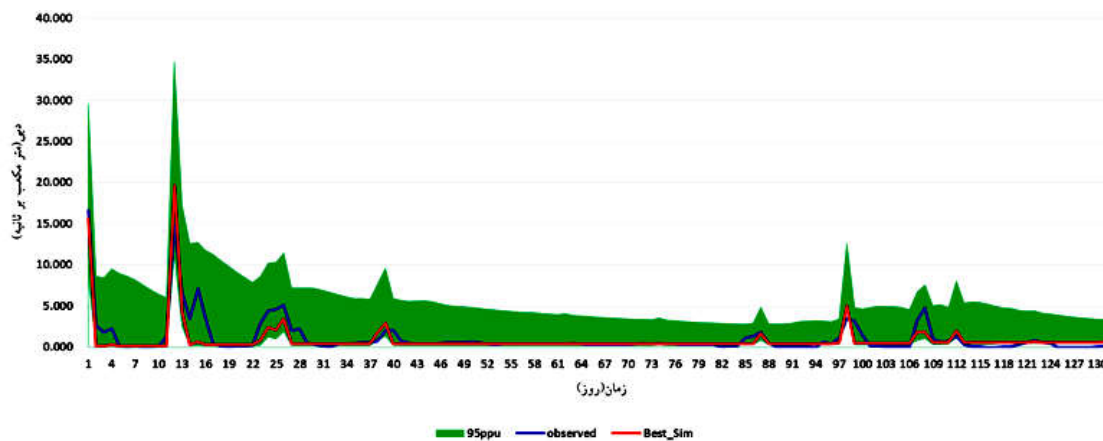
در این پژوهش، ابتدا نسبت به جمع‌آوری اطلاعات از جمله داده‌های اقلیمی روزانه شامل: بارش، دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و تشعشع خورشیدی، حجم رواناب، داده‌های دبی و نیز نقشه‌های: مرز حوضه، رقوم ارتفاعی، خاک‌شناسی، آبراهه‌ها، کاربری اراضی، CN و همچنین تصاویر ماهواره‌ای لندست در حوضه آبخیز نهر اعظم اقدام شد. جدول ۱ داده‌های ورودی به مدل SWAT و منبع تهیه آمار و نقشه‌های مربوط به آن را نشان می‌دهد. در این مطالعه، برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در حوضه آبخیز نهر اعظم، داده‌های سال ۲۰۰۳ به دوره گرم‌کردن (Warm Up) مدل اختصاص یافت. دوره گرم‌کردن مدل، به مدل اجازه اجرای کامل چرخه هیدرولوژیک را می‌دهد. دوره زمانی ۲۰۰۴-۲۰۱۴ برای واسنجی و ۲۰۱۵-۲۰۲۰ برای اعتبارسنجی مدل SWAT در نظر گرفته شد و پس از



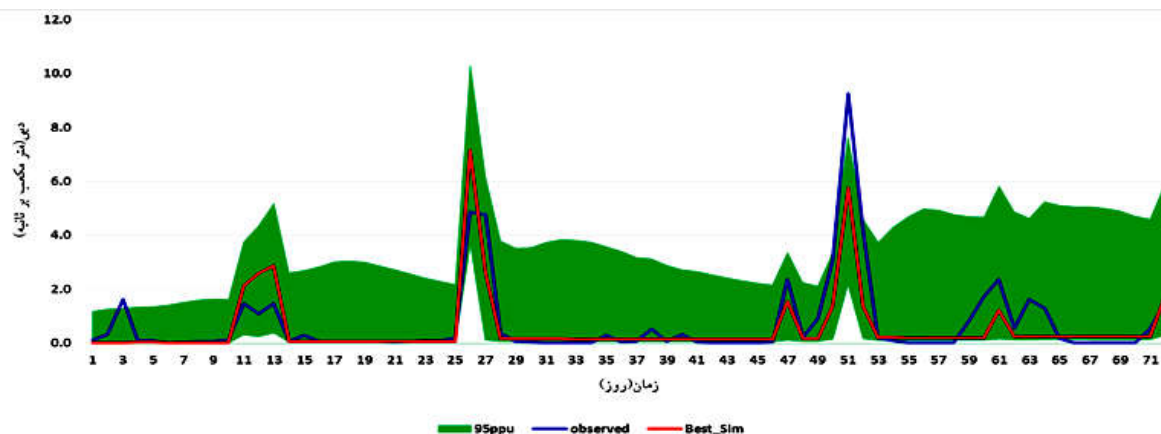
شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز نهر اعظم در ایران - استان فارس

جدول ۱. مشخصات داده‌های ورودی به مدل SWAT

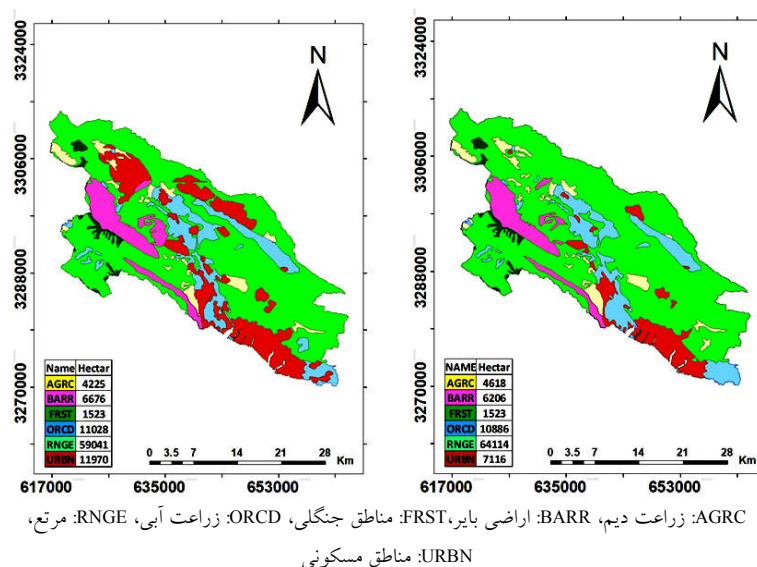
داده	نوع داده	منبع	سال	دقت
نقشه DEM	رستری	سازمان نقشه‌برداری کشور	۲۰۲۰	۱۰m
نقشه کاربری اراضی	رستری	تصاویر ماهواره‌ای لندست	۲۰۲۰ و ۲۰۰۳	۱۰m
نقشه خاک	رستری	سازمان خوار و بار جهانی (FAO)	۲۰۲۰	۱۰km*۱۰km
داده باران‌سنجی	نقطه‌ای	آب منطقه‌ای فارس	۲۰۲۰-۲۰۰۳	روزانه
داده دماسنجی	نقطه‌ای	آب منطقه‌ای فارس	۲۰۲۰-۲۰۰۳	روزانه
داده آب‌سنجی	نقطه‌ای	آب منطقه‌ای فارس	۲۰۲۰-۲۰۰۳	روزانه
داده سینوپتیک	نقطه‌ای	سازمان هواشناسی	۲۰۲۰-۲۰۰۳	روزانه



شکل ۲: نتایج حاصل از اجرای مدل در دوره کالیبراسیون (۲۰۰۴-۲۰۱۴)



شکل ۳: نتایج حاصل از اجرای مدل در دوره اعتبارسنجی (۲۰۱۵-۲۰۲۰)



شکل ۴: کاربری اراضی در حوضه آبخیز نهر اعظم در سال ۲۰۰۳ (راست) و ۲۰۲۰ (چپ)

نتایج

واسنجی، اعتبارسنجی، تحلیل حساسیت و تحلیل عدم قطعیت

در این مطالعه به منظور واسنجی مدل از ۲۱ پارامتر اصلی مؤثر بر رواناب استفاده شد (جدول ۲). بعد از انتخاب پارامترها، تحلیل حساسیت مدل با استفاده از داده‌های دبی جریان متوسط ماهانه اندازه‌گیری شده در ایستگاه آب‌سنجی نهر اعظم بین سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۱۴ صورت گرفت. الگوریتم SUFI2 در ۶ تکرار با تعداد ۵۰۰ دفعه شبیه‌سازی در هر تکرار اجرا شد. مقدار t بیانگر حساسیت (هرچه مقدار آن بزرگتر، میزان حساسیت بیشتر) و مقدار p بیانگر

معنی‌داری (هر چه مقدار آن کوچک‌تر، میزان معنی‌داری بیشتر) را نشان می‌دهد. در این پژوهش، ۱۹ پارامتر بکار رفته به ترتیب حساسیت در جدول ۲ به همراه مقادیر واسنجی شده آن آورده شده است. در این مطالعه حساس‌ترین پارامتر، ضریب عکس‌العمل جریان آب زیرزمینی (ALPHA_BF) است. پاسخ جریان پایه به تغییرات ذخیره آکیفر سطحی توسط ثابت بازگشت (ALFA-BF) بیان می‌شود (۱۲). فاکتور آلفای جریان پایه به‌طور قوی بر شرایط جریان پایه اثر می‌گذارد (۱۷). لی و همکاران (۱۵) هم این پارامتر را حساس‌ترین پارامتر خواند و عباس و همکاران (۱) نیز بیان کردند که در میان پارامترهای آب زیرزمینی حساس‌ترین پارامتر برای همه

جدول ۲. ترتیب حساسیت پارامترهای مؤثر بر جریان و مقادیر پیش فرض و بهینه در حوضه آبخیز نهر اعظم

مقدار بهینه	t-Stat	P-Value	حداکثر	حداقل	توضیح	پارامتر	ردیف
۰/۰۰۱	-۳۸/۶۹	۰	۱	۰	ضریب عکس العمل جریان آب زیرزمینی	V__ALPHA_BF.gw	۱
-۰/۲۴	۸/۲۵	۰	۰/۳۰	-۰/۳۰	ظرفیت آب قابل دسترس خاک (میلی متر در میلی متر)	R__SOL_AWC(..).sol	۲
۹/۹۲	-۶/۱۹	۰	۱۰۰	۰	عمق آب آستانه در آبخوان کم عمق برای نفوذ به آبخوان عمیق (میلی متر)	V__REVAPMN.gw	۳
-۰/۱۲	-۵/۱۵	۰	۰/۵۰	-۰/۵۰	شماره منحنی برای شرایط رطوبتی	R__CN2.mgt	۴
۳/۱۹	۲/۹۶	۰	۱۰	۰	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان نرمال در روش ماسکینگام	V__MSK_CO1.bsn	۵
۱۰۷/۸۵	-۲/۵۴	۰/۰۱	۴۵۰	۳۰	زمان تأخیر تغذیه آب زیرزمینی (روز)	V__GW_DELAY.gw	۶
۰/۰۶	-۲/۴۵	۰/۰۱	۱	۰	درصد تغذیه آبخوان عمیق	V__RCHRG_DP.gw	۷
۰/۱۶	-۲/۳۱	۰/۰۲	۱	۰/۰۱	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	V__ESCO.hru	۸
۳۸/۵	۲/۱	۰/۰۴	۱۳۰	۵	هدایت هیدرولیکی در آبراهه اصلی (میلی متر بر ساعت)	V__CH_K2.rte	۹
۸۶/۶۹	۱/۹۳	۰/۰۵	۱۵۰	۱۰	متوسط طول شیب (متر)	V__SLSUBBSN.hru	۱۰
۱۶/۸۸	-۱/۵۲	۰/۱۳	۲۴	۱	ضریب تأخیر رواناب سطحی (ساعت)	V__SURLAG.bsn	۱۱
۵/۴۷	-۱/۴۳	۰/۱۵	۱۰	۰	ضریب واسنجی زمان ذخیره برای جریان کم در روش ماسکینگام	V__MSK_CO2.bsn	۱۲
۰/۰۸	۱/۲۶	۰/۲۱	۰/۳	۰	ضریب مانینگ برای جریان در آبراهه اصلی	V__CH_N2.rte	۱۳
۰/۰۲	-۱/۰۲	۰/۳۱	۰/۵	-۰/۵	آلبدوی خاک مرطوب	R__SOL_ALB(..).sol	۱۴
۶۸/۰۹	-۰/۹۲	۰/۳۶	۱۰۰۰	۰	عمق اولیه آب در آبخوان آزاد (متر)	V__SHALLST.gw	۱۵
۰/۰۹	-۰/۶۶	۰/۵۱	۰/۲	۰	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	V__GW_REVAP.gw	۱۶
۰/۰۳	۰/۵۷	۰/۵۷	۰/۳	-۰/۳	چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)	R__SOL_BD(..).sol	۱۷
۰/۱	-۰/۲۹	۰/۷۷	۲	۰	حداقل مقدار جریان در آبخوان برای جریان پایه	V__GWQMN.gw	۱۸
۰/۶۱	-۰/۲۷	۰/۷۹	۱	۰/۰۱	فاکتور جبران جذب گیاهی	V__EPCO.hru	۱۹
۰/۰۷	-۰/۱۲	۰/۹۱	۰/۸	-۰/۸	هدایت هیدرولیکی خاک (میلی متر بر ساعت)	R__SOL_K(..).sol	۲۰
۰/۴۸	۰/۰۴	۰/۹۷	۰/۸	۰	ضریب مانینگ برای جریان در آبراهه اصلی	V__OV_N.hru	۲۱

علائم R و V، به ترتیب به معنای ضرب کردن مقادیر موجود پارامتر در مقدار به دست آمده (+) و جایگزین کردن مقادیر موجود با مقدار به دست آمده

حجم رواناب می‌شود و به نوبه خود باعث تلفات بیشتر آب از طریق رواناب، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و کاهش آب پایه رودخانه‌ها می‌شود (۲۴).

با اجرای تابع هدف ضریب کارایی ناش - شاتکلیف، ۷۲ درصد از داده‌های مشاهداتی در محدوده عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرد و درعین حال پهنای نسبی این محدوده (نسبت به انحراف معیار داده‌ها) ۲/۴۳ است که نشان‌دهنده تعادل تقریبی بین دو عامل P-Factor و R-Factor است. الگوریتم SUFI2 ابتدا برای پارامترهای مدل حدود بزرگی را در نظر می‌گیرد تا تمام مقادیر دیده شده درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند، سپس محدوده مربوط به پارامترها را به نحوی تغییر می‌دهد که بیشتر مقادیر دیده شده بین باندهای عدم قطعیت قرار گیرند و همچنین متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین، مقدار کوچکی باشد. اگر چنانچه مقادیر دیده شده با دقت بالایی برداشت شوند، قرارگرفتن ۸۰ درصد از مقادیر دیده شده بین باندهای عدم قطعیت و چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده از دقت پایین برخوردار باشد، قرارگرفتن ۵۰ درصد از مقادیر دیده شده درون باندهای عدم قطعیت کفایت می‌کند (۲). نتایج نشان می‌دهد که جریان شبیه‌سازی شده در این مطالعه تا حد انتظار و قابل قبول با جریان مشاهده‌ای همخوانی دارد. از آنجاکه نمودار دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده داخل باند ۹۵ درصد عدم قطعیت قرار گرفته‌اند، نتایج خروجی مدل با خطای قابل قبولی به دست آمده است. مقادیر P-Factor و R-Factor در دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر با ۰/۷۲ و ۲/۴۳ به دست آمد که نتایج خروجی مدل با خطای قابل قبول است و قرارگرفتن ۷۲ درصد از مقادیر دیده شده درون باندهای عدم قطعیت کفایت می‌کند. ضریب کارایی بیانگر اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است و مقادیر نزدیک به یک آن بهینه است. در این مطالعه ضریب کارایی در دوره کالیبراسیون برابر ۰/۷۵ بود که نشان می‌دهد، مدل کارایی خیلی خوبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه داشته است. ضریب تبیین پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و مقادیر نزدیک به یک این معیار، حاکی از نتایج بسیار

آبخیزها (ALPHA_BF) بود. دومین پارامتر حساس، ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC) بوده که باتوجه‌به مشخصه رطوبت خاک یا آب در دسترس گیاه است که نقش مهمی در میزان تبخیر دارد که خود مرتبط با جریان رواناب است (۸). افزایش مقدار ظرفیت آب قابل دسترس خاک منجر به کاهش برآورد جریان پایه و رواناب سطحی و در نتیجه آبدهی کل خواهد شد (۲۳). با افزایش مقدار این پارامتر، گیاه می‌تواند مقدار بیشتری آب را از توده خاک جذب کند که در نتیجه آن، مقدار تبخیر و تعرق افزایش و مقدار آب در توده خاک کاهش می‌یابد؛ بنابراین مقدار آب نفوذ یافته به لایه‌های پایینی کاهش یافته که در نتیجه آن مقدار آب زیرزمینی نیز کم می‌شود. تأثیر این پارامتر بر جریان جانبی را به این شکل می‌توان تفسیر کرد که با افزایش مقدار پارامتر و افزایش تبخیر و تعرق، مقدار آب در لایه زیر قشری کاهش می‌یابد. پارامتر SOL_AWC در همه بخش‌های بیلان آب مهم بوده و بنابراین در مرحله واسنجی نیز حائز اهمیت است (۲۰).

سومین پارامتر حساس، عمق آب آستانه (میلی‌متر) است که در آبخوان کم‌عمق برای نفوذ به آبخوان عمیق (RevapMN) است. RevapMN معرف عمق آب در آبخیز سطحی برای بازگشت جریان به منطقه ریشه رخ می‌دهد و به‌ویژه در نواحی با سطح ایستابی بالا یا با محصولات با ریشه عمیق مهم است (۲۱). این پارامتر مقادیر مختلفی در آبخیز دارد (۱۱). برای افزایش جریان پایه، افزایش عمق آب آستانه در آکifer سطحی (RevapMN) صورت گرفت (۵).

چهارمین پارامتر حساس، شماره منحنی برای شرایط رطوبتی (CN2) است. حساسیت بالای CN2 می‌تواند به این دلیل باشد که این پارامتر اولین پارامتری است که بر مقدار رواناب حاصل از واحدهای اراضی اثر می‌گذارد (۲۶). حساسیت بالای این عامل در حوضه مدنظر نشان‌دهنده نقش مهم کاربری و خاک در مقدار رواناب خروجی از حوضه است. به‌طور کلی افزایش مقدار شماره منحنی باعث افزایش

۲۰۲۰، مساحت‌های استخراج شده از نقشه‌های مربوط به پوشش‌های اراضی در دوره‌های زمانی مذکور با هم مقایسه شد و افزایش و کاهش عددی آن‌ها برحسب هکتار با یکدیگر مقایسه شد (جدول ۳).

بر اساس نتایج حاصل در جدول ۴، بیشترین درصد تغییرات افزایشی مربوط به کاربری اراضی مسکونی با ۴۸۵۴ هکتار و نیز کاربری اراضی بایر با ۴۷۰ هکتار و سپس اراضی آبی به میزان ۱۴۲ هکتار بوده است. در میان تغییرات کاهشی نیز بیشترین کاهش مساحتی مربوط به اراضی مرتعی با ۵۰۷۳ هکتار (۵/۳۷ درصد کل حوضه) و سپس اراضی دیم با ۳۹۳ هکتار (۰/۴۱ درصد) است. با این نتایج چنین استنباط می‌شود که افزایش سطح اراضی مسکونی به میزان ۴۸۵۴ هکتار و اراضی بایر به میزان ۴۷۰ هکتار و اراضی آبی به میزان ۱۴۲ هکتار از کاهش سطح اراضی مرتعی و اراضی دیم بوده است (جدول ۵).

پیش‌بینی نقشه پوشش اراضی در سال ۲۰۴۰ با

استفاده از CA-Markov

بررسی مدل زنجیره‌ای مارکوف در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ ماتریس احتمال انتقال و ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی و پوشش زمین در حوضه مورد مطالعه با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف برای دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب در جداول ۶ و ۷ بیان شده است. لازم به ذکر است که احتمال انتقال کاربری‌ها در بازه ۰ تا ۱ ارائه شده است و بدون واحد است.

اجرای مدل سلول خودکار و پیش‌بینی کاربری اراضی

سال ۲۰۴۰

شبیه‌سازی نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۴۰ با استفاده از مدل سلول خودکار و بر اساس نتایج حاصل از زنجیره مارکوف در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ میلادی انجام شد و در شکل ۵ نمایش داده شده است. همچنین روند تغییرات پوشش اراضی در فاصله زمانی ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۰ در حوضه آبخیز نهر اعظم در جدول ۷ با هم مقایسه شده‌اند.

خوب در شبیه‌سازی است. ضریب تبیین ۰/۷۷ در این مطالعه بیانگر کارایی قابل قبول مدل در شبیه‌سازی میزان رواناب است. همچنین مقدار PBIAS نیز در دوره واسنجی برابر با ۱۸/۳ درصد بود که تأییدکننده شاخص‌های قبلی هستند. مدل به‌طور کمی جریان را به میزان حدود ۱۸/۳ درصد طی دوره واسنجی، کمتر برآورد می‌کند. مطابق با مطالعات موریاس و همکاران (۱۸)، مقدار PBIAS بزرگتر از صفر شاخصی از کم برآورد جریان توسط مدل است. ضریب تبیین، ضریب کارایی و مقدار PBIAS در دوره اعتبارسنجی در این مطالعه برابر ۰/۶۸، ۰/۶۹ و ۲۳/۶ درصد بود. تفاوت در مقدار ضریب تبیین و ضریب کارایی می‌تواند به دلیل تغییراتی چون تغییر کاربری اراضی و تغییر شرایط آب‌وهوایی (ترسالی یا خشکسالی) در دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی باشد. به‌طور کلی مقادیر همه شاخص‌های ارزیابی بیانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه نهر اعظم است. از این رو قابلیت مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در این منطقه تأیید می‌شود.

تهیه نقشه پوشش اراضی و روند تغییرات در

سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰

بیشترین وسعت پوشش اراضی در سال ۲۰۰۳ در حوضه مورد مطالعه مربوط به اراضی مرتعی با مساحت ۶۴۱۱۴ هکتار (۶۷/۸۷ درصد از کل حوضه) بوده است. اراضی جنگلی نیز با ۱۵۲۳ هکتار (۱/۶۱ درصد از کل حوضه)، کمترین وسعت از حوضه در این سال را به خود اختصاص می‌دهد. از سوی دیگر، بیشترین وسعت پوشش اراضی در سال ۲۰۲۰ نیز مربوط به اراضی مرتعی با مساحت ۵۹۰۴۱ هکتار (۶۲/۵ درصد از کل حوضه) است. اراضی جنگلی نیز با ۱۵۲۱ هکتار (۱/۶۱ درصد) کمترین وسعت را در حوضه مورد مطالعه در این سال دارا است. با آنکه میزان عددی افزایش یا کاهش میزان مساحت نوع پوشش اراضی در دو دوره زمانی می‌تواند ملاکی برای مقایسه روند تغییرات سرزمین باشد؛ ولی استفاده از شاخص‌های درصدی افزایش و کاهش نتایج، مقایسه‌ای بهتر در پی خواهد داشت. به‌منظور بررسی روند تغییرات پوشش اراضی حوضه آبخیز نهر اعظم در فاصله سال‌های ۲۰۰۳ تا

جدول ۳. مشخصه های آماری ارزیابی صحت نقشه های تهیه شده

سال و سنجنده	طبقه پوشش	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	خطای تداخل	خطای حذف	صحت کلی	ضریب کاپا
لندست ۷ ۲۰۰۳	اراضی دیم	۰/۸۸	۰/۸۴	۰/۱۲	۰/۱۶	.۸۴	۰/۷۹
	اراضی بایر	۰/۸۳	۰/۸۸	۰/۱۷	۰/۱۲		
	اراضی جنگل	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۱۳		
	زراعت آبی	۰/۸۸	۰/۸۵	۰/۱۲	۰/۱۵		
	اراضی مرتع	۰/۸۷	۰/۸۲	۰/۱۳	۰/۱۸		
	اراضی مسکونی	۰/۹۱	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۱۱		
لندست ۸ ۲۰۲۰	اراضی دیم	۰/۸۹	۰/۸۴	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۹۵	۰/۸۹
	اراضی بایر	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۱۵	۰/۱۳		
	اراضی جنگل	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۱۲	۰/۱۱		
	زراعت آبی	۰/۸۷	۰/۸۶	۰/۱۳	۰/۱۴		
	اراضی مرتع	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۱۳	۰/۱۵		
	اراضی مسکونی	۰/۹۳	۰/۹۰	۰/۰۷	۰/۱۰		

جدول ۴: طبقات پوشش اراضی مربوط به سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰ در حوضه آبخیز نهر اعظم

طبقه کاربری	۲۰۰۳		۲۰۲۰	
	مساحت به هکتار	مساحت به درصد	مساحت به هکتار	مساحت به درصد
اراضی دیم	۴۶۱۸	۴/۸۹	۴۲۲۵	۴/۴۷
اراضی بایر	۶۲۰۶	۶/۵۷	۶۶۷۶	۷/۰۷
اراضی جنگل	۱۵۲۳	۱/۶۱	۱۵۲۳	۱/۶۱
زراعت آبی	۱۰۸۸۶	۱۱/۵۳	۱۱۰۲۸	۱۱/۶۸
اراضی مرتع	۶۴۱۱۴	۶۷/۸۷	۵۹۰۴۱	۶۲/۵۰
اراضی مسکونی	۷۱۱۶	۷/۵۳	۱۱۹۷۰	۱۲/۶۷
جمع	۹۴۴۶۳	۱۰۰	۹۴۴۶۳	۱۰۰

جدول ۵: بررسی روند تغییرات پوشش اراضی در فاصله زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۰ در حوضه آبخیز نهر اعظم

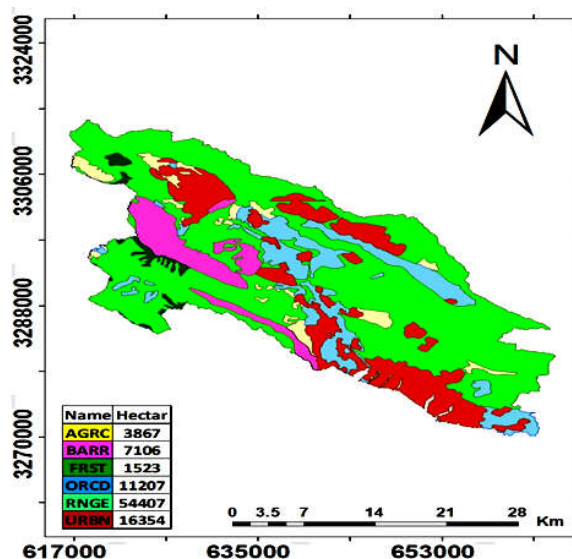
نوع تغییرات	درصد تغییرات	میزان تغییرات (هکتار)	طبقه کاربری
کاهشی	(۸/۵)	(۳۹۳)	اراضی دیم
افزایشی	۷/۶	۴۷۰	اراضی بایر
ثابت	۰/۰	۰/۰	اراضی جنگل
افزایشی	۱/۳	۱۴۲	زراعت آبی
کاهشی	(۷/۹)	(۵۰۷۳)	اراضی مرتع
افزایشی	۶۸/۲	۴۸۵۴	اراضی مسکونی

جدول ۶: ماتریس احتمال انتقال کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۳ میلادی

اراضی دیم	اراضی بایر	جنگل	زراعت آبی	مرتع	مسکونی
۰/۸۸۹	۰	۰	۰/۰۳۵	۰	۰/۰۷۷
۰	۰/۹۹۷	۰	۰	۰	۰/۰۰۳
۰	۰	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰/۸۹۶	۰/۰۰۹	۰/۰۹۶
۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰	۰/۰۱۴	۰/۹۱۹	۰/۰۵۸
۰	۰	۰	۰/۰۲۸	۰/۰۰۷	۰/۹۶۵

جدول ۷: ماتریس مساحت انتقال کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۳ میلادی (به هکتار)

اراضی دیم	اراضی بایر	جنگل	زراعت آبی	مرتع	مسکونی
۴۱۰۴/۷۹	۰	۰	۰	۱۲۱/۴	۰
۰	۶۱۸۷/۷۹	۰	۰	۴۸۸/۱۱	۰
۰	۰	۱۵۲۲/۸۴	۰	۰	۰
۱۶۰/۹۲	۰	۰	۹۷۴۹/۷۴	۹۱۷/۱۷	۲۰۱/۲
۰	۰	۰	۹۵/۵۳	۵۸۸۹/۱۲	۵۱/۱۸
۳۵۳/۹۱	۱۸/۵	۰	۱۰۴۱/۴۳	۳۶۹۳/۴۷	۶۸۶۳/۳۳



AGRC: زراعت دیم، BARR: اراضی بایر، FRST: مناطق جنگلی،

ORCD: زراعت آبی، RNGE: مرتع، URBN: مناطق مسکونی

شکل ۵. کاربری اراضی پیش‌بینی شده در سال ۲۰۴۰ با استفاده از زنجیره مارکوف و سلول خودکار

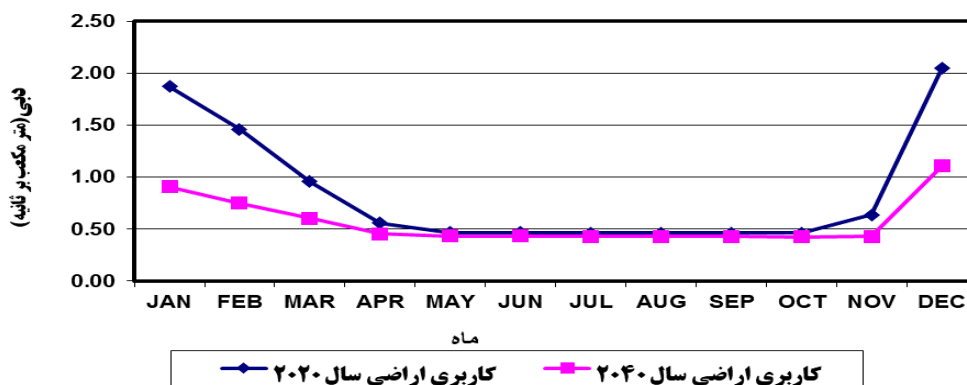
بحث و نتیجه‌گیری

اگرچه تغییرات در کاربری و پوشش زمین فاکتورهای مهم اثرگذار بر چرخش آب و تغییرات زمانی و مکانی توزیع منابع آب است، ولی رابطه بین خصوصیات کاربری و رواناب کمتر شناخته شده است (۲۷). با توجه به نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مشخص گردید مدل، شبیه‌سازی مناسبی از دبی جریان در این حوضه ارائه نموده است و مقادیر همه شاخص‌های ارزیابی، بیانگر دقت قابل قبول مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه نهر اعظم می‌باشد. از این رو قابلیت مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در این منطقه تأیید می‌شود و مدل واسنجی شده به خوبی می‌تواند نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژی قابل قبول در ارتباط با کاربری ایجاد کند. همچنین این مدل در محدوده پارامترهای واسنجی شده، برای تخمین رواناب ناشی از تغییرات به وجود آمده در کاربری اراضی حوضه نهر اعظم طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۴ استفاده شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی، به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوضه آبخیز نهر اعظم در مقطع زمانی سال ۲۰۰۳ و ۲۰۴۰ که کاربری آن پیش‌بینی شده است، با ثابت در نظر گرفتن

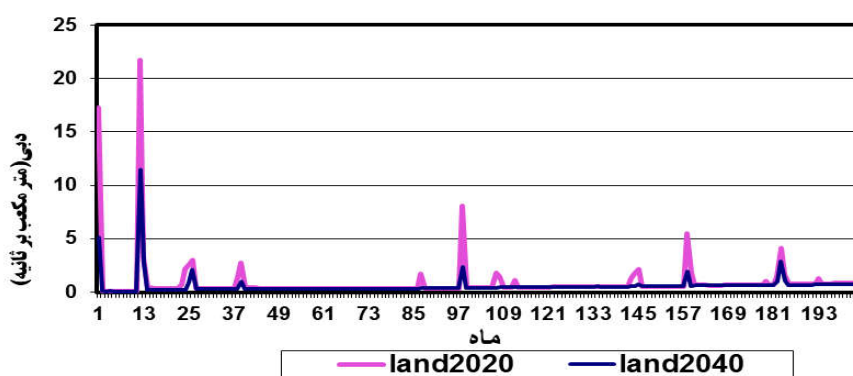
شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر میزان رواناب در

دوره آبی در حوضه آبخیز نهر اعظم

پس از واسنجی و صحت‌سنجی، به منظور بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر رواناب حوضه آبخیز نهر اعظم در مقطع زمانی سال ۲۰۰۳ و ۲۰۲۰ که کاربری آن پیش‌بینی شده است، با ثابت در نظر گرفتن داده‌های اقلیمی، نقشه خاک، DEM، نقشه‌های مختلف کاربری اراضی به مدل معرفی و مدل اجرا شد و سپس نتایج با هم مقایسه شد. نتایج نشان داد، مقدار متوسط سالانه رواناب سطحی در حوضه نهر اعظم، برای کاربری سال ۲۰۴۰ کمتر از کاربری سال ۲۰۲۰ است و به‌طور متوسط کاهش ۳۳ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۶ و ۷). بیشترین میزان کاهش رواناب مرتبط با فصل زمستان (حدود ۴۹ درصد) و کمترین کاهش در ماه‌های تابستان (حدود ۷ درصد) بوده است. تأکید می‌شود در اجرای مدل‌ها فقط کاربری‌ها تغییر کرده و سایر اطلاعات اقلیمی ثابت بوده‌اند. به این صورت می‌توان نتیجه گرفت، افزایش ۱۷۹ هکتاری اراضی کشاورزی آبی و افزایش ۴۳۸۴ هکتاری اراضی مسکونی و کاهش ۴۶۳۴ هکتار اراضی مرتعی، باعث کاهش ۳۳ درصدی رواناب شده است.



شکل ۶. میانگین رواناب ماهانه تحت کاربری‌های مختلف در حوضه آبخیز نهر اعظم



شکل ۷. هیدروگراف دبی ماهانه تحت کاربری‌های مختلف در حوضه آبخیز نهر اعظم

بیدگل و با پژوهش‌های سیمونز و رینولدز همخوانی دارد (۲۶). تخریب پوشش و تغییر کاربری زمین سبب کاهش یافتن اندازه جذب گیاهی و نگهداشت سطحی بارش، به هم خوردگی، کوبیدگی و تخریب بافت و ساختمان خاک و در نتیجه کاهش یافتن نفوذپذیری و افت شرایط آب شناسی خاک (افزایش شماره منحنی) می‌شود. حاکم شدن این شرایط به تدریج، کاهش نفوذ زیرسطحی و نفوذ عمقی بارش‌ها به خاک و تغذیه نشدن سفره‌ها و جریان‌های زیرزمینی که منبع اصلی تأمین جریان پایه حوزه و تداوم آن است را در پی دارد. بنابراین در درازمدت، شاهد کاهش جریان پایه و رواناب کل (مجموع جریان پایه و رواناب سطحی) و اندازه‌های میانگین آنها خواهیم بود (۱۶). افزایش سطوح نفوذناپذیر منجر به افزایش حجم رواناب، افزایش پیک سیلاب، کاهش تغذیه آب زیرزمینی و پایین رفتن جریان

داده‌های اقلیمی، نقشه خاک، DEM، نقشه‌های مختلف کاربری اراضی به مدل معرفی و مدل اجرا شد و سپس نتایج با هم مقایسه شد. نتایج نشان داد، مقدار متوسط سالانه رواناب سطحی در حوضه نهر اعظم، برای کاربری سال ۲۰۴۰ کمتر از کاربری سال ۲۰۲۰ است و به‌طور متوسط کاهش ۳۳ درصدی را نشان می‌دهد (شکل ۶ و ۷). بیشترین میزان کاهش رواناب مرتبط با فصل زمستان (حدود ۴۹ درصد) و کمترین کاهش در ماه‌های تابستان (حدود ۷ درصد) بوده است. لازم به ذکر است، در اجرای مدل‌ها فقط کاربری‌ها تغییر کرده است و سایر اطلاعات اقلیمی ثابت بوده‌اند. به این صورت می‌توان نتیجه گرفت، افزایش ۴۳۸۴ هکتاری اراضی مسکونی، افزایش ۱۷۹ هکتاری اراضی کشاورزی آبی و کاهش ۴۶۳۴ هکتاری اراضی مرتعی باعث کاهش ۳۳ درصدی رواناب شده است که با نتایج رحیم‌زاده کیوی (۲۳) در حوضه آبریز الشتر، معصومی و همکاران (۱۶) در حوضه آبخیز

مقدار تبخیر، نفوذ آب زیرزمینی و رواناب سطحی (طی بارش و بعد از وقوع بارندگی) اثر می‌گذارد. این مقاله تأکید می‌کند، SWAT یک ابزار بسیار انعطاف‌پذیر و قوی است که می‌تواند برای ارزیابی گزینه‌های مدیریتی بهتر در دوره‌های آبی برای زمین و منابع آب حوضه آبخیز نهر اعظم از دیدگاه توسعه پایدار کمک‌کننده باشد.

رودخانه می‌شود (۱۰ و ۱۴). تغییر کاربری با دخالت در میزان جذب و نگهداشت آب و تغییر تبخیر و تعرق، بر میزان رواناب مؤثر است و با تغییر کاربری اراضی به سایر کاربری‌ها و اعمال تغییر در پارامترهای دخیل در طول فرایند شبیه‌سازی تأثیر خود را بر رواناب نشان می‌دهد. خوئی و سوتسگی (۱۳) نیز بیان کردند، پوشش گیاهی و کاربری بر

منابع مورد استفاده

1. Abbas, N., S. A. Wasimia and N. Al-Ansari. 2016. Assessment of Climate Change Impacts on Water Resources of Al-Adhaim, Iraq Using SWAT Model. *Engineering*. 8: 716-732.
2. Abbaspour, K. C. 2011. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs –A User Manual. Department of Systems Analysis. *Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag*.
3. Alimohammadi Sarab, A., A. A. Metkan and b. Mir Bagheri. 2010. Evaluating the effectiveness of the automatic cells model in simulating the expansion of urban land in the southwest suburbs of Tehran. *Space planning and preparation (Teacher of Humanities)*. 14 (2): 81-102 (in Farsi).
4. Anaba L. A., N. Banadda, N. Kiggundu, J. Wanyama, B. Engel and D. Moriasi. 2017. Application of SWAT to Assess the Effects of Land Use Change in the Murchison Bay Catchment in Uganda. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*. 6: 24-40.
5. Arnold, J. G., D. N. Moriasi, W. Gassman, C. K. Abbaspour, and M. J. White. 2012. Model use, calibration, and validation. *Biological Systems Engineering*. 406: 1491-1508.
6. Azizi Qalati, S., K. Rangzen, J. Sadidi, P. Heydarian and A. Taghizadeh. 2015. Predicting the trend of spatial changes in land use using the CA-Markov model (Case study: Kohmera Sorkhi region of Fars province). *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*. 7.1: 59-71
7. Bosch, J. M. and J. D. Hewlett. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 55: 3-23.
8. Burba, G. G. and S. B. Verma. 2005. Seasonal and interannual variability in evapotranspiration of native tallgrass prairie and cultivated wheat ecosystems. *Agriculture and Forest Meteorological*. 135: 190-201.
9. Chang. C. L. and J. C. Chang. 2006. Markov model and cellular automata for vegetation. *Journal of Geographical Research*. 45(1): 45-57.
10. Dow. C. L. 2007. Assessing regional landuse/cover influences on New Jersey Pinelands streamflow through hydrograph analysis. *Hydrological Processes: An International Journal*. 21: 185-197.
11. Gitau M. W. and I. Chaubey. 2010. Regionalization of SWAT Model Parameters for Use in Ungauged Watersheds. *Water*. 2: 849-871.
12. Heuvelmans, G., B. Muys and J. Feyen. 2004. Analysis of the spatial variation in the parameters of the SWAT model with application in Flanders, Northern Belgium. *Hydrology and Earth System Sciences*. 8 (5): 931-939.
13. Khoi, D.N. and T. Suetsugi. 2014. Impact of climate and land-use changes on hydrological processes and sediment yield-a case study of the Be River catchment, Vietnam. *Hydrological Sciences Journal*. 59 (5):1095-1108.
14. Leopold, L. B. 1968. Hydrology for urban land planning- a guidebook on the hydrologic effects of urban land use, US Geological Survey Circular. 554.
15. Li, Z., Z. Xu, Q. Shao and J. Yang. 2009. Parameter Estimation and Uncertainty Analysis of SWAT Model in Upper Reaches of the Heihe River Basin. *Hydrological Processes*. (2) 23: 2744-2753.
16. Masoumi, H., A. Malekian, A. Selajgeh and A. A. Nazari Samani. 2019. Evaluation of the effect of land use change on the size of runoff with Markov chain and automatic cells in Bidgol watershed, Fars province. *Watershed Research*. 33(2): 31-51.
17. Me, W., J. M. Abell and D.P. Hamilton. 2015. Effects of hydrologic conditions on SWAT model performance and parameter sensitivity for a small, mixed land use catchment in New Zealand. *Hydrology and Earth System Sciences*. 19: 4127-4147.
18. Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W. V. Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel and T. L. Veith. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*. 50: 885-900.

19. Mustafa, Y. M., M. S. M. Amin, T. S. Lee and A. R. M. Shariff. 2005. Evaluation of land development impact on a tropical watershed Hydrology Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Spatial Hydrology*. 5(2): 16-30.
20. Naser Abadi, F., A. Esmaali Auri, H. Akbari and R. Rostamian. 2013. Sensitivity analysis of SWAT model in Qara Su watershed of Ardabil. *Engineering and Management of Watershed*. 5(4): 255-265.
21. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resources Institute Technical Report No. 406, Texas A and M University System. College Station. Texas.
22. Palamuleni, L. G., P. M. Ndomba and H.J. Annegarn. 2011. Evaluating land cover change and its impact on hydrological regime in Upper Shire river catchment, Malawi. *Journal of Regional Environmental Change*. 11, (4): 845-855.
23. Rahimzadeh Kiwi M. 2015. Evaluation of the effects of land use change on the amount of runoff in watersheds using combined SWAT hydrological model and remote sensing technique (Al-Shatr Basin of Lorestan). Master thesis, Malayer University, Malayer, I.R. Iran.
24. Sadat Jafarzade, M. 2014. The effect of climate change on the water balance in the east of the Gorganrood watershed. Master thesis, Gonbad Kavos University, Golestan, I.R. Iran.
25. Simmons D. L., and R. J. Reynolds. 1982. Effects of Urbanization on Base Flow of Selected South-Shore Streams, Long Island, New York. *Journal of the American Water Resources Association*. 18(5): 797-805.
26. Tolessa Letaa, O., A. L. El-Kadia, H. Dulai and K. A. GhazAL. 2016. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia watershed in Hawaii. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. 8: 182-197.
27. Wang, G., J. Liu, J. Kubota and L. Chen. 2007. Effects of land-use changes on hydrological processes in the middle basin of the Heihe River, northwest China. *Hydrological Processes: An International Journal*. 21: 1370-1382.
28. Zhan, C. S., S. S. Jiang, F. B. Sun, Y. W. Jia, C. W. Niu and W. F. Yue. 2014. Quantitative contribution of climate change and human activities to runoff changes in the Wei River basin, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18: 3069-3077.

Evaluation of the Effect of Land Use Change on Runoff Using the Markov Chain in Shiraz Nahre Azam Basin

A. Mahdavi^{1*}, S. Soltani Kupaei¹, R. Modares¹ and M. Samiei²

(Received: May 22-2023 ; Accepted: October 7-2023)

Abstract

Land use changes are one of the main factors in the amount of surface runoff changes in watersheds. Therefore, it is necessary to investigate it to reduce the damages (human and financial) caused by floods and to modify watershed management. The watershed of Nahre Azam is located in the north of Shiraz city and a lot of loss of life and money to the residents of Shiraz due to floods has occurred in previous years. The present research was conducted to investigate the relationship between land use change and runoff in the Nahre Azam watershed in Shiraz using the SWAT model in the period of 2004-2020. The model was calibrated using data from 2004 to 2014 and validated for 2015 to 2020. These images were classified into 6 main land uses using the supervised classification method after performing necessary pre-processing, and a land use map was prepared for 2040 using the Markov chain method. Then, the effect of the land use change in 2003 and 2040 on the amount of simulated runoff was evaluated with the recalibrated model. The calibration results of Nahre Azam watershed for the values of statistical parameters in the calibration step for the coefficient of determination, P-Factor and R-Factor are 0.77, 0.72, and 2.43, respectively, and for the validation step we obtained 0.69, 0.65, and 2.3 respectively. The analysis of the land use map showed that the main land use change in the region related to the conversion of pastures to agricultural land and urban land, which caused a decrease in pastures. Also, the results of the model simulation using the land use maps of 2003 and 2040 indicated that the amount of runoff decreased. The results revealed that if all the uncertainties are minimized, the calibrated SWAT model can produce acceptable hydrological simulation results for the user, which is useful for water resource and environmental managers and politicians as well as city managers of Shiraz.

Keywords: Runoff, Land use, Climate change, Markov chain, SWAT model, Calibration, Validation

1. Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

2. General Department of Natural Resources and Watershed Management of Fars Province, Shiraz, Iran.

*: Corresponding author, Email: Arshia.mah@gmail.com