



دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۲، شماره‌ی پیاپی ۱۲۷، تابستان ۱۳۹۹، صفحه‌های ۵۱-۳۱
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126983.1242

پژوهش‌های آبخیزداری

ارزیابی اثر تغییر کاربری زمین بر اندازه‌ی روان‌آب با زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار در آبخیز بیدگل، استان فارس

هادی معصومی

دانشجوی دکترای علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

آرش ملکیان

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

علی سلاجقه

استاد، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

علی‌اکبر نظری‌سامانی

دانشیار، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده‌ی منابع طبیعی دانشگاه تهران

*ایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: malekian@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۹ تیر ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۶ آذر ۱۳۹۸

چکیده

این پژوهش برای پیش‌بینی کردن تغییر کاربری زمین و تاثیر آن بر اندازه‌ی روان‌آب آبخیز بیدگل استان فارس در چشم‌انداز سال ۱۴۱۱ انجام شد. مدل آب‌شناسی سوات (ابزار ارزیابی خاک و آب) با داده‌های آبی اقلیمی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۲ برمبنای الگوریتم SUFI-2 واسنجی، و با داده‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۷ اعتبارسنجی کرده‌شد. سنج‌های آماری ضریب نش-ساتکلیف، ضریب تبیین، ضریب تغییر مکان جانبی و ضریب رفتار در مرحله‌ی واسنجی به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۸، ۰/۸۳ و برای مرحله‌ی اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۶، ۰/۷۲ و ۱/۳ به دست آورده شد. تصویرهای سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ ماهواره‌ی لندست پردازش و به شش رده‌ی کاربری رده‌بندی شد. با روش زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار و برپایه‌ی نقشه‌ی کاربری زمین سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷، نقشه‌ی پیش‌بینی کاربری زمین سال ۱۴۱۱ تهیه شد. نقشه‌های کاربری زمین به مدل واسنجی شده‌ی سوات وارد و تاثیر تغییر کاربری زمین در دوره‌ی ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۱ بر اندازه‌ی روان‌آب حوزه پیش‌بینی کرده شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییر کاربری در تبدیل مرتع به زمین کشاورزی، و بیش‌ترین درصد تغییر در کاربری مسکونی بود. در پاسخ به این تغییر، در سال ۱۴۱۱ مقدار متوسط سالانه‌ی روان‌آب سطحی ۱۹٪ کاهش نسبت به سال ۱۳۹۷ نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: آبخیز بیدگل، زنجیره‌ی مارکوف، کاربری زمین، مدل سوات

مقدمه

اثر تغییر کاربری بر ایجادشدن روان‌آب موضوع بسیاری از تحقیقات آب‌شناسی است و اغلب از راه شبیه‌سازی با مدل‌های بارش-روان‌آب ارزیابی می‌شود (نائف و همکاران ۲۰۰۲). این تغییر خود عامل تغییردادن چرخه‌ی آب‌شناسی حوزه است، و باعث تغییرکردن تعادل آب بین بارش، تبخیر، نفوذپذیری و پاسخ روان‌آب می‌شود (مارکوس و همکاران ۲۰۰۳). دانستن چگونگی اثر تغییر کاربری بر آب‌شناسی آبخیز به طراحان برای برنامه‌ریزی و اتخاذ سیاست‌های اجرایی برای کمینه‌کردن اثرهای نامطلوب تغییر کاربری در آینده کمک می‌کند. تغییر پوشش زمین سطح‌های نفوذناپذیر را افزایش، اندازه‌ی نفوذ را کاهش، و اندازه‌ی روان-آب را افزایش می‌دهد و بنابراین موجب کاهش یافتن جریان پایه در فصل‌های خشک می‌شود. نوع کاربری زمین از ویژگی‌های مهم حوزه است که بر فرآیندهای روان‌آب، نفوذ، فرسایش و تبخیر و تعرق اثر می‌گذارد. تخریب جنگل، شهرسازی و سایر فعالیت‌های کاربری پراکندگی سالانه و فصلی جریان را تغییر می‌دهد (مصطفی و همکاران ۲۰۰۵). شناخت بهتر نحوه‌ی اثر تغییر کاربری زمین بر فرآیندهای آب‌شناسی آبخیز موضوعی مهم برای طراحی و مدیریت‌کردن و توسعه‌دادن پایدار منابع آب است. اگرچه دانشمندان تشخیص داده‌اند که تغییر در کاربری و پوشش زمین عامل مهم و اثرگذاری بر چرخش آب و تغییر زمانی و مکانی پراکندگی منابع آب است، رابطه‌ی بین خصوصیت‌های کاربری و روان‌آب کم‌تر شناخته‌شده است (وانگ و همکاران ۲۰۰۷). تغییر کاربری و پوشش زمین فرآیند پویا و پیچیده‌ی است که از تلاقی‌کردن سامانه‌های طبیعی و انسانی به‌دست می‌آید و اثر مستقیمی بر آب، خاک، و هوا دارد. وقوع این پدیده، پی‌آمدهای اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی در مقیاس محلی ناحیه‌ی و جهانی به همراه دارد. (کومن و همکاران ۲۰۰۷). در این زمینه داده‌های سنجش از دور به‌دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند پوشش وسیع، به‌هنگام بودن، تکراری بودن، داشتن توان تفکیک طیفی پرتوسنجی و مکانی زیاد، قالب رقومی و امکان پردازش‌شدن رایانه‌ی، توانایی آن‌ها برای بررسی‌کردن تغییر زمانی و مکانی پوشش گیاهی و کاربری زمین زیاد است (جنسن، ۲۰۰۷). درک رابطه‌ی بین تغییر کاربری زمین و عامل‌های به‌وجود آورنده‌ی آن و اثرهای ثانوی آن بر نظام آب‌شناسی، اطلاعات ضروری برای برنامه‌ریزی بهره‌گیری از زمین و مدیریت پایدار منابع طبیعی را فراهم می‌کند (پالامولنی و همکاران ۲۰۱۱). دانستن پاسخ آب‌شناسی آبخیز به تغییر فیزیکی (کاربری) و اقلیم (بارش و دما) جزء مهمی از طراحی منابع آب و مدیریت است (مانگو و همکاران ۲۰۱۱).

این پژوهش برای ارزیابی‌کردن اثر تغییر کاربری زمین بر اندازه‌ی روان‌آب آبخیز بیدگل از زیرحوزه‌های رود کر با مدل آب‌شناسی سوات و مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره‌ی مارکوف

CA-Markov انجام شد. مدل سوات مدل فیزیکی-تجربی، نیمه‌توزیعی و پیوسته است که برای پیش‌بینی‌کردن اثرهای مدیریتی بر آب‌شناسی، رسوب و مواد آلاینده در آبخیزهای با انواع خاک، کاربری زمین و شرایط مدیریتی متفاوت طراحی شده است (آرنولد و همکاران ۱۹۹۸). مدل زنجیره‌ی مارکوف ترکیبی از دو مدل زنجیره‌ی مارکوف و سلول‌های خودکار است. مدل زنجیره‌ی مارکوف تغییر کاربری زمین از یک دوره به دوره دیگر را نشان می‌دهد و به‌مانند پایه‌ی برای نقشه‌سازی تغییر آینده به‌کاربرده می‌شود. مدل سلول‌های خودکار با افزودن مشخصه‌ی مجاورت مکانی به مدل تصادفی زنجیره‌ی مارکوف، کاربری زمین را برای سال‌های آینده شبیه‌سازی می‌کند (ایستمن ۲۰۰۶). با شبیه‌سازی تغییر کاربری، می‌توان اندازه‌ی گسترش و تخریب منابع را مشخص کرد (دارل و همکاران ۲۰۰۱، هتوت ۲۰۰۲ و خوش‌گفتار و همکاران ۲۰۱۰).

مروری بر ۹۴ آبخیز آزمایشی مرتبط با اثر تغییر پوشش گیاهی بر بار آبی سالانه نشان داد که قطع‌کردن جنگل عموماً بار آبی را افزایش (تبخیر و تعرق را کاهش) (بوش و هولت ۱۹۸۲) و احیای جنگل‌ها آن را کاهش می‌دهد (افزایش تبخیر و تعرق واقعی) (پیل و همکاران ۲۰۰۲). چانگ و چانگ (۲۰۰۶) برای بررسی پوشش گیاهی و پیش‌بینی تغییر منطقه‌ی جیوجیو در تایوان مدل کاربری زنجیره‌ی مارکوف و داده‌های ماهواره‌ی اسپات را در دوره‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ به‌کاربردند. نتیجه‌ی آن توانایی زیاد مدل را در پیش‌بینی‌کردن روند تغییر پوشش گیاهی نشان داد. محمدی‌سراب و همکاران (۲۰۰۹) تغییر کاربری زمین و پوشش زمین در حومه‌ی جنوب غربی تهران را با مدل سلول‌های خودکار شبیه‌سازی و کارایی آن را برای شرایط منطقه مناسب ارزیابی‌کردند. مولینا و همکاران (۲۰۱۲) تبدیل‌شدن جنگل به زمین کشاورزی و مرتعی را در بالادست و اثر آن را بر تولید روان‌آب و رسوب منطقه‌های میانی و پایین‌دست حوزه‌ی جادان در اکوادور در ۱۹۶۳ تا ۲۰۰۷ بررسی کردند. در دوره‌ی بررسی‌شده، آب‌دهی اوج، رسوب ویژه، و بار رسوبی معلق کاهش زیادی داشت، اما نمی‌توان این کاهش را صرفاً به پاک‌تراشی جنگل‌های بالادست مرتبط کرد، و احتمالاً از جنگل‌زدایی زمین تخریب‌شده و احیای دوباره‌ی پوشش مرتعی در زمین باقی‌مانده است. هرچند جنگل-زدایی در قسمت‌های بالادست منجر به افزایش زمین‌لغزش شد، اما این تغییر به‌تنهایی در افزایش شاخص رسوب نشان داده نمی‌شود. رودخانه‌های کوچک کوهستانی اغلب تقریباً به‌طور کامل به‌علت زمین‌لغزش مسدود شده‌است و در نتیجه توان آن‌ها برای انتقال رسوب کاهش یافته‌است. ژان و همکاران (۲۰۱۴) اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری را بر تغییر روان‌آب در حوزه‌ی وی در چین بررسی کردند. دوره‌ی بررسی آنان به دو زیردوره (۸۹-۱۹۵۸ و ۲۰۰۸-۱۹۹۰) با آزمون من-کندال تقسیم شد. نتایج نشان داد که ۴۰-۳۷٪ از کاهش روان‌آب متأثر از اقلیم

پایین دست رودخانه شرایط مختلف آب و هوایی مهم ترین عامل کاهش روان آب بود. شان شان و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییر اقلیمی و تغییر کاربری زمین بر جریان رودخانه‌ی یی‌هی در چین را بررسی کردند. آزمون من-کندال روند کاهشی چشم‌گیری را در میانگین جریان سالانه نشان داد. نتایج نشان داد که کاهش جریان رودخانه بیش تر متاثر از کاهش بارش و افزایش تبخیر و تعرق توان حوزه است و تغییر کاربری زمین نقش کم‌تری در تغییر جریان داشته است. با وجودی که تغییر کاربری نقش کم‌تری در کاهش جریان داشت، بهینه‌سازی آن برای مدیریت منابع آبی آینده اهمیت زیادی دارد زیرا مهار تغییر اقلیمی دشوار اما بهینه‌سازی الگوی بهره‌گیری از زمین امکان‌پذیر است.

توجه به تغییر جریان در مقیاس‌های زمانی متفاوت (روزانه، ماهانه و ...) برای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب بسیار مهم است. لی و همکاران (۲۰۱۹) اثرهای تغییر کاربری زمین بر آب‌شناسی حوزه‌ی رودخانه‌ی ننجیانگ در شمال شرقی چین را بررسی کردند. مدل سوات برای ارزیابی کردن اثرهای تغییر کاربری زمین و مدل زنجیره‌ی مارکوف برای استخراج نقشه‌ی کاربری زمین سال ۲۰۳۸ به کار رفت. یافته‌ها بیان گر این بود که در سال‌های ۱۹۷۵-۲۰۰۰ به دلیل گسترش زمین کشاورزی تالاب‌ها، مرتع‌ها و جنگل‌ها از بین رفته و در نتیجه روان آب سطحی و جریان پایه کاهش و تبخیر و تعرق سالانه افزایش یافته است، و در شرایط کاربری زمین سال ۲۰۳۸ آب‌دهی سالانه، روان آب سطحی و جریان فصل مرطوب افزایش و تبخیر و تعرق و جریان پایه کاهش خواهد یافت. تکلا و همکاران (۲۰۱۹) داده‌های ایستا و پویای کاربری زمین برای شبیه‌سازی فرآیند آب‌شناسی آبخیز را در حوزه‌ی گومارای اتیوپی ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که به کارگیری داده‌های پویای کاربری در شبیه‌سازی مدل سوات منجر به نتایج واقعی‌تر از تغییر زمانی کاربری زمین می‌شود. در نتیجه تخمین زدن فرآیندهای زمانی و مکانی آب‌شناسی بهبود می‌یابد. گسترش یک-درصدی بوته‌زارها، روان آب سطحی را ۱/۲ میلی‌متر کاهش و تبخیر و تعرق را ۱/۱ میلی‌متر افزایش داده است، و اثر تغییر کاربری زمین تا ۶۵٪ از کل تغییر آب‌دهی اوج حوزه است. فاضلی‌فارسانی و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر تغییر کاربری زمین را بر توان تولید روان آب‌های سطحی با مدل سوات در حوزه‌ی بهشت‌آباد بررسی کردند. نتایج شاخص‌های آماری در مرحله‌ی واسنجی و اعتبارسنجی نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی بود. نتایج شبیه‌سازی افزایش روان آب را بر اثر تغییر کاربری زمین بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۱ نشان داد. در مجموع کاربرد مدل‌های سوات و زنجیره‌ی مارکوف در تحقیقات انجام‌شده غالباً رضایت‌بخش است و نتایجی پذیرفتنی داده است. تغییر کاربری زمین که سبب تخریب شدن پوشش گیاهی، خاک، کاهش نفوذپذیری و تغییر آسیب‌رسان بشود باعث افزایش یافتن روان آب سطحی و مقدار اوج جریان (آب‌دهی و

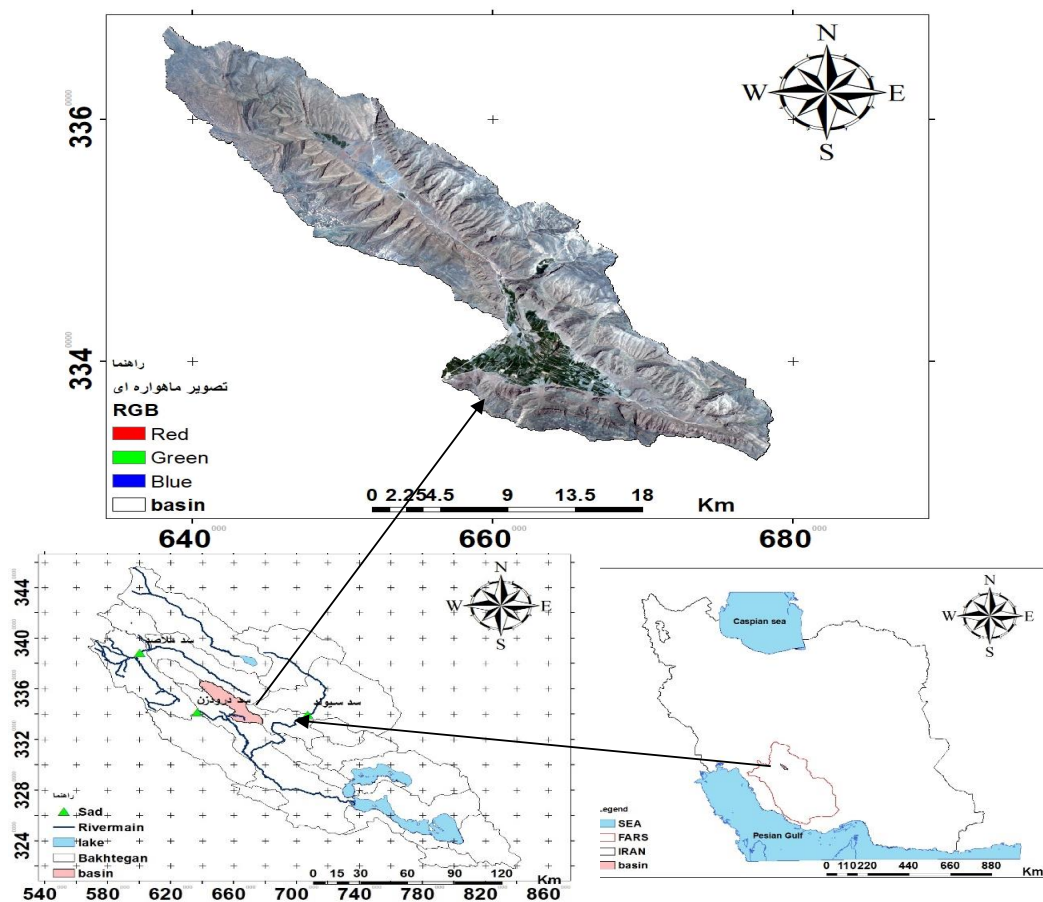
است، در حالی که فعالیت‌های انسانی موجب ۶۳-۶۰٪ تغییر در روان آب شده است. عزیزی‌فلاتی و همکاران (۲۰۱۷) نقشه‌ی کاربری زمین‌های منطقه‌ی کوهمره‌سرخ استان فارس را برای چشم‌انداز ۱۴۰۳ با مدل زنجیره‌ی مارکوف پیش‌بینی کردند. نتیجه‌ی مدل‌سازی رضایت‌بخش و بیش‌ترین تغییر در مساحت جنگل گزارش کرده شد. آنا و همکاران (۲۰۱۷) مدل سوات را برای ارزیابی اثرهای تغییر کاربری در حوزه‌ی خلیج مارچیسون در اوگاندا به‌کار بردند و مشاهده کردند که روان آب و متوسط بار رسوب برآوردشده از آبخیز در دوره‌ی بررسی افزایش یافت. رحیم‌زاده کیوی و همکاران (۲۰۱۷) اثرهای تغییر کاربری زمین بر اندازه‌ی روان آب آبخیز الشتر را با مدل سوات ارزیابی کردند. بیش‌ترین تغییر کاربری در تبدیل مرتع‌های تابستانی به زمین کشاورزی، گسترش شهر و کاهش جنگل گزارش کرده شد. نتیجه نشان‌دهنده‌ی کاهش روان آب بود. آناند و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تغییر کاربری زمین در ترازنامه‌ی آبی حوزه‌ی رود گنگ در هند را با مدل‌سازی تغییر کاربری زمین و مدل سوات بررسی کردند. نتایج نشان داد که گسترش زمین مسکونی مهم‌ترین عامل افزایش روان آب و گسترش زمین کشاورزی آبی مهم‌ترین عامل افزایش مصرف آب در حوزه و افزایش تبخیر و تعرق است. عمل‌کرد مدل سوات در شبیه‌سازی، بی‌در نظر گرفتن تغییر کاربری زمین به تدریج با گذشت زمان کاهش می‌یابد. نادری و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر تغییر کاربری زمین و اقلیم بر روان آب آبخیز گرین استان همدان را با مدل‌های سوات و SDSM بررسی کردند. نتایج نشان داد که با افزایش کاربری جنگل به علت افزایش اندازه‌ی نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان سطحی و عمیق و افزایش تبخیر و تعرق واقعی مقدار روان آب سطحی کاهش یافته است. کاهش اندازه‌ی روان آب بر اثر تغییر اقلیم بیش‌تر از اندازه‌ی کاهشی است که بر اثر تغییر کاربری زمین ایجاد می‌شود. سلمانی و همکاران (۲۰۱۸) پاسخ آب‌شناسی آبخیز تیل‌آباد استان گلستان را در دوره‌های آینده با تأثیر کاربری زمین پیش‌بینی-شده ارزیابی کردند. با تخریب منطقه مقدار روان آب سطحی، رسوب، کل جریان آب، جریان زیرسطحی و تبخیر و تعرق افزایش و مقدار جریان آب زیرزمینی، جریان برگشتی از آبخوان سطحی، تغذیه‌ی آبخوان عمیق، نفوذپذیری و آب‌گذری کاهش زیادی پیدا می‌کند. مقدار اوج و میانه‌ی جریان بیش‌تر می‌شود و جریان پایه کاهش می‌یابد. یی‌هی و همکاران (۲۰۱۹) با آزمون روند من-کندال، آزمون پتیت و چارچوب بودیکو تأثیر شرایط آب و هوایی مختلف و سهم آن‌ها در تغییر روان آب آبخیز بی‌لو در چین را در دوره‌ی ۱۹۵۸-۲۰۱۴ بررسی و نشان دادند که روان آب سالانه روند کاهشی بسیاری با نقطه‌های تغییر سال‌های ۱۹۹۴ و ۲۰۰۲ دارد. بارش سالانه و تبخیر و تعرق به‌توان به ترتیب روندی کاهشی و افزایشی داشت اما مهم نبود. به‌طور کلی تغییر کاربری زمین دلیل اصلی کاهش روان آب در حوزه‌ی رودخانه‌ی بی‌لو است اما در

حجم) می‌شود اما در خصوص اندازه‌های ماهانه، سالانه، میانگین و جریان پایه، نتایج بیش‌تر تاییدکننده‌ی کاهش آب‌دهی است. البته ممکن است علاوه بر تغییر کاربری و پوشش زمین عامل‌های دیگری از جمله تغییر اقلیم باعث تاثیر بر رفتار آب‌شناسی حوزه شود و نتیجه‌ی متفاوتی در پژوهش‌های مشابه به‌دست‌آید.

مواد و روش‌ها
منطقه‌ی بررسی شده

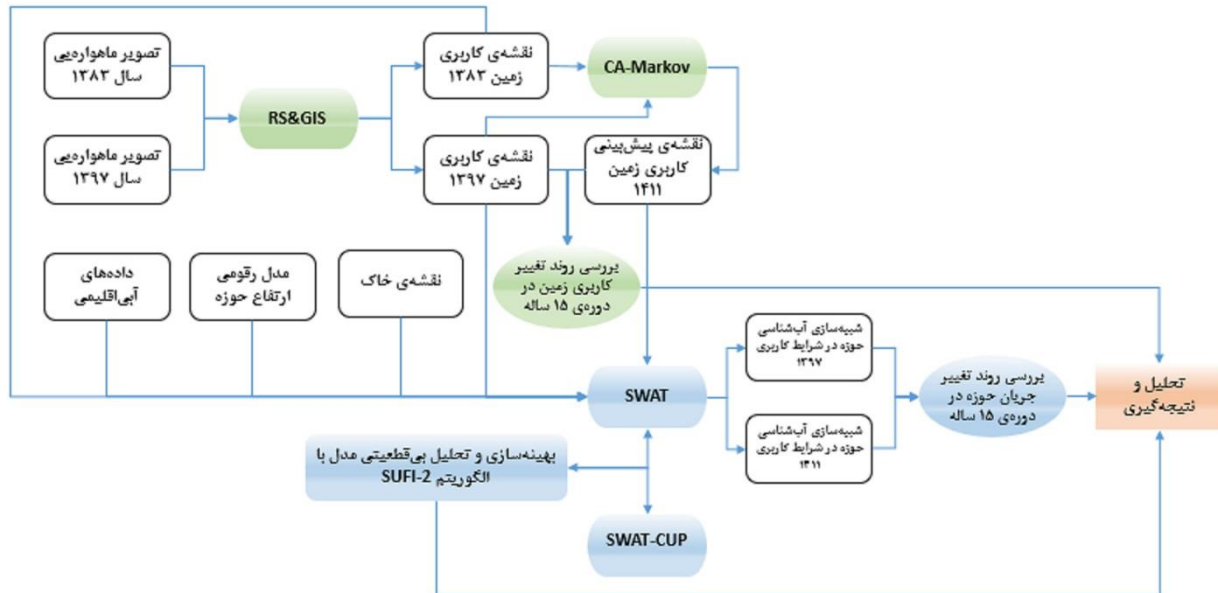
رودخانه‌ی کر به‌علت بهره‌گیری‌های آب‌خانگی، کشاورزی، صنعتی و زیست‌محیطی، و با توجه به احداث دو سد بزرگ درودزن و ملاصدرا بر آن، اصلی‌ترین منبع تامین آب منطقه و با اهمیت راهبردی است، و ضرورت دارد زیرحوزه‌های آن از جنبه‌های مختلف بررسی شود، و نتایج آن در مدیریت این منبع آبی بسیار

مهم به‌کاربرده شود. به‌علت افزایش جمعیت و آمادگی منطقه برای فعالیت‌های کشاورزی، یکی از چالش‌های پیش‌رو ممکن است تغییر کاربری زمین به سمت توسعه یافتن زمین زراعی و مسکونی و در پی آن تغییر در روان‌آب خروجی باشد. زیرحوزه‌ی بررسی‌شده به نام بیدگل از آبخیز رودخانه‌ی کر و دریاچه‌ی بختگان به مساحت ۴۵۰۰۰ هکتار، کمینه‌ی ارتفاع حوزه ۱۶۱۰ و بیشینه‌ی ۳۱۲۶ و ارتفاع متوسط ۲۳۶۳ متر از تراز دریا در شمال شرقی شهرستان شیراز است. خروجی حوزه در عرض جغرافیایی ۳۰/۱۷ درجه و طول جغرافیایی ۵۲/۶۳ درجه است (شکل ۱). در این پژوهش میانگین بارندگی سالانه‌ی منطقه ۴۳۸ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه‌ی آن ۱۷/۳ درجه‌ی سانتیگراد محاسبه شد (سازمان آب و اداره کل هواشناسی فارس ۱۳۹۷). پوشش بیش‌تر سطح زیرحوزه مرتعی است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی بیدگل.

مراحل کار را می‌توان به طور خلاصه در قالب نمودار جریان‌ی (شکل ۲) در نظر گرفت.



شکل ۲- نمودار جریان‌ی روش پژوهش.

تأثیر نسبی داده‌های ورودی (تغییر در روش‌های مدیریتی، آب و هوا، پوشش گیاهی) بر کیفیت آب و دیگر متغیرها را می‌توان کمی کرد. مدل سوات سنج‌های ورودی دسترس را به کار می‌برد، در محاسبه بسیار کارآمد است، و شبیه‌سازی حوزه‌های بزرگ و پیچیده را با راه‌کارهای مختلف مدیریتی بی‌صرف زمان زیادی اجرا می‌کند (رضازاده و همکاران، ۲۰۱۸). برای واسنجی مدل سوات الگوریتم‌های نرم‌افزار SWAT-CUP به کار برده می‌شود که یکی از پرکاربردترین آن‌ها الگوریتم SUFI-2 است (عباسپور و همکاران ۲۰۰۷)، روشی برای واسنجی و تحلیل بی‌قطعیتی هم‌زمان مدل سوات که در بسته‌ی نرم‌افزاری SWAT-CUP به مدل سوات پیوست شده است. روش SUFI-2 تمام بی‌قطعیت‌ها شامل بی‌قطعیتی ورودی، مدل مفهومی، سنج‌ها و داده‌های اندازه‌گیری شده را در مدل‌سازی در نظر می‌گیرد. سنجش اندازه‌ی بی‌قطعیتی در برگزیده‌ی همه‌ی این‌ها است و با معیار عامل P که بیان‌گر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی درون نوار بی‌قطعیتی ۹۵٪ (۹۵ppu) است و مقدار عددی آن بین صفر و یک تغییر می‌کند، انجام می‌شود.

مدل سوات و الگوریتم SUFI-2

سوات مدلی در مقیاس آبخیز بزرگ و یا زیرحوزه است (آرنولد ۱۹۹۸) که توانایی‌های آن پیوسته گسترش می‌یابد. این مدل ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی کردن فرآیندهای آب‌شناسی، کیفیت آب، فرسایش خاک، تولید کشاورزی، مدیریت مرتع، اثرهای تغییر اقلیم و پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت زمین بر پایه‌ی ترازنامه‌ی آبی است. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل واحد پاسخ آب‌شناسی است که از ترکیب‌کردن نقشه‌ی رده‌های شیب، کاربری زمین و خاک به دست می‌آید. بر این اساس باید سوات را مدلی نیمه‌توزیعی دانست. از نظر زمانی نیز فرآیندهای مختلف بیان شده را می‌توان در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه، یا سالانه شبیه‌سازی کرد. اجرای این مدل در محیط مشترک با نرم‌افزار ArcGIS باعث آسانی کاربرد و افزایش توانایی‌های آن شده است. به نقشه‌های پایه‌ی مدل ارتفاع رقومی، نقشه‌ی کاربری زمین، نقشه‌ی خاک و نقشه‌ی پوشش گیاهی نیاز است که باید در قالب رستری به مدل داده‌شود. (نیچ و همکاران، ۲۰۰۵) از مزیت‌های این مدل این است که حوزه‌هایی که داده‌ی برداشت شده‌ی بی از آن نیست را نیز شبیه‌سازی می‌کند.

بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد رضایت‌بخش و اگر کم‌تر از ۰/۳۶ باشد نپذیرفتنی فرض می‌شود (نش و همکاران، ۱۹۷۰). موریاوسی و همکاران (۲۰۰۷) پیشنهاد کردند که اندازه‌های این ضریب در پژوهش‌های آب‌شناسی و فرآیندهای انتقال آلاینده‌ها در مقیاس ماهانه باید از ۰/۵ بزرگ‌تر باشد تا بتوان نتایج مدل را پذیرفتنی دانست، که معمولاً همین معیار برای سنجی R^2 نیز به کار می‌رود. در برخی منابع اگر شاخص نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد، مدل بسیار خوب و کامل، اگر بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ باشد، خوب، اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ باشد، رضایت‌بخش، و اگر برابر یا کم‌تر از ۰/۵ باشد نپذیرفتنی فرض می‌شود (کلت و همکاران، ۲۰۱۴).

مدل‌سازی آب‌شناسی حوزه

رفتار آب‌شناسی حوزه با مدل سوات شبیه‌سازی شد. اطلاعات لازم برای ایجاد مدل آب‌شناسی حوزه شامل داده‌های اقلیمی بارش، دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و تابش، روان‌آب، داده‌های آب‌دهی روزانه، نقشه‌های مرز حوزه، رقومی ارتفاع، خاک‌شناسی، آبراه‌ها و کاربری زمین است که از منابع مختلف تهیه شد (جدول ۱).

جدول ۱- داده‌های ورودی به مدل.

داده	نوع داده	منبع	خصوصیات داده‌ها
نقشه‌ی DEM	رستری	سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۹۷)	۱۰×۱۰ (متر)
نقشه‌ی کاربری زمین	رستری	تصویرهای ماهواره‌ی لندست	۱۳۸۳ و ۱۳۹۷
نقشه‌ی خاک	رستری	سازمان خواروبار جهانی (FAO)	۱۰km×۱۰km
داده‌ی باران‌سنجی	نقطه‌یی	آب منطقه‌ی فارس (۱۳۹۷)	۲۰۰۳-۲۰۱۸ (روزانه)
داده‌ی دماسنجی	نقطه‌یی	آب منطقه‌ی فارس (۱۳۹۷)	۲۰۰۳-۲۰۱۸ (روزانه)
داده‌ی آب‌سنجی	نقطه‌یی	آب منطقه‌ی فارس (۱۳۹۷)	۲۰۰۳-۲۰۱۸ (روزانه)
داده‌ی هواشناسی	نقطه‌یی	اداره‌ی کل هواشناسی فارس (۱۳۹۷)	۲۰۰۳-۲۰۱۸ (روزانه)

ماهانه، و داده‌های بارندگی، دماهای بیشینه و کمینه، سرعت باد، تابش و رطوبت نسبی ایستگاه‌های به‌کاررفته در پژوهش همگی در مقیاس روزانه در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ بود. واسنجی و تحلیل بی‌قطعی مدل سوات در آبخیز بیدگل با الگوریتم SUFI-2 انجام شد. علت انتخاب این الگوریتم توانایی مدیریت کردن هم‌زمان تعداد زیادی سنجه و داده‌ی اندازه‌گیری شده در چندین ایستگاه است. به‌علاوه در این برنامه می‌توان تحلیل حساسیت، بی‌قطعی، واسنجی و اعتبارسنجی را هم‌زمان انجام داد. داده‌های سال ۲۰۰۳ به دوره‌ی گرم کردن مدل اختصاص یافت. دوره‌ی گرم کردن به مدل اجازه‌ی اجرا کردن کامل چرخه‌ی آب‌شناسی را می‌دهد (ستجن و همکاران ۲۰۰۸). دوره‌ی زمانی ۲۰۰۴-۲۰۱۳ برای واسنجی کردن مدل سوات در نظر گرفته شد. ۱۹ سنجه‌ی اصلی مؤثر بر روان‌آب برای واسنجی کردن مدل به‌کاربرده شد (جدول ۲). این سنجه‌ها با

معیار ۹۵ppu با محاسبه‌ی اندازه‌های متناظر احتمال ۲/۵٪ در حد پایین و ۹۷/۵٪ در حد بالا، با نمونه‌برداری به روش لاتین هاپرکیوب و حذف ۵٪ شبیه‌سازی بسیار بد به‌دست می‌آید. عامل دیگر در برآورد کردن کیفیت واسنجی و تحلیل بی‌قطعی عامل R است که برابر با میانگین ضخامت ۹۵ppu تقسیم بر انحراف معیار اندازه‌گیری شده است و مقدار آن بین صفر و بی‌نهایت تغییر می‌کند. بنابراین در SUFI-2 هدف در برگرفتن بیش‌ترین اندازه‌های مشاهده‌شده با کم‌ترین ضخامت نوار است. شرایط آرمانی در شبیه‌سازی شرایطی است که مقدار عامل P به ۱ و مقدار عامل R به ۰ نزدیک باشد (عباسپور، ۲۰۱۱). اگر عامل R کم‌تر از ۱/۵ باشد نتیجه مطلوب است (عباسپور ۲۰۰۹).

در این پژوهش علاوه بر دو عامل یادشده دو تابع ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) برای ارزیابی آماری مدل واسنجی شده به‌کارگرفته شد. ضریب R^2 نشان‌دهنده‌ی هم‌خوانی اندازه‌های مشاهده‌ی و شبیه‌سازی با روش تجزیه‌ی وایزی است و مقدار آن بین ۰ و ۱ تغییر می‌کند. ضریب NS اختلاف نسبی بین اندازه‌های مشاهده‌ی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار آن بین ۱ تا ∞ تغییر می‌کند. عموماً اگر ضریب نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، اگر

ساخت مدل آب‌شناسی حوزه نیازمند دو نقشه‌ی کاربری زمین در مقطع‌های زمانی انتخاب‌شده است که از تصویرهای ماهواره‌ی لندست سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ و نقشه‌های کاربری زمین متناظر استخراج شد.

برای ساختن مدل آب‌شناسی ابتدا زیرحوزه‌ها با وارد کردن مدل رقومی ارتفاع (DEM) تفکیک کرده شد و با تلفیق کردن نقشه‌های خاک، شیب و کاربری زمین، واحدهای پاسخ آب‌شناسی حوزه (HRU) با مدل سوات استخراج شد. در هر واحد پاسخ آب‌شناسی ویژگی‌های خاک، پستی‌وبلندی، پوشش و کاربری زمین همگن است. داده‌های هواشناسی که برای شبیه‌سازی روان‌آب با مدل سوات وارد مدل شده مشخصات و سنجه‌های آماری بلندمدت لازم برای ساخت پرونده‌ی مولد داده‌های اقلیمی با بهره‌گیری از ایستگاه هواشناسی درودزن در مقیاس زمانی

چندمنظوره‌ی زمین است (زارع گاریزی و همکاران ۲۰۱۲). با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با زنجیره‌ی مارکوف، چهارچوب احتمال انتقال، چهارچوب مساحت انتقال یافته و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌شود (بسته به تعداد کاربری‌ها). چهارچوب احتمال انتقال، احتمال انتقال هر کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. چهارچوب مساحت انتقال یافته، تعداد سلول‌هایی را که برای تغییر از یک نوع پوشش زمین به نوع دیگر در دوره‌ی زمانی آینده انتظار می‌رود، ثبت می‌کند. تصویرهای احتمال شرطی، احتمال این که هر نوع از پوشش زمین در هر موقعیت مکانی در آینده پیدا شود را بیان می‌کند. ضعف زنجیره‌ی مارکوف در مشخص نبودن پراکندگی مکانی تغییر کاربری‌ها است که برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل سلول‌های خودکار به کار برده می‌شود، به این روش که نقشه‌ی آینده‌ی کاربری زمین با نقشه‌های شایستگی تبدیل پوشش و کاربری با اعمال کردن صافی مجاورت و در فرآیند تخصیص چندمنظوره‌ی زمین تهیه می‌شود (ایستمن، ۲۰۰۶). در حقیقت مدل زنجیره‌ی مارکوف مولفه‌های مجاورت مکانی و دانش کاربر از پراکندگی مکانی احتمال تبدیل کاربری‌ها را به مدل زنجیره‌ی مارکوف اضافه می‌کند (خوش‌گفتار و همکاران ۲۰۱۰).

مدل‌سازی کاربری زمین سال ۱۴۱۱

مدل‌سازی الگوی مکانی تغییر کاربری زمین اطلاعات ارزشمندی را برای درک بهتر فرآیند تغییر، تعیین عامل‌های موثر و پیش‌بینی منطقه‌های در معرض تغییر فراهم می‌آورد. بهره‌گیری از مدل‌های تغییر کاربری ابزار مناسبی برای پیش‌بینی کردن الگوی مکانی تغییر کاربری زمین در زمان است (فتحی‌زاد و همکاران ۲۰۱۸). پیش‌بینی مکانی تغییر کاربری زمین را می‌توان با مدل‌های تجربی براساس برون‌یابی الگوهای تغییری مشاهده‌شده در گذشته‌ی نزدیک نشان داد (لمبین ۱۹۹۷ و پارکر و همکاران ۲۰۰۳). مدل‌سازی تغییر زمین ابزاری می‌دهد که به کمک آن می‌توان تأثیر تغییر کاربری زمین بر رفتار آب‌شناسی حوزه‌های آبخیز را ارزیابی و مدل‌سازی کرد. مرحله‌های کار شامل تهیه‌ی نقشه‌های کاربری زمین، آشکارسازی تغییر، تحلیل زنجیره‌ی مارکوف و اجرای مدل سلول‌های خودکار و زنجیره‌ی مارکوف است.

نقشه‌های کاربری زمین متناظر با تصویرهای ماهواره‌ی لندست از ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ استخراج شد (شکل ۵). برای آماده‌سازی داده‌ها برای پردازش، عملیات تصحیح هندسی و زمین‌مرجع کردن تصویرها با نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و عکس هوایی منطقه انجام شد. برای بارز کردن پدیده‌ها و افزایش دادن کیفیت تصویرها، و حذف تأثیر ناخواسته‌ی نور و جو، تصویرها تصحیح طیفی شد. تصویرهای رنگی کاذب به‌ویژه ترکیب (۴،۳،۲) در نرم‌افزار ENVI بررسی و نمودار ستونی نوارهای طیفی بر اساس

توجه به تحقیقات قبلی در زمینه‌ی واسنجی مدل سوات انتخاب شد. بعد از انتخاب کردن سنجه‌ها، حساسیت مدل با داده‌های آب‌دهی جریان متوسط ماهانه‌ی اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه آب‌سنجی بیدگل در ۱۳۸۴-۱۳۹۳ تحلیل کرده شد. برای تحلیل کردن حساسیت روش یک سنجه در هر بار به کار برده شد. در این روش در هر بار اجرای مدل یک سنجه تغییر می‌کند و بقیه ثابت می‌ماند و اثر آن تغییر بر تابع هدف حساسیت سنجه را مشخص می‌کند (عباسپور، ۲۰۰۹). الگوریتم SUFI-2 در دو تکرار با ۵۰۰ شبیه‌سازی در هر تکرار اجرا شد. پس از واسنجی، مدل با داده‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۸ اعتبارسنجی شد. نتیجه‌ی به‌دست‌آمده بر مبنای معیارهای آماری ضریب NS ، R^2 ، عامل P و عامل R برای هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی تحلیل کرده شد.

معرفی مدل زنجیره‌ی مارکوف

زنجیره‌ی مارکوف ابزاری مناسب برای مدل‌سازی تغییر کاربری زمین در جایی است که توصیف تغییر و فرآیندهای سیمای سرزمین مشکل باشد. زنجیره‌ی مارکوف وضعیت آینده‌ی یک سامانه را بر اساس وضعیت قبلی آن مدل‌سازی می‌کند (سلمان-ماهینی و همکاران، ۲۰۱۲). زنجیره‌ی مارکوف، دنباله‌ی از فرآیندهای تصادفی است که در آن نتیجه‌ی هر فرآیند در هر زمان تنها به نتیجه‌ی فرآیند در زمان مجاور بستگی دارد (نوریس، ۱۹۹۷). در این مدل دو نقشه‌ی دو دوره‌ی زمانی، چهارچوبی با یکدیگر مقایسه می‌شود. به طوری که بر اساس بیشینه‌ی احتمال پیش‌بینی می‌شود که هر نقطه‌ی تصویر (پیکسل) در هر رده با چه احتمالی در همان رده می‌ماند یا به رده دیگر تبدیل می‌شود (ایستمن، ۲۰۰۶). مسئله‌ی اساسی در زنجیره‌ی مارکوف این است که هیچ عنصر مکانی در مدل‌سازی نیست. به عبارت دیگر ممکن است احتمال انتقال برای هر کاربری به‌دست آمده باشد، اما هیچ اطلاعاتی از پراکندگی مکانی تغییر مربوط به هر رده‌ی کاربری در آن نیست.

برای اضافه کردن عنصر مکانی به مدل سلول‌های خودکار به کار برده می‌شود. سلول خودکار مدلی است که الگوهای بزرگ‌مقیاس را از فرآیندهای کوچک‌مقیاس محلی تولید می‌کند (ساکیه و همکاران ۲۰۱۱). این روش مدل‌سازی با پدیده‌های مکانی و پویا سروکار دارد و متشکل از سلول‌های پیوسته‌ی است که حالت‌های متوالی سلول‌ها در تکرارهای مختلف مطابق قانون‌های برگزیده و وضعیت سلول‌های همسایه تغییر می‌کند. در مدل سلول‌های خودکار فضا به شکل شبکه تعریف می‌شود؛ شبکه‌ی خودکار توانایی تغییر دادن وضعیتش را با به‌کارگیری قانونی که وضعیت جدید را مطابق با وضعیت قبلی و همسایگانش نشان می‌دهد، دارد. مدل زنجیره‌ی مارکوف تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره‌ی مارکوف و تخصیص

است که بر مقدار روان‌آب حاصل از واحدهای زمین اثر می‌گذارد (تولسا و همکاران ۲۰۱۶). حساسیت زیاد این عامل در حوزه نشان‌دهنده‌ی نقش مهم کاربری و خاک در مقدار روان‌آب خروجی از حوزه است. به‌طور کلی افزایش مقدار CN باعث افزایش حجم روان‌آب، و به‌نوبه‌ی خود تلفات بیش‌تر آب از راه روان‌آب، کاهش تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی^۲ و کاهش آب پایه‌ی رودخانه‌ها می‌شود (سلمانی و همکاران ۲۰۱۴). دومین سنجه‌ی حساس، زمان تأخیر انتقال آب از آخرین لایه‌ی نیم‌رخ خاک به سطح آب زیرزمینی است. این سنجه نقش مهمی در تغذیه‌کردن سفره‌های آب زیرزمینی دارد. مقدار این سنجه بستگی به شرایط و خصوصیت‌های فیزیکی منطقه‌ی ناشباع دارد، که میان آخرین لایه‌ی نیم‌رخ خاک و سطح آب زیرزمینی است. افزایش این سنجه باعث کاهش یافتن جریان پایه می‌شود (عمانی ۲۰۰۷). سومین سنجه‌ی حساس نرخ ذوب‌شدن برف در ۲۱ ژوئن است که در منطقه‌های سردسیر حساس و تأثیرگذار است. اگر نرخ ذوب‌شدن برف کم باشد، ماندگاری برف در سطح زمین بیش‌تر می‌شود و در نتیجه تأخیر آب کم‌تر و مقدار نفوذ آب به لایه‌های عمیق‌تر خاک و سفره‌ی زیرزمینی افزایش می‌یابد، و در مقابل سهم روان‌آب سطحی کم‌تر می‌شود (ناصرآبادی و همکاران ۲۰۱۴). چهارمین سنجه‌ی حساس نیز سنجه‌ی ضریب نفوذ آبخوان است که نسبت نفوذ آب از سفره‌ی کم‌عمق به سفره‌ی عمیق را مهار می‌کند و در بخش‌های به‌جز آب زیرزمینی هیچ تأثیری ندارد. در منطقه‌هایی که جریان آب زیرزمینی زیاد است سنجه‌ی RCHRG_DP تأثیر زیادی در مجموع جریان خروجی از آبخیز دارد. در فرآیند واسنجی مدل توصیه می‌شود که فقط برای مهارکردن آب پایه به این سنجه توجه شود (ناصرآبادی و همکاران ۲۰۱۴).

تفاوت خصوصیت‌هایی نظیر رنگ، رنگ‌مایه (تن)، بافت، شکل و اندازه در تصویر، رده‌های مورد نظر مشخص و تعریف‌شدند. در مرحله‌ی رده‌بندی اطلاعات برای دست‌یابی به شناخت کلی از رده‌های کاربری و پوشش زمین در منطقه، رده‌بندی نظارت‌نشده انجام‌شد. خروجی این مرحله برای تعیین نمونه‌های تعلیمی به‌کاربرده‌شد. برای اجرای رده‌بندی نظارت‌شده با توجه به نتایج مرحله‌ی قبل و بهره‌گیری از نرم‌افزار گوگل‌ارث، نمونه‌برداری‌های میدانی با جی‌پی‌اس انجام شد. نمونه‌های تعلیمی به‌دست آمده وارد نرم‌افزار کرده و با شناختن کلی تصویرها و با الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر، هر یک از رده‌ها در مرحله‌های جداگانه و با روش رده‌بندی نظارت‌شده برپایه‌ی الگوریتم بیشینه‌ی احتمال از یک‌دیگر تفکیک کرده‌شد. شش رده‌ی کاربری (زمین بایر، دیم، جنگلی، آبی، مرتعی و مسکونی) برای منطقه تفکیک کرده‌شد. این دو نقشه (شکل ۵) ورودی مدل زنجیره‌ی مارکوف (در نرم‌افزار Terrset) برای پیش‌بینی تغییر کاربری زمین سال ۱۴۱۱ (شکل ۶) گرفته شد.

نتایج

واسنجی، اعتبارسنجی، تجزیه‌ی حساسیت و تحلیل بی‌قطعیته‌ی سنجه‌های واسنجی‌شده به‌ترتیب حساسیت در جدول ۲ به‌همراه اندازه‌های واسنجی‌شده‌ی آن آورده شده‌است. مقدار t حساسیت (هرچه بزرگ‌تر، حساسیت بیش‌تر) و مقدار p معنی‌داری (هرچه کوچک‌تر، معنی‌داری بیش‌تر) را نشان می‌دهد (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۷). سنجه‌هایی که بیش‌ترین تأثیر را در واسنجی مدل داشت این‌ها است: حساس‌ترین سنجه شماره‌ی منحنی برای شرایط رطوبتی (II) است. حساسیت زیاد شماره‌ی منحنی ممکن است به این دلیل باشد که این اولین سنجه‌ی

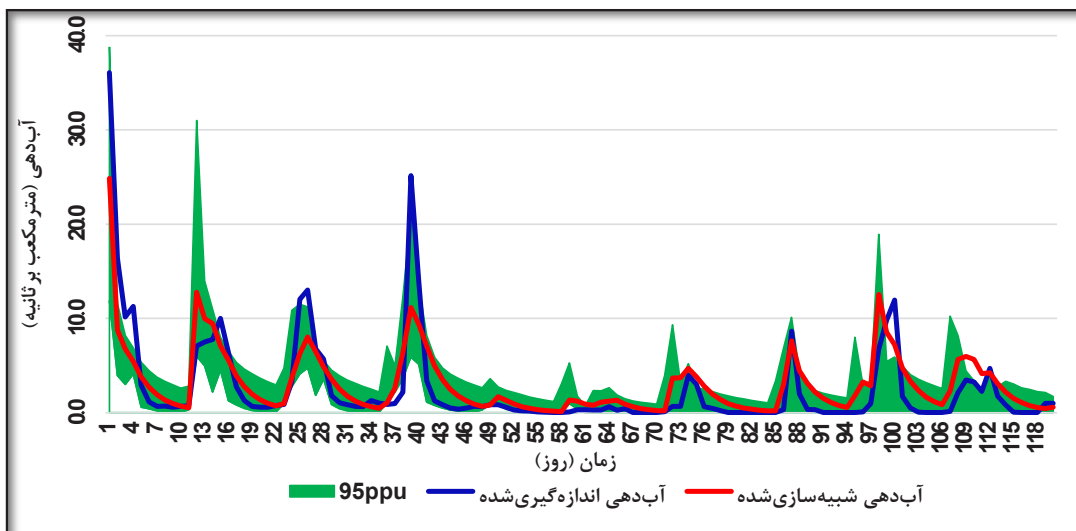
جدول ۲- ترتیب حساسیت سنجه‌های موثر بر جریان و اندازه‌های پیش‌فرض و بهینه در آبخیز بیدگل.

ردیف	سنجه	توضیحات	محدوده سنجه		P-Value	t-Stat	مقدار بهینه
			کمینه	بیشینه			
۱	R_CN2.mgt	شماره‌ی منحنی برای شرایط رطوبتی II	-۰/۵	۰/۵	۰/۰۰	-۱۶/۷۲	-۰/۲۶
۲	V_GW_DELAY.gw	زمان تاخیر تغذیه‌ی آب زیرزمینی (روز)	۳۰	۴۵۰	۰/۰۳	-۲/۲۱	۶۷/۶۶
۳	v_SMFMN.bsn	کمینه‌ی نرخ ذوب‌شدن برف در طول سال (میلی‌متر بر درجه‌ی سانتیگراد-روز)	۰	۱۰	۰/۰۴	-۲/۰۲	۴/۶۷
۴	V_RCHRG_DP.gw	درصد تغذیه‌ی آبخوان عمیق	۰	۱	۰/۰۶	-۱/۹۲	۰/۲۳
۵	R_SOL_ALB(..).sol	ضریب بازتابش خاک مرطوب	-۰/۵	۰/۵	۰/۱۰	۱/۶۷	-۰/۱۴
۶	R_SOL_AWC(..).sol	ظرفیت آب دسترس خاک (میلی‌متر در میلی-متر)	-۰/۳	۰/۳	۰/۱۴	۱/۴۹	۰/۲۳
۷	V_SLSUBBSN.hru	متوسط طول شیب (متر)	۱۰	۱۵۰	۰/۱۴	-۱/۴۷	۱۹/۷۳
۸	V_REVAPMN.gw	عمق آب آستانه در آبخوان کم‌عمق برای نفوذ به آبخوان عمیق (میلی‌متر)	۰	۱۰۰	۰/۱۶	۱/۴۱	۱۲/۸۷
۹	V_CH_K2.rte	هدایت آب در آبراه اصلی (میلی‌متر بر ساعت)	۵	۱۳۰	۰/۱۹	۱/۳۲	۱۰۹/۸۴
۱۰	V_GW_REVAP.gw	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	۰	۰/۲	۰/۳۲	۱/۰۰	۰/۱۸
۱۱	V_CH_N2.rte	ضریب مانینگ برای جریان در آبراه اصلی	۰	۰/۳	۰/۳۷	۰/۹۰	۰/۰۴
۱۲	V_SURLAG.bsn	ضریب تاخیر روان‌آب سطحی (ساعت)	۱	۲۴	۰/۴۱	۰/۸۳	۸/۳۱
۱۳	v_SMTMP.bsn	دمای ذوب‌شدن برف (درجه‌ی سانتی‌گراد)	-۵	۵	۰/۴۲	-۰/۸۲	۰/۲۲
۱۴	V_ALPHA_BF.gw	ضریب واکنش جریان آب زیرزمینی	۰	۱	۰/۴۹	-۰/۶۹	۰/۴۷
۱۵	R_SOL_K(..).sol	هدایت آبی خاک (میلی‌متر بر ساعت)	-۰/۸	۰/۸	۰/۵۴	۰/۶۲	-۰/۷۱
۱۶	V_GWQMN.gw	کمینه‌ی جریان در آبخوان برای جریان پایه (میلی‌متر)	۰	۲	۰/۵۹	-۰/۵۳	۰/۷۸
۱۷	V_ESCO.hru	ضریب تصحیح تبخیر از خاک	۰/۰۱	۱	۰/۶۴	۰/۴۶	۰/۰۳
۱۸	V_EPCO.hru	عامل جبران جذب گیاهی	۰/۰۱	۱	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۰۷
۱۹	v_SFTMP.bsn	دمای بارش برف (درجه‌ی سانتی‌گراد)	-۵	۵	۰/۸۲	۰/۲۳	۰/۸۷

r: ضرب‌کردن اندازه‌های موجود سنجه در مقدار به‌دست‌آمده (۱+، ۰)، v: جای‌گزین کردن اندازه‌های موجود با مقدار به‌دست‌آمده

قرار گیرد، و دوم، متوسط فاصله‌ی بین نوارهای بالا و پایین مقدار کوچکی باشد. اگر اندازه‌های مشاهده‌شده با دقت زیادی برداشته شده باشد، قرار گرفتن ۰/۸۰٪ از اندازه‌های مشاهده‌شده بین نوارهای بی‌قطعیتی، و اگر دقت آن کم باشد قرار گرفتن ۰/۵۰٪ از اندازه‌های مشاهده‌شده درون نوارهای بی‌قطعیتی کافی است (عباسپور، ۲۰۱۱). نتایج نشان می‌دهد که جریان شبیه‌سازی شده در این بررسی تا حد انتظار و پذیرفتنی با جریان مشاهده‌ی هم‌خوانی دارد (شکل ۳).

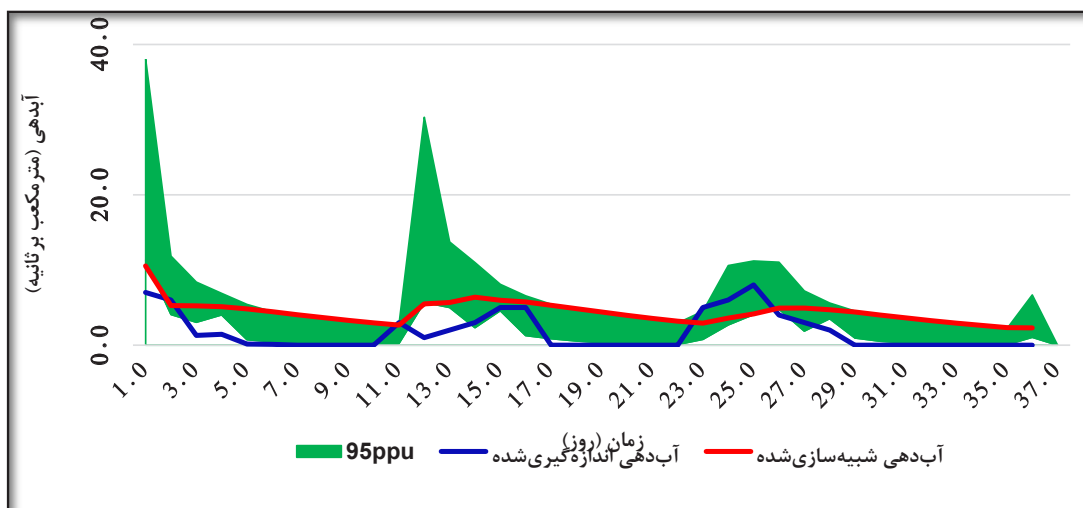
با اجرا کردن تابع هدف ضریب کارآیی نش-ساتکلیف، ۰/۷۷٪ از داده‌های مشاهده‌ی در محدوده‌ی بی‌قطعیتی ۰/۹۵٪ جا می‌گیرد (عامل P) و در همین حال پهنای نسبی این محدوده نسبت به انحراف معیار داده‌ها (عامل R) ۰/۸۳ است که نشان‌دهنده‌ی تعادل تقریبی بین دو عامل P و عامل R است. الگوریتم SUFI-2 ابتدا برای سنجه‌های مدل حدود بزرگی را در نظر می‌گیرد تا تمام اندازه‌های مشاهده‌شده درون نوار بی‌قطعیتی ۰/۹۵٪ قرار گیرد، سپس محدوده‌ی سنجه‌ها را به نحوی تغییر می‌دهد که اولاً بیش‌تر اندازه‌های مشاهده‌شده بین نوارهای بی‌قطعیتی



شکل ۳- نتایج اجرای مدل در دوره‌ی واسنجی (۱۳۸۴-۱۳۹۳). آبی: آبدهی اندازه‌گیری‌شده، قرمز: آبدهی شبیه‌سازی‌شده با مدل با سنجه‌های حساس بهینه‌شده، سبز: ۹۵٪ پراکندگی احتمالی بازه‌ی بی‌قطعیتی با بازه‌ی بهینه‌شده‌ی سنجه‌های حساس.

که نتایج خروجی مدل با خطای پذیرفتنی است و قرارگرفتن ۲۵٪ از اندازه‌های مشاهده‌شده درون نوارهای بی‌قطعیتی کافی است (شکل ۴).

از آن‌جا که نمودار آبدهی مشاهده‌ی و شبیه‌سازی‌شده درون نوار ۹۵٪ بی‌قطعیتی است، نتایج خروجی مدل با خطایی پذیرفتنی به‌دست آمده‌است. اندازه‌های عامل P و عامل R در دوره‌ی اعتبارسنجی (۱۳۹۴-۱۳۹۷) ۰/۷۲ و ۱/۳ به‌دست آمد،



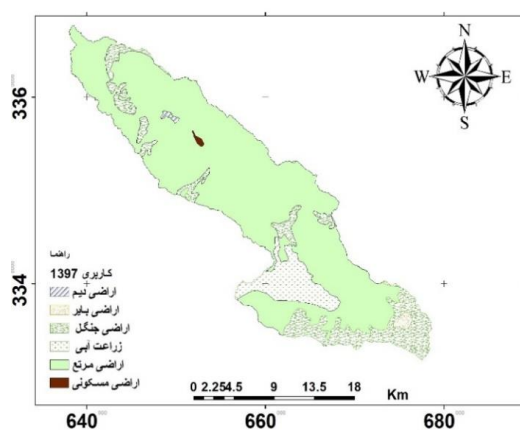
شکل ۴- نتایج اجرای مدل در دوره‌ی اعتبارسنجی (۱۳۹۴-۱۳۹۷).

نقشه‌ی پوشش زمین و روند تغییر در ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ شش رده‌ی کاربری زمین از تصویرها استخراج و ارزیابی صحت نقشه‌ها با نقطه‌های مهار زمینی و روش چهارچوب خطا انجام، و به ترتیب ضریب کاپای ۰/۸۱ و ۰/۸۳ به دست آمد. بیش‌ترین وسعت پوشش زمین در سال ۱۳۸۳ (شکل ۵، الف) در زمین مرتعی با مساحت ۳۵۷۱۳ هکتار (۷۹/۳۴٪ از کل محدوده) بوده‌است. زمین دیم نیز با ۱۱۰ هکتار (۰/۲۴٪ از کل منطقه) کم‌ترین وسعت را پوشش می‌داده‌است. بیش‌ترین وسعت پوشش زمین در ۱۳۹۷ (شکل ۵، ب) در زمین مرتعی با مساحت ۳۴۴۱۷ هکتار (۷۶/۴۶٪ از کل محدوده) بود. زمین دیم نیز با ۱۱۰ هکتار (۰/۲۴٪ از کل محدوده) کم‌ترین وسعت را در منطقه داشت. با آن‌که اندازه‌ی عددی افزایش یا کاهش مساحت پوشش زمین در دو دوره‌ی زمانی می‌تواند ملاکی برای مقایسه‌ی روند تغییر سرزمین باشد، همواره استفاده از شاخص‌های درصدی افزایش و کاهش نتایج مقایسه‌ی بهتری در پی خواهد داشت. برای بررسی روند تغییر پوشش زمین آبخیز بیدگل در فاصله‌ی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷، مساحت‌های استخراج‌شده از نقشه‌های پوشش زمین در این دوره و افزایش و کاهش عددی آن‌ها با یکدیگر مقایسه کرده‌شد (جدول ۳).

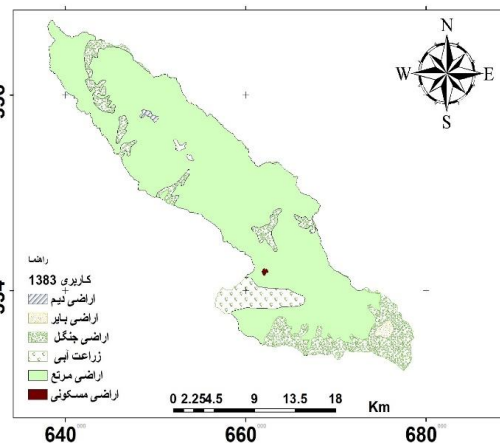
ضریب NS بیانگر اختلاف نسبی بین اندازه‌های مشاهده‌ی و شبیه‌سازی شده است و اندازه‌های نزدیک به ۱ آن بهینه است. در این بررسی ضریب NS در دوره‌ی واسنجی ۰/۷۴ و در دوره‌ی اعتبارسنجی ۰/۶۸ بود که نشان می‌دهد مدل کارآیی خیلی خوبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه داشته‌است. ضریب R^2 پراکندگی بین اندازه‌های پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد و بین ۰ و ۱ متغیر است. اندازه‌های نزدیک به ۱ این معیار نشان‌دهنده‌ی نتایج بسیار خوب در شبیه‌سازی است. ضریب تبیین ۰/۷۷ در دوره‌ی واسنجی و ۰/۶۶ در دوره‌ی اعتبارسنجی بیان‌گر کارآیی پذیرفتنی مدل در شبیه‌سازی کردن اندازه‌ی روان‌آب است. تفاوت در مقدار R^2 و NS در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی ممکن است به دلیل تغییرهایی چون تغییر کاربری زمین و تغییر شرایط آب‌وهوایی (ترسالی یا خشک‌سالی) در دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی باشد. به‌طور کلی اندازه‌های همه‌ی شاخص‌های ارزیابی بیان‌گر دقت پذیرفتنی مدل در شبیه‌سازی جریان خروجی حوزه‌ی بیدگل است. از این رو توانایی مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در این منطقه تأیید می‌شود.

جدول ۳- رده‌های پوشش زمین در ۱۳۸۳ و ۱۳۹۷ در آبخیز بیدگل.

رده‌ی کاربری	۱۳۸۳		۱۳۹۷	
	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)	مساحت (هکتار)	مساحت (درصد)
زمین دیم	۱۱۰	۰/۲۴	۱۱۰	۰/۲۴
زمین بایر	۲۵۸	۰/۵۷	۲۵۸	۰/۵۷
زمین جنگل	۶۷۲۶	۱۴/۹۴	۶۷۲۹	۱۴/۹۵
زراعت آبی	۲۲۰۱	۴/۸۹	۳۳۰۳	۷/۳۴
زمین مرتع	۳۵۷۱۳	۷۹/۳۴	۳۴۴۱۷	۷۶/۴۶
زمین مسکونی	۴	۰/۰۱	۱۹۵	۰/۴۳



(ب)



(الف)

شکل ۵- نقشه پوشش زمین در آبخیز بیدگل در سال ۱۳۸۳ (الف) و ۱۳۹۷ (ب).

سطح زمین مسکونی به اندازه‌ی ۱۹۱ هکتار و زمین آبی به اندازه‌ی ۱۱۰۲ هکتار باعث کاهش سطح زمین مرتعی به اندازه‌ی ۱۲۹۶ هکتار شده‌است.

بر اساس نتایج (جدول ۴)، بیش‌ترین درصد تغییر افزایشی در کاربری زمین مسکونی با ۱۹۱ هکتار و سپس زمین آبی به اندازه‌ی ۱۱۰۲ هکتار بود. در میان تغییر کاهشی نیز بیش‌ترین کاهش در زمین مرتعی با ۱۲۹۶ هکتار بود. استنباط می‌شود که افزایش

جدول ۴- تغییر پوشش زمین در فاصله‌ی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ در آبخیز بیدگل.

نوع تغییر	درصد تغییر	اندازه‌ی تغییر (هکتار)	رده‌ی کاربری
ثابت	۰/۰۰	۰	زمین دیم
ثابت	۰/۰۰	۰	زمین بایر
ثابت	۰/۰۴	۳	زمین جنگل
افزایشی	۵۰/۰۷	۱۱۰۲	زراعت آبی
کاهشی	-۳/۶۳	-۱۲۹۶	زمین مرتع
افزایشی	۴۷۷۵/۰۰	۱۹۱	زمین مسکونی

زمین و پوشش زمین در حوزه با مدل زنجیره‌ی مارکوف برای این دوره به ترتیب در جدول ۵ و ۶ آورده شده‌است. احتمال انتقال کاربری‌ها در بازه‌ی ۰ تا ۱ آورده شده و بی‌واحد است.

مدل‌سازی نقشه‌ی کاربری زمین در ۱۴۱۱ با زنجیره‌ی مارکوف

بررسی مدل زنجیره‌ی مارکوف در بازه‌ی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ چهارچوب احتمال انتقال و چهارچوب مساحت انتقال کاربری

جدول ۵- چهارچوب احتمال انتقال کاربری در بازه‌ی ۱۳۸۳-۱۳۹۷.

کاربری زمین	زمین مسکونی	زمین مرتع	زراعت آبی	زمین جنگل	زمین بایر	زمین دیم
زمین دیم	۰	۰	۰	۰	۰	۱
زمین بایر	۰	۰	۰	۰	۱	۰
زمین جنگل	۰	۰/۰۰۰۵	۰	۰/۹۹۹۵	۰	۰
زراعت آبی	۰/۰۲	۰/۲۲	۰/۷۶	۰	۰	۰
زمین مرتع	۰/۰۰	۰/۹۵	۰/۰۵	۰/۰۰۰۲	۰	۰
زمین مسکونی	۰	۰/۶۲	۰/۳۸	۰	۰	۰

جدول ۶- مساحت انتقال کاربری در بازه‌ی ۱۳۸۳-۱۳۹۷ (هکتار).

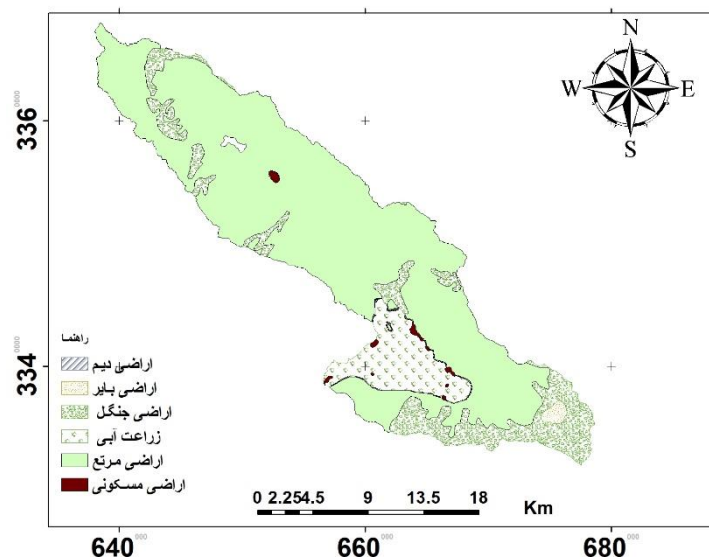
کاربری زمین	زمین مسکونی	زمین مرتع	زراعت آبی	زمین جنگل	زمین بایر	زمین دیم
زمین دیم	۰	۰	۰	۰	۰	۱۰۹/۶۲
زمین بایر	۰	۰	۰	۰	۲۵۸/۹۳	۰
زمین جنگل	۰	۳/۴۲	۰	۶۷۲۶/۵۱	۰	۰
زراعت آبی	۶۲/۸۲	۷۱۷/۴۸	۲۵۲۰/۶۳	۰	۰	۰
زمین مرتع	۱۴۷/۳	۳۲۷۰۲/۳۱	۱۵۶۲/۳۱	۶/۷۵	۰	۰
زمین مسکونی	۰	۱۲۰/۷۸	۷۳/۹۸	۰	۰	۰

نتایج زنجیره‌ی مارکوف در بازه‌ی ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۷ مدل‌سازی شد (شکل ۶). روند تغییر کاربری زمین در فاصله‌ی ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۱ در آبخیز بیدگل در جدول ۷ آورده شده است.

اجرای مدل سلول خودکار و مدل‌سازی کاربری زمین برای ۱۴۱۱ نقشه‌ی کاربری زمین سال ۱۴۱۱ با سلول‌های خودکار و براساس

جدول ۷- تغییر پوشش زمین در فاصله‌ی ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۱ در آبخیز بیدگل.

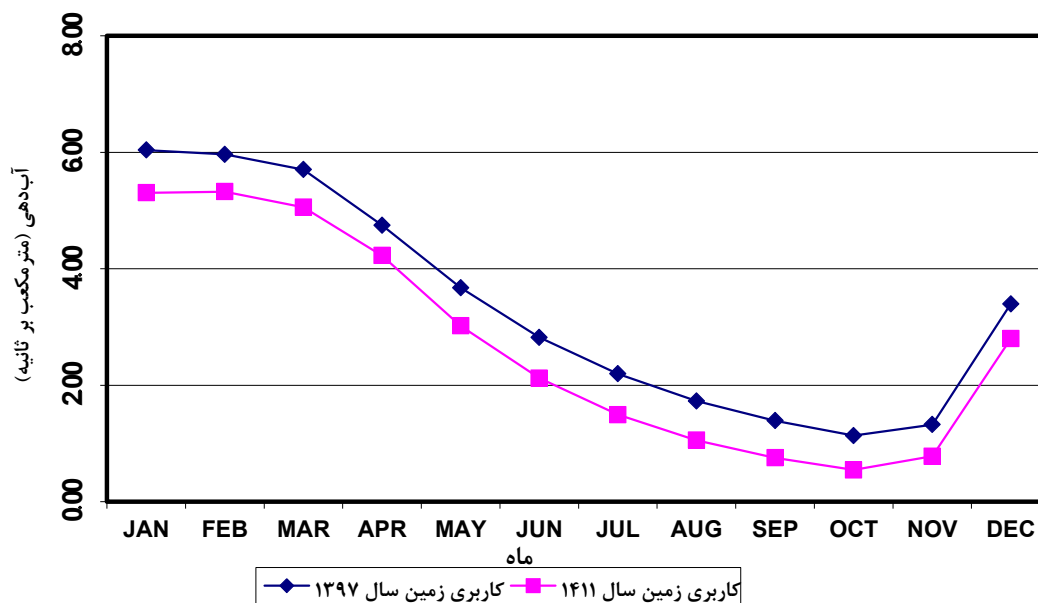
نوع تغییر	درصد تغییر	اندازه‌ی تغییر (هکتار)	رده‌ی کاربری
ثابت	۰	۰	زمین دیم
ثابت	۰/۳۶	۱	زمین بایر
ثابت	۰/۰۷	۵	زمین جنگل
افزایشی	۲۵/۸۵	۸۵۴	زراعت آبی
کاهشی	-۲/۵۴	-۸۷۴	زمین مرتع
افزایشی	۸/۱۸	۱۶	زمین شهری



شکل ۶- نقشه‌ی کاربری زمین پیش‌بینی شده‌ی ۱۴۱۱ با زنجیره‌ی مارکوف و سلول خودکار.

نقشه‌ی خاک، DEM، نقشه‌های مختلف کاربری زمین به مدل معرفی و مدل اجرا شد. مقایسه‌ی نتایج نشان داد که مقدار متوسط سالانه‌ی روان‌آب سطحی در زیرحوزه‌ی بیدگل، برای کاربری سال

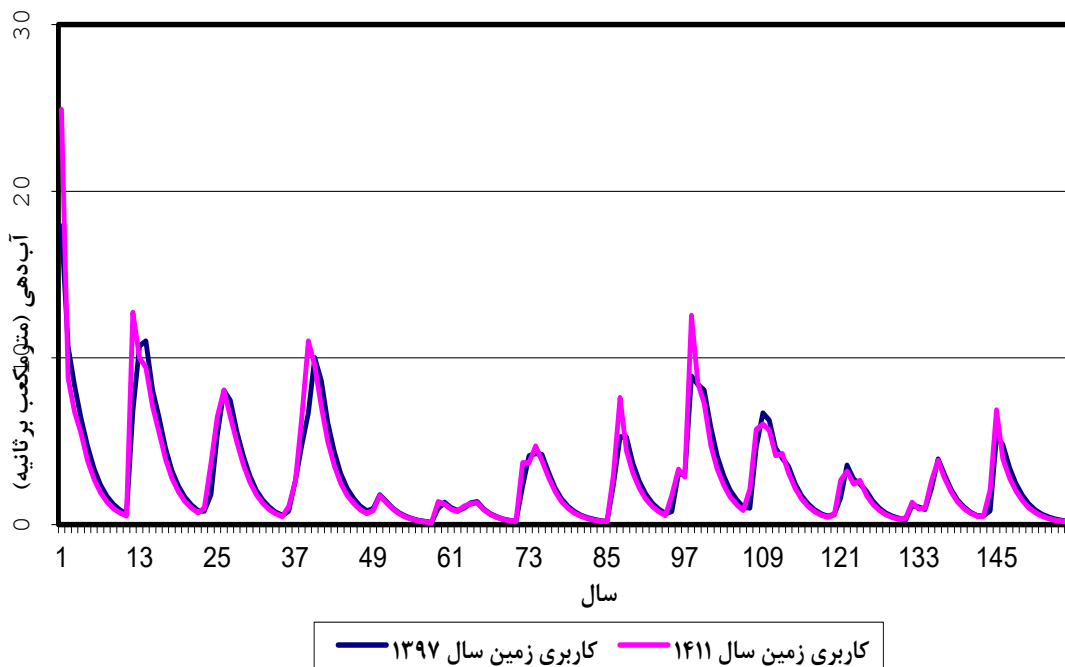
شبیه‌سازی تأثیر تغییر کاربری زمین بر اندازه‌ی روان‌آب در دوره‌ی آینده در آبخیز بیدگل پس از واسنجی و اعتبارسنجی کردن، برای بررسی اثر تغییر کاربری زمین بر روان‌آب آبخیز بیدگل در ۱۳۹۷ و ۱۴۱۱ که کاربری آن پیش‌بینی شد، با ثابت در نظر گرفتن داده‌های اقلیمی،



شکل ۷- میانگین روان آب ماهانه در کاربری‌های مختلف در آبخیز بیدگل.

زمستان (حدود ۱۰٪) بود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گرفت که افزایش ۲۵٪ زمین‌های کشاورزی آبی، و کاهش حدود ۸۰۰ هکتار از زمین‌های مرتعی باعث ۱۹٪ کاهش در روان آب شد.

۱۴۱۱ کم‌تر از ۱۳۹۷ است و به‌طور متوسط ۱۹٪ کاهش نشان می‌دهد (شکل ۶ و ۷). بیش‌ترین اندازهی کاهش روان آب مرتبط با فصل تابستان (حدود ۴۵٪) و کم‌ترین کاهش در ماه‌های



شکل ۸- نمودار آب‌دهی ماهانه در کاربری‌های مختلف در آبخیز بیدگل.

بحث و نتیجه‌گیری

مهم‌ترین مداخله‌ی انسان در چرخه‌ی آب‌شناسی حوزه‌ها، تغییر کاربری زمین است. رعایت‌نکردن تناسب زمین در انتخاب کاربری‌ها و مدیریت غیراصولی کاربری‌ها باعث تغییر کمی و کیفی در روان‌آب حوزه می‌شود. هدف از این پژوهش پیش‌بینی کردن تغییر کاربری زمین و اثر آن بر روان‌آب خروجی آبخیز بیدگل و محور پژوهش مدل‌سازی آب‌شناسی بود. اندازه‌های سنجه‌های آماری ضریب نش-ساتکلیف (NS) ضریب تبیین (R^2)، ضریب تغییر مکان جانبی (عامل P) و ضریب رفتار (عامل R) در مرحله‌ی واسنجی به ترتیب ۰/۷۴، ۰/۷۷، ۰/۸، ۰/۸۳ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۶۶، ۰/۷۲ و ۱/۳ بود، که با توجه به شاخص‌های طیفی آورده شده (نش و همکاران ۱۹۷۰، موریاسی و همکاران ۲۰۰۷، کلت و همکاران ۲۰۱۴، و عباسپور ۲۰۰۹ و ۲۰۱۱) بیان‌گر رضایت‌بخش بودن نتایج واسنجی و اعتبارسنجی و دقت پذیرفتنی مدل سوات در شبیه‌سازی کردن جریان در آبخیز بیدگل است. از این رو توانایی مدل برای شبیه‌سازی جریان ماهانه در این منطقه تأیید می‌شود، و مدل واسنجی شده می‌تواند نتایج شبیه‌سازی آب‌شناسی پذیرفتنی برای کاربری ایجاد کند. بنابراین از این مدل در محدوده‌ی سنجه‌های واسنجی شده برای تخمین زدن روان‌آب ناشی از تغییر در کاربری زمین در حوزه‌ی بیدگل در دوره‌ی ۱۴۱۱-۱۳۹۷ بهره گرفته‌شد. هرچند باید توجه داشت که آبخیز سامانه‌ی پویا است و برخی ویژگی‌های آن که در فرآیند مدل‌سازی آب‌شناسی و بهینه‌سازی دخیل است در طول زمان تغییر می‌کند و از دقت و صحت نتایج مدل واسنجی شده به تدریج کاسته خواهد شد.

مقایسه‌ی نتیجه‌ی اجراکردن مدل در شرایط کاربری زمین سال‌های ۱۳۹۷ (شکل ۵، ب) و ۱۴۱۱ (شکل ۶) نشان داد که مقدار متوسط سالانه‌ی روان‌آب در زیرحوزه بیدگل برای کاربری سال ۱۴۱۱ کم‌تر از ۱۳۹۷ است و به‌طور متوسط ۱۹٪ کاهش نشان می‌دهد (شکل ۷). بیش‌ترین اندازه‌ی کاهش روان‌آب در تابستان (حدود ۴۵٪) و کم‌ترین کاهش در زمستان (حدود ۱۰٪) بود. بدین ترتیب می‌توان نتیجه‌گرفت که افزایش ۲۵٪ زمین‌های کشاورزی آبی و کاهش حدود ۸۰۰ هکتار زمین مرتعی باعث ۱۹٪ کاهش در متوسط جریان سالانه شده، که در تاثیر جریان‌های زیرزمینی در دراز مدت است و با نتایج مولینا و همکاران (۲۰۱۲)، ژان و همکاران (۲۰۱۴)، رحیم‌زاده‌کیوی (۲۰۱۷)، بخشی از نتایج سلمانی و همکاران (۲۰۱۸) بی‌هی و همکاران (۲۰۱۹)، شان شان و همکاران (۲۰۱۹)، و لی و همکاران (۲۰۱۹) هم‌سو است. کاهش متوسط جریان سالانه را این‌گونه می‌توان تحلیل کرد که پوشش گیاهی بارش را جذب و با کاهش‌دادن سرعت و شدت برخورد قطره‌های باران به سطح زمین از شکل‌گیری سریع روان‌آب

جلوگیری می‌کند، به خاک فرصت بیش‌تری برای نفوذ‌دادن آب می‌دهد و باعث افزایش یافتن نفوذ و کاهش یافتن روان‌آب سطحی می‌شود. اما تخریب پوشش و کاربری زمین سبب کاهش یافتن اندازه‌ی جذب گیاهی و نگه‌داشت سطحی بارش، به‌هم خوردگی، کویدگی و تخریب بافت و ساختمان خاک و در نتیجه کاهش یافتن نفوذپذیری و افت شرایط آب‌شناسی خاک (افزایش شماره‌ی منحنی) می‌شود. حاکم‌شدن این شرایط به تدریج کاهش نفوذ زیرسطحی و عمقی بارش‌ها به خاک و تغذیه‌نشدن سفره‌ها و جریان‌های زیرزمینی که منبع اصلی تامین جریان پایه‌ی حوزه و تداوم آن اند را در پی دارد و بنابراین در درازمدت شاهد کاهش جریان پایه، روان‌آب کل (مجموع جریان پایه و روان‌آب سطحی) و اندازه‌های میانگین آن‌ها خواهیم‌بود. این کاهش در ماه‌های تابستان به دلیل نبود بارش و افزایش تبخیر و تعرق ناشی از گرمی هوا بیش‌تر خواهد‌بود. در این پژوهش بیش‌ترین اندازه‌ی کاهش روان‌آب در تابستان (حدود ۴۵٪) و کم‌ترین کاهش در زمستان (حدود ۱۰٪) بود.

از سوی دیگر بافت کردن شرایط آب‌شناسی خاک و افزایش یافتن ضریب روان‌آب، در هر رخداد بارش روان‌آب سطحی بیش‌تری تولید می‌شود و اندازه‌های آب‌دهی اوج خواهد افزایش یافت (تاکید می‌شود که در هر رخداد بارش روان‌آب، نه در جریان درازمدت حوزه) که هرچند موضوع این پژوهش نیست اما ذکر آن در تکمیل تحلیل نتایج ضروری به‌نظر می‌رسد و یافته‌های آنبا و همکاران (۲۰۱۷)، نادری و همکاران (۲۰۱۸)، بخشی از نتایج سلمانی و همکاران (۲۰۱۸) و فاضلی‌فارسانی و همکاران (۲۰۱۹) نیز همین نکته را نشان داد. مدل پیش‌بینی تغییر کاربری زمین و پوشش حوزه نشان داد که بیش‌ترین درصد تغییر در افق ۱۴۱۱ در زمین کشاورزی آبی به اندازه‌ی ۲۵٪ (افزایش) بوده‌است. افزایش سطح زمین کشاورزی بی‌داشتن روی کرد توسعه‌ی پایدار و حفظ منابع پایه‌ی آب و خاک هم باعث برداشت غیرمجاز از منابع آب و افزایش تبخیر و تعرق شده است و هم در درازمدت به علت تخریب و فرسایش و کاهش نفوذپذیری خاک، جریان‌های زیرزمینی به‌خوبی تغذیه نشده است. نتیجه‌ی این دو اثر کاهش بیش از پیش آب‌دهی پایه‌ی حوزه خواهد‌بود.

شناسایی و تفکیک اثرهای پیچیده‌ی توسعه‌ی زمین کشاورزی بر روان‌آب حوزه نیازمند پژوهش‌های جداگانه است. تحلیل حساسیت در این تحقیق نشان داد که حساس‌ترین سنجه، شماره‌ی منحنی برای شرایط رطوبتی (III) است که تابعی از ویژگی‌های خاک، کاربری زمین و پوشش گیاهی حوزه است و تغییر آن‌ها سهم زیادی نسبت به سایر عامل‌های موثر در چرخه‌ی آب‌شناسی حوزه در افق بررسی شده خواهد‌داشت. بنابراین با توجه به این که کاربری زمین و پوشش گیاهی در

که دقت و کارایی آن در این تحقیق به تایید رسید و می‌تواند مدلی پذیرفتنی از حوزه برای ارزیابی کردن اثرهای آب‌شناسی گزینه‌های گوناگون مدیریتی در قالب حالت‌های مختلف کاربری و پوشش و یا مدیریت زمین به‌دست دهد. پیشنهاد می‌شود برای تکمیل نتایج این پژوهش، تاثیر هم‌زمان تغییر کاربری و پوشش زمین با پدیده‌های خشک‌سالی و تغییر اقلیم در حوزه‌ی بیدگل بررسی شود.

قالب برنامه‌ی آمایش سرزمین مدیریت‌کردنی است و طرح‌های مربوط مانند حفاظت، قرق و احیای مرتع‌ها، جنگل‌کاری و توسعه‌ی فضای سبز، تبدیل زمین دیم کم‌بازده به جنگل‌های دست‌کاشت و یا مرتع (بسته به توانایی منطقه)، اصلاح الگوی کشت و آیش در زمین کشاورزی و مکان‌یابی صحیح توسعه‌ی منطقه‌های مسکونی کم‌هزینه‌تر است، اجرای آن‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت آبخیز در جهت حفظ منابع آب و خاک اهمیت بسیار ویژه‌ی دارد. در این راه، سوات ابزاری انعطاف‌پذیر و قوی است

- Abbaspour KC, Yang J, Maximov I, Siber R. 2007. Modelling of hydrology and water quality in the Pre-Alpine/Alpine Thur Watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*. 333(2-4): 413–430.
- Abbaspour K. 2009. SWAT-CUP2; SWAT Calibration and Uncertainty Programs user manual.
- Abbaspour KC. 2011. SWAT-CUP4: SWAT Calibration and Uncertainty Programs –A User Manual. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag.
- Alimohammadisrab A, Mottakan AA, Mirbagheri B. 2009. Evaluation of the efficiency of cellular automata model in simulating urban development in the southwestern suburbs of Tehran. *Journal of Planning and space planning*. 14(2): 81–102. (In Persian).
- Anaba LA, Banadda N, Kiggundu N, Wanyama J, Engel B, Moriasi D. 2017. Application of SWAT to assess the eEffects of land use change in the Murchison Bay Catchment in Uganda. *Computational Water, Energy, and Environmental Engineering*. 6(1): 24–40.
- Anand J, Gosain AK, Khosa R, 2018. Prediction of land use changes based on land change modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga Basin to land use change using the SWAT Model. *Science of the Total Environment*. 644: 503–519.
- Arnold JG, Srinivasan R, Mutiah RS, Williams JR. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resource Association*. 34(1): 73–89.
- Azizi Ghalati S, Rangzan K, Sadidi J, Heydarian P, Taghizadeh A. 2016. Predicting locational trend of land use changes using CA-Markov model (Case study: Kohmare Sorkhi, Fars Province). *RS & GIS Techniques for Natural Resources*. 7(1): 59–71. (In Persian).
- Bosch JM, Hewlett JD. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology*. 55(1-4): 3–23.
- Chang CL, Chang JC. 2006. Markov model and cellular automata for vegetation. *Journal of Geographical Research*. 45(1): 45–57.
- Estman JR. 2006. IDRISI Andes Tutorial. ClarkLabs, Clark University, Worcester, Ma, 284 p.
- Fars Meteorological Bureau. 2018. Personal Communication.
- Fathizad H, Zare M, Karimi H, Khanamani A. 2018. Spatio-temporal modeling of landscape changes using Markov Chain compilation model and automated cells (Case Study: Arid and Semi-Arid Area Dehloran). *Arid Biome Scientific and Research Journa*. 8(1): 11–26. (In Persian).
- Fazeli Farsani A, Ghazavi R. 2019. Investigating the effect of land use changes on surface runoff using SWAT model. *Journal of Water and Soil Conservation*. 25(6): 191–206. (In Persian).
- Hathout S. 2002. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *Journal of Environmental Management*. 66(3): 229–238.
- Iran National Cartographic Center. 2018. Personal Communication.
- Jenerette Darrel G, Wu J. 2001. Analysis and simulation of land use change in the central Arizona-Phonix region, USA. *Landscape Ecology*. 16(7): 611–626.
- Jensen JR. 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspec-

- tive. Pearson Prentice Hall, 592 p.
- Khoshgoftar M, Talei M, Malekpour M. 2010. Spatiotemporal Modeling of urban Sprawl: An approach based on integration Cellular Automata and Markov Chains. Proceeding of Geomatics 89, National Conference and Exhibition, 9 p.
- Kult J, Choi W, Choi J. 2014. Sensitivity of the snowmelt runoff model to snow covered and temperature inputs. *Applied Geography*. 55: 30–38.
- Lambin EF. 1997. Modeling and monitoring land cover changes processes in tropical regions. *Progress in physical geography*. 21(3): 357–393.
- Li F, Zhang G, Li H, Lu W. 2019. Land Use Change Impacts on Hydrology in the Nenjiang River Basin, northeast China. *Forests*. 10(6): 1–18.
- Mango LM, Melessel AM, McClain ME, Gann D, Setegn S.G. 2011. Land use and climate change impacts on the hydrology of the upper Mara River Basin, Kenya: Results of a modeling study to support better resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*. 15(7): 2245–2258.
- Marcos HC, Aurelie B, Jeffrey AC. 2003. Effects of large-scale changes in land cover on the discharge of the Rocantins River, Southeastern Amazonia. *Journal of Hydrology*. 283(1-4): 206–217.
- Molina A, Vanacker V, Balthazar V, Mora D, Govers G. 2012. Complex land cover change, water and sediment yield in a degraded Andean environment. *Journal of Hydrology*. 472-473: 25–35.
- Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Binger RL, Harmel RD, Veith T. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 50(3): 885–900.
- Mustafa YM, Amin MSM, Lee TS, Shariff A.R.M. 2005. Evaluation of land development impact on a tropical watershed Hydrology Using Remote Sensing and GIS. *Journal of Spatial Hydrology*. 5(2):16–30.
- Naderi M, Ilderomi A, Noori H, Agha Amin S, Zeinivand H. 2018. The impact of land use and climate change on watershed runoff using swat model (Case study: Garin watershed). *Journal of Hydrogeomorphology*. 4(14): 23–42. (In Persian).
- Naef F, Simon S, Markus W. 2002. A process based assessment of the potential to reduce flood runoff by land use change. *Journal of Hydrology*. 267(1-2): 74–79.
- Naserabadi F, Esmali Ouri A, Akbari H, Rostamian R. 2014. Sensitivity analysis of SWAT model in Ghareh Su watershed, Ardabil. *Watershed Engineering and Management*. 5)4(: 255 – 265. (In Persian).
- Nash. JE, Sutcliffe JV. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I, A Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*. 10(3):282–290.
- Neitch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR. 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation. Blackland Research Center, Temple, Texas, 494 p.
- Norris JR. 1997. Markov Chains. Cambridge University press, 237 p.
- Omani N, Tajrishi M, Abrishamchi A. 2007. Simulation of river flow using gis and swat models. Seventh International Seminar on River Engineering, Ahvaz, Khuzestan Water and Power Organization, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- Palamuleni LG, Ndomba PM, Annegarn HJ. 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.
- Parker DC, Manson SM, Janssen MA, Hoffmann MJ, Deadman P. 2003. Multi agent systems for the simulation of land use and land cover change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers*. 93(2): 314–337.
- Peel MC, McMahon TA, Finlayson BL, Watson FGR. 2002. Implications of the relationship between catchment vegetation type and variability of annual runoff. *Hydrological Processes*. 16(15): 2995–3002.
- Rahimzadeh Kivi M. 2017. Evaluation of the impacts of land use change on the amount of runoff in the watershed using a combination of SWAT hydrological model and remote sensing technique (Case study: Lorestan, Aleshtar basin). Master Thesis, Faculty of Agriculture, Malayer University, 108pp. (In Persian).
- Regional Water Company of Fars. 2018. Personal communication.
- Rezazadeh MS, Bakhtiari B, Abbaspour K, Ahmadi M. 2018. Simulation of Runoff, Sediment, and Evapotranspiration through Management Scenarios to Reduce Sediment Load Using SWAT Model. *Iran-Watershed Management Science and Engineering*. 12(40): 41–50. (In Persian).
- Sakye Y, Dejhkam S. 2011. Cellular automata method in environmental modeling land use changes. Fifth National Conference and Exhibition on environmental Engineering. Tehran, Iran. (In Persian).
- Salmani H, Bardisheikh V, Salmanmahiny A, Onagh M, Fathabadi A. 2018. Evaluation of hydrological response in Tilabad watershed of Golestan for future periods as affected by the predicted land use change. *Journal of Ecohydrology*. 5(2): 399–418. (In Persian).
- Salmani H, Mohseni Saravi M, Rouhani H, Salajegheh A. 2014. Evaluation of the efficiency of SWAT model and Parasol program in flow simulation (Gazaghli watershed in Golestan province). *Journal of watershed management science*. 7(22): 1 – 14.)In Persian.(
- Salmanmahiny A, Kamyab H. 2012. Applied remote sensing and GIS with Idrisi. 2nd Edition Publication of Mehrmahdis. Tehran, Iran, 596. (In Persian).
- Setegn SG, Srinivasan R, Dargahi B. 2008. Hydrological modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia Using SWAT Model. *The Open Hydrology Journal*. 2: 49–62.
- Shanshan X, Mingzhou Q, Shengyan D, Qinghe Z, Huimin L, Cangyu L, Xiaojie Y, Yanyan L, Jiaxin Y, Xiaoyu J. 2019. The impacts of climate variation and land use changes on streamflow in the Yihe River, China. *Water*. 11(5): 1–18.
- Teklay A, Dile YT, Setegn SG, Demissie SS, Asfaw DH. 2019. Evaluation of static and dynamic land use data for watershed hydrologic process simulation: A case study in Gummara Watershed, Ethiopia. *Catena*. 172: 65–75.
- Tolessa LO, El-Kadi AI, Dulai H, Ghazal KA. 2016. Assessment of climate change impacts on water balance components of Heeia Watershed in Hawaii. *Journal of Hydrology, Regional Studies*. 8(2016): 182–197.
- Wang G, Liu J, Kubota J, Chen L. 2007. Effects of land-use changes on hydrological processes in the middle basin of the Heihe River, northwest China. *Hydrological Processes*. 21(10): 1370–1382.
- Yi H, Jinxi S, Yiyi H, Xiang T, Yan Z. 2019. Impacts of different weather conditions and landuse change on runoff variations in the Beiluo River Watershed, China. *Sustainable Cities and Society*. 50(2019), <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101674>.
- Zare Garizi A, Sheikh V, Sadoddin A, Mahiny A. 2012. Simulating the spatiotemporal changes of forest extent for the Chehelchay Watershed (Golestan Province) using integrated CA-Markov Model. *Iranian Journal*

of Forest and Poplar Research. 20(2): 273–285.
(In Persian).
Zhan CS, Jiang SS, Sun FB, Jia YW, Niu CW, Yue
WF. 2014. Quantitative contribution of climate

change and human activities to runoff changes
in the Wei River basin, China. Hydrology and
Earth System Sciences. 18(8): 3069–3077.



Watershed Management Research

VOL. 33, No. 2, Ser. No: 127, Summer 2020, pp. 31-51
DOI: 10.22092/wmej.2019.126983.1242

An Assessment of the Effect of Land Use Change on the Runoff Using the Markov Chain and Cellular Automata in the Bidgol Watershed, the Province of Fars

Hadi Masoomi

Ph.D. candidate, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Arash Malekian

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Ali Salajegheh

Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

Aliakbar Nazari Samani

Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Iran

*Corresponding Author Email: malekian@ut.ac.ir

Received: 20 July 2019 Accepted: 17 December 2019

Abstract

The present study was conducted to predict land use change and its impact on runoff of the Bidgol Watershed in the Fars Province in 2032. The SWAT hydrological model was first calibrated using the hydrometeorological collected data during the 2004 to 2013 period based on the SUFI-2 algorithm and validated using the 2014 to 2018 data. The values of the statistical parameters of the Nash – Sutcliffe model efficiency coefficient (NS), coefficient of determination (R^2), deflection amplification factor (P-factor) and the response modification factor (R-factor) at the calibration stage were 0.74, 0.77, 0.8, 0.83, respectively while for the validation stage, the obtained values were 0.68, 0.66, 0.72 and 1.3, respectively. Then Landsat satellite images of 2004 and 2018 were used and following the necessary steps, the images were classified into six main land use classes. Using the Markov Chain method and Cellular Automata based on the land use maps of 2004 and 2018, the land use forecasting map of 2032 was prepared. The land use maps were imported into the SWAT calibrated model and the impact of land use change from 2018 to 2032 on the basin runoff was predicted. The results showed that the highest change of land use will be related to the conversion of rangelands into agricultural land, and the highest percentage of change will be related to the residential land use. In response to these changes, the annual average runoff value of 2032 represents a 19% decrease as compared to that of 2018.

■ **Keywords:** Bidgol watershed, Land use, Markov chain, SWAT model ■