دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی تأثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر روی مولفه‌های بیلان آبی با استفاده از مدل WetSpa (مطالعه موردی: حوزه آبخیز زیارت استان گلستان)

نرگس جاویدان[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲]، رعنا جاویدان[۳]، مجید اونق[۴] و چوقی بایرام کمکی[۵]

۱- دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: narges.javidan20@gmail.com)
۲، ۴ و ۵- دانشیار، استاد و استادیار، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست کرج
تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۵

چکیده

هرساله با رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، کاربری اراضی و پوشش زمین در حال تغییر است. انواع کاربری اراضی اثرات ویژه‌ای بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی حوزه آبخیز دارند. مدل‌های شبیه‌سازی قابلیت پیش‌بینی سیل، بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر روی سیل و درنتیجه مدیریت حوزه آبخیز را دارا هستند. در این تحقیق به ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی تحت سناریوهای جنگل‌زدایی و افزایش مناطق مسکونی و ترکیب این دو سناریو (جنگل‌زدایی+ مناطق مسکونی) بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی حوزه زیارت استان گلستان با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومترمربع با استفاده از مدل WetSpa پرداخته شد. به‌منظور اجرای مدل WetSpa از داده‌های ساعتی هیدرومتئورولوژی از سال ۱۳۸٦ تا سال ۱۳۹۰ شامل داده‌های بارش، تبخیرتعرق و دما به‌عنوان داده ورودی مدل استفاده شد. نتایج نشان داد بین هیدروگراف‌های سیل شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی انطباق خوبی وجود داشته است. سپس سناریوهای جنگل‌زدایی، افزایش مناطق مسکونی و جنگل‌زدایی به همراه افزایش مناطق مسکونی در محیط GIS طراحی و با استفاده از مدل واسنجی شده شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان داد که مقادیر جریان‌های سطحی، زیرسطحی و آب زیرزمینی و رواناب کل در سناریوهای اعمال شده افزایش یافته است. بیشترین تغییر مربوط به مولفه رواناب سطحی می‌باشد که از مقدار ۵/۲ میلی‌متر در سناریوی اول به مقدار ۱۸ میلی‌متر در سناریوی چهارم (مجموع افزایش مناطق مسکونی و جنگل‌زدایی) افزایش یافته است. همچنین کاهش زبری سطح زمین و میزان تاج پوشش منجر به کاهش میزان تبخیر و تلفات برگابی در حوزه مطالعاتی گردیده است.

واژه‌های کلیدی: بیلان آبی، حوزه آبخیز زیارت استان گلستان، سناریوهای تغییر کاربری اراضی، مدل WetSpa

مقدمه

خطر سیل از مهم‌ترین خطرات برای زندگی بشری و دارایی‌های آنها به شمار می‌رود. تغییرات کاربری اراضی که ناشی از افزایش جمعیت و رفاه اقتصادی می‌باشد در دهه‌های اخیر سبب افزایش وقوع سیل بوده است (۲۱). تغییرات کاربری اراضی فرایندهای هیدرولوژیکی مانند نفوذ، آب‌های زیرزمینی، آب پایه و رواناب سطحی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۲).

در حوزه زیارت که در بالادست شهر گرگان قرارگرفته است. افزایش جمعیت باعث تغییر کاربری اراضی شده است که بر چرخه هیدرولوژیک جریان آب و افزایش سیل تأثیر گذاشته است. تغییر کاربری اراضی، سبب هدررفت کربن آلی، تخریب ساختمان خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی و در نهایت بروز خسارات شدید اجتماعی، اقتصادی و مالی می‌شود، بنابراین ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی به‌منظور مدیریت مناسب و جلوگیری از تخریب و هدررفت خاک در مناطق مختلف امری ضروری است (۲۴). ارزیابی اثرات کاربری اراضی بر واکنش‌های هیدرولوژیکی منطقه مثل رواناب و مؤلفه‌های بیلان آبی حوزه از مباحث مهم مورد بحث در مدل‌سازی هیدرولوژیکی و سرفصل بسیاری از تحقیقات اخیر را تشکیل می‌دهد (۱۴). در پیش‌بینی وضع هیدرولوژی، مؤلفه‌های بیلان آبی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (۱۵). بیگر و همکاران (۷) برای بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی، مدل هیدرولوژیکی نیمه‌توزیعی SWAT را برای مدل‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی بر روی بیلان آب در حوزه ایکی ژیانگژی[۱] در کشور چین استفاده کردند. با مقایسه هیدروگراف‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده و نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق، مشخص شد که مدل کارایی خوبی در شبیه‌سازی اثر تغییر کاربری اراضی در این حوزه داشته است و تغییر کاربری اراضی باعث تغییر مؤلفه‌های بیلان آبی حوزه شده است.

همچنین مدل SWAT، جهت بررسی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر آبدهی سالانه در بالادست حوزه رودخانه مارا[۲] واقع در کنیا از آفریقا توسط مانگو و همکاران (۱۶) مورداستفاده قرار گرفت. نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق، بیانگر این موضوع بود که سناریوهای تغییر کاربری اراضی از جنگل به مراتع و کشاورزی باعث کاهش آبدهی حوزه و افزایش ناگهانی دبی پیک می‌شود. به‌طورکلی نتایج استفاده از این مدل با دقت‌قابل قبول ۲/۸۹٪ از شاخص کاپا بوده است. نتایج این تحقیق جهت برنامه‌ریزی برای مدیریت بهتر آمایش سرزمین در بالادست حوزه و مدیریت منابع آب در حوزه کارایی قابل‌توجهی خواهد داشت.

نظرگیکلو به بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر رفتار سیلاب با استفاده از مدل WetSpa در حوزه آبخیز اهرچای پرداختند. در این تحقیق ابتدا هیدروگراف با توجه به معیار ناش- ساتکلیف چند معیاره با دقت خوب ۰/۶۴ برای دوره واسنجی و ۰/۵۸ برای دوره اعتبارسنجی شبیه‌سازی شد. در بررسی نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای مدل در این حوزه پارامتر افت آب زیرزمینی (Kg) حساس‌ترین پارامتر مدل شناسایی شد. از طرف دیگر بررسی نتایج بیلان آبی حاصله از مدل نشان داد، که مدل پارامترهای هیدرولوژیکی توزیعی، مولفه‌های بیلان آبی نظیر تبخیر، رواناب (سطحی،

1- Xiangxi
2- Mara

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

زیرسطحی، زیرزمینی) و تلفات اولیه را به خوبی برآورد نموده است. سپس مدل برای بررسی تاثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی استفاده شد، که شامل سناریو خوش‌بینانه با افزایش سطح جنگل و اراضی کشاورزی و سناریو بدبینانه که اراضی فوق به اراضی بایر و مرتع تغییر وضعیت داده است. نتایج نشان داد که در سناریو بدبینانه رواناب کل و دبی اوج و همچنین مولفه‌های بیلان آب از جمله رواناب افزایش پیدا کرد (۱۹).

محمدی و همکاران به بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر تولید رواناب با استفاده از مدل WetSpa در حوزه آبخیز باغه‌سالیان در استان گلستان پرداختند. نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۹۱ با استفاده از یک روش ترکیبی و تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شد. نتایج ارزیابی کارایی مدل با استفاده از معیار نش–ساتکلیف برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۶۱ و ۰/۵۶ به‌دست آمد. در نتیجه تغییرات کاربری اراضی از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۱، رواناب کل، رواناب سطحی و دبی اوج افزایش یافته است. در صورتی که نسبت افزایش در رواناب سطحی نسبت به کل رواناب بیشتر بوده است (۱۷). بهره‌مند در بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر میزان رواناب سطحی و هیدروگراف با استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی WetSpa، اثر جنگل‌کاری بر سیل را در حوزه رودخانه هورنارد و مارگسانی در کشور اسلواکی شبیه‌سازی کرد. در این تحقیق ابتدا هیدروگراف با توجه به معیار ناش– ساتکلیف چند معیاره با دقت خوبی بین ۰/۷۵ تا ۰/۸۰ درصد شبیه‌سازی شد. نتایج بیانگر این است که مدل از قابلیت خیلی خوبی جهت بررسی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر سیل، شبیه‌سازی هیدروگراف‌های ساعتی و روندیابی جریان رودخانه برخوردار می‌باشد (۵). در آبخیز استینسیل[1] لوکزامبورگ، مدل WetSpa به‌منظور پیش‌بینی رواناب ناشی از رگبارها در کاربری‌های مختلف توسط لیو و همکاران استفاده شد که مدل رواناب مستقیم را با دقت ۰/۸۳ بر اساس معیار ارزیابی نش– ساتکلیف برآورد کرد. با در نظر گرفتن سه سناریو مختلف گسترش اراضی شهری، جنگل‌زدایی و جنگل‌کاری مشخص شد که گسترش اراضی شهری و جنگل‌زدایی اثر زیادی در افزایش دبی پیک، حجم سیلاب و زمان تا اوج سیلاب دارند. رواناب مستقیم ناشی از رخدادهای سیلابی در نواحی شهری در مقایسه با رواناب‌های ناشی از کاربری‌های مختلف چشمگیرتر بود (۱۴). الفرت و بورمن نقش کاربری اراضی بر فرایندهای هیدرولوژیکی حوزه Hunt در شمال آلمان را با استفاده از مدل توزیعی WaSim-ETH بررسی کردند و نتایج نشان داد با افزایش مناطق مسکونی رواناب و جریان کل افزایش یافته است (۱۰). توکلی و همکاران تاثیر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی (رشد شهری) را با استفاده از مدل WetSpa در حوزه GroteNet در بلژیک بررسی کردند. نتایج نشان داد اثر هم‌زمان این دو عامل تاثیر زیادی در افزایش فراوانی سیلاب‌ها در زمستان و افزایش جریاهای حد پایین در تابستان دارد (۲۳).

بهره‌مند و دی‌اسمت (۴) در حوزه آبخیز توریسا در اسلواکی با استفاده از اتوکالیبراسیون، پارامترهای مدل WetSpa را تخمین زده و سپس آنالیز حساسیت و آنالیز پیش‌بینی انجام دادند. نتایج نشان داد که ضریب اصلاحی تبخیر بیشترین حساسیت را دارد و عدم قطعیت پارامترها و آنالیز پیش‌بینی بینش مناسبی از مجموعه پارامترها و بازه‌های آن‌ها به ما داده و عدم قطعیت پارامترهای مدل منجر به سطح معنی‌داری از عدم قطعیت پیش‌بینی نمی‌شود، که این تحقیقات بیانگر توانایی بالای مدل WetSpa در شبیه‌سازی و روندیابی جریان است. آذین‌مهر به شبیه‌سازی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر هیدروگراف جریان در حوزه آبخیز دینور در استان کرمانشاه پرداخت. نتایج شبیه‌سازی حاصل از کاربرد مدل در حوزه، دقتی معادل ۰/۶۱ بر اساس معیار ضریب ناش– ساتکلیف نشان می‌دهد. نیز با توجه به عدم قطعیت مدل، نتایج پیش‌بینی اثرات سناریوهای تغییر کاربری اراضی در هیدروگراف خروجی حوزه معتبر اثبات شد (۱). یعقوبی به شبیه‌سازی جریان رودخانه حوزه آبخیز چهل‌چای با استفاده از مدل هیدرولوژیک– توزیعی WetSpa و بررسی کارایی مدل جهت پیش‌بینی هیدروگراف جریان پرداخت. نتایج شبیه‌سازی حاکی از قابلیت مدل در پیش‌بینی هیدروگراف‌های روزانه با دقت ۰/۶۸ بر اساس معیار نش– ساتکلیف است (۲۵). در حوزه آبخیز زیارت به دلیل تبدیل اراضی جنگلی و زراعی به اراضی مسکونی، سطح اراضی مسکونی افزایش یافته است، که باید اثر این تغییرات بر مولفه های بیلان آبی و سایر مشکلات حاصله بررسی شود؛ بنابراین، هدف از انجام این تحقیق، استفاده از مدل هیدرولوژیکی توزیعی مکانی WetSpa به‌منظور پیش‌بینی اثرات سناریوهای جنگل‌زدایی و توسعه مناطق مسکونی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی حوزه آبخیز زیارت است تا مدیران بتوانند با کمک نتایج حاصله از این پیش‌بینی‌ها، تصمیمات مناسبی برای حل مشکل اصلی این حوزه یعنی توسعه مناطق مسکونی و جنگل‌زدایی اتخاذ نمایند.

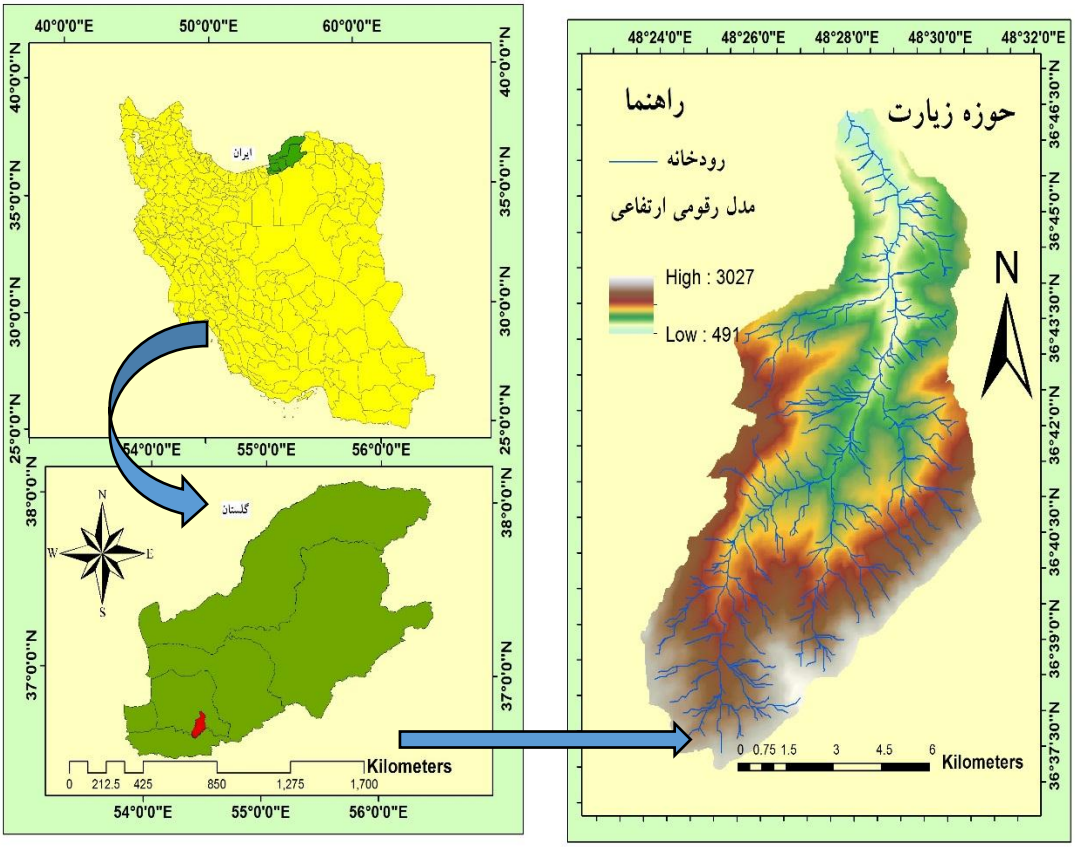
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوزه زیارت می‌باشد که با مساحت ۹۵/۱۵ کیلومترمربع و محیط ۴۰/۵۱ کیلومتر در استان گلستان، شهرستان گرگان بین طول جغرافیایی ۵۴ درجه، ۲۳ دقیقه و ۵۳ ثانیه تا ۵۴ درجه،۳۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۶ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه و ۵۹ ثانیه شمالی قرارگرفته است. حداکثر ارتفاع حوزه ۳۳۰۰ متر و شیب متوسط حوزه ۴۱/۴ درصد و بارندگی متوسط سالانه، ۷۵۰ میلی‌متر است. این حوزه دارای اقلیم آب و هوایی معتدل تا سرد کوهستانی بوده و بیشترین میزان بارندگی در فصول سرد سال (پاییز و زمستان) رخداده و میانگین ضریب رواناب در حوزه ۰/۵۴ است. در شکل ۱ موقعیت حوزه زیارت در استان گلستان و کشور نشان داده‌شده است.

1- Steinsel

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



شکل ۱- موقعیت حوزه زیارت در کشور و استان گلستان
Figure 1. Location plan showing the study area, the Ziarat watershed

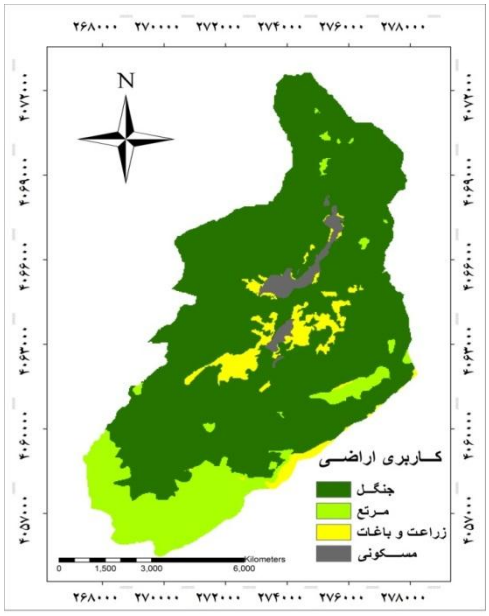
جمع‌آوری اطلاعات‌پایه حوزه

نقشه کاربری اراضی منطقه که در اداره منابع طبیعی استان گلستان تهیه‌شده و پس از مطالعه و بازدید از منطقه و بررسی با نرم افزار Google Earth با پوشش منطقه تطبیق داده شده است. (شکل ۲). نقشه بافت خاک حوزه آبخیز زیارت که توسط شرکت مشاور پژوهاب شرق تهیه شده است. (شکل ۳). نقشه مدل رقومی ارتفاعی (شکل ۴) که توسط شرکت مشاور پژوهاب شرق تهیه شده است.

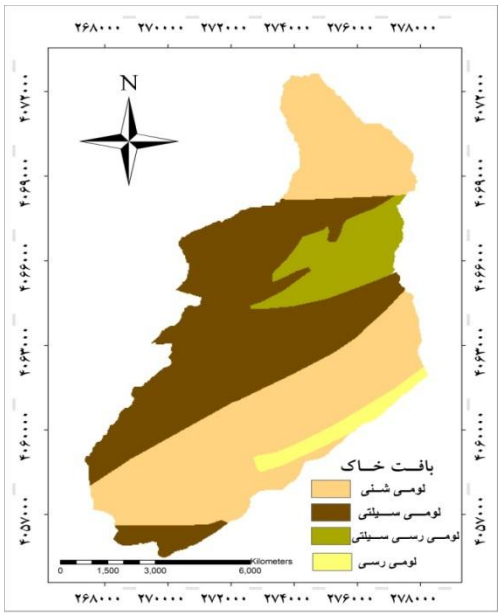
داده‌های اقلیمی

جهت استخراج و تحلیل پارامترهای آب و هوایی، نیاز به آمار و اطلاعات ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد. در ایران تهیه و نگهداری ایستگاه‌های هواشناسی بر عهده سازمان هواشناسی کشور و امور مطالعات شرکت‌های سهامی آب منطقه‌ای وزارت نیرو می‌باشد. در این تحقیق، از آمار چهار ساله داده (۹۰-۸۶) برای داده‌های بارش از دو ایستگاه باران‌سنجی آبگیر و نهارخوران و داده‌های تبخیر و دما از ایستگاه تبخیرسنجی آبگیر و دبی از ایستگاه نهارخوران در پایه زمانی ساعتی استفاده گردید. در این تحقیق تمامی این اطلاعات از شرکت آب منطقه‌ای تهیه شد. شکل ۵ موقعیت ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.

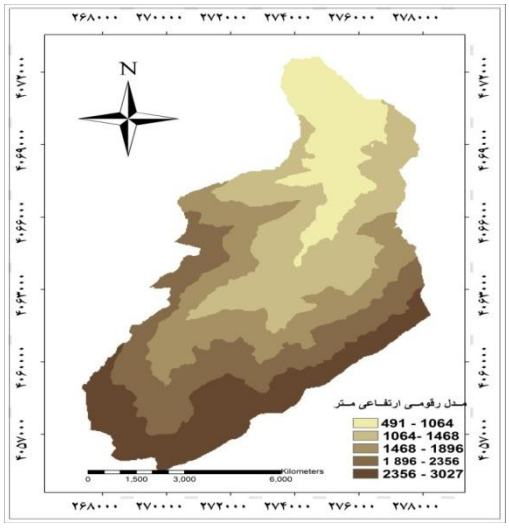
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



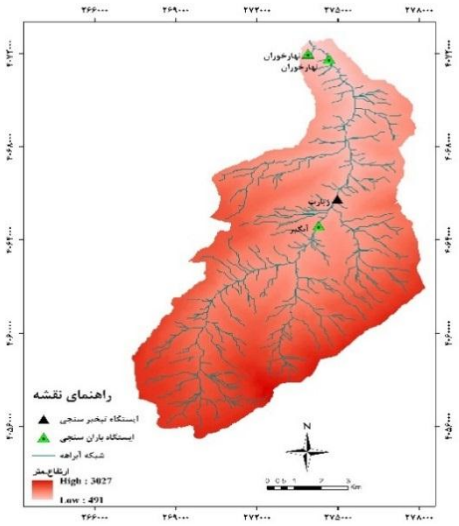
شکل ۲- کاربری اراضی حوزه زیارت
Figure 2. Land use map of Ziarat Watershed



شکل ۳- بافت خاک حوزه زیارت
Figure 3. Soil type map of Ziarat Watershed



شکل ۴- نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوزه زیارت (شرکت مشاور پژوهاب شرق، ۱۳۹۰)
Figure 4. Digital Elevation Model of Ziarat Watershed(m)



شکل ۵- نقشه موقعیت ایستگاه‌های حوزه زیارت
Figure 5. Location of gauging stations of Ziarat Watershed

مدل WetSpa

مدل WetSpa[1] یک مدل هیدرولوژیکی توزیعی برای ارتباط آب و انرژی بین خاک، گیاهان و اتمسفر است (۳). این مدل اولین بار توسط ونگ و همکاران (۲۶) ابداع و سپس توسط دی اسمت و همکاران (۸) و لیو و همکاران (۱۳) توسعه پیداکرده است، در این مدل هر سلول شامل ۴ لایه در جهت عمودی است. مدل در هر شبکه سلولی با استفاده از مجموعه روابط فیزیکی و تجربی و با توجه به میزان بارندگی، دما و تبخیر و تعرق کلیه فرایندهای هیدرولوژیکی و پیش‌بینی سیل ازجمله بارش، ذخیره برگابی گیاهان، ذخیره چالابی، نفوذ، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی، جریان زیرزمینی و بیلان آب در ناحیه ریشه و ناحیه اشباع را شبیه‌سازی می‌کند (۱۷). در شکل (۶) اجزای سیستم هیدرولوژیک حوزه در مدل WetSpa نشان داده شده است.

1- Water and Energy Transfer between Soil, Plants and Atmosphere

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



شکل ۶- اجزای سیستم هیدرولوژیک حوزه در مدل WetSpa
Figure 6. The components of the hydrological system in the WetSpa model

یکی از مزایای مدل WetSpa نیاز به داده‌های کم برای شبیه‌سازی است. نقشه DEM، کاربری اراضی، خاکشناسی و همچنین داده‌های مختص به دما، بارش و تبخیر ورودی‌های اصلی مدل است و از داده‌های رواناب نیز برای واسنجی مدل استفاده می‌شود (۶).

تعادل آب در ناحیه ریشه مهم‌ترین بخش در نگهداشت آب محسوب می‌گردد زیرا این بخش کنترل‌کننده حجم رواناب سطحی، رواناب زیرسطحی، تبخیر و تعرق، دبی و دبی آب زیرزمینی است (۱). در مدل WetSpa بیلان آب در ناحیه ریشه برای هر شبکه سلولی با توجه به رابطه ۱ محاسبه می‌گردد (۲۵).

(۱)

$$D\Delta\theta/\Delta T = P - I - R - V - F$$

که در آن D(L) عمق‌ریشه، $\Delta\theta(L^3L^{-3})$ تغییرات رطوبتی خاک، Δt(T) گام زمانی، $p(LT^{-1})$ بارش، $I=Ia+Da$ (LT^{-1}) تلفات، شامل ذخیره برگابی (Da) و ذخیره چالابی (Ia) در گام زمانی، $V(LT^{-1})$ رواناب سطحی یا بارش مازاد، $R\ (LT^{-1})$ نرخ نفوذ عمقی از ناحیه ریشه و $F(LT^{-1})$ نرخ جریان زیرسطحی در زمان و $E(LT^{-1})$ تبخیر و تعرق است. در این مدل بارش مازاد با استفاده از روش استدلالی اصلاح‌شده و بر مبنای خصوصیات هر شبکه شامل شیب، کاربری، نوع خاک، میزان بارش و رطوبت پیشین خاک محاسبه می‌گردد (۱).

$$V = C(P - I)(\theta - \theta_s)^{\alpha} \qquad (۲)$$

که در آن θ_s میزان خلل و فرج خاک، C ضریب پتانسیل رواناب و α ضریبی است که نماینده تأثیر شدت بارندگی بر میزان بارش مازاد می‌باشد. همچنین میزان جریان زیرسطحی نیز بر اساس قانون دارسی و معادلات موج سینماتیکی محاسبه می‌گردد (۱). روش ساده مخزن برای تعیین دبی آب‌های زیرزمینی در مقیاس زیرحوزه‌های کوچک مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۵). در مدل WetSpa، روندیابی جریان سطحی و جریان آبراهه با استفاده از روش معادله خطی موج پخشی صورت می‌گیرد. این روش اخیراً برپایه مدل سامانه اطلاعات مکانی (GIS) استفاده‌شده است (۱۱).

در این تحقیق، در شروع کار از نقشه مدل رقومی ارتفاعی حوزه زیارت با اندازه پیکسل ۳۰ متر ×۳۰ متر استفاده شد و ویژگی‌های هیدرولوژیکی شامل شیب سطح، جهت جریان، تجمع جریان، طول جریان، شبکه آبراهه و مناطق زهکشی مشخص گردید. نقشه‌های عمق ریشه، ضریب زبری مانینگ و ظرفیت ذخیره برگابی از نقشه کاربری اراضی به‌دست آمد. با ترکیب نقشه‌های ضریب زبری، شعاع هیدرولیکی و شیب سطح، سرعت متوسط جریان در هر سلول با استفاده از معادله مانینگ محاسبه شد. نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی، از ترکیب نقشه‌های شیب، نوع خاک و کاربری اراضی حاصل شد. سپس مدل با استفاده از این نقشه‌ها و نتایج حاصل از روندیابی و با استفاده از سری زمانی ساعتی بارش، تبخیر و تعرق و درجه حرارت اجرا شد. جریان مسیریابی رواناب در طول مسیر توپوگرافی تعیین‌شده و برآورد جریان آب زیرزمینی به خارج از زیر حوزه را شامل می‌گردد و دبی کل عبارت است از مجموع جریان سطحی، جریان زیرسطحی، و جریان آب زیرزمینی و از تلفیق پاسخ جریان کل سلول‌های موجود در شبکه تعیین می‌گردد.

واسنجی مدل و بهینه‌سازی نتایج

به‌منظور اصلاح عملکرد مدل و کاهش اثر عدم قطعیت‌ها برای شرایط مختلف، انجام فرآیند واسنجی مدل ضروری است. برای سهولت واسنجی مدل، ۱۱ پارامتر کلی در مدل WetSpa مورداستفاده قرارگرفته است. فرآیند واسنجی به دو صورت دستی (سعی و خطا) و خودکار (نرم‌افزار PEST) انجام می‌پذیرد که در تحقیق حاضر از هر دو روش استفاده شده است که این روش در مواقعی که چندین پارامتر وجود دارد، روش مناسبی است (۲۰). PEST نرم‌افزاری برای بهینه‌سازی و ارزیابی پارامترهای غیرخطی و بهینه‌سازی براساس جستجوی محلی است (۹).

پس از اجرای مدل با استفاده از نقشه‌های توزیعی- مکانی پارامترهای هیدرولوژیکی و نتایج حاصل از روندیابی و با استفاده ازسری زمانی ساعتی بارش، تبخیر و تعرق و درجه حرارت سال‌های آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۶ واسنجی مدل انجام می‌شود. دوره آماری سه‌ساله ۱۳۸۹-۱۳۸۶ برای واسنجی مدل انتخاب شد. کلیه داده‌ها دارای پایه زمانی ساعتی بودند. مقدار حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف معیار و واریانس دبی مشاهداتی برای کل سری زمانی مشاهداتی به ترتیب ۰/۰۰۱، ۲/۰۹، ۰/۱۹۲، ۰/۲۰، ۰/۰۱۵ است.

ارزیابی دقت شبیه‌سازی

بعد از اجرای مدل برای بهینه کردن پارامترهای مدل، دقت شبیه‌سازی بررسی شد. برای این منظور از ضریب نش- ساتکلیف[1] براساس رابطه ۳ استفاده شد. این ضریب توانایی بازسازی هیدروگراف جریان را ارزیابی می‌کند (۱۸).

$$NS = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-Q_{oi})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})^2}\right] \qquad (۳)$$

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

که در آن Q_{oi} و Q_{si} به ترتیب دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در گام زمانی i است.
همچنین از معیار تجمعی[2] (AM) نیز برای ارزیابی دقت استفاده شد که هیدروگراف را از جهات مختلف مانند شکل و اندازه براساس روابط ۴ تا ۶ ارزیابی می‌کند.

$$AM = \frac{r_{mod+NS+(1-|MB|}}{3} \quad (۴)$$

$$\mathrm{MB} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-Q_{oi})}{\sum_{i=1}^{N} Q_{oi}}\right] \quad (۵)$$

$$r_{mod} = \left[\frac{\min(\sigma_0,\sigma_s)}{max(\sigma_0,\sigma_s)} * r\right] \quad (۶)$$

در روابط بالا σ_0 و σ_S انحراف استاندارد[3] رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد. ضریب r، ضریب همبستگی هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای و N تعداد مشاهدات در دوره شبیه‌سازی است (۲۲).

اعتبار سنجی مدل

پس از واسنجی پارامترهای مدل، اعتبارسنجی پارامترهای واسنجی شده با اجرای مدل برای یک دوره مستقل و مقایسه نتایج با داده‌های مشاهده‌شده صورت می‌گیرد. دوره یک‌ساله ۱۳۹۰ -۱۳۸۹ برای اعتبار سنجی مدل انتخاب شد. این مرحله کمک خواهد کرد تا اطمینان حاصل شود که واسنجی انجام شده تنها در مورد آمار انتخابی صحیح نبوده و برای هر زمانی معتبر است.

حساسیت و عدم قطعیت پارامترها

حساسیت پارامترها شامل ایجاد تغییر در هریک از پارامترها به‌منظور دستیابی به نشانه‌ای جهت تعیین تأثیر هریک از پارامترها در ایجاد خروجی‌های دقیق است. در بررسی عدم قطعیت، یک ورودی قطعی و واحد یک‌میزان خروجی قطعی و واحد خواهد داشت. در این تحقیق آنالیز حساسیت و بررسی عدم قطعیت پارامترهای مدل WetSpa، با استفاده از نرم‌افزار PEST محاسبه گردید.

تعریف سناریوها در محیط GIS

به جهت تهیه نقشه کاربری اراضی سناریوها، ابتدا کل کاربری‌ها ازنظر میزان مساحت و شیب و همچنین اشتغال مردم در این زمینه و گرایش کاربری در آینده حوزه بررسی شد و سپس سناریوهای فرضی طراحی شد. در این مرحله چهار سناریوی تغییر کاربری در محیط GIS تهیه شد که شامل سناریو اول وضعیت کاربری اراضی موجود در حوزه، سناریو دوم با ایجاد بافر ۷۰ متری مساحت منطقه مسکونی ۱۰۰٪ افزایش یافت، در سناریو سوم کل کاربری جنگل، زمین بایر فرض شد و در سناریوی چهارم از مجموع دو سناریوی جنگل‌زدایی و افزایش مناطق مسکونی (جنگل‌زدایی+ افزایش مناطق مسکونی) باهم استفاده شد.

روند اجرای مدل:

این مرحله شامل شرایط موجود از کاربری اراضی و شرایط فرضی از کاربری اراضی (اعمال سناریوها) است. ابتدا با واردکردن نقشه کاربری اراضی، بافت خاک، مدل رقومی ارتفاعی به‌علاوه آمار هیدرومتئورولوژی تبخیر، بارش و در صورت نیاز دما، هیدروگراف جریان خروجی حوزه شبیه‌سازی می‌شود و سپس همه این اطلاعات با ثابت نگه‌داشتن پارامترهای کلی واسنجی شده مدل و نقشه کاربری اراضی که طبق شرایط منطقه به‌صورت فرضی تغییر داده‌شده است، وارد مدل می‌شود. با اعمال نقشه کاربری اراضی جدید، تغییرات وابسته به پوشش گیاهی و کاربری اراضی در فرمول نویسی مدل در چندین مرحله حضور دارد. در ذیل به این فرایندها و پارامترهایی که تغییر می‌یابند، اشاره می‌شود.

عملکرد مدل WetSpa در ارتباط با اثر سناریوهای اعمال شده

برای بررسی نقش کاربری اراضی، تمام داده‌ها و نقشه‌های استفاده شده در مدل ثابت بود و فقط نقشه کاربری اراضی وارد مدل شد. ثابت بودن سایر داده‌ها نقش کاربری اراضی را به خوبی نمایان می سازد.

اکثر فرآیندها و پارامترهای موجود در فرآیند بیلان آب مرتبط با کاربری اراضی بوده که با تغییر نقشه حوزه از نظر کاربری اراضی این فرآیندها و پارامترهای ذکرشده در پایین متعاقباً تغییر خواهد کرد و به طبع بیلان آب حوزه و هیدروگراف جریان نیز تغییر خواهد کرد (معادله ۱).

مؤلفه تلفات اولیه (I): ذخیره چالابی و ذخیره برگابی در قالب تلفات اولیه در فرمول بیلان آب ذکر شده است. از وضعیت موجود کاربری اراضی یک نقشه ذخیره چالابی حاصل می‌شود که با اعمال کاربری اراضی جدید در قالب سناریوهای تغییر کاربری اراضی متناسب با هر تغییر در کاربری اراضی یک نقشه جدید برای ذخیره چالابی حاصل می‌شود و این به معنی این است که مقدار آن با تغییر کاربری اراضی تغییر کرده و متعاقباً این تغییر باعث تغییر در مؤلفه تلفات اولیه در بیلان آب می‌شود که درنهایت باعث تغییر در هیدروگراف خروجی می‌شود.

$$I_a = I_a + D_a \quad (۷)$$

I_a: ذخیره برگابی و D_a: ذخیره چالابی

مؤلفه رواناب سطحی (v=s): همان‌طور که در فرمول رواناب سطحی (رابطه ۲) قابل‌ملاحظه است، پارامتر **C**، ضریب رواناب پتانسیل یک عامل مؤثر در محاسبه رواناب سطحی است، مدل مقدار این ضریب را با اعمال نقشه کاربری اراضی جدید در هر سناریو متناسب با تغییرات در کاربری اراضی محاسبه می‌کند، بنابراین، طبق این روند با ورود هر نقشه کاربری اراضی جدید بلافاصله مدل متناسب با آن کاربری مقدار ضریب رواناب پتانسیل را محاسبه می‌کند که بلافاصله نتایج آن در رواناب سطحی و سپس در بیلان آب و هیدروگراف خروجی قابل‌مشاهده است.

مولفه تبخیر (E): در رابطه تبخیر، پارامتر ضریب پوشش C_v، یک پارامتر مؤثر بر تبخیر است که مقدار آن با توجه به تغییر کاربری اراضی تغییر خواهد کرد. درنهایت این تغییر در بیلان آب و هیدروگراف جریان قابل‌مشاهده است.

پارامتر عمق ریشه (D): پارامتر عمق ریشه وابسته به تغییر کاربری اراضی بوده که با تغییر کاربری اراضی میزان آن پارامتر تغییر خواهد کرد، بنابراین، با تغییر در مقدار عمق ریشه

1- Nash-Sutcliff 2- Aggregation Measure 3- Standard Deviations

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

سایر مؤلفه‌های بیلان آب در سمت راست معادله بیلان آب در ناحیه ریشه تغییر خواهد کرد و این تغییر به طبع در هیدروگراف جریان نیز قابل‌مشاهده خواهد بود.

پارامتر ضریب زبری مانینگ (n_i): ضریب زبری در ارتباط مستقیم با کاربری اراضی و نوع پوشش زمین است و یکی از پارامترهای مهم و مؤثر در هیدروگراف جریان است.

نتایج و بحث

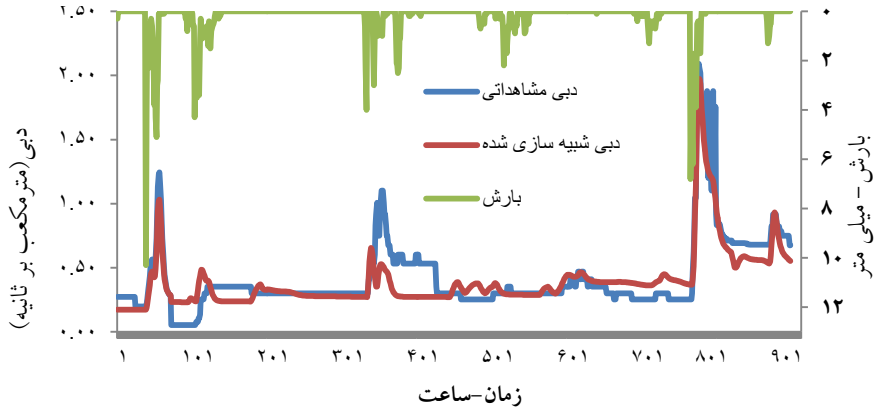
مدل با استفاده از نقشه‌های توزیعی- مکانی پارامترهای هیدرولوژیکی و نتایج حاصل از روندیابی و با استفاده ازسری زمانی ساعتی بارش، تبخیر و تعرق و درجه حرارت سال‌های آبی ۱۳۹۰-۱۳۸۶ اجرا شد. مدل پس از جمع‌آوری اطلاعات اولیه، آزمون شده و در مرحله بعد وارد مرحله واسنجی مدل می‌شود. دوره آماری سه‌ساله ۱۳۸۹-۱۳۸۶ برای واسنجی و دوره یک‌ساله ۱۳۹۰ -۱۳۸۹ برای اعتبار سنجی مدل انتخاب شد. به‌منظور ارزیابی کارایی مدل WetSpa، نتایج شبیه‌سازی با هیدروگراف‌های مشاهده‌ای، به‌صورت گرافیکی مقایسه شده است. به منظور نمایش گرافیکی بهتر، داده‌های مربوط به دوره زمانی کوتاهی برای ماه اسفند سال ۸۸ انتخاب و نمودار مربوط به آن ترسیم شد شکل (۷). شکل، نشان می‌دهد که هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده تطابق خوبی دارند. با توجه به معیار نش- ساتکلیف و معیار تجمعی کارایی مدل ۰/۶۸و۷۷/۳۳ برآورد شده است.

نتایج با استانداردهای ارائه شده توسط هنریکسون و همکارانش (۱۲) و اندرسون و همکارانش (۲) بررسی شد (جدول ۱) که بر اساس آن‌ها دقت مدل‌سازی در طبقه خیلی خوب قرار گرفت.

جدول ۱- طبقات مربوط به دقت نش-ساتکلیف و معیار تجمعی

Table 1. Performance ratings for NSE and Accumulation criteria

طبقات	خیلی ضعیف	ضعیف	خوب	خیلی خوب	عالی
نش-ساتکلیف	<۰/۲۰	۰/۲۰-۰/۵۰	۰/۵۰-۰/۶۵	۰/۶۵-۰/۸۵	>۰/۸۵
معیار تجمعی	<۰/۴۰	۰/۴۰-۰/۵۵	۰/۵۵-۰/۷۰	۰/۷۰-۰/۸۵	>۰/۸۵

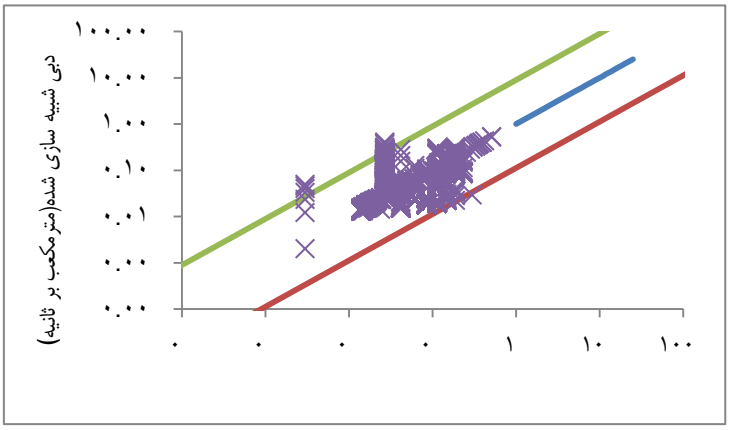


شکل ۷- مقایسه بین جریان اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده ساعتی برای اسفندماه سال ۸۸

Figure 7. Graphical comparison between observed and calculated hourly flow for the year 2009 from the calibration period

با ثابت نگه‌داشتن پارامترهای حاصل از واسنجی خودکار، مدل برای دوره‌ای سال ۸۹-۹۰ اجرا شد. به‌منظور نمایش بهتر کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان، داده‌های هیدروگراف‌های جریان برای دوره‌ای از سال ۸۹-۹۰ با مشخص نمودن حدود اطمینان در سطح ۹۵ درصد در شکل ۸ ارائه شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



شکل ۸- نمایش ابر نقاط داده‌های هیدروگراف‌های جریان با حدود اطمینان ۹۵ درصد برای دوره اعتبار سنجی

Figure 8. Logarithmic scatter plot of observed versus simulated flows for the validation period and 95% confidence limits

نتایج حاصل از بیلان آبی محاسبه‌شده توسط مدل برای دوره شبیه‌سازی

نتایج محاسبه در مرحله واسنجی مدل در جدول ۲ ارائه‌شده است. بررسی نتایج تعادل آبی حاصله از مدل WetSpa در حوزه نشان می‌دهد، ۱۱/۲۱درصد از بارش توسط تاج پوشش گیاهان متوقف و متعاقباً تبخیر می‌شود (گیرش گیاهی)، ۲۷/۶۲ درصد از طریق تبخیر به اتمسفر برمی‌گردد و ۲۷/۶۲ درصد به رواناب تبدیل می‌شود که ۰/۵۱ درصد رواناب سطحی، ۴/۰۷ درصد رواناب زیرسطحی و ۲۲/۹۷ درصد جریان آب زیرزمینی را شامل می‌شود.

جدول ۲ – مقادیر مؤلفه‌های بیلان آب در مرحله شبیه‌سازی مدل

Table 2. Water balance components of simulated flow

علامت	تعریف پارامتر	جمع (میلی‌متر)	مقادیر (٪)	میانگین
p	بارش مشاهده‌ای	۱۰۲۷/۴	۱۰۰	۰/۰۳۹
I	تلفات برگابی	۱۱۴/۱	۱۱/۲۱	۰/۰۰۴
F	تلفات نفوذ	۹۰۱/۶	۸۷/۷۵	۰/۰۳۴
E	تبخیر و تعرق	۷۸۴/۹	۷۶/۴۰	۰/۰۳۰
GD	ذخیره آب زیرزمینی	-۷/۹	۰-/۷۷	۲۲/۶۴
SR	رواناب سطحی	۵/۲	۰/۵۱	۰/۰۰۰۱
IR	رواناب زیرسطحی	۴۱/ ۸	۴/۰۷	۰/۰۰۲
GR	جریان آب زیرزمینی	۲۳۶	۲۲/۹۷	۰/۰۰۹
R	رواناب کل	۲۸۳/۷	۲۷/۶۲	۰/۰۱۱

نتایج آنالیز حساسیت و تعیین عدم قطعیت پارامترهای مدل WetSpa توسط نرم‌افزار PEST

در بررسی آنالیز حساسیت پارامترهای مدل مشاهده می‌گردد که ضریب افت آب‌های زیرزمینی و فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق بیشترین حساسیت و فاکتور حداکثر آب زیرزمینی و حداکثر شدت بارش از کمترین حساسیت برخوردار است. در این تحقیق عدم قطعیت پارامترهای مختلف مدل WetSpa با استفاده از نرم‌افزار PEST مورد ارزیابی قرار گرفت محدوده عدم قطعیت هریک از پارامترهای مدل WetSpa در حوزه زیارت در سطح اطمینان ۹۵ است. نتایج نشان داد که فاکتور حداکثر آب زیرزمینی و حداکثر شدت بارش دارای بیشترین عدم قطعیت است و از حساسیت کمی برخوردار است. ضریب افت آب زیرزمینی دارای کمترین دامنه تغییرات بوده و درنتیجه از حساسیت بالایی برخوردار است. با تغییر کاربری اراضی، بیلان آبی در حوزه تغییر می‌کند و تبخیر و تعرق از پارامترهای مؤثر در معادله بیلان آبی می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت توسط نرم‌افزار PEST، پارامتر Kep (فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق) جزء پارامترهای حساس مدل در این حوزه است، لذا با توجه به این‌که این پارامتر مرتبط با کاربری اراضی است و PEST، آن را با قطعیت بالایی تعیین کرده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل WetSpa حساسیت لازم برای بررسی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی را دارد.

نتایج تغییر مؤلفه‌های بیلان آب تحت سناریوهای مختلف

در رابطه با مؤلفه‌های بیلان آب، در همه سناریوهای اعمال شده نسبت به سناریو یک یعنی شرایط کاربری اراضی موجود در منطقه، مقدار جریان سطحی و زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و رواناب کل افزایش‌یافته است.

با ورود نقشه کاربری اراضی جدید برای سناریوهای فرضی مقدار ضریب رواناب پتانسیل افزایش می‌یابد که بلافاصله نتایج آن در رواناب سطحی و سپس در بیلان آب قابل‌مشاهده است. به‌دلیل اینکه در سناریوهای فرضی زبری سطح زمین و میزان تاج پوشش کاهش‌یافته است به‌دنبال آن کاهش تلفات برگابی در حوزه دیده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

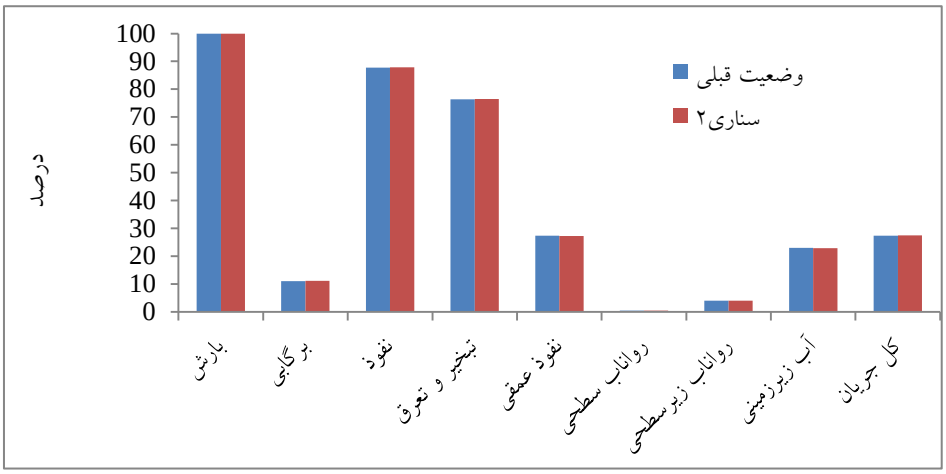
می‌شود. همچنین پارامتر ضریب پوشش C_v، یک پارامتر مؤثر بر تبخیر است که مقدار آن با توجه به سناریوهای تغییر کاربری اراضی کاهش‌یافته و درنتیجه تبخیر کاهش می‌یابد. در جدول (۳)، (۴) مقادیر و درصد مؤلفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوها ارائه گردیده است. مقایسه نمودار ستونی مؤلفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی شده در سناریوها و شرایط موجود کاربری اراضی در شکل‌های ۹ تا ۱۲ارائه گشته است. همچنین شکل ۱۳هیدروگراف مربوط به سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مؤلفه‌های بیلان آبی و مولفه‌های شبیه‌سازی‌شده در سناریوهای تغییر کاربری اراضی اعمال شده با سناریو یک (شرایط فعلی)
Table 3. Water balance and calculated flow components for the present and the third landuse change scenario

مؤلفه‌های بیلان آب / سناریو	۱	۲	۳	۴
تلفات برگابی	۱۱۴/۱	۱۱۳/۰	۱۱۱/۲	۹۹/۷
تبخیر و تعرق	۷۸۴/۹	۷۸۲/۲	۷۰۱/۰	۶۸۵/۸
رواناب سطحی	۵/۲	۷/۴	۸/۴	۱۸/۰
رواناب زیرسطحی	۴۱/ ۸	۴۱/۸	۵۰/۷	۵۱/۷
جریان آب زیرزمینی	۲۳۶	۲۳۶/۱	۲۹۱/۱	۲۹۷/۴
رواناب کل	۲۸۳/۷	۲۸۶/۱	۳۵۱/۷	۳۶۷/۷

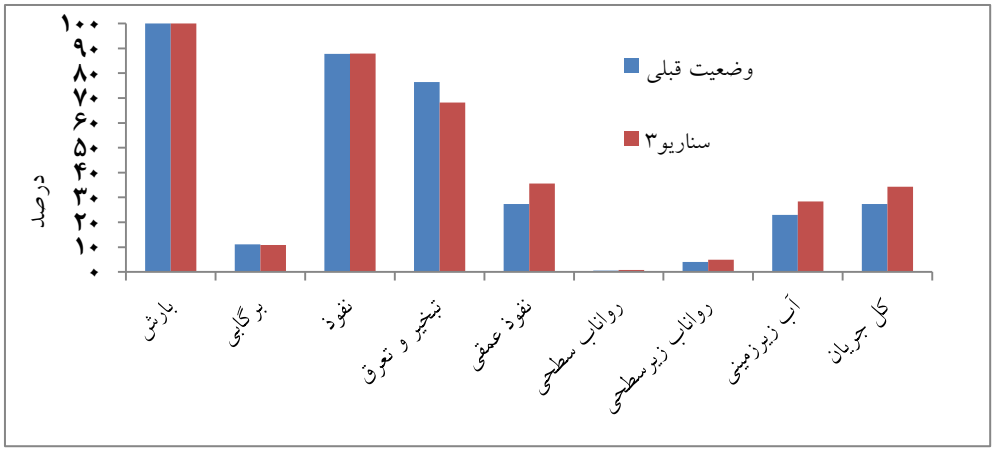
جدول ۴- درصد تغییرات مؤلفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده در سناریوهای تغییر کاربری اراضی اعمال شده با سناریو یک (شرایط فعلی)
Table 4. Percentages of Water balance for the present and the third landuse change scenario

مؤلفه‌های بیلان آب / سناریو	۱	۲	۳	۴
بارش	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تلفات برگابی	۱۱/۱۰	۱۱	۱۰/۸۲	۹/۷۰
تبخیر و تعرق	۷۶/۴۰	۷۶/۱۳	۶۸/۲۳	۶۶/۷۵
نفوذ	۸۷/۷۵	۸۷/۷۰	۸۷/۷۵	۸۷/۷۳
نفوذ عمقی	۲۷/۳۷	۲۷/۴۳	۳۵/۶۲	۳۶/۵۵
رواناب سطحی	۰/۵۱	۰/۷۲	۰/۸۲	۱/۷۵
جریان آب زیرزمینی	۴/۰۷	۴/۰۷	۴/۹۴	۵/۰۴
رواناب کل	۲۷/۶۲	۲۷/۸۴	۳۴/۲۵	۳۵/۷۹

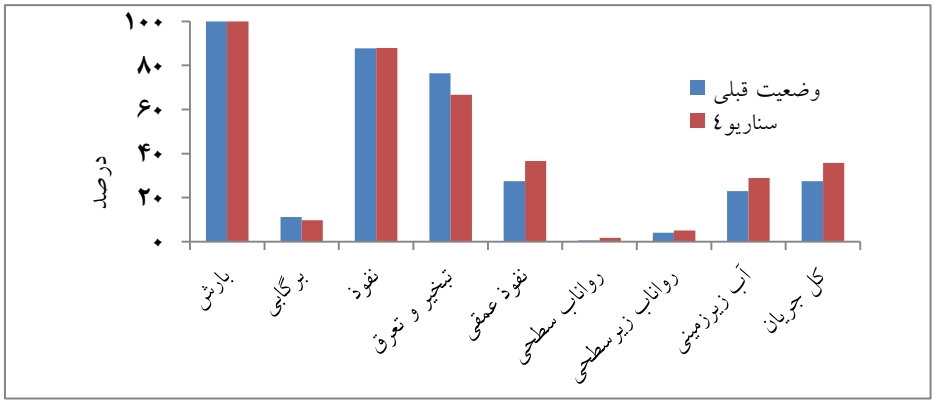


شکل ۹- مقایسه مولفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوهای وضعیت موجود و دو
Figure 9. Compare the components of the water balance simulated for the present and two scenarios

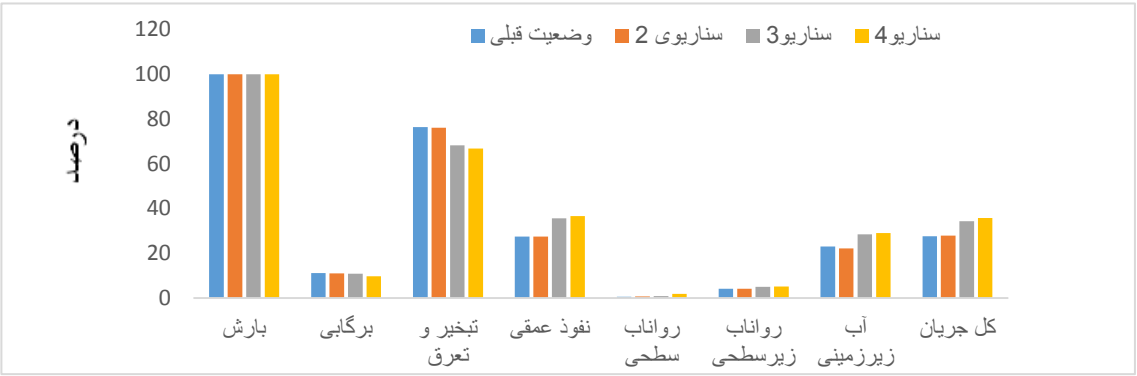
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



شکل۱۰- مقایسه مولفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوهای وضعیت موجود و سه
Figure 10. Compare the components of the water balance simulated for the present and three scenarios

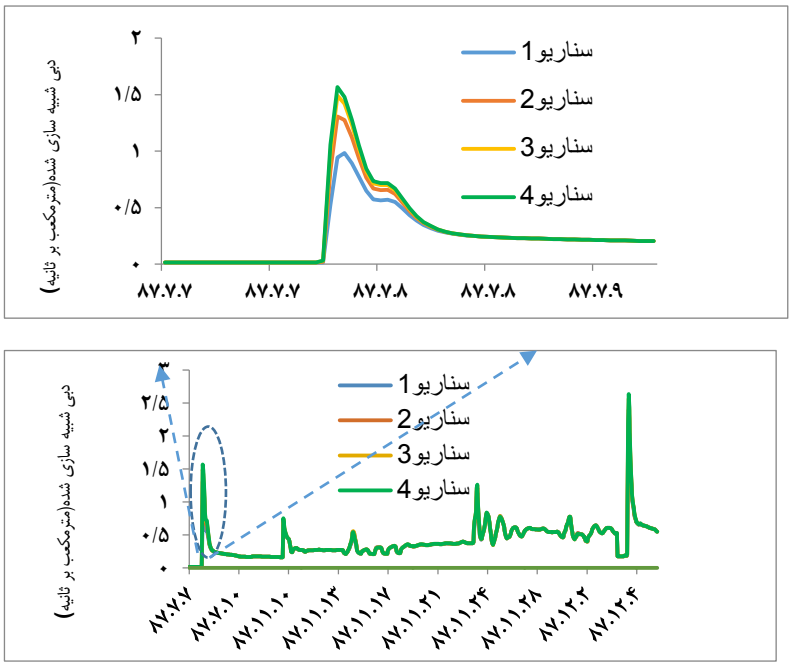


شکل ۱۱- مقایسه مولفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوهای وضعیت موجود وچهار
Figure 11. Compare the components of the water balance simulated for the present and four scenarios



شکل ۱۲- مقایسه مولفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوهای مختلف
Figure 12. Compare the components of the water balance simulated for Different scenarios

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]



شکل ۱۳- مقایسه گرافیکی بین هیدروگراف شبیه‌سازی شده در سناریو یک (شرایط موجود) و سناریوهای اعمال شده در مدل واسنجی شده در سال آماری ۱۳۸۷

Figure 13. The graphical comparison between simulated hydrograph for the one scenario and the scenarios applied for the year 2008 from the calibration period

مدل هیدرولوژیکی توزیعی مکانی WetSpa یک مدل فیزیکی است که قابلیت بالایی در شبیه‌سازی جریان رودخانه، بررسی اثر تغییر کاربری اراضی داشته است که این قابلیت‌ها به‌خوبی در تحقیقات خارج از کشور و داخل ایران به اثبات رسیده است، مدل WetSpa در حوزه زیارت با داده‌های چهار ساله بارش ساعتی، دما و تبخیر و تعرق مشاهده شده تست شد. نتایج واسنجی مدل بر اساس معیار ناش- ساتکلیف حدود ۰/۶۸ برآورد گردید. شکل ۶ نشان می‌دهد تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی در آبخیز زیارت وجود دارد. معیار نش – ساتکلیف کارایی بالای مدل را در شبیه‌سازی نشان می‌دهد. که با نتایج یعقوبی در حوزه چهل چای گلستان (۲۵)، بهره‌مند در حوزه هورنارد کشور اسلواکی (۵)، آذین‌مهر در حوزه دینور استان کرمانشاه (۱) محمدی و همکاران (۱۷) و لیو و همکاران (۱۴) که به شبیه‌سازی جریان با استفاده از مدل WetSpa پرداختند، همخوانی دارد.

در بررسی آنالیز حساسیت پارامترهای مدل مشاهده می‌گردد که ضریب افت آب‌های زیرزمینی و فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق بیشترین حساسیت و فاکتور حداکثر آب زیرزمینی و حداکثر شدت بارش از کمترین حساسیت برخوردار است، که با نتایج بهره‌مند و دی‌اسمت (۴) در حوزه آبخیز توریسا در اسلواکی با استفاده از اتوکالیبراسیون، پارامترهای مدل WetSpa را تخمین زده و سپس آنالیز حساسیت و آنالیز پیش‌بینی انجام دادند و نتایج نظرگیکلو در حوزه اهرچای (۱۹) همخوانی دارد. با تغییر کاربری اراضی، بیلان آبی در حوزه تغییر می‌کند و تبخیر و تعرق از پارامترهای مؤثر در معادله بیلان آبی می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت و عدم قطعیت توسط نرم‌افزار PEST، پارامتر Kep (فاکتور تصحیح تبخیر و تعرق) جزء پارامترهای حساس مدل در این حوزه است، لذا با توجه به این‌که این پارامتر مرتبط با کاربری اراضی است و PEST، آن را با قطعیت بالایی تعیین کرده است. بنابراین می‌توان گفت که مدل WetSpa حساسیت لازم برای بررسی اثر سناریوهای تغییر کاربری اراضی بر روی مؤلفه‌های بیلان آبی را دارد که با نتایج نظرگیکلو در حوزه اهرچای (۱۹) همخوانی دارد. در رابطه با مؤلفه‌های بیلان آب، در همه‌ی سناریوهای اعمال‌شده نسبت به سناریو یک یعنی شرایط کاربری اراضی موجود در منطقه، مقدار جریان سطحی و زیرسطحی، جریان آب زیرزمینی و رواناب کل افزایش‌یافته است. همان‌طور که در فرمول رواناب سطحی فراوان است، پارامتر c، ضریب رواناب پتانسیل یک عامل مؤثر محاسبه رواناب سطحی است، مدل مقدار این ضریب را با اعمال نقشه کاربری اراضی جدید در هر سناریو متناسب با تغییرات در کاربری اراضی، از جدول پیش‌فرض محاسبه می‌کند، بنابراین طبق این روند با ورود نقشه کاربری اراضی جدید برای سناریوهای فرضی مقدار ضریب رواناب پتانسیل افزایش می‌یابد که بلافاصله نتایج آن در رواناب سطحی و سپس در بیلان آب قابل‌مشاهده است، که نسبت افزایش در رواناب سطحی نسبت به کل رواناب بیشتر بوده است که با نتایج محمدی و همکاران (۱۷) مطابقت دارد. ذخیره برگابی که ارتباط مستقیم با پوشش گیاهی دارد در قالب نقشه برای کاربری اراضی موجود تهیه‌شده که با اعمال کاربری اراضی جدید متناسب با هر تغییر در سناریوها یک نقشه جدید از ذخیره برگابی حاصل می‌شود و این به معنی این است که مقدار آن با تغییر کاربری تغییر کرده و متعاقباً این تغییر باعث تغییر در مؤلفه تلفات اولیه در بیلان آب می‌شود. نقش ذخیره برگابی و متعاقب آن هدر رفت برگابی محدود بوده و عمدتاً در ابتدای بارش که تاج پوشش خشک است خود را نشان می‌دهد. به‌هرحال در سناریوهای اعمال شده کاهش هدررفت برگابی و کاهش تبخیر و تعرق (که شامل تبخیر تعرق از عمق ریشه هم می‌شود) منجر به افزایش نفوذ عمقی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

و افزایش رواناب بخصوص از ناحیه رواناب زیرقشری و زیرزمینی می‌شود. درخصوص تغییر محدود نفوذ در سناریو جنگل زدایی باید توجه شود که پس از اعمال سناریو، بافت خاک که کنترل کننده اصلی نفوذ است در مدل تغییری نمی‌کند که البته عدم تغییر این مولفه در سناریو جنگل‌زدایی منطقی است، چون در کوتاه مدت حذف جنگل روی بافت خاک قاعدتاً نباید تاثیر زیادی بگذارد. مقدار نفوذ با افزایش مناطق مسکونی به دلیل افزایش مناطق غیرقابل نفوذ کمتر شده است، به‌دلیل اینکه مساحت منطقه مسکونی نسبت به بقیه کاربری‌ها کمتر است، این موضوع در نفوذ کل تغییر زیادی ایجاد نکرده است. اما در پیکسلهای مربوط به مناطق مسکونی، مقدار نفوذ این قسمت از حوزه به مراتب کمتر است. این امر در منطقه جنگل زدایی زیاد جدی نیست چون بعد از حذف جنگل، خاک جنگل همچنان نقش مثبت خود را اعمال می‌کند. با حذف جنگل نفوذ عمقی افزایش یافته است. این موضوع با نتایج بهره‌مند (۵) هم‌خوانی دارد. زیرا با اعمال سناریوی جنگل‌زدایی و کاهش شدید میزان تبخیر تعرق (بویژه تعرق) در منطقه‌ای که درختان در آن حذف شده‌اند، در عمق خاک جذب اتفاق نمی‌افتد و این امر منجر به افزایش نفوذ عمقی می‌شود. به‌دلیل اینکه در سناریوهای فرضی زبری سطح زمین و میزان تاج پوشش کاهش‌یافته است به‌دنبال آن کاهش تلفات برگابی در حوزه دیده می‌شود. همچنین پارامتر ضریب پوشش C_v، یک پارامتر مؤثر بر تبخیر است که مقدار آن با توجه به سناریوهای تغییر کاربری اراضی کاهش‌یافته و درنتیجه تبخیر کاهش می‌یابد. در جدول (۳)، (۴) مقادیر و درصد مؤلفه‌های بیلان آبی شبیه‌سازی‌شده سناریوها ارائه گردیده است. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیق محمدی و همکاران (۱۷) و نظرگیلکو و همکاران (۱۹) همخوانی دارد. مدل هیدرولوژیکی توزیعی ابزاری است برای پیش‌بینی اتفاقاتی که در حوزه می‌افتد. همچنین برای انجام تصمیمات مدیریتی و بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر هیدرولوژی حوزه مفید می‌باشد. با توجه به اینکه انجام این تحقیق با گام زمانی ساعتی صورت گرفت، پیشنهاد می‌شود در صورت موجود بودن اطلاعات و آمار، مطالعاتی از این قبیل در گام زمانی ربع ساعته و دقیقه‌ای با تمام مراحل انجام شده در این تحقیق تکرار شود چرا که با اجرای مدل در گام زمانی دقیقه تأثیر پوشش گیاهی بر رواناب محسوس‌تر می‌باشد.

منابع

1. Azinmehr, M. 2010. Simulation of land use change scenarios impacts on flood hydrograph using WetSpa model (Case Study: Dinevar Watershed, Kermanshah Province. M.Sc. Thesis of Watershed Management, Gorgan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Gorgan, Iran, 156 pp (In Persian).
2. Andersen, J., J. Refsgaard and K. Jensen. 2001. Distributed hydrological modeling of the Senegal River Basin-model construction an validation, Journal of Hydrology, 247: 200-214.
3. Bahremand, A., F. Yaghubi and A. Kabir. 2010. Introduce WetSpa model water and energy transfer between soil, plant and atmosphere, the International Watershed Management Science and Engineering Conference 6 Tarbiat Modarres University, pp: 1-8, Noor, Iran.
4. Bahremand, A. and F. De Smedt. 2010. Predictive analysis and simulation uncertainty of a distributed hydrological model. Water Resouce Management, 2(24): 2869-2880.
5. Bahremand, A. 2007. Simulation the effects of reforestation on floods using spatially distributed hydrologic modelling and GIS, Phd Thesis, Vrij Universiteit, Brussel Belgium, 150 pp (In English).
6. Bahremand, A., F. De Smedt, J. Corluy, Y. Liu, J. Poorova, L. Velcicka and E. Kunikova. 2007. WetSpa model application for assessing reforestation impacts on floods in MargecanyHornad watershed, Slovakia. Water Resource Management, 21: 1373-1391.
7. Bieger, K., B. Schmalz and N. Fohrer. 2010. Modelling the impact of landuse change on the water balace (Case Study: the Xiangxi Catchment). Using SWAT International SWAT Conferece, pp: 2451-2462.
8. De Smedt, F., B. Liu and S. Gebremeskel. 2000. Hydrological modeling on a catchment scale using GIS and remote sensed land use information (Case Study: C.A. Brebbia). Risk Analysis II, WTI press, Boston, pp: 295-304.
9. Doherty, J.E., J.H. Randall and M. Tonkin. 2010. Approaches to highly parameterized inversion-A guide to using PEST for model-parameter and predictive-uncertainty analysis: U.S, Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5211, 71 pp
10. Elfert, S. and H. Bormann. 2010. Simulated impact of past and possible future land use changes on the hydrological response of the Northern German lowland Hunte catchment. Journal of Hydrology, 383: 245-255.
11. Fortin, J., R. Turcotte, S. Massicotte, R. Moussa, J. Fitzback and J. Villeneuve. 2001. A Distributed watershed model compatible with remote sensing and GIS data. I: Description of model. Journal of Hydrologic Engineering, 6(2): 91-99.
12. Henriksen, H., L. Troldborg, P. Nyegaard, T. Sonnenborg, J. Refsgaard and B. Madsen. 2003. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. Journal of Hydrology, 280: 52-71.
13. Liu, Y., S. Gebremeskel, F. De Smedt and L. Pfister. 2003. A Diffusive transport approach for flow routing in GIS-based flood modelling. Journal of Hydrologic Engineering, 6(283): 91-106.
14. Liu, Y., F. De Smedt, L. Hoffmann and L. Pfister. 2004. Assessing landuse impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modelling approach (Case Study: Luxembourg). Environmental Modeling and Assessment, 2(9): 227-235.
15. Mahdavi, M. 2004. A Determination of an Appropriate Monthly Water Balance In Small Watersheds of Iran (Case Study: Eastern Azarbayejan and North of Khorasan). Iranian Journal Natural Resource, 57(3): 415-425.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

16. Mango, L., A, Melesse, M. McClain, D. Gann and Sh. Setegn. 2011. Land use and climate change on the hyrology of the upper mara river basin (Case Study: Kenya). Journal of Hydrologic Engineering, 4(15): 2245-2258.
17. Mohamadi, M., H. Zeinivand, H. Morady, H. Purqasemi and H. Farazjoo. 2016. Impacts of Land Use Changes Scenarios on Runoff generation Using WetSpa Model (Case Study: Baqesalian), Journal of Ecohidrology, 2(4): 357-369.
18. Nash, J. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual models. Part 1, A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.
19. Nzargigloo, S. 2013. Impacts of Land Use Changes of on flood behavior using the WetSpa model (case study: Aharchay Watershed, Azarbaijne SHarqi Province) M.Sc. thesis of Watershed Management, Zabol University, Iran, 86 pp (In Persian).
20. Safari, A., F. De Smedt and F. Moreda. 2012. WetSpa model application in the distributed model intercomparison project (DMIP2). Journal of Hydrology, 418-419, 78-89.
21. Turner, B.L., R.H. Moss and D.L. SKole. 1993. Relating Landuse and Global Land-cover Change. A proposal for an IGBP- HDP Core Project Global Change Report. Stokholm. Sweden: 221-223.
22. Thomson, A.M., R.A. Brown, N.J. Rosenberg, R. Srinivasan and R.C. Izaurralde. 2005. Climate change impacts for the conterminous USA: an integrated assessment. Climate Change, Journal of Hydrology, 69: 67-88.
23. Tavakoli, M., F. De Smedt, T. Vansteenkiste and P. Willems. 2014. Impact of climate change and urban development on extreme flows in the Grote Nete watershed, Belgium. Natural Hazards, 71: 2127-2142.
24. Yari, R. 2011. Analysis of land use change scenarios impacts on runoff coefficient and pitch discharge, the International Watershed Management Science and Engineering Conference 6 Tarbiat Modarres University, 1-8 pp, Noor, Iran.
25. Yaghubi, F. 2010. Simulated river flow using WetSpa models (Case Study: Chehe Chai watershed, Golestan Province), Journal of Soil and Water Conservation, 24(3): 185-207.
26. Wang, Z., O. Batelaan and F. De Smedt. 1997. A Distributed model for water and energy transfer between Soil, Plants and Atmosphere (WetSpa). Physics and Chemistry of the Earth, (21): 189-193.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]

Impacts of Land use Changes Scenarios on Water Balance Components using WetSpa Model (Case Study: Ziarat Watershed of Golestan Province)

Narges Javidan[1], Abdolreza Bahremand[2], Rana Javidan[3], Majid Onagh[4] and Chooghi Bayram Komaki[5]

1- Ph.D. Student of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding Author: narges.javidan20@gmail.com)
2, 4 and 5- Associate Professor, Professor and Assistant Professor, Department of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
3- M.Sc. Student of Environmental Engineering, College of Environment, Karaj
Received: May 5, 2016 Accepted: June 12, 2017

Abstract

Every year, due to population growth and economy development, land uses and land covers are changing. The various types of land uses have significant roles on components of water balance of a watershed. The simulation modeling has the capability to predict floods, to evaluate land use impacts on floods, and to make decision in watershed management. In this research, the effects of land use change scenarios such as current state, deforestation, 100-percent growth of urbanization and the combination of two scenarios (i.e. deforestation+ urbanization) have been evaluated on the water balance using the WetSpa model in the Ziarat watershed, which covers an area of 95.15 km^2 and located in Golestan province. In order to execute the WetSpa model, the hourly hydro meteorological data including rainfall, evapotranspiration, temperature, and discharge are used as inputs for a four-year period (from 2007 to 2011). The result of the simulation shows a good agreement between the simulated hydrograph and the observed one. Then, the scenarios of deforestation, urbanization development and the combined scenario of deforestation with urbanization have been designed in GIS environment, and the simulation was performed using the calibrated model. The finding showed there were increases in surface runoff and subsurface flow, groundwater and total flow rates; the maximum change was for runoff rate that increased 5.2 in first scenario to 18 mm in fourth scenario. The decrease of land surface roughness and vegetation canopy lead to decrease in evapotranspiration and leaf interception in the study area.

Keywords: Wetspa, Hydrology, Land Use Change, Water Balance, Watershed, Ziarat, Golestan

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1397.9.17.10.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.9.17.168]