



ارزیابی سناریوهای بهینه‌ی تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر واکنش هیدرولوژیک جریان در حوضه‌ی آبریز اهل ایمان

خداپار ضیائی^۱، اباذر اسمعیلی عوری^۲، رئوف مصطفی‌زاده^۳، محمد گلشن^۴

۱- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی و عضو پژوهشکده‌ی مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۴- دکتری آبخیزداری، اداره منابع طبیعی و آبخیزداری گیلان، آستارا، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۲

وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۱۳

چکیده

تغییرات کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی در بیشتر حوضه‌های آبریز است. در این تحقیق تغییرات روند هیدرولوژیکی جریان با سناریو و تغییر کاربری اراضی در حوضه‌ی آبریز اهل ایمان با مساحت ۷۷۷۱ هکتار واقع در قسمت غربی استان اردبیل مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور مدل هیدرولوژیکی SWAT برای منطقه‌ی مطالعاتی اجرا و با استفاده از الگوریتم SUFI2 واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج مدل با استفاده از ضرایب آماری R^2 ، NS و RMSE ارزیابی شد که در دوره‌ی واسنجی این ضرایب آماری به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۱ و ۰/۳۱ و در دوره‌ی اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۱، ۰/۶۸ و ۰/۱۸ به دست آمدند که ضرایب آماری به دست آمده در هر دو دوره نشان‌دهنده‌ی بالا بودن عملکرد مدل در منطقه‌ی مطالعاتی جهت شبیه‌سازی رواناب است. بنابراین با توجه به پتانسیل و مشخصات منطقه تأثیر سناریوهای تغییر کاربری اراضی دیم کم‌بازده به مرتع، تبدیل ۵۰ درصد زراعت آبی به باغ و تبدیل ۴۰ درصد کاربری مرتع به زراعت دیم دبی جریان ماهانه خروجی از حوضه‌ی آبریز اهل ایمان مطالعه شد. نتایج نشان‌دهنده‌ی کاهش دبی متوسط (۱۷ درصد) در سناریوی اول و افزایش دبی متوسط (۳۶ درصد) در سناریوی دوم است. افزایش دبی متوسط در سناریو دوم نشان‌دهنده‌ی کاهش ذخیره‌ی آب زیرزمینی در منطقه است.

کلمات کلیدی: جریان رودخانه، بیلان آب، دبی ماهانه، مدیریت آب، مدل

۱- مقدمه

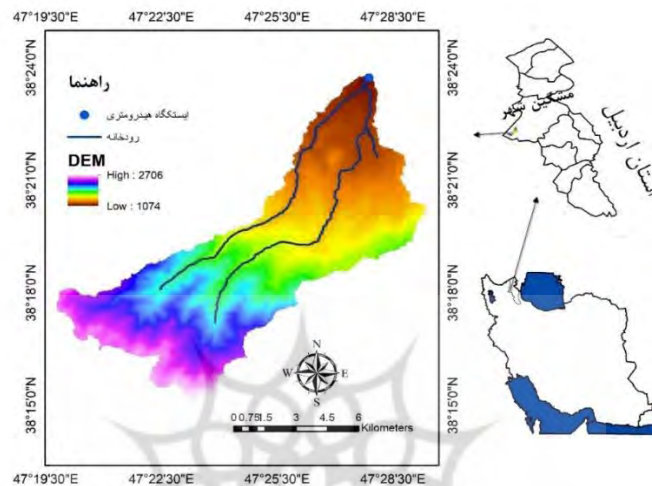
حوضه آبریز محدوده‌های فیزیکی در برگیرنده‌ی اکوسیستم‌های طبیعی و کلیه فعل و انفعالات طبیعی و انسانی می‌باشد. عدم برخورد علمی انسان با این محدوده‌ها و اجرای طرح‌های توسعه‌ای شهری، صنعتی، کشاورزی و خدماتی بدون در نظر گرفتن پتانسیل‌ها، توانمندی‌ها و محدودیت‌ها سبب عکس‌العمل این حوضه‌ها به صورت قهرآلود و در قالب انواع مخاطره‌های طبیعی از قبیل سیل، رانش، خشکسالی و سایر موارد خودنمای کند که مشکلات و خسارات متعددی را به جوامع شهری و روستایی وارد کرده است (ضیائی، ۲۰۰۲: ۵۴۲). با توجه به روند رو به افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به مواد غذایی، حفظ آب و خاک به عنوان سرمایه‌هایی ارزشمند، اهمیت فراوان دارد (ایلدرمی و همکاران، ۲۰۱۸: ۹۹). تغییر کاربری اراضی و تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از چالش‌های عمده در قرن بیست و یکم مطرح خواهد بود و برخی حتی اعتقاد به شدید بودن تأثیرات آن نسبت به پدیده تغییر اقلیم دارند (زرگوش، ۲۰۱۵: ۱۲۵؛ آقابیگی و همکاران، ۲۰۱۹). تغییر کاربری اراضی به‌عنوان یکی از مسائل مهم در قرن اخیر است. طبق برآورد انجام شده در شمال ایران که داری بیش‌ترین سطح جنگلی کشور است، در فواصل سال‌های ۱۳۳۳-۱۳۴۶ و ۱۳۷۳-۱۳۴۶، سطح جنگل به ترتیب ۴/۷ و ۷/۱ درصد کاهش یافته است (رفعیان، ۲۰۰۷: ۲۸۵). امروزه یکی از روش‌های پرکاربرد به‌خاطر تسهیل در امر محاسباتی استفاده از مدل‌های کامپیوتری است، که در بسیاری از موارد نیز از ضریب دقت بالایی برخوردار می‌باشند. محدودیت دسترسی به داده‌های هیدرولوژیک کافی، نقش مدل‌های شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز را روز به روز بیش‌تر و پرننگ‌تر می‌کند (اسمعی و عبدلهی، ۲۰۱۲: ۱۵؛ آوار و خارا، ۲۰۲۰: ۱۴۳۷). فعالیت‌های انسانی همراه با حوادث طبیعی به شکل فزاینده‌ای پوشش گیاهی را تحت تأثیر تغییرات قرار می‌دهد. بی‌شک یکی از مهم‌ترین دلایل وقوع سیلاب و افزایش دبی سیلاب‌های مناطق مختلف ایران در دهه اخیر، تغییر کاربری اراضی و عدم تناسب کاربری‌های فعلی با توانایی اراضی است. مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام شده است که می‌توان در داخل کشور به مطالعات همت‌جو و ایوبی (۲۰۱۳) در حوضه آبریز زاینده رود بر روی ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی به کاربری بهینه بر تغییرات دبی جریان رودخانه و پژوهش زارعزاده و همکاران (۲۰۱۸) در حوضه آبریز قماسیاب با استفاده از مدل SWAT بر روی تغییرات دبی جریان متناسب با کاربری اراضی منطقه

اشاره کرد. هم‌چنین از مطالعات خارج کشور پژوهش چن و همکاران^۱ (۲۰۱۵) در حوضه‌ی آبریز دشت جنوبی تگزاس بر روی تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر روند هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز و پژوهش اوتاماهدی و همکاران^۲ (۲۰۱۸) بر روی تأثیر تغییرات کاربری بر رواناب خروجی قابل ذکر است. تحقیق حاضر در حوضه اهل ایمان شهرستان مشگین‌شهر با توجه به افزایش سیل‌خیزی انجام شده است. در این راستا، هدف پژوهش حاضر، ارزیابی تأثیر تغییر کاربری اراضی و سناریوهای تدوین شده آتی بر اساس پتانسیل و مشخصات منطقه روی پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبریز و مولفه‌های دبی جریان است.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی آبریز اهل ایمان در شهرستان مشگین‌شهر، استان اردبیل واقع شده که جریان رودخانه پس از پیوستن به رودخانه اهرچای و ارس در نهایت به دریاچه خزر وارد می‌شود. مساحت حوضه معادل ۷۷۷۰ هکتار است. این حوضه در عرض جغرافیایی "۳۸°۱۵'۱۰" تا "۳۸°۲۳'۴۰" شمالی و طول جغرافیایی "۴۷°۱۹'۵۰" تا "۴۷°۲۹'۲۳" شرقی واقع شده است (شکل ۱). در بازه زمانی طولانی مدت (۲۰۱۹-۱۹۹۸) مقدار متوسط بارندگی منطقه ۳۵۹ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر به ترتیب ۵ و ۱۸ درجه‌سانتی‌گراد است. حوضه آبریز اهل ایمان دارای رودخانه دائمی می‌باشد که مقدار رواناب خروجی منطقه معادل با ۰/۳۳ متر مکعب است. از لحاظ زمین‌شناسی سازند کواترنری در بیش از ۴۰ درصد مساحت منطقه گسترده شده و سازند غالب است (ضیائی، ۲۰۱۹: ۷۸). اختلاف ارتفاع بین پایین‌دست (۱۰۷۴ متر) و بالادست (۲۷۰۶ متر) حوضه برابر با ۱۶۳۲ متر است که نسبت به مساحت حوضه نشان‌دهنده‌ی اختلاف ارتفاع قابل توجهی است.



شکل (۱): موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه در ایران و استان اردبیل
Fig. (1): The location of the study area in Iran and Ardabil Province

۲-۲- مدل SWAT

مدل SWAT به صورت مجموعه‌ای از معادلات ریاضی و فرمول‌های تجربی متفاوت می‌باشد که برای شبیه‌سازی پارامترهای متفاوت طراحی گردیده است (نیتیچ و همکاران^۱، ۲۰۰۵؛ ۴۹۴). در این تحقیق برای تخمین رواناب سطحی و برآورد دبی رواناب خروجی به صورت ماهانه از روش شماره منحنی در مدل SWAT استفاده شد:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad (1)$$

در این رابطه Q_{surf} (رواناب سطحی (میلی‌متر))، R_{day} عمق بارش روزانه (میلی‌متر)، S پارامتر نگهداشت رطوبت (میلی‌متر) است.

۲-۳- ورودی‌های مدل برای شبیه‌سازی جریان

نقشه‌ی DEM منطقه با اندازه سلول ۳۰ متری از سنجنده استر سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۲ دانلود شد. این نقشه اولین لایه‌ی ورودی به مدل است که با استفاده از آن خروجی حوضه‌ی آبریز و مسیر رودخانه تعیین شدند. نقشه‌ی خاکشناسی و کاربری اراضی طبق مطالعاتی که در این منطقه به وسیله‌ی اداره منابع طبیعی و

1- Neitsch et al.

2- <http://earthexplorer.usgs.gov>

آبریزداری استان اردبیل انجام شده است تهیه شدند. برای نقشه‌ی خاکشناسی اطلاعات مختلفی به مدل بایستی وارد شود که در جدول ۱ این داده‌ها آورده شده است. نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه با هفت نوع کاربری (جنگل، مرتع خوب، مرتع متوسط، مرتع ضعیف، زراعت دیم، زراعت آبی و آب و نقشه‌ی خاکشناسی با دو نوع خاک لومی و رسی-لومی در فرمت سلولی با اندازه‌ی سلول ۳۰ متری و با هم‌پوشانی کامل به مدل معرفی شدند.

جدول (۱): پارامترهای مربوط به داده‌ها و خصوصیات خاکشناسی
Table (1): Parameters related to the soil properties database

نام پارامتر	معرفی پارامتر	نام پارامتر	معرفی پارامتر
NLAYERS	تعداد لایه‌های خاک	SOL_K	هدایت هیدرولیکی اشباع
HYDGRP	گروه هیدرولیکی خاک	SOL_CBN	مقدار کربن آلی
SOL_ZMX	ماکزیمم عمق ریشه دوانی در پروفیل خاک	CLAY	مقدار رس بر حسب درصد
ANION-EXCLE	درصد تخلخل خاک فاقد آنیون	SILT	مقدار سیلت بر حسب درصد
SOL-CRK	حداکثر گنجایش شکاف پروفیل خاک از حجم کل	SAND	مقدار ماسه بر حسب درصد
TEXTURE	بافت لایه خاک	ROCK	مقدار سنگریزه بر حسب درصد
SOL_Z	عمق هر لایه خاک از سطح تا انتهای لایه	SOL_ALB	آلبیدوی خاک مرطوب
SOL_BD	چگالی حجمی مرطوب	USLE_K	فاکتور (K) در معادله USLE
SOL_AWC	مقدار آب در دسترس لایه خاک	SOL_EC	هدایت هیدرولیکی

۲-۴-اطلاعات هواشناسی ورودی مدل

اطلاعات هواشناسی منطقه شامل درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، سرعت باد، رطوبت نسبی و بارندگی به صورت روزانه برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشگین‌شهر و ایستگاه باران‌سنجی پل سلطانی تهیه شدند. با استفاده از روش آزمون همگنی نرمال استاندارد در نرم‌افزار SPSS.20 نرمال بودن داده‌ها بررسی شدند و با استفاده از روش نسبت‌ها نواقص آماری بازسازی شدند. مبنای بازسازی داده‌ها بر اساس گزارش سازمان جهانی هواشناسی (آگویلار و همکاران^۱، ۲۰۰۳: ۱۱۸۶) بر پایه عدم بازسازی بیش از حد داده‌ها (حداکثر ۱۰ درصد) انجام شد. داده‌های به‌دست آمده طبق فرمت مدل به تاریخ میلادی تهیه و در بخش ایستگاه‌های هواشناسی منطقه وارد مدل شدند.

1- Aguilar et al.

۲-۵- آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

تعداد پارامترهای موجود در برخی از مدل‌ها مانند مدل‌های تجربی یا یکپارچه محدود می‌باشند در حالی که در مدل‌های توزیع مانند مدل SWAT پارامترهای زیادی جهت واسنجی کردن مدل وجود دارد که لازم است حساسیت‌سنجی و بهینه‌سازی شوند (کاوایان و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۸۹). در این تحقیق دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ - ۲۰۰۲ به‌عنوان دوره گرم کردن (Warmup) مدل در نظر گرفته شد و دوره زمانی ۲۰۰۳ - ۲۰۱۰ برای واسنجی مدل انتخاب شد، به‌منظور واسنجی مدل از برنامه SWAT CUP استفاده شد. این برنامه به‌منظور واسنجی کردن مدل از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می‌کند که در این تحقیق از الگوریتم SUFI2 برای این منظور استفاده شد. بعد از وارد کردن اطلاعات و کدنویسی‌های لازم برای اجرای برنامه، تعداد ۴۰۰ تکرار برای تعیین پارامترهای حساس انجام شد. با استفاده از مقادیر t-state و p-value تحلیل حساسیت پارامترها انجام شد. فاکتور t-state حساسیت نسبی را بر پایه تقریب خطی ارائه می‌دهد و مقادیر قدر مطلق این فاکتور نشان دهنده حساسیت مدل است. فاکتور p-value نیز برای تعیین معنی‌داری درجه حساسیت پارامترها استفاده شد. هرچه مقدار این فاکتور به صفر نزدیکتر باشد حساسیت پارامتر بیشتر است (عباسپور^۱، ۲۰۰۷). پس از واسنجی کردن مدل SWAT و تعیین مقادیر بهینه پارامترهای حساس مدل در دوره زمانی ۲۰۱۴ - ۲۰۱۱ اعتبارسنجی شد.

۲-۶- معرفی نمایه‌های ارزیابی کارایی مدل

جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل از نمایه‌های آماری ضریب نش-ساتکلیف (NS)، ضریب همبستگی (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد. ضریب همبستگی بین صفر تا یک متغیر است و در صورتی پراکنش مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در نزدیکی خط رگرسیونی بالا باشد، نشان‌دهنده‌ی بالا بودن دقت مدل است. در مراحل آماده‌سازی مدل SWAT CUP نمایه (NS) به‌عنوان تابع هدف برای واسنجی مدل معرفی شد. مقدار این تابع بین بازه‌ی مثبت یک تا منفی بی‌نهایت متغیر است و نشان‌دهنده‌ی نزدیکی خط رگرسیونی با شیب ۱ به ۱ با خط رگرسیونی ایجاد شده بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است. ضریب میانگین مربعات خطا نیز یک نمایه آماری ساده و پرکاربرد است که نشان‌دهنده‌ی مجموع مربعات خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است و واحد آن مطابق با واحد نمودارهای رسم شده می‌باشد به‌طوری‌که در این واحد این نمایه بر حسب مترمکعب بر ثانیه است. معادلات مربوط به نمایه ذکر شده به ترتیب ارائه شده است (مصطفی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۷؛ میرزایی و همکاران، ۲۰۱۸؛ ضیائی، ۲۰۱۹: ۱۳۴):

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})}{\left[\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2 \right]^{0.5} \left[\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2 \right]^{0.5}} \right\} \quad (۲)$$

$$E_{NS} = \left[\frac{SSQ}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \right] \quad (۳)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n - k} \quad (۴)$$

در روابط مذکور، پارامتر Q_{obs} دبی اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر ثانیه)، Q_{sim} دبی شبیه‌سازی شده (مترمکعب بر ثانیه)، \bar{Q}_{obs} میانگین دبی اندازه‌گیری شده (مترمکعب بر ثانیه)، \bar{Q}_{sim} میانگین دبی شبیه‌سازی شده (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد.

SSE تغییرات مربوط به داخل گروه‌ها یا واریانس خطا می‌باشد که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^x \left(X_{ij} - \bar{X}_{i.} \right)^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^x X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{X_{i.}^2}{n_i} \quad (۵)$$

در این رابطه X_{ij} ز امین مشاهده که در گروه i ام قرار دارد، $X_{i.}$ مجموع مشاهدات در گروه i ام، n_i تعداد مشاهدات در گروه i ام می‌باشد.

۲-۷- سناریوهای تغییر کاربری اراضی

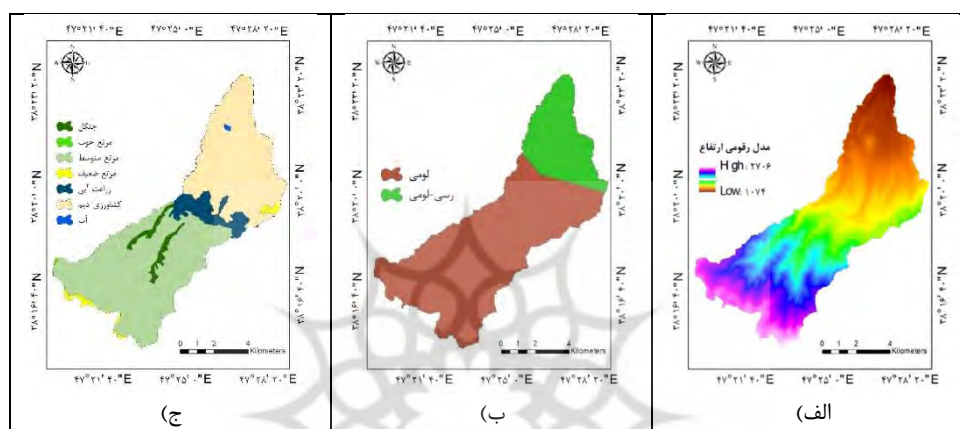
بعد از اجرای مدل SWAT با نقشه کاربری اراضی پایه و واسنجی و اعتبارسنجی مدل، اقدام به اعمال تغییرات و سناریوهای کاربری اراضی شد. با توجه به شرایط مدیریتی حاکم بر منطقه در یک سناریو اراضی دیم کم بازده به اراضی مرتعی و ۵۰ درصد زراعت آبی به باغ تبدیل شد و در سناریو دوم ۴۰ درصد کاربری مرتع به کاربری زراعت دیم تبدیل شد سپس تأثیر تغییرات کاربری اراضی بر دبی ماهانه جریان حوضه‌ی آبریز اهل ایمان ارزیابی شد (سعدالدین و همکاران، ۲۰۱۰؛ خاوریان و همکاران، ۲۰۲۰).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT

نقشه‌های ورودی به مدل SWAT جهت شبیه‌سازی دبی جریان خروجی از حوضه‌ی آبریز اهل ایمان در شکل (۲) ارائه شده است. همچنین پارامترهای حساس و مقادیر بهینه مشخص شده برای پارامترهای حساس در

جدول ۲ ارائه شده است. مقدار t-state و p-value برای پارامترهای حساس به ترتیب بین ۱/۵۴ تا ۶/۳۹ و ۰/۰۰ تا ۰/۱ است.



شکل (۲): نقشه‌های ورودی به مدل هیدروژئولوژیکی SWAT

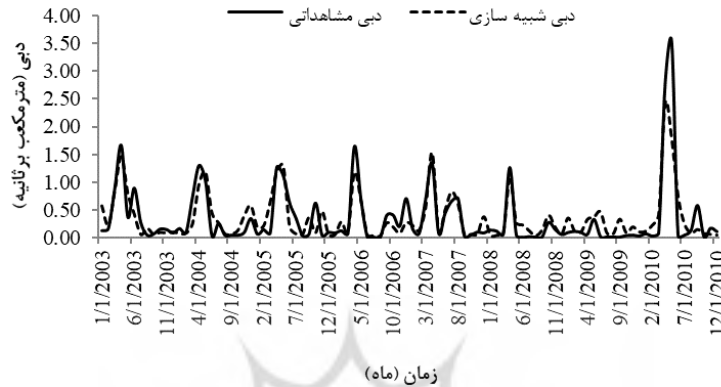
Figure (2): Input maps to the SWAT hydrological model

جدول (۲): مقادیر واسنجی شده برای پارامترهای حساس جهت شبیه‌سازی رواناب

Table (2): Calibrated sensitive parameters values in the runoff simulation

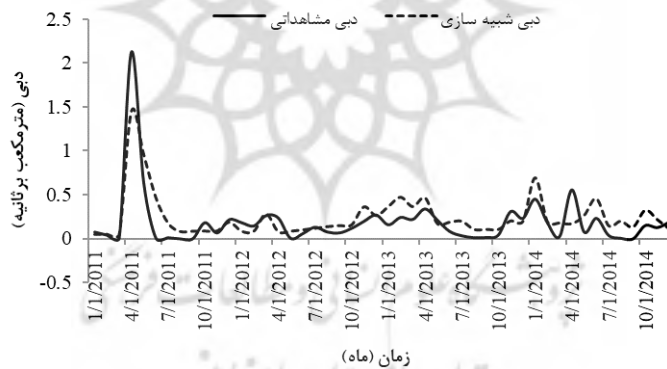
p-value	t-state	حداقل	حداکثر	بهبینه	پارامتر
۰/۱	۱/۵۴	-۰/۵	۰/۵	-۰/۰۳۸۱۲۵	R_SOL_ALB(..).sol
۰/۰۴	۱/۷۱	۰/۰۱	۱	۰/۸۱۶۲۳۱	V_EPCO.hru
۰/۰۰	۲/۸۷	۰	۵۰۰۰	۴۹۰۳/۱۲۵	V_GWQMN.gw
۰/۰۷	۱/۸۶	۰	۱	۰/۲۹۵۶۲۵	V_ALPHA_BNK.rte
۰/۰۰	۶/۳۹	-۰/۲	۰/۲	۰/۱۲۵۷۵	R_CN2.mgt
۰/۰۴	۲/۴۹	۰	۱	۰/۴۰۱۸۷۵	V_ALPHA_BF.gw
۰/۰۰	۲/۱۱	۳۰	۴۵۰	۶۳/۸۶۲۴۹۹	V_GW_DELAY.gw

بعد از آنالیز حساسیت مدل، واسنجی مدل برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۳-۲۰۱۰ اجرا شد و ارزیابی مدل SWAT نشان داد که این مدل عملکرد بالایی برای انجام عملیات مدیریتی در حوضه‌ی آبریز اهل ایمن دارد. بنابراین اقدام به انجام اعتبارسنجی مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب شد. که نتایج نشان داد مدل برای این دوره نیز عملکرد بالایی دارد.



شکل (۳): واسنجی مدل هیدرولوژیکی SWAT در حوضه‌ی آبریز اهل ایمان

Fig. (3): Calibrated hydrological SWAT model in the Ahleh Iman watershed



شکل (۴): شبیه‌سازی رواناب برای دوره‌ی اعتبارسنجی (۲۰۱۱-۲۰۱۴) با مدل SWAT

Fig. (4): Runoff simulation using SWAT model in the validation period (2011-2014) in Ahle Iman watershed

جدول (۳): ارزیابی واسنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه‌ی آبریز اهل ایمان

Table (3): Assessment the SWAT model calibration in simulation of hydrologic response of Ahleh Iman watershed

دوره	R ²	NS	RMSE
واسنجی	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۳۱
اعتبارسنجی	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۱۸

به عملکرد بالای مدل SWAT جهت شبیه‌سازی رواناب در سطح جهان در مطالعات مختلفی اشاره شده است (همت‌جو و همکاران، ۲۰۱۳؛ زارع‌زاده و همکاران^۱، ۲۰۱۸؛ اوتاماهادی و همکاران^۲، ۲۰۱۸). در ماه‌های فروردین و اردیبهشت دبی شبیه‌سازی شده بیش‌تر از دبی مشاهداتی است که می‌تواند به‌دلیل تأثیر ذوب و ذخیره برف باشد، در مطالعات گلشن و همکاران (۲۰۱۶) و ضیایی (۲۰۱۹) دلیل این بیش‌تخمینی استفاده از رابطه شماره منحنی در مدل برای شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف ذکر شده است. در مرحله تحلیل حساسیت مدل ۷ پارامتر به‌عنوان پارامترهای حساس انتخاب شدند که پارامتر شماره منحنی به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر تعیین شد در اکثر مطالعات انجام شده با استفاده از مدل SWAT پارامتر شماره منحنی به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر برای شبیه‌سازی رواناب معرفی شده است (گلشن و همکاران، ۲۰۱۶؛ اسمعیلی و همکاران، ۲۰۲۰؛ گتچو و ملز^۳، ۲۰۱۲؛ لائو و نژاده‌اشم^۴، ۲۰۱۱؛ تریبولا و همکاران^۵، ۲۰۱۴؛ آوار و خاره^۶، ۲۰۲۰). پارامتر حساس بعدی پارامتر GWQMN (حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستایی در سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان) است مقدار t-stat و p-value برای این پارامتر به‌ترتیب ۲/۸۷ و صفر است. این پارامتر مربوط به مشخصات آب زیرزمینی است که به‌طور مشخصی در تولید و ذخیره‌ی رواناب در منطقه‌ی مطالعاتی تأثیرگذار است. سایر پارامترهای حساس در منطقه‌ی مطالعاتی به‌ترتیب ALPHA_BF، GW_DELAY، ALPHA_BNK، EPCO و SOL_ALB می‌باشند. میانگین رواناب ماهانه برای دوره‌ی زمانی واسنجی برابر با ۰/۳۴ مترمکعب بر ثانیه است که مقدار شبیه‌سازی شده برای این دوره دارای دبی متوسط برابر با ۰/۳۶ است که نزدیک به دبی مشاهداتی است اما در نتایج مدل به‌طور کلی بیش‌تخمینی دیده می‌شود که در مطالعات چن و همکاران^۷ (۲۰۱۵) و آبولناگا و همکاران^۸ (۲۰۲۰) نیز این موضوع قابل مشاهده است.

دبی‌های اوج در بیش‌تر ماه‌های سال با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی شده و به دبی‌های مشاهداتی نزدیک می‌باشند. مقدار دبی‌های اوج برای تعدادی از ماه‌های سال به‌ترتیب برابر با ۱/۶۶، ۱/۶۴ و ۲/۷۹ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که مقادیر شبیه‌سازی شده برای این ماه‌ها به ترتیب معادل با ۱/۴۶، ۱/۱۷ و ۲/۴ است که نشان می‌دهد مدل به‌خوبی زمان وقوع دبی اوج را شبیه‌سازی کرده است که در مطالعات آوار و خاره^۹ (۲۰۲۰) و اوتاماهادی و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۸) به آن اشاره شده است. مقدار دبی اوج با وجود کم‌تخمینی به دبی شبیه‌سازی

1- Zarehzadeh et al.

2- Utamahadi et al.

3- Getachew and Melesse

4- Love and Nejadhashemi

5- Trybula et al.

6- Aawar and Khare

7- Chen et al.

8- Aboulnaga et al.

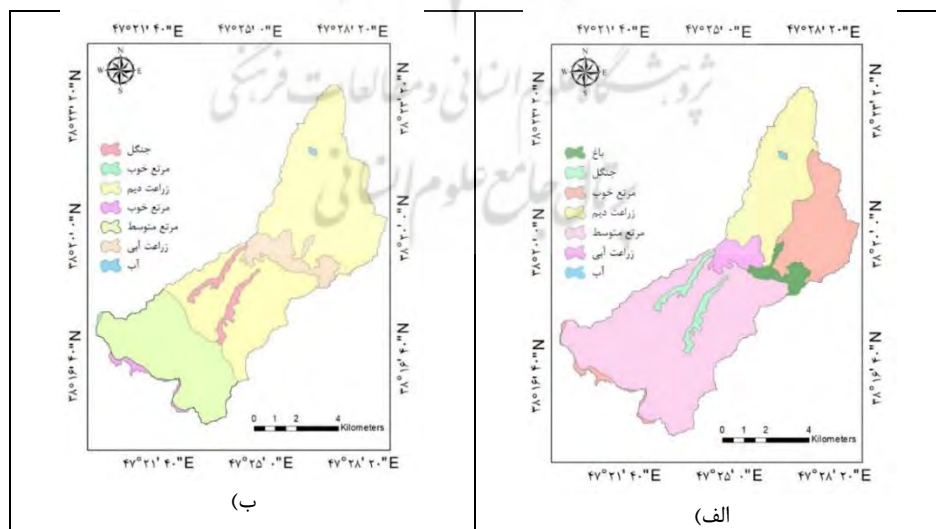
9- Aawar and Khare

00- Utamahadi et al.

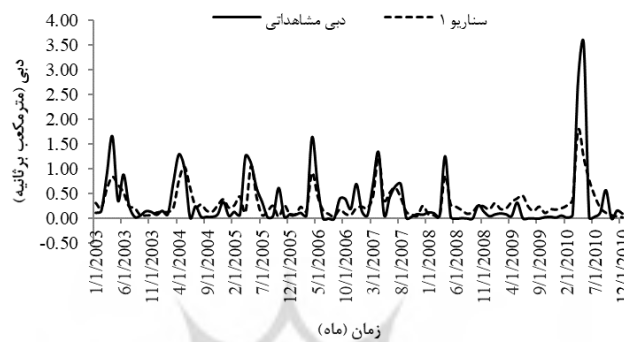
نزدیک است، در مطالعات گلشن و همکاران (۲۰۱۶) و کاویان و همکاران (۲۰۱۷) به ترتیب در حوضه‌ی آبریز خرم‌آباد و هراز به این موضوع اشاره شده و عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی حاصل از ذوب برف از دلایل اصلی کم‌تخمینی دبی اوج ذکر شده است.

۳-۳- سناریوی‌های مطالعاتی

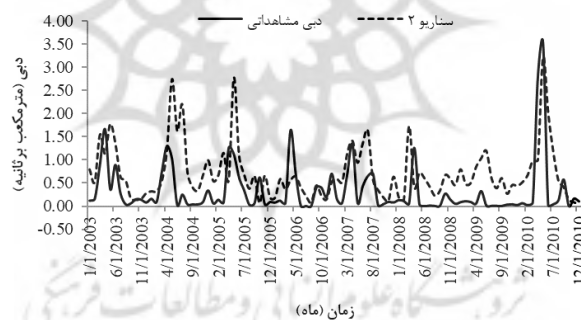
نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی مطالعاتی با توجه به سناریوی مطالعاتی اول تغییر داده شد و اراضی دیم کم بازده واقع در پایین دست حوضه به کاربری مرتع و ۵۰ درصد زراعت آبی واقع در قسمت مرکزی حوضه به صورت کاربری باغ تغییر داده شدند. سناریوی مطالعاتی دوم در این تحقیق تغییر ۴۰ درصد کاربری‌های مرتع به کاربری زراعت دیم است. برای این منظور بخشی از مرتع خوب واقع در شمال شرق حوضه و قسمتی از مرتع متوسط واقع در قسمت مرکزی حوضه به زراعت دیم تغییر داده شد. مرتع ضعیف در شیب‌های بسیار تند و در بالادست حوضه قرار دارد که زراعت دیم برای این مناطق امکان‌پذیر نیست. در سناریوی مدیریتی نقشه‌ی کاربری اراضی پایه تغییر داده شد. نقشه به دست آمده (شکل ۵) برای شبیه‌سازی تأثیر تغییرات کاربری اراضی به مدل داده شد که نتایج شبیه‌سازی رواناب در سناریوهای مطالعاتی در شکل ۶ و ۷ آورده شده است. هم‌چنین نتایج شبیه‌سازی‌های انجام شده با کاربری‌های مختلف در مقایسه با نتایج کاربری پایه در شکل (۸) ارائه شده است.



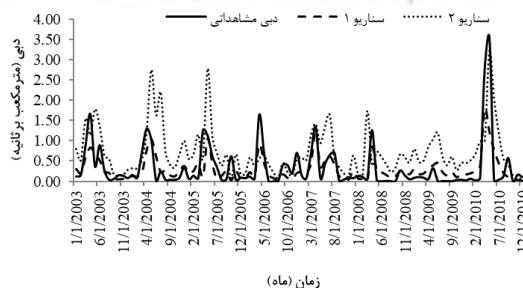
شکل (۵): نقشه‌ی کاربری اراضی مربوط به سناریوهای مطالعاتی الف) سناریوی اول، ب) سناریوی دوم
Fig. (5): Landuse map related to study scenarios: a) First scenarios, b) Second scenarios.



شکل (۶): دبی شبیه‌سازی شده در سناریوی تغییر کاربری اراضی دیم کم‌بازده به مرتع و تبدیل ۵۰ درصد زراعت آبی به باغ
Fig. (6): simulated discharge in changing dry farming to the range land and changing 50 percent of irrigation land to the garden scenario



شکل (۷): دبی شبیه‌سازی شده در سناریوی تبدیل ۴۰ درصد کاربری مرتع به کاربری زراعت دیم
Fig. (7): Simulated discharge in changing 40 percent to the range land to the dry farming land.



شکل (۸): مقایسه‌ی دبی پایه با دبی سناریوهای تغییر کاربری اراضی اول و دوم در حوضه‌ی آبریز اهل ایمان
Fig. (8): Comparing base flow with streamflow in first and second land use change scenarios

در سناریوی اول تغییرات کاربری اراضی منجر به کاهش سرعت پاسخ هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز شده و روند جریان رودخانه از نوسانات کمتری برخوردار است، در سناریوی دوم برعکس سناریوی اول روند تغییرات جریان رودخانه بسیار بالا بوده و بارش دریافتی به صورت رواناب از دسترس خارج می‌گردد. در مطالعات چن و همکاران^۱ (۲۰۱۵)، کاویان و همکاران^۲ (۲۰۱۷) و اوتاماهدی و همکاران (۲۰۱۸) به افزایش رواناب خروجی در تغییرات کاربری اراضی با روند منفی اشاره شده است.

۴- نتیجه‌گیری

مدل SWAT در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب با نمایه‌های آماری ضریب تبیین ۰/۷۵ و ۰/۷۱ و ضریب نش ساتکلیف ۰/۷۱ و ۰/۶۸ با عملکرد بالایی رواناب خروجی از منطقه‌ی مطالعاتی را شبیه‌سازی کرده است. تأثیر تغییرات کاربری اراضی منطقه بر میزان رواناب خروجی در سناریوی اول به صورت تبدیل اراضی دیم کم‌بازده به زمین‌های مرتعی و تبدیل ۵۰ درصد زراعت آبی به باغ و در سناریوی دوم به صورت تبدیل ۴۰ درصد کاربری مرتع به زراعت دیم با مدل هیدرولوژیکی SWAT بررسی شدند. مقدار دبی متوسط در سناریوی مدیریتی اول معادل با ۰/۳ مترمکعب بر ثانیه شبیه‌سازی شد که نسبت به دبی کاربری اراضی پایه با مقدار دبی متوسط ۰/۶ مترمکعب بر ثانیه معادل با ۱۷ درصد کاهش دبی را نشان می‌دهد. هم‌چنین تعداد دبی‌های اوج و مقدار دبی‌های اوج به طور قابل توجهی کاهش یافته است. در سناریوی مدیریت دوم با تبدیل ۴۰ درصد سطح مراتع به اراضی دیم دبی متوسط به مقدار ۰/۵ مترمکعب بر ثانیه معادل با ۳۶ درصد نسبت به دبی متوسط کاربری پایه افزایش یافته است. هم‌چنین مقدار و تعداد دبی‌های اوج به طور قابل توجهی افزایش یافته است. با توجه به این‌که داده‌های هواشناسی و سایر اطلاعات ورودی در هر دو سناریو یکسان می‌باشند و تنها نقشه‌ی کاربری اراضی متفاوت است می‌توان بیان کرد در سناریوی دوم مقدار تبدیل بارندگی به رواناب بیش‌تر از سناریوی اول بوده و مقدار آب ذخیره شده در حوضه‌ی آبریز در این سناریو کمتر است. بنابراین در صورت تبدیل سطح مراتع منطقه به اراضی کشاورزی دیمی با افزایش سرعت پاسخ هیدرولوژیکی منطقه و تخلیه‌ی سریع بارش ورودی به صورت رواناب ذخیره‌ی منابع آبی منطقه یافته که در طولانی‌مدت می‌تواند منجر به مشکلات کم‌آبی شود.

۵-منابع

- Aawar, T., & Khare, D. (2020). Assessment of climate change impacts on streamflow through hydrological model using SWAT model: a case study of Afghanistan. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3), 1427-1437.
- Abbaspour K.C. 2007. SWAT-CUP, SWAT Calibration and Uncertainty Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag: Duebendorf, Switzerland; 95.
- Aboulnaga M., & Mostafa, M. (2020) Climate Change Adaptation: Prioritising Districts for Urban Green Coverage to Mitigate High Temperatures and UHIE in Developing Countries. *In Renewable Energy and Sustainable Buildings*, 825-837, Springer, Cham.
- Aghabeigi, N., Esmali-Ouri, A., Mostafazadeh, & R., Gholshan, M. 2020. The Effects of Climate Change on Runoff Using IHACRES Hydrologic Model in Some of Watersheds, Ardabil Province, *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 10(2):181-192. (in Persian)
- Aguilar, E.; I. Auer, M. Brunet, T. C. Peterson, and J. Wieringa. 2003. Guidelines on climate metadata and homogenization. World Climate Programme Data and Monitoring WCDMP-No. 53, WMO-TD No. 1186. *World Meteorological Organization*, Geneva.
- AhmadiSani, N., Solaimani, K., Razaghnia, L., Mostafazadeh, R., & Zandi, J. (2018). Assessing the efficiency of Arc-CN Runoff tool in runoff estimation and its comparison in 1996 and 2011 years in Haraz Watershed, Mazandaran Province, *Hydrogeomorphology*. 16: 139-158. (in Persian)
- Chen, Y., Srinivasular, A., Rajan, N., Morgan, C., & Park, J. (2015). Hydrological responses of land use change from cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to cellulosic bioenergy crops in the Southern High Plains of Texas, USA. *Global Change Biology*.
- Esmaili, A., & Abdollahi, Kh. (2012). Watershed Management and Soil Conservation, Ardabil, University of Mohaghegh Ardabili Press, 1, 6-7. (In Persian)
- Esmali, A., & Golshan, M. (2020). Assessment potential of runoff and sediment yield using rainfall simulator and hydrologic model in Kozehtopraghi watershed. *Range and Watershed Management*, 1 (73): 19-31. (In Persian)
- Getachew, H., & Melesse, A. (2012). The Impact of Land Use Change on the Hydrology of the Angereb Watershed, Ethiopia. *International Journal of Water Science*, 1 (4): 1-7.
- A , Jahanshahi & K Shahedi ., A ,Esmali .,M ,Golshan (2016)., SAAT of ity capabil Assessment Soil and Water .runoff watershed Khorramabad simulation in melel IHACRSS and, 29: 2-1) – 42. (In Persian)

- Hemmatjo, M. H., & Aiobi, Sh. (2013). Assessment effects of changing the land uses to the suitable land use in the main branch of Zaiandeh road watershed using the SWAT model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 4 (43): 343-351. (In Persian)
- Ildoromi, A., Nori, H., & Agabeigi, S. (2018). Assessment land use change scenarios and its effect on hydrologic parameters. *Environment Erosion Research*, 3(27): 86-99. (In Persian)
- Kavian, A., Golshan, M., & Abdollahi, Z. (2017). Flow discharge simulation based on land use change predictions. *Environmental Earth Sciences*, 76(16), 1-17.
- Kavian, A., Namdar, M., Golshan, M., & Bahri, M. (2017). Hydrological modeling of climate changes impact on flow discharge in Haraz River Basin. *Natural Environmental Hazards*, 6(12), 89-104. (In Persian)
- Khavarian, H., Aghaie, M., & Mostafazadeh, R. 2020. Predicting the effects of land use changes on the monthly flow using hydrological model and Remote Sensing in the Kouzetopraghi watershed, Ardabil, *Hydrogeomorphology*, 6(24):19-39. (in Persian).
- Love, B., & Nejadhashemi, A. (2011). Water quality impact assessment of large-scale biofuel crops expansion in agricultural regions of Michigan. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2200-2216.
- Mostafazadeh, R., Sadoddin, A., Bahremand, A., and Sheikh, V.B, & ZareGarizi, A. 2017. Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision making technique in Northeast Iran. *Natural Hazards*, 87(3), 1827-1846.
- Naserabadi, F. (2012). Using SWAT model in monthly runoff and sediment estimation in the Gharasou watershed, Ardabil. University of Mohaghegh Ardabili, 138 pp. (In Persian)
- Neitsch, S. L. Arnold, J. G. Kiniry, J. R. & Williams, J. R. (2005). Soil and water assessment tool theoretical documentation, Version 494pp.
- Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., & Namirianian, M. (2006). The Area Change Detection in the Northern Forests of Iran Using ETM + Data. *Journal of Water and Soil Science*, 10 (3): 277-287.
- Sadoddin, A., Sheikh, V.B., Mostafazadeh, R., & Halili, M.Gh. (2010). Analysis of Vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran, *International Journal of Plan Production*, 4(1): 51-62.
- Trybula, E., Cibin, R., Burks, J., Chaubey, I., Brouder, S. M., & Volenec, J. (2014). Perennial rhizomatous grasses as bioenergy feedstock in SWAT: parameter development and model improvement. *Global Change Biology Bioenergy*.
- Utamahadi, M. A., Pandjaitan, N. H., & Rau, M. I. (2018). Land use change impacts on discharge analysis using SWAT model at Cihérang Pondok DAM catchment area. In IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 149(1), 012015. IOP Publishing.

- Zarezadeh, Sh., Khorani, A., Bazrafshan, J., & Bazrafshan, A. (2018). Assessment SWAT model capability in simulation runoff in the Gamaseiab watershed. *Range and Watershed Management*, 70(4): 881-893. (In Persian).
- Zarghosh, R. (2018). Land use Changes Modelling Using Logistic Regression and Markov Chain in the Haraz Watershed. M.Sc. in Watershed management. Sari University of Agriculture and Natural Resource Science. Faculty of Natural Resource. 125 pp. (in Persian).
- Zeiaei, H. (2002). Principles of Watershed Management Engineering, Astan Quds Razavi Press, 542pp.
- Zeiaei, Kh. (2019). Assessment of the effects of various land use change scenarios on runoff using SWAT model in the Ahl Iman watershed. M.Sc. in Watershed management. University of Mohaghegh Ardabili Faculty of Agriculture and Natural Resource. 134 pp. (In Persian).

