شبیه‌سازی ذخیره آب سبز و جریان آب سبز در حوزه آبخیز لردگان با استفاده از مدلSWAT

نوید حسین‌زاده[۱]، محمدعلی حاج‌عباسی[۲]، علی اصغر بسالت‌پور[۳]

چکیده

در مطالعه حاظر، از مدل SWAT جهت شبیه‌سازی ذخیره آب سبز (ذخیره رطوبت خاک)و جریان آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) در حوزه آبخیز لردگان استفاده شد و جهت واسنجی و اعتبارسنجی دبی رودخانه و تحلیل عدم قطعیت مدل از الگوریتم SUFI2 در بسته نرم افزاری SWAT-CUPاستفاده شد. درجه نیکویی برازش توسط ضریب تبیین (R^2) و ضریب نش- ساتکلیف (NS) محاسبه شد و درجه عدم قطعیت توسط فاکتورهای R- factorو P- factor محاسبه گردید. نتایج شبیه‌سازی در ایستگاه زرین‌درخت (خروجی حوزه) رضایت بخش بود. مقادیر ضریب تبیین ۰/۸۳ و ضریب نش- ساتکلیف ۰/۸۳ در مرحله واسنجی و R- factorو P- factorبترتیب ۱/۰۶ و ۰/۴۹ بود که نشان دهنده شبیه‌سازی خوب با عدم قطعیت مناسب مدل می‌باشد. مقادیر کمی جریان و ذخیره آب سبز برای هرزیرحوزه و در مقیاس سالانه محاسبه گردید و مشاهده شد که مقادیر کمی این مؤلفه‌ها متأثر از مقادیر بارندگی، برداشت آب، عملیات آبیاری و مدیریت کشاورزی و کاربری اراضی است.

کلمات کلیدی: جریان آب سبز، ذخیره آب سبز، SWAT، SUFI2، لردگان

مقدمه

آگاهی از منابع آب تجدیدپذیر در هر کشور، از جمله اطلاعات راهبردی است که جهت برنامه‌ریزی‌های بلند مدت برای امنیت غذایی و آب به آن نیاز دارد. بدین منظور مطالعات زیادی در زمینه افزایش خطرات ناشی از کمبود آب و آسیب‌پذیری منابع آب در مقیاس منطقه‌ای و جهانی انجام گرفته است (فرامرزی و همکاران ۲۰۰۹). تا کنون بیشتر مطالعات مربوط به منابع آب، متوجه تعیین و معرفی آب آبی (Blue water)بوده است و به آب سبز (Green water) که یک منبع تجدیدپذیر و مهم در کشاورزی بخصوص در کشاورزی دیم می‌باشد، توجه خاصی نشده است. آب آبی مجموع رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمیق است و متفاوت از آب سبز و منابع آن است . در واقع منبع آب سبز ناشی از مدیریت منابع آب و نفوذ طبیعی آب به خاک است. بحث آب سبز و لزوم توجه به آن برای اولین بار توسط فالکن-مارک (۱۹۹۷) مطرح شد. فالکن‌مارک وراکستروم (۲۰۰۶) آب سبز را شامل ترکیب دو مؤلفه متفاوت، منبع یا ذخیره آب سبز (green water resource orstorage) و جریان آب سبز (green water flow) دانسته‌اند. در تعریف آنها، ذخیره آب سبز شامل رطوبت موجود در خاک و جریان آب سبز شامل تبخیر و تعرق واقعی می‌باشد. این در حالی است که در

[۱]- دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایمیل:navid.hoseynzadeh@gmail.com
[۲]- استادگروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایمیل: hajabbas@cc.iut.ac.ir
[۳]- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی‌عصر رفسنجان، رفسنجان، ایمیل: a_besalatpour@yahoo.com

برخی منابع، فقط از تعرق واقعی به عنوان آب سبز یاد شده است این در حالی است که تبخیر و تعرق دو فرآیند وابسته به هم هستند و همچنین از آب تبخیر شده نیز می‌توان به عنوان یک منبع آب تولید کننده، استفاده کرد از این رو در این تحقیق هر دو فرآیند تبخیر و تعرق واقعی به عنوان جریان آب سبز در نظر گرفته شده است.

زنگ و همکاران (۲۰۱۲) از مدل SWAT (Soil and Water Assessment Tool)جهتشبیه‌سازی جریان آب سبز و آبی استفاده کردند و در گزارش خود بیان داشتند که مقدار کمی جریان آب سبز و آبی به ازای هر واحد از حوزه مورد مطالعه از بالادست به پایین دست حوزه در مقیاس زمانی کاهش یافته است که دلیل آن را کاهش بارش برف ناشی از تغییر اقلیم دانسته‌اند. شول و همکاران (۲۰۰۸- الف) از مدل SWATجهت برآورد مؤلفه‌های آب و شاخص‌های کمبود آب (water scarcity) در قاره آفریقا در سطح حوزه‌ای و در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه استفاده کردند وگزارش کردند که نتایج حاصل از مدل، خوب و در برخی موارد مدل بیش برآورد داشته است که آن را ناشی از کمبود تعداد ایستگاه‌های بارانسنجی و نیز محدودیت دوره آماری داده‌ها، محدودیت اطلاعات مربوط به مدیریت‌های اعمال شده در زیرحوزه‌ها و نبود اصلاعات مربوط به رطوبت خاک و عمق آب زیرزمینی عنوان کردند. فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل SWAT اقدام به بررسی مؤلفه‌های منابع آب قابل دسترس شامل آب آبی و آب سبز در مقیاس کشوری و استانی برای کل کشور ایران کردند. نتایج آنها نشان داد که عملیات آبیاری تأثیر چشمگیری در دقت محاسبه بیلان آب دارد، به طوری که با عدم در نظر گرفتن آبیاری در محاسبه بیلان آب، تخمین مقدار تبخیر و تعرق خیلی کمتر از واقعیت خواهد بود. این مطالعه اطلاعاتی مفید و جامع را در مورد منابع آب در سطح هر استان فراهم می‌نماید. اخوان و همکاران (۱۳۸۹) از مدل SWAT برای برآورد آب آبی و آب سبز در حوزه آبخیز همدان- بهار استفاده کردند و گزارش کردند که نتایج حاصل از اعتبارسنجی و واسنجی خروجی حوزه رضایت بخش بوده و نیز شبیه‌سازی رواناب و تخمین مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی و آب سبز) موفقیت آمیز بوده است. آنها گزارش کردند که در خروجی حوزه نتایج حاصل از اعتبارسنجی بهتر از نتایج واسنجی بوده است که دلیل آن را تغییر کاربری اراضی در طول دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی عنوان کرده‌اند. در ادامه این گزارش اخوان و همکاران کشت آبی در برخی زیرحوزه‌ها را علت اصلی افزایش آب سبز نسبت به سایر زیرحوزه‌ها که کشت آبی کمتر داشته‌اند عنوان کرده‌اند. از آنجایی که ارزیابی توزیع زمانی و مکانی مؤلفه‌های منابع آب برای مشخص کردن مناطق بحرانی، به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب هر منطقه ضروری است، برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌هایمدیریتیواجراییمتفاوتمی-باشد.مدل SWAT در مطالعات مربوط به کیفیت و کمیت آب در مقیاس حوزه‌ای در سطح جهانی موفق بوده است و همچنین این مدل، قابلیت بالایی در مدل‌سازی رشد گیاهان و کیفیت آب دارد که خود بر روی تبخیر و تعرق تأثیرگذاراند (شول و همکاران ۲۰۰۸- ب)، از این رو در این تحقیق از این مدل جهت شبیه‌سازی جریان آب سبز و ذخیره آبسبز، در حوزه آبخیز لردگان استفاده شده است و جهت تحلیل عدم قطعیت آن، از بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP و الگوریتم SUFI2 (Sequentialuncertainty fitting ver. 2)استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز لردگان با وسعت ۱۴۴۷ کیلومتر مربع، یکی از شش زیرحوزه اصلی حوزه آبخیز کارون شمالی می‌باشد که در بین طول‌های ۵۰ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی قرار گرفته است. این حوزه از دو بخش دشت و ارتفاعات تشکیل شده است که ارتفاع حداقل و حداکثر آن در دشت‌ها و ارتفاعات بترتیب، ۸۴۷ و ۳۶۴۴ متر از سطح دریا، و متوسط شیب حوزه ۱۸/۴ درصد می‌باشد. دشت‌های مهم حوزه از نظر کشاورزی، دشت جوانمردی و آلونی خانمیرزا می‌باشد. پوشش اصلی حوزه جنگل بلوط، مرتع و زمین‌های تحت کشت آبی و دیم است. این حوزه از نظر هیدرولوژیک، آبریز رودخانه منج می‌باشد که در انتهای حوزه به رودخانه کارون می‌پیوندد.

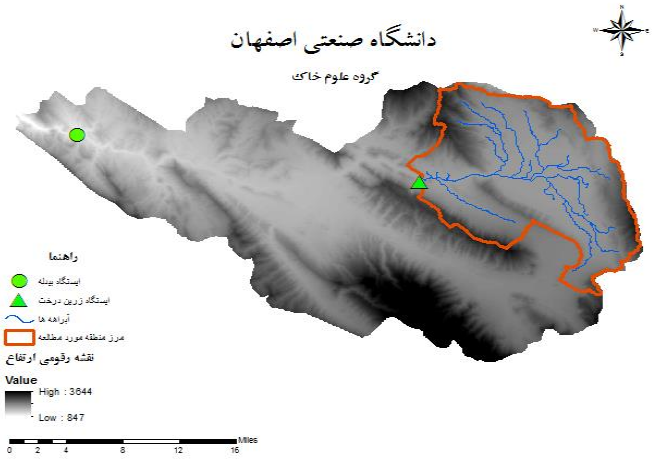
مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل پیوسته زمانی، برای ارزیابی آب و خاک در حوزه رودخانه یا آبخیز است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی مدت‌تر اجرا می‌شود. در این مدل هر حوزه به چند زیر حوزه و هر زیر حوزه به چند واحد واکنش هیدرولوژیک (Hydrologic Response Unit) که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم می‌شوند. این مدل یک مدل مفهومی- نیمه‌توزیعی و جامع و کامل در مقیاس حوزه‌ای است که دارای بازده محاسباتی بالا می‌باشد که به تغییرات مدیریتی، اقلیمی و پوشش گیاهی حساس بوده و قادر است اثر این تغییرات را بر پارامترهایی همچون حرکت آب، رسوب و انتقال عناصر غذایی و آفت‌کش‌ها پیش‌بینی نماید. این مدل جهت پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصرغذایی و تعادل مواد شیمیایی در حوزه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی، خاک و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی مدت تهیه و ارائه شده است.

جمع‌آوری داده‌ها و تنظیمات مدل

در این مطالعه از مدل SWAT 2012در محیط ArcGIS 10.1 استفاده شد. نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۸۹ با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و نقشه رقومی ارتفاع (DEM) با دقت ۲۰ متر از سازمان مراتع و جنگل‌ها استان چهارمحال و بختیاری و نقشه خاک از شرکت مشاور یکم با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شد. داده‌های بارش و حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه و دبی رودخانه از سال ۱۹۹۳ تا ۲۰۱۱، نیز بترتیب از اداره هواشناسی و آب منطقه‌ای شهرکرد تهیه گردید. سپس تمامی اطلاعات ورودی مدل، طبق فرمت مخصوص مدل تنظیم شد. از آنجایی که در خروجی حوزه داده‌های دبی رودخانه در استگاه بیدله دارای دوره آماری کم بود، از داده‌های ایستگاه زرین‌درخت استفاده شد لذا وسعت منطقه مورد مطالعه به ۳۸۰۰۰ هکتار محدود گردید. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه زرین‌درخت و بیدله، مشخص شده است.

پس از آماده کردن داده‌های ورودی به مدل، کل زیرحوزه با استفاده از نقشه رقومی ارتفاع به ۴۶ زیرحوزه تقسیم شد و سپس نقشه کاربری اراضی و خاک به مدل معرفی و HRUها تعریف شدند. در گام بعد داده‌های اقلیمی به مدل معرفی شد و تبخیر و تعرق پتانسیل با روش هارگریوز توسط مدل محاسبه گردید. سپس شبیه‌سازی رواناب با در نظر گرفتن ۳ سال وارم‌آپ (۱۹۹۳ تا ۱۹۹۶) برای دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۱ در گام زمانی ماهیانه انجام گرفت.



شکل ۱ - موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه زرین‌درخت و بیدله

آنالیز حساسیت و واسنجی و اعتبارسنجی مدل

مدل SWAT فرآیندهای هیدرولوژیک حوزه را به صورت فیزیکی و واقعی شبیه‌سازی می‌کند. لذا لازم است پارامترهایی که خروجی مدل به دقت آنها حساسیت بیشتری دارد مشخص شوند و به منظور تعدیل آنها، در واسنجی مدل از این پارامترها استفاده شود. بدین منظور آنالیز حساسیت انجام گرفت و پارامترهای حساس مشخص گردید و در واسنجی مدل از آنها استفاده شد. واسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۱ و اعتبارسنجی در دوره آماری ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ برای داده‌های مشاهدای ایستگاه زرین‌درخت در گام زمانی ماهیانه و با الگوریتم SUFI2 از نرم‌افزار SWAT-CUP انجام گرفت که به منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی رواناب، شاخص‌های R^2(ضریب تبیین)، NS(ضریب نش-ساتکلیف)، R-factor وP-factorدر الگوریتم SUFI2به عنوان **شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل** انتخاب شدند. در الگوریتم SUFI2 یک دامنه عدم قطعیت برای هر پارامتر در نظر گرفته می‌شود که توسط دو فاکتور R-factor و P-factorمحاسبه می‌شود. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد (95% Prediction Uncertainty) قرار گرفته‌اند و نزدیک بودن این عدد به یک نشان دهنده نتیجه مطلوب‌تر می‌باشد. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از توابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب (Latin Hypercube) بدست آمده است، توسط نرم‌افزار SWAT-CUPمحاسبه می‌شود. R-factorنیزفاصله حد بالا و پایین محدوده عدم قطعیت می‌باشد که حاصل تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد

بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد و باید سعی شود که به صفر نزدیک شود تا محدوده عدم قطعیت کوچکتر شود.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل

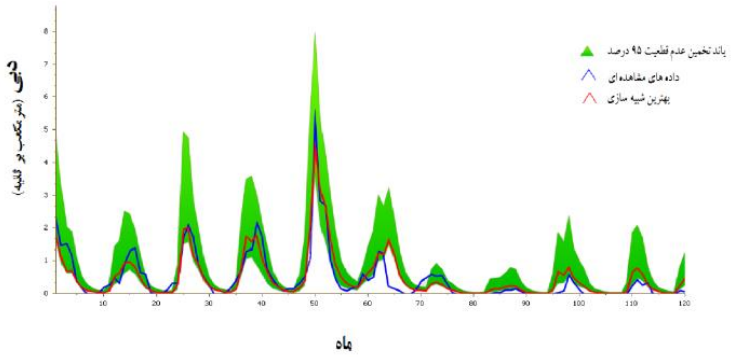
نتایج واسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۲- ۲۰۱۱ و اعتبارسنجی مدل (اعداد داخل پرانتز) در دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۰۱ در جدول ۱ ارائه شده است. در شکل ۲ نیز مقایسه نتایج بهترین شبیه‌سازی و داده های مشاهده‌ای و باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد نشان داده شده است. مقادیر بالای R^2و NSدر نتایج واسنجی و اعتبار سنجی بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی جریان در خروجی حوزه می‌باشد. مقدار P- factorدر واسنجی برابر ۰/۴۹ و در اعتبارسنجی برابر ۰/۷۵ بود که دلیل مقدار پایین آن در دوره واسنجی، عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی مناسب جریان پایه در فصل خشک است چرا که در دهه‌های اخیر رودخانه زرین‌درخت فصلی شده و در فصل خشک مقدار جریان پایه آن صفر است و همچنین نبود اطلاعات از میزان برداشت ازآبهای زیرزمینی و آب رودخانه به منظور مصارف کشاورزی از دیگر دلایل عدم توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی جریان پایه می‌باشد. اما در دوره اعتبارسنجی به علت بزرگتر بودن مقدار R- factor(برابر با ۱/۱۶) محدوده باند تخمین عدم قطعیت مدل نسبت به دوره واسنجی بزرگتر بوده و داده‌های مشاهده‌ای بیشتری بخصوص در فصل خشک سال در محدوده باند عدم قطعیت قرار گرفته‌اند بنابراین مقدار P- factorبزرگتر از دوره واسنجی بوده است.

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب در مرحله‌های واسنجی و اعتبارسنجی

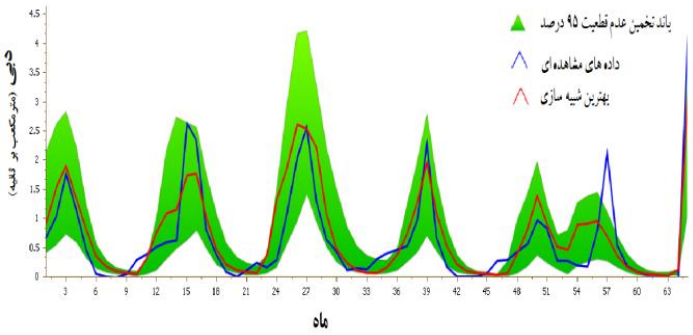
فرآیند	شاخص ارزیابی			
	ضریب تبیین	ضریب نش- ساتکلیف	R-factor	P-factor
واسنجی	۰/۸۳	۰/۸۳	۱/۰۶	۰/۴۹
اعتبارسنجی	۰/۷۵	۰/۷۴	۱/۱۶	۰/۷۵

مقادیر کمی جریان و ذخیره آب سبز

بعد از واسنجی و اعتبار سنجی مدل، مقادیر کمی جریان و ذخیره آب سبز و بارندگی برای دوره آماری ۱۹۹۶-۲۰۱۱ در گام‌های زمانی سالیانه و ماهیانه برای ۴۶ زیرحوزه محاسبه شد. در شکل ۳- الف میانگین بارندگی سالیانه (دوره ۱۹۹۶ - ۲۰۱۱) به ازای هر زیرحوزهنمایش داده شده است که در آن کمترین مقدار بارندگی در بخش‌های شمالی و مرکزی حوزه و بیشترین بارندگی در قسمتجنوبی حوزه اتفاق افتاده است. در شکل ۳- ب و ۳- پ نیز میانگین سالیانه (دوره ۱۹۹۶ - ۲۰۱۱) جریان وذخیره آب سبز برای هر زیرحوزه نمایش داده شده است که در آن کمترینو بیشترین مقدار جریان آب سبز بترتیب ۴۳۲ و ۵۸۴ میلیمتر در سال می‌باشند و کمترینو بیشترین مقدار ذخیره آب سبز نیز ۶۹ و ۱۴۵ میلیمتر در سال می‌باشند.



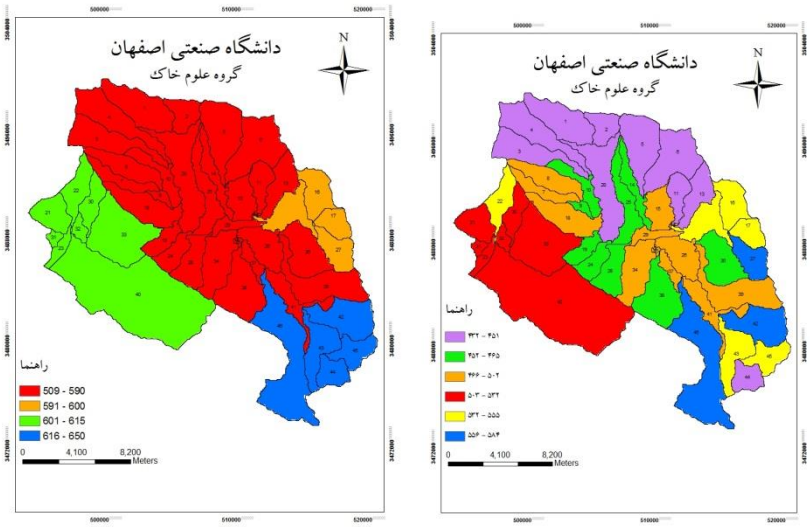
الف



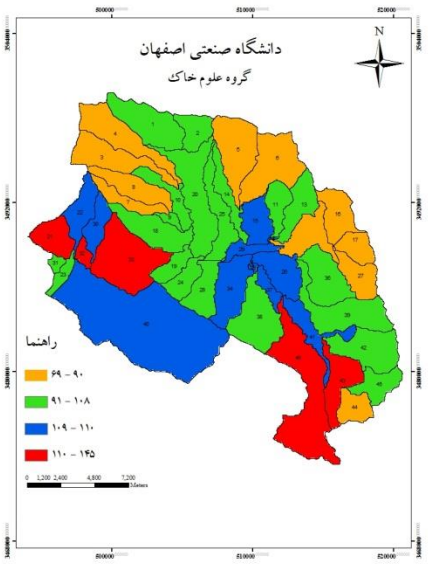
ب

شکل ۲- مقایسه نتایج بهترین شبیه‌سازی(خط قرمز) و داده های مشاهده‌ای(خط آبی) و باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد(باند سبز) برای دوره واسنجی (الف) و اعتبارسنجی (ب) ایستگاه زرین درخت

حداقل جریان آب سبز در قسمت‌های شمالی حوزه که کمترین بارش سالیانه را دریافت کرده است، جریان داشته است ولی در قسمت‌های مرکزی حوزه که بارندگی حداقل داشته است میانگین جریان آب سبز بیشتر از نواحی شمالی بوده است که دلیل آن عملیات آبیاری در این نواحی در فصول مختلف سال می‌باشد به طوری که فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹) نیز گزارش کردند که عملیات آبیاری اثر چشمگیری در بیلان آب دارد و با درنظر نگرفتن عملیات آبیاری، میزان تبخیر و تعرق کمتر از واقعیت تخمین زده می‌شود. در نواحی جنوبی حوزه نیز دریافت بیشترین مقدار بارندگی و نیز عملیات آبیاری باعث شده است که تبخیر و تعرق واقعی (جریان آب سبز) بیشترین مقدار کمی را در حوزه داشته باشند. میزان ذخیره آب سبز نیز در جنوب، غرب و بخش‌هایی از مرکز حوزه بیشتر از سایر نواحی بوده است که دلیل آن میزان حداکثر بارندگی در جنوب حوزه، پوشش مرتع در غرب حوزه و احتمالا نوع کشت محصولات کشاورزی و نوع مدیریتآبیاری در مرکز حوزه می‌باشد. اما به دلیل بارش حداقل در قسمت‌های شمالی و شرقی حوزه، این بخش از حوزه کمترین ذخیره رطوبت را نیز داشته است.



الف- بارندگی (میلیمتر در سال) **ب**- جریان آب سبز (میلیمتر در سال)



پ- ذخیره آب سبز (میلیمتر در سال)

شکل ۳- میانگین سالیانه (دوره ۱۹۹۶ - ۲۰۱۱) بارندگی، جریان و ذخیره آب سبز سالیانه برای هر زیرحوزه

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مدلSWATدر خصوص میانگین بارندگی، جریان و ذخیره آب سبز در حوزه مورد مطالعه حاکی از آن است که میزان بارندگی، نوع کاربری، عملیات آبیاری و نوع مدیریت آن بر روی جریان و ذخیره آب سبز تأثیرگذار است و از نتایج این تحقیق می‌توان در برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی، عملیات آبیاری و انتخاب الگوی کشت

محصولات کشاورزی با هدف استفاده از جریان آب سبز به عنوان یک منبع عظیم تواید کننده بهره جست و همچنین از نتایج حاصل از شبیه‌سازی ذخیره آب سبز نیز می‌توان در انتخاب نوع الگوی شخم در اراضی کشاورزی (دیم و آبی) با هدف ذخیره بیشتر رطوبت در خاک و نیز تغذیه آبهای زیرزمینی استفاده کرد.

منابع

۱- اخوان، س.، ج. عابدی کوپایی.، ف. موسوی.، ک. عباسپور.، م. افیونی، و س. اسلامیان. ۱۳۸۹. تخمین آب آبی و آب سبز با استفاده از مدلSWAT در حوضه آبریز همدان- بهار. مجله علوم و فنون کشاورزی ومنابع طبیعی، علوم آب و خاک.۱۴ (۵۳): ۲۳-۹.

2-Falkenmark, M. 1997. Meeting water requirements of an expanding world population. Phil. Trans. R. Soc. Lond.352: 929–936.

3-Falkenmark, M., J. Rockstrom. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for waterresources planning and management. ASCE, J. Water Resour. Plan.Manag. 132(3): 129–132.

4-Faramarzi, M., K. C. Abbaspour, R. Schulin, and H. Yang. 2009. Modelling blue and green water resourcesavailability in Iran. Hydrol. Proc. 23: 486-501.

5-Schuol, J., K. C. Abbaspour, R. Srinivasan, and H. Yang. 2008. Estimation of freshwater availability in the West African sub- continent using the SWAT hydrologic model. J. Hydrol. 352: 30- 49

6-Schuol, J., K. C. Abbaspour, H. Yang, R. Srinivasan, and A. J. B. Zehnder. 2008. Modelling blue and green wateravailability in Africa. Water Resour. Res. 44: 1-18.

7-Zang, C. F., J. Liu, M. Van der velde, and F. Kraxner. 2012. Assessment of spatial and temporal patterns of green and blue water flows under natural conditions in inland river basins in Northwest China. Hydrol.Erth Syst. Sci. 16: 2859- 2870.