

اثر استراتژی‌های مدیریت آبیاری و کوددهی بر تلفات نیتروژن: با استفاده از مدل SWAT

آذر شیخ‌زین‌الدین^{۱*}، عبدالکریم اسماعیلی^۱ و مسعود نوشادی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۵/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۸/۲۷)

چکیده

کود اوره (۴۶٪ نیتروژن) یکی از پرمصرف‌ترین و ارزان‌ترین کودهای شیمیایی نیتروژنی است و از آنجا که حلالیت بالایی در آب دارد، بخش قابل توجهی از آن در صورتی که آب آبیاری یا بارندگی زیاد باشد، به راحتی شسته شده و منجر به تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود. از اینرو، در این مطالعه اثرات استراتژی‌های کم‌آبیاری و کوددهی بر روی تلفات نیترات با استفاده از مدل SWAT برای حوضه آبریز طشک- بختگان شبیه‌سازی شد. در این تحقیق از طریق مقایسه خروجی مدل با مشاهدات واقعی هیدرولوژیکی، عملکرد محصولات گندم، جو، ذرت و برنج و نیترات با استفاده از الگوریتم SUFI ۲ در نرم‌افزار SWAT_CUP واسنجی و اعتبارسنجی شد، سپس از مدل واسنجی شده جهت ارزیابی استراتژی‌های مدیریتی گوناگون استفاده شد. زمانی که مدل اثرات کاهش مصرف در کود اوره از ۱۰ تا ۷۰ درصد را مدل‌سازی نمود، عملکرد گندم بین ۱ تا ۲۷، جو ۸٪ تا ۲۴، ذرت ۴۲٪ تا ۲۱ و برنج ۴۷٪ تا ۹ درصد کاهش یافت، این در حالی است که این امر منجر به کاهش تلفات نیترات از طریق آبخویی به میزان ۱۶ تا ۸۱، ۸۱ تا ۱۵، ۸۰ تا ۸۵ و ۱۲/۵ تا ۸۳/۶ درصد، به ترتیب در این محصولات شد. بنابراین با مقایسه تغییرات در عملکرد محصولات و تلفات نیتروژن از طریق آبخویی، این نتیجه حاصل می‌شود که کاهش قابل توجهی در تلفات نیتروژن می‌تواند با حداقل هزینه روی عملکرد از طریق بهینه کردن مصرف کود، حاصل شود.

واژه‌های کلیدی: واسنجی، اعتبارسنجی، شبیه‌سازی، آبخویی، نیتروژن

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: azeinoddin@yahoo.com

مقدمه

بعد از دسترسی به آب آشامیدنی، دسترسی و تأمین غذا اصلی‌ترین و مقدم‌ترین نیاز انسانهاست. از این رو کشاورزی یک عامل اساسی و بخش غالب اقتصاد جهانی است (۲۳). کشاورزی همواره به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده منابع آب شیرین، یعنی حدود ۷۰ درصد کل منابع آب استحصالی در جهان، به‌شمار رفته است (۲۳). همچنین آب کشاورزی به‌عنوان عامل تنزیل کیفیت منابع آبهای سطحی و زیرزمینی از طریق فرسایش خاک و مواد شیمیایی، باعث شده است تا به‌عنوان یکی از عوامل دخیل در کیفیت آب مورد توجه قرار گیرد. براساس قرارداد در بسیاری از کشورها، تمامی انواع فعالیت‌های کشاورزی و کاربری زمین از جمله دامداری، به‌عنوان کانون‌های غیرمتمرکز آلودگی در نظر گرفته شده‌اند. منابع غیرمتمرکز به شرایط هیدرولوژیکی واکنش نشان می‌دهند و به‌راحتی و مستقیماً قابل سنجش و کنترل نیستند. کشاورزی تنها یکی از انواع عوامل آلاینده غیرمتمرکز است، با این حال عموماً به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین عوامل ایجاد کننده آلودگی محسوب می‌شود (۲۳). تلفات مواد مغذی نیتروژن و فسفر از مزارع کشاورزی به آب‌های سطحی کیفیت آب را تنزیل داده و منجر به خسارات زیست محیطی می‌گردد. همچنین آبیاری می‌تواند باعث شستشوی کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها شده و در نتیجه بر روی محیط زیست تأثیر بگذارد. به‌منظور برآورد این اثرات استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند مفید باشد. مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب و خاک می‌باشد. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل‌های بهینه‌ای برای آنها باشد (۲۱). مدل‌های هیدرولوژی حوضه آبریز به دسته‌های مختلفی اعم از مدل‌های تجربی (Empirical) در برابر فیزیکی (Physical)، مدل‌های رویدادگرا (Event Base) در برابر پیوسته (Continues) و مدل‌های یکپارچه (Lumped) در مقابل پارامتر توزیعی (Distributed) طبقه‌بندی می‌شوند (۱۷). شبیه‌سازی بهتر

فرآیندهای هیدرولوژیکی مستلزم این امر است که داده‌های ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی بتوانند به خوبی شرایط واقعی حوضه آبریز را بیان کنند. این امر ضرورت استفاده از مدل‌هایی را که برخی از پارامترهای خود را با پردازش لایه‌های اطلاعاتی GIS به‌دست می‌آورند، روشن می‌سازد (۲۱). مدل SWAT (Soil and Water Assessment Tool) به دلیل توانایی آن برای پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های مدیریتی اراضی روی آب و خاک در حوضه‌های بزرگ و پیچیده انتخاب شد (۹ و ۲۱). از سوی دیگر مدل SWAT می‌تواند مقدار آب، کیفیت آب و رشد محصول را به‌طور همزمان شبیه‌سازی نماید. کاربردهای اخیر توانایی مدل SWAT را برای شبیه‌سازی رواناب و مواد مغذی در مقیاس حوضه و زیرحوضه نشان می‌دهد (۴، ۱۴، ۲۶، ۲۷، ۳۲). مدل SWAT در مطالعات مختلفی به‌منظور شبیه‌سازی متغیرهای مختلف استفاده شده است که از جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد:

شفرود و همکاران (۳۰) توانایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی هیدرولوژیک و کیفیت آب در یک حوضه کشاورزی مورد بررسی قرار دادند. آنها بزرگ مقیاس بودن، توزیعی بودن و هماهنگ بودن مدل با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را از مزیت‌های این مدل معرفی کردند.

عباس‌پور و همکاران (۴) برای شبیه‌سازی تمام فرایندهایی که روی کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی در حوضه رودخانه تور (Thur) موثرند، از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شبیه‌سازی رواناب و نترات بسیار خوب و شبیه‌سازی رسوب و کل فسفر نسبتاً خوب بود.

رستمیان و همکاران (۲۵) با استفاده از مدل SWAT به تخمین رواناب و رسوب در حوضه بهشت‌آباد در کارون شمالی پرداختند. نتایج مدل برای متوسط رواناب ماهانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بسیار رضایت‌بخش بود. مدل در شبیه‌سازی رواناب و رسوب خلیلی بهتر از رسوب عمل کرد.

اخوان و همکاران (۷) در مطالعه خود با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی آبشویی نترات در فرآیند یک تناوب

مربع، در شمال استان فارس و در دامنه‌های رشته کوه زاگرس بین طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه الی ۵۳ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ درجه و ۳۰ دقیقه الی ۳۱ درجه شمالی قرار گرفته است. در جنوب شرقی این حوضه دریاچه‌های طشک و بختگان به ترتیب با مساحت‌های ۴۱۰ و ۸۵۰ کیلومتر مربع واقع شده‌اند. رود کر به طول تقریبی ۲۸۰ کیلومتر و حوضه آبخیزی به مساحت ۹۷۰۰ کیلومتر مربع یکی از رودهای پر آب استان فارس است، که تأمین‌کننده بخش مهمی از آب مورد استفاده کشاورزی، صنعت و شرب این استان به حساب می‌آید (۳). در شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز طشک-بختگان نشان داده شده است.

مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه می‌باشد که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا برای پیش‌بینی تأثیر شیوه‌های مدیریتی متفاوت بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌هایی با خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت برای دوره‌های زمانی طولانی ارائه شده است (۲۲). SWAT یک مدل شبیه‌سازی پارامتر توزیعی فرآیند محور است که با گام زمانی روزانه عمل می‌کند. مؤلفه‌های اصلی مدل SWAT شامل آب و هوا، هیدرولوژی، رسوب، رشد محصول، نترات، آفت‌کش‌ها، مدیریت کشاورزی و روندیابی جریان است. در مطالعه حاضر دو مؤلفه هیدرولوژی و مدیریت کشاورزی بررسی شده است (۲۱). در این مدل غیرهمگن مکانی در دو سطح محاسبه می‌شود. ابتدا حوضه آبریز به زیرحوضه‌هایی براساس نقشه‌های ارتفاعی (Digital Elevation Map (DEM) تقسیم و سپس با توجه به نقشه‌های خاک و کاربری اراضی به واحدهای واکنش هیدرولوژیک Hydrologic Response Unit (HRU) تقسیم شدند. خصوصیات فیزیکی مانند شیب و ابعاد آبراهه‌ها برای زیرحوضه‌ها بر اساس نقشه ارتفاعی توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود. در ابتدا مقدار رطوبت خاک، رواناب سطحی، چرخه

زراعی در حوضه آبریز همدان- بهار پرداختند. برای این منظور مدل SWAT با استفاده از داده‌های روزانه دبی از ۷ ایستگاه هیدرومتری، عملکرد گندم و سیب‌زمینی و نترات روزانه اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه، با استفاده از مدل SWAT_CUP واسنجی و اعتبارسنجی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که کشت سیب‌زمینی منجر به آیشویی نترات به میزان ۲۵۴-۳۶۱ کیلوگرم در هکتار در سال (حدود ۴۲-۳۰ درصد نیتروژن به کار برده شده) می‌شود.

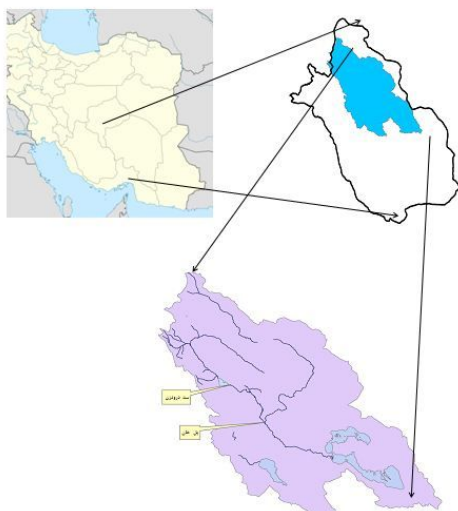
باسا و همکاران (۱۱) در مطالعه خود جریان آب، رسوب و مواد مغذی به رودخانه را در رابطه با شیوه‌های مدیریتی شامل سیستم‌های زراعی دقیق، با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. برای منطقه مورد مطالعه چهار سناریو مدیریتی: سیستم‌های زراعی با کاربرد کود تنها برای پنبه، برنج و ذرت، سیستم زراعی بدون استفاده از کود، کاربری اصلی زمین با نهاده‌های کوددهی مشابه برای تمام سیستم‌های زراعی و کاربری اصلی زمین بدون نهاده کود. نهایتاً، مشخص شده که در مقیاس حوضه، کاهش در بازده آب و بارگذاری مواد مغذی به وسیله کاهش بارندگی (به‌عنوان نتیجه‌ای از سناریوهای آب و هوا) فراهم می‌شود اما اثرات کاهش بارش به وسیله اثرات تغییر در کاربری زمین (سناریوهای استفاده از زمین) خنثی می‌شود. این مسئله شدت رابطه بین کشاورزی و کیفیت آب (بارگذاری مواد مغذی و رسوب) در حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

با توجه به آنچه گفته شد هدف اصلی تحقیق حاضر، کاربرد مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی اثر انواع استراتژی‌های مدیریتی آبیاری و کوددهی بر روی عملکرد و تلفات نیتروژن برای محصولات گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج در حوضه آبریز طشک-بختگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز طشک-بختگان با مساحتی حدود ۳۱۴۵۲ کیلومتر



شکل ۱. حوضه آبریز طشک- بختگان و موقعیت سد درودزن، رودخانه کر و سیوند و پل خان

تاریخ برداشت) در منطقه مورد مطالعه از طریق تکمیل پرسشنامه در اراضی کشاورزی زیر سد درودزن جمع‌آوری شد. اطلاعات مربوط به موقعیت سد درودزن و دبی خروجی ماهانه و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس به دست آمد. همچنین اطلاعات مربوط به غلظت نترات در ایستگاه پل خان از سازمان حفاظت محیط زیست جمع‌آوری شد.

مراحل واسنجی مدل SWAT

واسنجی مدل SWAT در چهار مرحله شامل انتخاب پارامترها، واسنجی هیدرولوژی و فرآیند موازنه آب، واسنجی عملکرد محصول، واسنجی بارگذاری مواد مغذی و اجزاء محصول در موازنه نیتروژن صورت گرفت (۸، ۱۰، ۱۳، ۱۵، ۱۹، ۲۷).

در این تحقیق مقادیر پارامترهایی که در مدل برای جریان سطحی، عملکرد و نترات به کار برده شدند با استفاده از برنامه Sequential Uncertainty Fitting (SUFI۲) تعیین شدند. این برنامه در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP به مدل SWAT لینک شده است. برنامه SUFI۲ واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب کرده و پارامترهای عدم قطعیت را به نحوی تعیین می‌کند که

عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر HRU شبیه‌سازی می‌گردد و سپس این خصوصیات برای هر زیرحوضه متوسط وزنی گرفته می‌شود. رواناب محاسبه شده از هر زیرحوضه از طریق شبکه جریان، به روش ذخیره متغیر به سمت خروجی اصلی حوضه روندیابی می‌گردد (۲۱).

در این تحقیق نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰)، سازمان نقشه‌برداری ایران)، کاربری اراضی (۱:۱۰۰۰۰۰)، سازمان طبیعی) و خاک (۱:۵۰۰۰۰ سازمان مدیریت و برنامه) به دست آمد. در ادامه نقشه شیب حوضه در ۴ کلاس شیب شامل ۵-۰، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰ و ۲۰+ برای مدل آماده شد. نقشه مرز حوضه آبریز طشک- بختگان از سازمان آب منطقه‌ای استان فارس تهیه شد. همچنین داده‌های هواشناسی شامل، بارندگی، حداقل و حداکثر درجه حرارت، رطوبت نسبی، باد و تابش خورشیدی به صورت روزانه برای ۳۰ ایستگاه موجود در این حوضه آبریز از سایت اطلاعات آب و هوایی جهانی برای (SWAT) Global Weather data for SWAT و سازمان هواشناسی برای دوره آماري ۲۰۱۰-۱۹۷۹ جمع‌آوری شد. از سوی دیگر آمار مربوط به مدیریت کشاورزی (شامل تاریخ کاشت، تاریخ و نوع عملیات خاکورزی، تاریخ و میزان آبیاری و کود مصرفی و

تابع هدف (۲) استفاده شده است:

$$Br^2 = \begin{cases} |b|R^2 & \text{if } |b| \leq 1 \\ |b|^{-1}R^2 & \text{if } |b| > 1 \end{cases} \quad [2]$$

که در آن R^2 ضریب تبیین بین سیگنال شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دبی رودخانه و b شیب خط رگرسیونی است (۶). تابع هدف میانگین Br^2 برای تمام ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه استفاده می‌گردد:

$$g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Br_i^2 \quad [3]$$

که n تعداد ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه است. تابع Br^2 بین صفر تا یک تغییر می‌کند. به عبارت دیگر برنامه ابتدا مقادیر تابع هدف را براساس فرمول Br^2 در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری که داده مشاهده‌ای دارند حساب کرده و سپس بر اساس فرمول (۳۸) برای کل حوضه آبریز میانگین‌گیری می‌کند (۶).

اعمال استراتژی‌های مدیریتی

امروزه کشاورزان به‌جای بهره‌گیری از دانش روز کشاورزی برای تولید بیشتر، مصرف کودهای شیمیایی را در واحد سطح افزایش داده‌اند. توهم افزایش عملکرد ناشی از مصرف هرچه بیشتر آب و کود شیمیایی سبب استفاده بی‌رویه از منابع آب و کود شده به طوری که تداوم این امر علاوه بر خسارت‌های مالی و تشدید عدم تعادل عناصر غذایی در خاک، خطرات جدی را در رابطه با آلودگی خاک و آب به وجود آورده است (۲). از این رو در این مطالعه بعد از واسنجی مدل SWAT، با اعمال استراتژی‌های کم آبیاری معادل کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی آب مورد نیاز در تمام مراحل رشد و استراتژی‌های کوددهی معادل کاهش ۱۰ تا ۷۰ درصدی مصرف کود اوره، به بررسی اثرات این استراتژی‌ها بر عملکرد و تلفات نیتروژن پرداخته شده است. این استراتژی‌ها با توجه به میزان مصرف این نهادها در منطقه مورد مطالعه و همچنین سوال از متخصصان آبیاری در مورد میزان مجاز اعمال کم آبیاری لحاظ شده‌اند (جدول ۱).

اکثر داده‌های اندازه‌گیری شده در ناحیه عدم قطعیت تخمین قرار گیرند. درجه عدم قطعیت توسط دو فاکتور به نام‌های R-factor و P-factor محاسبه می‌شود. P-factor عبارتست از درصد داده‌های مشاهداتی که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد (95% prediction uncertainty) قرار گرفته‌اند. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب (Latin hypercube) به دست آمده، محاسبه می‌گردد. تمامی این محاسبات توسط نرم‌افزار SWAT-CUP انجام می‌شود (۵). R-factor عبارتست از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای. برنامه SUFI2 به دنبال طیفی از پارامترهاست که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند. حالت ایده‌آل زمانی است که P-factor برابر ۱۰۰ درصد و R-factor صفر باشد. از آنجایی که با کاهش R-factor مقدار P-factor نیز افزایش می‌یابد، بنابراین محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که اکثر داده‌های مشاهداتی در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند و ضخامت باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد تا حد ممکن کوچک شود. علاوه بر دو فاکتور بالا، از ضریب تشخیص (R^2) و ضریب نش-ساتکلیف (NS) برای تعیین نیکویی برازش استفاده می‌شود. ضریب R^2 نشان‌دهنده همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده از روش تجزیه رگرسیونی است. ضریب نش-ساتکلیف (NS) اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی‌نهایت است. مقدار بیشتر از ۰/۵ این فاکتور نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب توسط مدل است (۵). فرمول آن عبارتست از:

$$NS = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad [1]$$

به منظور مقایسه دبی ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای از

جدول ۱. استراتژی‌های مدیریتی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل SWAT

توضیحات	استراتژی
۱۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد	S _۱
۲۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد	S _۲
۳۰ درصد کم آبیاری در تمام مراحل رشد	S _۳
۱۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۱
۲۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۲
۳۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۳
۴۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۴
۵۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۵
۶۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۶
۷۰ درصد کاهش مصرف کود نیتروژن	N _۷

نتایج

در مطالعه حاضر چهار مؤلفه هیدرولوژی، نیترات، رشد محصول و مدیریت کشاورزی بررسی شده است. بعد از ورود تمام اطلاعات مورد نیاز به مدل، این مدل غیرهگنی مکانی را در دو سطح محاسبه کرد. ابتدا حوضه آبریز به زیرحوضه‌هایی براساس نقشه‌های ارتفاعی (DEM) تقسیم و سپس با توجه به نقشه‌های خاک و کاربری اراضی به واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU) تقسیم شدند. خصوصیات فیزیکی مانند شیب و ابعاد آبراهه‌ها برای زیرحوضه‌ها براساس نقشه ارتفاعی توسط مدل شبیه‌سازی شد. در ابتدا مقدار رطوبت خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر HRU شبیه‌سازی شد و سپس این خصوصیات برای هر زیرحوضه متوسط وزنی گرفته شد. رواناب محاسبه شده از هر زیرحوضه از طریق شبکه جریان، به روش ذخیره متغیر به سمت خروجی اصلی حوضه روندیابی می‌گردد. در نهایت حوضه طشک- بختگان با استفاده از مدل SWAT به ۱۳۳ زیرحوضه تقسیم‌بندی شد. همچنین از آنجایی که اطلاعات مدیریتی به دست آمده از طریق پرسشنامه در ۱۰ زیرحوضه از ۱۳۳ زیرحوضه موجود تکمیل شدند لذا در ادامه خروجی این ۱۰ زیرحوضه مورد تحلیل قرار گرفت. لازم

به ذکر است که در زیرحوضه‌های مورد بررسی نوع خاک غالب لومی-رسی با کاربری کشاورزی و شیب صفر تا ۵ می‌باشد. در جدول (۲) خصوصیات دو لایه خاک در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است.

الف- واسنجی مدل SWAT

مقدار رواناب و فرونشست عمقی و آلاینده‌های مرتبط با آنها به وسیله فرآیندهای هیدرولوژیکی کنترل می‌شوند. به منظور جداسازی فرآیندهای هیدرولوژیکی سطحی و زیرسطحی، تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWAT به وسیله جداسازی جریان پایه انجام شده است. مدل SWAT با استفاده از داده‌های مشاهده شده رواناب ماهانه، عملکرد سالانه محصولات زراعی و نیترات ماهانه واسنجی و اعتبارسنجی شد. پارامترهایی که برای واسنجی کردن مدل استفاده شدند براساس مطالعاتی از قبیل عباسپور و همکاران (۴)، شول و همکاران (۲۸)، اخوان و همکاران (۷) انتخاب شدند. پارامترهای استفاده شده در فرآیند واسنجی و تحلیل حساسیت آنها در جدول (۳) آورده شده است. هرچه مقدار t-value بزرگ‌تر باشد بیانگر حساسیت بالاتر متغیر به آن پارامتر می‌باشد و بنابراین مقدار آن پارامتر بر متغیر مورد بررسی تأثیرگذارتر است. واسنجی مدل در

جدول ۲. مشخصات خاک در دو لایه در زیرحوضه‌های مورد بررسی

عمق لایه mm	SOL_BD Mg/m ³	SOL_AWC mm H ₂ O/mm soil	SOL_K Mm/hr	SOL_ALB -	USLE_K (Metric ton m ² hr)/ (m ³ -metric ton cm)	SOL_EC ds/m	کربن آلی %	دس %	سیلت %	شن %
لایه اول ۳۰۰	۱/۵	۰/۱۷۵	۲/۴۲	۰/۱۵۴	۰/۳۱۵۶	۱/۳۷	۰/۶	۳۲	۳۷	۳۱
لایه دوم ۱۰۰۰	۱/۵	۰/۱۷۵	۲/۴۹	۰/۲۲۶۵	۰/۳۱۵۶	۱/۱۷	۰/۴	۳۶	۳۲	۳۱

گروه هیدرولوژیکی خاک C
بافت خاک: لومی-رسی

همان‌طور که در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است، روند تغییرات رواناب و آبشویی نیترات در ایستگاه‌های مورد بررسی خیلی خوب شبیه‌سازی شده است.

ب- بررسی اثرات اعمال استراتژی‌های مدیریتی

از آنجایی که داده‌های آبشویی نیترات ماهانه تنها در ایستگاه پل خان در دسترس بود از اینرو مدل واسنجی شده، برای مطالعه اثرات فعالیت‌های مدیریتی روی آبشویی نیتروژن در اراضی زیر سد درودزن (تا خروجی پل خان) استفاده شد. در جدول (۵) نتایج حاصل از شبیه‌سازی عملکرد و آبشویی نیتروژن قبل از اعمال استراتژی‌های مدیریتی نشان داده شده است.

سپس استراتژی‌های کم آبیاری کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی مصرف آب در تمام مراحل رشد و استراتژی‌های کوددهی معادل کاهش ۱۰ تا ۷۰ درصدی مصرف کود اوره برای محصولات مختلف اعمال شد و اثرات این استراتژی‌ها بر روی عملکرد و تلفات نیتروژن بررسی شد. اعمال استراتژی‌های مدیریتی ۱۰ تا ۳۰ درصدی کاهش مصرف آب در تمام مراحل رشد، منجر به کاهش عملکرد محصولات جو و ذرت شده، تنها کاهش ۱۰ درصدی و ۱۰ تا ۲۰ درصدی مصرف آب به ترتیب در گندم و برنج منجر به افزایش عملکرد این محصولات شده است. به‌علاوه در اثر کاهش مصرف آب، آبشویی نیترات در محصول گندم کاهش ولی برای سایر محصولات افزایش یافت. زیرا در این محصولات با کاهش رطوبت خاک، نیتروژن کمتری

دوره آماری ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۲ و اعتبارسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ در دو ایستگاه هیدرومتری چمریز و پل خان برای جریان سطحی و ایستگاه پل خان برای آبشویی نیترات انجام شد

همچنین داده‌های دوره ۱۹۸۳-۱۹۷۹ به‌عنوان داده‌های اولیه (Warm up) برای مدل معرفی شدند. نتایج حاصل از واسنجی مدل برای جریان سطحی و آبشویی نیترات در ایستگاه‌های مورد بررسی و همچنین عملکرد محصولات منتخب در جدول (۴) ارائه شده است. هر چه P-factor به یک نزدیک‌تر و R-factor از یک کمتر باشد بیانگر نتایج واسنجی خوب مدل می‌باشد. همچنین اگر R^2 ، NS و bR^2 به ترتیب بزرگ‌تر از ۰/۶، ۰/۵ و ۰/۳ باشد نشانگر این خواهد بود که حوضه آبریز به‌طورکلی خوب واسنجی شده است (۲۰، ۲۴، ۲۷، ۳۱ و ۳۳).

همچنین در شکل (۲) مقایسه بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه‌های مورد بررسی نمایش داده شده است. در شکل (۳) مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده‌ای آبشویی نیترات در ایستگاه پل خان صورت گرفته است. به‌دلیل کمبود داده‌های اندازه‌گیری شده آبشویی نیترات امکان اعتبارسنجی مدل برای این پارامتر فراهم نشد.

بنابراین با توجه به نتایج جدول (۴) به‌طورکلی حوضه آبریز طشک- بختگان خوب شبیه‌سازی شده است. همچنین

جدول ۳. مقادیر نهایی پارامترهای استفاده شده در واسنجی فرآیند هیدرولوژیکی، عملکرد محصول و آبشویی نترات

t-value	مقدار نهایی	دامنه اولیه	پارامتر	
-۱/۶۲	۶۱-۸۱	۳۵-۹۸	CN ₂ .mgt	شماره منحنی رطوبتی
-۰/۰۰۳	۰/۹۳	۰-۱	ALPHA_BF.gw	فاکتور ضریب جریان پایه (روز)
۱/۲۲	۳۵۵/۲۵	۲۰۰-۵۰۰	GW_DELAY.gw	ضریب تاخیر آب زیرزمینی (روز)
-۰/۷۹	۳۱۴/۶۸	۰-۵۰۰	REVAPMN.gw	حداقل میزان ذخیره آب در آبخوان سطحی برای روی دادن REVAP
۱/۱۳	۰/۱۲۳	۰/۰۲-۰/۲	GW_REVAP.gw	ضریب تعیین نفوذ آب به آبخوان عمیق از آبخوان سطحی یا صعود موئینگی از آبخوان سطحی
-۲/۰۷	۰/۱۲۷	۰-۰/۵	RCHRG_DP.gw	کسر فرونشست آب
۰/۰۰۴	۶۰۴/۳۴	۰-۵۰۰۰	GWQMN.gw	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی
۰/۳۳	۰/۹۶	۰-۱	EPCO.hru	فاکتور جبران برداشت آب گیاه
-۱/۰۱	۰/۶۶	۰-۱	ESCO.hru	فاکتور جبران تبخیر از خاک
۱/۲۱	۰/۲۱	۰-۰/۳	OV_N.hru	ضریب مانینگ جریان سطحی
۱۱/۶۲	۱۱/۹۶	۰-۱۰۰	CANMX.hru	ظرفیت نگهداری آب در سطح خاک (میلی متر)
۱/۵۷	۰/۰۵۹	۰/۰۱-۰/۱	CH_N ₂ .rte	ضریب مانینگ برای آبراهه اصلی زیرحوضه
۳/۷۴	۰/۸۸۶	۰-۱	ALPHA_BNK.rte	فاکتور آلفا جریان پایه برای ذخیره‌سازی
-۰/۲۸	-۴/۸۱	-۵-۵	SFTMP.bsn	درجه حرارت ریزش برف (درجه سانتی‌گراد)
۱/۱۲	-۲/۹۱	-۵-۵	SMTMP.bsn	دمای آستانه ذوب برف
-۰/۱۹	۱/۱۵	۰-۱۰	SMFMX.bsn	فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ ژوئن
-۱۲/۹۳	۱/۸۶	۰-۱۰	SMFMN.bsn	فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر
۰/۴۸	۰/۴۵	۰-۱	TIMP.bsn	فاکتور تاخیر دما در برف پشته
۰/۳۷	۶/۹۷	۰-۱۰	MSK_CO1.bsn	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان نرمال
۱/۶۱	۳/۸۶	۰-۱۰	MSK_CO2.bsn	ضریب واسنجی برای کنترل تأثیر ثابت زمان ذخیره برای جریان کم
-۰/۳۶	۰/۹	۰/۰۵-۱	SURLAG.bsn	ضریب تاخیر جریان سطحی

پارامترهای جریان سطحی

ادامه جدول ۳.

		۰-۱	HI.mgt	شاخص برداشت	
	۰/۴			گندم	پارامترهای عملکرد
	۰/۴			جو	
	۰/۵			ذرت	
	۰/۵			برنج	
	۲۰۰۰			مجموع درجه روز حرارت	پارامترهای نیترات
	۱۸۰۰	۰-۳۵۰۰	PHU.mgt	گندم	
	۱۴۰۰			جو	
	۱۵۰۰			ذرت	
	۱۰۰	۰-۲۰۰	BIO_INI	بیوماس اولیه	پارامترهای نیتروژن
				برنج	
		۰-۸	LAI_INI	شاخص سطح برگ اولیه	
	۲			برنج	
۰/۹۳	۱/۰۳	۰-۳	CDN.bsn	نرخ دنیتریفیکاسیون (نرخ تبدیل NO _۳ به N _۲)	پارامترهای نیتروژن
۱۹/۰۴	۰/۹۸۷	۰-۱	SDNCO.bsn	حجم آب آستانه نیتروژن دهی (دنیتریفیکاسیون)	
۰/۵۷	۲۲/۹۶	۰-۱۰۰	N_UPDIS.bsn	پارامتر توزیع جذب نیتروژن	
۴/۳۱	۰/۰۵۵	۰-۱	NPERCO.bsn	ضریب نفوذ نیترات	
۰/۷۹	۱/۰۹۶	۰-۵	ERORGN.hru	نسبت غنی سازی نیتروژن آلی برای بارگذاری با رسوب	
۱/۲۵	۰/۱۹۳	۰-۱	FIXCO.bsn	ضریب تثبیت نیتروژن	
۱/۰۹	۰/۰۰۱۸	-۰/۰۰۳	CMN.bsn	فاکتور معدنی شدن نیتروژن ارگانیک فعال	
۰/۰۲۷	۰/۰۵۱	۰/۰۲-۰/۱	RSDCO.bsn	ضریب تجزیه پسماند	

منبع: یافته‌های تحقیق

نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود تلفات نیترات با کاهش مقدار کود با نرخ بیشتری نسبت به عملکرد کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند ناشی از مصرف بیش از اندازه کود اوره در تولید این محصولات باشد. در اراضی زیر سد درودزن متوسط مصرف نیتروژن برای تولید گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج به‌ترتیب ۲۸۹، ۱۵۱، ۴۰۴ و ۱۶۵ کیلوگرم در

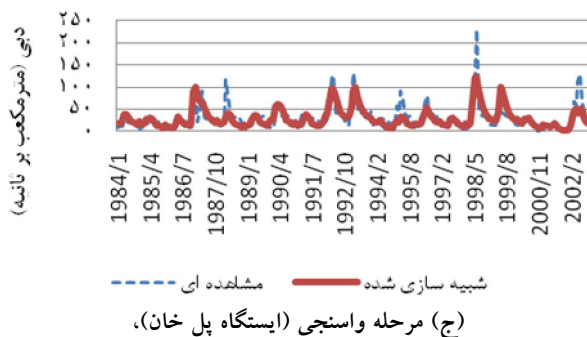
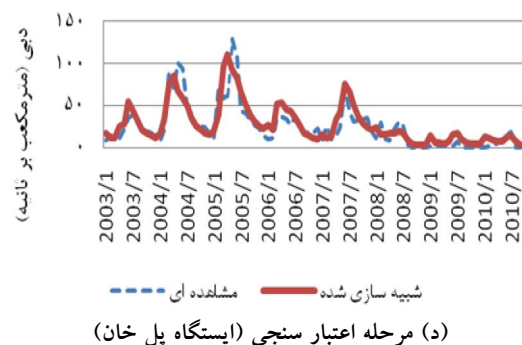
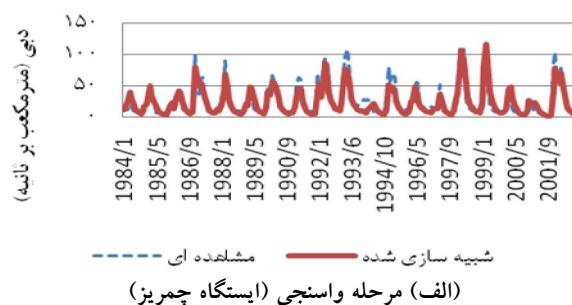
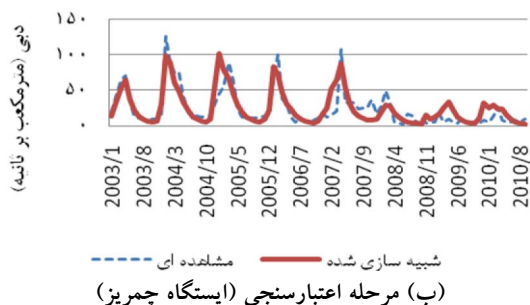
به‌وسیله گیاه جذب شده که این امر منجر به افزایش تلفات نیتروژن شده است. در جدول (۶) درصد تغییرات عملکرد و تلفات نیتروژن در نتیجه اعمال استراتژی‌های کم آبیاری گزارش شده است.

در شکل (۴) درصد تغییرات در متوسط عملکرد سالیانه و تلفات نیترات از طریق آبشویی و رواناب در واکنش به تغییرات در نرخ کاربرد کود اوره برای گندم، جو، ذرت دانه‌ای و برنج

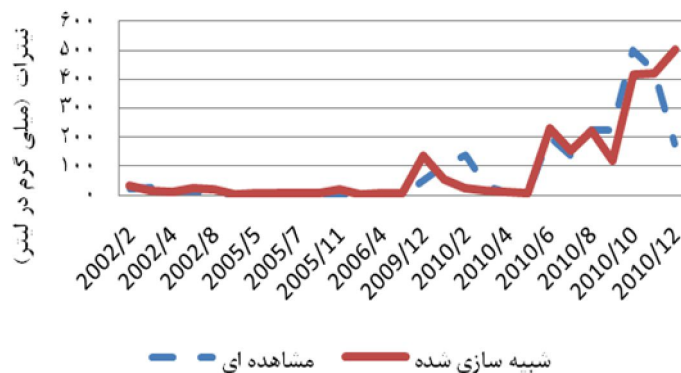
جدول ۴. ضرایب آماری حاصل از واسنجی هیدرولوژی، آشبویی نترات و عملکرد محصولات منتخب در حوضه طشک-بختگان

نام ایستگاه	P-factor	R-factor	R ^۲	NS	bR ^۲
چمریز	واسنجی	۰/۴۲	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۵۷
	اعتبارسنجی	۰/۳۸	۰/۳	۰/۶۹	۰/۵۶
پل خان	واسنجی	۰/۶۴	۰/۹۹	۰/۵۴	۰/۳۵۵
	اعتبارسنجی	۰/۵۷	۰/۸۹	۰/۵۲	۰/۳۴
پل خان	واسنجی	۰/۵۹	۰/۰۸	۰/۷۳	۰/۵۲
	اعتبارسنجی	۰/۸۹	۰/۳۵	۰/۷۷	۰/۶۵
عملکرد گندم	واسنجی	۰/۸۵	۰/۳	۰/۷۶	۰/۵۹
	اعتبارسنجی	۰/۸۱	۰/۳۲	۰/۷۵	۰/۵۸
عملکرد جو	واسنجی	۰/۷۹	۰/۲۹	۰/۷۲	۰/۵۴
	اعتبارسنجی	۰/۹۱	۰/۴	۰/۸۶	۰/۶۲
عملکرد ذرت	واسنجی	۰/۸۷	۰/۳۸	۰/۸۲	۰/۵۹
	اعتبارسنجی	۰/۸۸	۰/۳۴	۰/۸۵	۰/۶۷
عملکرد برنج	واسنجی	۰/۸۱	۰/۳۷	۰/۷۸	۰/۵۵
	اعتبارسنجی				

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۲. مقایسه دبی‌های رواناب اندازه‌گیری شده (نقطه چین) و شبیه‌سازی شده (خط ممتد) توسط مدل SWAT



شکل ۳. مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای آبتی نیترات در ایستگاه پل خان

جدول ۵. عملکرد، آبتی نیترات و غلظت نیترات در رواناب شبیه‌سازی شده در محصولات منتخب

محصول	تاریخ کاشت	تاریخ برداشت	آب مصرفی	نیتروژن مصرفی*	عملکرد شبیه‌سازی شده	عملکرد واقعی	آبتی نیترات	غلظت نیترات در رواناب سطحی
	هکتار	هکتار	مترمکعب در هکتار	کیلوگرم نیتروژن در هکتار	تن در هکتار	تن در هکتار	کیلوگرم در هکتار	کیلوگرم در هکتار
گندم	۱۵ آبان	۱ تیر	۵۰۰۰	۲۸۹	۵/۹۴	۶	۴۸/۳۸۹	۰/۰۲۲
جو	۲۵ مهر	۱۵ خرداد	۳۸۰۰	۱۵۱	۴/۲	۴	۱۱/۳۴۶	۰/۰۱۲
ذرت	۱۰ تیر	۲۵ مهر	۸۰۰۰	۴۰۴	۹/۰۲۴	۹	۱۰۱/۱۱	۰/۰۷۶۸
برنج	۱۵ تیر	۳۰ مهر	۱۱۴۰۰	۱۶۵	۵/۰۲	۵	۳۷/۵۱۶	۰/۰۴۱

ماخذ: یافته‌های تحقیق

* با توجه به میزان مصرف کود نیتروژنه در منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

درصدی مصرف کود اوره کاهش می‌یابد، درحالی‌که این امر منجر به کاهش ۶۳ و ۹ درصدی تلفات نیترات از طریق آبتی و رواناب می‌گردد. عملکرد جو و ذرت دانه‌ای نیز در اثر کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود اوره به ترتیب ۱۱ و ۴ درصد کاهش می‌یابد. به‌طورکلی، رابطه عملکرد محصول در مقابل تلفات نیتروژن نشان می‌دهد که استفاده بهینه از کود اوره می‌تواند منجر به دستیابی به کاهش موثر در تلفات نیترات با حداقل اثر بر روی عملکرد شود.

هکتار می‌باشد. درحالی‌که نیاز به نیتروژن توسط این محصولات به ترتیب ۱۵۰، ۱۰۲، ۲۰۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار است (۱). با مقایسه میزان نیتروژن مصرفی و نیتروژن مورد نیاز مشاهده می‌شود که نیتروژن مصرفی در این محصولات تقریباً دو برابر مقدار مورد نیاز این محصولات می‌باشد. از این رو کاهش کاربرد کود اوره تا ۵۰ درصد تأثیر قابل توجهی بر روی عملکرد این محصولات نخواهد گذاشت.

در گندم کاهش ۵۰ درصدی مصرف کود اوره منجر به کاهش ۱۳ و ۶۶ درصدی به ترتیب در عملکرد و آبتی نیترات می‌شود. همچنین عملکرد برنج کمتر از ۳ درصد با کاهش ۵۰

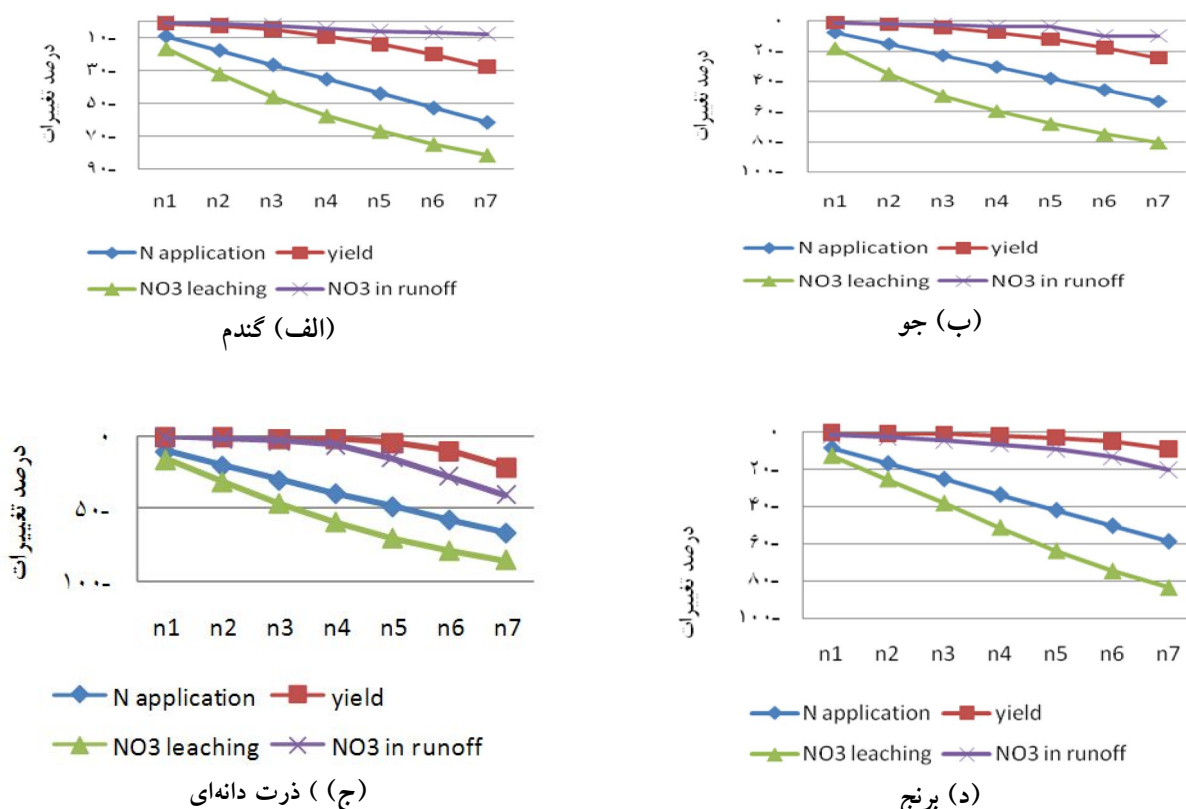
نتیجه‌گیری

در این مطالعه با استفاده از مدل SWAT اثر استراتژی‌های

جدول ۶. درصد تغییرات عملکرد و تلفات نیترات در واکنش به استراتژی‌های کم آبیاری

محصول	استراتژی	عملکرد	آبشویی نیترات	جذب نیتروژن توسط گیاه	غلظت نیترات در رواناب
گندم	۱S	۰/۳۱۳	-۵/۹۳۸	۲/۲۱۲	-۸/۲۱۳
	۲S	-۰/۸۴۵	-۱۳/۰۸۹	۱/۹۱۹	-۱۷/۰۹۷
	۳S	-۲/۸۷	-۲۲/۵۳۰	۰/۳۱۵	-۲۵/۵۴۵
جو	۱S	-۵/۱۳۹	-۴/۱۲	-۱/۶۶۴	-۲/۵۵۶
	۲S	-۱۱/۴۳۵	۵/۹۶	-۵/۴۱۸	-۳/۶۹۳
	۳S	-۱۸/۹۰۲	۹/۵۶	-۱۰/۵۰۷	۴/۸۶۱
ذرت	۱S	-۹/۰۲	-۵/۲۳۳	-۸/۶۱۸	-۱۲/۳۰۸
	۲S	-۱۹/۹۶۵	۴/۸۸	-۱۸/۷۰۸	-۲۵/۸۱۱
	۳S	-۳۲/۰۷۱	۱۲/۳۴۶	-۲۹/۷۱۸	-۳۷/۰۸۷
برنج	۱S	۰/۶۴	۴/۲۳۳	-۸/۱۴۷	۲/۴۵۷
	۲S	۰/۵۶۵	۱۱/۶۵۵	-۱۰/۵۷	-۶/۰۵۴
	۳S	-۴/۴۰۱	۱۵/۱۷	-۱۶/۶۸۳	-۲۶/۷۳۵

ماخذ: یافته‌های تحقیق



شکل ۴. درصد تغییرات در متوسط سالیانه عملکرد و آبشویی نیترات در واکنش به تغییرات نرخ کاربرد کود

همان‌طور که انتظار می‌رفت با کاهش مصرف کود نیتروژنه آبشویی نیتروژن کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش مصرف نیتروژن، عملکرد با نرخ کاهشی افزایش می‌یابد یعنی هر واحد نیتروژن نسبت به واحد قبلی مقدار کمتری به تولید کل اضافه می‌نماید اما آبشویی نترات با نرخ افزایشی، افزایش می‌یابد. از این رو افزایش مصرف کود اوره می‌تواند منجر به ایجاد هزینه‌های زیست محیطی بیشتری در مقایسه با منافع اقتصادی شود. این مسئله اهمیت توجه به مصرف بهینه کود اوره را آشکار می‌سازد. نتایج به دست آمده در این بخش با نتایج به دست آمده از مطالعات کویی و همکاران (۱۲)، جو و همکاران (۱۸) و جیانگ و همکاران (۱۶) که به بررسی رابطه بین نرخ کاربرد کود شیمیایی، عملکرد محصولات و تلفات نیتروژن پرداختند، سازگار می‌باشد.

علاوه بر این با استفاده از مدل SWAT، این امکان برای مدیران اجرایی و پژوهشگران فراهم می‌شود تا سناریوهای مختلف مدیریتی را مورد ارزیابی قرار دهند و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

کم‌آبیاری و کوددهی بر روی تلفات نیتروژن در حوضه آبریز طشک-بختگان (در محدوده اراضی زیر سد درودزن) شبیه‌سازی شد. این مدل با استفاده از الگوریتم ۲ SUFI در نرم‌افزار CUP-SWAT، و مقایسه خروجی مدل با مشاهدات واقعی هیدرولوژیکی، عملکرد محصول (گندم، جو، ذرت و برنج) و نترات و اسنچی و اعتبارسنجی شد، سپس از مدل واسنجی شده جهت ارزیابی استراتژی‌های کم‌آبیاری (کاهش ۱۰ تا ۳۰ درصدی آب مورد نیاز گیاه در تمام مراحل رشد) و کوددهی (کاهش ۱۰ تا ۷۰ درصدی کود اوره مصرفی) پرداخته شد.

اعمال استراتژی‌های مدیریتی ۱۰ تا ۳۰ درصدی کاهش مصرف آب در تمام مراحل رشد، منجر به کاهش عملکرد محصولات جو و ذرت شده، تنها کاهش ۱۰ درصدی و ۲۰-۱۰ درصدی مصرف آب به ترتیب در گندم و برنج منجر به افزایش عملکرد این محصولات شده است. به علاوه در اثر کاهش مصرف آب، آبشویی نترات در محصول گندم کاهش ولی برای سایر محصولات افزایش یافته است، زیرا در این محصولات با کاهش رطوبت خاک، نیتروژن کمتری به وسیله گیاه جذب شده که این امر منجر به افزایش تلفات نیتروژن شده است.

منابع مورد استفاده

۱. امام، ی. ۱۳۹۰. *زراعت غلات*، مرکز نشر دانشگاه شیراز.
۲. جبلی، ج. ۱۳۸۰. راهکارهای کاهش اثرات سوء پساب‌های کشاورزی، همایش اثرات زیست محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی.
۳. رزمخواه، ه. و م. ا. نیاورانی. ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل تأثیرات منابع آلاینده بر کیفیت آب رودخانه کر با کاربرد شبیه‌سازی WASP، مجله مهندسی آب، سال اول، ۵۲-۴۳.
4. Abbaspour, K. C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *J. Hydrol.* 333 (2-4):413-430.
5. Abbaspour, K. C. 2008. SWAT-CUP2: SWAT calibration and uncertainty programs, A user manual, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland, 95 p.
6. Abbaspour, K. C. 2013. SWAT-CUP 2012: SWAT calibration and uncertainty programs-A user manual. Technical report, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag.
7. Akhavan, S., J. Abedi-Koupai, S. F. Mousavi, M. Afyuni, S. S. Eslamian and K. Abbaspour. 2010. Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamedan-Bahar Watershed, Iran. *J. Agri. Ecosys. and Environ.* 139: 675-688.

8. Arnold, J. G., P. M. Allen, R. S. Muttiah and G. Bernhardt. 1995. Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Groundwater* 33(6):1010-1018.
9. Arnold, J. G., R. Srinivasan, R. S. Muttiah and J. R. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: model development, *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34(1): 73-89.
10. Baumgart, P. 2005. Lower green bay and lower fox tributary modeling report. Science and Technical Advisory Committee of the Green Bay Remedial Action Plan. 46-50.
11. Bossa, A. Y., B. Diekkruger, S. Giertz, G. Steup, L. O. Sintondji, E. K. Agbossou and C. Hiepe. 2012. Modeling the effects of crop patterns and management scenarios on N and P loads to surface water and groundwater in a semi-humid catchment (West Africa), *J. Agri. Water Manage.* 115: 20-37.
12. Cui, Z., F. Zhang, X. Chen, Y. Miao, J. Li, L. Shi, J. Xu, Y. Ye, C. Liu and Z. Yang. 2008. On-farm evaluation of an in-season nitrogen management strategy based on soil N_{min} test. *Field Crops Res.* 105: 48-55.
13. Gassman, P. W. 2008. Simulation Assessment of the Boone River Watershed: Baseline Calibration Validation Results and Issues and Future Research Needs. Ph.D. Dissertation submitted to Department of Environmental Sciences, Iowa State University.
14. Grizzetti, B., F. Bouraoui, K. Granlund, S. Rekolainen and G. Bidoglio. 2003. Modelling diffuse emission and retention of nutrients in the Vantaanjoki watershed (Finland) using the SWAT model. *J. Ecol. Model.* 169, 25-38.
15. Hu, X., G. F. McIsaac, M. B. David and C. A. L. Louwers. 2007. Modeling riverine nitrate export from an East-Central Illinois watershed Using SWAT. *J. Environ. Qual.* 36:996-1005.
16. Jiang, J., S. Shiyu, J. Hu and J. Huang. 2014. A modeling approach to evaluating the impacts of policy induced land management practices on non-point source pollution: A case study of the Liuxi River watershed, China. *J. Agri. Water Manage.* 131: 1-16.
17. Jothityangkoon C., M. Sivapalan and D. L. Farmer. 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: downward approach to hydrological model development. *J. Hydrol.* 254:174-198.
18. Ju, X., G. Xing, X. Chen, S. Zhang, L. Zhang, X. Liu, Z. Cui, B. Yin, P. Christie, Z. Zhu and F. Zhang. 2009. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. *J. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 3041-3046.
19. Kannan, N., S. M. White, F. Worrall and M. J. Whelan. 2007. Hydrological modeling of a small catchment using SWAT-2000 – ensuring correct flow partitioning for contaminant modeling. *J. Hydrol.* 334(1-2):64-72.
20. Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Binger, R. D. Harmel and T. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. ASABE* 50(3): 885-900.
21. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams and K. W. King. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 494 p.
22. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams and K. W. King. 2002. Soil and water assessment tool, user's manual: version 2000. USDA Agricultural Research Service and Texas A&M Black land Research Center, Temple, Texas.
23. Ongley, E. D. 2003. Control of water pollution from agriculture, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID), Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
24. Ramanarayanan, T. S., J. R. Williams, W. A. Duglas, L. M. Hauck and A.M.S. McFarland. 1997. Using APEX to identify alternative practices for animal waste management, ASAE International Meeting, Minneapolis, MN. Paper No. 97-2209.
25. Rostamian, R., A. Jaleh, M. Afyuni, S. F. Mousavi, M. Heidarpour, A. Jalalian and K. C. Abbaspour. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *J. Hydrol. Sci.* 53(5): 977-988.
26. Saleh, A. and B. Du. 2004. Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas. *J. Trans. ASAE* 47 (4): 1039-1049.
27. Santhi, C., J. Arnold, J. Williams, L. Hauck and W. Dugas. 2001. Application of a watershed model to evaluate management effects on point and non-point source pollution. *J. Trans. ASAE* 44, 1559-1570.
28. Schuol J., K. C. Abbaspour, H. Yang, R. Srinivasan and A. J. B. Zehnder. 2008. Modelling blue and green water availability in Africa. *J. Water Resour. Res.* 44: 1-18.
29. Schuol, J., K. C. Abbaspour, R. Sarinivasan, and H. Yang. 2008a. Estimation of freshwater availability in the West African sub-continent using the SWAT hydrologic model. *J. Hydrol.* 352: 30-42.
30. Shepherd, B., D. Harper and A. Millington. 1999. Modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the U.K. *J. Hydrobiologia.* 395/396: 227-237.
31. Tuppad, P., N. Kannan, R. Srinivasan, C. G. Rossi and J. G. Arnold. 2010. Simulation of agricultural management alternatives for watershed protection. *J. Water Resour. Manage.* 24: 3115-3144.
32. Volk, M., S. Liersch and G. Schmidt. 2009. Towards the implementation of the European Water Framework Directive? Lessons learned from water quality simulations in an agricultural watershed. *Land Use Policy* 26, 580-

588.

33. Xu, Z. X., J. P. Pang, C. M. Liu and J. Y. Li. 2009. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. *J. Hydrol. Process.* DOI: 10.1002/hyp. 12p.