دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

شناسایی مناطق بحرانی و ارزیابی بهترین راهکارهای مدیریتی در راستای کنترل بار مواد مغذی حوزه رودخانه‌ی دز با استفاده از مدل SWAT

هادی بابایی[۱]، محمد ذاکرمشفق[۲] و مجید دلاور[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی رودخانه، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول (نویسنده مسوول: moshfegh@jsu.ac.ir)
۳- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ ارسال: ۹۶/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۲۱
صفحه: ۱۴۲ تا ۱۵۴

چکیده

استفاده از بهترین راهکارهای مدیریتی (BMPs) روشی مناسب برای کنترل آلودگی در خروجی حوزه‌ها می‌باشد که البته اعمال این راهکارها مستلزم صرف هزینه است. به‌همین جهت اولویت‌بندی این راهکارها (بالاخص در مناطقی که با کمبود منابع مواجه است) برحسب میزان کاهش آلودگی، و اعمال آن‌ها در مناطق بحرانی حوزه به کارایی و کفایت این روش‌ها کمک شایانی خواهد کرد. در این تحقیق مدل مفهومی SWAT با استفاده از داده‌های بلندمدت هواشناسی، سد، مدیریتی کشاورزی و آبدهی رودخانه دز، به‌عنوان مدل شبیه‌ساز حوزه انتخاب شده است. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAT بیانگر قابل اعتمادبودن این مدل جهت شبیه‌سازی حوزه‌ی آبریز دز می‌باشد. این نتایج برای دبی، فسفر کل و نیترات کاملاً رضایت‌بخش بوده ولی برای رسوب چندان مناسب نبوده است. همچنین تفکیک پارامترهای موثر بر متغیرها با توجه به زیرحوزه‌های موثر بر هر ایستگاه پایش بر روی کیفیت نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مطلوب بوده است. بررسی نتایج واسنجی مدل در سال‌های نرمال، ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها حاکی از اعتماد بیشتر به نتایج مدل در ترسالی‌ها می‌باشد. شناسایی مناطق بحرانی نیز با روش شاخص تکی بر پایه‌ی میزان بار آلودگی تولیدشده منطقه و همچنین سه شاخص ترکیبی انجام شده است. در نهایت راهکار فیلتراسیون گیاهی موثرترین روش در کاهش عناصر وابسته به عنصر نیتروژن و راهکار افزایش قطر D_{50} ذرات نیز موثرترین روش در کاهش عناصر وابسته به عنصر فسفر می‌باشد. زیر حوزه‌ی پایین‌دست شهر دزفول که علاوه‌بر فعالیت‌های کشاورزی عمده، پساب کارخانه نیشکر نیز به آن ریخته می‌شود به‌عنوان بحرانی‌ترین زیر حوزه شناسایی شده است.

واژه‌های کلیدی: بار رسوب، بار نیترات و فسفر کل، بهترین راهکارهای مدیریتی، شاخص ترکیبی نواحی بحرانی

مقدمه

آلودگی در لغت به‌معنای حالتی از نابهنجاری و یا ناپاکی می‌باشد و زمانی اتفاق می‌افتد که آب بیش از حد مجاز دارای مواد اضافی دیگر باشد. آلودگی آب یک مشکل بزرگ جهانی است که به ارزیابی مداوم و تجدیدنظر در سیاست منابع آبی در همه‌ی سطوح احتیاج دارد (۴۱). عمدتا منابع آلودگی در دو دسته‌ی منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای طبقه‌بندی می‌گردند. منابع نقطه‌ای به آلودگی‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق یک منبع یا آبراهه مشخص نظیر فاضلاب خروجی از کارخانه‌ها یا فاضلاب شهری که به رودخانه‌ها ریخته می‌شود ایجاد می‌گردد. منابع غیرنقطه‌ای به آلودگی‌هایی که منبع خاصی ندارند نظیر مواد معدنی و آلی حاصل از کوددهی زمین‌های کشاورزی در اکثر موارد بیش از نیاز غذایی گیاه بوده و مقادیر اضافی آن از طریق آب‌شویی و توسط آب باران به رودخانه انتقال می‌یابد و یا فضولات حاصل از چرای دام‌ها که با یک سیلاب وارد رودخانه و جریان آب می‌شوند (۱۶). همچنین عدم کنترل آلودگی‌ها و میزان مواد معدنی و آلی می‌تواند خطراتی برای کودکان، افراد سالخورده، حیوانات و محیط زیست ایجاد کند که از جمله آن‌ها می‌توان به بالابودن نیترات در آب اشاره کرد که با ورود به سیستم گوارشی سبب بیماری سندروم کودک آبی[۱] می‌شود، و یا بالابودن فسفر و فسفات در آب که سبب آسیب‌رساندن به کلیه‌ها و یا پدیده‌ی تغذیه‌گرایی[۲] در دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌شود اشاره کرد. با توجه به اینکه هزینه‌های اجرای سیستم‌های نظارتی بر رودخانه‌ها در جهت کنترل و کاهش ورود آلودگی‌ها بالا بوده و اندازه‌گیری مستقیم متغیرهای کیفی نظیر غلظت رسوب، ترکیبات نیتروژن و فسفر موجود در رودخانه‌ها دارای محدویت هزینه‌ای و زمانی می‌باشد؛ لذا اجرای مدل‌های فیزیکی و ریاضی در راستای کاهش هزینه‌ها و برنامه‌ریزی دقیق بر مبنای پیش‌بینی‌ها و نتایج به‌دست‌آمده از مدل، امری ضروری به‌نظر می‌رسد.

نتایج مدل SWAT در اکثر شبیه‌سازی‌های انجام‌شده برای دبی، رسوب و پارامترهای کیفی رضایت‌بخش بوده است (۱،۲۶،۴۰،۶،۱۵،۲۸،۳۰). همچنین نتایج ماهانه و روزانه‌ی رسوب در بعضی از تحقیقات چندان قابل قبول نبوده است (۱۳،۳۵). در سال ۲۰۱۶ شیخ زین‌الدینی و همکاران در حوزه آبریز طشک–بختگان به بررسی تأثیر استراتژی‌های کم آبیاری و کوددهی بر روی تلفات نیترات با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که کاهش مصرف در کود اوره از ۱۰ تا ۷۰ درصد در مدل منجر به کاهش تلفات نیترات از طریق آبشویی به‌میزان ۱۶ تا ۸۱ درصد برای گندم، ۱۸ تا ۸۰ درصد برای جو،۱۵ تا ۸۵ درصد برای ذرت و ۱۲،۵ تا ۸۳،۶ درصد برای برنج شد (۳۷). ارزیابی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای که عمدتا حاصل از فعالیت‌های

1- Methemoglobinemia 2- Eutrophication 3- Best Management Practices

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

کشاورزی می‌باشند، شیوه‌های مدیریتی خاصی را می‌طلبد که همان BMP[2]های اجرایی هستند (۳۶،۱۱). در راستای کاهش آلودگی راهکارهای کاهش کود، تغییر کاربری اراضی و مدیریت آبیاری نتایج مناسبی را ارائه می‌دهد (۱۱،۸،۳۷،۹،۳۱). بررسی روش‌های مدیریتی کاهش کوددهی، کاشت محصولات فرعی که درکوتاه مدت رشد کرده و جذب ازت بالایی دارند، آیش زمین با کاشت گیاهان فرعی و فیلتر نوار گیاهی نشان دادند که سناریوی کاهش کوددهی بیشترین تاثیر را در کاهش نیترات داشت. همچنین خاک‌های ماسه‌ای بیشترین میزان نیترات خروجی و خاک‌های رسی کمترین میزان نیترات خروجی حاصل از عملیات کشاورزی را روی محصول ذرت داشتند (۱۹،۴۲). در سال ۲۰۲۰ پولیگ و همکاران حوزه آبخیر سولیکس که در جنوب غربی ساردینیا، ایتالیا واقع شده است را به هدف پیش‌بینی بارهای آلاینده جریان از قبیل رسوب معلق، ازت، نیترات، نیتروژن کل و فسفر معدنی ورودی به رودخانه حوزه با نرم‌افزار SWAT مدل کردند. نتایج شبیه‌سازی درحوزه نشان داد بار رسوب ۱/۱۳ تن در هکتار در سال و همچنین نیتروژن کل و فسفر کل به‌ترتیب ۴/۸ و ۱/۱۸ کیلوگرم در هکتار در سال بود. همچنین نتایج حاکی از این بود که زیرحوزه‌های بحرانی از لحاظ بار رسوب و مواد مغذی در قسمت شمال شرقی و جنوب حوزه قرار دارند و در مناطق شیب‌دار و دارای محصولات زراعی با فرسایش زیاد خاک و حذف مواد مغذی همراه بوده است (۳۱). در سال ۲۰۱۲ فیکلین و همکاران پارامترهای هیدرولوژیکی و کیفی آب را در حوزه‌ی رودخانه‌ی ساکرامنتو[1] را با استفاده از SWAT مدل کردند. آن‌ها پارامترهای هیدرولوژیکی، رسوب، انتقال نیترات و آفت‌کش‌هایی از قبیل کلروپیریفوس و دیازینون را ارزیابی کرده و با استفاده از الگوریتم روندیابی مدل را توسعه دادند و پی‌بردند که پیش‌بینی بار رسوب مادامی که نیترات، کلروپیریفوس و دیازینون به جریان می‌پیوندند کاملا به جریان وابسته است. ایشان همچنین به این نتیجه رسیدند که با اعمال راهکارهای مدیریتی از قبیل تصحیح زمان مناسب کشاورزی و محدودیت کوددهی در فصول بارانی، می‌توان کیفیت آب حوزه را بهبود بخشید (۱۴). درسال۲۰۱۲ پاناگوپولوس و همکاران SWAT را به‌عنوان یک مدل شبیه‌ساز، الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان یک عامل بهینه‌ساز و یک تابع تجربی را برای برآورد هزینه‌ی سالانه‌ی اجرای راهکارها جهت بررسی و اولویت‌بندی بهترین راهکارهای مدیریتی مورد بررسی قرار دادند که با اولویت‌بندی ۵۰ راهکار مدیریتی ترکیبی مختلف منجر به ۲۵ هزار دلار صرفه‌جویی در هزینه با اعمال BMPs شدند (۲۹).

در سال ۲۰۲۰ باوولونگ و همکاران تاثیر تغییرات آب و هوا و فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت آب در حوزه رودخانه کیدو در چین را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از ورود نسبتاً زیاد بارهای نیتروژن و فسفر به دریاچه بود به‌صورتی که در سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴، میانگین سالانه TN و TP از طریق زهکشی کانال‌ها ۲۴/۸۱ درصد و ۶۱/۹۸ درصد از کل ورودی دریاچه را به‌خود اختصاص داده و به‌ترتیب به ۷۳۳/۶۴ تن و ۱۵/۴۶ تن رسیده بود. در این مطالعه چهار سناریو برای وضعیت آب و هوا و دو سناریو برای مدیریت کشاورزی تعریف شد که با اجرای اقدامات مدیریتی در حوزه میزان TN و TP می‌تواند به‌ترتیب ۱۴/۴۹ و ۱۶/۰۳ درصد کاهش یافت و بر این اساس TN و TP هر یک ۶۶۱/۵۶ و ۱۲/۹۹ تن کاهش می‌یابند. همچنین مدل‌سازی نشان داد که جریان در قسمت‌های پایینی حوزه رودخانه کیدو رو به زوال است که با رعایت الگوی درست مصرف آب در آبیاری می‌توان وضعیت را در منطقه بهبود بخشید (۵). نیراولا و همکاران در سال ۲۰۱۳ از دو مدل متفاوت برای شناسایی سطوح بحرانی استفاده کردند. شناسایی مناطق استفاده‌شده به‌وسیله‌ی داده‌های کیفیت آب انجام شده است که زیر حوزه‌ای که تحت استفاده از مناطق شهری بوده، بالاترین سهم تولید رسوبات و بارهای TN و TP را داشته و به‌عنوان سطوح بحرانی شناخته شدند. شاخص ترکیبی نیز برای شناسایی زیر حوزه یا سطوح بحرانی برای کاهش رسوب، TN و TP استفاده شد. در حالی که بسیاری از سطوح بحرانی مشخص‌شده توسط SWAT و GWLF یکسان هستند ولی برخی از آنها نتایج متفاوتی داشتند، بنابراین انتخاب مدل محل مناطق بحرانی را تحت تاثیر قرار می‌دهد (۲۸). در سال ۲۰۱۶ لیو و همکاران نشان دادند که سطوح بحرانی حوزه به‌شدت و به‌طور جدی توسط بار مواد مغذی آلوده تحت تاثیر قرار می‌گیرند و عوامل مختلفی از جمله تراکم جمعیت و کیفیت آب در شناسایی سطوح بحرانی تاثیرگذار هستند. همچنین واسنجی مدل و اعتبارسنجی آن به‌دلیل وقت‌گیربودن و کمبود داده‌ها در برخی از زیرحوزه‌ها در تعیین سطوح بحرانی مورد مطالعه قرار گرفت. مقایسه‌ی نتایج مدل واسنجی‌شده با مدل واسنجی‌نشده در شناسایی سطوح بحرانی نشان داد که واسنجی مدل اثر ناچیزی بر توزیع مواد مغذی و مناطق بحرانی در منطقه مورد مطالعه داشته است و مدل SWAT تا حد زیادی برای شناسایی سطوح بحرانی و کنترل آلودگی در مقیاس حوزه موفق بوده است (۲۱).

توانایی مدل SWAT در ارائه طیف وسیعی از راهکارهای مدیریتی از قبیل تغییر کاربری اراضی و کشت نواری، احداث تصفیه خانه، کاهش تعداد دام‌ها و همچنین مدیریت کیفی کانال اصلی رودخانه و... لزوم استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی را ایجاب می‌کند. لذا هدف از این تحقیق بررسی کیفی حوزه آبریز رودخانه دز از لحاظ میزان تولید رسوب، ترکیبات نیتروژن و فسفر ورودی به رودخانه دز می‌باشد. در این تحقیق پس از تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر متغیرهای دبی، رسوب، فسفر و نیترات اقدام به واسنجی و صحت‌سنجی مدل شده است. پس از بررسی نتایج واسنجی در شرایط نرمال، ترسالی و خشکسالی، نواحی بحرانی با استفاده از شاخص‌های تکی و ترکیبی مناسب شناسایی شده و نهایتا بهترین راهکارهای مدیریتی کم‌هزینه انتخاب شده‌اند. با توجه به اهمیت حوزه آبریز مورد بررسی و ناحیه پایین‌دست آن از جنبه‌های مختلف کشاورزی، صنعتی، مسکونی و اکوسیستمی، انجام این مطالعات بر اتخاذ تصمیم‌های راهبردی مبتنی‌بر توسعه پایدار می‌تواند تاثیرگذار باشد.

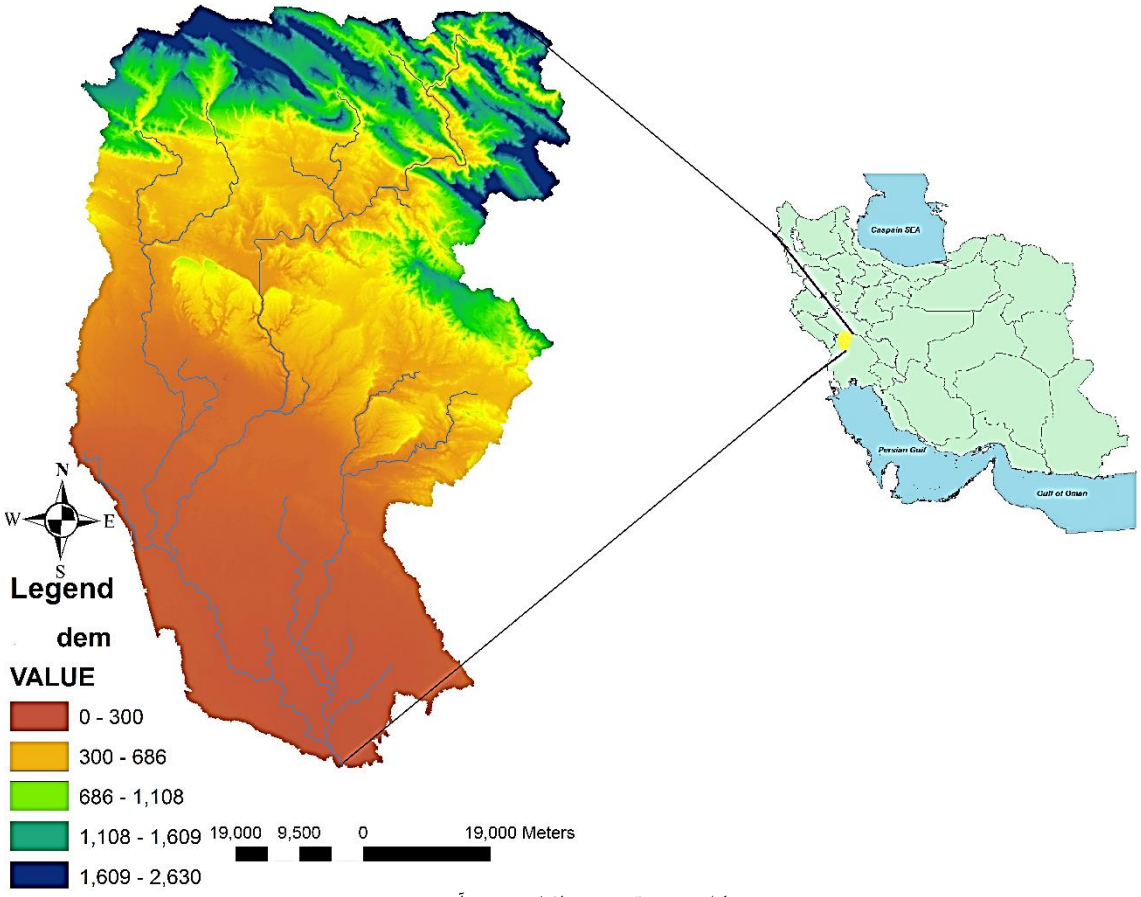
1- Sacramento

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

مواد و روش‌ها

حوزه‌ی آبریز مورد مطالعه

حوزه‌ی آبریز دز به‌عنوان یک زیرحوزه‌ی درجه ۳ کشور تعریف شده است. این حوزه در استان خوزستان و در محدوده‌ی جغرافیایی "۱۴'۰۹°۴۸ تا "۴۵'۵۵°۴۸ شرقی و "۴۷'۵۹°۳۱ تا "۴۸'۵۹°۳۲ شمالی قرار دارد. رودخانه‌ی بختیاری یکی از سرشاخه‌های رودخانه‌ی دز بوده و چون شبیه‌سازی کل رودخانه تا سرچشمه‌های آن امکان‌پذیر نمی‌باشد، به‌همین دلیل داده‌های ایستگاه تله زنگ با گام زمانی ماهانه به‌صورت Inlet به مدل معرفی شده است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه به‌ترتیب ۲۶۳۰ متر و ۸- متر از سطح دریا اندازه‌گیری شده است. در این حوزه ۳ سد در امتداد رودخانه احداث شده است که سد دز با حجمی بالغ بر ۳/۳ میلیارد مترمکعب بزرگترین سد حوزه محسوب می‌شود. میانگین بارش روزانه‌ی حوزه ۱/۰۳ میلی‌متر و متوسط دمای حوزه ۲۵/۶ درجه سلسیوس محاسبه شده است. وسعت کل حوزه ۵۵۶۰۰۸ هکتار است. اراضی قابل کشت منطقه بالغ بر ۲۰۰،۰۰۰ هکتار بوده که حدود ۱۵۰،۰۰۰ هکتار قابل آبیاری و ۵۰،۰۰۰ هکتار به‌صورت دیم کشت شده است (طرح جامع کشاورزی استان خوزستان, ۱۳۸۵) (۳۴). عمده‌ترین محصولات کشاورزی آبی کشت‌شده در منطقه گندم، نیشکر و ذرت می‌باشند که دو تا سه بار در سال کشت می‌شوند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبریز دز
Figure1. Geographic location of Dez catchment

مدل SWAT و داده‌های ورودی به مدل

مدل SWAT یک مدل مفهومی، نیمه‌توزیعی و پیوسته است و در مقیاس حوزه‌ای است و شبیه‌سازی را به‌صورت روزانه انجام می‌دهد (۱۲،۴،۱۸). SWAT به‌جای استفاده از روابط رگرسیونی در برقراری ارتباط بین ورودی و خروجی، برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی مربوط به مواردی از قبیل حرکت آب، رشد گیاه و سیکل مواد غذایی در خاک نیازمند ورودی‌هایی مانند توپوگرافی، نقشه‌ی خاک، نقشه‌ی کاربری اراضی، داده‌های اقلیمی (بارش، دما، سرعت باد، رطوبت نسبی و تشعشعات خورشیدی)، انتقال آب بین حوزه‌ای، منابع آلودگی نقطه‌ای و روش‌های مدیریتی زمین‌ها است (۳۳،۱۹). البته این مدل برای شبیه‌سازی نیازمند طیف وسیعی از داده‌ها با کیفیت بالا و بازه‌ی زمای طولانی است (۱۷). مدل حوزه را با توجه به نوع خاک، نوع کاربری و شیب یکسان به واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU[1]) تفکیک می‌کند (۶،۲۷،۳۱). و در نهایت شبیه‌سازی آلودگی‌ها را در سطح HRU انجام می‌دهد. در این مطالعه از مدل هیدرولوژیکی SWAT نسخه ۲۰۱۲ به‌منظور بررسی کیفیت آب، میزان بار مواد مغذی رودخانه و

1- Hydrologic Response Unit

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

تاثیر بهترین اقدامات مدیریتی در کاهش بار آلودگی استفاده شده است. بر این اساس مراحل انجام کار در سه گام اصلی شامل مرحله الف) مدل‌سازی جامع حوزه آبریز، مرحله ب) شناسایی مناطق بحرانی از منظر بار مواد مغذی و مرحله ج) شبیه‌سازی و ارائه بهترین راهکار مدیریتی می‌باشند. داده‌های استفاده‌شده در مدل در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای اعمال آلودگی فضولات حیوانی بایستی با توجه به وزن تقریبی هر حیوان میزان فضولات تولیدی دقیق هر حیوان را تعیین کرده و آن را در تعداد دام منطقه ضرب می‌کنیم تا میزان فضولات تولیدی کل منطقه به تفکیک هر حیوان تعیین شود. سپس با احتساب چرای این دام‌ها در مراتع کم پوشش و متراکم، نهایتا با تقسیم میزان آلودگی ناشی از فضولات هر حیوان بر مساحت مراتع میزان آلودگی ناشی از فضولات در واحد هکتار هر حیوان تعیین می‌شود.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

واسنجی به معنای تنظیم پارامترهای ورودی به مدل با هدف دستیابی به بهترین برازش بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی متناسب با تابع هدف تعریف شده است که با استفاده از برنامه‌ی SWAT-CUP انجام شده است. الگوریتم بهینه‌سازی SUFI-2 در سال ۲۰۰۷ توسط عباسپور و همکاران به برنامه SWAT-CUP الحاق شده است (۱). SUFI-2 می‌تواند ابزاری کارآمد برای بهینه‌سازی پارامترها باشد (۴۵،۴۴)، که از یک روش مدل‌سازی معکوس استفاده می‌کند و طیف وسیعی از پارامترها را مشخص و سپس تکرارهای متعدد را انجام می‌دهد (۱۰). در این الگوریتم عدم قطعیت خروجی‌ها برای تمامی منابع از قبیل متغیرها (نظیر بارش)، پارامترها، مدل مفهومی و داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌شود (۲).

جدول ۱- داده‌های مورد استفاده برای شبیه‌سازی حوزه دز با استفاده از مدل SWAT

Table 1. The data used to simulate the Dez watershed using the SWAT model

داده	منبع داده
مدل رقومی ارتفاعی (DEM) – ۱۳۹۰	سازمان زمین شناسی ایالات متحده[1]
نقشه خاک – ۱۳۹۰	سازمان خواربار و کشاورزی سازمان ملل متحد (FAO[2])
نقشه کاربری اراضی – ۱۳۸۵	سازمان جنگل‌ها و مراتع ایران
داده‌های هواشناسی – (۱۳۷۰تا۱۳۹۳)	سازمان هواشناسی ایران
داده‌های هیدرومتری و رسوب – (۱۳۷۰تا۱۳۹۳)	سازمان آب و برق استان خوزستان
داده‌های کیفیت آب و منابع آلاینده نقطه‌ای – ۱۳۹۱	اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان
داده‌های مدیریتی و کشاورزی	مهندسین مشاور رویان و جهاد کشاورزی استان خوزستان

برازش درست میان مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط دو عامل p-factor (کسری از داده‌ها که در محدوده‌ی 95ppu قرار دارند) و r-factor (ضخامت متوسط باند تقسیم بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی)، که مقدار p-factor مابین صفر تا یک و مقدار r-factor مابین صفر تا بینهایت است تعیین می‌شود. وقتی p-factor مساوی یک و r-factor مساوی صفر شوند، مدل شبیه‌سازی‌شده دقیقا مطابق داده‌های مشاهداتی است. p-factor بزرگتر از ۰/۷ یا ۰/۷۵ و r-factor کوچکتر از ۱/۵ برای نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مناسب است (۳).

در این تحقیق با توجه به مطالعات پیشین و جواب‌های مناسب، از تابع هدف ضریب ناش ساتکلیف (NS) استفاده شده است (۲۳). معیار NS به‌صورت رابطه‌ی (۱) تعریف می‌شود.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_m - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_m - Q_{avg})^2} \qquad (۱)$$

که در آن Q بیانگر متغیر (نظیر دبی، رسوب) و اندیس‌های m و s نیز به‌ترتیب بیانگر مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده و Q_{avg} نیز بیانگر متوسط داده‌های اندازه‌گیر ی شده است.

معیار NS نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده تا چه حد با خط رگرسیونی با شیب ۱:۱ همخوانی دارد. مقادیر این تابع مابین ∞- تا ۱ متغیر است که مقدار یک بیانگر تطابق داده‌های شبیه‌سازی‌شده با داده‌های مشاهداتی است. مقادیر مابین صفر و یک به‌عنوان سطح عملکرد قابل قبول و مقادیر کوچکتر از صفر بیانگر سطح عملکرد غیرقابل قبول است (۲۳).

تحلیل حساسیت روند تعیین اهمیت تاثیر یک یا ترکیب چند پارامتر بر خروجی مدل یا تابع هدف است؛ به‌عبارت دیگر به مطالعه‌ی تاثیرپذیری متغیرهای خروجی از متغیرهای ورودی یک مدل آماری گفته می‌شود. تحلیل حساسیت به دو روش تحلیل حساسیت یکپارچه[3] و یک به یک[4] صورت می‌پذیرد که در این تحقیق از تحلیل حساسیت یکپارچه استفاده شده است. تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر متغیرها به‌صورت مجزا بر روی متغیرهای دبی، رسوب، فسفر کل و نیترات انجام شده است. SWAT-CUP با استفاده از دو پارامتر t-stat و p-value تاثیر هر پارامتر بر متغیر را تعیین می‌کند. بدین‌صورت که هر چه مقدار قدرمطلق t-stat بزرگتر باشد و مقدار p-value به صفر نزدیکتر باشد، تاثیر تغییرات پارامتر بر متغیر بیشتر خواهد بود (۱).

1- United States Geological Survey
2- Food and Agriculture Organization
3- Global Sensitivity
4- One-at-time

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

شناسایی مناطق بحرانی

سطوح بحرانی به مناطقی اطلاق می‌شود که بیشترین بار آلودگی نسبت به سطح را دارند. سطوح بحرانی در سطح زیرحوزه تعریف شده‌اند (۴۲). بار رسوب، بار نیتروژن کل و بار فسفر کل برای هر زیرحوزه بر پایه‌ی بررسی میزان بار آلودگی (مقدار آلودگی هر زیرحوزه تقسیم بر مساحت نظیر آن) برای واحد هر زیر ح وزه مشخص شده است. بدین‌منظور پس از تعیین بار متوسط سالانه‌ی هر زیرحوزه (تن بر هکتار بر سال)، زیرحوزه‌ها را به‌صورت نزولی و براساس میزان بار رتبه‌بندی می‌کنیم. یعنی زیرحوزه‌ای که بالاترین میزان بار را دارد زیرحوزه‌ی شماره‌ی یک و زیرحوزه‌ای که کمترین میزان بار را دارد به‌عنوان آخرین زیرحوزه قرار می‌گیرند. سپس با تعیین یک حد آستانه که وابسته به تحلیل و بررسی شیوه‌های مدیریتی و هزینه‌های عملیاتی می‌باشد اقدام به تعیین سطوح بحرانی حوزه می‌کنیم (۲۸). در این تحقیق حد آستانه‌ی ۸ درصدی به‌عنوان سطوح بحرانی و حد آستانه‌ی ۵ تا ۸ درصدی به‌عنوان حوزه‌های در معرض بحرانی‌شدن فرض شده‌اند. این فرضیات با نتایج تحقیقات پیشین سازگارند (۲۸).

البته چون تنها استفاده از یک شاخص آلودگی برای تعیین نقاط بحرانی کافی نیست از یک شاخص ترکیبی در سطح زیرحوزه نیز برای تعیین سطوح بحرانی استفاده شده است. در این روش سطوح بحرانی در سطح زیرحوزه بر پایه‌ی چند فاکتور تعریف شده‌اند. این فاکتورها شامل بار نیتروژن کل، بار فسفر کل و رسوب می‌باشند (۲۱). این الگوریتم ارزیابی به‌صورت روابط (۲) و (۳) تعریف می‌شود.

$$G_i = \sum G_{ij} \quad (۲)$$

$$NG_i = \frac{G_i - G_{min}}{G_{max} - G_{min}} \quad (۳)$$

که در آن G_i هدف برای زیرحوزه‌ی i، G_{ij} هدف برای نیتروژن کل (J=1)، فسفر کل (J=2) و رسوب (J=3) برای زیر حوزه‌ی i است، NG_i هدف ارزیابی نرمالیزه‌شده برای زیرحوزه‌ی i است؛ G_{min} و G_{max} به‌ترتیب اهداف حداقل و حداکثر برای کل حوزه است.

همچنین در کارهای مدیریتی که اولویت یک متغیر از بقیه بالاتر است، برای وزن‌دهی به آلودگی‌ها می‌توان از ویژگی وزن‌دهی به متغیرها در رابطه‌ی (۲) استفاده کرد که در این تحقیق وزن رسوب یک‌دهم وزن مجموع نیتروژن و فسفر در نظر گرفته شده است (۲۸).

بهترین راهکارهای مدیریتی

برای جلوگیری از افزایش نرخ آلودگی رودخانه به‌ویژه آلودگی با منابع غیرنقطه‌ای، معمولاً از مجموعه روش‌هایی استفاده می‌شود که به‌عنوان بهترین راهکارهای مدیریتی (BMP) شناخته شده‌اند. در این تحقیق از راهکارهای مدیریتی متفاوتی از قبیل اعمال راهکار حذف آلودگی نقطه‌ای توسط احداث تصفیه خانه به سبب کاهش نیتریت و آمونیاک موجود در رودخانه، اعمال فیلتراسیون توسط باریکه گیاهی، کاهش تعداد دام‌ها در منطقه، مدیریت کیفی کانال اصلی رودخانه دز به‌صورت کنترل فرسایش دیواره‌ی کانال و افزایش قطر ذرات بستر و دیواره رودخانه استفاده شده است.

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر متغیرها

تحلیل حساسیت پارامترها ابتدا بر روی متغیر دبی انجام شده است. پس از انجام تحلیل حساسیت پارامترهای بر روی دبی، به‌ترتیب پارامترهای ثابت بازگشت جریان پایه (ALPHA_BF)، ضریب هدایت هیدرولیکی موثر در کانال اصلی (CH_K2) و ضریب مانینگ برای جریان رواناب سطحی (OV_N) بیشترین تاثیر را روی دبی حوزه می‌گذارند. با توجه به این‌که داده‌های ایستگاه هیدرومتری و داده‌های دبی در دو ایستگاه زیرحوزه‌های شماره ۱۷ (دزفول) و ۳۲ (حرمله) موجود بود، با استفاده از برنامه‌ی Upstreamsubbasins زیرحوزه‌های موثر بر هر ایستگاه شناسایی‌شده و ۸ پارامتر حساس موثر بر دبی برای زیرحوزه‌های موثر بر هر ایستگاه مجزا شدند. همچنین سایر پارامترهای با بالاترین حساسیت به‌ترتیب برای رسوب پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب (SPCON)، برای فسفر کل پارامتر نسبت غلظت فسفر محلول در رسوب به غلظت فسفر موجود در لایه اول خاک (ERORGP) و برای نیترات پارامتر غلظت نیتروژن محلول در رواناب (SOLN_con) می‌باشند. نتایج تحلیل حساسیت در جدول ۲ ارائه شده است.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

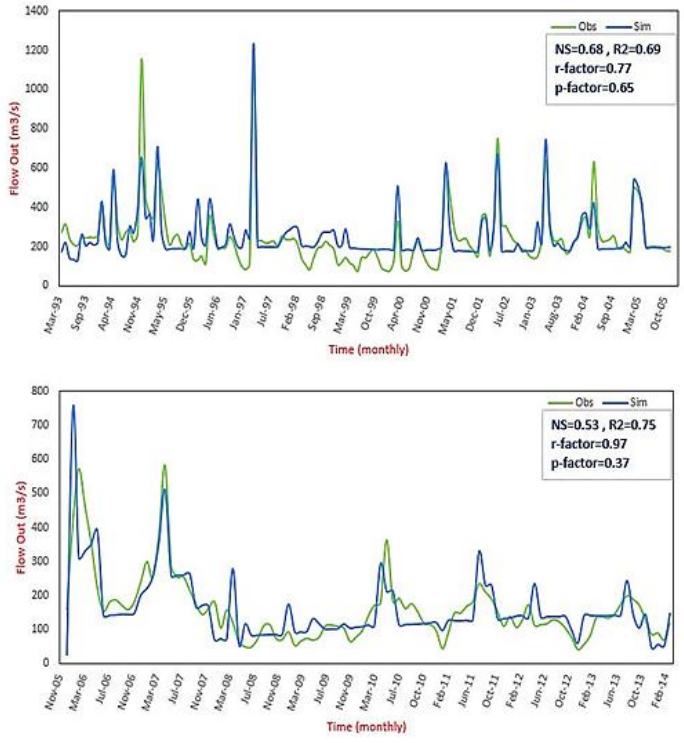
واسنجی و صحت‌سنجی مدل در ۴ مرحله و با حفظ نتایج خروجی قبل انجام شده است. ابتدا دبی رودخانه در دو ایستگاه دزفول و حرمله واسنجی برای سال‌های ۱۹۹۳–۲۰۰۵ و صحت‌سنجی برای سال‌های ۲۰۰۶– ۲۰۱۴ شده است. پس از دبی به‌ترتیب رسوب، فسفر کل و نیترات فقط در حوزه دزفول واسنجی و صحت‌سنجی شده‌اند. برای ارزیابی شبیه‌سازی‌ها از دومعیار NS، R^2، p-factor و r-factor استفاده شده است. نتایج واسنجی و صحت‌سنجی برای دبی، فسفر کل و نیترات رضایت‌بخش بوده ولی نتایج رسوب چندان رضایت‌بخش نبوده است. نتایج و سری زمانی داده‌های شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهداتی در تا شکل ۴ ارائه شده است. لازم به ذکر است که از داده‌های میانگین بارش سالانه سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۴ نیز استفاده شده است. میانگین بارش روزانه در این ۲۵ سال ۰/۳۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. پس از بررسی میانگین بارش روزانه در هر سال به‌ترتیب سال‌های ۱۹۹۵، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۱ با میانگین بارش روزانه ۰/۴۶، ۱/۹۳ و ۱/۰ میلی‌متر به‌عنوان خشکسالی، ترسالی و سال نرمال معرفی شده‌اند. نتایج واسنجی با معیار NS به‌طور مجزا برای هر سال بررسی شده که به‌ترتیب نتایج در سال‌های ترسالی با ۰/۸۸، سال‌های نرمال با ۰/۶۸ و سال‌های خشک با ۰/۵۱ برآورد شده است، که بیان‌گر اعتماد بیشتر به نتایج مدل در ترسالی‌ها می‌باشد. نمودار این نتایج در شکل ۵ نمایش داده شده است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

جدول ۲- تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر متغیرهای دبی، رسوب، فسفر کل و نیترات

Table 2. Sensitivity analysis of effective parameters on discharge, sediment, total phosphorus and nitrate variables

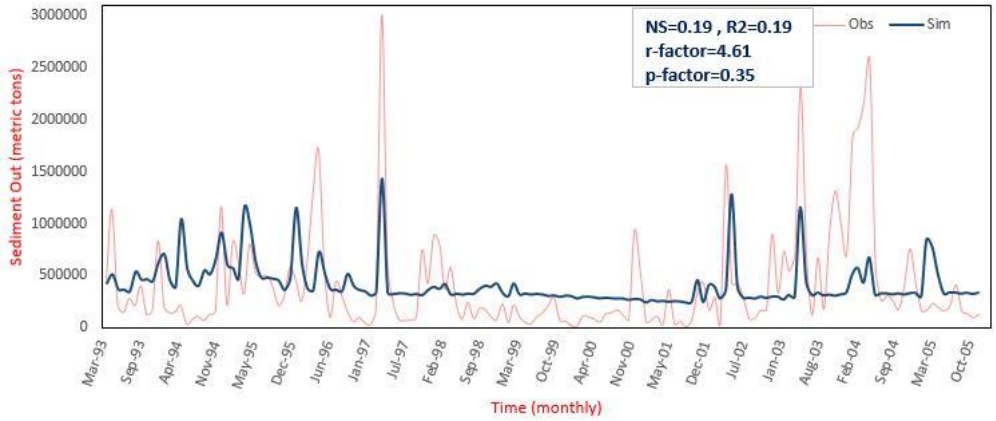
رتبه	نام پارامتر	تعریف پارامتر	مقادیر اولیه		مقادیر نهایی	t-stat	P-val
		پارامترهای موثر بر دبی					
۱	ALPHA_BF.gw(v)	ثابت بازگشت جریان پایه (روز/۱)	۱	۰	۰/۰۰۳۷	−۱۰/۳۵	۰
۲	CH_K2.rte(v)	ضریب هدایت هیدرولیکی موثر در کانال اصلی	۵۰۰	−۰/۰۱	۳۵۲/۱۲	۴/۱۵	۰
۳	OV-N.hru(v)	ضریب مانینگ برای جریان رواناب سطحی	۳۰	۰/۰۱	۱۲/۴۱	۲/۴۱	۰/۰۱۶
۴	SOL_AWC.sol(r)	ظرفیت آب موجود در لایه‌های خاک	۰/۴	−۰/۴	۰/۲۱۴	۱/۸۳	۰/۰۶۷
۵	GW_REVAP.gw(v)	ضریب revap جریان زیرزمینی	۰/۲	۰/۰۲	۰/۰۹۵	−۱/۷۳	۰/۰۸۵
۶	CANMX.hru(v)	حداکثر ذخیره تاج پوشش گیاهی	۱۰۰	۰	۵۳/۷۴	−۱/۶۳	۰/۱۰۴
۷	CH_S2.rte(v)	متوسط شیب کانال اصلی	۱۰	۰/۰۰۱	۶/۷	۱/۵۹	۰/۱۱۲
۸	GW_DELAY.gw(v)	زمان تاخیر آب زیرزمینی	۵۰۰	۰	۱۰۸/۷	−۱/۴۸	۰/۱۴
		پارامترهای موثر بر رسوب					
۱	SPCON.bsn(v)	پارامتر خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب	۰/۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۱۶	−۴۱/۴۵	۰
۲	SPEXP.bsn(v)	پارامتر نمایی محاسبات روندیابی رسوب در کانال	۱/۵	۱	۱/۰۱۵	۶/۷۳	۰
۳	CH_ERODMO.rte(v)	میزان فرسایش از کانال	۱	۰	۰/۴۵۷	۱/۴۹	۰/۱۳۶
۴	ADJ_PKR.bsn(v)	فاکتور تعدیل نرخ پیک رسوب روندیابی رسوب	۲	۰/۵	۰/۹۰۷	−۰/۶۷	۰/۵
		پارامترهای موثر بر فسفر کل					
۱	ERORGP.hru(v)	غلظت فسفر محلول رسوب به لایه ۱ خاک	۵	۰	۲/۵۲	−۳/۴۳	۰
۲	ORGP_con.hru(v)	غلظت فسفر آلی در رواناب	۵۰	۰	۲۶/۹۵	۲/۸۴	۰/۰۰۴
۳	PSP.bsn(v)	شاخص دسترسی فسفر	۰/۷	۰/۰۱	۰/۴۴	۰/۹۲	۰/۴۲
۴	SOLP_con.hru(v)	غلظت فسفر محلول در رواناب	۳	۰	۰/۲۳۱	−۰/۳۳	۰/۷۳
		پارامترهای موثر بر نیترات					
۱	SOLN_con.hru(v)	غلظت نیتروژن محلول در رواناب	۱۰	۰	۰/۱۳۲	−۳/۶۴	۰
۲	NPERCO.bsn(v)	ضریب نفوذ نیترات	۱	۰	۰/۱۷۲	−۲/۰۵	۰/۱۷۲
۳	ERORGN.hru(v)	غلظت نیتروژن محلول رسوب به لایه ۱ خاک	۵	۰	۲/۸۱	۰/۱۱۹	۰/۹
۴	K_N.wwq(v)	ثابت میکاییل-منتون برای نیتروژن	۰/۳	۰/۰۱	۰/۱۷۴	۰/۰۵۸	۰/۹۵۳



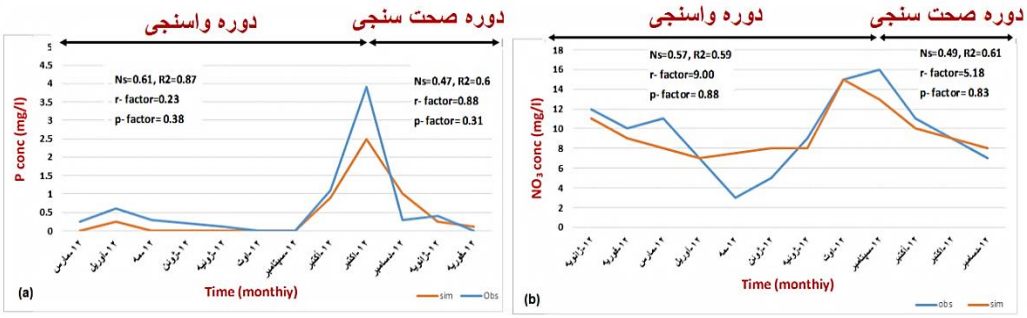
شکل ۲- نمودار دبی ماهانه ایستگاه دزفول- بالا: واسنجی (۱۹۹۳-۲۰۰۵)؛ پایین: صحت سنجی (۲۰۰۶-۲۰۱۴)

Figure 2. Dezful's monthly discharge diagram. Above: calibration (1993-2005) and below: validation (2006-2014)

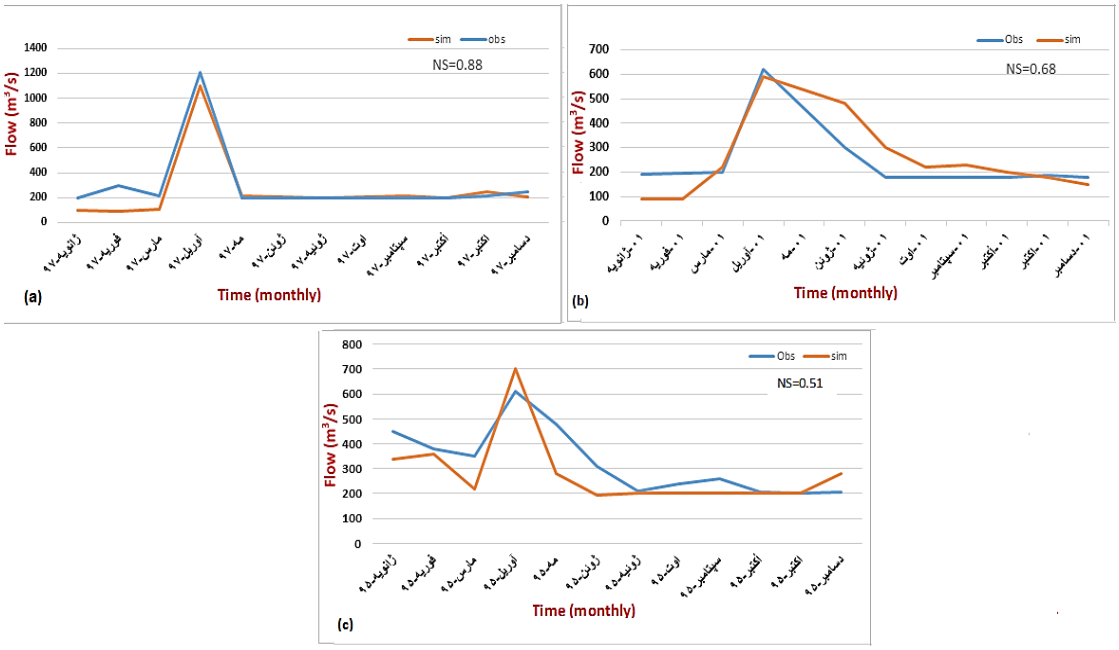
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]



شکل ۳- نمودار رسوب ماهانه ایستگاه دزفول – واسنجی (۱۹۹۳–۲۰۰۵)
Figure 3. Dezful's monthly sediment diagram- calibration (1993-2005)



شکل ۴- نمودار نیترات و فسفر ماهانه ایستگاه دزفول، واسنجی و صحت‌سنجی(a): فسفر (b): نیترات .(۲۰۱۲–۲۰۱۳)
Figure 4. Dezful's monthly total phosphorous and nitrate diagram. (a): TP (2012-2013), (b): TN (2012-2013)



شکل ۵- مقایسه دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده – a: ترسالی (۱۹۹۷)، b: سال نرمال (۲۰۰۱) و c: خشکسالی (۱۹۹۵)
Figure 5. Observed and simulated discharge. a: wet (1997), b: normal (2001) and c: dry (1995) years

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

شناسایی مناطق بحرانی حوزه

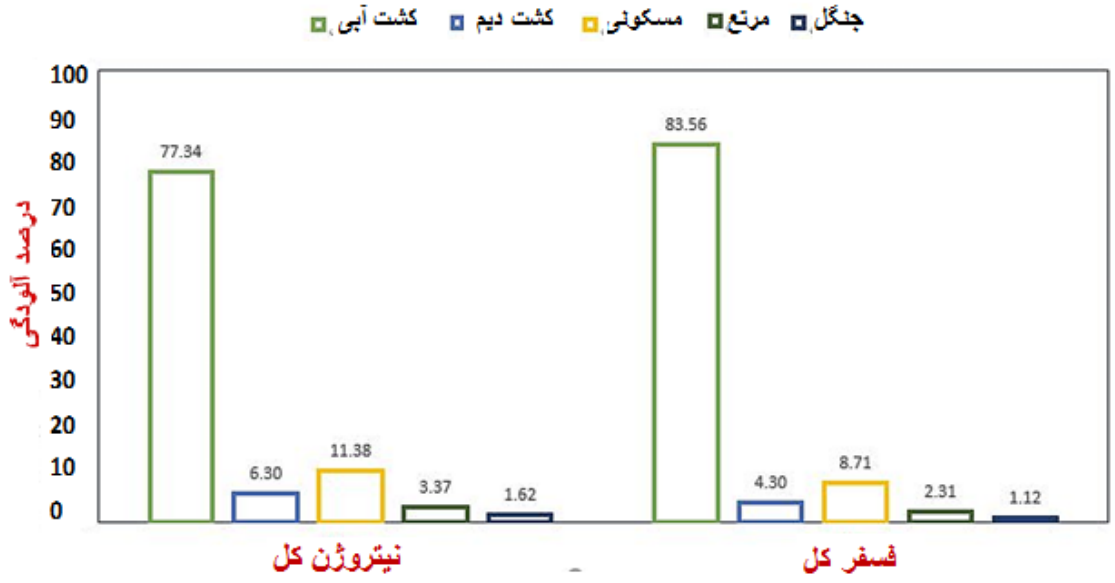
شناسایی کاربری‌های بحرانی آلوده‌کننده حوزه

برای بررسی سطوح بحرانی ابتدا بایستی درک درستی از حوزه و منابع تولیدکننده‌ی آلودگی داشت. در حوزه‌ی دز کاربری کشاورزی با مجموع ۸۳/۶ درصد از بار نیتروژن و ۸۷/۸۶ درصد از بار فسفر تولیدی کاربری‌ها، حساس‌ترین کاربری تولید کننده‌ی مواد مغذی را تشکیل می‌دهد. همچنین کاربری کشت آبی و دیم به‌ترتیب ۷۷/۳۴ و ۶/۳ درصد از بار کل نیتروژن و کاربری کشت دیم به‌ترتیب ۸۳/۵۶ و ۴/۳ از بار کل فسفر را تولید می‌کنند. کاربری‌های مسکونی، مرتع و جنگل نیز مجموعا تولیدکننده‌ی ۱۶/۳۶ درصد از بار نیتروژن و ۱۲/۱۴ درصد از بار فسفر کل هستند (شکل ۶).

با توجه به بهره برداری از سد مخزنی دز و انباشته‌شدن حجم قابل توجهی از رسوبات در مخزن این سد، می‌توان انتظار داشت که مخزن سد دز تا حدودی از انتقال رسوب به پایین‌دست جلوگیری کرده باشد. بر خلاف بار رسوبی، مقادیر فسفر کل و نیتروژن در پایین‌دست سد دز و در مکان‌هایی که فعالیت‌های کشاورزی و تراکم جمعیتی بالاتر بوده و همچنین در مناطقی که عشایر اسکان کرده و محل چرای دام‌های آن‌ها نیز می‌باشد، بیشتر است. مقادیر بارهای نیتروژن و فسفر کل در بالادست حوزه که مناطق کوهستانی بوده و فعالیت‌های کشاورزی بسیار کمتر از دشت‌هاست، بسیار کمتر از پایین‌دست حوزه است. در زیرحوزه‌ی شماره ۲۵ که کاشت نیشکر و صنایع وابسته به آن انجام می‌پذیرد، بار آلودگی بیشتر از سایر زیرحوزه‌ها است که نیازمند مدیریت پساب خروجی از این کارخانه می‌باشد (شکل ۷).

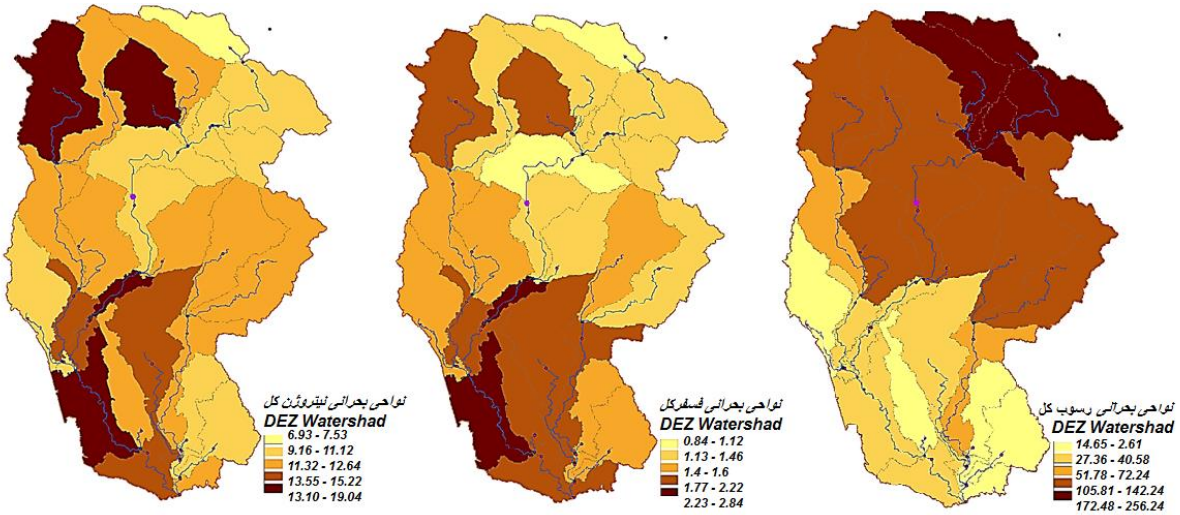
شاخص ترکیبی برای شناسایی مناطق بحرانی

سطوح بحرانی در پنج سطح آلودگی بحرانی، آلودگی در آستانه‌ی بحرانی‌شدن، آلودگی متوسط و آلودگی کم و آلودگی ناچیز طبقه‌بندی شده‌اند. در این تحقیق از سه شاخص ترکیبی استفاده شده است. در شاخص اول با استفاده از دو متغیر بار کل فسفر و بار کل نیتروژن سطوح بحرانی شناسایی شد. در این شاخص ترکیبی زیرحوزه‌های ۲۵ و ۱۷ که بیانگر پایین‌دست دز و به‌خصوص خروجی حوزه و محل ریختن به رودخانه‌ی کارون که پایین‌دست پساب‌های کارخانه‌ی نیشکر و شهر دزفول می‌باشند، بحرانی‌ترین زیرحوزه‌ها شناسایی شده‌اند. پس از آن دو زیرحوزه‌ی ۸ و ۲ که معرف محل اسکان عشایر و محل چرای دام‌ها می‌باشند در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در شاخص دوم علاوه‌بر نیتروژن و فسفر، رسوب هم به‌عنوان پارامتر سوم در این شاخص اضافه شد. پس از بررسی شاخص ترکیبی مشاهده شد که تنها معرفی پارامترهای مواد مغذی نمی‌تواند تعریف درست و مناسبی از سطوح بحرانی ارائه دهد. در این شاخص زیرحوزه‌های ۱، ۵، ۳ و ۷ به‌دلیل بالابودن بار رسوبی مشابه سطوح بحرانی رسوب (سطوح با شیب بالا در بالادست رودخانه) به‌عنوان سطوح بحرانی تعریف شدند. به‌همین دلیل یک شاخص سوم با وزن‌دهی به پارامترها تعریف شده است. در این شاخص به رسوب وزنی معادل یک‌دهم اعمال شد. پس از وزن‌دهی به‌ترتیب زیرحوزه‌های شماره‌ی ۱، ۵، ۲۵، ۸ و ۲ به‌عنوان سطوح بحرانی حوزه شناسایی شدند؛ که علاوه‌بر بالادست رودخانه دز، پایین‌دست شهر دزفول و محل چرای دام‌ها را نیز پوشش می‌دهد که پس از بررسی سطوح بحرانی پارامترها به‌صورت منحصربفرد تعریف مناسب‌تری از سطوح بحرانی زیرحوزه‌ها ارائه می‌دهد. پوشش زمین در این سطوح عمدتا از نوع مرتع و زمین‌های کشاورزی است. نتایج این بخش در شکل ۸ ارائه شده است.



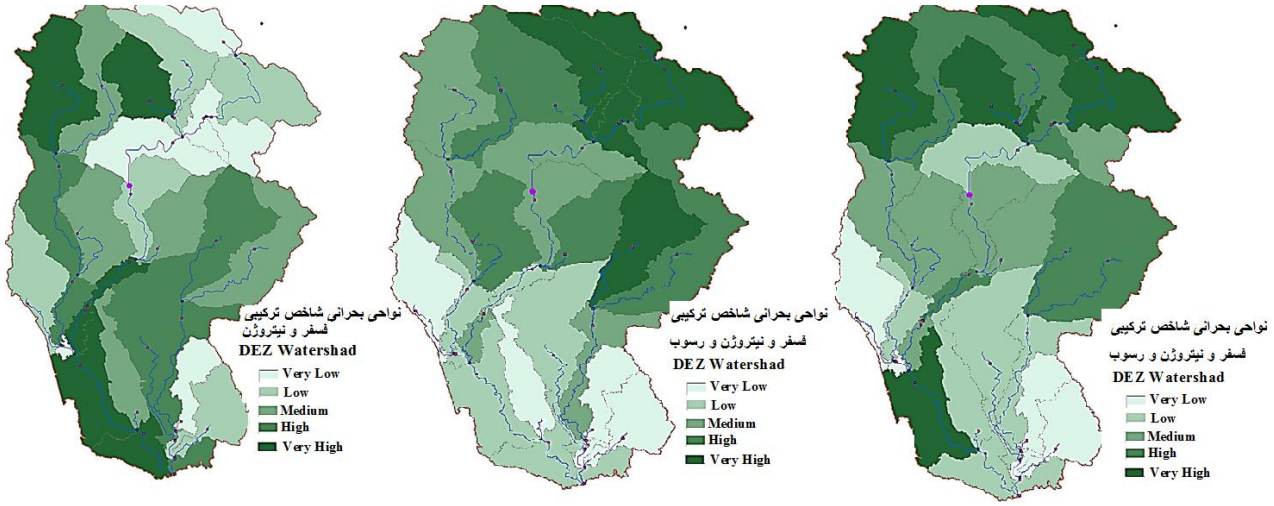
شکل ۶- درصد آلودگی کاربری‌های مختلف حوزه‌ی آبریز دز
Figure 6. Percentage of pollution from different land uses

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]



شکل ۷- زیرحوزه‌های بحرانی با استفاده از شاخص‌های تکی – به‌ترتیب از راست: شاخص اول (بار رسوب کل)، شاخص دوم (بار فسفر کل) و شاخص سوم (بار نیتروژن)

Figure 7. Critical subbasins that identified with single indices. Respectively from right: sediment, TP and TN loads



شکل ۸- زیر حوزه‌های بحرانی با استفاده از شاخص‌های ترکیبی – به‌ترتیب از راست: شاخص اول (ترکیب فسفر، نیتروژن و یک‌دهم رسوب)، شاخص دوم (ترکیب فسفر، نیتروژن و رسوب) و شاخص سوم (ترکیب فسفر، نیتروژن)

Figure 8. Critical subbasins that identified with hybrid indices. Respectively from right: (1) TN, TP and one tenth of sediment load), (2) TN, TP and sediment load, (3) TN and TP

بررسی و ارزیابی بهترین راهکارهای مدیریتی

اعمال راهکار حذف آلودگی‌های نقطه‌ای با احداث تصفیه خانه سبب کاهش نیتریت و آمونیاک موجود در رودخانه حاصل از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی شده است. مقادیر بالای کاهش نیتریت و آمونیاک که برای فرآیند تبدیل از نیتروژن آلی به نیتریت و آمونیاک نیازمند اکسیژن بوده، با کاهش مصرف اکسیژن محلول موجود درآب به زندگی آبزیان کمک شایانی خواهد کرد. بیشترین کاهش بار آلودگی با استفاده از راهکار فیلتراسیون با باریکه‌ی گیاهی در کاربری‌های کشاورزی و کمترین کاهش نیز مربوط به کاربری‌های مسکونی است. موثرترین تاثیر این راهکار را روی عنصر نیترات شاهد بوده‌ایم که با کاهش نزدیک به ۵۰ درصدی روبرو شده است. همچنین با افزایش عرض باریکه‌ی گیاهی میزان کاهش نیتروژن کل نسبت به فسفر کل بیشتر بوده است. اعمال فیلتراسیون با باریکه‌ی گیاهی برای مناطق مسکونی نزدیک رودخانه می‌تواند به‌صورت پارک‌های ساحلی ایجاد شده و به زیبایی شهر نیز کمک کند. چرای دام‌ها با صدمه‌زدن به گیاه و تولید کود، میزان مواد مغذی شسته‌شده از مراتع پس از بارش باران و تولید رواناب را به‌شدت افزایش می‌دهد. راهکار کاهش ۲۰ و ۵۰ درصدی تعداد دام‌ها برای کاهش بار مواد مغذی ورودی به رودخانه‌ها حاکی از کاهش بیشتر نیترات و نیتروژن آلی نسبت به سایر عناصر مغذی می‌باشد. همچنین در این راهکار مقدار فسفر تغییر چندانی

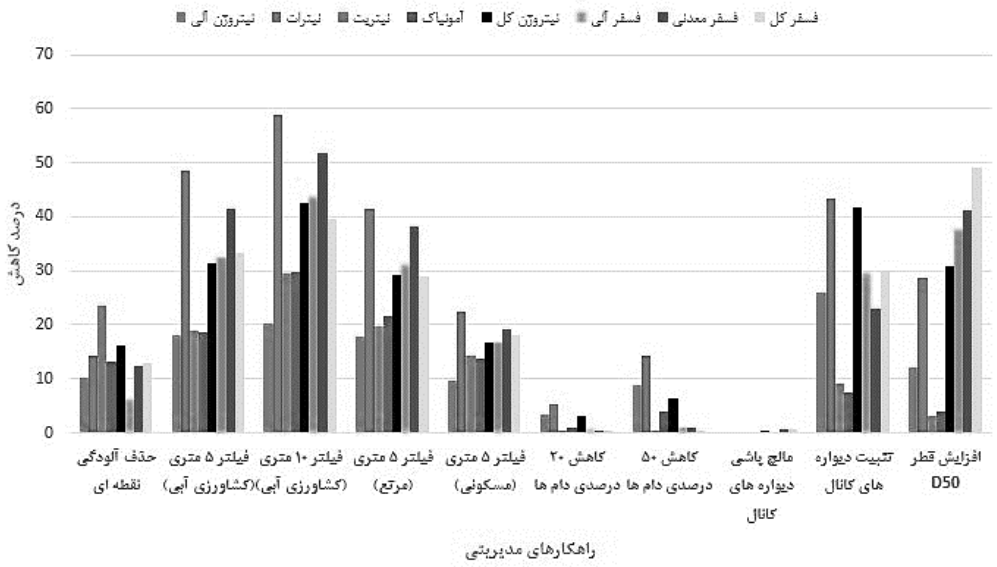
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

نکرده است.

مدیریت کیفی کانال اصلی رودخانه‌ی دز در سه بخش کنترل فرسایش دیواره‌ی کانال، کنترل میزان پوشش گیاهی دیواره‌های کانال و افزایش D_{50} ذرات بستر و دیواره‌ی رودخانه، انجام شده است. راهکار مالچ‌پاشی دیواره‌ی کانال تاثیر بسیار اندکی بر روی کاهش مواد مغذی رودخانه داشته و فقط میزان رسوب ورودی به رودخانه را کاهش داده که به‌دلیل محلول بودن فسفر در رسوب، تنها تاثیر این راهکار را در کاهش فسفر رودخانه شاهد بوده‌ایم. استفاده از پوشش گیاهی در ابتدا یک راهکار مناسب برای مقابله با آلودگی ناشی از مواد مغذی به‌نظر می‌رسد که تاثیر چشمگیری در کاهش نیتروژن و فسفر دارد ولی در عین حال مقدار دبی آب در پایین‌دست را کاهش داده که در شرایط کمبود آب چندان مناسب به‌نظر نمی‌رسد. راهکار افزایش D_{50} بستر و دیواره‌های رودخانه‌ها نیز راهکار مناسبی برای مقابله با آلودگی ناشی از مواد مغذی می‌باشد. این راهکار نیز به‌دلیل کنترل رسوب، تاثیر بیشتری در کاهش فسفر محلول در رسوب را داشته، و به‌همین دلیل می‌توان دلایل کاهش این آلودگی‌ها را اینگونه بررسی کرد. نتایج مقایسه‌ی این راهکار در شکل ۹ ارائه شده است. شاخص‌های ترکیبی در شناسایی مناطق بحرانی بدون وزن‌دهی به متغیرها چندان مطلوب نبوده و بایستی با توجه به اولویت متغیرها وزن‌دهی اعمال شود.

با توجه به تئوری پنیر سوئیسی و وجود بی‌شمار جواب با الگوریتم‌های بهینه‌ساز و توابع هدف مختلف، لزوما نتایج این تحقیق بر پایه‌ی الگوریتم بهینه‌ساز SUFI-2 و تابع هدف NS تعریف شده است؛ لذا نمی‌توان به‌طور قطع به نتایج حاصل از واسنجی این مدل اعتماد کرد.

در اعمال بهترین راهکارهای مدیریتی فیلتراسیون ده متری اطراف کاربری کشاورزی بیشترین کاهش در مقدار نیترات و نیتروژن کل را داشته و راهکار افزایش قطر D_{50} ذرات نیز بیشترین میزان کاهش فسفر کل را داشته‌اند. کاهش تعداد دام‌ها نیز در کاهش عناصر وابسته به فسفر کارآمد نبوده است. همچنین مالچ پاشی دیواره‌های کانال تاثیر چندانی در کاهش آلودگی نداشته است.



شکل ۹- مقایسه‌ی راهکارهای مدیریتی مختلف در خروجی حوزه دز

Figure 9. Comparison of different best management practices at the outlet of the Dez watershed

باتوجه به پدیده تغییر اقلیم و پیامدهای آن، پیشنهاد می‌شود راهکارهای مدیریتی با تغییر در ورودی‌هایی نظیر بارش، رطوبت نسبی و تشعشعات خورشیدی بررسی شده و کفایت این راهکارها مجدد ارزیابی شود. برای اطمینان به نتایج مدل پیشنهاد می‌شود تحقیقات مشابه در حوزه‌های مجاور انجام شده تا بتوان به نتایج مدل اعتماد بیشتری کرد.

به‌علاوه باتوجه به‌وجود فاکتورهای زیادی از قبیل فاکتورهای محدودیت‌های اجتماعی، اقتصادی، استانداردهای آب و جمعیت پیشنهاد می‌شود این فاکتورها در اولویت‌بندی راهکارهای مدیریتی در نظر گرفته شده و تصمیمات مدیریتی متناسب با این فاکتورها و نیاز منطقه اتخاذ شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

منابع

1. 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. Journal of Hydrology, 333(2-4): 413-430.
2. Abbaspour, K.C., E. Rouholahnejad, S. Vaghefi, R. Srinivasan, H. Yanga and C.V. Kløved. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524: 733-752.
3. Alizadeh, A., A. Izady, K. Davary, A.N. Ziaei, S. Akhavan and Z. Hamidi. 2013. Estimation of actual evapotranspiration at regional-annual scale using SWAT. Iranian Journal of lrrigation and Drainage, 7: 243-258 (In Persian).
4. Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah and P.M. Allen. 1999. Large area hydrologic modeling and assessment Part I: Model development. Journal of the American Water Resources Association, 34(1): 37-89.
5. Ba, W., P. Du, T. Liu, A. Bao, X. Chen, J. Liu and C. Qin. 2020. Impacts of climate change and agricultural activities on water quality in the Lower Kaidu River Basin, China. Journal of Geographical Sciences, 30(1): 164-176. doi:10.1007/s11442-020-1721-z
6. Benaman, J., C.A. Shoemaker and D.A. Haith. 2005. Calibration and validation of Soil and Water Assessment Tool on an agricultural watershed in upstate New York. Journal of Hydrologic Engineering, 10: 363-374.
7. Bauwe, A., K. Eckhardt and B. Lennartz. 2019. Predicting dissolved reactive phosphorus in tile-drained catchments using a modified SWAT model. Ecohydrology and Hydrobiology, 19(2): 198-209.
8. Bouraoui, F., S. Benabdallah, A. Jrad and G. Bidoglio. 2005. Application of the SWAT model on the Medjerda River basin (Tunisia). Physics and Chemistry of the Earth, 30(8-10): 497-507.
9. Bracmort, K.S., M. Arabi, J.R. Frankenberger, B.A. Engel and J.G. Arnold. 2006. Modeling long-term water quality impact of structural BMPs. Trans. ASABE, 49(2): 367-374.
10. Cao, Y., J. Zhang, M. Yang, X. Lei, B. Guo, L. Yang, Z. Zeng and J. Qu. 2018. Application of SWAT Model with CMADS Data to Estimate Hydrological Elements and Parameter Uncertainty Based on SUFI-2 Algorithm in the Lijiang River Basin, China. Water, 10: 742. doi:10.3390/w10060742.
11. Chaplot, V., A. Saleh, D.B. Jaynes and J.G. Arnold. 2004. Predicting water, sediment, and NO3-N loads under scenarios of land-use and management practices in a flat watershed. Water Air Soil Pollutant, 154(1-4): 271-293.
12. Chunn, D., M. Faramarzi, B. Smerdon and D.S. Alessi. 2019. Application of an Integrated SWAT-MODFLOW Model to Evaluate Potential Impacts of Climate Change and Water Withdrawals on Groundwater-Surface Water Interactions in West-Central Alberta. Water, 11: 110.
13. Chu, T.W., A. Shirmohammadi, H. Montas and A. Sadeghi. 2004. Evaluation of the SWAT model's sediment and nutrient components in the Piedmont physiographic region of Maryland. Trans. ASAE, 47(5): 1523-1538.
14. Ficklin, D.L., Y. Luo and M. Zhang. 2012. Watershed modelling of hydrology and water quality in the Sacramento river watershed, California. Hydrological Processes, 27: 236-250.
15. Gikas, G.D., T. Yiannakopoulou and V.A. Tsihrintzis. 2005. Modeling of nonpoint-source pollution in a Mediterranean drainage basin. Environmental Modeling & Assessment., 11(3): 219-233.
16. Huang, J., J.X. Lin and J. Wang. 2015. The precipitation driven correlation based mapping method (PCM) for identifying the critical source areas of non-point source pollution. Journal of Hydrology, 524:100-110.
17. Huning, L.S. and S.A. Margulis. 2015. Watershed modeling applications with a modular physically-based and spatially-distributed watershed educational toolbox. Environmental Modeling and Software, 68: 5-69.
18. Kavian, A. and M. Mohammadi. 2019. Effects of Digital Elevation Models (DEM) Spatial Resolution on Hydrological Simulation. Journal of Watershed Management Research, 10(19): 36-45 (In Persian).
19. Kiniry, J.R., J.R. Williams and K.W. King. 2011. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2009, Center for Agricultural and Rural Development Iowa, Iowa, USA, 618 pp.
20. Laurent, F. and D. Ruelland. 2010. Assessing impacts of alternative land use and agricultural practices on nitrate. Journal of Hydrology, 409(1-2): 440-450.
21. Liu, R., F. Xu, P. Zhang, W. Yu and C. Men. 2016. Identifying non-point source critical source areas based on multi-factors at a basin scale with SWAT. Journal of Hydrology, 533: 379-388.
22. Mishra, A. and S. Kar. 2012. Modeling hydrologic processes and NPS pollution in a small watershed in subhumid subtropics using SWAT. Journal of Hydrologic Engineering, 10(1061): 445-454.
23. Mohammadi, M., A. Kavian and L. Gholami. 2017. Simulation of Discharge and Nitrate in Tallar Basin using SWAT Model. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 45-60 (In Persian).
24. Moriasi, D.N., J.G. Arnold, M.W. Van Liew, R.L. Bingner, R.D. Harmel and T.L. Veith. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50: 885-900.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

25. Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through cenceptual models 1. A discussion of priciples. Journal of Hydrology, 10(3): 282-290.
26. Natha, S.B., J.D. Allan, D.M. Dolan, H. Han and R.P. Richards. 2011. Application of the Soil and Water Assessment Tool for six watersheds of Lake Erie: Model parameterization and calibration. Journal of Great Lakes Research, 37(2): 263-271.
27. Naserabadi, F., A. Esmali Ouri, H. Akbari and R. Rostamian. 2016. River flow Simulation using SWAT Model (Case study: Ghareh Su River in Ardabil Province-Iran). Journal of Watershed Management Research, 7(13): 50-59 (In Persian).
28. Niraulaa, R., L. Kalinb, P. Srivastavac and C.J. Andersonb. 2013. Identifying critical source areas of nonpoint source pollution with SWAT and GWLF. Ecological Modelling, 268: 123-133.
29. Panagopoulos, Y., C. Makropoulos and M. Mimikou. 2012. Decision support for diffuse pollution management. Environmental Modelling and Software, 30: 57-70.
30. Panagopoulos, Y., C. Makropoulos and M. Mimikou. 2011. Reducing surface water pollution through the assessment of the cost-effectiveness of BMPs at different spatial scales. Journal of Environmental Management, 92(10): 2823-2835.
31. Pulighe, G., G. Bonati, M. Colangeli, L. Traverso, F. Lupia, F. Altobelli, A. Dalla Marta and M. Napoli. 2020. Predicting Streamflow and Nutrient Loadings in a Semi-Arid Mediterranean Watershed with Ephemeral Streams Using the WATModel. Agronomy, 10(1): 2. https://doi.org/10.3390/agronomy10010002.
32. Pisinaras, V., C. Petalas, G.D. Gikas, A. Gemitzi and V.A. Tsihrintzis. 2009. Hydrological and water quality modeling in a medium-sized basin using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Desalination, 250(1): 274-286.
33. Raihan, F., L.J. Beaumont, J. Maina, A. Saiful Islam and S.P. Harrison. 2019. Simulating streamflow in the Upper Halda Basin of southeastern Bangladesh using SWAT model. Hydrological Sciences Journal, 1-14. doi:10.1080/02626667.2019.1682149.
34. Rooyan consulting Engineers. 2006. The comprehensive agricultural plan of khuzestan province. 8.
35. Saleh, A., J.G. Arnold, P.W. Gassman and L.W. Hauck. 2000. Application of SWAT for the Upper North Bosque river watershed. Trans. ASABE, 43(5): 1077-1087.
36. Santhi, C., R. Srinivasan, J.G. Arnold and J.R. Williams. 2006. A modeling approach to evaluate the impacts of water quality management plans implemented in a watershed in Texas. Environmental Modeling and Software, 21(8): 1141-1157.
37. Santhi, C., J.G. Arnold, J.R. Williams, L.M. Hauck and W.A. Dugas. 2001. Application of a watershed model to evaluate management effects on point and nonpoint source pollution. Transactions of the ASABE, 44(6): 1559-1570.
38. Shaikhzeinoddin, A., A.K. Esmaili and M. Noshadi. 2016. The effect of irrigation management and fertilization strategies on nitrogen losses using SWAT model. Journal of Water and Soil Science, 19 (74): 141-153 (In Persian).
39. Tian, Y.J., Z.R. Wang and X.X. Zhang. 2012. Development and in application of SWAT model. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 6: 3480-3483.
40. Tolson, B.A. and C.A. Shoemaker. 2007. Cannonsville reservoir watershed SWAT2000 model development, calibration, and validation. Journal of Hedrology, 337(1-2): 68-86.
41. West Larry World Water Day. 2006. A billion people worldwide lack safe drinking water. http://environment.about.com/od/environmentalevents/a/waterdayqa.htm.
42. Winchell, M.F., S. Folle and D. Meals. 2015. Using SWAT for sub-field identification of phosphorus critical source areas in a saturation excess runoff region. Hydrological Sciences Journal, 60: 844-862.
43. Zhang, X. and M. Zhang. 2012. Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff. Science of the Total Environment, 409(10): 1949-1958.
44. Zhao, F.Y. Wu, L. Qiu, Y. Sun, L. Sun, Q. Li, J. Niu and G. Wang. 2018. Parameter Uncertainty Analysis of the SWAT Model in a Mountain-Loess Transitional Watershed on the Chinese Loess Plateau. Water, 10: 690.
45. Zhang, S., X. Hou, C. Wu and C. Zhang. 2019. Impacts of climate and planting structure changes on watershed runoff and nitrogen and phosphorus loss. Science of the Total Environment, 134489. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.134489.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]

Identifying Critical Sources and Evaluate the Best Management Practices to Control Nutrient Load of the Dez River Basin using the SWAT Model

Hadi Babaei[1], Mohammad Zakermoshfegh[2] and Majid Delavar[3]

1- M.Sc. Student of River Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran, (Corresponding author: moshfegh@jsu.ac.ir)
3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
Received: October 23, 2017 Accepted: June 10, 2020

Abstract

Using the best management strategies (BMPs) is a useful way to control pollutions at the watershed outlets, which, of course, requires spending costs. Prioritizing these strategies (especially in areas with scarce resources) will greatly contribute to the efficiency and adequacy of these methods in terms of reducing pollution and their application in critical areas. In this research, the SWAT conceptual model has been selected as the simulating model, using the long-term data including meteorological, dam, agricultural management and Dez river flow. The results of SWAT model calibration and validation indicate that this model is reliable for simulating the Dez catchment area. These results were quite satisfactory for discharge, total phosphorus and nitrate, but not very suitable for sediment load. Also, the separation of the parameters affecting the variables, on the quality of the results of the calibration and validation has been desirable. Examining the modeling results in normal, wet and dry water years indicate more confidence in the results of the model in wet periods. Identification of critical areas has also been done with a single index methods based on the amount of pollution load produced in the basin, as well as three combined indicators. Finally, the practice of plant filtration is the most effective method in reducing the nitrogen load and the practice of increasing the D50 of soil particles is also the most effective method in reducing the phosphorus load. The sub-basin downstream of the city of Dezful, which has a major agricultural activities and included the sugarcane factory effluent, has been identified as the most critical sub-basin.

Keywords: Best Management Practices, Combined Index of Critical Areas, Nitrate and Total Phosphorus Load, Sediment Load

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.22.3.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.22.142]