

بررسی تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی در کاهش منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای آب با استفاده از مدل SWAT (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سیمره، رودخانه سیمره)

زهرا نوری^۱، علی سلاجقه^{۲*}، آرش ملکیان^۲، علیرضا مقدم نیا^۴

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، آبخیزداری دانشگاه تهران

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

۴. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۲/۱۳)

چکیده

کیفیت آب‌های سطحی تأثیر زیادی بر روی سلامتی انسان و اکوسیستم‌های آبی دارد. منابع آلودگی آب شامل منابع آلودگی نقطه‌ای (PSPs) و منابع آلودگی غیرنقطه‌ای (NPSPs) می‌باشد. شناسایی منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای برای ارزیابی کیفیت آب سطحی و منابع اصلی آلودگی در حوضه حائز اهمیت می‌باشد. در این مطالعه، مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT 2009) برای بررسی تأثیر منابع آلاینده نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بر روی کیفیت آب رودخانه سیمره در محدوده مطالعاتی زیرحوضه سیمره در حوضه کرخه مورد استفاده قرار گرفت. مدل برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۰۰ واسنجی و سپس برای دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۱ اعتبارسنجی گردید. مقادیر ضرایب ناش-ساتکلیف و R^2 برای شبیه‌سازی جریان و بار مواد مغذی از ۰/۸۴ تا ۰/۹۶ و برای اعتبارسنجی جریان از ۰/۶۹ تا ۰/۸۵ می‌باشد. نتایج آماری نشان داد که مدل SWAT کارایی مناسبی در شبیه‌سازی جریان ماهانه و بار مواد مغذی در حوضه سیمره دارد. همچنین مدل SWAT برای شناسایی مناطق منبع بحرانی (CSAs)، رسوب، نیتروژن کل (TN) و فسفر کل (TP) در سطح زیرحوضه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل SWAT، ۹ زیرحوضه (شامل ۳۳٪ از سطح حوضه) شامل زیرحوضه‌های ۱، ۶، ۱۰، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶ و ۲۹ را به‌عنوان مناطق بحرانی برای نیتروژن کل (TN) و فسفر کل (TP) شناسایی کرد. سپس شبیه‌سازی تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs) برای کنترل هدررفت بار مواد مغذی توسط مدل انجام گرفت. مهم‌ترین BMPs شامل اجرای کاهش مصرف کودهای شیمیایی و ایجاد نوار فیلتر در طول رودخانه می‌باشد. سناریوهای BMP منجر به کاهش هدررفت آلودگی در مقایسه با شرایط پایه می‌شوند و بیشترین کاهش در بار مواد مغذی در ایجاد نوار فیلتر در کنار رودخانه با درصد کاهش ۶۸٪، ۳۶٪ و ۳۹٪ به ترتیب برای رسوب، TN و TP مشاهده شد. بطور کلی این پژوهش باعث کمک به درک مناسب‌تر ما از وضعیت کیفیت آب و نقش گزینه‌های مدیریتی در بهبود کیفیت آن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کیفیت آب، منابع آلودگی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای، مدل SWAT، بهترین اقدامات مدیریتی (BMP)، حوضه رودخانه سیمره.

مقدمه

غیر نقطه‌ای شامل فعالیتهای کاربری اراضی مانند توسعه مناطق شهری، ساخت جاده، فعالیت‌های کشاورزی، زهکشی معدن و رواناب ناشی از بارش، ذوب برف یا آب آبیاری در روی این سطوح بوده که بر روی زمین جاری شده و وارد رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آبهای ساحلی می‌شوند (Wu and Chen, 2013). شناسایی منابع آلودگی نقطه‌ای آسان است اما ارزیابی و برآورد منابع غیرنقطه‌ای به دلیل گستردگی مکانی وقوع و تغییرات زمانی خود که بستگی به عواملی مانند آب و هوا و کاربری اراضی دارد، دشوار است (Carpenter et al, 1998, Shen et al., 2012).

کیفیت آب‌های سطحی تحت تأثیر منابع آلودگی نقطه‌ای (PSPs)^۱ و منابع آلودگی غیرنقطه‌ای (NPSPs)^۲ قرار می‌گیرد و اکوسیستم‌های آبی و کیفیت آب عرضه شده را تهدید می‌کند (Wu and Chen, 2013). منابع آلودگی نقطه‌ای شامل فاضلاب‌های شهری، فاضلاب‌های صنعتی (از کارخانه‌های مختلف) و زهکشی رواناب‌های شهری می‌باشد. منابع آلودگی

* نویسنده مسئول: Salajegh@ut.ac.ir

1. Point source (PS)

2. Nonpoint source (NPS) pollution

موارد آن اشاره می‌شود. (Lam *et al* (2010) به مدلسازی منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای ناشی از نیترات در حوضه کیلستاو در شمال اراضی پست روستایی آلمان با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی مدل SWAT در شبیه سازی جریان روزانه و بار نیترات در حوضه‌های پست در شمال آلمان دقت بالایی دارد.

مناطق منبع بحرانی (CSAs)^۲ که منبع اصلی آلودگی در حوضه می‌باشند به‌عنوان مناطق هدف برای مدیریت و کنترل بار آلودگی و بهبود کیفیت آب انتخاب می‌شوند (Strauss *et al.*, 2009; White *et al.*, 2007). Zhang and Zhang (2011) به شبیه‌سازی تأثیر و کارایی بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs) مانند نوار فیلتر، حوضچه‌های نگهداشت رسوب و گودال‌های دارای پوشش در کاهش رواناب حاوی فسفات آلی در حوضه آبخیز کریک در کالیفرنیا با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج نشان داد که اقدامات مدیریتی پیشنهاد شده منجر به کاهش ۸۵-۵۴ درصد بار رسوب رواناب شده است و تأثیر گودال‌های دارای پوشش و بافر بستگی به ابعاد فیزیکی و پوشش گیاهی آنها دارد. (Niraula *et al* (2013) در مطالعه‌ای به‌منظور شناسایی مناطق منبع بحرانی (CSAs) برای اجرای مقرون به صرفه‌ی بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs) در حوضه کریک در آلباما با استفاده از مدل SWAT و ^۳GWLF نشان دادند که هر دو مدل برای شبیه‌سازی جریان رودخانه و بار مواد مغذی کارایی مناسبی دارند و زیر حوضه‌های با کاربری کشاورزی به‌عنوان مناطق بحرانی نیتروژن کل (TN)^۴، فسفر کل (TP)^۵ و رسوب شناسایی شدند. (Chen *et al* (2014) به بررسی تأثیر مدیریت حوضه آبخیز بر روی کیفیت آب در حوضه رودخانه ژیانجنگ^۶ در چین با استفاده از مدل SWAT پرداختند. نتایج آنها نشان داد که اراضی کشاورزی منابع غالب نیتروژن و رسوب در حوضه بوده و نوار فیلتر تأثیر معنی‌داری بر روی تعدیل آلودگی منابع آب سطحی با گیرش و جذب مواد مغذی دارد. (Mwangi *et al* (2015) به ارزیابی تأثیر اقدامات حفاظتی آب و خاک بر روی کیفیت آب و تولید رسوب در حوضه ساسوموا^۷ در کنیا با استفاده از مدل SWAT پرداختند. تأثیر نوار فیلتر، کشت روی خط تراز، تراس‌بندی موازی، آبروهای

توسعه اراضی کشاورزی و مصرف زیاد کودهای شیمیایی برای افزایش تولید محصول و رشد شهرنشینی از مهم‌ترین مشکلات آلودگی آب‌های سطحی در جهان به شمار می‌رود (Zhang *et al*, 2011). ورود حجم زیاد مواد مغذی و رسوبات ناشی از فرسایش اراضی به آب می‌تواند باعث مشکلاتی مانند رشد جلبک‌های سمی، کاهش اکسیژن آب و متعاقب آن نامناسب شدن آب برای مصارف روزانه و تولیدات صنعتی و کشاورزی شود (Niraula *et al.*, 2013; Carpenter *et al.*, 1998). لذا کاهش بار آلودگی اراضی کشاورزی که یکی از منابع غالب آلودگی آب است به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برای بهبود کیفیت آب‌های سطحی لازم است. بنابراین مدیریت منابع آلودگی غیرنقطه‌ای کشاورزی (NPSPS)، مدیریت نوع کاربری اراضی، شناسایی منابع آلودگی، کنترل مقدار مواد مغذی (به‌ویژه مصرف کود شیمیایی) و جلوگیری از انتقال NPSP از راه‌های مهم برای کاهش آلودگی آب‌های سطحی می‌باشد (Carpenter *et al.*, 1998; Chen *et al.*, 2014).

همچنین اجرای بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs)^۱ شامل کاهش مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی، ایجاد نوار فیلتر گیاهی در کناره رودخانه (Sahu and Volk *et al.*, 2009; Gu, 2009)، شخم حفاظتی جهت کاهش فرسایش، احیای تالابها برای کاهش جریان مواد مغذی به پایین‌دست، تراس‌بندی اراضی، کاهش تعداد دامها و غیره امروزه بطور گسترده‌ای برای کاهش و تعدیل بار آلودگی غیرنقطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند (Scavia *et al.*, 2014). از میان BMPs ساخت نوار فیلتر گیاهی به دلیل تأثیر کم آن در تغییر چشم‌انداز حوضه و اجرای آسان آن کاربرد بیشتری دارد. فیلتر گیاهی سطحی از گیاهان دائمی و پایدار می‌باشد که نقش مهمی در کاهش NPSP دارد (Parajuli *et al.*, 2008; Volk *et al.*, 2009). بطور مثال در مطالعه‌ای (Lee *et al* (2010) نشان دادند که ساخت نوار فیلتر به عرض ۲۰ متر در کنار کانال رودخانه در حوضه Gyeongancheon در جنوب کره منجر به کاهش ۵ درصد بار کل مواد مغذی و ساخت نوار فیلتر با عرض ۱۰-۵ متر بالاترین اثربخشی را در کاهش بار آلودگی دارد. قبل از ساخت و ایجاد فیلتر گیاهی در کنترل آلودگی، شناسایی مناطق هدف ضروری می‌باشد. در این میان مدل SWAT بطور گسترده‌ای به‌منظور بررسی تأثیر منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای بر روی کیفیت آب و شبیه‌سازی بهترین اقدامات مدیریتی در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد که در ادامه برخی

2. Critical source areas (CSAs)

3. Generalized Watershed Loading Function

4. Total Nitrogen

5. Total Phosphorus

6. Xiangjiang

7. Sasumua

و مواد مغذی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه برای پایش کیفیت آب مشتمل بر محدوده مطالعاتی زیر حوضه سیمره با مساحتی حدود ۱۶۴۱۱ کیلومترمربع معادل ۳۲ درصد سطح کل حوضه کرخه و در محدوده جغرافیایی بین ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه الی ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه عرض شمالی ۳۳ درجه و ۰۱ دقیقه الی ۳۳ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع حوضه برابر با ۳۶۴۵ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۵۰ متر می‌باشد. در سیستم دومارتن اصلاح شده بخش اعظمی از این زیرحوضه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد و بخشی از آن نیمه‌خشک گرم می‌باشد. رودخانه اصلی این زیرحوضه رودخانه سیمره با طول ۴۱۷ کیلومتر و شیب ۰/۳ درصد از بهم پیوستن رودخانه‌های قره‌سو و گاماسیاب تشکیل شده و به‌عنوان سرشاخه‌ی اصلی این زیرحوضه به شمار می‌آید. متوسط بارندگی در این زیرحوضه ۴۷۲ میلی‌متر و میزان تبخیر از سطح آزاد و تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه حوضه به ترتیب ۱۵۶۵/۲ و ۱۶۲۲/۳ میلی‌متر برآورد شده است. عمده کاربری اراضی مرتع، جنگل، زراعت و باغات است شکل (۱) موقعیت حوضه سیمره را نشان می‌دهد.

مدل SWAT

در این مطالعه مدل اکوهیدرولوژیکی SWAT (نسخه ۲۰۰۹) به‌منظور بررسی کیفیت آب، میزان بار مواد مغذی رودخانه و تأثیر بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs) در کاهش بار آلودگی مورد استفاده قرار گرفت. مدل SWAT توسط سازمان کشاورزی آمریکا (USDA) ^۲ برای ارزیابی تأثیر اقلیم و فعالیت‌های مدیریت اراضی بر روی جریان آب، انتقال رسوب، مواد مغذی و تعادل مواد شیمیایی در حوضه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی، خاک و شرایط مدیریتی مختلف برای دوره‌های زمانی روزانه تهیه گردیده است (Douglas-Mankin et al., 2010; Gassmen et al., 2007). مدل SWAT دارای اساس فیزیکی و نیمه توزیعی بوده و در حوضه‌های که فاقد آماربرداری منظم هستند قابل استفاده می‌باشد (Arnold et al., 1998).

در مدل SWAT یک حوضه به چندین زیرحوضه تقسیم می‌شود و سپس هر زیرحوضه به تعدادی واحد پاسخ

سبز^۱ و ترکیب این اقدامات بر روی کیفیت آب و تولید رسوب توسط مدل شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که ترکیب نوار فیلتر و آبروی سبز منجر به کاهش ۸۰ درصد تولید رسوب، نوار فیلتر ۱۰ متری و آبروی سبز منجر به کاهش ۷۳ درصد و کشت روی خط تراز و آبروی سبز منجر به کاهش ۶۶ درصد در تولید رسوب می‌شود.

از جمله مطالعاتی که در ایران با استفاده از مدل SWAT انجام شده است می‌توان به این مطالعات اشاره نمود. (Shaikhzeinoddin et al (2016) به بررسی تأثیر استراتژی‌های کم‌آبیاری و کوددهی بر روی تلفات نیترا با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز طشک - بختگان پرداختند. نتایج نشان داد که کاهش مصرف در کود اوره از ۱۰ تا ۷۰ درصد در مدل منجر به کاهش تلفات نیترا از طریق آبشویی به میزان ۱۶ تا ۸۱، ۱۸ تا ۸۰، ۱۵ تا ۸۵ و ۱۲/۵ تا ۸۳/۶ درصد به ترتیب برای محصولات گندم، جو، ذرت و برنج شد. (Abbaspour et al (2007) برای شبیه‌سازی تمام فرایندهایی که روی کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی در حوضه رودخانه تور مؤثر می‌باشند از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شبیه‌سازی رواناب و نیترا بسیار خوب و شبیه‌سازی رسوب و فسفر کل نسبتاً خوب بوده است. (Gholami and Nasiri (2015) به شبیه‌سازی جریان ماهانه رودخانه اترک با استفاده از مدل SWAT در حوزه آبخیز مراوه تپه در استان گلستان پرداختند. نتایج نشان داد که دقت مدل در شبیه‌سازی رواناب نسبتاً مطلوب است.

بررسی اثربخشی بهترین اقدامات مدیریتی (BMPs) در بهبود کیفیت آب در حوضه یک اقدام هزینه‌بر است و مدیران حوضه برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریتی و ارزیابی اثربخشی آن‌ها متکی به مدلسازی هستند. امروزه مدل ارزیابی آب و خاک SWAT بطور گسترده‌ای در سراسر جهان برای ارزیابی اثربخشی BMPs مورد استفاده قرار می‌گیرد (Gassman et al., 2007). با توجه به اینکه مطالعات مختلف بیشتر به بررسی و شبیه‌سازی وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه می‌پردازند و کمتر به بحث کیفیت آب و نقش اقدامات مدیریتی در بهبود کیفیت آب پرداخته شده است لذا در این مطالعه تأثیر اقدامات مدیریتی مانند مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی و ایجاد نوار فیلتر گیاهی بر روی کاهش بار آلودگی غیرنقطه‌ای و بهبود کیفیت آب‌های سطحی در زیرحوضه سیمره با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شده و تأثیر آنها در کاهش بار رسوب

2 . U.S. Department of Agriculture

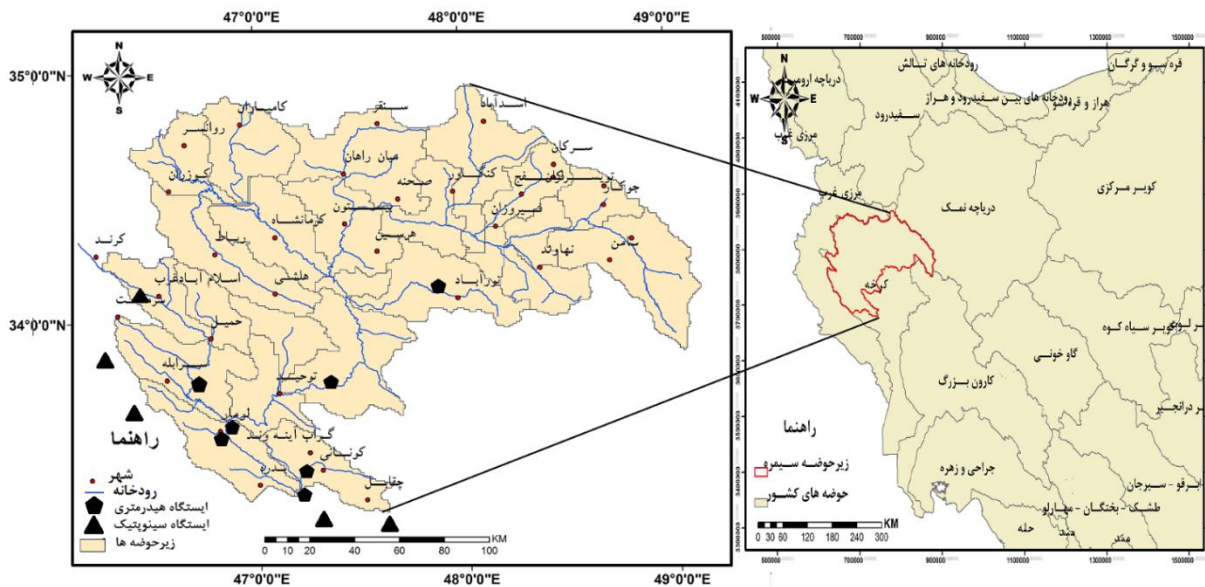
1. grassed waterways

مرحله است. نخستین مرحله فاز زمین^۲ چرخه هیدرولوژی است که کنترل کننده مقدار آب، رسوب، عناصر غذایی و بار آفت کش ها در کانال اصلی در هر زیرحوضه است. مرحله دوم، فاز روندیابی چرخه هیدرولوژی است که شامل حرکت آب، رسوب و غیره در طول شبکه کانال حوضه تا خروجی آن می باشد (Green and van Griensven, 2008; Neitsch *et al.*, 2005). SWAT 2005 برای روندیابی مواد مغذی در آبراهه ها از مدل QUAL2E استفاده می کند (Brown and Barnwell, 1987).

2. Land Phase

هیدرولوژیکی (HRU)^۱ جزء بندی می گردد و جزئیات مکانی را شبیه سازی می کند. واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) واحد اصلی شبیه سازی است که به عنوان یک منطقه کلی متشکل از پوشش اراضی، ویژگی های خاک و شیب همگن می باشد (Neitsch *et al.*, 2005). بخش های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، اقلیم، واحدهای واکنش هیدرولوژیک، تالاب یا اراضی مرطوب، آب زیرزمینی، فرسایش، رشد گیاهان، چرخه عناصر غذایی، آفت کش ها، مدیریت اراضی و روندیابی جریان می باشد. شبیه سازی چرخه هیدرولوژی در حوضه شامل دو

1. Hydrologic Response Unit (HRU)



شکل ۱- موقعیت زیرحوضه سیمره در حوضه کرخه

دبی جریان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ از ۷ ایستگاه هیدرومتری (سد سیمره، تنگ سیاب، ورگج، تنگ سازین، دارتوت، هلیلان و نورآباد) از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد. داده های کیفیت آب (نیترژن کل، فسفر کل، آمونیاک، نیترات، فسفات، کل جامدات محلول و کل جامدات معلق) از ۸ ایستگاه نمونه برداری از آبان ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۲ برابر با نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳ که توسط شرکت مهاب قدس جمع آوری شده بود برای شبیه سازی کیفیت آب توسط مدل بکار برده شد.

- کالیبراسیون و صحت سنجی مدل

از الگوریتم SUFI-2 در نرم افزار SWAT-CUP برای کالیبراسیون، اعتبارسنجی و آنالیز حساسیت استفاده شد (Abbaspour, 2015). اولین مرحله در فرایند کالیبراسیون و اعتبارسنجی در مدل SWAT تعیین پارامترهای مهم حساس برای حوضه و زیرحوضه ها می باشد. در این مطالعه آنالیز

- داده های ورودی به مدل SWAT

در این مطالعه نقشه رقومی ارتفاع (DEM) با رزولوشن ۱۰ متری (سازمان نقشه برداری کشور)، شامل نقشه های خاک با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و کاربری اراضی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ که از شرکت مهاب قدس تهیه شده بود به منظور تعیین زیرحوضه ها و HRUs به مدل SWAT معرفی شد. داده های ورودی آب و هوایی شامل بارش، درجه حرارت حداکثر و حداقل، تابش خورشیدی، سرعت باد، رطوبت نسبی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ در مقیاس روزانه از ۵ ایستگاه سینوپتیک در داخل و مجاور منطقه مورد مطالعه که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده اند مورد استفاده قرار گرفت. داده های دبی ۳ منبع آلودگی نقطه ای (شرکت دانه المثنی، کارخانه قند اسلام آباد غرب، تعاونی ۱۲۱ بهار دالاهو مانیزان) در محدوده مورد مطالعه و تهیه شده توسط شرکت مهاب قدس نیز در مدل استفاده شد. داده های

t-test بزرگتر باشد آن پارامتر حساس تر است. در این مطالعه پارامترهای (SOL_AWC(1)، ALPHA_BF، CN2، ESCO، GW_DELAY، OV_N به ترتیب حساس ترین پارامترها برای جریان هستند. لیست پارامترهای حساس به جریان، بار نیترا ت و فسفر کل در جدول (۱) آورده شده است.

حساسیت با ۳۵ پارامتر اولیه با استفاده از الگوریتم SUFI-2 انجام شد اما در چهارمین تکرار و آخرین تکرار فقط ۲۰ پارامتر به عنوان پارامترهای حساس به جریان، نیترا ت و فسفر کل انتخاب شدند. آزمون t-test برای شناسایی معنی داری نسبی هر پارامتر استفاده شد. در آنالیز حساسیت هرچه قدر مطلق مقادیر

جدول ۱- لیست پارامترهای مربوط به آنالیز حساسیت مدل SWAT

t-test	شرح پارامتر	پارامترهای حساس
پارامترهای حساس برای جریان		
۱۰/۸۲	ظرفیت آب در دسترس لایه های خاک	r_SOL_AWC(1).sol ^a
۱/۳۷	ضریب آلفا جریان پایه	v_ALPHA_BF.gw
۱/۳۰	شماره منحنی SCS	r_CN2.mgt
۱/۲۶	فاکتور جبران تبخیر از خاک	r_ESCO.hru
۱/۲۴	ضریب مانینگ جریان سطح حوضه	r_OV_N.hru
۱/۲۲	زمان تأخیر آب زیرزمینی	v_GW_DELAY.gw
۱/۱۵۴	ضریب مانینگ برای کانال اصلی	r_CH_N2.rte
۱/۱۵۱	ضریب هدایت هیدرولیکی برای کانال اصلی	r_CH_K2.rte
۱/۱۴۸	عمق آب زیرزمینی برای تبخیر یا نفوذ	r_REVAPMN.gw
۰/۷۲	حداقل عمق آب زیرزمینی برای جریان برگشتی	v_GWQMN.gw
۰/۵۱	زمان تأخیر رواناب سطحی	r_SURLAG.bsn
پارامترهای حساس برای نیترا ت		
۵/۶۲	ضریب نفوذ نیترا ت	v_NPERCO.bsn
۵/۳۲	نیتروژن در باران	v_RCN.bsn
۱/۴۳	نرخ اکسیداسیون NO ₂ به NO ₃ در رودخانه	r_BC1.swq
۱/۱۵	تجمع ON بر اثر رسوبات	r_ERORGN.hru
پارامترهای حساس برای فسفر		
۳/۸۷	تجمع OP بر اثر رسوبات	r_ERORGP.hru
۳/۵۴	نرخ تبدیل OP به فسفر محلول	r_BC4.swq
۱/۱۲	نرخ ته نشینی OP در رودخانه	r_RS5.swq
۰/۷۹	نرخ انتشار فسفر محلول از رسوب در رودخانه	r_RS2.swq

نیتروژن کل و فسفر کل در نظر گرفته شد. طول دوره کالیبراسیون منطبق بر دوره نمونه برداری آب یعنی از آبان ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۲ برابر با نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳ در نظر گرفته شد.

اقدامات مدیریتی

سناریوی اول: مدیریت مواد مغذی برای مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی است برای شبیه سازی این BMP در حوضه میانگین نرخ اولیه کاربرد کود از ته در حوضه ۱۲۲/۳ و کود

کالیبراسیون جریان مدل در گام زمانی ماهانه از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ انجام شد و ۲ سال برای دوره گرم کردن مدل استفاده شد. دوره اعتبارسنجی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ در نظر گرفته شد. ۳ ایستگاه دارتوت، هلیلان و ایستگاه سد سیمره در خروجی حوضه سیمره جهت کالیبراسیون مورد استفاده قرار گرفت. کالیبراسیون رسوب در نقاط منتخب برای کالیبراسیون جریان در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ و دوره اعتبارسنجی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۱ انجام شد. سپس کالیبراسیون و اعتبارسنجی کیفیت آب انجام شد. جهت کالیبراسیون مدل کیفیت آب، پارامترهای

فسفات ۹۲/۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد و جهت بررسی اثر کاهش مصرف کودها مقدار کودهای ازته و فسفات به ترتیب به میزان ۳۰ درصد و ۵۰ درصد در کل محدوده مورد مطالعه کاهش داده شد.

سناریوی دوم: اجرای نوار فیلتر پوشش گیاهی (VFS) است که جهت کاهش بار مواد مغذی در مدل شبیه‌سازی شد. نوار فیلتر پوشش گیاهی یک نوار یا منطقه‌ای از پوشش گیاهی علفی است که منجر به حذف آلاینده‌ها از جریان‌های سطحی می‌شود (NRCS, 2008). نوار فیلتر با کاهش سرعت رواناب منجر به کاهش بار رسوب، مواد مغذی، علف‌کش‌ها و باکتری‌ها در رواناب سطحی می‌شود. هدف اصلی از کاربرد نوار فیلتر در کاهش منابع آلاینده غیر نقطه‌ای است و اثر بخشی آن در کاهش آلاینده‌ها بستگی به عرض نوار فیلتر دارد. در این مطالعه نوار فیلتر به عرض $5 = \text{FILTERW}$ متر در بخش‌های از اراضی مرتعی و جنگلی که رواناب سطحی آن‌ها وارد رودخانه می‌شود و بازه‌های بحرانی رودخانه قرار داده شد. زیر حوضه‌های فرعی در شبیه‌سازی نوار فیلتر قرار نگرفتند و فقط زیر حوضه‌های ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۵ و ۲۹ در شبیه‌سازی نوار فیلتر استفاده شدند جهت ارزیابی نتایج و کارایی مدل مقادیر مشاهداتی از دو معیار ضریب ناش- ساتکلیف (NS) و ضریب تشخیص (R^2) استفاده می‌شود.

ضریب NS ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. بهترین مقدار برای ضریب NS یک است و در صورتی که میزان آن بیش از ۰/۵ باشد، نشان‌دهنده قابلیت اعتمادپذیری بالای مدل می‌باشد و از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود (Neitsch et al., 2005).

$$\text{رابطه (۱)} \quad NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

ضریب همبستگی (R^2) نشان‌دهنده قسمتی از تغییرات کل مقادیر مشاهده‌ای است که به وسیله مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه می‌شود. این ضریب بین صفر تا یک متغیر است، مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند مقدار آن برابر یک می‌باشد (رابطه ۲).

$$\text{رابطه (۲)} \quad R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}$$

R^2 ضریب همبستگی، n تعداد مشاهدات، O_i و P_i مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده، \bar{O} و \bar{P} نیز میانگین ریاضی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده است (Appaspour, 2007).

– بحث و نتایج

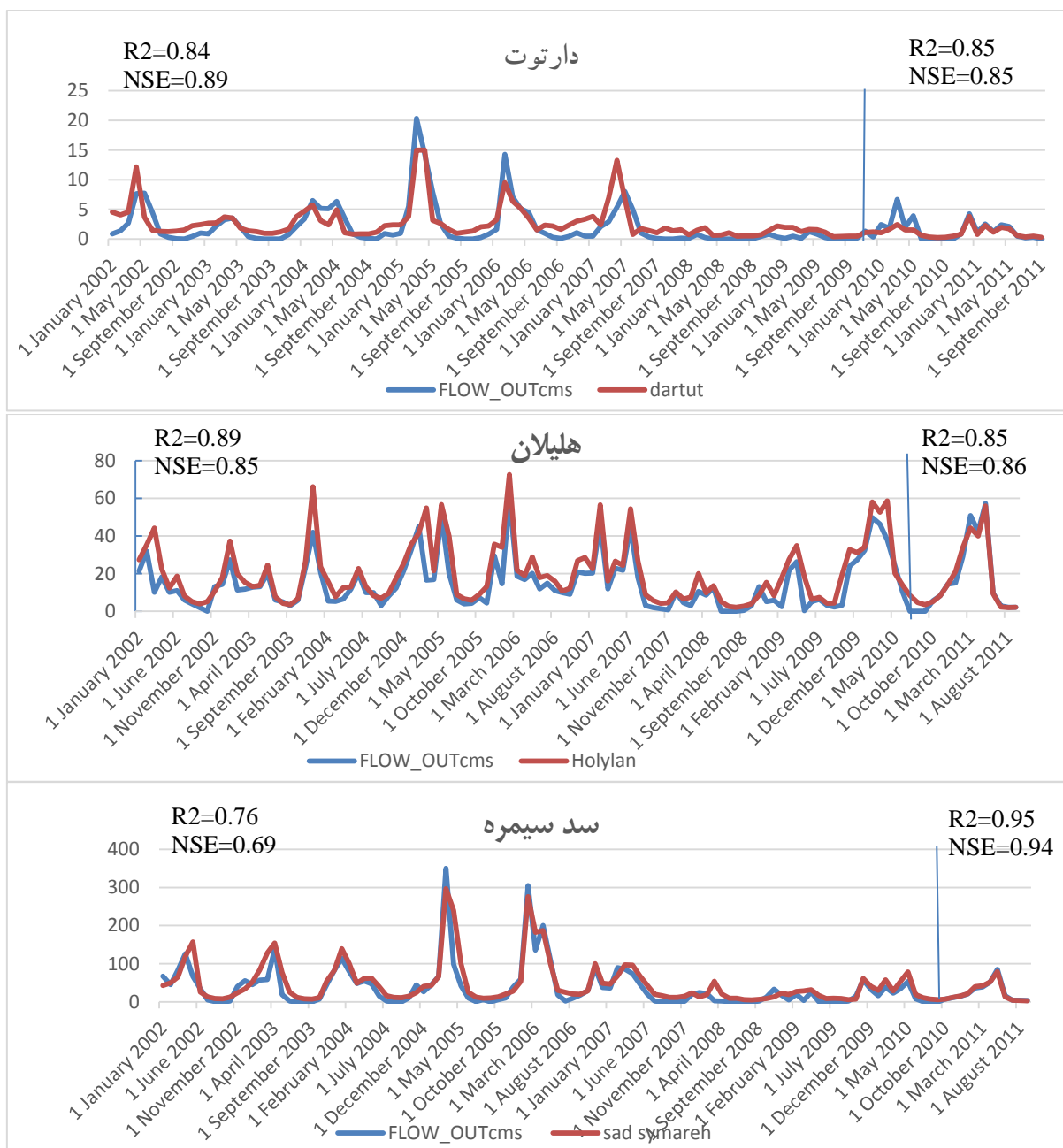
مدل‌های هیدرولوژی مانند SWAT نیاز به داده‌های کاربری اراضی و خاک و شیب برای تعیین HRU ها در هر زیرحوضه دارد. بعد از ورود تمام اطلاعات موردنیاز به مدل، مدل ابتدا حوضه را به زیرحوضه‌هایی براساس نقشه ارتفاعی (DEM) تقسیم و سپس با توجه به نقشه‌های خاک و کاربری اراضی زیرحوضه‌ها به واحدهای واکنش هیدرولوژیک (HRU) تقسیم شدند. سپس مقدار رطوبت خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر HRU شبیه‌سازی شد. با توجه به موارد فوق منطقه مورد مطالعه به ۲۹ زیرحوضه و ۶۵ تقسیم‌بندی شد.

– کالیبراسیون مدل

نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی جریان ماهانه مدل SWAT در سه ایستگاه دارتوت، هلیلان و سد سیمره در شکل (۲) نشان داده شده است. ضریب ناش E_{NS} و R^2 نشان‌دهنده تطابق خوب بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی جریان برای دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی در گام زمانی ماهانه است (شکل (۲) و جدول (۲)). در ایستگاه هیدرومتری دارتوت بر روی رودخانه چرداول مقایسه هیدروگراف رواناب نشان می‌دهد که مدل در تعداد کمی از ماه‌ها در سال ۲۰۰۴، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ جریان را در نقاط پیک بیش از مقادیر مشاهده‌ای پیش‌بینی کرده است که در ماه آوریل تا می یعنی از فروردین تا اردیبهشت ماه است که می‌تواند ناشی از بارش‌های بهاره و ذوب برف در فصل بهار باشد و ضریب E_{NS} و R^2 به ترتیب در دوره کالیبراسیون ۰/۸۹ و ۰/۸۴ و در دوره اعتبارسنجی ۰/۸۵ و ۰/۸۵ می‌باشد. در ایستگاه هیدرومتری هلیلان بر روی رودخانه سیمره جریان پایه در بیشتر ماه‌ها کمتر از مقادیر مشاهده‌ای پیش‌بینی شده است که می‌تواند ناشی از مصارف مختلف آب از رودخانه است که توسط مدل مدلسازی نشده است. در این ایستگاه ضریب E_{NS} برای دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۸۶ می‌باشد و ضریب R^2 برای دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۸۹ و ۰/۸۵ می‌باشد و مناسب است.

در ایستگاه سد سیمره ضریب E_{NS} برای دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۶۹ و ۰/۹۴ و ضریب R^2 برای دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۷۶ و ۰/۹۴ و مناسب می‌باشد. برآورد جریان پایه و رواناب سطحی در حوضه نشان می‌دهد که فرایندهای هیدرولوژیکی و رژیم جریان در

مدل SWAT بطور قابل قبولی مدلسازی شده است. نتایج بررسی بار آلودگی غیرنقطه‌ای در حوضه کیلستانو در آلمان بدست آمده از این تحقیق با نتایج (Lem et al 2010) که به پرداختند مطابقت دارد.



شکل ۲- نتایج کالیبراسیون و اعتبارسنجی جریان ماهانه مدل SWAT در سه ایستگاه دارتوت، هلیلان و سد سیمره

۲- معیارهای ارزیابی کارایی مدل در دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی جریان ماهانه

ردیف ایستگاه	دوره اعتبارسنجی		دوره کالیبراسیون	
	R ²	NSE	R ²	NSE
۱ دارتوت	۰/۸۵	۰/۸۵	۰/۸۴	۰/۸۹
۲ هلیلان	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۹	۰/۸۵
۳ سد سیمره	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۷۶	۰/۶۹

۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۲ برابر با نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳ جهت کالیبراسیون مدل کیفیت آب استفاده شد. اعتبارسنجی مدل کیفیت آب به دلیل عدم وجود داده‌های کافی انجام نشد. با

-کالیبراسیون کیفیت آب

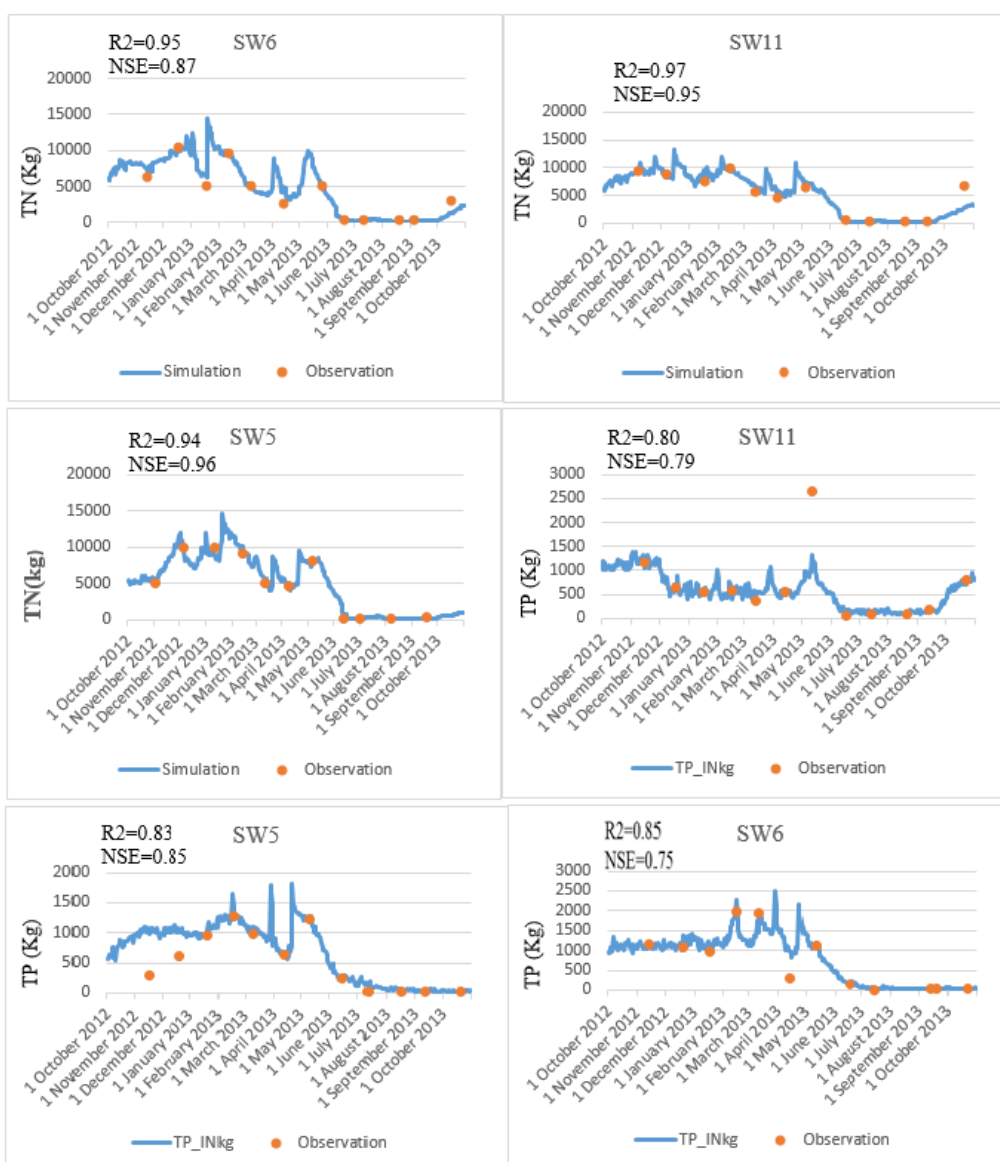
با توجه به در دسترس بودن داده‌های کیفیت آب، در این مطالعه از داده‌های مشاهداتی نیتروژن کل و فسفر کل از آبان

می‌دهد که مدل SWAT توانسته برآورد قابل قبولی انجام دهد زیرا مدل توانسته تغییرات فصلی متغیرهای کیفیت آب را با محدوده قابل قبولی زمانی که با متغیرهای مشاهداتی مقایسه می‌شود را بخوبی نشان دهد. جدول (۳) ضرایب ارزیابی کارایی مدل را در دوره کالیبراسیون کیفیت آب نشان می‌دهد.

توجه به محدود بودن تعداد داده‌های مشاهداتی، مقادیر شبیه‌سازی مدل با مقادیر متناظر مشاهداتی آن برازش داده شد. شکل (۳) مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی بار نیتروژن کل روزانه را در سه ایستگاه نمونه‌برداری کیفی نشان می‌دهد. اگرچه تعداد داده‌های مشاهداتی محدود است مقایسه نمودارها نشان

جدول ۳- معیارهای ارزیابی مدل کیفی حوضه سیمره

SW5	SW6	SW 11	بار مواد مغذی
ورودی سد سیمره	تنگ سازبن	هلیلان	
۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۷	ضریب R^2
۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۹۵	NSE
۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۰	ضریب R^2
۰/۸۵	۰/۷۵	۰/۷۹	NSE
			بار فسفر کل



شکل ۳- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی بار نیتروژن کل بار فسفر کل روزانه در حوضه سیمره برای دوره کالیبراسیون

زیرحوضه شامل زیرحوضه‌های ۱، ۶، ۱۰، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶ و ۲۹ که شامل ۳۳ درصد از کل سطح حوضه سیمره می‌باشد به‌عنوان مناطق بحرانی بار نیتروژن و فسفر شناسایی شدند. تولید بار نیترات از رنج بین کمتر از ۲ تا ۳۰۰ تن در سال توسط نتایج مدل SWAT بدست آمده است (شکل (۴)).

در حوضه سیمره علی‌رغم تولید بار نیتروژن کمتر از ۲۵۰ تن در سال در رودخانه‌های فرعی اما رودخانه سیمره از محل تلاقی رودخانه‌های قره‌سو و گاماسیاب که به‌عنوان ورودی^۱ در نظر گرفته شده‌اند تا ورودی مخزن سد سیمره به‌عنوان بحرانی‌ترین بازه از نظر بار نیتروژن و فسفر کل سالانه با آورد ۲۵۰۰ تن بار نیترات و ۲۰۰ تا ۲۷۰ تن بار فسفر می‌باشد. علت این امر ناشی از تمرکز فعالیت‌های دامپروری و تراکم بالای دام (۴ برابر ظرفیت مجاز) در اراضی مرتعی و جنگلی در زیر حوضه سیمره، وجود مراکز صنعتی در محدوده شهر بیستون، فعالیت‌های کشاورزی در رودخانه دیناور در زیرحوضه گاماسیاب و سپس تلاقی با رودخانه قره‌سو و تخلیه مستقیم فاضلاب شهری کرمانشاه به رودخانه قره‌سو و بعد از تلاقی این دو رودخانه حجم زیادی از بار مواد مغذی وارد رودخانه سیمره می‌شود. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از بررسی Niraula *et al* (2013) مناطق بحرانی در سائوگاچه در مرکز آلباما مطابقت دارد.

–سناریوهای بهترین اقدامات مدیریتی (BMP)

جهت برآورد میزان کاهش در آلودگی منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای سناریوهای بهترین اقدامات مدیریتی (BMP) برای مدل تعریف شد. میزان تغییر در بار مواد مغذی و رسوب توسط این سناریوها بیان‌کننده درصد کاهش آلودگی مواد مغذی در حوضه است. اقدامات مدیریتی از جمله ایجاد نوار فیلتر، مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی در جهت کاهش بار مواد مغذی زیرحوضه سیمره انتخاب شد. نتایج درصد کاهش متوسط سالانه بار رسوب، نیتروژن کل (نیتروژن ارگانیک و معدنی) و فسفر کل (نیتروژن ارگانیک و معدنی) در سطح حوضه و زیرحوضه‌هایی که BMP در آنها اجرا شده است در جدول (۴) و شکل (۵) بیان شده است.

در سناریو مدیریت مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی درصد کاهش بار رسوب، بار نیتروژن کل و فسفر کل به ترتیب ۳۲٪، ۴۶٪ و ۴۸٪ می‌باشد که نشان دهنده تأثیر معنی‌دار این BMP در کاهش رسوب و بار مواد مغذی در سطح حوضه

نتایج ضریب E_{NS} برای بار نیترات در ایستگاه‌های مختلف در دوره کالیبراسیون بین ۰/۸ و ۰/۹ بوده است و نشان دهنده قابل اعتماد بودن نتایج مدل در برآورد بار نیتروژن روزانه در حوضه می‌باشد. در طول فصل تابستان و ماه‌های گرم (ماه ژوئن تا سپتامبر یعنی خرداد تا شهریور) مدل به‌خوبی توانسته بار نیترات روزانه شبیه‌سازی کند. کاهش بار نیترات در دوره‌های کم آب ناشی از کاهش جریان سطحی در حوضه سیمره و کاهش ورود بار مواد مغذی، افزایش دما، افزایش زوال و مصرف مواد مغذی و افزایش مصارف آب در پایین‌دست می‌باشد. در فصل زمستان بار نیترات کمتر برآورد شده است که دلیل آن می‌تواند برآورد کمتر برخی نقاط پیک جریان باشد که منجر به کمتر برآورد شدن نقاط پیک نیترات نیز می‌شود.

نتایج ضریب R^2 و ضریب E_{NS} برای بار فسفر کل در سه ایستگاه هلیلان، تنگ سازبن و ورودی سد سیمره دقت مناسبی دارد و نشان‌دهنده قابل اعتماد بودن نتایج مدل در برآورد بار فسفر کل روزانه در حوضه است. بیشترین بار فسفر خروجی در حوضه عمدتاً مربوط به دوره پر آب رودخانه نوامبر تا می یعنی از آبان تا اردیبهشت ماه است و از ماه ژوئن تا سپتامبر یعنی خرداد تا شهریور بار فسفر خروجی کاهش می‌یابد. بنابراین در فصل مرطوب به‌ویژه در ژانویه (بهمن) مقدار بار فسفر افزایش می‌یابد و در فصل خشک به دلیل کاهش جریان رودخانه مقدار آن کاهش می‌یابد، افزایش کمی در بار فسفر کل در ماه آگوست و سپتامبر می‌تواند در نتیجه کوددهی در این ماه‌ها باشد. در ایستگاه SW11 ضریب E_{NS} و R^2 به ترتیب برابر ۰/۸۰ و ۰/۷۹، در ایستگاه SW6 برابر ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و در ایستگاه SW5 بر روی رودخانه سیمره در محل ورودی مخزن سیمره برابر ۰/۸۵ و ۰/۸۳ در دوره کالیبراسیون نشان‌دهنده تطابق بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بار فسفر کل در خروجی این حوضه می‌باشد. نتایج کالیبراسیون مدل SWAT نشان می‌دهد که مدل قادر به پیش‌بینی کیفیت آب رودخانه به‌صورت روزانه و ماهانه با دقت خوبی می‌باشد. نتایج به دست آمده با نتایج (2006) Behera and Panda همخوانی دارد.

–شناسایی مناطق بحرانی آلودگی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای

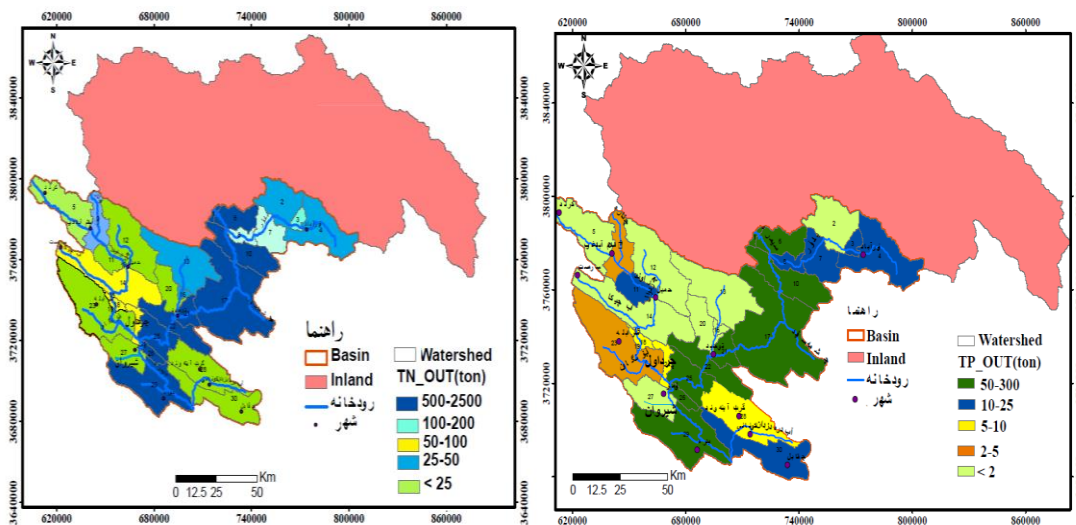
کالیبراسیون مدل SWAT برای شناسایی و مقایسه مناطق بحرانی (CSAs) در حوضه سیمره در سطح زیرحوضه‌ها استفاده شد. توزیع مکانی و مناطق بحرانی (CSAs) بار نیتروژن کل و بار فسفر کل سالانه در سطح Subbasin در دوره نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳، آبان ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۲ براساس نتایج مدل SWAT در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل، ۹

چین، Sahu and Gu (2009) در حوضه والنوت کریک در امریکا، Wu and Chen (2013) در حوضه دونجیانگ در چین مطابقت دارد.

می‌باشد. نتایج اجرای اقدام حفاظتی مانند ایجاد نوار فیلتر نشان داد که تأثیر معنی‌داری بر روی کاهش بار مواد مغذی و بار رسوب و بار نیترات دارد. نتایج شبیه‌سازی VFS نشان دهنده کاهش آلودگی برای این سناریو به ترتیب به میزان ۶۸٪، ۳۶٪ و ۳۹٪ برای رسوب، TN و TP است (شکل ۵). اثر بخشی نوار فیلتر بستگی به عواملی مانند نوع پوشش گیاهی، تراکم پوشش، ضریب مانینگ حوضه، تمرکز جریان، نوع خاک، اندازه ذرات رسوب و شیب دارد. مطابق نتایج به دست آمده نتایج حاصل از تأثیر اقدامات مدیریتی با نتایج (Lee et al 2010) در حوضه ژیانگانجون در چین، (Chen et al 2014) در حوضه زانگشای در

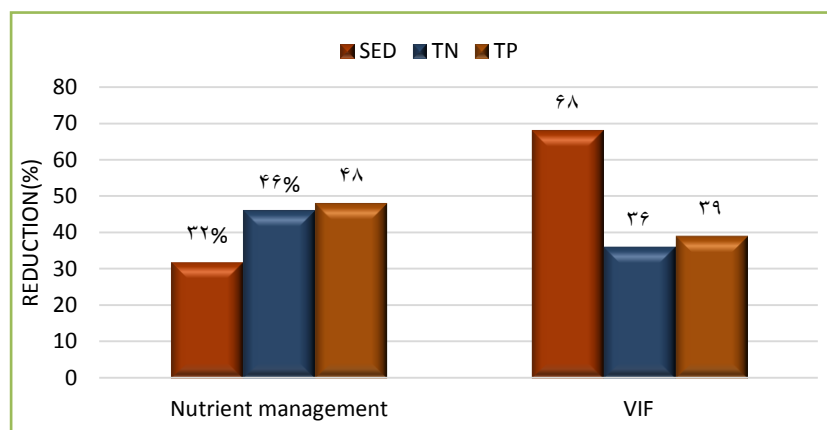
جدول ۴- درصد کاهش رسوب و مواد مغذی برای BMP انتخاب شده در سطح حوضه

BMPs	زی‌رحوضه	رسوب	TN
مدیریت مصرف کودهای شیمیایی کل زیرحوضه‌ها	۳۲	۴۶	۴۸
نوار فیلتر	۱۷،۲۱،۲۲،۲۵،۲۹	۶۸	۳۹



شکل ۴- توزیع مکانی بار نیتروژن و بار فسفر کل در سطح زیرحوضه‌ها براساس نتایج مدل SWAT برای دوره نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳. آبان ۱۳۹۱ تا مهر

۱۳۹۲



شکل ۵- درصد کاهش بار مواد مغذی و رسوب توسط سناریوی ۱ و ۲

کالیبراسیون و اعتبارسنجی با استفاده از الگوریتم SUFI-2 در نرم‌افزار SWAT-CUP خروجی مدل SWAT با مقایسه جریان و بار نیتروژن کل و فسفر کل با مقادیر مشاهده‌ای رودخانه در خروجی زیرحوضه‌های مربوطه با معیارهای ENS و R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس مدل واسنجی شده برای تعیین

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه کیفیت آب رودخانه سیمره در زیرحوضه سیمره در ارتباط با منابع آلاینده نقطه‌ای (PS) و غیر نقطه‌ای (NPS) با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد. پس از انجام

زیرحوضه‌های ۱، ۶، ۱۰، ۱۷، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۲۶ و ۲۹ که شامل ۳۳ درصد از کل سطح زیرحوضه سیمره می‌باشد به‌عنوان مناطق بحرانی است. در نهایت اعمال سناریوهای اقدامات مدیریتی در زیرحوضه سیمره برای کاهش بار مواد مغذی نشان داد که بیشترین درصد کاهش توسط سناریو مدیریت مصرف کودهای شیمیایی در بار فسفر کل به میزان ۴۸ درصد می‌باشد و اجرای اقدام حفاظتی مانند ایجاد نوار فیلتر (VFS) منجر به کاهش بار رسوب، TP و TN به ترتیب به میزان ۶۸٪، ۳۶٪ و ۳۹٪ شده است.

پیش‌بینی و شبیه‌سازی بار نیتروژن و فسفر کل و شناسایی مناطق بحرانی توسط مدل SWAT نقش مهمی در ارزیابی بار مواد مغذی و همچنین کیفیت آب در کل حوضه دارد و این امکان را برای مدیران اجرایی و پژوهشگران فراهم می‌کند تا سناریوهای مختلف مدیریتی را مورد ارزیابی قرار دهند و تصمیمات مقتضی را جهت دستیابی به اهداف مدیریت پایدار حوضه آبخیز اتخاذ نمایند.

مناطق منبع بحرانی آلودگی (CSAs) از نظر TN و TP و تأثیر اجرای سناریوهای اقدامات مدیریتی بر روی کیفیت آب رودخانه و بر روی کاهش آلودگی رودخانه مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که پارامترهای OV_N ، $ESCO$ ، $ALPHA_BF$ ، CN ، $SOL_AWC(1)$ ، GW_DELAY به ترتیب حساس‌ترین پارامترها برای جریان و رواناب هستند. تحلیل آبدی در دوره کالیبراسیون از سال ۲۰۰۲ تا سال ۲۰۰۹ نشان داد که دوره ۷ ماهه آبان تا اردیبهشت دوره پرآبی و ۵ ماه خرداد تا مهر به‌عنوان دوره خشک سهم ناچیزی در کل جریان سالانه ورودی به مخزن سد را دارد و با توجه به ضرایب ارزیابی کارایی مدل، در دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی فرایندهای هیدرولوژیکی و رژیم جریان و شبیه‌سازی بار نیتروژن و بار فسفر کل در مدل SWAT بطور قابل قبولی مدل‌سازی شده است. مدل‌سازی توزیع مکانی و مناطق بحرانی بار نیتروژن و بار فسفر کل سالانه در دوره نوامبر ۲۰۱۲ تا اکتبر ۲۰۱۳، آبان ۱۳۹۱ تا مهر ۱۳۹۲ براساس نتایج مدل SWAT نشان داد که ۹ زیرحوضه شامل

REFERENCES

- Abbaspour, K.C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan.(2007). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology*, 333, 413–430.
- Abbaspour, K.C. (2015). SWAT-CUP: SWAT calibration and uncertainty programs. 1-100.
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S. and Williams, J.R. (1998). Large area hydrologic modeling and assessment – part 1: model development. *J. Am. Journal of Water Resource Associate*, 34(2), 73–89.
- Brown, L.C. Barnwell, J.T.O. (1987). The Enhancement Water Quality Models QUAL2E and QUAL2E –UNCAS Documentation and user Manual. USEPA, Athens, GA.
- Behera, S. and Panda, RK: (2006). Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a sub-humid subtropical region using a physical process based model. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 113, 62–72.
- Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N. and Smith V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Journal of Ecological Applications*, 8 (3), 559–568.
- Chen, Y., Shuai, J., Zhang, ZH., Shi, P. and Tao, F. (2014). Simulating the impact of watershed management for surface water quality protection: A case study on reducing inorganic nitrogen load at a watershed scale. *Journal of Ecological Engineering*, 62, 61–70.
- Douglas-Mankin, K R., Srinivasan, R. and Arnold, J. G. (2010). Soil and Water Assessment Tool (SWAT) Model: Current Developments and Applications. *Trans*, 53, 1423–1431.
- Gassman, P .W., Reyes, M. R., Green, C. H. and Arnold, J. G. (2007). The soil and water assessment tool historical development, applications, and future research directions. *Trans. ASABE* 50, 1211–1250.
- Gholami, Sh. And Nasii, M. (2015). Simulation of Atrak River monthly discharge using SWAT model, Case study: Maraveh Tappeh watershed, Golestan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7 (2), 126-135. (In Farsi)
- Green, C. H. and Van Griensven, A: (2008). Autocalibration in hydrologic modeling: using SWAT2005 in small-scale watersheds. *Journal of Environmental Model Software*, 23: 422–434.
- Lee, M.S., Park, G.A., Park, M.J., Park, J.Y., Lee, J.W. and Kim, S.J. (2010). Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices Using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. *Journal of Environment Science*, 22(6), 826-833.
- Lam, Q D., Schmalz, B. and Fohrer, N. (2010). Modelling point and diffuse source pollution of nitrate in a rural lowland catchment using the SWAT model. *Agricultural Water Management*, 97, 317–325.
- Niraula, R., Kalin, L., Srivastava, P. and Anderson Ch. (2013). Identifying critical source areas of nonpoint source pollution with SWAT and GWLF. *Journal of Ecological Modelling*, 268,

- 123– 133.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R. and King, K. W. (2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Grassland, Soil and Research Service, Temple, TX.
- Natural Resource Conservation Service NRCS. (2008). Natural Resource Conservation Practice standard: Filter strips.
- Mwangi, JK., Shisanya, CA., Gathanya, JM., Namirembe, S. and Moriasi. (2015) A modeling approach to evaluate the impact of conservation practices on water and sediment yield in Sasumua Watershed, Kenya. *Soil and Water Conservation*, 70 (2),75-90.
- Parajuli, P.B., Mankin, K.R. and Barenes, P.L. (2008). Applicability of targeting vegetative filter strips to abate fecal bacteria and sediment yield using SWAT. *Journal of Agriculture and Water Management*, 95 (10), 1189-1200.
- Sahu, M. and Gu, R.R. (2009). Modeling the effects of riparian buffer zone and contour strips on stream water quality. *Journal of Ecological Engineering*, 35(8), 1167-1177.
- Strauss, P., Leone, A, Ripa, M.N., Turpin, N. and Lescot, R. (2007). Using Critical Source Areas for targeting cost –effective best management practices to mitigate phosphorus and sediment transfer at watershed scale. *Journal of Soil use Management*, 23,144-153.
- Scavia, D., Allan, J. D., Arend, K.K., Bartell, S., Beletsky, D., Bosch, N., Brandt, S. B., Briland, R. D., Daloğlu, I., DePinto, J. V., Dolan, D. M., Anne Evans, M., Farmer, T.M., Goto, D., Han, H., Höök, T.O., Knight, R., Ludsins, S. A., Mason, D., Michalak, A. M., Richards, R. P., Roberts, J.J., Rucinski, D. K., Rutherford, E., Schwab, D. J., Sesterhenn, T. M., Zhang, H. and Zhou, Y. (2014). Assessing and addressing the re-eutrophication of Lake Erie: Central basin hypoxia. *Journal of Great Lakes Research*, 40, 226-246.
- Shen, Z.Y., Liao, Q., Hong, Q. and Gong, Y.W. (2012). An overview of research on agriculture non-point source pollution modeling in china. *Purif. Journal of Technology* ,84, 104-111.
- Shaikhzeinoddin, A., Esmaili, A.K. and Noshadi, M. (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 Farsi)
- Volk, M., Hirschfeld, J., Dehnhardt, A., Schmidt, G., Bohn, C., Liersch, S. and Gassman, P.W. (2008). Integrated ecological-economic modeling of water pollution abatement management options in the upper Ems River Basin. *Journal of Ecological Economic*, 66 (1), 66-76.
- White, M.J., Storm, D.E., Busteed, P.R., Stoodley, S.H. and Philips, S.J. (2009). Evaluation non-point source critical source areas contribution at the watershed scale. *Journal of Environment Quality*, 38, 1654-1663.
- Wu, Y. and Chen, J.(2013). Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. *Journal of Ecological Indicators*, 32, 294– 304.
- Zhang, X. and Zhang, M. (2011). Modeling effectiveness of agricultural BMPs to reduce sediment load and organophosphate pesticides in surface runoff. *Journal of Science of the Total Environment*, 409(10),1949-58.