اکوهیدرولوژی

دورهٔ ۳، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص ۴۶۴-۴۵۵

مدل‌سازی آلودگی نیترات از منابع غیرنقطه‌ای و اولویت‌بندی زیرحوضه‌های بحرانی برای مدیریت محیط زیستی حوضهٔ آبخیز تجن

فاطمه رجائی[۱]، عباس اسماعیلی ساری[۲*]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۳]، مجید دلاور[۴] و علی‌رضا مساح بوانی[۵]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استاد، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان

٤. استادیار، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۵. دانشیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۳/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰٦/۲۷)

چکیده

آلودگی‌های غیرنقطه‌ای اهمیت ویژه‌ای در تعیین کیفیت آب و سهم مهمی در تغذیه‌گرایی آب‌های شیرین دارند. از دلایل اساسی این موضوع، وجود مواد مغذی به‌ویژه نیتروژن و فسفر در غلظت‌های زیاد آب است. عامل تغییر کاربری اراضی به‌طور ویژه‌ای بر کیفیت آب مؤثر است. بنابراین، درک ارتباط بین کاربری اراضی و آلایندهٔ نیترات یک اولویت به‌منظور ارزیابی بار آلودگی نیترات و پیش‌بینی تأثیر آن بر کیفیت آب‌های سطحی است. در این مطالعه از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) برای شبیه‌سازی نیترات طی سال‌های ۲۰۰۱ـ ۲۰۱۳ در حوضهٔ آبخیز تجن استفاده شده است. نتایج مدل نشان داد بار سالانهٔ نیترات طی سال‌های ۲۰۰۱ـ ۲۰۱۳ از ۳۱۰۷۰ کیلوگرم تا ۸۹۳۵۰ کیلوگرم در خروجی حوضه متغیر است. براساس نتایج به‌دست‌آمده، سهم آلایندهٔ نیترات تولیدشده توسط مرتع (۵/۷ درصد) و جنگل (۲۹ درصد)، بسیار کمتر از نیترات تولیدشده توسط کاربری کشاورزی (٦٤ درصد) است. همچنین در میان کشت‌های مختلف کاربری کشاورزی، به‌ترتیب شالیزارها و باغ‌ها به‌عنوان منابع اصلی آلودگی نیترات در فصول بهار و تابستان شناسایی شدند. در ادامه، زیرحوضه‌های بحرانی به‌منظور اولویت‌بندی مناطق برای مدیریت کیفیت آب منطقه شناسایی شدند. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه می‌تواند راهنمای مفیدی به‌منظور حفاظت از اکوسیستم حوضهٔ آبخیز تجن در برابر تخریب بیشتر و نیز ترویج توسعهٔ پایدار در این منطقه باشد.

کلیدواژگان: حوضهٔ آبخیز تجن، کاربری اراضی، مدل SWAT، مناطق بحرانی، نیترات.

* نویسندهٔ مسئول

Email:esmaili@modares.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

رسوبات و مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر ترکیبات اصلی آلودگی‌های غیرنقطه‌ای هستند. آلودگی‌های غیرنقطه‌ای برخلاف منبع آلودگی نقطه‌ای، معمولاً از منابع وسیعی می‌آیند به‌طوری که در بسیاری از کشورها انواع فعالیت‌های کشاورزی و دامداری به‌عنوان کانون‌های غیرنقطه‌ای آلودگی درنظر گرفته شده‌اند [۱۶ و ۲۳]. نیتروژن یکی از ترکیبات مهم در ایجاد تغذیه‌گرایی[1] است و معمولاً به‌راحتی حل و به آب‌های سطحی و جریان آب زیرزمینی منتقل می‌شود.

عوامل متعددی مانند کاربری اراضی، سیمای سرزمین، شیب، بارش، خاک، زمین‌شناسی و عوامل انسانی می‌توانند رواناب، فرسایش خاک و انتقال مواد مغذی را تغییر دهند. استفاده از سرزمین عامل اولیه‌ای است که سبب تغییر کیفیت آب می‌شود. تغییر کاربری‌ها سبب تغییر در میزان فیلتراسیون خاک، تبخیر و تعرق، دبی آب‌های زیرزمینی و کیفیت آب‌های پذیرنده می‌شود [۱۷ و ۲۴].

مطالعات زیادی در خصوص تأثیر کاربری اراضی بر آلودگی‌های منابع غیرنقطه‌ای و رواناب سطحی در جهان صورت گرفته است. کلینتون و وس [۱۳] در امریکا تأثیرات وجود یک منطقهٔ جنگلی بر کیفیت آب رودخانه را بررسی کردند. این رود از مناطق شهری سرچشمه می‌گرفت و سپس از منطقه‌ای جنگلی عبور می‌کرد. برای نیل به این هدف سه ایستگاه نمونه‌برداری در امتداد رودخانهٔ واقع در منطقهٔ شهری، بخشی از همان رودخانه در منطقهٔ جنگلی و نیز انشعابی از آن انتخاب شد که از مناطق جنگلی بکر و دست‌نخورده می‌گذشت. سپس در این ایستگاه‌ها فاکتورهای نیترات، فسفات، کلراید، کلسیم، منیزیم و غیره اندازه‌گیری شد. نتایج بیانگر بیشترین غلظت آلودگی در مناطق شهری بود و کیفیت آب در منطقهٔ جنگلی بهتر از سایر مناطق نشان داده شد. همچنین سوموا و همکارانش [۲۳] تأثیر کاربری اراضی بر حوضهٔ رودخانهٔ هیل را بررسی کردند. زمین‌های کشاورزی به‌دلیل استفاده از کودها، بیشترین سهم را در آلودگی نیترات داشتند و کاربری جنگل کمترین بار آلودگی را نشان داد. همچنین کیکن و همکارانش [۱۶] تأثیرات کاربری اراضی بر کیفیت آب در حوضهٔ رودخانهٔ مانیام در زیمباوه را بررسی کردند. آنها اطلاعات کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۵، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۱ را از تصاویر ماهواره‌ای به‌دست آوردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مناطق مسکونی و کشاورزی سبب افزایش آلودگی شده‌اند. در مطالعهٔ دیگر برا و بورا [۱۲] در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ مدل SWAT را با مدل‌های دیگر در مقیاس حوضهٔ آبخیز مقایسه کردند. آنها با مقایسهٔ ۱۱ مدل هیدرولوژیکی ازجمله DWMS[2]، HSPF[3] و سایر مدل‌هایی که شبیه‌سازی دبی جریان، رسوب و روندیابی مواد شیمیایی در حوضه داشتند، مدل SWAT را از مناسب‌ترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی درازمدت حوضه‌های کشاورزی معرفی کردند. همچنین نشان دادند مدل SWAT و HSPF در پیش‌بینی سالانهٔ حجم جریان و آلودگی بسیار موفق عمل کردند، ولی در پیش‌بینی جریان‌های سیلابی و رویدادهای روزانهٔ این مدل‌ها ضعف دارند، درمقابل، مدل DWSM پیش‌بینی دقیق‌تری در فواصل زمانی کوچک ارائه می‌دهد. براساس ارزیابی‌های صورت‌گرفته در مطالعهٔ نیرولا و همکارانش [۲۱] در حالت کلی عملکرد مدل SWAT بهتر از GWLF[4] است. این مطالعه نشان داد اگرچه مدل سادهٔ GWLF در پیش‌بینی جریان،کیفیت آب و شناسایی CSAs[5] مفید است، تمام CSAs را در منطقه نمی‌تواند به‌درستی شناسایی کند.

از سوی دیگر، هوا و همکارانش [۱۴] از روش‌های آماری رج‌بندی مستقیم[6] برای ارزیابی ارتباط بین کاربری اراضی، الگوی سیمای سرزمین و آلودگی‌های غیرنقطه‌ای استفاده کردند. در این تحقیق برای شبیه‌سازی آلودگی غیرنقطه‌ای از مدل SWAT[7] استفاده شد. نتایج این تحقیق، وجود ارتباط بین کاربری اراضی و سیمای سرزمین با آلودگی‌های غیرنقطه‌ای را نشان داد و زمین‌های دیم[8] و شالیزارها مهم‌ترین منبع آلودگی منابع غیرنقطه‌ای شناخته شدند و نیز بیشترین رهایی مواد مغذی مختص‌به شالیزارها بود. از طرف دیگر، زو و همکارانش [۲۵] پاسخ هیدرولوژیکی به تغییرات کاربری اراضی در دلتای رودخانهٔ یانگ تز را با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد شهری‌شدن تأثیر اندکی بر آبدهی سالانه و به‌عکس تأثیرات

1. Eutrophication

2. Dynamic Watershed Simulation Model
3. Hydrologic Simulation Program Fortran
4. Generalized Watershed Loading Function
5. Critical Source Areas
6. Constrained Ordination
7. Soil and Water Assessment Tool
8. Dry Cultivated Land

Archive of SID
www.SID.ir

شایان توجهی بر دبی پیک، حجم سیل و رواناب سطحی به‌خصوص در حومهٔ شهر داشته است. به‌طوری که رواناب سطحی افزایش و جریان پایه کاهش یافت و مدل افزایش پیک جریان و حجم سیلاب را شبیه‌سازی کرد.

در ایران مطالعات محدودی در زمینهٔ شبیه‌سازی تأثیرات تغییر کاربری اراضی بر کیفیت آب صورت گرفته است. به‌طوری که نعمتی و همکارانش [۵] ارتباط میان مقادیر نیترات و فسفات رودخانهٔ زاینده‌رود با کاربری‌های موجود در این حوضه را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد میانگین سالانهٔ میزان نیترات با کاربری‌های کشاورزی و شهری، همبستگی مثبت و با کاربری‌های زمین‌های بایر و جنگل، همبستگی منفی دارد؛ اما میزان فسفات با هیچ‌یک از کاربری‌های اراضی همبستگی معناداری نشان نداده است. در مطالعه‌ای دیگر محمودی و همکارانش [۳] تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی اهمیت آن در کیفیت فیزیکی و شیمیایی رودخانهٔ کرخه را بررسی کردند. نتایج مطالعهٔ آنها نشان داد توسعهٔ اراضی شهری و زراعت آبی در زیرحوضه‌های کرخه، کاهش بارندگی و دبی رودخانهٔ کرخه مهم‌ترین عوامل کاهش درجهٔ اسیدیته، افزایش شوری و بالارفتن میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های رودخانهٔ کرخه محسوب می‌شوند.

مطالعات یادشده به تأثیر کاربری‌های مختلف بر میزان آلودگی توجه کرده‌اند. همچنین مطالعات یادشده نشان می‌دهند مدل SWAT ازجمله مدل‌هایی است که توانایی شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی و کیفی در مقیاس حوضه‌ای را دارد. از طرف دیگر، پایش‌های سنتی نمی‌تواند اطلاعات لازم برای مدیریت محیط زیستی یک حوضهٔ آبخیز را در اختیار مدیران قرار دهد [۹]؛ و مطالعات میدانی به صرف زمان و هزینهٔ زیادی نیاز دارند. از این‌رو، استفاده از مدل‌هایی برای توصیف و تعیین کمیت انتقال مواد مغذی از کاربری کشاورزی به محیط‌های آبی و شناسایی مناطق اولویت‌دار برای حفاظت محیط زیست ضروری است. بنابراین، در این مطالعه سعی شده است با رویکردی مبتنی بر شبیه‌سازی جامع، به تأثیرات کاربری اراضی در حوضهٔ آبخیز، شناسایی مناطق بحرانی و بهبود کیفیت آب در حوضهٔ آبخیز توجه شود. این مسئله به‌ویژه در مناطق شمالی ایران به‌دلیل استفادهٔ فراوان از کودهای شیمیایی و ورود مواد مغذی به اکوسیستم‌های آبی برای ارائهٔ راهکار برای برنامه‌ریزی‌های آتی منطقهٔ مطالعه‌شده ضروری به‌نظر می‌رسد. بنابراین، هدف از تحقیق حاضر، شبیه‌سازی تغییرات طولانی‌مدت بار نیترات در حوضهٔ رودخانهٔ تجن با استفاده از مدل SWAT، تعیین مناطق بحرانی برمبنای تولید مواد مغذی، درک ارتباط تأثیر کاربری‌ها بر سطح نیترات رودخانهٔ تجن و نیز ارزیابی سهم آلودگی نیترات ورودی از حوضهٔ آبخیز تجن به دریای خزر در منطقهٔ مطالعه‌شده است. همچنین به‌منظور ارزیابی روش‌شناسی، حوضهٔ رودخانهٔ تجن به‌علت داشتن تغییرات نسبتاً شدید کاربری اراضی طی دهه‌های اخیر و نیز استفادهٔ وسیع از کودهای نیتراته و فسفاته در زمین‌های کشاورزی و به‌ویژه شالیزارها [۲ و ۱] انتخاب شد که به دریای خزر وارد می‌شود.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مطالعه‌شده

منطقهٔ مطالعه‌شده در این تحقیق حوضهٔ آبخیز تجن با وسعت تقریبی ۴ هزار کیلومترمربع است که توسط کوه‌های البرز در جنوب و دریای خزر در شمال احاطه و در استان مازندران واقع شده است [شکل ۱]. از لحاظ جغرافیایی منطقهٔ مطالعه‌شده بین طول جغرافیایی ″۵۷ ′۰۴ °۵۳ –″۲۶ ′۱۸ °۵۳ و عرض جغرافیایی ″۱۷ ′۰۹ °۳۶ –″۴۹′۲۹ °۳۶ واقع شده است. میانگین سالانهٔ دما حدود ۱۵ درجهٔ سلسیوس [۱۷] با آب و هوای گرم و مرطوب و ارتفاع متوسط بارش۸۲۲ میلی‌متر در سال است. توپوگرافی محلی از ارتفاع ۲۶- متر تا ۳۶۷۰ متر متغیر است.

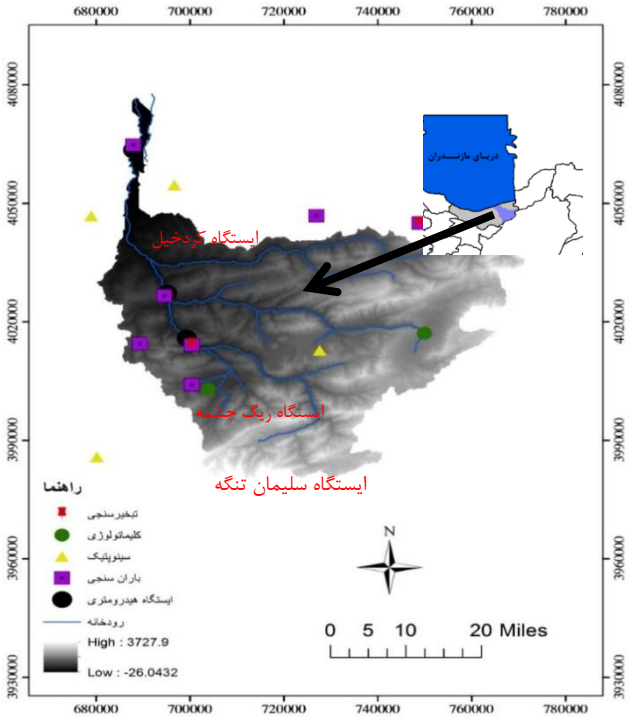
داده‌های استفاده‌شده در مدل SWAT

ـ لایه‌های رقومی استفاده‌شده

نقشه‌های اصلی مورد نیاز به‌منظور پیکربندی حوضهٔ آبخیز تجن در مدل SWAT شامل نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و مدل رقومی ارتفاعی است. برای لایهٔ رقومی کاربری اراضی، نقشهٔ کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و استفاده از اطلاعات میدانی [۴] در سطح حوضهٔ آبخیز اصلاح و استفاده شد. نقشهٔ خاک تهیه‌شده توسط سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) استفاده شد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. موقعیت حوضهٔ آبخیز تجن در کشور

ـ داده‌های اقلیمی و هیدرومتری

برای معرفی شرایط اقلیمی حوضه به مدلی نیاز است که با معرفی ایستگاه‌های حوضه متغیرهای بارندگی، دمای کمینه و دمای بیشینه در مقیاس روزانه به مدل معرفی شود. اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک از سازمان هواشناسی کشور و باران‌سنجی و تبخیرسنجی از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران اخذ شد. داده‌های مختص‌به پارامترهای نیترات و دبی سه ایستگاه هیدرومتری کردخیل، ریگ‌چشمه و سلیمان‌تنگه از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران گردآوری شد. همچنین ارزیابی صحت داده‌های کیفیت آب با شش شاخص یادشده در انجمن بهداشت عمومی امریکا بررسی شد [۸].

ـ اطلاعات مدیریتی

اطلاعات مدیریتی مختص‌به دامداری سنتی و کشاورزی در قسمت مدیریت مدل اعمال شد. ورودی‌های کلیدی مختص‌به مدیریت محصولات کشاورزی در مدل شامل کاشت، شخم، برداشت، چرا، کود شیمیایی و کود حیوانی از سازمان جهاد کشاورزی و بازدید میدانی به‌دست آمد.

آماده‌سازی مدل SWAT

پس از جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات حوضه و تهیهٔ فایل‌های ورودی، کار اولیه برای اجرای مدل شروع شد. شبکهٔ آبراهه، مرز حوضه و زیرحوضه‌ها براساس نقشهٔ رقومی ارتفاعی تهیه شد. برای معرفی نقشهٔ خاک نیاز است تا اطلاعات توصیفی هر واحد به بانک دادهٔ مدل معرفی شود. نقشهٔ کاربری اراضی نیز که در هشت کلاس مختلف تهیه شده بود براساس راهنمای مدل، کد مختص‌به هر کاربری مشخص شد. از تلفیق نقشه‌های یادشده با تعریف آستانهٔ درصد مساحت برای هریک از نقشه‌ها، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه ایجاد شد. سپس در بخش ورود داده‌های اقلیمی با توجه به اینکه مدل SWAT در مقیاس زمانی روزانه شبیه‌سازی انجام می‌دهد، داده‌های روزانهٔ ایستگاه‌ها به مدل معرفی شد. همچنین در ادامه داده‌های مدیریت کشاورزی نیز برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیکی استفاده شد.

واسنجی و اعتبارسنجی در مدل SWAT CUP

واسنجی مدل در سه ایستگاه هیدرومتری سلیمان‌تنگه، ریگ‌چشمه و کردخیل در نرم‌افزار SWAT-CUP الگوریتم SUFI2 صورت پذیرفت. بدین‌منظور بسته به داده‌های موجود هر ایستگاه تعدادی از سال‌ها به‌عنوان سال‌های واسنجی و تعدادی دیگر برای اعتبارسنجی مدل SWAT-CUP در نظر گرفته شدند (جدول ۲). آنالیز حساسیت مدل برای انتخاب

Archive of SID

www.SID.ir

پارامترهای حساس در واسنجی نیز با استفاده از روش One-At-A Time انجام شد. به‌منظور واسنجی مدل، در این مطالعه از ۱۴ پارامتر اصلی مؤثر بر رواناب و نیترات بعد از حساسیت‌سنجی انتخاب شد. بعد از شناسایی پارامترهای مؤثر بر دبی اقدام به واسنجی دبی و سپس نیترات شد. الگوریتم بهینه‌سازی در روش SUFI2 به صورتی است که در گام نخست تابع هدف تعریف می‌شود. گام بعد اختصاص محدوده‌های مجاز برای هر پارامتر است. در تعیین حدود اولیه بهتر است که حدود تا حد امکان بزرگ و درعین‌حال معنادار باشند. سپس با درنظرگرفتن حدود اولیه، نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب به تعداد نسبتاً زیاد انجام می‌گیرد و در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها مقادیر انتخاب‌شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و مقدار تابع هدف محاسبه می‌شود. این مرحله تا جایی ادامه می‌یابد که نتایج شبیه‌سازی و مشاهداتی برای دبی براساس معیارهای ارزیابی استفاده‌شده اختلاف ناچیزی داشته باشد. پس از انجام این مرحله، پارامترهای مختص‌به دبی و غلظت نیترات تا واسنجی دقیق غلظت در سه ایستگاه بررسی‌شده تغییر می‌یابد. برای ارزیابی نکویی برازش مدل از دو تابع هدف ضریب تعیین[1] (R^2) و نش‌ـ ساتکلیف (NS)[2] استفاده شد [۶ و ۷].

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی در مدل SWAT CUP

حوضه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، به ۲۶ زیرحوضه تقسیم شد. همچنین با توجه به لایه‌های کاربری اراضی، خاک و شیب حوضه به ۴۰۷ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تبدیل شد. نتیجهٔ آنالیز حساسیت، معرفی تعدادی پارامتر حساس برای واسنجی مدل است. تعداد ۱۴ پارامتر مشخص شدند که تأثیر بیشتری روی دبی و کیفیت آب داشتند. مقدار این پارامترها در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج آماری به‌دست‌آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌صورت ماهانه با استفاده از آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش‌ـ ساتکلیف در جدول‌های ۲ و ۳ خلاصه شده است.

طبق گزارش موریاسی و همکارانش [۱۸] نتایج آماره‌های ارزیابی ضریب تبیین و نش‌ـ ساتکلیف به‌دست‌آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای هر سه ایستگاه بررسی‌شده، مورد تأیید است. این شرایط نشان‌دهندهٔ توانایی زیاد مدل در شبیه‌سازی رواناب و نیترات در حوضهٔ آبخیز تجن است. توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب و نیترات در حوضه‌های با ابعاد مختلف در مطالعات اخوان و همکارانش [۱۰]، جمشیدی و همکارانش [۱۵] و عباسپور و همکارانش [۷]، نیز اثبات شده است.

جدول ۱. پارامترهای منتخب برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل به همراه حدود اولیه[1]

شماره	پارامتر	تعریف پارامتر	محدودهٔ اولیه	مقدار بهترین شبیه‌سازی
۱	SOL_CBN	میزان کربن آلی	۰/۰۵–۱۰	۰/۴۴
۲	HLIFE_NGW	نیمهٔ عمر نیتروژن در آب‌های زیرزمینی	۰–۵۰۰	۱۵/۸
۳	SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس خاک	۰–۱	۰/۲۶
۴	USLE_P	عامل اقدامات حفاظتی در USLE	۰–۱	۰/۲۴
۵	CN2	عدد منحنی رواناب	۳۵–۹۸	۷۵
۶	CANMX	بیشترین ذخیرهٔ تاج پوشش	۰–۱۰۰	۷
۷	BIOMIX	کارایی اختلاط بیولوژیکی	۰–۱	۰/۲۹
۸	EPCO	فاکتور جبران جذب گیاه	۰–۱	۰/۶۳
۹	ESCO	ضریب جبران تبخیر از خاک	۰–۱	۰/۷
۱۰	GW_REVAP	ضریب برگشت آب‌های زیرزمینی	۰/۰۲–۰/۲	۰/۰۵
۱۱	GW_DELAY	زمان تأخیر آب زیرزمینی (روز)	۰–۵۰۰	۱۷۰
۱۲	GWQMN	عمق آستانهٔ آب در آبخوان عمیق (میلی‌متر)	۰–۵۰۰۰	۲۹۰
۱۳	SMTMP	دمای پایهٔ ذوب برف (سلسیوس)	-۲۰–۲۰	۰
۱۴	ANION_EXCL	درصد تخلخل خاک	۰/۰۱–۱	۰/۵۵

1. Coefficient of Determination
2. Nash Sutcliffe

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲. نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای مقادیر رواناب ماهانه در ایستگاه‌ها

ایستگاه	ایستگاه سلیمان‌تنگه		ایستگاه ریگ‌چشمه		ایستگاه کردخیل	
آمار	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۶–۲۰۱۰)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۱–۲۰۱۴)	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۱–۲۰۱۴)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۱–۲۰۱۴)	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۵–۲۰۱۰)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۱–۲۰۱۴)
R^2	۰/۶۷	۰/۷۸	۰/۵۳	۰/۵۸	۰/۵۰	۰/۷۷
NS	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۵۲	۰/۵	۰/۵۳	۰/۴۷

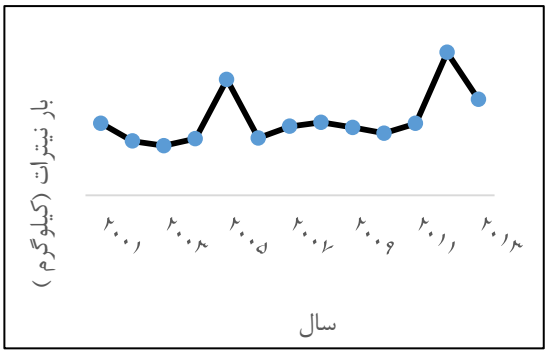
جدول ۳. نتایج آماره‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای مقادیر نیترات ماهانه در ایستگاه‌ها

ایستگاه	ایستگاه سلیمان‌تنگه		ایستگاه ریگ‌چشمه		ایستگاه کردخیل	
آمار	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۹–۲۰۱۳)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۳–۲۰۱۴)	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۹–۲۰۱۲)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۳–۲۰۱۴)	دورهٔ واسنجی (۲۰۰۹–۲۰۱۳)	دورهٔ اعتبارسنجی (۲۰۱۳–۲۰۱۴)
R^2	۰/۵۱	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۷۷
NS	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۵۰	۰/۴۹

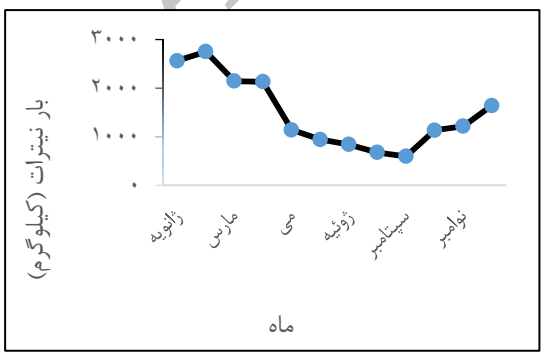
بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی آلودگی نیتـرات در حوضهٔ آبخیز تجن

سری زمانی شبیه‌سـازی‌شـدهٔ غلظـت نیتـرات در شـکل ۲ نمایش داده شده است. نتایج مدل واسنجی‌شده نشـان داد بار سالانهٔ نیترات از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ از حدود ۳۱۰۷۰ کیلوگرم تا ۸۹۳۵۰ کیلـوگرم در خروجـی حوضـه متفـاوت است. سـال‌هـای ۲۰۰۵ و ۲۰۱۲ بیشـترین بـار نیتـرات را داشتند که این می‌تواند به‌دلیل افزایش رواناب خروجـی از حوضه در این سال‌ها باشد.

همان‌طور کـه در شـکل ۳ نشـان داده شـده اسـت الگـوی زمانی نیترات نیز بیانگر آن است کـه میـانگین بـار سـالانهٔ نیترات کل ورودی به دریای خزر از حوضهٔ آبخیز تجـن در ماه‌های زمستان بیشتر است. بار نیترات در سه ماه زمستان ۴۹ درصد از کل بار سالانهٔ نیترات را به خودش اختصاص داده است. بیشترین سطح نیترات در دورهٔ مطالعه‌شـده در



شکل ۲. بار نیترات خروجی از حوضهٔ آبخیز تجن طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳



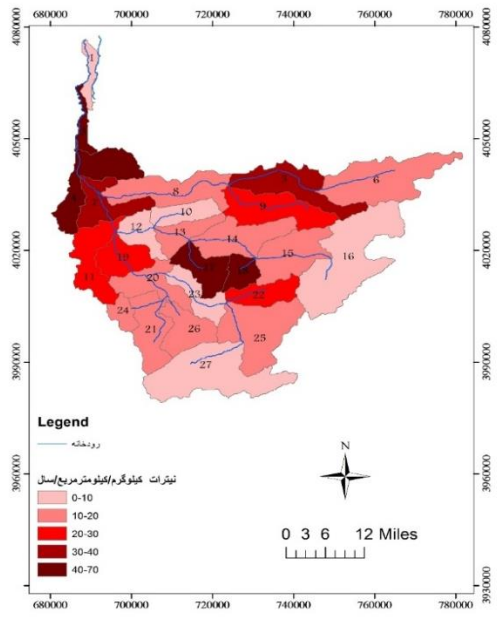
شکل ۳. میانگین بار نیترات خروجی از حوضهٔ آبخیز تجن طی ماه‌های سال

Archive of SID

www.SID.ir

ماه فوریه (به‌طور متوسط ۲۷۲۰ کیلوگرم) و کمترین در ماه سپتامبر (به‌طور متوسط ۴۷۰ کیلوگرم) است. این نتایج با مطالعهٔ قبلی لی و همکارانش [۱۷] مطابقت دارد. به‌طوری که از ماه می تا سپتامبر، سطح نیترات روند زمانی معکوسی با رشد گیاهی دارد، بار نیترات با افزایش پوشش گیاهی کاهش و سپس از شهریور با برداشت محصول افزایش می‌یابد [۱۷]. این نشان می‌دهد مواد مغذی غیرنقطه‌ای مانند رواناب کشاورزی در بار آلودگی نیترات سهم مهمی دارند. همچنین بر اثر کاهش میزان بارش در فصل تابستان، انتقال بار آلودگی به رودخانه کاهش یافته است. کاهش نیتروژن‌زدایی و کاهش مصرف توسط گیاهان و میکروب‌ها به‌دلیل تجمع برف و دمای پایین آب نیز می‌تواند سبب سطح نیترات بیشتر در زمستان باشد [۱۹].

به‌منظور ارزیابی تغییرات مکانی بار آلودگی در سطح حوضهٔ آبخیز پس از شبیه‌سازی حوضه برای دورهٔ ۲۰۰۱ تا 2014، بار نیترات در واحد سطح برای دورهٔ مد نظر در هر زیرحوضه محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود زیرحوضه‌های ۳، ۴، ۵، ۱۷ و ۱۸ بیشترین بار آلودگی در واحد سطح را داشتند. این امر می‌تواند ناشی از وسعت بیشتر زمین‌های کشاورزی و نیز وجود مراکز جمعیتی در این زیرحوضه‌ها باشد. همچنین در این زیرحوضه‌ها آلودگی نیترات خروجی از استخرهای پرورش ماهی سردآبی و گرم‌آبی سبب آلودگی بیشتر منابع آب شده است.



شکل ۴. بار نیترات خروجی از زیرحوضه‌های حوضهٔ آبخیز تجن

ارتباط آلودگی نیترات با انواع کاربری اراضی

فعالیت‌های استفاده از زمین بر کیفیت آب با تغییر در رسوب، ترکیبات شیمیایی و هیدرولوژی حوضه تأثیر می‌گذارند و نیز برخی کاربری‌ها ممکن است به حفظ کیفیت آب از طریق فرایندهای تغییرات بیوژئوشیمیایی کمک کنند [۵]. با محاسبهٔ مقادیر متوسط ماهانهٔ بار نیترات در دورهٔ شبیه‌سازی‌شده به تفکیک هر کاربری و سپس برآورد سهم هر کاربری نسبت به کاربری‌های دیگر، الگوی تغییرات ماهانهٔ نیترات در هر کاربری به‌دست آمد (شکل ۵). نتایج نشان داد زمین‌های جنگلی ۵۳ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شوند و ۲۹ درصد از بار نیترات حوضه سهم این کاربری است. کاربری جنگل نسبت به مساحت خود بار آلودگی کمتری نسبت به دیگر کاربری‌ها ایجاد می‌کند که از دلایل این امر می‌توان به پوشش گیاهی با تاج‌پوشش مناسب و فعالیت‌های انسانی کمتر در این مناطق اشاره کرد. همچنین مناطق جنگلی، با ریشه‌های گسترده و عمیق خود، خاک‌هایی با سرعت نفوذپذیری زیاد دارند. این نفوذپذیری می‌تواند سرعت رواناب را کاهش دهد و کاهش سرعت رواناب عاملی برای بهبود کیفیت آب است به‌طوری که نیترات فرصت بیشتری برای ته‌نشینی و جذب دارد [۲۰]. از طرف دیگر، مراتع ۲۳ درصد از کل مساحت حوضه و تنها ۵/۷ درصد از بار نیترات حوضه را سهیم هستند و زمین‌های کشاورزی که تنها ۲۰ درصد از منطقهٔ مطالعه‌شده را شامل می‌شوند، اما بیش از ۶۴ درصد بار نیترات از این کاربری ناشی شده است. بار بیشتر آلودگی نیترات در این کاربری نسبت به دیگر کاربری‌ها با توجه به مصرف کودهای شیمیایی و حیوانی در کاربری کشاورزی طبیعی به نظر می‌رسد. در تأیید این مسئله، بسیاری از مطالعات گزارش داده‌اند که کاربری شهری و کشاورزی اهمیت بسزایی در کاهش کیفیت آب در سیستم‌های آبی مجاور؛ تغییر شرایط سطح خاک، افزایش سطح غیرقابل نفوذ و تولید آلودگی دارند [۲۵ و ۱۶]. گندمزارهای دیم ۱۳ درصد بار نیترات را سبب می‌شوند در حالی که حدود ۵۵ درصد از مساحت زمین‌های کشاورزی به این محصول اختصاص داده شده است. با توجه به اینکه بیشتر کشت گندم در منطقهٔ دیم است، انتقال نیترات به شروع فصل بارش موکول می‌شود و با افزایش جریانات سطحی در ماه اکتبر، دسامبر و

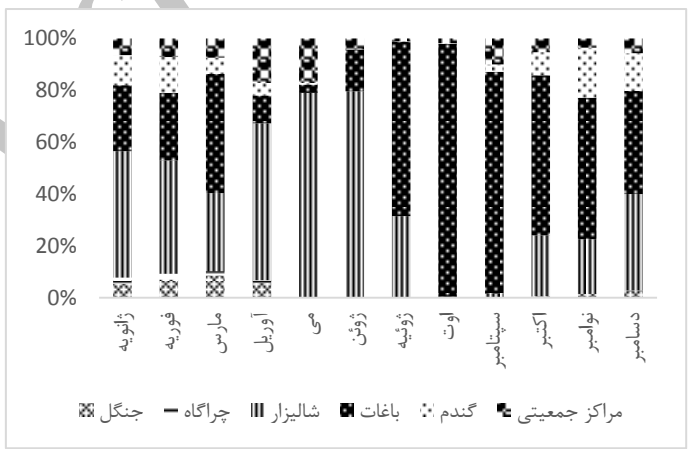
Archive of SID

www.SID.ir

سپتامبر، افزایش شایان توجهی در میزان نیترات خروجی در این کاربری صورت می‌گیرد. شالیزارها ۲۵ درصد از مساحت منطقهٔ کشاورزی و ۲۵/۵ درصد از آلودگی نیترات را سبب می‌شوند. به‌نوعی بار آلودگی نیترات مختص‌به شالیزارها یکی از منابع مهم آلاینده است. کشت متفاوت محصول برنج نسبت به دیگر کشت‌ها، استفاده از مقدار کود فراوان و دورهٔ طولانی کشت غرقابی، سبب ازدست‌رفتن آسان مواد مغذی محلول شده است. ملاحظه می شود خروجی نیترات از مزارع کشت برنج در فصل‌های بهار در ماه‌های می و ژوئن به بیشترین مقدار خود می‌رسد. با توجه به مراحل کشت و کوددهی در این فصل، افزایش انتقال نیترات از شالیزارها منطقی به نظر می‌رسد. از طرف دیگر، ازدست‌دادن مواد مغذی با سرریزشدن آب از شالیزارها به هنگام بارش باران و نیز در زمان زهکشی رخ می‌دهد [۲۵]. حدود ۲۰ درصد از مساحت زمین‌های کشاورزی را باغ‌ها دربرمی‌گیرند در حالی که ۲۵/۵ درصد تولید نیترات را سهیم‌اند. کشت باغ‌ها نیز مانند کشت برنج سهم زیادی در خروجی نیترات دارند. باغ‌ها در فصل تابستان بیشترین بار نیترات را دارند. این افزایش می‌تواند به این دلیل باشد که در ماه‌های گرم سال میزان آبیاری نیز به بیشترین مقدار خود می‌رسد که سبب انتقال حجم زیادی از نیترات می‌شود.

مناطق جمعیتی ۱/۳ درصد از حوضه را شامل می‌شوند، اما ۶ درصد از بار آلودگی نیترات را تولید می‌کنند. بار خروجی از مراکز جمعیتی تقریباً در همهٔ ماه‌ها به‌جز فصل خشک سال جریان دارد و با شروع بارش این مقدار افزایش می‌یابد. نتایج ما با یافته‌های قبلی بکر [۱۱]، چن و تانگ [۲۴] لی و همکارانش [۱۷] همخوانی دارد. همچنین مطالعهٔ طالبی و همکارانش [۲] در بررسی تأثیر تغییر پوشش کاربری سرزمین بر وضعیت هیدرولوژیکی در حوضهٔ آبخیز نکا نشان داد افزایش وسعت زمین‌های کشاورزی و کاهش مناطق جنگلی و مرتعی تأثیر مثبتی در افزایش دبی جریان داشته است.

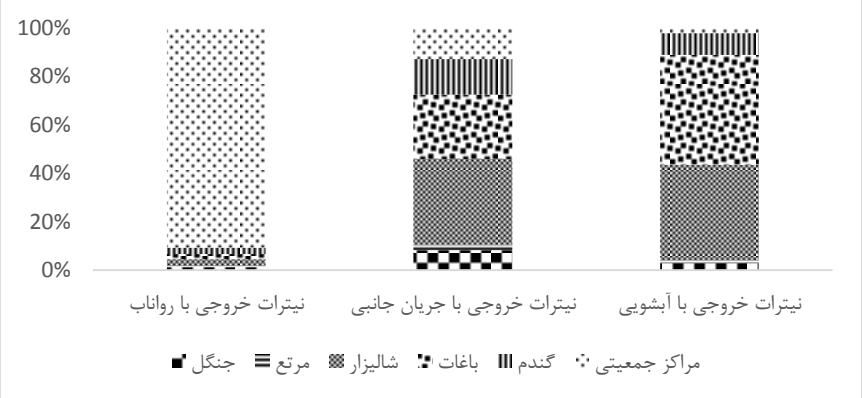
در ادامه و به‌منظور بررسی چگونگی انتقال نیترات در حوضه، درصد تأثیر هریک از مؤلفه‌های مؤثر در چگونگی انتقال آنها در هر کاربری اراضی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، بیشترین درصد انتقال نیترات در کاربری باغ‌های مختص‌به آب‌شویی است. در محصول گندم بیشترین درصد انتقال مختص‌به جریان رواناب است که می‌تواند به‌دلیل کشت دیم این محصول باشد و بارش فرصت کمتری برای آب‌شویی خواهد داشت؛ اما در کاربری جنگل و مرتع نیترات خروجی با مؤلفه‌های مختلف اختلاف معناداری ندارد. در مراکز جمعیتی نیز بیشترین سهم انتقال نیتروژن توسط رواناب است.



شکل ۵. الگوی زمانی بار نیترات خروجی از کاربری‌ها

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶. درصد مؤلفه‌های مختص‌به تلفات نیتروژن

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف بر بار نیترات و نیز شناسایی زیرحوضه‌های اولویت‌دار در سطح حوضهٔ آبخیز صورت پذیرفت. به‌منظور نیل به این هدف و با درنظرگرفتن نقش شناسایی زیرحوضه‌های بحرانی در کاهش هزینه‌های اجرایی در منطقه، ابتدا شبیه‌سازی جامع این حوضه با استفاده از مدل SWAT انجام شد. نتایج نشان داد توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی بار آلودگی حوضهٔ آبخیز تجن رضایت‌بخش است. همچنین نتایج نشان داد سهم آلایندهٔ نیترات تولیدشده توسط مرتع (۵/۷ درصد) و جنگل (۲۹ درصد) بسیار کمتر از نیترات تولیدشده توسط کاربری کشاورزی (۶۴ درصد) است. اراضی شالیزارها و باغ‌ها به‌عنوان منابع اصلی آلودگی نیترات به‌ویژه در فصول بهار و تابستان هستند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد سهم شایان توجه انتقال نیترات توسط آب‌شویی و جریانات جانبی است که باید در انتخاب راهکارهای مدیریت به آن توجه شود. نتایج این مطالعه می‌تواند راهنمای مفیدی به‌منظور حفاظت از اکوسیستم حوضهٔ آبخیز تجن برای جلوگیری از تخریب بیشتر و ترویج توسعهٔ پایدار در این منطقه باشد.

منابع

[۱]. احمدی ممقانی، یوسفعلی؛ خراسانی، نعمت‌الله؛ رفیعی، غلامرضا، ۱۳۸۹، بررسی منابع آلاینده و کیفیت آب رودخانهٔ تجن، مجلهٔ منابع طبیعی ایران، ۳۱۷ [۴]، شمارهٔ ۶۳-۳۲۷.

[۲]. طالبی امیری، شیما؛ آذری دهکردی، فرود؛ صادقی، سید حمیدرضا؛ صوفباف، سیدرضا، ۱۳۸۸، تحلیل تخریب سیمای سرزمین حوضهٔ آبخیز نکا با استفاده از سنجه‌های اکولوژی سیمای سرزمین، مجلهٔ علوم محیطی، شمارهٔ ۶ (۳)،۱۳۳-۱۴۴.

[۳]. محمودی، بیت‌الله؛ حمیدی‌فر، مینا؛ خراسانی، نعمت‌الله، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضهٔ آبخیز کرخه و ارزیابی نقش آن در کیفیت فیزیکی و شیمیایی رودخانهٔ کرخه، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز.

[۴]. میرزایی م، ریاحی بختیاری ع، سلمان‌ماهینی عر.، غلامعلی‌فرد م .۱۳۹۲. بررسی تغییرات پوشش اراضی استان مازندران با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۹ اکولوژی کاربردی، شمارهٔ ۲ (۴)، ۵۴-۳۷.

[۵]. نعمتی محمد؛ ابراهیمی علی؛ میرغفاری ناصر؛ سفیانیان علی، ۱۳۸۶، بررسی اثر کاربری اراضی بر میزان نیترات و فسفات آب رودخانهٔ زاینده‌رود، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز.

[6].Abbaspour K. C., Yang J., 2006. Calibration and uncertainty analysis for SWAT usingSUFI2 with SWAT-SAI interface: a user manual, Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technolology.

Archive of SID

www.SID.ir

[7].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, Vol 333 [2-4], pp. 413-430.

[8].American Public Health Association (APHA), 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

[9].Arheimer, B.,Lidén, R., 2000. Nitrogen and phosphorus concentrations from agricultural catchmentsinfluence of spatial and temporal variables. Journal of Hydrology, Vol 227 [1–4], pp. 140-159.

[10]. Akhavan, S., Abedi, J., Mousavi, S. F., Abbaspour, K., 2010.Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan-Bahar watershed, Iran. Agriculture, Ecosystem and Environment. J, Vol 139, pp. 675-688.

[11]. Bakr, N., Weindorf, D.C., Bahnassy, M.H., Marei, S.M., El Badawi, M.M., 2010].Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi temporal Landsat data, Application geography, Vol 30, pp. 592–605.

[12]. Borah, D.K., Bera, M., Xia, R., (2004). Storm Event Flow and Sediment Simulations in Agricultural Watershed Using DWSM, American Society of Agricultural Engineers 47(5): 1539-1559.

[13]. Clinton, B.D., Vose, J.M., 2005.Variation in Stream Quality in an Urban Headwater Stream in the Southern Appalachins.

[14]. Hao, F., Zhang, X., Wang, X., Ouyang, W., 2012.Assesment the Relationship between Landscape Patterns and Nonpoint Source Pollution in the Danjiankou Reservoir Basin in China, Journal of the American Water Resources Association, pp. 1-16.

[15]. Jamshidi, M., Tajrishy, M., Maghrebi, M., 2010. Modeling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the Jajrood river watershed, Iran. International Agricultural Engineering Journal, Vol 19 (2), pp. 23-31.

[16]. Kieken, H., Lebonvallet, S., Ledoux, E., Mary, B., Mignolet, C., Poux, X., Sauboua, E., 2013. Assessing the relationship between water quality parameters and changes in landuse patterns in the Upper Manyame River, Zimbabwe.Physics and Chemistry of the Earth, Vol 52, pp. 130–146

[17]. Lee, S. W., Wang, S. J., Lee, S., Hwang H. S., Sung H. C., 2009.Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics, Landscape. Urban Plan, Vol 92, pp. 80–89.

[18]. Moriasi, D. N., J. G. Arnold, M. W.,et al., 2007.Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation. T. ASABE, Vol 50 (3), pp. 885- 900.

[19]. McCutchan, Jr., William M., Lewis, Jr. [2008].Spatial and temporal patterns of denitrification in an effluent-dominated plains river James. H. Verh. Internat. Verein, Limnol, Vol 30[2], pp. 323–328.

[20]. Neary, D.G., Ice, G.G., Jackson, C.R., 2009.Linkages between forest soils and water quality and quantity.Forest Ecological Management, Vol 258, pp. 2269–2281.

[21]. Niraula, R., Kalin, L., Srivastava, P.,Anderson,Ch., (2013). Identifying critical source areas of Nonpoint source pollution with SWAT and GWLF. Ecological Modelling 268 (2013) 123–133.

[22]. Saiko, T. A. [1997]. Environmental proroblems of the Caspian Sea region and the conflict of national prioritiesMH Environmental and Political Issues in the Circum Caspian Region 41-52 Glantz and IS Zonn (Eds) Khm'er Academic Publishers.

[23]. Somura, H., Takeda, I., Arnold, J.G., Mori, Y., Jeong, J., Kannan, N., Hoffman, D., 2012. Impact of suspended sediment and nutrient loading from land uses against water quality in the Hii River basin, Japan.Journal of Hydrology, Vol 450–451 (5), pp. 25–35.

[24]. Tong, S. T., Chen, W., 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. Journal of environmental management, Vol 66[4], pp. 377-393.

[25]. Zhu, A.X., Wang, P., Zhu, T., Chen, L., Cai, Q., Liu, H., 2013.Modeling runoff and soil erosion in the Three-Gorge Reservoir drainage area of China using limited plot data. Journal of Hydrology, Vol 492, pp. 163–175.

Archive of SID

www.SID.ir