اکوهیدرولوژی
دورهٔ ۹، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۴۰۱، ص ۵۰۴-۴۸۹

آثار زیست‌محیطی و اقتصادی استفاده از پساب در بخش کشاورزی جنوب شهر تهران با کمک مدل SWAT

سیده سمانه عباس میری[۱]، سید ابوالقاسم مرتضوی[۲]*، محمدحسن وکیل‌پور[۳]، حامد نجفی علمدارلو[۲]

۱. دانشجوی دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. دکتری اقتصاد کشاورزی، دانشکدهٔ کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۱/۱۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۲/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۳/۱۱)

چکیده

موقعیت مکانی شهر تهران به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب شهری در کشور به گونه‌ای است که حجم قابل توجهی از منابع آب سطحی در نهرها و کانال‌های مناطق جنوبی تهران جاری می‌شود. این رواناب‌های سطحی آلوده در حال حاضر در تلفیق با آب زیرزمینی در کشاورزی جنوب تهران مورد استفاده قرار می‌گیرند که پیامدهای نامطلوب محیط زیستی را به همراه دارند. طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران در شرکت آب منطقه‌ای تهران برای رفع این معضل مورد مطالعه قرار گرفته است. از این‌رو در این مقاله، به بررسی اثرات اقتصادی و محیط زیستی استفاده از پساب در بخش کشاورزی جنوب استان تهران در شرایط ساخت تصفیه‌خانه‌های آب‌های سطحی و تأسیس شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری و مقایسهٔ نتایج با شرایطی که در منطقه از آب آلوده برای آبیاری استفاده می‌شود، پرداخته شده است. در این تحقیق، دورهٔ آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸) در جهت انجام شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در صورت اجرای طرح میزان رواناب خروجی به طور متوسط از ۲۰۱ به ۸٤ متر مکعب در هکتار و میزان نیترات موجود در رواناب خروجی به طور متوسط از ١٤ به ۰/۱ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است. همچنین، با ورود پساب به محدودهٔ طرح و استفاده از پتانسیل کودی پساب، می‌توان میزان مصرف کود ازته را ۵۰۳۹ تن کاهش داد که به واسطهٔ آن هزینه‌های کشاورزان محدوده تا ۵۵٤۳۱ میلیون ریال کاهش می‌یابد. در نتیجه، اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران اثرات محیط زیستی مثبتی به همراه خواهد داشت.

کلیدواژگان: مدل SWAT، رواناب، پساب، کود شیمیایی، شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری.

*نویسندهٔ مسئول

Email: samortazavi@modares.ac.ir

مقدمه

کاربرد فاضلاب‌های خام و تصفیه‌شده در کشورهای مختلف جهان از دیرباز رواج داشته است. در اغلب کشورهای پیشرفته فقط فاضلاب‌های تصفیه‌شده با رعایت استانداردهای مربوط برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما در غالب کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران فاضلاب‌های خام برای مصارف مختلف از جمله کشاورزی به مصرف رسیده و باعث بروز رخدادهای ناگوار بهداشتی و محیط زیستی شده است. از سوی دیگر، استفادهٔ اصولی از فاضلاب تصفیه‌شده و یا پساب مزایای مختلفی به همراه دارد؛ کاربرد پساب در بخش کشاورزی علاوه بر کاهش فشار بر منابع آب باعث کاهش بار آلودگی واردشده به محیط زیست و کاهش هزینه‌های کودهای شیمیایی می‌شود. چون پساب یک جایگزین مناسب برای کودهای شیمیایی است؛ عناصر غذایی موجود در پساب شامل نیتروژن، فسفر و پتاسیم است، میزان این عناصر به طور متوسط به‌ترتیب ۵۰، ۱۰ و ۳۰ میلی‌گرم بر لیتر است. طی استفاده از پساب بر اساس میانگین نیاز آبی محصولات زراعی، سالانه معادل ۲۵۰ kg نیتروژن، ۵۰kg فسفر و ۱۵۰kg پتاسیم در هر هکتار به زمین زراعی اضافه می‌شود. بنابراین، تمام نیتروژن و مقدار زیادی از فسفر و پتاسیم که معمولاً برای تولید محصولات کشاورزی در شرایط عادی مورد مورد نیاز است، به این ترتیب تأمین می‌شود و دیگر نیازی به استفاده از کود نیست [۱ و ۲]. از سوی دیگر، بخش قابل توجهی از کودهای کشاورزی به زهآب منتقل می‌شود و تجمع مواد مغذی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) در زهآب کشاورزی و راهیابی آن‌ها به منابع آب سطحی و زیرزمینی معضلات محیط زیستی فراوانی را به همراه خواهد داشت. در حالی که استفاده از پساب در بخش کشاورزی منجر به کاهش تجمع مواد مغذی در زهآب و افزایش قابل ملاحظهٔ مواد مغذی موجود در خاک می‌شود. طبق مطالعات صورت‌گرفته [۳ــ ۶]، میزان نیترات و فسفات خاک آبیاری‌شده با فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهری به طور معناداری بیشتر از خاک آبیاری‌شده با آب سطحی و چاه است. به بیان دیگر، میزان آبشویی در حالتی که آبیاری با پساب صورت می‌گیرد، نسبت به حالت آبیاری با آب‌های متعارف، کمتر است [۷]. همچنین، امینی و ابراهیمی (۲۰۱۶) در تحقیقی انتقال نیترات در خاک مزرعهٔ ذرت در یک سال زراعی در شرایط آبیاری با فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه‌شدهٔ شهرک اکباتان را با استفاده از مدل HYDRUS شبیه‌سازی کردند. آبشویی نیتروژن‌ــ نیتراتی در محدودهٔ زیر عمق توسعهٔ ریشه‌ها در مدت یک فصل رشد گیاه ذرت آبیاری‌شده با پساب خام و تصفیه‌شده به‌ترتیب برابر با ۷/۶۱ و ۲/۶۴ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین، می‌توان از پساب علاوه بر منبع آب آبیاری، به عنوان منبع غذایی برای گیاه استفاده کرد و در نتیجه، مصرف کودهای شیمیایی را کاهش داد. به منظور شبیه‌سازی جریان و بار مغذی در حوضه‌ها با اندازه‌های مختلف مدل SWAT مورد توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است [۹ــ ۲۰]. این محققان دریافتند که مدل SWAT به منظور شبیه‌سازی جریان و بار مغذی در بلندمدت در حوضه‌های کشاورزی مناسب است. پهلرت و همکاران (۲۰۰۵) با کمک مدل SWAT به شبیه‌سازی جریان آب و نیترات در حوضهٔ رودخانهٔ Dill در آلمان پرداختند. نتایج پژوهش یادشده نشان می‌دهد آلاینده‌های نقطه‌ای بر افزایش میزان نیترات رودخانهٔ Dill مؤثر است. عباسپور و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی دبی، رسوب و نیترات در حوضهٔ آبریز رودخانهٔ راین در سوئیس پرداختند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب رودخانهٔ راین است. اویانگ و همکاران (۲۰۰۸) به منظور ارزیابی اثرات بلندمدت اجرای سیاست‌های مختلف در حوضهٔ رودخانهٔ یانگ تسه در چین که از نظر آلودگی در شرایط نامناسبی است، از مدل SWAT استفاده کرده‌اند. جمشیدی و همکاران (۲۰۱۰) آلودگی نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای نیترات حوضهٔ رودخانهٔ جاجرود را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد فاضلاب‌های تصفیه‌نشده، نشت دستگاه‌های سپتیک معیوب از منابع اصلی بارگذاری نیترات در رودخانهٔ جاجرود بود. رواناب ناشی از باغ‌ها منبع مهم دیگری از آلودگی نیترات گزارش شد. لام و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی اثرات بلندمدت بهترین شیوهٔ مدیریتی بر کمیت و کیفیت آب در حوضهٔ آبخیز کیاستاو در شمال آلمان از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج مدل در شبیه‌سازی دبی، رسوب و بار مغذی در حوضهٔ یادشده رضایت‌بخش

بود. مولینا ناوارو (۲۰۱۴) اثر سناریوهای تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی را بر میزان جریان و انتقال مواد مغذی در حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ تاگوساسپانیا مورد بررسی قرار دادند و طبق نتایج تحقیق دو عامل کوددهی و فرسایش خاک اثرگذار بر انتقال نیتروژن و فسفر به منابع آب است. محمدی و همکاران (۲۰۱۷) برای شبیه‌سازی دبی و نیترات در حوضهٔ رودخانهٔ تالار از مدلSWAT استفاده کردند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب رودخانهٔ تالار است. موقعیت مکانی و توپوگرافی کلان‌شهر تهران به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندهٔ آب شهری در کشور و نیز شیوهٔ مصارف مختلف آب در این شهر، به جاری شدن حجم قابل توجهی از منابع آب سطحی در مسیل‌ها، نهرها و کانال‌های مناطق جنوبی تهران منجر شده است. این منابع تلفیقی از جریان‌های کوهستانی، فاضلاب‌های خانگی، شهری، صنعتی، بیمارستانی، آب‌های برگشتی ناشی از مصارف مختلف، رواناب‌های ناشی از بارندگی و پسماندها و زباله‌های شهری است. طبق آزمایش‌های انجام‌شده توسط شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، این رواناب‌های سطحی آلوده از بار آلودگی بسیار زیادی برخوردار است. در جدول ۱، نتایج پایش کیفیت آب سطحی در یکی از ایستگاه‌های اندازه‌گیری در محدودهٔ طرح ارائه شده است.

جدول ۱. نتایج پایش کیفیت آب سطحی در محدودهٔ طرح

پارامترهای اندازه‌گیری	مقدار پارامتر	پارامترهای اندازه‌گیری	مقدار پارامتر	پارامترهای اندازه‌گیری	مقدار پارامتر
جیوه	۰/۲۹(mg/lit)	بیکربنات	۳۴۶/۷۷(mg/lit)	ph	۷/۷۶
روی	۰/۱۵(mg/lit)	کلراید	۲۲۶/۵(mg/lit)	کدورت	۱۱/۲۶ NTU
کادمیوم	۰/۰۳(mg/lit)	سولفات	۲۰۹/۵۱(mg/lit)	پاک‌کننده	۱/۵۶
کبالت	۰/۰۱(mg/lit)	کلسیم	۱۱۵/۷۳(mg/lit)	اکسیژن مورد نیاز شیمیایی[1]	۵۹/۸۳ PPM
مس	۰/۰۳(mg/lit)	منیزیم	۳۲/۵۷(mg/lit)	اکسیژن مورد نیاز بیولوژیکی[2]	۳۴/۵ PPM
منگنز	۰/۴۴(mg/lit)	سدیم	۱۷۹/۰۱(mg/lit)	کل کلیفرم‌ها	۱۴۳۷۷۸(MNP/100)
سرب	۰/۱(mg/lit)	پتاسیم	۵/۳۶(mg/lit)	کلیفرم‌های گوارشی	۱۰۶۹۰۰(MNP/100)
کرم	۰/۱(mg/lit)	فسفات	۲/۶(mg/lit)	هدایت الکتریکی	۱۶۸۰/۴۷μmhos/cm
کل جامدات محلول	۹۷۱/۴۲(mg/lit)	نیترات	۴۰/۵۵(mg/lit)		

در حال حاضر، این رواناب‌های سطحی آلوده در تلفیق با منابع آب زیرزمینی در کشاورزی جنوب تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد که پیامدهای نامطلوب محیط زیستی از جمله آلودگی خاک در درازمدت و آلودگی منابع آب زیرزمینی از تبعات دیگر این موضوع است از آنجا که کشاورزی در این منطقه به صورت فشرده است و در هر سال بیش از یک دوره کشت صورت می‌گیرد، کودهای شیمیایی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند و به دلیل اینکه گیاهان توانایی جذب همهٔ عناصر غذایی اضافه‌شده به خاک را ندارند. بنابراین، عناصر غذایی در خاک تجمع پیدا کرده و بر اثر آبشویی وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. در مجموع، می‌توان گفت که به دلیل استفادهٔ طولانی‌مدت از فاضلاب تصفیه‌نشده، وجود کشاورزی متراکم در منطقه و همچنین، استفاده از کودهای شیمیایی بالاتر از سطح توصیه کودی توسط کشاورزان منابع آب و خاک منطقه در معرض آلودگی هستند (شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، ۱۳۹۷). با توجه به موارد یادشده و به منظور رفع معضل ناشی از مصرف رواناب‌های آلوده در کشاورزی جنوب تهران، طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران در شرکت آب منطقه‌ای تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. با اجرای این طرح، رواناب‌های سطحی آلوده جهت بهره‌برداری بهینه از منابع آبی در دسترس و تأمین آب با کیفیت استاندارد مصارف کشاورزی و بهبود سطح بهداشت عمومی و محیط زیست منطقه ارتقای کیفیت داده می‌شود. در راستای طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران، در نظر گرفته شده است دو تصفیه‌خانهٔ آب سطحی در

1. Chemical Oxygen Demand (COD)
2. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

محدودهٔ شهر ری و شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری در جهت انتقال پساب این تصفیه‌خانه‌ها، ساخته شود؛ تصفیه‌خانهٔ آب‌های سطحی سرخه‌حصار در محل رودخانهٔ سرخه‌حصار با ظرفیت ۶ متر مکعب بر ثانیه به منظور تصفیهٔ رواناب‌های سطحی آلودهٔ شرق تهران و تصفیه‌خانهٔ آب‌های سطحی صالح‌آباد با ظرفیت ۴ متر مکعب بر ثانیه به منظور تصفیهٔ رواناب‌های سطحی آلوده نهر فیروزآباد، انهار بهشتی و یاخچی‌آباد. همچنین قرار است آب بخشی از شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری از پساب حاصل از تصفیه‌خانهٔ جنوب تهران (که در حال بهره‌برداری است) تأمین شود. با توجه به اینکه در حال حاضر کیفیت آب سطحی موجود در منطقه همان کیفیت فاضلاب است و این فاضلاب در بخش کشاورزی منطقه استفاده می‌شود، در نتیجه با اجرای طرح ساماندهی آب‌های آلودهٔ جنوب تهران، از یک سو با تأسیس شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری راندمان آبیاری افزایش خواهد یافت و از سوی دیگر، با ساخت این تصفیه‌خانه‌ها پساب حاصل از آن‌ها جایگزین آب آلوده در بخش کشاورزی خواهد شد. در نتیجه، می‌توان از پتانسیل کودی پساب استفاده کرد. با توجه به موارد یادشده، هدف از این مطالعه بررسی اثرات محیط زیستی و اقتصادی ساخت این دو تصفیه‌خانه روی میزان و کیفیت رواناب خروجی از حوضه و میزان و کیفیت رواناب خروجی از هر هکتار زمین‌های زراعی با کمک مدل SWAT است.

مدل SWAT

مدل $SWAT$ مدلی جامع به منظور شبیه‌سازی فرایندهای مختلف درون حوضه است. این مدل یک مدل مفهومی است، بنابراین به جای استفاده از روابط رگرسیونی، $SWAT$ به شبیه‌سازی فرایندهایی مانند حرکت آب، رسوب، رشد گیاه، سیکل مواد غذایی در خاک، انتقال مواد آلاینده و غیره می‌پردازد. به این منظور، لزوم استفاده از اطلاعات اقلیمی، خواص خاک، توپوگرافی و نوع پوشش اراضی مطرح می‌شود. در این مدل برای انجام شبیه‌سازی، ابتدا حوضه را به چند زیرحوضه sub- basin و هر زیرحوضه را بسته به میزان تنوع در خاک، شیب و کاربری اراضی آن، به چند قسمت کوچک‌تر به نام واحد واکنش هیدرولوژیکی HRU[1] تقسیم می‌کند. ابتدا آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخهٔ عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس، برای هر زیرحوضه به صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود.

اساس چرخهٔ هیدرولوژی در مدل $SWAT$ رابطهٔ تعادل (بیلان) آبی است که به شکل رابطهٔ ۱ است:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}\left(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}\right) \qquad (۱)$$

SW_t : مقدار فعلی (نهایی) آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)؛ SW_0: مقدار اولیه آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)؛ R_{day}: مقدار بارندگی در روز iام (برحسب میلی‌متر آب)؛ Q_{surf}: مقدار رواناب سطحی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)؛ E_a: مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب)؛ W_{seep}: مقدار آبی که از پروفیل خاک به ناحیهٔ غیر اشباع در روز i ام وارد می‌شود (برحسب میلی‌متر آب)؛ Q_{gw}: مقدار جریان برگشتی در روز i ام (برحسب میلی‌متر آب).

در این مدل، رواناب سطحی از روش شمارهٔ منحنی و نرخ دبی حداکثر برای هر HRU شبیه‌سازی و سپس، کل رواناب حاصل برای حوضه روندیابی می‌شود. مقدار بارشی که در طول شیب سطح زمین نفوذ نکرده رواناب سطحی (Q_{surf})را تشکیل می‌دهد. عمق رواناب سطحی (Q_{surf}) با استفاده از معادلهٔ ۲ تخمین زده می‌شود:

$$Q_{surf} = \frac{\left(R_{day} - I_a\right)^2}{\left(R_{day} + I_a + S\right)} \qquad (۲)$$

که در آن: R_{day} : عمق بارش روزانه (میلی‌متر)؛ I_a: نگه داشت اولیه شامل ذخیرهٔ سطحی، جذب گیاه و میزان نفوذ پیش از شروع رواناب (میلی‌متر) است؛ S: حداکثر یا پتانسیل نگهداشت رطوبت روی زمین (میلی‌متر).

انتقال نیترات

بیشتر خاک‌های معدنی در PH نرمال بار منفی دارند و واکنش خالص آنیون‌هایی همچون نیترات که دارای بار منفی هستند، دور شدن از سطح ذرات است. به این دور شدن جذب منفی یا منع آنیونی گفته می‌شود. آنیون‌های منع‌شده به علت جذب انتخابی کاتیون‌ها در کنار سطح باقی می‌مانند. این مورد اثر مستقیمی بر انتقال آنیون‌ها در درون خاک دارد، زیرا آنیون‌ها را از حجم آب نزدیک به سطح

1. Hydrological Response Unit

باردار ذرات که دارای سرعت انتقال کمی است، دور می‌کند [۲۱]. اگر تمام آب خاک مورد استفاده قرار بگیرد، مسیر خالص عبور آنیون‌ها در درون خاک کوتاه‌تر می‌شود [۲۲].

نیترات به وسیلهٔ رواناب سطحی، جریان جانبی و نفوذ عمقی منتقل می‌شود. غلظت نیترات در آب متحرک از طریق فرمول ۳ محاسبه می‌شود:

$$conc_{NO_{3mobile}} = \frac{NO_{3ly}\,0\left(1-exp\left[\frac{-W_{mobile}}{(1-\theta_e):SAT_{ly}}\right]\right)}{W_{mobile}} \qquad (۳)$$

$conc_{NO_{3mobile}}$: غلظت نیترات در آب جاری برای لایهٔ مورد نظر (کیلوگرم نیتروژن در میلی‌لیتر در آب)؛ NO_{3ly}: مقدار نیتروژن در لایه (کیلوگرم نیتروژن در هکتار)؛ W_{mobile} : مقدار آب جاری در لایه (میلی لیتر)؛ θ_e : درصدی از تخلخل است که در آن آنیون‌ها پراکنده می‌شوند. SAT_{ly} : میزان آب اشباع لایهٔ خاک (میلی‌لیتر).

آنالیز حساسیت و واسنجی مدل SWAT

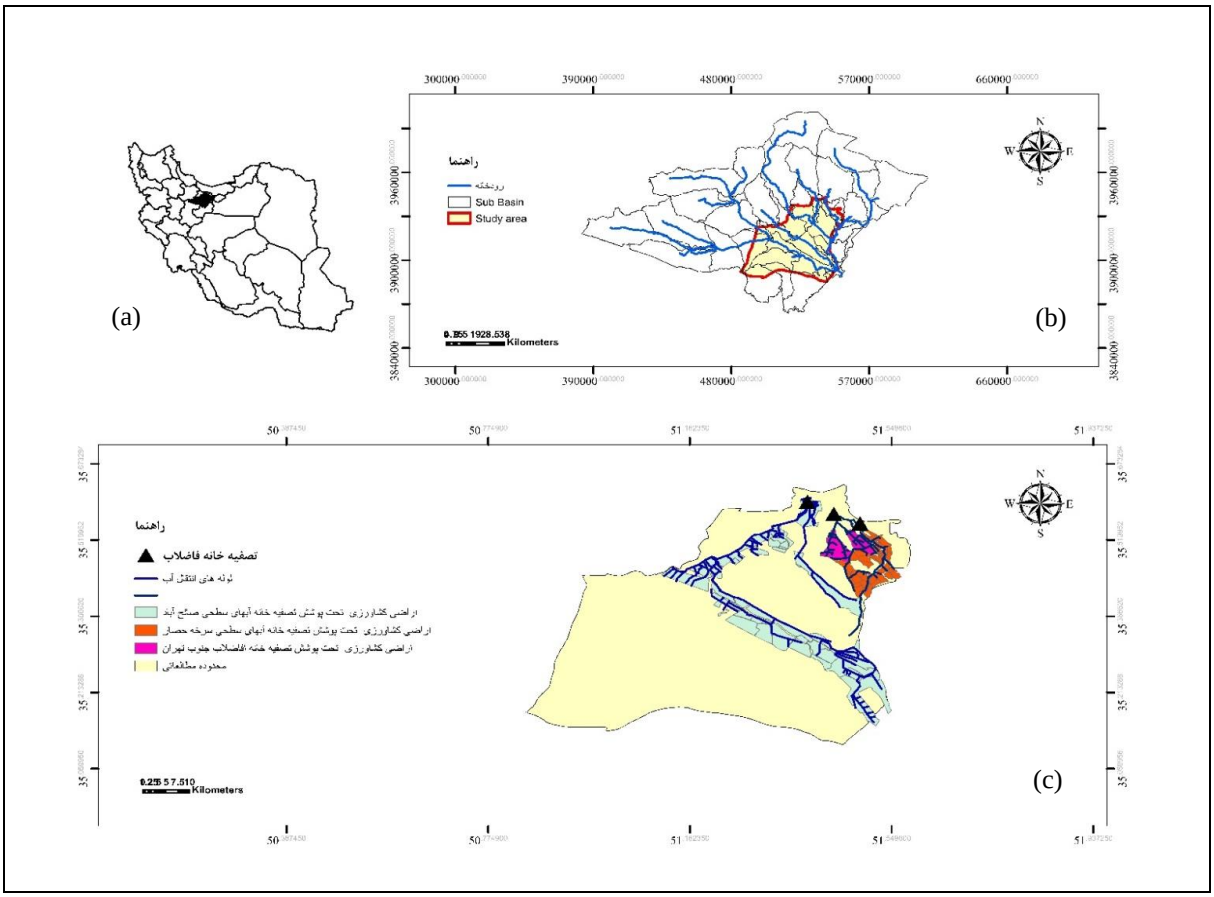
از آنجا که مدل SWAT یک مدل فیزیکی است، یکی از ایرادهای وارد بر آن این است که نتایج اولیه آن بدون واسنجی دارای دقت کم و متفاوت با مقادیر مشاهداتی است. از این جهت هدف از واسنجی مدل SWAT به حداقل رساندن تفاوت‌ها بین خروجی‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل SWAT و داده‌های مشاهداتی است. واسنجی خودکار مدل SWAT با استفاده از مدل‌سازی معکوس انجام می‌شود. مدل‌سازی معکوس به این معنا است که از خروجی‌های مدل شبیه‌سازی، برای تخمین پارامترهای ورودی مدل استفاده می‌شود. نرم‌افزار SWAT-CUP[1] با تعدادی از روش‌های موجود برای واسنجی خودکار همانند SUFI2[2] لینک شده است [۲۳ و ۲۴].

نتایج و بحث

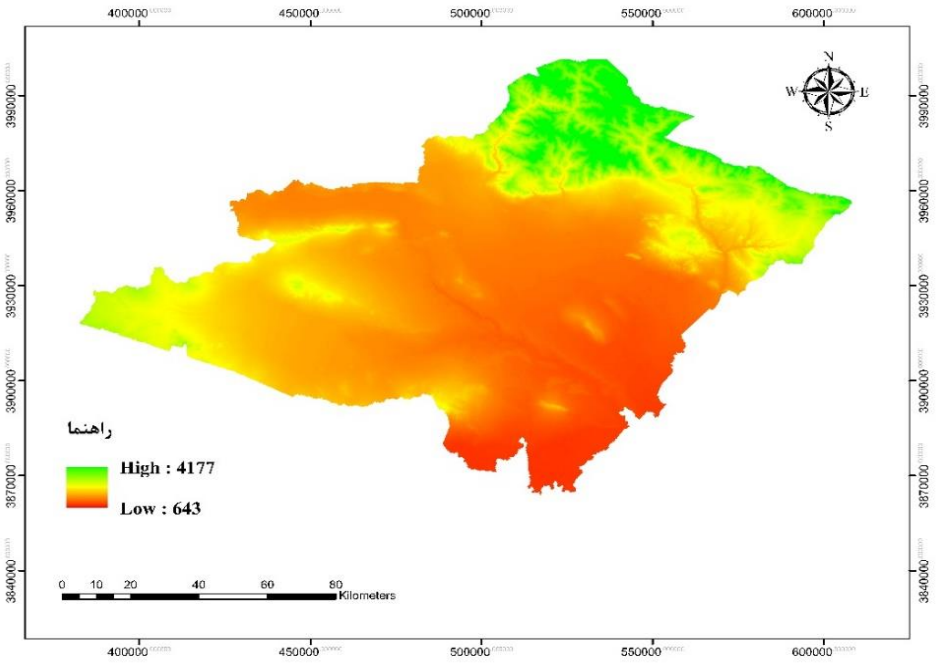
حوضهٔ آبریز شهر تهران شامل سه حوضهٔ آبریز سرخه‌حصار، کن و صالح‌آباد است. مطابق با نقشهٔ DEM جریان‌های سطحی شهر تهران از ارتفاعات، ۴۱۷۷ متر از سطح دریا به سمت جنوب تهران با ارتفاع ۶۴۳ متر از سطح دریا حرکت می‌کند (شکل 1.b) و در مسیر، جریان‌های شهری شامل رواناب‌های ناشی از بارش، تخلیهٔ فاضلاب‌های خانگی، صنعتی و بیمارستانی، آب‌های برگشتی ناشی از مصارف مختلف و تخلیهٔ پسماندها و زباله‌های شهری به این جریان‌ها اضافه می‌شود. در نتیجه، حجم قابل توجهی از منابع آب سطحی در مسیل‌ها، نهرها و کانال‌های دشت ری در جنوب تهران وارد می‌شود که از بار آلودگی بسیار زیادی برخوردار است و در کشاورزی این دشت مورد استفاده قرار می‌گیرد. دشت ری علاوه بر این سه حوضهٔ آبریز شامل حوضهٔ آبریز رودخانه شور هم است، در نتیجه وسعت محدوده‌ای که برای شبیه‌سازی در مدل SWAT در نظر گرفته شده است، حدود ۱۴۳۱۰ کیلومتر مربع است که در محدودهٔ جغرافیایی "۷۳. ۲۸′۵۳° ۳۴ تا "۸۳. ۱۰′۰۹°۳۶ عرض شمالی و "۴۳. ۰۶′۴۳°۴۹ تا "۱۵. ۱۱′۱۲°۵۲ طول شرقی واقع شده است. طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران در محدودهٔ دشت ری در شرکت آب منطقه‌ای استان تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. دشت ری در بخش شمالی ایران در جنوب استان تهران واقع شده است (شکل ۱. a,b) متوسط بارش سالانه در این دشت حدود ۱۶۵ میلی‌متر و میزان دمای متوسط حدود ۱۸ درجهٔ سانتی‌گراد است. مساحت محدودهٔ مورد مطالعاتی حدود ۲۳۲۹۷۷ هکتار است. طبق این طرح مقرر شده است علاوه بر اینکه بخشی از پساب تصفیه‌خانهٔ فاضلاب جنوب تهران (در حال بهره‌برداری) در اختیار کشاورزان منطقه قرار گیرد، دو تصفیه‌خانهٔ آب‌های سطحی صالح‌آباد و سرخه‌حصار و شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری برای انتقال پساب از تصفیه‌خانه‌ها به زمین‌های زراعی ساخته شود تا کشاورزان منطقه پساب را جایگزین آب آلوده کنند در شکل (c) ۱ مکان تصفیه‌خانه‌ها و شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری نشان داده شده شد است. گندم، جو، ذرت علوفه‌ای، یونجه و سبزیجات از مهم‌ترین محصولاتی است که در این محدوده کشت می‌شود. درخور یادآوری است که کشت انواع سبزیجات برگی (اسفناج، شوید، گشنیز، شنبلیله، شاهی) در این منطقه رایج است. در بین سبزیکاران این نوع سبزیجات معروف به بار خرده‌پا هستند، چون مدت زمان کاشت تا برداشت کوتاه و حدود ۴۰ـ ۵۰ روز است و به همین دلیل سالی ۴ تا ۵ بار کشت می‌کنند.

در این پژوهش مدل هیدرولوژیکی SWAT با کمک نقشهٔ DEM[3] ۲۸ متری (شکل ۲)، نقشهٔ کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۰ (شکل ۳) و همچنین، نقشهٔ خاک FAO v2 (شکل ۴) ساخته شده است.

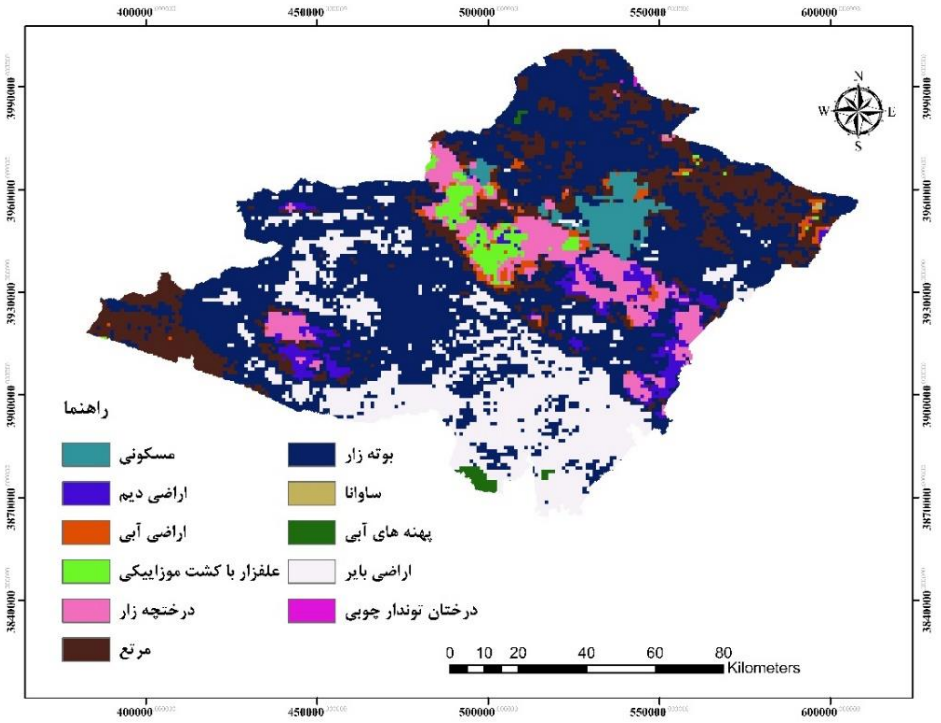
1. SWAT Calibration and Uncertainty Programs
2. Sequential Uncertainty Fitting version-2
3. Digital Elevation Model



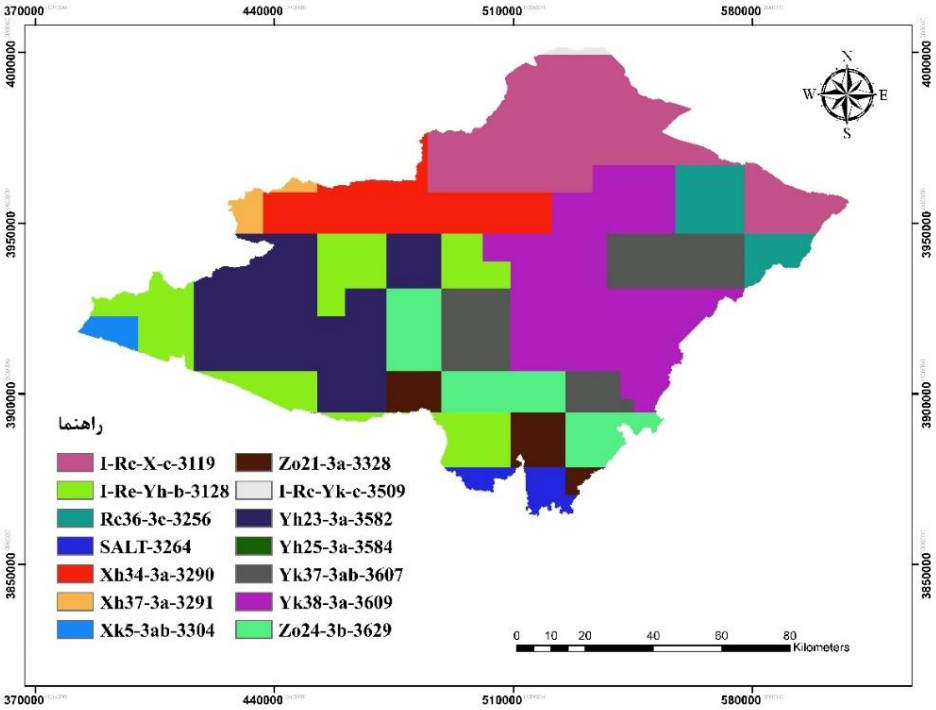
شکل ۱- (a) ۱. حوضهٔ آبریز جریان‌های سطحی تهران؛ (b) مکان محدودهٔ مطالعاتی در حوضهٔ آبریز، (c) مکان تصفیه‌خانه‌ها و اراضی کشاورزی تحت پوشش هر یک از تصفیه‌خانه‌ها در محدودهٔ مطالعاتی



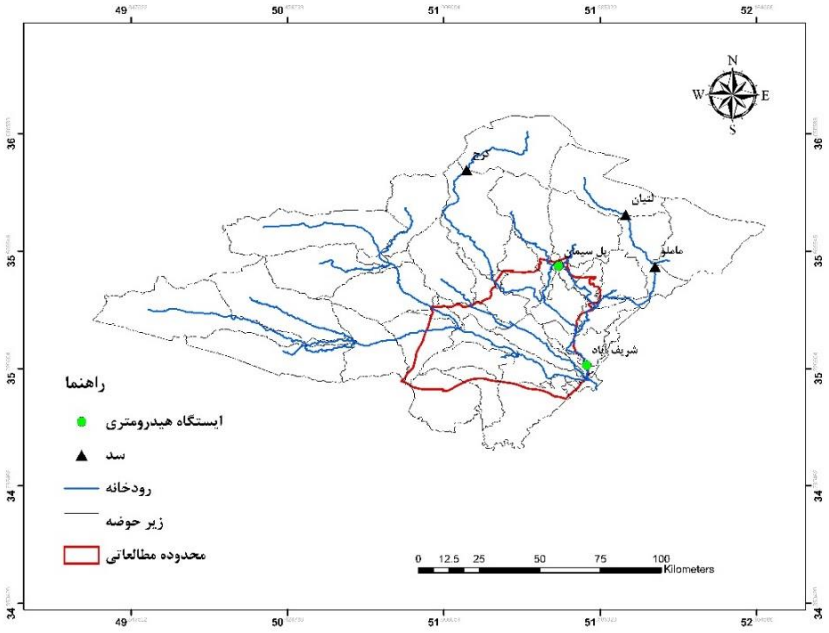
شکل ۲. نقشهٔ DEM



شکل ۳. نقشهٔ کاربری اراضی



شکل ۴. نقشهٔ خاک



شکل ۵. نقشهٔ محدودهٔ اجرای طرح، زیرحوضه‌ها، موقعیت سدها و ایستگاه‌های هیدرومتری

بافت خاک و گروه هیدرولوژیکی مربوط به هر یک از کدهای خاک در نقشهٔ خاک در جدول ۲ مشخص شده است.

مدل SWAT با کمک نقشهٔ DEM، موقعیت سدها و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کل حوضه را به چندین زیرحوضه (Sub Basin) و با کمک نقشه‌های کاربری اراضی و نقشهٔ خاک هر زیرحوضه را به چندین HRU تقسیم می‌کند. در این مطالعه حوضهٔ مورد نظر به ۴۸ زیرحوضه و ۴۶۴ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم شد (شکل ۵). همچنین داده‌های روزانهٔ اقلیمی (دما، بارش، رطوبت نسبی و ساعت‌های آفتابی) برای ۱۳ ایستگاه سینوپتیک به منظور شبیه‌سازی فرایندهای مورد نظر برای دورهٔ ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸ وارد مدل شد.

در این مطالعه از آنجا که در محدودهٔ بخشی از فاضلاب‌های خانگی و صنعتی به رودخانه تخلیه می‌شود، در نتیجه برای شبیه‌سازی بهتر میزان نیترات موجود در رواناب این نقاط به عنوان Point Source به مدل معرفی شده است. علاوه بر آن، در جهت شبیه‌سازی دقیق‌تر فرایندهای مورد نظر، بر اساس داده‌ها و اطلاعات دفتر آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی، ادارهٔ جهاد کشاورزی شهرستان ری و شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، اطلاعات مدیریتی مانند الگوی کشت، زمان کاشت و برداشت محصولات، تعداد دفعات آبیاری هر محصول، میزان نیاز آبی محصولات در منطقه، راندمان آبیاری و میزان کود مصرفی محصولات در منطقه وارد مدل شد. میزان کود ازتهٔ مصرفی، تعداد دفعات آبیاری و میزان آبیاری در هر هکتار از محصولات کشاورزی غالب در منطقه در جدول ۳ ارائه شده است.

در جهت واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از نرم‌افزار SWAT-CUP با الگوریتم SUFI-2 و آمار ماهانهٔ دبی ۲ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۲. مشخصات نقشهٔ خاک

کد خاک	گروه هیدرولوژیکی	بافت خاک	کد خاک	گروه هیدرولوژیکی	بافت خاک
I-Rc-Yk-c-3509	D	LOAM	I-Rc-X-c-3119	D	LOAM
Yh23-3a-3582	D	CLAY-LOAM	I-Re-Yh-b-3128	C	LOAM
Yk37-3ab-3607	D	CLAY-LOAM	Rc36-3c-3256	D	LOAM
Yk38-3a-3609	D	CLAY-LOAM	Xh34-3a-3290	D	CLAY-LOAM
Zo24-3b-3629	D	CLAY	Xh37-3a-3291	D	CLAY-LOAM
SALT-3264	D	UWB	Xk5-3ab-3304	D	CLAY-LOAM
Yh25-3a-3584	D	CLAY-LOAM	Zo21-3a-3328	D	CLAY-LOAM

جدول ۳. میزان کود مصرفی، تعداد دفعات آبیاری و میزان آبیاری اعمال‌شده به مدل SWAT در شرایط موجود

نام محصول	میزان کود ازته (کیلوگرم/هکتار)	تعداد دفعات آبیاری در سال زراعی	حجم آب آبیاری طی یک سال زراعی (متر مکعب/ هکتار)
گندم	۲۹۶	۱۰	۱۰۶۰۰
جو	۳۱۱	۱۰	۸۸۲۹
یونجه	۲۱۴	۳۵	۲۷۷۷۱
ذرت علوفه‌ای	۲۷۱	۱۳	۲۱۵۱۴
سبزیجات	۲۵۰	۴	۲۰۰۰۰

جدول ۴. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

نام ایستگاه	نام رودخانه	ارتفاع	طول جغرافیا	عرض جغرافیا
شریف‌آباد	جاجرود	۸۴۰	۵۱-۳۲-۰	۳۵-۱۴-۰۰
پل سیمان	پل سیمان	۱۰۵۰	۵۱-۲۶-۰	۳۵-۳۶-۰۰

همچنین، موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۵ نشان داده شده است.

پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل، سناریوی مورد نظر که همان اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران است، روی مدل SWAT اجرا شده است. در جهت اعمال سناریو، مکان‌هایی که طبق طرح برای ساخت تصفیه‌خانه‌ها در نظر گرفته شده، به عنوان Point Source به مدل معرفی شده است و همچنین در قسمت مدیریت زراعی مدل SWAT که اطلاعات زراعی در آن وارد می‌شود، میزان راندمان آبیاری از ۳۵ درصد به ۶۵ درصد[1] برای زیرحوضه‌هایی که در نواحی کشاورزی که تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری قرار دارند، تغییر خواهد کرد و برای این زیرحوضه‌ها به دلیل اینکه در این نواحی طبق طرح مقرر شده است که از پساب تصفیه‌خانه‌ها به جای آب آلوده استفاد شود و طبق قوانین محیط زیست، محصولات تازه‌خوری همانند سبزیجات نباید با پساب آبیاری شوند در نتیجه منبع آبیاری سبزیجات تنها آب زیرزمینی خواهد شد و از سوی دیگر، به دلیل پتانسیل کودی پساب فرض شده است کشاورزان دشت ری مصرف کود ازته را به صفر کاهش دهند.

نتایج تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل

در این تحقیق، دورهٔ آماری ۲۰ ساله (۱۹۹۹ تا ۲۰۱۸) در جهت انجام شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۱ به عنوان Warm up و یا به‌اصطلاح گرم کردن مدل، سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ برای واسنجی مدل و سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. واسنجی مدل در ایستگاه‌های هیدرومتری شریف‌آباد و ایستگاه هیدرومتری پل سیمان برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۵ انجام شده است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل حساسیت ۳۴ پارامتر به عنوان پارامترهای حساس شناسایی شده‌اند. لیست حساس‌ترین پارامترها برای واسنجی هم‌زمان ایستگاه‌ها و دامنه بهینه آن‌ها در جدول ۵ قابل مشاهده است.

طبق جدول ۵، پارامتر SFTMP که مربوط به دمای بارش برف است، بیشترین اثرگذاری را روی دبی خروجی حوضه دارد.

در این تحقیق جهت ارزیابی مدل از دو شاخص ضریب تعیین R^2 و ضریب نش ساتکلیف NSاستفاده شده است. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی ایستگاه‌های هیدرومتری شریف‌آباد و پل سیمان در جدول ۶ ارائه شده است.

نتایج مربوط به ضریب نش و ضریب تعیین نشان‌دهندهٔ مورد قبول بودن نتایج مدل است. همچنین، با توجه به اینکه هدف از اجرای مدل SWAT برآورد میزان رواناب خروجی و میزان نیترات موجود در رواناب خروجی از هر هکتار زمین زراعی در شرایط موجود و شرایط اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران است، اطلاعات مربوط به زیرحوضه‌هایی که نواحی کشاورزی که تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری قرار دارند، استخراج شد و نتایج در قالب شکل‌های ۶ و ۷ به نمایش گذاشته شده است.

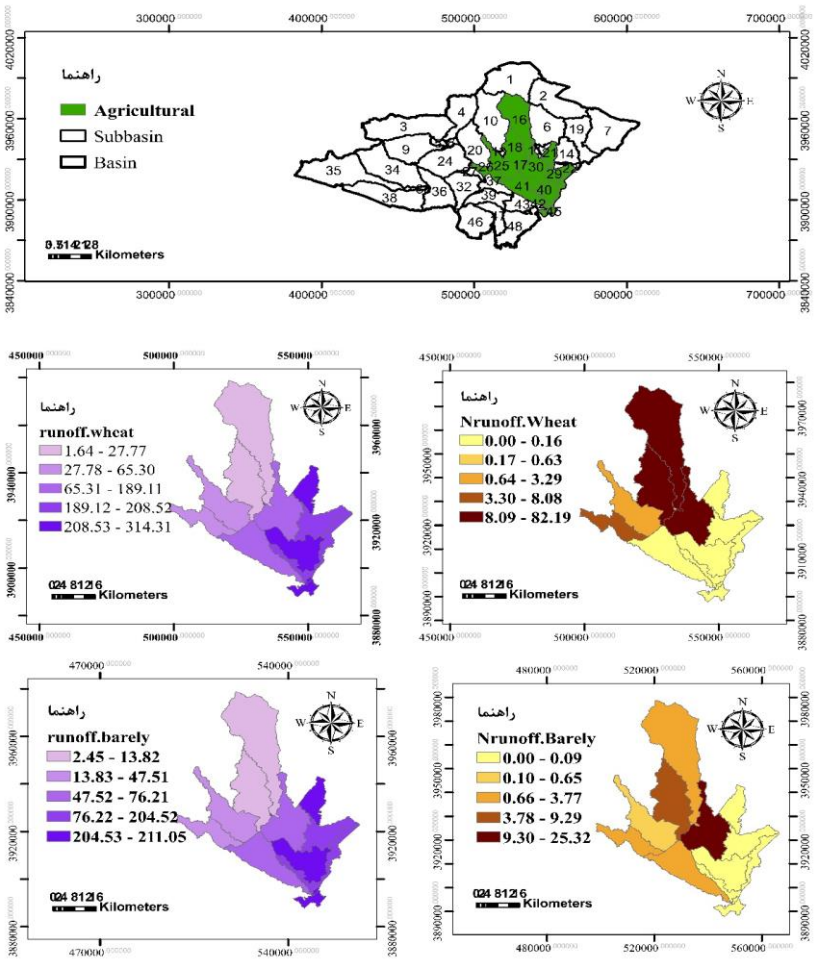
۱. طبق مطالعات صورت‌گرفته در شرکت آب منطقه‌ای استان تهران، با احداث شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری راندمان آبیاری تا ۶۵ درصد افزایش خواهد یافت.

جدول ۵. نتایج تحلیل حساسیت مدل

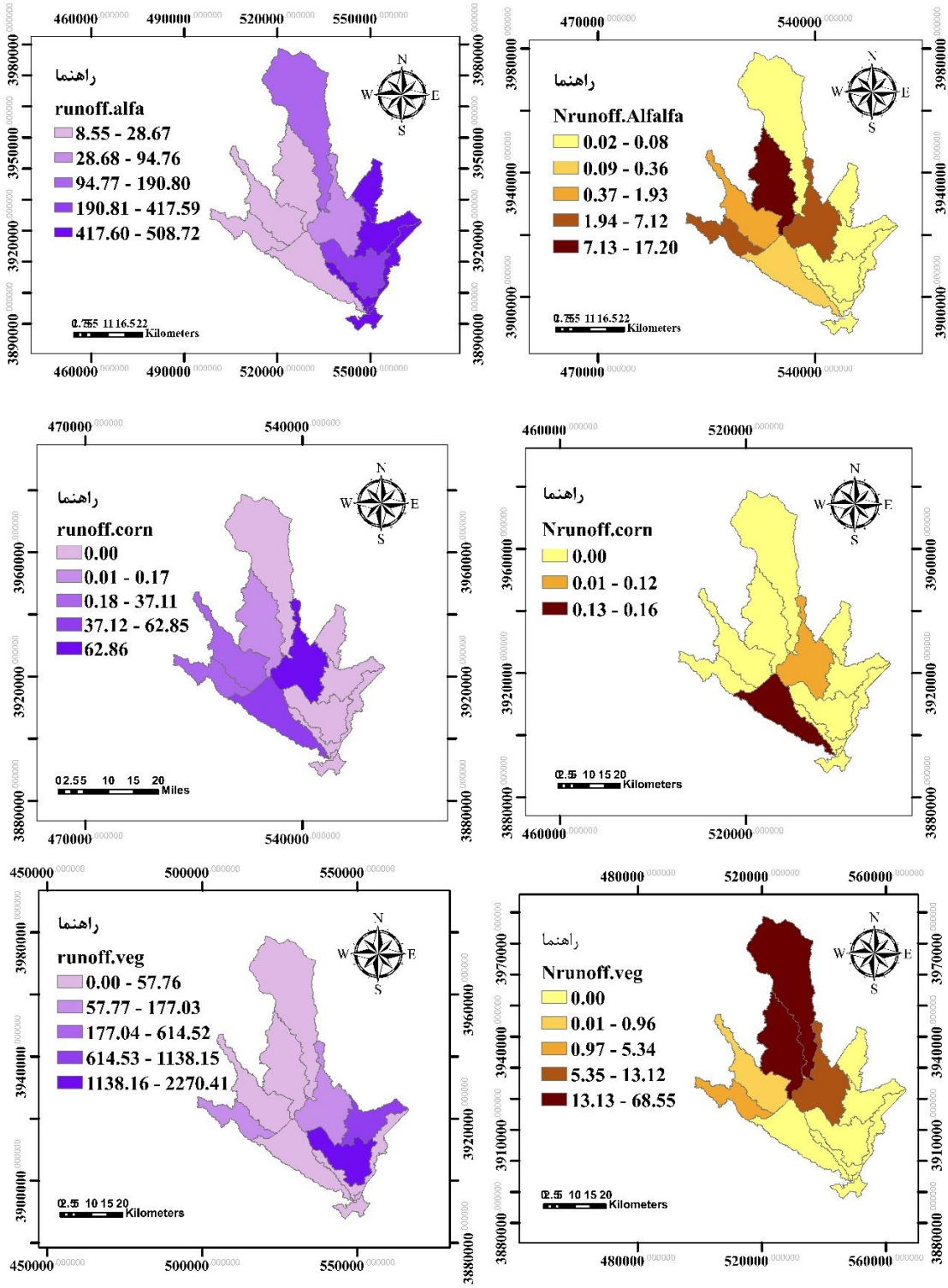
نام پارامتر	شرح پارامتر	محدودهٔ نهایی پارامتر
SFTMP	دمای بارش برف	۱/۵۲- ۶/۰۱
PCPMM	مقدار متوسط بارش باران در ماه (mm/dd)	-۱/۱۴ - -۰/۳۷
MSK_CO1	ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان پایه	۰/۳۶ – ۵/۹۵
HRU_SLP	متوسط تندی شیب	۰/۰۲۲ – ۰/۴۷
SOL_ALB	آلبیدو خاک مرطوب	-۰/۱۴- ۰/۳۳
SOL_ORGN	غلظت اولیه نیتروژن آلی در لایهٔ خاک (mg/kg)	۰-۱۰۰
MSK_CO2	ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان پایین	۲/۳۱- ۶/۹۲
CH_K2	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانهٔ اصلی	-۰/۰۱- ۴۵/۳۱
PCPSTD	انحراف معیار برای بارندگی روزانه در ماه‌ها (mm/dd)	-۰/۴۷-۰/۲۸
CN2	شمارهٔ منحنی نفوذ در شرایط متوسط رطوبتی	-۰/۲۶ - ۰/۱۴

جدول ۶. نتایج شاخص‌های آماری مدل SWAT

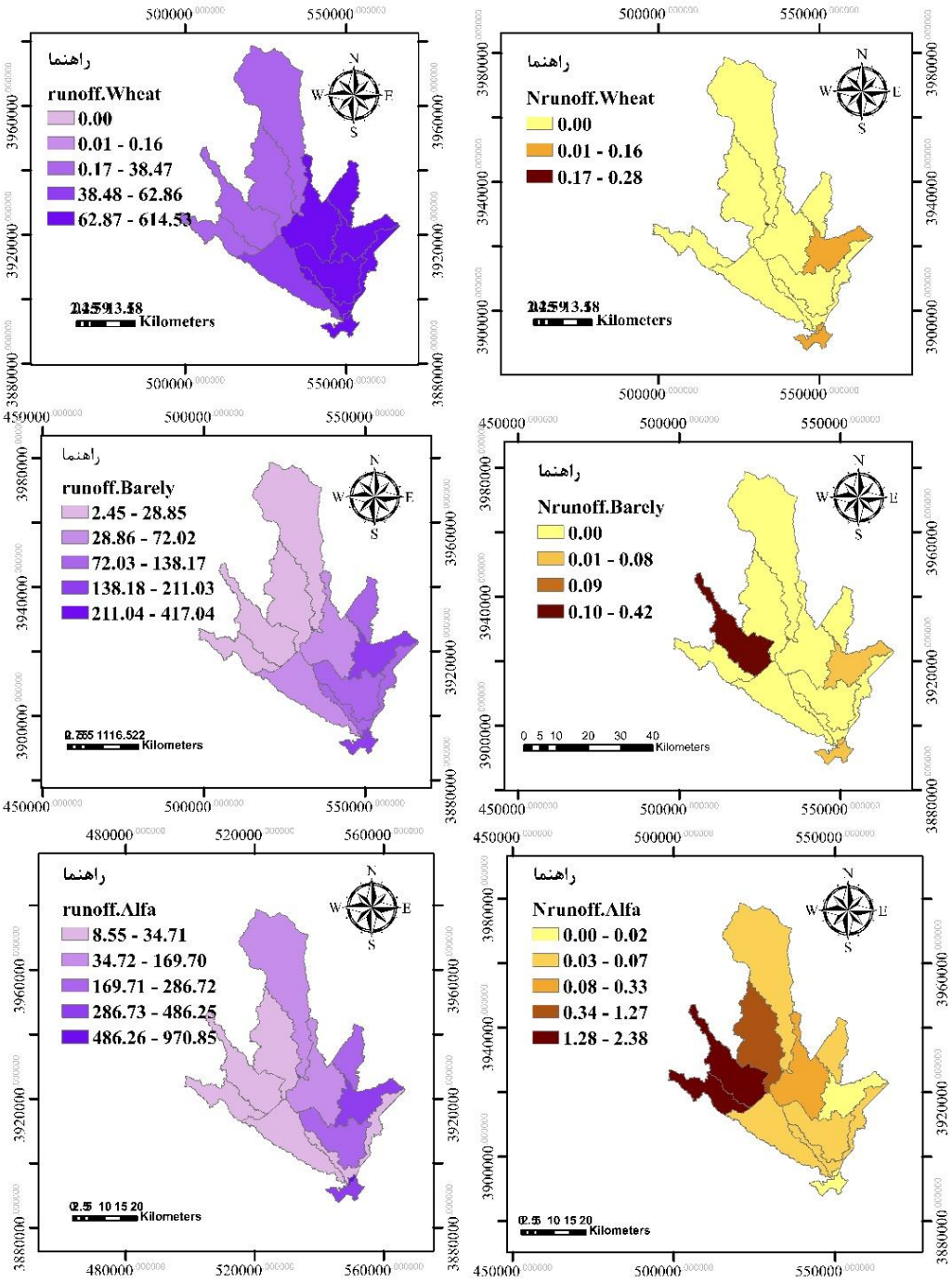
نام ایستگاه	واسنجی				اعتبارسنجی			
	ضریب تعیین (٪)	نش ساتکلیف	r-factor	p- factor(%)	ضریب تعیین (٪)	نش ساتکلیف	r-factor	p- factor(%)
شریف‌آباد (جریان)	۰/۶۳	۰/۵۳	۱/۸۷	۰/۵۰	۰/۷۴	۰/۶۳	۰/۸۵	۰/۶۱
پل سیمان (جریان)	۰/۸۶	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۷۵	۰/۵۳	۰/۵۲	۰/۹۴
پل سیمان (نیترات)	۰/۷۹	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۷۶	۰/۵۰	۰/۵۲



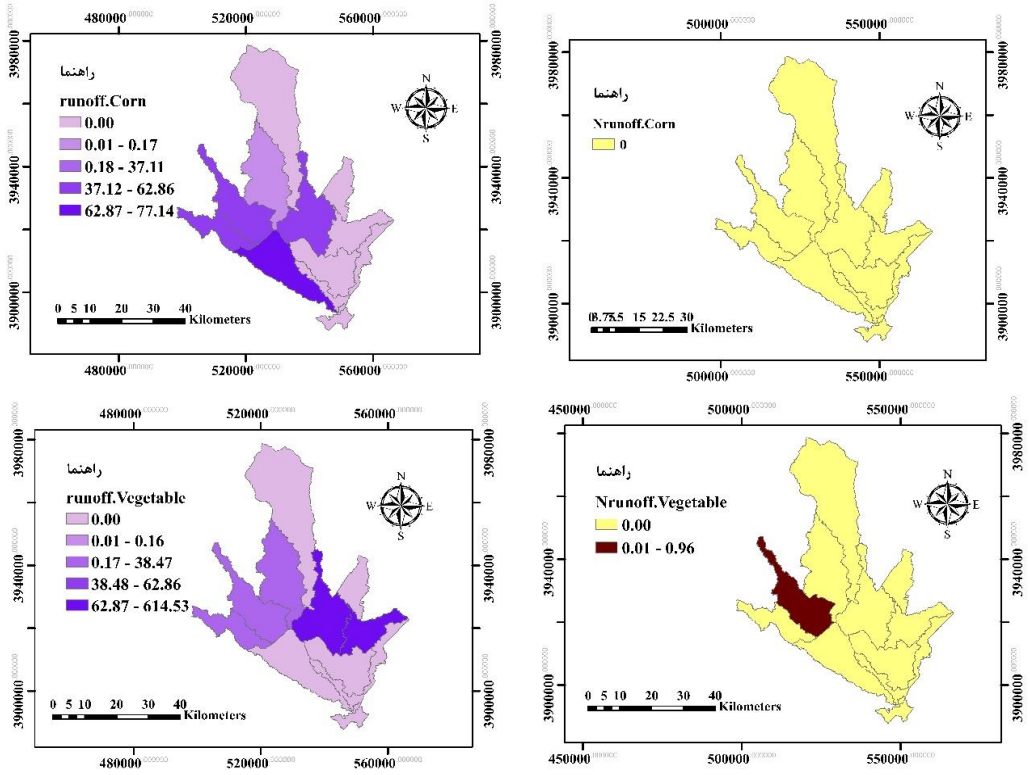
شکل ۶. میزان رواناب خروجی و میزان نیترات (NO_3)خروجی در هر هکتار از زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری در وضعیت موجود



ادامهٔ شکل ٦. میزان رواناب خروجی و میزان نیترات (NO_3)خروجی در هر هکتار از زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری در وضعیت موجود



شکل ۷. میزان رواناب خروجی و میزان نیترات (NO_3)خروجی در هر هکتار از زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری بعد از اجرای طرح



ادامهٔ شکل ۷. میزان رواناب خروجی و میزان نیترات (NO_3)خروجی در هر هکتار از زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری بعد از اجرای طرح

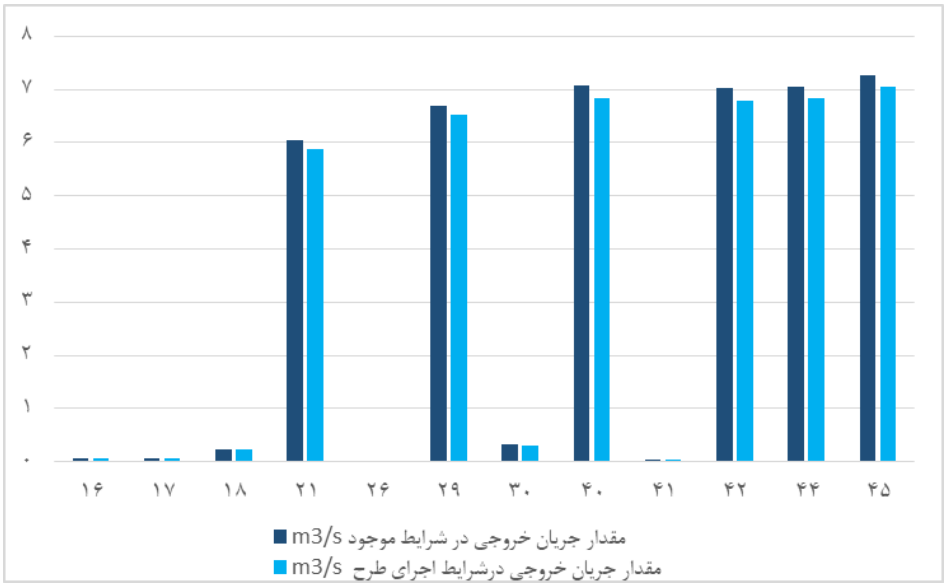
طبق شکل‌های ۶ و ۷ پس از اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران به دلیل کاهش مصرف آب به واسطهٔ افزایش راندمان آبیاری، میزان رواناب خروجی به طور متوسط از ۲۰۱ به ۸۴ متر مکعب در هکتار کاهش یافته است. به عنوان نمونه، میزان رواناب خروجی از هر هکتار زمین گندم و جو نسبت به شرایط موجود حدود ۱۳ درصد کاهش یافته و میزان رواناب خروجی از هر هکتار زمین یونجه نسبت به شرایط موجود حدود ۹ درصد کاهش یافته است.

پس از اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران به دلیل کاهش مصرف کود به واسطهٔ استفاده از پتانسیل کودی پساب حاصل از تصفیه‌خانه‌ها و جایگزینی پساب با آب آلوده برای آبیاری اراضی کشاورزی، میزان نیترات خروجی از هر هکتار زمین در محصولات مختلف بسیار اندک است، به طوری که میزان نیترات موجود در رواناب خروجی به طور متوسط از ۱۴ به ۰/۱ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است.

طبق شکل ۸، پس از اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران، مقدار جریان خروجی از زیرحوضه‌هایی که نواحی کشاورزی محدودهٔ طرح در آن‌ها واقع شده‌اند، به طور میانگین ۳ درصد کاهش یافته است.

طبق شکل ۹، پس از اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران، مقدار نیترات خروجی از زیر حوضه‌هایی که نواحی کشاورزی محدودهٔ طرح در آن‌ها واقع شده‌اند، به طور میانگین ۸۷ درصد کاهش یافته است. چون در صورت اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران، کشاورزان از پتانسیل کودی پساب به جای کود استفاده می‌کنند، این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات [۹، ۱۲ و۱۷] همخوانی دارد.

با حذف مصرف کود ازته برای محصولات زراعی پس از اجرای طرح ساماندهی آب‌های آلودهٔ جنوب تهران، در محدودهٔ طرح هزینه‌های کشاورز تحت تأثیر قرار می‌گیرد (جدول ۷).



شکل ۸. مقایسهٔ مقدار جریان خروجی در شرایط موجود و شرایط اجرای طرح، در زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری

شکل ۹. مقایسهٔ مقدار نیترات خروجی در شرایط موجود و شرایط اجرای طرح، در زیرحوضه‌های تحت پوشش شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری

جدول ۷. الگوی کشت، میزان کود ازته مصرفی* و هزینه‌های مربوط به آن در محدودهٔ طرح (هکتار، تن، و میلیون ریال)

نام محصول	الگوی کشت	میزان کود ازته مصرفی	هزینهٔ کود مصرفی	سهم هزینهٔ کود در کل هزینهٔ تولید
گندم	۷۱۰۰/۰۴	۲۱۰۱/۶۱	۲۳۱۱۷/۷۳	۷
جو	۲۳۰۰	۷۱۵/۳۰	۷۸۶۸/۳۰	۸
یونجه	۱۵۲۰/۰۵	۳۲۵/۲۹	۳۵۷۸/۲۰	۳
ذرت علوفه‌ای	۷۰۰۰	۱۸۹۶/۹۹	۲۰۸۶۶/۹۱	۵
میزان کاهش در کود مصرفی در محدودهٔ طرح:				۵۰۳۹/۱۹
میزان صرفه‌جویی در هزینه‌ها بابت استفاده از پتانسیل کودی پساب در محدودهٔ طرح:				۵۵۴۳۱/۱۴

*بر اساس الگوی کشت و اطلاعات هزینهٔ تولید دفتر آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی و ادارهٔ جهاد کشاورزی شهرستان ری در سال زراعی ۱۳۹۶ـ ۱۳۹۷

طبق جدول ۷، سهم هزینه‌های مربوط به کود ازته در کل هزینه‌های تولید کشاورزان حدود ۵/۵ درصد است که با ورود پساب به محدودهٔ طرح و استفاده از پتانسیل کودی پساب، می‌توان میزان مصرف کود ازته را ۵۰۳۹ تن کاهش داد که به واسطهٔ آن هزینه‌های کشاورزان محدوده تا ۵۵۴۳۱ میلیون ریال کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

با توجه به موقعیت مکانی و توپوگرافی شهر تهران حجم قابل توجهی از منابع آب سطحی در مسیل‌ها، نهرها و کانال‌های مناطق جنوبی تهران وارد می‌شود و در آبیاری زمین‌های دشت ری مورد استفاده قرار می‌گیرد. این منابع از بار آلودگی بسیار زیادی برخوردار است. به منظور رفع این معضل، طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران در شرکت آب منطقه‌ای تهران مورد مطالعه قرار گرفته است. از این‌رو در این مقاله، به بررسی اثرات استفاده از پساب در بخش کشاورزی جنوب استان تهران در شرایط ساخت تصفیه‌خانه‌های آب‌های سطحی و تأسیس شبکهٔ آبیاری و زهکشی ری و مقایسهٔ نتایج با شرایطی که در منطقه از آب آلوده برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود، پرداخته شد. با توجه به نتایج، میزان رواناب خروجی و میزان نیترات موجود در رواناب خروجی از هر هکتار محصولات، در شرایط اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی جنوب تهران نسبت به شرایط موجود کاهش داشته است. همچنین، با ورود پساب به محدودهٔ طرح و استفاده از پتانسیل کودی پساب، می‌توان میزان مصرف کود ازته را ۵۰۳۹ تن کاهش داد که به واسطهٔ آن هزینه‌های کشاورزان محدوده تا ۵۵۴۳۱ میلیون ریال کاهش می‌یابد. در نتیجه، اجرای طرح ساماندهی آب‌های سطحی آلودهٔ جنوب تهران اثرات محیط زیستی مثبتی به همراه خواهد داشت. نتایج حاصل‌شده از مطالعه با نتایج مطالعات انجام‌شده [۹، ۱۲، ۱۷] مطابقت دارد.

منابع

[1]. Abedi M.J, Najafi P. Use of treated wastewater in agriculture. National Committee for Irrigation and Drainage of Iran, Ministry of Energy. First Edition. Tehran. 2001. [Persian]

[2]. Qadir M, Wichelns D, Raschid-Sally L, Minhas PS, Drechsel P, Bahri A, van der Hoek W. Agricultural use of marginal-quality water: opportunities and challenges. 2007.

[3]. Salehi A, Tabari M, Mohammadi J, Arab p. The effect of irrigation with Urban wastewater on soil and growth of Tehran pine trees. Iranian Journal of Forests and Poplar.2007; 16(2): 186-196. [Persian]

[4]. Hassan Aqli A. Use of domestic wastewater and wastewater treatment plants in irrigation of agricultural products and artificial nutrition of groundwater aquifers. Doctoral dissertation, University of Tehran. 2003. [Persian]

[5]. Asano T, Levine A.D. Wastewater reclamation, recycling and reuse: past, present, and future. Water science and technology. 1996; 33(10-11): 1-14.

[6]. Jenkins D, Russell L.L. Heavy metals contribution of household washing products to municipal wastewater. Water Environment Research. 1994; 66(6): 805-813.

[7]. Vakili b. Wastewater treatment and reuse in agriculture. Journal of Water and Wastewater. 1996; 42: 47-16. [Persian]

[8]. Amini M, Ebrahimian H. Investigation of nitrate leaching and nitrogen uptake by maize under irrigation conditions with raw and treated effluent. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). 2016; 31(3): 785-796. [Persian]

[9]. Molina-Navarro E, Trolle D, Martínez-Pérez S, Sastre-Merlín A, Jeppesen E. Hydrological and water quality impact assessment of a Mediterranean limno-reservoir under climate change and land use management scenarios. Journal of Hydrology. 2014; 509: 354-366.

[10]. Mohammadi M, Kavian A, slavery l. Simulation of water flow and nitrate in Talar watershed using SWAT model. Watershed Management Research Journal. 2017; 8. (15): 45-60. [Persian]

[11]. Lam Q.D, Schmalz B, Fohrer N. The impact of agricultural Best Management Practices on water quality in a North German lowland catchment. Environmental monitoring and assessment. 2011; 183(1): 351-379.

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

[13]. Ullrich A, Volk M. Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of alternative management practices on water quality and quantity. Agricultural Water Management. 2009; 96(8): 1207-1217.

[14]. Ouyang W, Hao F.H, Wang X.L, Cheng H.G. Nonpoint source pollution responses simulation for conversion cropland to forest in mountains by SWAT in China. Environmental management. 2008; 41(1): 79-89.

[15]. Bärlund I, Kirkkala T, Malve O, Kämäri J. Assessing SWAT model performance in the evaluation of management actions for the implementation of the Water Framework Directive in a Finnish catchment. Environmental Modelling & Software. 2007; 22(5): 719-724.

[16]. Abbaspour K.C, Yang J, Maximov I, Siber, R, Bogner K, Mieleitner J, Srinivasan R. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. Journal of hydrology. 2007; 333(2-4): 413-430.

[17]. Pohlert T, Huisman J.A, Breuer L, Frede H.G. Modelling of point and non-point source pollution of nitrate with SWAT in the river Dill, Germany. Advances in Geosciences. 2005; 5: 7-12.

[18]. Tripathi M.P, Panda R.K, Raghuwanshi N.S, Singh R. Hydrological modelling of a small watershed using generated rainfall in the soil and water assessment tool model. Hydrological processes. 2004; 18(10): 1811-1821.

[19]. Saleh A, Du B. Evaluation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas. Transactions of the ASAE. 2004; 47(4): 1039.

[20]. Borah D.K, Bera M. Watershed-scale hydrologic and nonpoint-source pollution models: Review of applications. Transactions of the ASAE. 2004; 47(3): 789.

[21]. Jury, W. A., W. R. Gardner, and W. H. Gardner., 1991. Soil Physics. John Wiley and Sons, Inc. New York, New York.

[22]. Thomas G.W, M. McMahon. The relation between soil characteristics, water movement and nitrate concentration of ground water. Unive. of Kentucky Water Resources Institute Research Report No. 52, Lexington, KY.1972.

[23]. Abbaspour K.C. SWAT calibration and uncertainty programs. A User Manual. Eawag Zurich, Switzerland, 20. 2008.

[24]. Hyung Kyung J, Jong Yoon P, Hyun Kyo J. Hyun Hin S, Hyung Joong K, Seong Joon K. The Uncertainity Analaysis of SWAT Simulated Streamflow and Water Quaility Applied to Chungju Dam Watershed of South Korea for climate change analysis. Agric. Sys. 2011; 38(3): 225-238.