مدیریت تلفیقی آب و کود نیتروژن در مزارع نیشکر دارای سیستم‌های زهکشی زیرزمینی با استفاده از مدل‌سازی با رویکرد پویایی سیستم

محمد مهدی متین زاده[۱]، جهانگیر عابدی کوپایی[۱*]، محمد شایان‌نژاد[۱]، عدنان صادقی لاری[۲] و حامد نوذری[۳]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/٤/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۳)

چکیده

در مزارعی که زهکش‌های زیرزمینی در عمق زیاد نصب شده‌اند نظیر کشت و صنعت‌های خوزستان، با مدیریت آب و کود در سطح مزرعه می‌توان، کارایی مصرف آب را افزایش و همچنین حجم زه‌آب خروجی و تلفات کودی و سایر آلاینده‌ها را کاهش داد. در این پژوهش از یک مدل جامع شبیه‌سازی چرخه آب و دینامیک نیتروژن در زمین‌های کشاورزی تحت پوشش سیستم‌های زهکشی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری و کود استفاده شد. به‌منظور کاهش آب مصرفی و کاهش تلفات کود اوره در یکی از مزارع کشت و صنعت امام خمینی، پنج سناریوی مختلف مدل‌سازی شامل چهار سناریوی مدیریت آب آبیاری به میزان ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد کاهش در مقدار آب آبیاری (I_1، I_2، I_3 و I_4) نسبت به وضعیت موجود آبیاری در این کشت و صنعت (I_0)، و یک سناریوی مدیریت توأم آب و کود (۲۰ درصد کاهش مقدار آب آبیاری و ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره، I_4F) برای شبیه‌سازی و مقایسه حجم زه‌آب تولیدی، تلفات نیترات و آمونیوم توسط سیستم زهکشی و میزان نیتروژن باقیمانده در خاک اجرا شد. نتایج مدل‌سازی نشان داد که سناریو I_4F، باعث کاهش شدت زهکشی تجمعی، تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب، مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و تلفات تجمعی نیرات‌زدایی به‌ترتیب برابر با ۳۱، ۷۰، ۷۱، ۷۰، و ۸۵ درصد می‌شود که علاوه بر آن‌که باعث صرفه‌جویی در آب و کود مصرفی می‌شود، باعث کاهش مؤثر در آلودگی محیط زیست می‌شود. بنابراین، سناریوی I_4F (آبیاری به مقدار ۲٦٥٦ میلی‌متر برای شش ماه و ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره) برای نیشکر در کشت و صنعت نیشکر امام خمینی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: مصرف بهینه آب آبیاری، مصرف بهینه کود اوره، مدیریت تلفیقی آب و کود، تلفات نیترات‌زدایی، مدل متین‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان
۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: koupai@cc.iut.ac.ir

مقدمه

بر اساس گزارش مؤسسه بین المللی مدیریت آب (IWMI)، کشور ایران برای حفظ وضع فعلی خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید (۸). این امر با توجه به پتانسیل‌ها و نیازهای روزافزون بخش‌های کشاورزی، شرب، صنعت و حفاظت از سایر منابع زیستی بسیار مشکل و حتی ناممکن است. بنابراین، در چنین شرایطی یکی از راهکارهای مؤثر و عملی، استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. در این میان، مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی که بخش عمده‌ای از مصارف آب در ایران و جهان را نیز شامل می‌شود، می‌تواند بسیار مؤثر و راهگشا باشد (۱). مدیریت آب آبیاری در اراضی تحت پوشش سیستم‌های زهکش زیرزمینی از دو جنبه حائز اهمیت است: ۱- به لحاظ استفاده بهینه از منابع آب و افزایش راندمان کاربرد و کارایی مصرف آب و ۲- به لحاظ کاهش حجم زه‌آب تولیدی و در نتیجه کاهش تلفات کودی و سایر آلاینده‌ها.

اگرچه زهکشی امکان تولید محصول را در خاک‌های غرقابی و شور فراهم می نماید اما زه‌آب خروجی از زهکش‌ها آلاینده‌هایی مانند مواد مغذی، سموم دفع آفات و سایر مواد آلوده‌کننده را به آب‌های سطحی و زیرزمینی منتقل می‌سازند. پژوهش‌های پیشین نشان داده است که کل شدت جریان خروجی از زهکش عامل تلفات است به‌طوری که هر چه شدت جریان زهکشی بیشتر باشد تلفات نیز بیشتر می‌شود (۹، ۱۱، ۱۴، ۳۲ و ۳۴).

نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی برای رشد بسیاری از گیاهان است و کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی مورد استفاده قرار می‌گیرد و بقیه از طریق آبشویی، رواناب و تصعید گازی از دسترس گیاه خارج و تلف می‌شود (۱۸). صرف نظر از ارزش اقتصادی، تلفات این نهاده مهم سبب مشکلات زیست محیطی می‌شود (۳ و ۳۱). در سیستم زهکش زیرزمینی پتانسیل برای آبشویی نیترات و در نتیجه آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار زیاد است. نیترات یکی از آلاینده‌های مهم منابع آب است که در اثر استفاده بی‌رویه از کودهای نیتروژنی و از طریق زه‌آب‌های کشاورزی انتقال می‌یابد.

با توجه به اینکه یکی از عوامل عمده آبشویی نیتروژن از منطقه ریشه اعمال مقادیر بالای آب آبیاری است، لذا راهکار مدیریت آبیاری می‌تواند نقش مهمی در حفظ و کنترل نیتروژن در منطقه ریشه و افزایش میزان جذب آن به‌وسیله گیاه داشته باشد (۱۲، ۱۶ و ۲۹). از طرف دیگر، در مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده بی‌رویه از کودهای نیتروژن و آبیاری بیش از حد، عوامل اصلی افزایش غلظت نیترات در آب‌های زیرزمینی هستند. بنابراین، مدیریت مناسب آب و عناصر غذایی برای کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی و افزایش بازده مصرف عناصر غذایی و تولید در نواحی فاریاب ضروری است (۲۵).

در مزارع تحت پوشش سیستم زهکش زیرزمینی، برای افزایش راندمان کاربرد و افزایش کارایی مصرف آب و همچنین کاهش حجم زه‌آب خروجی و کاهش تلفات کودی و سایر آلاینده‌ها چهار راهکار وجود دارد: ۱- استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری تحت فشار یا ارتقاء (بهبود) سیستم آبیاری سطحی، ۲- استفاده از روش زهکش کنترل شده، ۳- مدیریت آب آبیاری در مزارع با سیستم زهکشی آزاد (متداول) و ٤- کود مصرفی باید به مقدار بهینه مصرف شود.

در زمینه مدیریت تلفیقی آب و کود، بهمنی و همکاران (٤)، در پژوهشی به بررسی میزان تجمع نیترات و آمونیوم در نیمرخ خاک در طی اعمال تیمارهای مختلف آبیاری و کود اوره در منطقه خوزستان پرداختند. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری کامل I_1 و سایر تیمارها ۸۵ درصد (I_2) و ۷۰ درصد (I_3) از مقدار تیمار I_1 و تیمارهای کود نیتروژن شامل ۱۵۰ (N_1)، ۲۵۰ (N_2) و ۳۵۰ (N_3) کیلوگرم در هکتار کود اوره بود. نتایج آنها حاکی از آن است که، میزان سطح کود و آب کاربردی تأثیر بسزایی در تجمع آمونیوم و نیترات در خاک دارد. بیشترین مقدار تجمع نیترات در خاک، در تیمار (I_3N_3) و بیشترین مقدار تجمع آمونیوم در خاک، در تیمارهای (I_3N_3) و (I_3N_2) در طول مطالعه به ثبت رسید. همچنین، بهارا و پاندا (١٤)، تأثیر مدیریت آب و

کود را بر عملکرد و سایر خصوصیات گیاه گندم به صورت آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل DSSAT بررسی کردند. تیمارهای آبیاری شامل آبیاری ۱۰، ٤٠ و ٦٠ درصد تخیله ازکل آب قابل دسترس گیاه (I_1، I_2 و I_3) و تیمارهای کود نیتروژن شامل ۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱٦۰ (N_1، N_2، N3 و N_4) کیلوگرم در هکتار بودند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان داد که مقادیر عملکرد دانه، عملکرد کاه و حداکثر شاخص سطح برگ گندم در تیمار I_1N_4 بیشتر از سایر تیمارها است اما با افزایش مقدار کود تا تیمار N4 باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی می‌شود.

در زمینه روش زهکشی کنترل‌شده، بونایتی و بورین (٦)، روش زهکشی کنترل شده و آزاد را در شمال شرقی ایتالیا مورد آزمایش قرار دادند. نتایج پژوهش آنها حاکی از آن بود که کمترین میزان غلظت نیترات زه‌آب مربوط به روش زهکشی کنترل‌شده است. صادقی و همکاران (۲۳)، با استفاده از روش زهکشی کنترل‌شده به این نتیجه دست یافتند که حجم زه‌آب و میزان تلفات نیتروژن در زهکشی کنترل‌شده به‌طور قابل ملاحظه‌ای در مقایسه با زهکش آزاد کاهش می‌یابد. وستروم و مسینگ (۳۰) و وهبا و همکاران (۲۸) اثرات زهکشی کنترل‌شده بر تلفات نیتروژن و فسفر از خاک را در مزارع با زهکشی کنترل‌شده و زهکشی آزاد مورد بررسی قرار دادند. بر اساس گزارش آن‌ها، زهکشی کنترل‌شده اثرات قابل توجهی در کاهش تلفات مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر از طریق جریان زه‌آب خروجی از زهکش‌های کنترل شده در مقایسه با زهکشی آزاد، از خود نشان دادند. به‌این‌ترتیب، با وجود اینکه پژوهش‌های متعددی در مورد تأثیر زهکش کنترل‌شده بر میزان حجم زه‌آب خروجی و آبشویی نیتروژن صورت گرفته است، اما اثر مدیریت آب آبیاری و همچنین مدیریت توأم آب و کود بر حجم زه‌آب، نیتروژن باقیمانده در خاک و تلفات نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی در یک سیستم زهکش زیرزمینی آزاد (متداول) و در مقیاس مزرعه‌ای بررسی نشده است. بنابراین، هدف از این پژوهش، مدل‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری و همچنین، مدیریت توأم آب و کود در مزارع نیشکر بر مبنای روش تحلیل پویایی سیستم، برای کاهش حجم زه‌آب و کاهش تلفات نیترات و آمونیوم توسط سیستم زهکش آزاد و افزایش نیتروژن باقیمانده در خاک در مقیاس مزرعه است.

مواد و روش‌ها

توصیف مدل توسعه‌یافته با استفاده از رویکرد پویایی سیستم

به‌منظور شبیه‌سازی مقدار حجم زه‌آب، نیتروژن باقیمانده در خاک و تلفات نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی، از مدل شبیه‌سازی دینامیک نیتروژن در اراضی تحت پوشش سیستم زهکشی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم ارائه شده در پژوهش متین‌زاده و همکاران (۱۹)، استفاده شد که جزئیات بیشتر در این مرجع توضیح داده شده است. به‌صورت مختصر، این مدل دارای دو زیر مدل هیدرولوژیکی و زیر مدل چرخه نیتروژن است. خروجی‌های مدل هیدرولوژیکی شامل شبیه‌سازی رطوبت در لایه‌های مختلف خاک، میزان جریان روبه بالا، نوسانات سطح ایستابی و شدت جریان خروجی از لوله زهکش است و خروجی‌های زیر مدل چرخه نیتروژن شامل شبیه‌سازی واکنش‌های انحلال کود، نیتریفیکاسیون، دنیتریفیکاسیون، تصعید آمونیوم، برداشت نیتروژن توسط گیاه، جذب آمونیوم توسط ذرات خاک، معدنی شدن، عدم تحرک، جریان روبه بالا، تلفات نیتروژن در رواناب سطحی و تلفات نیتروژن ناشی از سیستم زهکشی می‌باشد، که مقیاس زمانی این متغیرهای هیدرولوژیکی و دینامیک نیتروژن به صورت روزانه است.

برای واسنجی و ارزیابی مدل شبیه‌سازی متین‌زاده و همکاران (۱۹)، از داده‌های اندازه‌گیری شده در پژوهش صادقی (۲۲)، استفاده شد، که شامل داده‌های اندازه‌گیری شده در سال ۱۳۹۰ از مزرعهٔ B-129 با مساحت ۲۱ هکتار، واقع در کشت و صنعت نیشکر امام خمینی (یکی از واحدهای هفت‌گانه کشت و صنعت نیشکر) در خوزستان می‌باشد. بنابراین، از این مدل واسنجی و ارزیابی شده برای شبیه‌سازی و بررسی سناریوهای

مختلف مدیریت آب آبیاری در مزارع واقع درکشت و صنعت نیشکر امام خمینی استفاده شد.

منطقه مورد پژوهش

کشت و صنعت نیشکر امام خمینی، بخشی از دشت شعیبیه خوزستان به مساحت ناخالص ۱۵۸۰۰ هکتار است که در ٤٠ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ۵۰ کیلومتری شمال اهواز قرار گرفته است. زمین‌های کشاورزی این واحد، به قطعات منظم ۲۰ و ۲۵ هکتاری (۸۰۰×۲۵۰) و (۱۰۰۰×۲۵۰) تقسیم شده است و در مجموع دارای ٤٨٠ مزرعه است (شکل (۱)). در این منطقه متوسط درجه حرارت سالیانه ۲٤/۵ درجه سانتی‌گراد، بارندگی متوسط سالیانه ۲٦٦ میلی‌متر، تبخیر متوسط سالیانه ۲۷۸۸ میلی‌متر و ارتفاع متوسط از سطح دریا ٤۲ متر می‌باشد (۱۷).

سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری

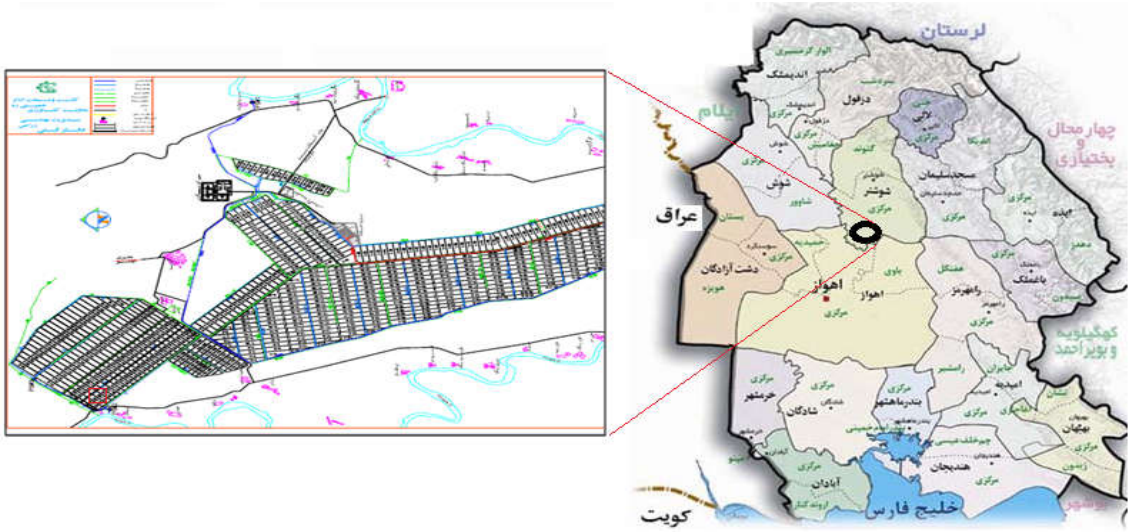
تبخیر- تعرق گیاه، یکی از عوامل مهم برای تعیین آب مورد نیاز گیاه، برنامه‌ریزی آبیاری و به‌طور کلی مدیریت آب آبیاری در سطح مزرعه است. نیاز آبی نیشکر با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، نوع واریته و سال کشت آن (کشت جدید یا بازرویی) متفاوت است. با توجه به اینکه نوع واریته نیشکر این پژوهش CP48-103 است، لذا از نتایج پژوهش برومندنسب و همکاران (۷)، که نیاز آبی نیشکر واریته CP48-103 را برای کشت جدید و بازرویی اول به‌ترتیب ۲٥٦٤ میلی‌متر در سال و ۱۹۲۵ میلی‌متر در سال تعیین کردند، استفاده شد. آبیاری اراضی نیشکر در این پژوهش، به مدت شش ماه از سال انجام شد که زمان و مقدار آب آبیاری در ماه‌های مختلف به‌ترتیب برابر با اردیبهشت ۵۱۰ میلی‌متر، خرداد ٦۱۰ میلی‌متر، تیر ٦۲۰ میلی‌متر، مرداد ٦۳۰ میلی‌متر، شهریور ۵۳۰ میلی‌متر و مهر ٤۲۰ میلی‌متر و در کل به مقدار ۳۳۲۰ میلی‌متر بود. با توجه به پژوهش برومندنسب و همکاران (۷)، مقدار تجمعی نیاز آبی نیشکر برای کشت جدید در این شش ماه برابر با ۲۱۷۳ میلی‌متر است. بنابراین، چهار سناریوی مختلف مدل‌سازی مدیریت آب آبیاری شامل ۵ درصد کاهش مقدار آب آبیاری (۳۱٥٤ میلی‌متر، سناریوی I_1)، ۱۰ درصد کاهش مقدارآب آبیاری (۲۹۸۸ میلی‌متر، سناریوی I_2)، ۱۵ درصد کاهش مقدارآب آبیاری (۲۸۲۲ میلی‌متر، سناریوی I_3) و ۲۰ درصد کاهش مقدارآب آبیاری (۲٦٥٦ میلی‌متر، سناریوی I_4) و همچنین سناریوی وضعیت موجود (۳۳۲۰ میلی‌متر، سناریوی شاهد I_0) برای مدل‌سازی و مقایسه حجم زه‌آب تولیدی، تلفات نیترات و آمونیوم توسط سیستم زهکشی و میزان نیتروژن باقیمانده در خاک در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری اجرا شد. لازم به ذکر است کود اوره مصرفی در کلیه سناریوهای I_1، I_2، I_3 و I_4 به میزان ٤۵۰ کیلوگرم در هکتار مطابق با وضعیت موجود در مزرعهٔ B-129 در کشت و صنعت امام خمینی، در نظر گرفته شد.

مدیریت توأم آب و کود

مدیریت توأم آب و کود، یک راهکار مناسب برای حفظ منابع آب، کاهش آلودگی محیط زیست و دستیابی به عملکرد مطلوب است. کود اوره در اراضی نیشکر در این پژوهش، به میزان ٤۵۰ کیلوگرم در هکتار به کار برده شد. عباسی و همکاران (۲) و متین‌زاده و همکاران (۱۹)، مقدار کود اوره بهینه را برای نیشکر درکشت و صنعت، ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار توصیه کردند. بنابراین، برای مدل‌سازی مدیریت توأم آب و کود، سناریوی ۲۰ درصد کاهش مقدارآب آبیاری (۲٦٥٦ میلی‌متر) به همراه مصرف ۲۱۰ کیلو گرم بر هکتار کود اوره (سناریوی I_4F)، برای مقایسه حجم زه‌آب تولیدی، تلفات نیترات و آمونیوم توسط سیستم زهکشی و میزان نیتروژن باقیمانده در خاک نسبت به وضعیت موجود در این کشت و صنعت، اجرا شد.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل‌سازی چهار سناریوی مدیریت آب آبیاری، در جدول‌های (۱) تا (٤) و در شکل‌های (۲) تا (۱۰) و همچنین نتایج حاصل از مدل‌سازی یک سناریو مدیریت توأم آب و کود، در جدول (۵) و در شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) ارائه شده است که به صورت جداگانه در زیر تشریح می‌شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد پژوهش (کشت و صنعت امام خمینی)

تراز سطح ایستابی

همان‌طور که در جدول (۱) و شکل (۲) مشاهده می‌شود با کاهش میزان آب آبیاری از سناریوی I_1 تا I_4، مقادیر عمق سطح ایستابی تا سطح زمین افزایش می‌یابد. بیشترین عمق متوسط سطح ایستابی مربوط به سناریو I_4 و به میزان ۱/۳۷ متر و کمترین عمق متوسط سطح ایستابی مربوط به سناریو I_0 و به میزان ۱/۰۷ متر بدست آمد.

برای ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی در کنترل سطح ایستابی به هنگام اجرای سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری، از شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی Relative Ground Water Depth (RGWD) استفاده شد. این شاخص که به صورت کسر، متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره بر حسب متر به عمق مطلوب سطح ایستابی در طول دوره بر حسب متر تعریف می‌شود، در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ تغییر می‌کند (۲۱). مقادیر این شاخص، با در نظر گرفتن عمق مطلوب سطح ایستابی برای کشت نیشکر معادل با ۱/۲ متر (۲٤)، در جدول (۱) ارائه شده است.

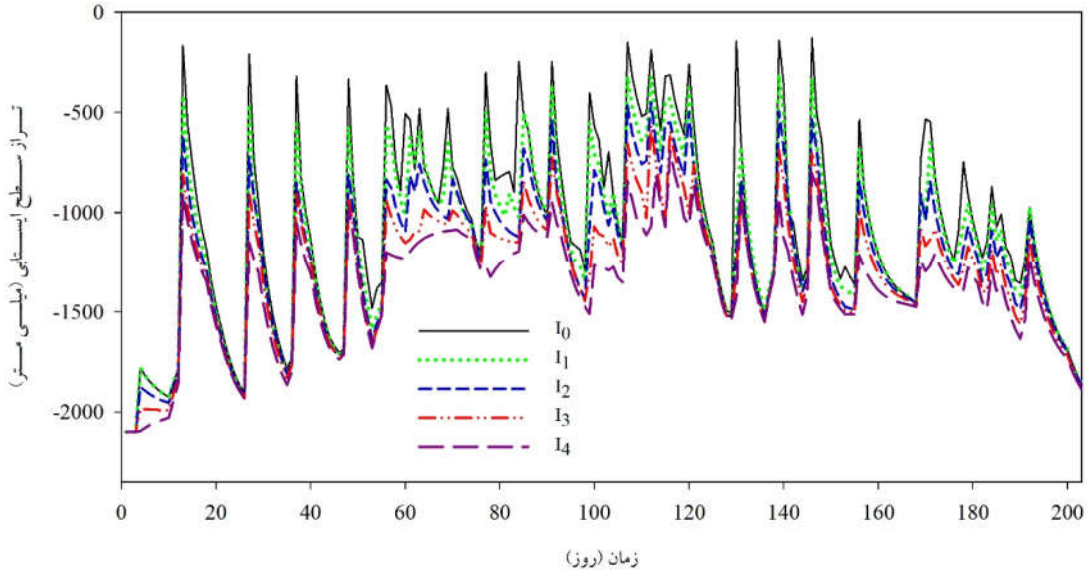
مطابق با جدول (۱) مقدار شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی از سناریو I_0 تا I_4، افزایش می‌یابد که بیشترین مقدار آن مربوط به سناریوی I_4 به مقدار ۱/۱٤ می‌باشد که نشان‌دهنده عملکرد خوب سیستم زهکشی به ازای سناریوی مدیریت آب I_4 می‌باشد.

شدت جریان زهکشی

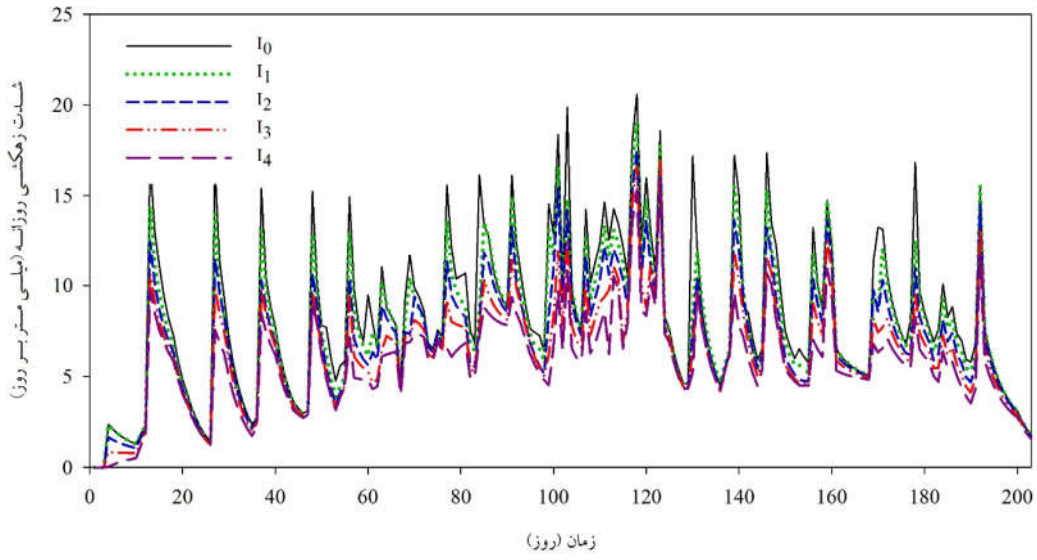
طبق شکل‌های (۳) و (٤) مقدار شدت جریان زهکشی روزانه و شدت جریان زهکشی تجمعی از سناریو I_0 تا I_4 کاهش می‌یابد. زیرا با کاهش مقدار آب آبیاری، تراز سطح ایستابی کاهش و در نتیجه مقدار شدت جریان زهکشی روزانه و شدت جریان زهکشی تجمعی نیز کاهش می‌یابد. جدول‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهند بیشترین شدت جریان زهکشی تجمعی، مربوط به سناریو I_0 و به مقدار ۱٦۸۷/۳ میلی‌متر و کمترین شدت جریان زهکشی تجمعی مربوط به سناریو I_4 و به میزان ۱۱٦٤/٤ میلی‌متر بدست آمد. بنابراین، با اعمال ۲۰ درصد کاهش در مقدار آب آبیاری (سناریو I_4)، شدت جریان زهکشی تجمعی به مقدار ۳۱ درصد نسبت به سناریوی شاهد (I_0) کاهش می‌یابد که این مقدار تأثیر بسزایی در کاهش تلفات کودی و سایر آلاینده‌ها در اثر زهکشی دارد.

جدول۱. نتایج مدل‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری برای تراز سطح ایستابی

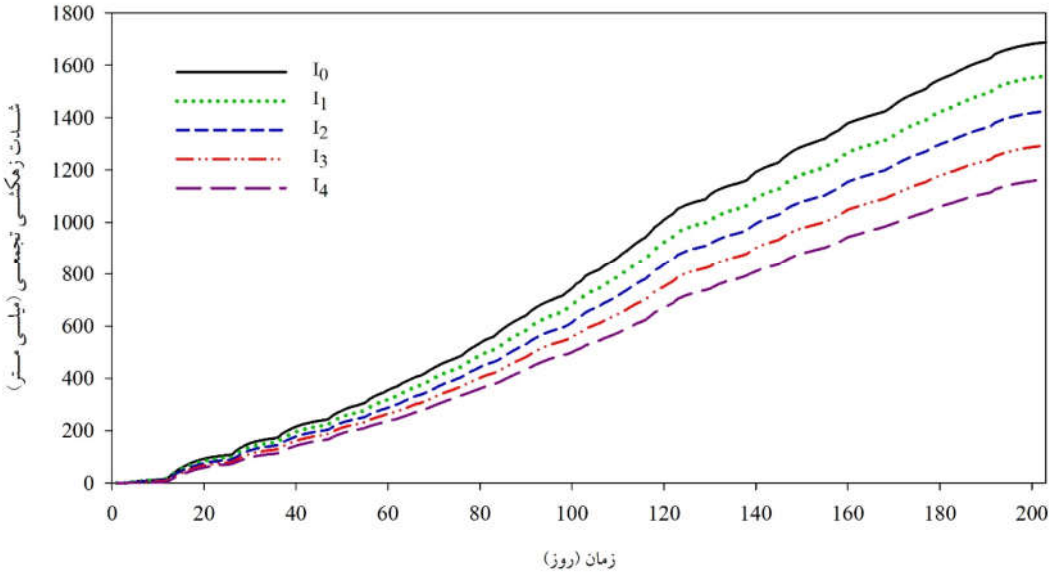
عوامل	سناریو				
	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4
متوسط عمق سطح ایستابی (متر)	۱/۰۷	۱/۱٤	۱/۲۲	۱/۲۹	۱/۳۷
شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی (-)	۰/۸۹	۰/۹۵	۱/۰۱	۱/۰۸	۱/۱٤



شکل ۲. مقایسه تراز سطح ایستابی شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان (از ۱۳۹۰/۰۱/۲۵ تا ۱۳۹۰ /۰۸/۱۱) (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۳. مقایسه شدت جریان زهکشی روزانه شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان (رنگی در نسخه الکترونیکی)



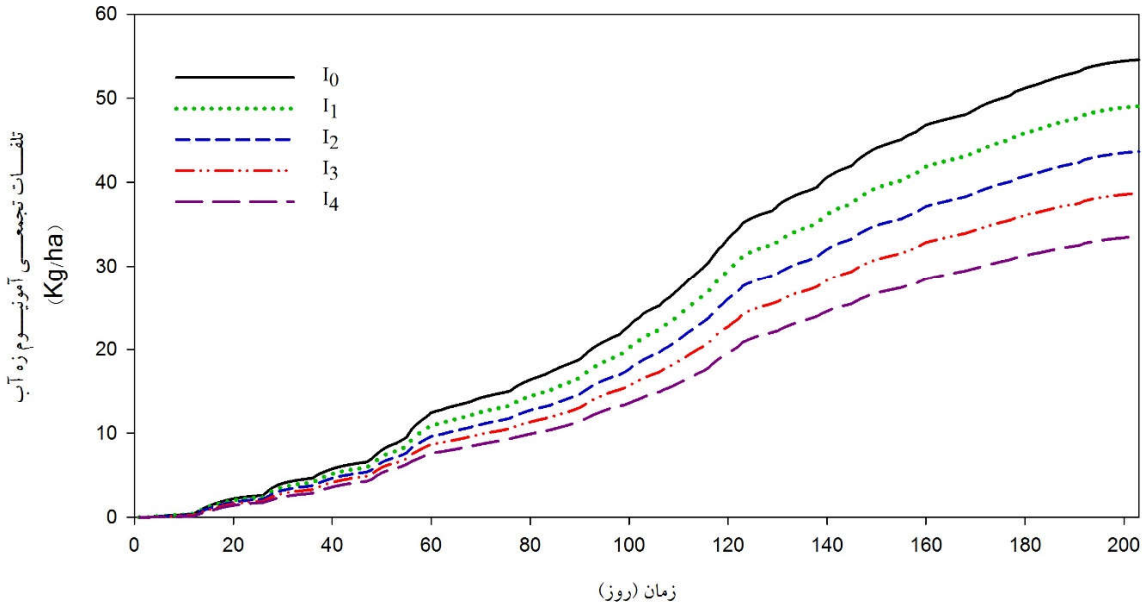
شکل ٤. مقایسه شدت جریان زهکشی تجمعی شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان

جدول ۲. نتایج مدل‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری

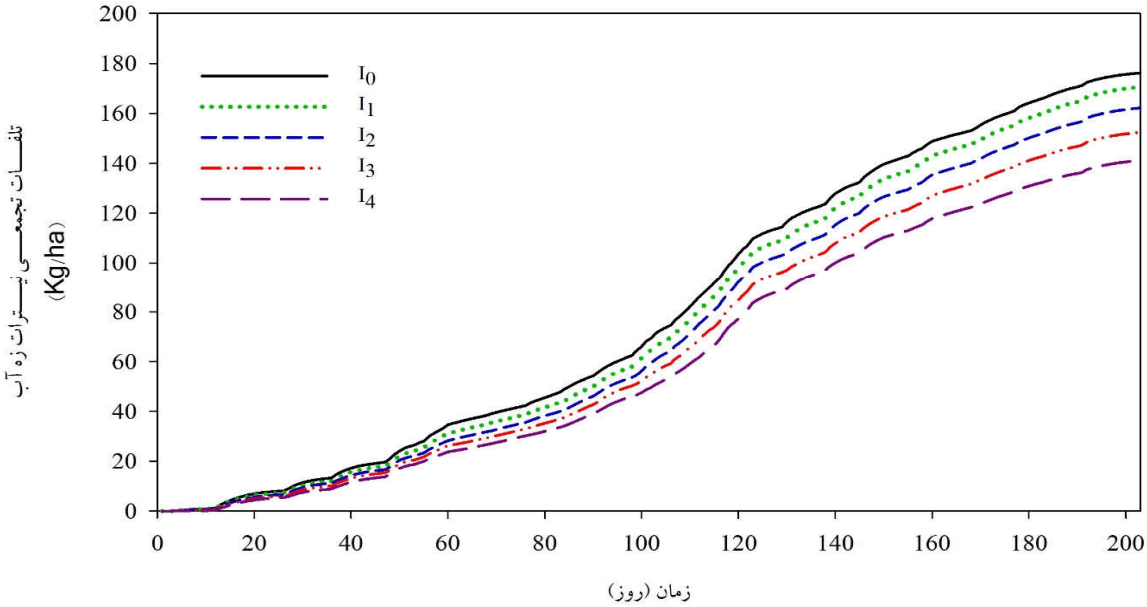
سناریو	عوامل				
	شدت زهکشی تجمعی (mm)	تلفات تجمعی آمونیوم زه‌آب (kg/ha)	تلفات تجمعی نیترات زه‌آب (kg/ha)	مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب (kg/ha)	تلفات تجمعی نیترات‌زدایی (kg/ha)
I_0	١٦٨٧/٣	٥٤/٦	١٧٦/١	٢٣٠/٧	٣٥/٩
I_1	١٥٥٩/١	٤٩/١	١٧٠/٥	٢١٩/٦	٢٧/٥
I_2	١٤٢٥/٠	٤٣/٧	١٦٢/١	٢٠٥/٨	٢١/٦
I_3	١٢٩٤/٤	٣٨/٧	١٥٢/٣	١٩١/١	١٥/٧
I_4	١١٦٤/٤	٣٣/٦	١٤١/١	١٧٤/٦	١٠/٦

جدول ۳. درصد کاهش عوامل مورد نظر در سناریوهای مدل‌سازی مختلف مدیریت آب آبیاری

سناریو	عوامل				
	شدت زهکشی تجمعی (٪)	تلفات تجمعی آمونیوم زه‌آب (٪)	تلفات تجمعی نیترات زه‌آب (٪)	مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب (٪)	تلفات تجمعی نیترات‌زدایی (٪)
I_1	٨	١٠	٣	٥	٢٣
I_2	١٦	٢٠	٨	١١	٤٠
I_3	٢٣	٢٩	١٤	١٧	٥٦
I_4	٣١	٣٨	٢٠	٢٤	٧١



شکل ۵. مقایسه تلفات تجمعی آمونیوم زه‌آب شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان



شکل ٦. مقایسه تلفات تجمعی نیترات زه‌آب شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان

تلفات نیترات و آمونیوم زه‌آب

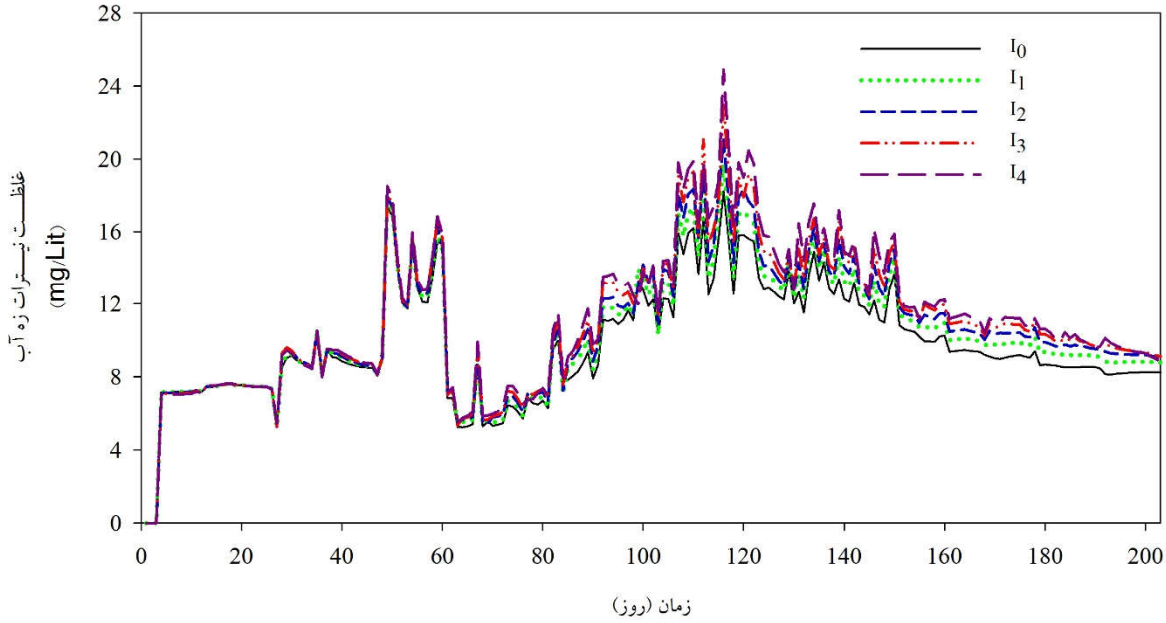
جدول‌های (۲) و (۳) و شکل‌های (۵) و (٦) نشان می‌دهند که با کاهش میزان آب آبیاری از سناریوی I_1 تا I_4، تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی و همچنین مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب کاهش می‌یابد. زیرا با کاهش مقدار آب آبیاری، میزان آبشویی نیترات و آمونیوم از لایه‌های

بالای به سمت لایه‌های پایینی کاهش می‌یابد و درنتیجه مقدار تلفات نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی نیز کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب مربوط به سناریو I_0 و به میزان ۲۳۰/۷ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب مربوط به سناریو I_4 و به میزان ۱۷٤/٦ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین، حتی به ازای سناریو I_4، میزان تلفات نیتروژن زیاد است که علت زیاد بودن آن، مصرف بی‌رویه کود اوره به میزان ٤٥۰ کیلوگرم در هکتار در این کشت و صنعت می‌باشد. بنابراین، کود اوره مصرفی باید به مقدار بهینه در این منطقه استفاده شود. عباسی و همکاران (۲) و متین‌زاده و همکاران (۱۹)، مقدار کود اوره بهینه برای نیشکر در کشت و صنعت، ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار توصیه کردند.

جدول‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهند که بیشترین تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی، مربوط به سناریو I_0 و به‌ترتیب برابر با ۱۷٦/۱ و ٥٤/٦ کیلوگرم در هکتار و کمترین تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی، مربوط به سناریو I_4 و به‌ترتیب برابر با ۱٤۱/۱ و ۳۳/٦ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین، با اعمال سناریو I_4، تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی و همچنین مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب به‌ترتیب به مقدار ۲۰، ۳۸ و ۲٤ درصد نسبت به سناریوی شاهد (I_0) کاهش می‌یابد که این مقادیر تأثیر بسزایی هم به لحاظ اقتصادی، صرفه جویی در کود مصرفی، افزایش نیتروژن باقیمانده در خاک و افزایش راندمان کود مصرفی در زمین‌های تحت پوشش سیستم زهکش زیرزمینی دارد و هم باعث کاهش مؤثر در آلودگی محیط زیست و منابع آبی پذیرنده می‌باشد.

شکل (۷) مقایسه غلظت نیترات خروجی از زهکش شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری را در دوره مورد پژوهش نشان می‌دهد. هنگامی که مقدار آب آبیاری از سناریو I_1 تا I_4 کاهش می‌یابد، مقدار غلظت نیترات زه‌آب افزایش می‌یابد که علت آن کاهش حجم زه‌آب و در نتیجه افزایش غلظت نیترات زه‌آب است. اما درنهایت با کاهش مقدار آب آبیاری از سناریو I_1 تا I_4، به علت کاهش حجم زه‌آب، تلفات تجمعی نیترات کاهش می‌یابد زیرا مقدار تلفات، حاصلضرب غلظت در شدت زهکشی است.

بنابراین، با توجه به موارد تشریح شده در بالا، با یک نکته بسیار مهم مواجهه هستیم، فرض کنیم بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران که بیشترین حد مجاز غلظت نیترات برای تخلیه زه‌آب به آب‌های سطحی را ٥۰ میلی‌گرم بر لیتر در نظر گرفته، غلظت نیترات خروجی از زه آب ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، این غلظت بر اساس استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست، غیر مجاز می‌باشد، حالا از نقطه نظر دیگر این موضوع را بررسی می‌کنیم: در یک لوله زهکش غلظت نیترات خروجی ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و شدت جریان تخلیه آن به آب سطحی به میزان ۱۰ لیتر بر ثانیه و در یک لوله زهکش دیگر غلظت نیترات خروجی ٤۰ میلی‌گرم بر لیتر (کمتر از غلظت مجاز) و شدت جریان تخلیه آن به آب سطحی به میزان ۱۰۰ لیتر بر ثانیه باشد، بنابراین بار جرمی (دبی جرمی) آلودگی لوله زهکش اول، ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر ثانیه و دبی جرمی آلودگی لوله زهکش دوم، ٤۰۰۰ میلی‌گرم بر ثانیه می‌باشد. بنابراین در نگاه اول می‌توان گفت که خروجی لوله زهکش اول، خارج از استاندارد زیست محیطی است چون غلظتش بیش از ٥۰ میلی‌گرم در لیتر است. اما با اینکه غلظت خروجی لوله زهکش اول خارج از استاندارد زیست محیطی است بار جرمی آلودگی آن کمتر از خروجی لوله زهکش دوم (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر ثانیه در مقابل ٤۰۰۰ میلی‌گرم بر ثانیه) است. بنابراین، با توجه به مفهوم بار جرمی آلودگی (Pollutant Load) (۲۰) و اینکه هدف از آلوده نشدن منابع پذیرنده بر مبنای کاهش بار جرمی عنصر آلوده کننده به آن منابع است، بنابراین توصیه می‌شود استانداردهای زیست محیطی ایران بر اساس مقدار بار جرمی آلودگی هر عنصر مجدداً بازنگری و تدوین شود و نه بر اساس غلظت عنصر مورد نظر.



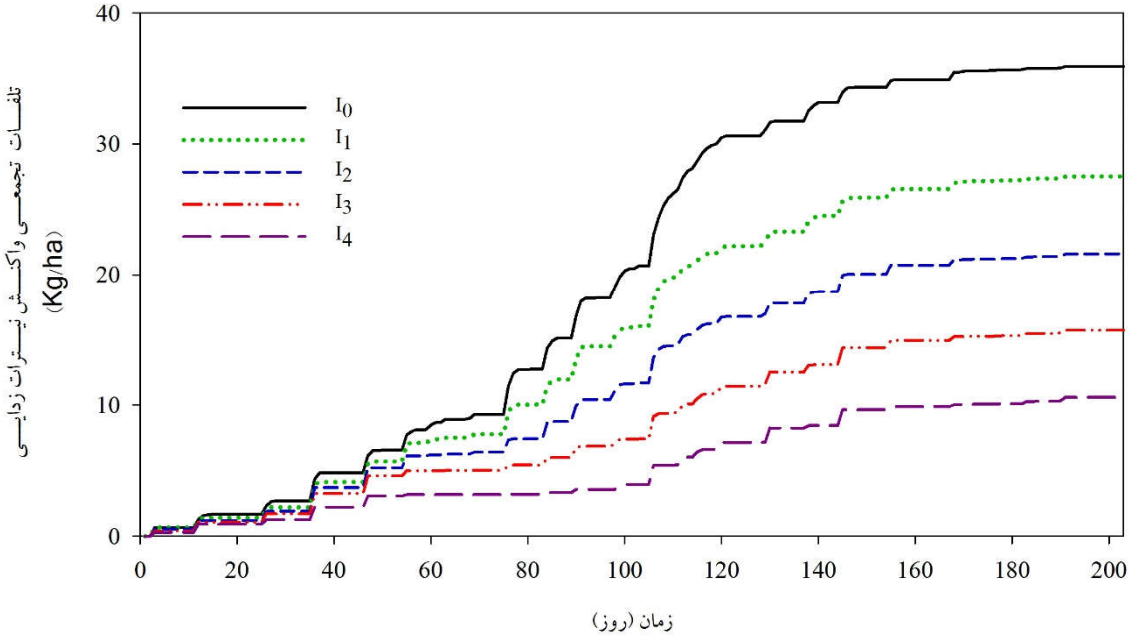
شکل ۷. مقایسه غلظت نیترات زه آب خروجی شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان (رنگی در نسخه الکترونیکی)

واکنش‌های نیترات‌زایی (نیتریفیکاسیون) و نیترات‌زدایی (دنیتریفیکاسیون)

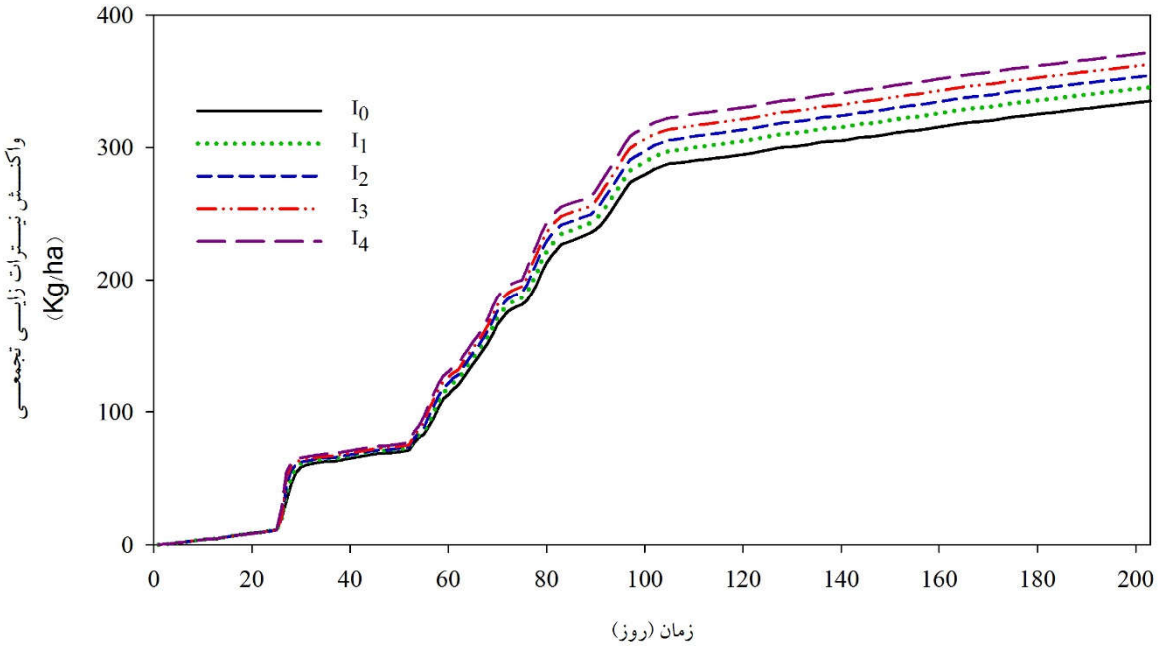
مطابق با شکل‌های (۸) و (۹) و جدول‌های (۲)، (۳) و (٤)، با کاهش میزان آب آبیاری از سناریوی I_1 تا I_4، تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی کاهش و مقدار واکنش نیترات‌زایی تجمعی افزایش می‌یابد. به‌علت این‌که با کاهش مقدار آب آبیاری، تراز سطح ایستابی کاهش و در نتیجه شرایط هوادهی بیشتر در خاک ایجاد شده و از این‌رو تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی کاهش و مقدار واکنش نیترات‌زایی تجمعی افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی مربوط به سناریو I_0 و به میزان ۳۵/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی مربوط به سناریو I_4 و به میزان ۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین، چنانچه مقدار آب آبیاری ۲۰ درصد کاهش یابد، تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی به مقدار ۷۱ درصد نسبت به سناریوی شاهد (I_0) کاهش می‌یابد که این مقدار از یک طرف باعث افزایش نیتروژن باقیمانده در خاک و افزایش راندمان کود مصرفی می‌شود و از طرف دیگر باعث کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای نیتروژن‌دار در اثر واکنش نیترات‌زدایی می‌شود.

با توجه به جدول (٤)، بیشترین مقدار واکنش نیترات‌زایی تجمعی، مربوط به سناریو I_4 و به مقدار ۳۷۱/۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین مقدار واکنش نیترات‌زایی تجمعی، مربوط به سناریو I_0 و به مقدار ۳۳۵/۲ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. بنابراین، با انجام سناریو I_4، مقدار واکنش نیترات‌زایی تجمعی ۱۱ درصد نسبت به سناریوی شاهد (I_0) افزایش می‌یابد که باعث جذب بهتر نیترات توسط نیشکر می‌شود و درنتیجه باعث کاهش آبشویی نیترات به لایه‌های پایینی و سرانجام به زهکش می‌شود.

بنابراین، با توجه به شکل (۱۰) می‌توان نتیجه گرفت، بیشترین درصد زه‌آب، مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و تلفات تجمعی نیترات زدایی مربوط به سناریوی کاهش ۲۰ درصد مقدار آب آبیاری (سناریو I_4) می‌باشد.



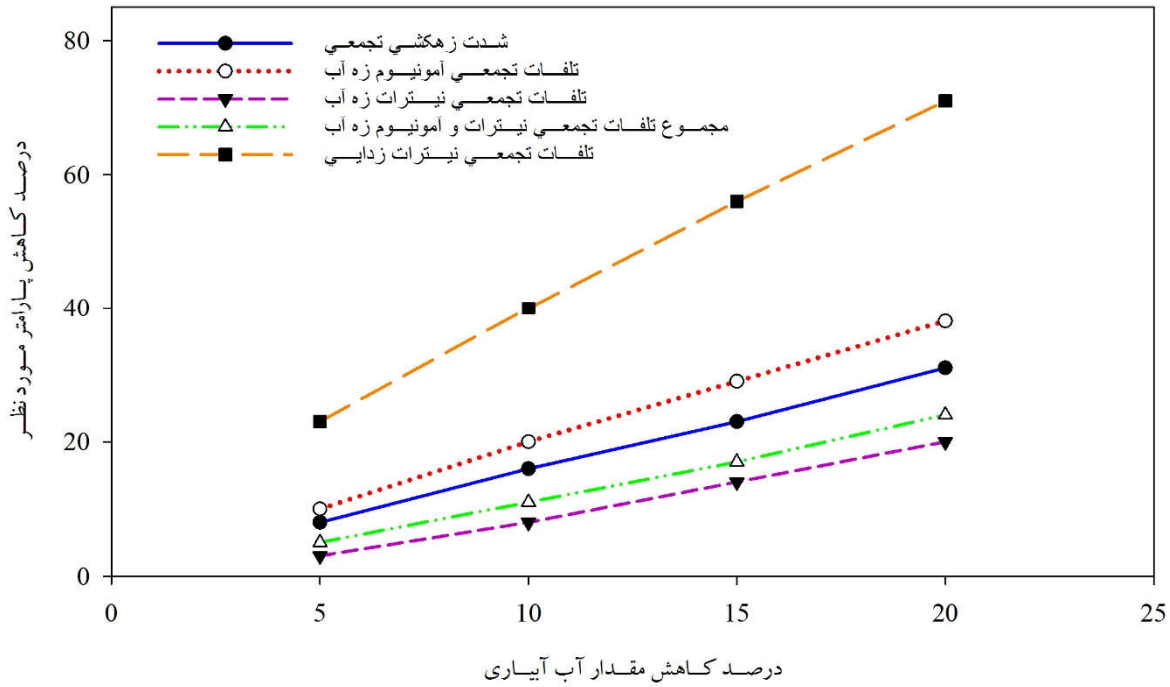
شکل ۸. مقایسه تلفات تجمعی واکنش نیترات‌زدایی شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان



شکل ۹: مقایسه واکنش نیترات‌زایی تجمعی شبیه‌سازی در سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری نسبت به زمان

جدول ٤. نتایج مدل‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری برای واکنش نیرات‌زایی تجمعی

پارامتر	سناریو				
	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4
واکنش نیرات‌زایی تجمعی (kg/ha)	۳۳۵/۲	۳٤٥/۷	۳٥٤/٦	۳٦۲/۹	۳۷۱/۹
افزایش واکنش نیرات‌زایی (٪)	–	۳	٦	۸	۱۱



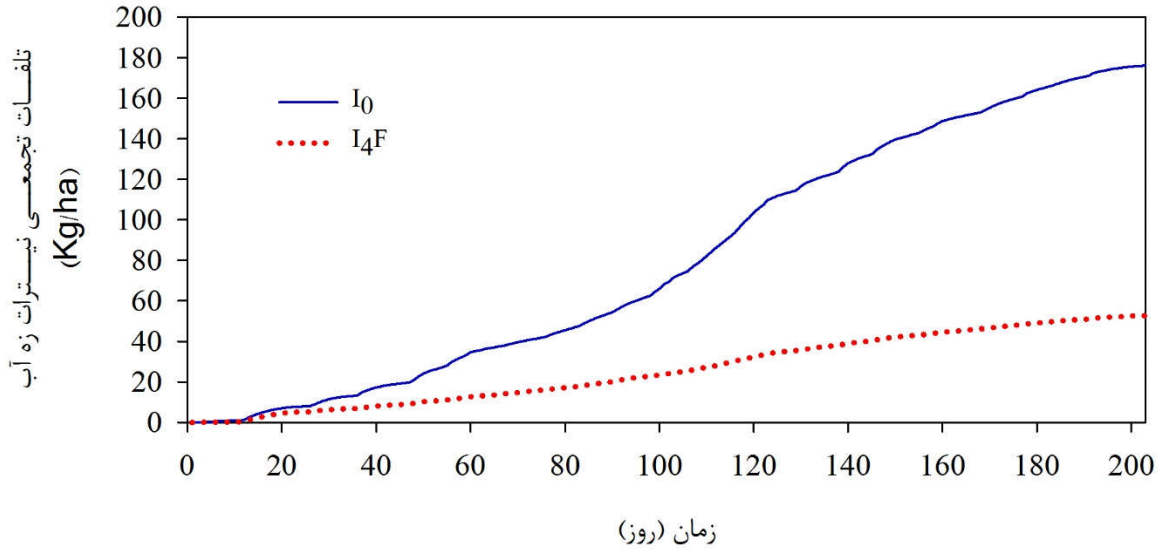
شکل ۱۰. درصد کاهش پارامترهای مورد نظر در سناریوهای مدل‌سازی مختلف مدیریت آب آبیاری

با توجه به نتایج مدل‌سازی، با کاهش حجم زه‌آب تولیدی، تلفات نیتروژن از طریق سیستم زهکشی کاهش می‌یابد که این موضوع، با نتایج صحرایی پژوهش‌های پیشین (٥، ۱۱، ۱٤، ۲۲، ۲۳، ۳۲ و ۳٤) مطابقت دارد. همچنین، با کاهش تراز سطح ایستابی و ایجاد شرایط هوادهی بیشتر در خاک، مقدار واکنش نیرات‌زدایی کاهش می‌یابد که با نتایج صحرایی (۱۰، ۱۳، ۱٥، ۲٦، ۲۷ و ۳۳) هم‌خوانی دارد.

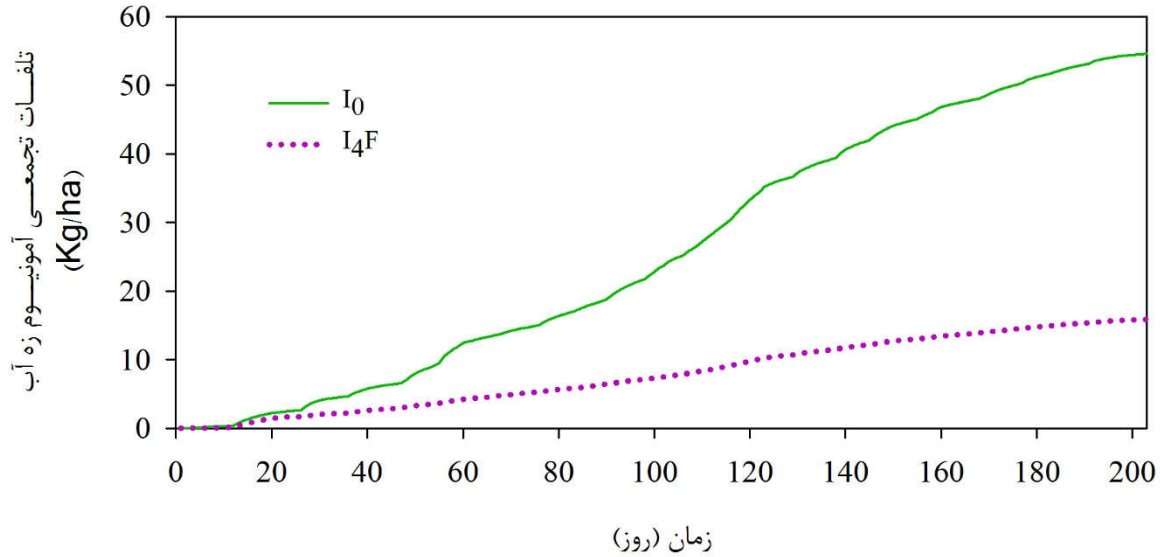
مدیریت توأم آب و کود

شکل‌های (۱۱) تا (۱۳) و جدول (٥) نشان می‌دهند که با کاهش میزان آب آبیاری و کود مصرفی در سناریوی I_4F، تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم در زه‌آب خروجی، مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و همچنین تلفات تجمعی نیرات‌زدایی به‌شدت کاهش می‌یابد. مقدار مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و تلفات تجمعی نیرات‌زدایی در سناریو I_0، به‌ترتیب برابر با ۲۳۰/۷ و ۳٥/۹ کیلوگرم در هکتار و در سناریو مدیریت توأم آب و کود I_4F، به‌ترتیب برابر با ٦۸/۷ و ٥/٤ کیلوگرم در هکتار بدست آمد.

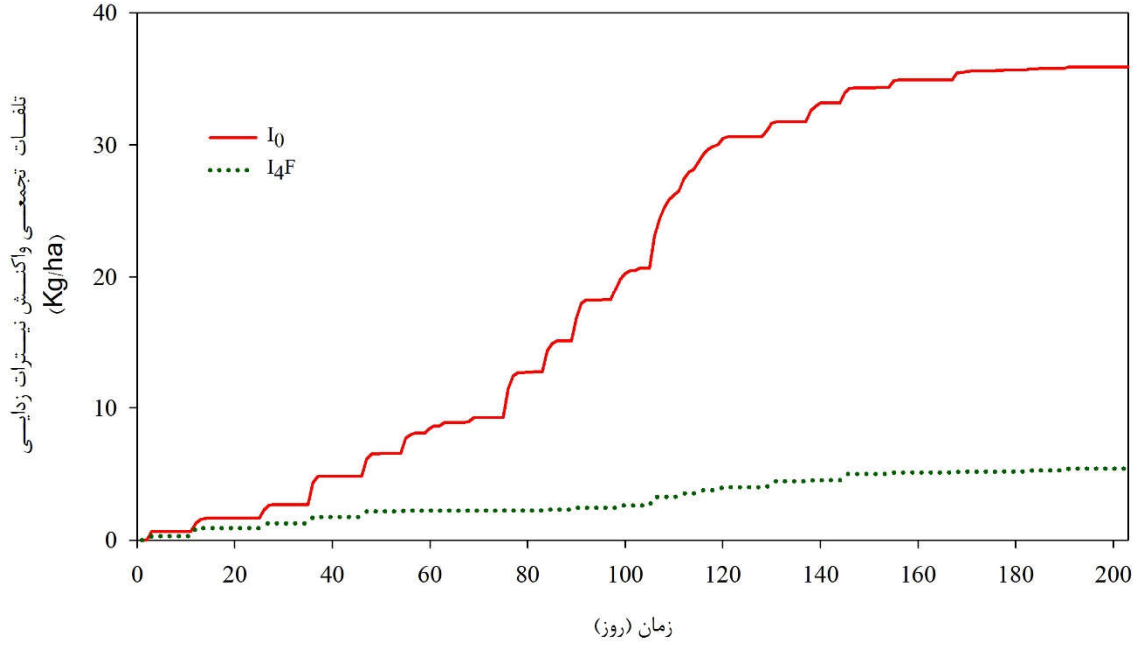
تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و همچنین تلفات تجمعی نیرات‌زدایی به‌ترتیب به مقدار ۳۱، ۷۰، ۷۱، ۷۰ و ۸٥ درصد نسبت به وضعیت موجود (سناریوی شاهد I_0)، کاهش



شکل ۱۱. مقایسه تلفات تجمعی نیترات زه‌آب شبیه‌سازی در سناریوی مدیریت توأم آب و کود نسبت به زمان



شکل ۱۲. مقایسه تلفات تجمعی آمونیوم زه‌آب شبیه‌سازی در سناریوی مدیریت توأم آب و کود نسبت به زمان



شکل ۱۳. مقایسه تلفات تجمعی واکنش نیرات‌زدایی شبیه‌سازی در سناریوی مدیریت توأم آب و کود نسبت به زمان

جدول ۵. نتایج مدل‌سازی سناریوی مدیریت توأم آب و کود

سناریو	پارامتر				
	شدت زهکشی تجمعی (mm)	تلفات تجمعی آمونیوم زه‌آب (kg/ha)	تلفات تجمعی نیترات زه‌آب (kg/ha)	مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب (kg/ha)	تلفات تجمعی نیرات‌زدایی (kg/ha)
I_0	۱۶۸۷/۳	۵٤/٦	۱۷٦/۱	۲۳۰/۷	۳۵/۹
I_4F	۱۱٦٤/٤	۱۵/۹	۵۲/۸	٦۸/۷	۵/٤
درصد کاهش (٪)	۳۱	۷۱	۷۰	۷۰	۸۵

می‌یابد که این مقادیر بیانگر آن است که با اعمال مدیریت توأم آب و کود، علاوه بر اینکه باعث صرف‌جویی و استفاده بهینه از آب مصرفی، افزایش راندمان و کارایی مصرف آب می‌شود، باعث صرفه جویی اقتصادی، صرفه جویی در کود مصرفی، افزایش نیتروژن باقیمانده در خاک، افزایش راندمان کود مصرفی، کاهش قابل توجهی در آلودگی محیط زیست و بطور کلی باعث برداشتن گامی اساسی در راستای مدیریت پایدار در بخش کشاورزی در این کشت و صنعت می‌شود.

با توجه به نتایج فوق، با مدیریت توأم آب و کود در راستای کاهش مصرف آب آبیاری و کاهش کود مصرفی (مصرف بهینه آب و کود)، آبشویی نیترات و آمونیوم کاهش و باعث افزایش نیتروژن باقیمانده در خاک می‌شود که این موضوع، با نتایج پژوهش‌های (٤ و ۲۵) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

یکی از راهکارهای عملی و مؤثر در استفاده بهینه و صرفه‌جویی

در مصرف آب و کود در بخش کشاورزی، مدیریت توأم آب و کود در سطح مزرعه می‌باشد. در این پژوهش از یک مدل جامع شبیه‌سازی چرخه آب و دینامیک نیتروژن در زمین‌های کشاورزی تحت پوشش سیستم‌های زهکشی با استفاده از رویکرد پویایی سیستم، برای شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری و کود استفاده شد. به‌منظور کاهش آب مصرفی و کاهش تلفات کود اوره در یکی از مزارع کشت و صنعت امام خمینی، پنج سناریوی مختلف مدل‌سازی شامل چهار سناریوی مدیریت آب آبیاری به میزان ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درصد کاهش در مقدار آب آبیاری نسبت به وضعیت موجود آبیاری در این کشت و صنعت، و یک سناریوی مدیریت توأم آب و کود (۲۰ درصد کاهش مقدار آب آبیاری و ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره) اجرا شد. نتایج نشان داد که بیشترین درصد کاهش شدت زهکشی تجمعی، تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب، مجموع تلفات تجمعی نیترات و آمونیوم زه‌آب و تلفات تجمعی نیرات‌زدایی مربوط به سناریوی مدیریت توأم آب و کود (سناریو I_4F) است. بنابراین، باتوجه به اینکه در این کشت و صنعت، زهکش‌ها در عمق زیادی (۲/۱ متر) نصب شده‌اند که باعث تلفات زیاد آب وکود مصرفی می‌شود، با اعمال این سناریوی مدیریت توأم آب و کود، با توجه به وسعت این کشت و صنعت (۱۰۰۰۰ هکتار زیر کشت آبی) منجر به صرفه‌جویی در آب آبیاری به میزان حدود ٦٧ میلیون مترمکعب در سال می‌شود. علاوه بر آن با توجه به مقدار معمول مصرف کود اوره به میزان ۳۵۰ کیلوگرم بر هکتار در این کشت و صنعت، باعث صرفه‌جویی حدود ۱٤۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره مصرفی و در کل به میزان ۱٤۰۰ تن در هکتار می‌شود که منجر به تأمین داخلی نهاده‌های مورد نیاز بخش کشاورزی (کود) در راستای اقتصاد مقاومتی شده و از طرف دیگر باعث کاهش مؤثر آلودگی محیط زیست می‌شوند. بنابراین، سناریوی I_4F (آبیاری به مقدار ٢٦٥٦ میلی‌متر برای شش ماه و ۲۱۰ کیلوگرم بر هکتار کود اوره) برای نیشکر در کشت و صنعت نیشکر امام خمینی توصیه می‌شود. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود استانداردهای زیست محیطی ایران برای تخلیه زه‌آب‌ها و آب‌های برگشتی کشاورزی به منابع پذیرنده، براساس مقدار بار جرمی آلودگی هر عنصر و نه اساس غلظت عنصر مورد نظر بازنگری و تدوین شود. همچنین از این مدل می‌توان برای تسهیل بهینه‌سازی آب و کود و مدیریت آن در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سایر کشت و صنعت‌های نیشکر خوزستان استفاده کرد.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., A. Naseri, F. Sohrab, J. Baghbani, N. Abasi and M. Akbari. 2015. Improving Water Use Efficiency in Agriculture. Agricultural Engineering Research Institute Press, Iran (In Farsi).
2. Abbasi, F., A. Sheini Dashtegol and N. Salamati. 2015. Improving sugarcane water and fertilizer use efficiency in furrow fertigation. *Journal of Water and Soil* 29: 933-942 (In Farsi).
3. Bacon, P. E. 1995. Nitrogen Fertilization in the Environment. Marcel Dekker Inc, New York.
4. Bahmani, O., S. Broomand Nasab, M. Behzad and A. A. Naseri. 2010. Evaluation of potential nitrate and ammonium accumulation in the soil profile under irrigation and manure treatments with the LEACHM model. *Environmental Science* 7: 95-108 (In Farsi).
5. Behera, S. K. and R. K. Panda. 2009. Integrated management of irrigation water and fertilizers for wheat crop using field experiments and simulation modeling. *Agricultural Water Management* 96: 1532-1540.
6. Bonaiti, G. and M. D. Borin. 2010. Efficiency of controlled drainage and subirrigation in reducing nitrogen losses from agricultural fields. *Agricultural Water Management* 98(2): 343-352.
7. Boroomand Nasab, S., H. Kashkuli and M. R. Khaledian. 2006. Identification of water requirement and plant sugarcane coefficient in Haft Tappeh agro-industrial lands of Khuzestan. *In:* National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran (In Farsi).
8. Droogers, P. 2001. Simulation Models to Assess Water Productivity at Different Scales. IWMI, Colombo, SriLanka.

9. Drury, C. F., C. S. Tan, J. D. Gaynor, T. O. Oloya and T. W. Welacky. 1996. Influence of controlled drainage–subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss. *Journal of Environmental Quality* 25: 317-324.
10. Elmi, A. A., C. Madramootoo and C. Hamel. 2000. Influence of water table and nitrogen management on residual soil NO_3^- and denitrification rate under corn production in sandy loam soil in Quebec. *Agriculture*, *Ecosystems and Environment* 79: 187-197.
11. Evans, R. O., R. W. Skaggs and J. W. Gilliam. 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 121: 271-276.
12. Gheysari, M., S. M. Mirlatifi, M. Homaee, M .E. Asadi and G. Hoogenboom. 2009. Nitrate leaching in a silage Maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management* 96(6): 946-954.
13. Gilliam, J. W. and R. W. Skaggs. 1986. Controlled agricultural drainage to maintain water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112: 254-263.
14. Jaynes, D. B. 2013. Nitrate loss in subsurface drainage and corn yield as affected by timing of sidedress nitrogen. *Agricultural Water Management* 130: 52-60.
15. Kanwar, R. S. and P. K. Kalita. 1990. Water quality benefits from water table management and subirrigation. *In:* International Agriculture Engineering Conference and Exhibition, Bangkok., Thailand.
16. Karandish, F., S. M. Mirlatifi, A. Shahnazari, M. Gheysari and F. Abbasi. 2012. Effect of partial root-zone drying (PRD) and deficit irrigation on nitrogen uptake and leaching in maize. *Water and Irrigation Management* 2: 85-98 (In Farsi).
17. Mahjoubi, A., A. Naseri, A. Hooshmand and S. Broomandnasab. 2012. Effects of controlled drainage on soil salinity, irrigation management and sugarcane yield at Imam Khomeini plantation. *Journal of Agricultural Engineering Research* 13: 25-40 (In Farsi).
18. Malekian, R., J. Abedi Koupai and S. S. Eslamian. 2011. Influences of clinoptilolite and surfactant-modified clinoptilolite zeolite on nitrate leaching and plant growth. *Journal of Hazardous Materials* 185: 970-976.
19. Matinzadeh, M. M., J. Abedi Koupai, H. Nozari, A. Sadeghilari and M. Shayannejad. 2016. Modeling of nitrogen fertilization management in sugarcane farmlands with drainage System using system dynamics Approach. *Journal of Water and Soil Science* 2: 187-203 (In Farsi).
20. Meals, D. W., R. P. Richards and S. A. Dressing. 2013. Pollutant Load Estimation for Water Quality Monitoring Projects. Technical Notes 8. Tetra Tech, Inc., 1-21.
21. Naseri., A. A. and A. Arvahi. 2010. A performance evaluation of subsurface drainage system and its comparison with traditional drainage (Tide) in date palm gardens of Abadan, Iran. *Journal of Soil and Water Research* 40: 7-15 (In Farsi).
22. Sadeghilari, A. 2013. Investigation of effects of water table control on amount of leaving flow and N and P from Subsurface drains in arid regions (case study: Shoaibieh of Khuzestan). Ph.D. dissertation, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran (In Farsi).
23. Sadeghilari, A., H. Moazed, A. A. Naseri, A. Mahjobi and A. M. Liaghat. 2014. Water table fluctuation, drainage rate and nitrogen dynamic in the farms of sugarcane cropping with controlled drainage system. *Journal of Water and Soil* 27: 1077-1089 (In Farsi).
24. Shayannejad, M. 2008. Principles of Design of Drainage Systems. Shahrekord University Press, Shahrekord (In Farsi).
25. Shekofteh, H. 2013. Modeling of nitrate leaching from soil under potato field and type drip irrigation using HYDRUS-2D and soft computing techniques. Ph.D. dissertation, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Farsi).
26. Skaggs, R. W. and J. W. Gilliam. 1981. Effect of drainage systems design and operation on nitrate transport. *Transactions of the ASAE* 24: 929-934.
27. Skaggs, R. W., N. R. Fausey and R. O. Evans. 2012. Drainage water management. *Journal of Soil and Water Conservation* 67: 167-172.
28. Wahba, M. A. S., M. El-Ganainy, M. S. Abdel-Dayem, A. Gobran and H. Kandil. 2001. Controlled drainage effects on water quality under semi-arid conditions in the western delta of Egypt. *Irrigation and drainage* 50: 295-308.
29. Wang, H., J. X, Y. Wei, B. Li, L. Zhao and K. Hu. 2010. Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in North China Plain. *Agricultural Water Management* 97: 1646-1654.
30. Wesstrom, I. and I. Messing. 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. *Agricultural Water Management* 87: 229-240.
31. Wiesler, F. 1998. Comparative assessment of the efficacy of various nitrogen fertilizers. *Journal of Crop Production* 2: 81-114.
32. Williams, M. R., K. W. King and N. R. Fausey. 2015. Drainage water management effects on tile discharge and water quality. *Agricultural Water Management* 148: 43-51.

33. Wright, J. A., A. Shirmohammadi and R. Hill. 1989. Impacts of BMPs and water table management on selected nitrogen processes. *American Society of Agricultral Engneering* 89-2129.
34. Yang, C. C., S. O. Prasher, S. Wang, S. H. Kim, C. H. Tan, C. Drury and R. M. Patel. 2007. Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N. *Agricultural Water Management* 87: 299-306.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 4, Winter 2022, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Integrated Water and Nitrogen Fertilizer Management Using Modeling of System Dynamics Approach in Sugarcane Farmlands with Subsurface Drainage Systems

M. M. Matinzadeh[1], J. Abedi Koupai[1*], M. Shayannejad[1], A. Sadeghi-Lari [2] and H. Nozari [3]

(Received: July 20-2016; Accepted: January 2-2017)

Abstract

Using water and fertilizer management at the farm level can be increased water use efficiency and reduce the volume of drainage water, fertilizer losses, and other pollutants in farmland with deep underground drains such as Khuzestan agro-industrial Companies. In the present study, a comprehensive simulation model for the water cycle and the nitrogen dynamics modeling was used for water and fertilizer management modeling on farmland of sugarcane in Imam Agro-Industrial Company using a system dynamics approach. To reduce irrigation water consumption and nitrogen fertilizer losses, five different scenarios were considered including four scenarios of water management consist of 5, 10, 15, and 20 percent reduction in the amount of irrigation water (I_1, I_2, I_3, and I_4) compared to the current situation of irrigation in Imam agro-industrial Company (I_0), and one scenario of integrated water and fertilizer management (20% reduction in the amount of irrigation water and urea fertilizer 210 Kg/ha, I_4F). The results of modeling showed that the scenario of I_4F caused to reduce 31, 70, 71, 70, and 85 percent of the cumulative volume of drainage water, cumulative nitrate and ammonium losses, total losses of cumulative nitrate, and ammonium by tile-drain and cumulative losses of denitrification process, respectively. Thus, the implementation of this scenario, not only saves water and fertilizer consumption but also reduces environmental pollution effectively. So the scenario of I_4F (amount of irrigation water for six months 2656 mm and urea fertilizer 210 Kg/ha) is recommended for sugarcane in the Imam agro-industrial Company.

Keywords: Optimum irrigation water use, Optimal urea fertilizer application, Integrated water and fertilizer management, Denitrification Losses, Matinzadeh et al., (2016) model

1. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- Department of Agriculture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.
3- Department of Irrigation and Drainage Engineering, Bu-Ali Sina Hamedan University, Hamedan, Iran.
*: Corresponding author, Email: koupai@cc.iut.ac.ir