



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

صفحه‌های ۴۲-۲۹

شبیه‌سازی انتقال نیترات اراضی شالیزاری مازندران در فصل کشت کلزا برای مدیریت منابع آب

حسن علی‌بخشی^۱، علی شاه‌نظری^{۲*}، رمضان طهماسبی^۳

۱. کارشناس ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری-ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری-ایران

۳. استادیار، گروه مهندسی آب، مؤسسه آموزش عالی علمی کاربردی جهاد کشاورزی، تهران-ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۹/۰۲

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۰۲/۲۴

چکیده

در این تحقیق، قابلیت مدل DRAINMOD-N برای شبیه‌سازی انتقال نیترات در اراضی شالیزاری دارای زهکش زیرزمینی در فصل کشت دوم ارزیابی شد. در طول یک فصل کشت کلزا از آذر ۱۳۹۰ تا اردیبهشت ۱۳۹۱، غلظت نیترات زهاب زهکش‌های زیرزمینی و نیترات عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک در مزرعه شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری اندازه‌گیری شد. تیمارهای زهکشی عبارت بودند از: سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با پوشش معدنی شامل سیستم زهکشی با عمق ۰/۹ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر (D0.9L30S)، عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر (D0.65L30S) و عمق ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۱۵ متر (D0.65L15S) و یک سیستم زهکشی معمولی با پوشش مصنوعی با عمق ۰/۶۵ متر و فاصله ۱۵ متر (D0.65L15F). واسنجی مدل با تغییر ضرایب نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون انجام گرفت. از آماره‌های بازده مدل (EF)، درصد خطا (PE)، ضریب تبیین (R²)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف (AD) برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. مقادیر EF، PE، R²، RMSE و AD در مرحله واسنجی به ترتیب برابر ۰/۷۱، ۲/۶۶، ۰/۷۲، ۰/۹۴ و ۰/۵۶ محاسبه شد. با توجه به نتایج، مدل DRAINMOD-N در مرحله واسنجی عملکرد مناسبی در شبیه‌سازی تلفات نیترات داشت، اما در اعتبارسنجی، مقادیر EF، PE، R²، RMSE و AD به ترتیب ۰/۱۲، -۱۹/۸۹، ۰/۸۵، ۱/۰۱ و ۰/۹۳ محاسبه شد که بر این اساس، دقت شبیه‌سازی ضعیف بود.

کلیدواژه‌ها: آبشویی، زهکشی زیرزمینی، منابع آب، نیتروفیکاسیون، DRAINMOD-N.

مقدمه

مختلف به شمار می‌روند (۱۶). مدل‌های نیتروژن، ترکیبی از فرمول‌های ساده تجربی و تبدیل آنها به مدل‌های پیچیده کامپیوتری هستند. مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رفتار و انتقال نیتروژن در خاک معرفی شده‌اند که برخی از آنها عبارتند از: LEACHM-N, SOIL-N, MINERVA, GLEAMS, DRAINMOD-N و DAISY (۱۱، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۲۰، ۳۱). از میان مدل‌های مختلف، مدل DRAINMOD-N، ابزاری مناسب برای توصیف حرکت و واکنش‌های نیتروژن در نیمرخ خاک، زهکشی مصنوعی و پیش‌بینی سطح ایستابی است (۳۳). در این مدل، از مدل دوبعدی کوازی (مدل شبه‌دوبعدی) برای تشریح انتقال و سرنوشت نیتروژن در خاک‌های با سطح ایستابی کم عمق و با زهکشی مصنوعی استفاده می‌شود. فرایندهایی که با این مدل کنترل می‌شود عبارتند از: نیتروژن باران، تجزیه کود، معدنی شدن خالص نیتروژن آلی، دنیتریفیکاسیون، جذب گیاه، رواناب و تلفات زهکشی (۲۷). در طول سال‌های گذشته، مدل DRAINMOD-N به‌طور گسترده برای دامنه وسیعی از خاک‌ها، محصولات کشاورزی و شرایط اقلیمی متفاوت آزمایش شده و مشخص شده که توانایی زیادی در پیش‌بینی انتقال نیتروژن در خاک دارد (۱۰، ۱۲، ۳۴). محققان با اجرای این مدل در تعدادی از مزارع ذرت نشان دادند که نرم‌افزار DRAINMOD-N، وضعیت هیدرولوژیک خاک و تلفات نیتروژن در رواناب سطحی و زهکشی زیرزمینی را به‌خوبی پیش‌بینی می‌کند (۳۴). در تحقیقی با ارزیابی مدل DRAINMOD-N در برآورد غلظت نیترات در ناحیه ریشه یک مزرعه ذرت نشان داده شد که شبیه‌سازی انجام‌گرفته توسط مدل در اکثر مواقع با غلظت اندازه‌گیری‌شده در مزرعه هماهنگی دارد (۵). در تحقیق دیگری در زمینه مدل‌سازی تلفات نیترات در زه‌آب خروجی از زهکش و شبیه‌سازی هیدرولوژیکی به‌وسیله DRAINMOD-N نیز مشخص شد که این مدل ابزاری

نیتروژن به‌عنوان پرمصرف‌ترین ماده غذایی در کشاورزی، با وجود اهمیت زیاد آن در تولید محصولات، آثار زیست‌محیطی منفی فراوانی دارد (۲۳). از کودهای نیتروژنه در بیشتر خاک‌ها برای رفع کمبود مواد مغذی لازم برای رشد گیاهان استفاده می‌شود. در مناطق مرطوب، مانند نواحی شمالی ایران، به‌دلایل گوناگون از جمله آبشویی و تصعید، استفاده از این کودها کاربرد بیشتری دارد (۶). از طرف دیگر، با توجه به تراکم کشت و خرده‌مالکی شالیکاران، برای دستیابی به حداکثر عملکرد در واحد سطح، مقدار زیادی از کود در این اراضی به‌کار می‌رود. کاربرد زیاد کودهای نیتروژنه سبب می‌شود که بخش عظیمی از این کودها شسته شده و از دسترس گیاه خارج شوند. نیترات و نیتريت واردشده به منابع آب می‌تواند بر سلامت انسان و دام تأثیرگذار باشد (۹، ۲۲، ۲۴).

نیتروژن (N) در زمین‌های کشاورزی چرخه پیچیده‌ای شامل فرایندهایی همچون معدنی شدن، تثبیت، دنیتریفیکاسیون^۱، تبخیر آمونیاک، تثبیت ازت توسط گیاهان، اصلاح خاک به‌وسیله کودهای نیتروژنه معدنی و نیتروژن منابع آلی مانند بقایای گیاهان و فضولات حیوانی، جذب توسط گیاهان، تلفات ناشی از رواناب و فرسایش و آبشویی دارد (۲۱).

به‌منظور بررسی اثر آب و همچنین شیوه‌های مدیریت زراعی بر انتقال نیترات، باید اندازه‌گیری‌های میدانی انجام گیرد. اما چنین اقداماتی هم زمان‌بر و هم پرهزینه است (۱۲). مدل‌های ریاضی در برآورد آلودگی در منابع آب زیرزمینی، اهمیت ویژه‌ای دارند. این مدل‌ها ابزاری ضروری برای برون‌یابی مکانی و زمانی بین اندازه‌گیری‌های صورت‌گرفته و نیز ارزیابی سناریوهای

1. Denitrification

مدیریت آب و آبیاری

غذایی را از ناحیه ریشه خارج می‌کنند. سیستم‌های زهکشی زیرزمینی نقش مهمی در انتقال مواد شیمیایی محلول کشاورزی مانند نترات دارند (۱۵،۱۹). بدون توجه به این مسائل، آگاهی از ترکیب شیمیایی زهآب زهکشی برای فهم آثار زیست‌محیطی طولانی‌مدت طرح‌های زهکشی ضروری است. تاکنون برای بررسی انتقال نترات و مقدار خروج آن از اراضی شالیزاری تحقیقی صورت نگرفته است. از این رو با توجه به وجود حدود ۲۱۰ هزار هکتار شالیزار در استان و اهمیت کنترل و کاهش آثار زیست‌محیطی دفع مواد غذایی از این اراضی، هدف اصلی این تحقیق، ارزیابی مدل DRAINMOD-N در شبیه‌سازی آبشویی نترات و توزیع آن در پروفیل خاک در فصل کشت دوم (کلزا) در اراضی شالیزاری تحت سیستم‌های مختلف زهکشی است (۱).

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

این تحقیق در مزرعه‌ای با مساحت تقریبی ۴/۵ هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی‌شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر ۹ جاده ساری-دریا اجرا شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب ۳۶/۳۹ درجه شمالی و ۵۳/۰۴ درجه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۵- متر است. متوسط بارندگی منطقه، ۶۱۶ میلی‌متر و متوسط دمای هوا ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد است. حداقل و حداکثر دمای هوای ثبت‌شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه به ترتیب ۶- و ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه براساس روش تعیین اقلیم دومارتین، از نوع مرطوب است (۳).

این مطالعه در مقایسه بین سه سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با پوشش معدنی متشکل از عمق زهکش ۰/۶۵ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.65}L_{30}S$)، عمق زهکش ۰/۶۵

دقیق برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی در منطقه تحقیق است، اما در مورد شبیه‌سازی چرخه نیتروژن به بهبود نیاز دارد (۱۲). در تحقیقی دیگر درباره شبیه‌سازی تلفات نترات با استفاده از مدل DRAINMOD-N در اراضی سرد جنوب سوئد نشان داده شد که تلفات نترات پیش‌بینی‌شده و شبیه‌سازی‌شده، تطابق خوبی داشتند (۲۵). این نتایج نشان داد که مدل برای پیش‌بینی تلفات نیتروژن در اراضی زهکشی‌شده مناطق سرد جنوب شرق سوئد کاربرد دارد (۲۵).

در سال‌های اخیر، به منظور بهره‌برداری بهتر از منابع محدود آب، خاک حاصلخیز و پتانسیل‌های اقلیمی استان مازندران و ایجاد شرایط مناسب برای کشت دوم، استفاده از سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در شالیزارهای یکپارچه‌سازی‌شده این استان، علاوه بر زهکش سطحی که جزء تفکیک‌ناپذیر طرح‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری است، در حال بررسی و توسعه است (۳). نصب زهکش‌های زیرزمینی تا عمق ۰/۹ متر در اراضی شالیزاری با توجه به کشت برنج و گیاهان زراعی دیگری که در فصل کشت دوم در این اراضی کشت می‌شوند و همچنین با توجه به رقوم مبنای زهکشی در اراضی شالیزاری، می‌تواند اهداف مورد نظر برای تنوع کاربری اراضی شالیزاری در مناطق مرطوب را تأمین کند (۸). احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری جدا از وظایف اصلی‌اش که همان انتقال آب مازاد و کاهش سطح ایستابی است، سبب کاهش هدررفت این اراضی به دلیل عدم احداث زهکش‌های مازاد سطحی و نیز استفاده از مزارع شالیزاری برای کشت محصولات خشکه‌زایی می‌شود. زهکشی زیرزمینی ضمن کنترل سطح ایستابی، از شور شدن خاک به دلیل جریان کاپیلاری از آب زیرزمینی شور جلوگیری می‌کند و آبشویی املاح از ناحیه ریشه پروفیل خاک را تسهیل می‌کند. با وجود این، سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مقداری از مواد

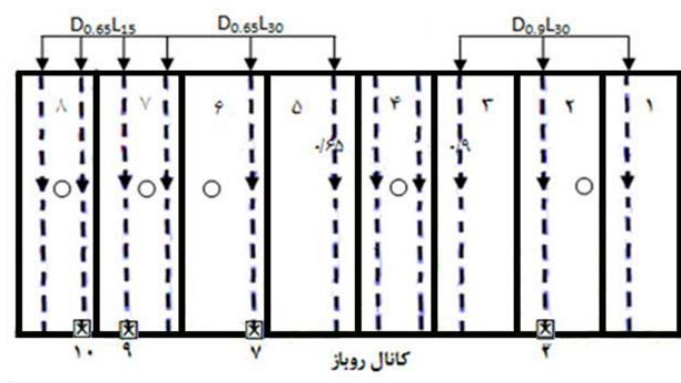
همچنین دبی زهکش روزانه یک بار به صورت حجمی برای کنترل حسگرها اندازه گیری شد. نمونه برداری از زهآب برای واسنجی مدل در تاریخ ۲۱ آذر ۱۳۹۰ آغاز شد و تا ۱۴ فروردین ۱۳۹۱ ادامه یافت. به طور کلی حدود هر پانزده روز یک بار و پس از کوددهی به دلیل تغییرات سریع تر غلظت زهآب، حدود هر دو روز یک بار (به مدت یک هفته پس از کوددهی) از زهآب زهکش ها نمونه برداری شد.

برای تعیین غلظت نیترات در لایه های خاک، از دستگاه عصاره گیر اشباع خاک استفاده شد. به این صورت که در عمق ۳۰ و ۶۰ سانتی متر هر چهار تیمار، دستگاه عصاره گیر اشباع خاک نصب شد (۴). نمونه برداری از عصاره اشباع خاک هر پانزده روز یک بار انجام گرفت. همه نمونه برداری های زهآب و عصاره های اشباع خاک با استفاده از بطری های پلاستیکی ۳۰۰ میلی لیتری انجام گرفت. در آزمایشگاه، غلظت نیترات نمونه ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل HACHDR-4000 در طول موج ۲۲۰ نانومتر و با سل کوارتزی اندازه گیری شد.

متر با فاصله زهکش ۱۵ متر ($D_{0.65L_{15S}}$) و عمق زهکش ۰/۹ متر با فاصله زهکش ۳۰ متر ($D_{0.9L_{30S}}$) و یک سیستم زهکشی با پوشش مصنوعی شامل عمق ۰/۶۵ متر با فاصله ۱۵ متر ($D_{0.65L_{30F}}$) انجام گرفت. طول زهکش، ۱۰۰ متر و جنس لوله ها PVC موج دار با قطر ۱۰۰ میلی متر است که با شیب ۰/۲ درصد نصب شد. زهآب زهکش به درون یک کانال روباز به عمق ۱/۲ متر تخلیه می شد. در شکل ۱ نمای شماتیک سیستم های زهکشی نشان داده شده است.

بذر کلزا (رقم هایولا ۴۰۱) با حداقل خلوص فیزیکی ۹۸ درصد و حداقل قوه نامیه ۸۵ درصد به میزان شش کیلوگرم در هکتار در تاریخ هفتم آذر ۱۳۹۰ در تیمارهای تحت بررسی کشت شد. کشت به صورت دیم اجرا شد و آبیاری صورت نگرفت. در این مدت، در دو مرحله عملیات کوددهی اجرا شد. در جدول ۱ تاریخ های کاشت و برداشت و زمان و مقدار کوددهی ارائه شده است.

برای اندازه گیری دبی زهکش، یک عدد پارشال فلوم در محل تخلیه زهآب زهکش به درون نهر جمع کننده نصب شد. این پارشال فلوم مجهز به حسگر و ثبات بود و رقوم زهآب زهکش را به صورت ساعتی ثبت می کرد.



شکل ۱. تصویر شماتیک نحوه آرایش سیستم های زهکشی

اعداد ۱ تا ۸ بالای شکل شماره کرت، \bigcirc موقعیت نقاط نمونه برداری از خاک، \square محل اندازه گیری دبی زهکش، خطوط زهکش، شماره های ۲، ۷، ۹، ۱۰ در قسمت پایین شکل معرف شماره خطوط زهکش بدین ترتیب که: خط ۲ معرف سیستم $D_{0.9L_{30}}$ ، خط ۷ معرف سیستم $D_{0.65L_{30S}}$ ، خط ۹ معرف سیستم $D_{0.65L_{15S}}$ و خط ۱۰ معرف سیستم $D_{0.65L_{15F}}$

شکل ۱. تصویر شماتیک نحوه آرایش سیستم های زهکشی

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

جدول ۱. خلاصه فعالیت‌های زراعی در طول فصل کشت کلزا

توضیحات	عملیات زراعی یا مدیریتی	تاریخ
	کشت کلزا	۷ آذر ۹۰
۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره	کوددهی	۱۷ اسفند ۹۰
۳۵ کیلوگرم در هکتار اوره	کوددهی	۸ فروردین ۹۱
	برداشت کلزا	۲۰ اردیبهشت ۹۱

هدایت هیدرولیکی اشباع، از اساسی‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک به‌ویژه در خاک‌های شالیزار است (۲۹). در این تحقیق، هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از روش چاهک مستقیم (روش ارنست) برای خاک‌های لایه‌ای، اندازه‌گیری شد (۲). اندازه‌گیری‌ها بعد از بارندگی و در شرایط اشباع خاک صورت گرفت. مقادیر هدایت هیدرولیکی لایه‌های خاک در جدول ۲ ارائه شده است.

عمق لایه نفوذناپذیر

در تحقیقات زهکشی به‌طور معمول به لایه یا افقی از خاک که ضریب آبگذری آن ۰/۱ تا ۰/۲ میانگین وزنی ضرایب آبگذری لایه‌های بالایی باشد، لایه نفوذناپذیر گفته می‌شود (۲). براین اساس، لایه ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متری را می‌توان لایه نفوذناپذیر برای لایه‌های فوقانی در نظر گرفت. عمق این لایه در شبیه‌سازی‌های مدل، دو متر لحاظ شد.

داده‌های گیاه

یکی از مهم‌ترین داده‌های گیاهی ضروری برای مدل، عمق مؤثر ریشه است. عمق مؤثر ریشه به‌صورت تابعی از زمان به مدل وارد می‌شود. در زمان‌های مختلف از فصل رشد کلزا، با استفاده از دستورالعمل مدل DRAINMOD، طول ریشه سه بوته در هر تیمار اندازه‌گیری شد و میانگین آنها به‌عنوان عمق ریشه گیاه در زمان مورد نظر، در نظر گرفته شد (جدول ۳) (۲۷). در مجموع عمق مؤثر ریشه که در مدل DRAINMOD از آن استفاده می‌شود، باید کمتر از

داده‌های مورد نیاز مدل DRAINMOD-N

اطلاعات هواشناسی

داده‌های هواشناسی به‌کاررفته در مدل شامل مقادیر باران روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه، عرض جغرافیایی، نمایه حرارتی و فاکتورهای تبخیر تعرق پتانسیل (PET) است (۷، ۲۷). اطلاعات ضروری هواشناسی منطقه از ایستگاه هواشناسی واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری دریافت شد، که شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه و مقدار بارندگی روزانه بود.

مشخصات خاک

منحنی مشخصه رطوبتی و ضرایب آبگذری لایه‌های مختلف خاک، از مهم‌ترین خصوصیات خاک استفاده‌شده در مدل است. برای تعیین خصوصیات خاک، در مرکز هر تیمار، با استفاده از آگر چهاراینچی یک چاهک مشاهده‌ای به عمق ۳ متر حفر شد. از خاک لایه‌های ۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰، ۹۰-۱۲۰، ۱۲۰-۱۵۰، ۱۵۰-۲۰۰ و ۲۰۰-۳۰۰ سانتی‌متری این چاهک‌ها نمونه‌برداری شد. در آزمایشگاه، بافت خاک همه نمونه‌ها و منحنی مشخصه رطوبتی لایه‌های مختلف خاک تعیین شد. نتایج آنالیز بافت خاک در جدول ۲ ارائه شده است. بافت خاک لایه‌های مختلف تا عمق ۲۰۰ سانتی‌متری، اغلب از نوع سیلتی رس و از ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتی‌متری، رسی بود. منحنی‌های مشخصه رطوبتی نمونه‌های خاک تهیه‌شده، با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد.

مدیریت آب و آبیاری

حسن علی بخشی و همکاران

مختلف به عنوان حداکثر طول ریشه استفاده شد که مقادیر حاصل در جدول ۳ آورده شده است. عمق ریشه در دوره‌های آیش باید حدود ۴-۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شود تا تبخیر-تعرق در شرایط نبود گیاه صورت پذیرد.

حداکثر عمق ریشه (حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد آن) باشد، زیرا ۷۰ درصد آب ضروری برای گیاه از نیمه بالایی ناحیه ریشه (عمق مؤثر ریشه) جذب می‌شود (۲۷). در این تحقیق، از ۶۰ درصد حداکثر طول ریشه در زمان‌های

جدول ۲: بافت خاک لایه‌های مختلف تیمارهای (D_{0.65}L₁₅F) و (D_{0.9}L₃₀S)، (D_{0.65}L₁₅S)، (D_{0.65}L₃₀S) و ضریب آبگذری هر لایه

تیمار	شماره لایه	عمق لایه (cm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	عمق نمونه برداری نیترات (cm)	نیترات (mg/l)	کلاس بافتی	ضریب آبگذری (cm/day)
(D _{0.65} L ₃₀)	۱	۰-۳۰	۴۸	۴۶	۶	۳۰	۴/۳۳	Silty Clay	۲۸/۷
	۲	۳۰-۶۰	۵۳/۵	۴۰/۵	۶	۶۰	۸/۰۶	Silty Clay	۸/۳
	۳	۶۰-۹۰	۵۱	۴۳	۶	۹۰	۸/۳	Silty Clay	۲۰/۵
	۴	۹۰-۱۲۰	۴۷	۴۵	۸	-	-	Silty Clay	۱۵/۸
	۵	۱۲۰-۱۵۰	۴۷/۵	۴۲/۵	۱۰	-	-	Silty Clay	۱۳/۱
	۶	۱۵۰-۲۰۰	۴۹	۴۶	۵	-	-	Silty Clay	۸/۵
	۷	۲۰۰-۳۰۰	۵۷	۳۸	۵	-	-	Clay	۳
(D _{0.65} L ₁₅)	۱	۰-۳۰	۴۹/۵	۴۴/۵	۶	۳۰	۵/۴۴	Silty Clay	۲۸/۵
	۲	۳۰-۶۰	۵۱/۵	۴۴/۵	۴	۶۰	۵/۶۸	Silty Clay	۸/۷
	۳	۶۰-۹۰	۴۷/۵	۴۷/۵	۵	۹۰	۶/۸۷	Silty Clay	۲۲/۱
	۴	۹۰-۱۲۰	۴۹	۴۴	۷	-	-	Silty Clay	۱۶/۵
	۵	۱۲۰-۱۵۰	۵۳/۵	۴۰/۵	۶	-	-	Silty Clay	۱۱/۱
	۶	۱۵۰-۲۰۰	۵۵	۴۰	۵	-	-	Clay	۸/۴
	۷	۲۰۰-۳۰۰	۵۶/۵	۳۹	۴/۵	-	-	Clay	۲/۸
(D _{0.9} L ₃₀)	۱	۰-۳۰	۴۸/۵	۴۴/۵	۷	۳۰	۶/۴۴	Silty Clay	۲۵/۶
	۲	۳۰-۶۰	۵۵/۵	۴۲	۲/۵	۶۰	۷/۱۲	Silty Clay	۸/۱
	۳	۶۰-۹۰	۴۶/۵	۴۵/۵	۸	۹۰	۷/۴۹	Silty Clay	۲۰/۷
	۴	۹۰-۱۲۰	۴۲/۵	۵۱/۵	۶	-	-	Silty Clay	۱۶/۳
	۵	۱۲۰-۱۵۰	۵۲	۴۲	۶	-	-	Silty Clay	۱۰/۹
	۶	۱۵۰-۲۰۰	۵۸/۵	۳۵/۵	۶	-	-	Clay	۸/۳
	۷	۲۰۰-۳۰۰	۶۱	۳۳/۵	۵/۵	-	-	Clay	۲/۵
(D _{0.65} L ₁₅ F)	۱	۰-۳۰	۴۳/۵	۵۰/۵	۶	۳۰	۵/۳۲	Silty Clay	۲۹/۵
	۲	۳۰-۶۰	۵۵	۳۷	۸	۶۰	۵/۵۸	Clay	۸/۳
	۳	۶۰-۹۰	۵۱	۴۳	۶	۹۰	۶/۹۱	Silty Clay	۲۳/۵
	۴	۹۰-۱۲۰	۴۹/۵	۴۴/۵	۶	-	-	Silty Clay	۱۶/۳
	۵	۱۲۰-۱۵۰	۵۴	۳۸	۸	-	-	Clay	۱۲/۵
	۶	۱۵۰-۲۰۰	۵۲	۴۳	۵	-	-	Silty Clay	۸/۲
	۷	۲۰۰-۳۰۰	۵۶	۳۹/۵	۴/۵	-	-	Clay	۲/۷

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۳ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۲

جدول ۳. مقادیر عمق مؤثر ریشه گیاه کلزا در زمان‌های مختلف تقویم کشت

روز بعد از کشت	۱	۴۶	۶۲	۸۶	۱۰۳	۱۱۶	۱۳۲	۱۴۷	۱۶۲	۱۶۳
عمق ریشه (cm)	۳	۴	۵	۱۰	۱۶	۲۰	۲۴	۲۷	۱۰	۳

داده‌های زهکشی

عمق و فاصله زهکش‌ها، ضریب زهکشی، عمق لایه نفوذناپذیر، عمق سازه کنترل و مقدار ذخیره سطحی، داده‌های زهکشی هستند که دو داده آخر، تأثیر زیادی بر نتایج دارند. عمق سازه کنترل در وضعیت زهکشی معمولی، همواره برابر عمق زهکش در نظر گرفته شد که نشان‌دهنده نبود سازه کنترل است.

در مدل DRAINMOD، وضعیت زهکشی سطحی با استفاده از دو پارامتر حداکثر ذخیره سطحی^۱ (S_m) و عمق کرکهام برای جریان به سمت زهکش‌ها (SI) مشخص می‌شود (۳۳). مقدار حداکثر ذخیره سطحی با توجه به سیستم زهکشی سطحی انتخاب می‌شود، به گونه‌ای که برای زهکشی سطحی خوب، مقادیر ذخیره کم؛ و برای زهکشی سطحی ضعیف، مقادیر ذخیره بزرگ‌تر انتخاب می‌شود. عمق کرکهام نیز کوچک‌تر یا مساوی حداکثر ذخیره سطحی انتخاب می‌شود. مقادیر این دو پارامتر که پس از فرایند واسنجی محاسبه شده بود در جدول ۴ آورده شده است.

داده‌های نترات

مقدار نترات اولیه لایه‌های خاک، غلظت نترات موجود در آب باران، مقادیر کوددهی، انحلال کود، نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه، پارامترهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون معادله میخایل منتن^۲، ضریب پخشیدگی، پارامترهای گیاهی

و داده‌های عملیات خاک‌ورزی، داده‌های مربوط به نترات هستند. مقادیر ضرایب معادله میخایل منتن تأثیر زیادی بر داده‌های خروجی مدل دارند. مقادیر نترات عمق‌های ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری خاک در تیمارهای مورد نظر با نمونه برداری قبل از شروع تحقیق انجام گرفت. این مقادیر در جدول ۲ نشان داده شده است.

این مدل فرایند شبیه‌سازی نیتریفیکاسیون را با استفاده از سینتیک میخایل منتن انجام می‌دهد (۲۱). این معادله از یک تابع گام‌به‌گام برای مدل‌سازی اثر بازدارنده‌های نیتریفیکاسیون بر سرعت روند نیتریفیکاسیون استفاده می‌کند. مدل DRAINMOD-N فرایند دنیتریفیکاسیون را با استفاده از سینتیک میخایل منتن با توجه به مقدار NO_3^- N شبیه‌سازی می‌کند (۱۸، ۲۶، ۳۰).

یکی از پارامترهای تعیین ضریب پخشیدگی، پارامتر اعوجاج^۳ است که پارامتری بدون بعد است که مقدار آن برای انتقال املاح ریز به وسیله جریان سیال در محیط‌های متخلخل، کمتر از یک است (۱۹، ۳۲). نرخ تغییرات اعوجاج برای اغلب خاک‌ها بین ۰/۳ تا ۰/۷ است (۳۴). ضرایب به‌کاررفته در جدول ۴ نشان داده شده است.

واسنجی و ارزیابی مدل

واسنجی مدل در دو مرحله انجام گرفت. ابتدا براساس داده‌های میدانی دبی زهکش، با تغییر مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، عمق کرکهام برای جریان به سمت

1. Maximum Surface Storage
2. Michaelis Menten

3. Tortuosity

جدول ۴: پارامترهای به کاررفته در مدل DRAINMOD-N

مقادیر	واحد	پارامتر	پارامترهای به کاررفته در مدل
۸۳	C	نمایه حرارتی	داده هواشناسی
۰/۷	(cm)	Sm	داده‌های زهکشی
۰/۵	(cm)	SI	
۳۷/۸	Vmax($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$)	نیتروفیکاسیون	ضرایب معادله میخایل متن
۷/۲۳	Km(mg N L^{-1})		
۲۱/۲	Vmax($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$)	دنیتروفیکاسیون	
۱۲	Km(mg N L^{-1})		
۹۸	Vmax($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$)	انحلال کود اوره	
۴۳	Km(mg N L^{-1})		
۵۰	-	پخشیدگی طولی	ضرایب پخشیدگی
۰/۷	-	اعوجاج	

وارد کردن آن در نرم افزار انجام گرفت و نتایج آن با مقدار نیترات واقعی مقایسه شد. این فرایند تا حصول بهترین تطابق بین مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده ادامه یافت. مقادیر نهایی ضرایب به کاررفته در جدول ۴ ارائه شده است.

عملکرد مدل در فرایند واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از آماره های بازده مدل^۱ (EF)، درصد خطا^۲ (PE)، ضریب تبیین (R²)، خطای معیار (SE) یا جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف (AD) یا میانگین خطای مطلق ارزیابی شد.

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

$$PE = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \sum_{i=1}^n O_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \times 100 \quad (2)$$

1. Nash-Sutcliffe Efficency
2. PercetError

زهکش‌ها (SI) و حداکثر ذخیره سطحی (S_m) مدل واسنجی شد (۳۳). مقدار نهایی دو پارامتر حداکثر ذخیره سطحی و ضریب کرکهام در جدول ۴ نشان داده شده است. در مرحله بعد، واسنجی مدل با استفاده از داده‌های غلظت نیترات زهاب انجام گرفت. با بررسی پارامترهای ورودی نیتروژن مشخص شد که پارامترهای معادله میخایل متن در تعیین نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون نیتروژن در خاک و نیتروفیکاسیون کود اوره، بیشترین تأثیر را بر شبیه سازی غلظت نیترات خروجی دارند. در مطالعات صورت گرفته، بیشترین نرخ تغییرات نیتروفیکاسیون و دنیتروفیکاسیون (Vmax) خاک‌های مختلف را برای معادله میخایل متن به ترتیب بین ۴ تا ۳۸ و ۳/۳ تا ۱۵۰ میکروگرم نیتروژن بر گرم خاک در روز ($\mu\text{g N g}^{-1} \text{ soil d}^{-1}$) به دست آوردند (۲۸). همچنین نشان دادند که در این تحقیقات ثابت میخایل (Km) برای خاک‌های مختلف بین ۱ تا ۱۳ و ۱/۸ تا ۱۷۰ میلی گرم نیتروژن بر لیتر (mg N L^{-1}) است (۲۸). عمل واسنجی با در نظر گرفتن مقدار عددی از هر دو ضریب Vmax و Km در محدوده‌های پیشنهادی یاد شده و

استفاده شد. در شکل ۲ نمودار غلظت نیترات زهآب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای تیمار $D_{0.65}L_{30}$ نشان داده شده است. عملکرد مدل در شبیه‌سازی غلظت نیترات $D_{0.65}L_{30}$ با استفاده از آماره‌ها ارزیابی و مقادیر EF، PE، R^2 ، RMSE (میلی‌گرم بر لیتر) و AD به ترتیب ۰/۷۱، ۲/۶۶، ۰/۷۲، ۰/۹۴ و ۰/۵۶ محاسبه شد. مقادیر متوسط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی به ترتیب ۳/۵۶ و ۳/۴۶ میلی‌گرم بر لیتر محاسبه شد.

اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های نهایی استفاده شده در مرحله واسنجی تیمار $D_{0.65}L_{30}$ انجام گرفت. در شکل‌های ۳، ۴ و ۵، مقادیر نیترات اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده در مرحله اعتبارسنجی، و در جدول ۵، متوسط غلظت نیترات زهآب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و آماره‌های ارزیابی مدل آورده شده است.

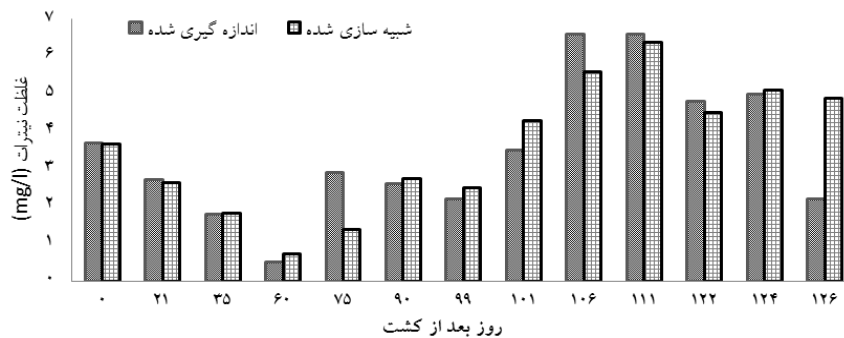
$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (3)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (4)$$

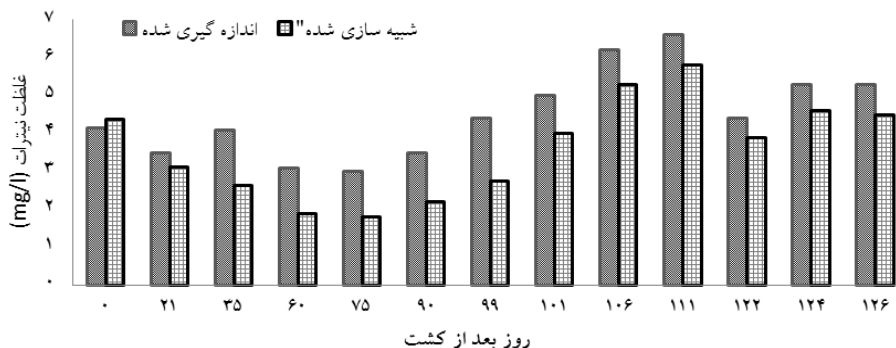
$$AD = \frac{\sum_{i=1}^n |(O_i - P_i)|}{n} \quad (5)$$

نتایج و بحث

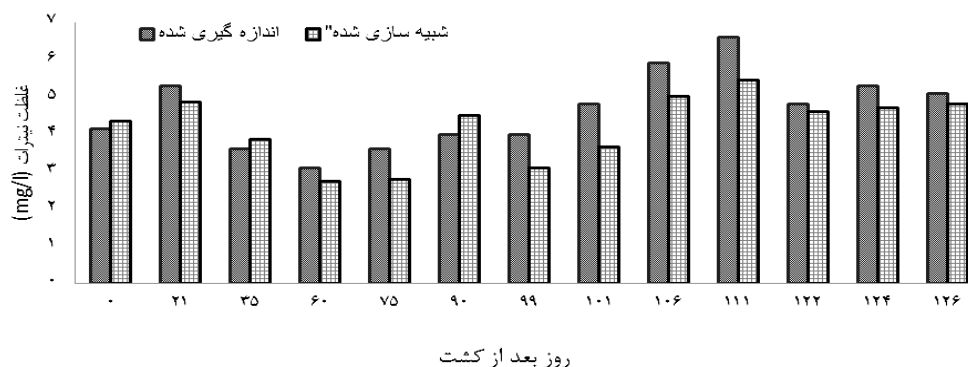
مدل DRAINMOD برای تیمار $D_{0.65}L_{30}$ به گونه‌ای واسنجی شد که حداکثر تطابق ممکن بین مقادیر غلظت نیترات زهآب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده ایجاد شود. سپس برای اعتبارسنجی مدل با توجه به داده‌هایی که در واسنجی مدل به کار رفت، این مدل برای دیگر تیمارها



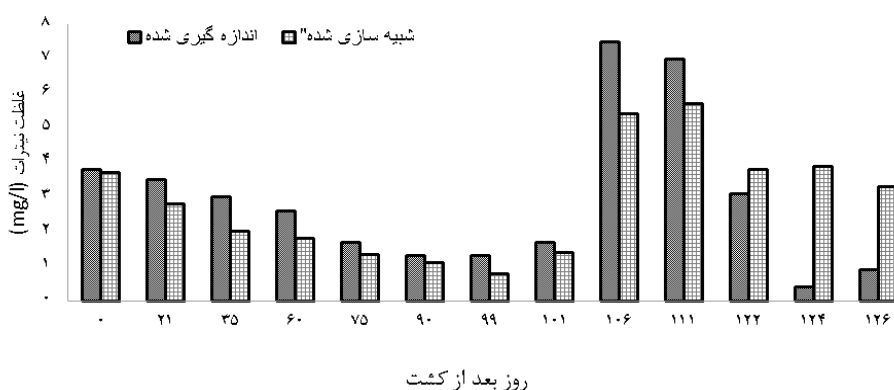
شکل ۲. مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{30}$



شکل ۳. مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{15}$



شکل ۴. مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار D_{0.9}L₃₀



شکل ۵. مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در تیمار D_{0.65}L₁₅F

جدول ۵. متوسط مقادیر نیترات زهاب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده (میلی‌گرم بر لیتر) و آماره‌های ارزیابی مدل

تیمار	تعداد نمونه‌ها	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	PE	EF	R ²	SE	AD
D _{0.65} L ₃₀	۱۳	۳/۴۶	۳/۵۶	۲/۶۶	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۹۴	۰/۵۶
D _{0.65} L ₁₅	۱۳	۴/۵	۳/۶	-۱۹/۸۹	۰/۱۲	۰/۸۵	۱/۰۱	۰/۹۳
D _{0.65} L ₁₅ F	۱۳	۲/۹	۲/۸۵	-۱/۹۸	۰/۵۲	۰/۵۳	۱/۴۳	۱/۰۷
D _{0.9} L ₃₀	۱۳	۴/۶۳	۴/۱۸	-۹/۵۹	۰/۵۰	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۵۹

تغییرات غلظت نیترات زهاب در طول دوره تحقیق را به‌خوبی شبیه‌سازی کرد، اما در فرایند اعتبارسنجی با اینکه مدل، شبیه‌سازی مناسبی از روند تغییرات غلظت نیترات

با توجه به نتایج و آماره‌های محاسبه‌شده، مدل عملکرد خوبی در شبیه‌سازی غلظت نیترات خروجی از تیمار D_{0.65}L₃₀ داشت. همچنین در نتیجه واسنجی، مدل، روند

شبیه‌سازی انتقال نیترات اراضی شالیزاری مازندران در فصل کشت کلزا برای مدیریت منابع آب

برای توزیع نیترات در پروفیل خاک در اراضی شالیزاری انجام نداد. در منطقه بررسی شده در طول زمان تحقیق چند بار بارندگی شدید رخ داد که همین ممکن است دلیل شبیه‌سازی نامناسب مدل باشد. در بررسی قابلیت شبیه‌سازی انتقال نیترات مدل DRAINMOD-N، یکی از اشکالات مدل، شبیه‌سازی نامناسب تأثیر باران‌های شدید بر تلفات نیترات بیان شده است (۱۲). در این تحقیق، اصلاح تابع ترکیب‌سازی نیترات مدل، و توسعه این بخش از مدل و افزودن پارامتری برای لحاظ کردن حضور میکروب‌های بی‌هوازی خاک در فرایندهای چرخه نیتروژن پیشنهاد شده است (۱۲). در مناطق مرطوب (مانند نواحی شمالی ایران)، به دلیل بارندگی فراوان، رطوبت خاک اغلب زیاد بوده و شرایط برای فعالیت میکروب‌های بی‌هوازی مناسب است (۱۲). همان طور که در شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده، مقدار نیترات شبیه‌سازی شده، اغلب کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است که یکی از دلایل آن را می‌توان در نظر نگرفتن این پارامتر در مدل DRAINMOD-N دانست.

زه‌آب خروجی تیمارهای بررسی شده داشت، شبیه‌سازی مناسبی از مقدار نیترات خروجی از زهکش‌ها انجام نداد و مقدار نیترات زه‌آب را اغلب کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن برآورد کرد. این نتایج با نتایج تحقیقی که در کبک کانادا انجام گرفت، مطابقت دارد (۱۲). همچنین در تحقیقی که در شمال آلمان درباره شبیه‌سازی خروج نیترات با استفاده از مدل DRAINMOD-N انجام دادند، نشان داده شد که مدل، شبیه‌سازی مناسبی در این اراضی انجام نداد و مقدار نیترات را اغلب کمتر از حد اندازه‌گیری شده محاسبه کرده است (۱۰).

پس از بررسی غلظت نیترات خروجی از زهکش‌ها، غلظت نیترات پروفیل خاک در هر چهار تیمار بررسی شد. عملکرد مدل در شبیه‌سازی نیترات لایه‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک تیمارهای زهکشی با استفاده از آماره‌ها ارزیابی شد. نتایج این آماره‌ها در جدول ۶ ارائه شده است. آماره‌های محاسبه شده برای توزیع نیترات در پروفیل خاک نشان می‌دهد که مدل DRAINMOD-N شبیه‌سازی مناسبی

جدول ۶. متوسط مقادیر نیترات خاک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده (میلی‌گرم بر لیتر) و آماره‌های ارزیابی مدل

تیمار	تعداد نمونه‌ها	عمق (cm)	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	PE	EF	R ²	SE	AD
D _{0.65} L ₃₀ S	۸	۳۰	۵/۲۷	۲/۰۷	-۶۰/۷۴	-۲/۸۱	۰	۲/۴۷	۱/۹۷
D _{0.65} L ₃₀ S	۸	۶۰	۶/۷۸	۲/۴۵	-۶۳/۷۹	-۰/۳۷	۰/۰۳	۴/۶۵	۲/۶۶
D _{0.65} L ₁₅ S	۸	۳۰	۵/۹۶	۲/۳	-۶۵/۶۵	-۱/۳۱	۰	۳/۳۲	۲/۲۵
D _{0.65} L ₁₅ S	۸	۶۰	۵/۲۶	۱/۹۳	-۶۳/۶۲	-۰/۷۲	۰/۰۴	۳/۳۸	۲/۲۵
D _{0.65} L ₁₅ F	۸	۳۰	۵/۹۶	۲/۴۱	-۶۱/۳۶	-۱/۶۸	۰	۳/۰۶	۱/۷۷
D _{0.65} L ₁₅ F	۸	۶۰	۵/۶۵	۲/۳	-۶۰/۹۴	-۱/۴۲	۰/۰۶	۴/۴	۲/۱۱
D _{0.9} L ₃₀ S	۸	۳۰	۶/۳۶	۲/۵۱	-۶۲/۱۸	-۱/۹۴	۰	۲/۶۳	۲/۵۱
D _{0.9} L ₃₀ S	۸	۶۰	۴/۷۴	۲/۱	-۶۶/۱۸	-۱/۷۴	۰/۰۲	۳/۸۱	۲/۷۸

نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده از آماره های ارزیابی مدل در مقایسه غلظت نیترات خروجی از زهکش ($D_{0.65L_{30}S}$) و نتایج شبیه سازی شده آن به وسیله مدل DRAINMOD-N در مرحله واسنجی و نیز نتایج این آماره ها در مرحله اعتبارسنجی در تیمار های ($D_{0.65L_{15}S}$)، ($D_{0.9L_{30}S}$) و ($D_{0.65L_{15}F}$)، مشاهده شد که با وجود شبیه سازی مناسب مدل DRAINMOD-N در غلظت نیترات خروجی از زهکش تیمار ($D_{0.65L_{30}}$)، در تیمارهای ($D_{0.65L_{15}S}$)، ($D_{0.9L_{30}S}$) و ($D_{0.65L_{15}F}$) شبیه سازی مناسبی صورت نگرفت. همچنین نتایج شبیه سازی نیترات لایه های خاک و مقایسه آن با داده های میدانی نشان داد که مدل DRAINMOD-N به طور مناسبی انتقال نیتروژن در اراضی شالیزاری را شبیه سازی نکرد. این موضوع ممکن است به دلیل تفاوت وضعیت خاک در اراضی شالیزاری با اراضی غیرشالیزاری باشد. بافت خاک در این اراضی سنگین است. همچنین به دلیل حالت غرقابی در فصل کشت برنج، وزن مخصوص ظاهری خاک، زیاد است. وجود کفه سخت در اراضی شالیزاری ممکن است یکی از عواملی باشد که سبب شد مدل نتواند شبیه سازی مناسبی انجام دهد. کفه سخت در اراضی شالیزاری مانع حرکت آب و انتقال املاح و مواد غذایی می شود. در مدل DRAINMOD-N ابرزاری برای در نظر گرفتن کفه سخت و تأثیر آن بر حرکت آب تعریف نشده و این مدل بیشتر برای اراضی خشکه زاری توسعه یافته است. شایان ذکر است که این نتایج با استفاده از داده های یک فصل کشت به دست آمده است و بی تردید نمی توان در مورد کارایی مدل اظهار نظر کرد. از این رو توصیه می شود با داده برداری در سال های آتی، مدل بررسی شود.

منابع

۱. بانک کشاورزی (اداره کل مطالعات و بررسی های اقتصادی) (۱۳۸۸). خلاصه سیمای آب و هوا، اقلیم و منابع آب استان مازندران. ۱۱ صفحه.
۲. بای بوردی م (۱۳۷۸). اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران. ۶۴۱ صفحه.
۳. درزی ع، میرلطیفی م، شاهنظری ع، اجلالی ف. و مهدیان م ح (۱۳۹۰). تأثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر عملکرد برنج و اجزای آن در اراضی شالیزاری. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۶(۱): ۶۱-۷۱.
۴. ربیع م، قیصری م. و میرلطیفی م (۱۳۹۲) ارزیابی مدل DSSAT v4.5 به منظور شبیه سازی آبشویی نیترات در مزرعه ذرت در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۶۳: ۷۱-۸۱.
۵. رهبری پ، جلیلی س ج. و لیاقت ع (۱۳۸۵). شبیه سازی انتقال نیترات با مدل DRAINMOD-N. علوم کشاورزی ایران. ۸: ۲۱-۳۲.
۶. زارع ایبانه ح، نوری ح. لیاقت ا، کرمی و. و نوری ح (۱۳۸۹). واسنجی آبشویی و نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزار با استفاده از مدل DRAINMOD-N. علوم کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۹: ۵۷-۶۰.
۷. علیزاده ا (۱۳۸۰). رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی. ۳۵۳ صفحه.
۸. معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (۱۳۸۸). نشریه شماره ۲-۴۷۱، مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، جلد دوم. ۲۰۶ صفحه.

مدیریت آب و آبیاری

18. Kohl DH, Vithayathil F, Whitlow P, Shearer G, and Chien SH (1976) Denitrification kinetics in soil systems: the significance of good fits of data to mathematical forms. *Soil Science Society American Journal*. 40:249-253.
19. Leij FJ and Van Genuchten MTh (1999) Principles of solute transport. In Skaggs RW and Van Schilfgaarde J (Eds.), *Agricultural Drainage*. Agronomy Monograph. 38. ASA, CSSA and SSSA, Madison, WI., Pp 331-359
20. Leonard R A, Knisel W G and Sill D A (1987) GLEAMS: groundwater loading effects of agricultural management systems. *Transactions of the ASAE* 30(5): 1403-1418.
21. Malhi SS and McGill W B (1982) Nitrification in three Alberta soils: effect of temperature, moisture and substrate concentration. *Soil Biology and Biochemistry*. 14:393-399.
22. Mansouri A and Lurie AA (1993) Concise review: methemoglobinemia. *American Journal of Hematology*, 42: 7-12.
23. Mosier AR, Syers JK and Freney JR (Eds) (2004) *Agriculture and the nitrogen cycle: Assessing the impacts of fertilizer use on food production and the environment*. Washington DC, USA: Island Press. 244p.
24. NRC (1978) Nitrates: An Environmental Assessment, Report 0-309-02785-3. USA Washington, DC: National Academy of Sciences. 723 pp.
25. Salazar O, Wesstrom I, Youssef MA, Skaggs RW and Joel A (2009) Evaluation of the DRAINMOD-N II model for predicting nitrogen losses in a loamy sand under cultivation in south-east Sweden. *Agricultural Water Management*. 9 (6): 267 – 281
26. Schipper LA, Cooper AB, Harfoot CG and Dyck WJ (1993) Regulators of denitrification in an organic riparian soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 25:925-933
9. نجفی غ (۱۳۸۷). نقش مدیریت منابع آب در حوزه آبریز رودخانه هراز. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
10. Bechtold I, Kohne S, Youssef MA and Lennartz B (2007) Simulating nitrogen leaching and turnover in a subsurface-drained grassland receiving animal manure in Northern Germany using DRAINMOD-N II. *Agricultural Water Management*. 93: 30 – 44.
11. Breve' MA, Skaggs RW, Parsons JE and Gilliam JW (1997) DRAINMOD-N, A Nitrogen Model For Artificially Drained Soils. *Transactions of the ASAE*. 140(4): 1067-1075.
12. Helwing TG, Chandra MA and Dodds GT (2002) Modeling nitrate losses in drainage water using DRAINMOD 5.0. *Agricultural Water Management*. 56: 153-168.
13. Hutson JL and Wagenet RJ (1992) LEACHM—Leaching Estimation and Chemistry Model, Version 3. Cornell University, Ithaca, New York.
14. Jansson PE (1991) *The SOIL N Model: User's Manual*, Communications 91:6. Swedish University of Agricultural Science.
15. Kalita PK, Algoazany AS, Mitchell JK, Cooke RA C and Hirschi MC (2006) Subsurface water quality from a flat tile-drained watershed in Illinois. USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 115: 83-193.
16. Kersebaum KC (1999) *Übersicht über den Stand der Modellierung des Stickstoff-Kreislaufs in der ungesättigten Zone, Stand der Untersuchung zur Reaktionskinetik von Stickstoff im Boden*. Institut für Grundwasserwirtschaft Technische Universität Dresden, Heft 2.
17. Kersebaum KC (1989) *Die Simulation der Stickstoff-Dynamik in Ackerböden*. University Hannover, Ph.D Dissertation.

27. Skaggs RW (1980) Drainmod Reference Report, Methods for Design and Evaluation of Drainage Water Management Systems for Soils With High Water Tables, USDA, SCS, North Carolina State University, Raleigh. 185 pp.
28. Stark JM and Firestone MK (1996) Kinetic characteristics of ammonium-oxidizer communities in a California Oak woodland-annual grassland. Soil Biology and Biochemistry. 28:1307-1317
29. Stibinger J (2009) Terrain experimental measurement of saturated hydraulic conductivity on paddy fields in Taoyuan (Taiwan) during the cycling of flooded period. Agricultural Water Management. 92(2) : 82-89.
30. Strong DT and Fillery IRP (2002) Denitrification response to nitrate concentrations in sandy soils. Soil Biology and Biochemistry. 34:945-954.
31. Svendsen H, Hansen S, Jensen HE and Nielsen NE (1993) Users Guide to the Daisy Simulation Model. The Royal Veterinary and Agricultural University Department of Agricultural, Agrohydrology
32. Van Genuchten MTh and Wierenga PJ (1986) Solute dispersion coefficients and retardation factors. In Klute A (Eds), Methods of soil analysis. I. Physical and mineralogical methods. ASA-SSSA, Madison, WI. 9(2): 1025-1054
33. Wang X, Mosley CT, Frankenberger JR and Klavivko EJ (2005) Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacing using DRAINMOD. Agricultural Water Management. 79: 113-136.
34. Yang CC, Prasher SO, Wang S, Kim SH, Tan CH, Drury C and Patel RM (2007) Simulation of nitrate-N movement in southern Ontario, Canada with DRAINMOD-N. Agricultural Water Management. 87: 299-306.