

ارزیابی کارایی مدل CERES-Rice در پیش‌بینی مولفه‌های بیلان نیتروژن در فصل کشت برنج در شالیزارهای مجهز به زهکشی زیرزمینی

حسن علی نژاد¹، عبدالله درزی نفت‌چالی^{2*}، سیدفرهاد صابرعلی³

تاریخ دریافت: 1395/8/9 تاریخ پذیرش: 1395/11/6

چکیده

مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی ابزارهای مناسبی برای پیش‌بینی سریع و کم‌هزینه‌ی اثرات تغییرات مدیریتی و ساختاری بر سیستم‌های کشاورزی می‌باشند. در این تحقیق، قابلیت مدل CERES-Rice برای پیش‌بینی تلفات نیتروژن در شالیزارهای مجهز به سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی با عمق 0/9 متر و فاصله 30 متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق 0/65 متر و فاصله 30 متر ($D_{0.65}L_{30}$) و عمق 0/65 متر و فاصله 15 متر ($D_{0.65}L_{15}$) ارزیابی شد. دوره‌های زهکشی میان‌فصل طی دو فصل کشت متوالی برنج (1391-1390)، میزان تلفات نیتروژن از سیستم‌های مختلف زهکشی اندازه‌گیری شد. همچنین، مراحل فنولوژیکی گیاه و میزان عملکرد برنج تعیین شد. عملکرد مدل در دوره واسنجی (1390) و صحت‌سنجی (1391) با استفاده از کارایی مدل، شاخص توافق و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده بررسی شد. مقدار این شاخص‌ها در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی، در محدوده قابل قبولی قرار داشت که نشان‌دهنده کارایی مناسب مدل برای شبیه‌سازی شاخص‌های رشد و عملکرد برنج در تیمارهای مورد مطالعه می‌باشد. در طول دو فصل کشت، مجموع تلفات واقعی نیتروژن در سیستم‌های $D_{0.9}L_{30}$ ، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به ترتیب 15/4، 24 و 20/8 کیلوگرم در هکتار و مقادیر شبیه‌سازی شده متناظر آن‌ها 5/7، 6 و 4/3 کیلوگرم در هکتار بود. میزان جذب واقعی و شبیه‌سازی شده نیتروژن توسط برنج در تیمارهای مختلف، به ترتیب در محدوده 181/4 - 115/2 و 99 - 71/7 کیلوگرم در هکتار قرار داشت. بر اساس نتایج، پیش‌بینی دقیق مولفه‌های بیلان نیتروژن به‌وسیله مدل CERES-Rice، مستلزم بهبود قابلیت مدل برای در نظر گرفتن عوامل اساسی موثر بر این مولفه‌ها در شرایط مورد مطالعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برنج، مدل DSSAT، کارایی مصرف نیتروژن، نترات‌زدایی، نترات‌زایی

مقدمه

در کشورهای اروپایی و آمریکای شمالی نیز برنج به‌عنوان یک ماده غذایی سالم مورد توجه قرار گرفته است و مصرف آن در حال افزایش است (FAO, 2014). با توجه به افزایش تقاضا برای مصرف برنج و محدودیت منابع آب و همچنین خاک حاصل‌خیز، استفاده از روش‌های کارآمد برای ارتقای بهره‌وری اراضی شالیزاری اجتناب‌ناپذیر است. بهبود بهره‌وری این اراضی تا حد زیادی در گرو بهبود عملکرد برنج می‌باشد که تابع عوامل بسیاری از جمله رطوبت خاک، مواد آلی و مواد معدنی ناحیه ریشه است.

در خاک‌های مرطوب اراضی شالیزاری، به دلایل گوناگون از جمله آب‌شویی و نترات‌زدایی، کمبود عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن ممکن است تشدید شود (زارع ایبانه و همکاران، 1390). مصرف کودهای شیمیایی از جمله کودهای نیتروژن در بیش‌تر سیستم‌های تولید، برای رفع کمبود مواد غذایی مورد نیاز رشد گیاهان و افزایش عملکرد محصول متداول است. نیتروژن در شالیزارها سبب افزایش سرعت رشد، شادابی بوته، افزایش عملکرد و پروتئین دانه می‌شود. با این وجود، مصرف بیش از حد و در زمان نامناسب این ماده غذایی

تامین غذای جمعیت رو به رشد جهان، چالشی اساسی فراروی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان ملی و بین‌المللی است. به‌دلیل عدم کارایی مطلوب روش‌های کشاورزی سنتی، استفاده از این روش‌ها پاسخ‌گوی نیاز روزافزون غذایی جوامع نخواهد بود. امروزه، دستیابی به تولید بیش‌تر از طریق توسعه سطح زیر کشت تقریباً امکان‌پذیر نیست و این مهم تنها از طریق افزایش بهره‌وری اراضی زیر کشت قابل انجام می‌باشد. در بین محصولات مختلف کشاورزی، برنج به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین محصولات زراعی، اهمیت ویژه‌ای در تغذیه بیش از نیمی از مردم جهان دارد (Guerra et al., 1998). حتی

- 1- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
 - 3- استادیار گروه زراعت مجتمع آموزش عالی تربت جام
- * - نویسنده مسئول: (Email: abduallahdarzi@yahoo.com)

باشد. با توسعه قابلیت‌های نرم‌افزاری و پیشرفت روش‌های رایانه‌ای، جمع‌آوری، ذخیره و پردازش عوامل زمانی و مکانی موثر بر فرایندهای مختلف امکان‌پذیر شد که این امر باعث ارتقای نقش مدل‌های شبیه‌سازی در مدیریت مزرعه شده است. مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی تلفات نیتراژ از اراضی کشاورزی و انتقال آن به آب‌های زیرزمینی در شرایط گوناگون در سطح ملی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به DRAINMOD-N (Wagenet and Hutson, LEACHM-N, Skaggs, 1980) (1989) و CERES¹ (Liu et al., 2011) اشاره کرد. مدل CERES در قالب بسته نرم‌افزاری DSSAT² (Dong et al., 2012) ارائه شده است. این بسته از معروف‌ترین و پرکاربردترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است که در بیش از 90 کشور دنیا استفاده شده است (Jones et al., 2003). بخش نیتروژن این مدل دارای چهار زیر بخش حرکت نیتروژن، تثبیت نیتروژن خاک، برداشت نیتروژن و فاکتور تنش نیتروژن است (Jones et al., 2003).

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه‌ی ارزیابی این مدل تحت زراعت‌های مختلف و مدیریت‌های متفاوت آب و نیتروژن انجام شده است (Asadi and Clemente, 2003; Garrison et al., 1999; Liu et al., 2011). نتایج این تحقیقات عموماً نشان‌دهنده قابلیت مدل CERES در شبیه‌سازی عملکرد محصول و آب‌شویی نیتراژ می‌باشد. ارزیابی مدل CERES-Rice برای شبیه‌سازی پاسخ ارقام مختلف گیاه برنج به کاربرد نیتروژن در اراضی شالیزار کشور تا بلند نشان داد که این مدل می‌تواند ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری‌های مربوط به تولید برنج در مناطق گرمسیری باشد (Tan et al., 2013). طی تحقیقی، قابلیت مدل CERES در شبیه‌سازی آب‌شویی نیتراژ در مزرعه ذرت و یونجه تحت تیمارهای مختلف خاک‌ورزی و بدون خاک‌ورزی ارزیابی شد (Garrison et al., 1999). نتایج نشان داد که مدل تحت شرایط بدون خاک‌ورزی، آب‌شویی نیتراژ را به‌درستی شبیه‌سازی کرد ولی در زمین‌هایی که خاک‌ورزی شدند، میزان آب‌شویی را کمتر از مقدار واقعی تخمین زد. مطالعه‌ای در جنوب هند نشان داد که مدل CERES-Rice قادر به شبیه‌سازی اثرات مدیریت آب و تثبیت نیتراژ بر عملکرد برنج در این منطقه است (Pathak et al., 2004).

علی‌رغم انجام تحقیقات مختلف در زمینه‌ی ارزیابی قابلیت مدل CERES، مرور منابع موجود نشان می‌دهد که تاکنون در هیچ تحقیقی کارایی این مدل برای شبیه‌سازی تلفات نیتراژ از اراضی شالیزار مجهز به زهکشی زیرزمینی تحت مدیریت زهکشی میان-

می‌تواند سبب ایجاد اثرهای منفی زیست-محیطی مانند کاهش اکسیژن در اعماق آب‌های پذیرنده زه‌آب‌های محتوی مقادیر زیادی نیتروژن و افزایش غلظت نیتراژ در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و به خطر افتادن سلامتی انسان و دام شود (Dong et al., 2012). علاوه بر این، کاهش عملکرد و افزایش هزینه تولید نیز می‌تواند از عواقب مصرف بیش از حد نیتروژن باشد (Yang et al., 2009). برخی تحقیقات نشان داد که کمتر از 50 درصد نیتروژن مصرفی در مزارع در تولید ماده خشک گیاهی به کار می‌رود و مابقی در اثر تصعید، آب‌شویی، رواناب سطحی و نیتراژزدایی وارد محیط‌زیست می‌شود (Jeffrey et al., 2002). فرآیند نیتراژزدایی در شرایط کمبود اکسیژن به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها، عمدتاً باکتری‌ها، انجام می‌شود. به‌این‌صورت که میکروارگانیسم برای انجام فعالیت‌های متابولیکی خود، از نیتراژ به‌جای اکسیژن استفاده می‌کنند. در این فرآیند، نیتراژ به نیتريت و سپس به گازهای مونواکسید نیتروژن و نیتروژن احیا می‌شود (Reddy et al., 1984).

با توجه به مصرف زیاد کودهای نیتروژنی برای کشت برنج، تلفات نیتراژ در مزارع شالیزار امری اجتناب‌ناپذیر است. تحقیقی در شالیزارهای کشور چین نشان داد که میزان تلفات سالانه نیتروژن از طریق زهکش‌های سطحی و زیرزمینی به ترتیب 78/6 تا 45/2 تا 19 کیلوگرم در هکتار بود (Xing and Zhu., 2000). برقراری تعادل بین مقدار مصرف با مقدار نیاز گیاه به نیتروژن و کاهش انتقال آن به منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی، چالشی بزرگ برای بهبود کارایی مصرف این ماده غذایی موردنیاز گیاه است. مدیریت زهکشی می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش تلفات نیتروژن از مزارع کشاورزی دارای زهکشی زیرزمینی داشته باشد. مطالعه‌ای در اراضی شالیزار مجهز به سیستم زهکش زیرزمینی در هند نشان‌دهنده نقش مثبت زهکش زیرزمینی در کاهش تلفات نیتراژ و کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی بود (Sau et al., 2004). نتایج پژوهشی که روی سیستم‌های زهکشی آزاد و کنترل‌شده انجام شد نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش زیرزمینی، غلظت نیتراژ و حجم زه‌آب خروجی کاهش یافت (Yang et al., 2009). مقایسه تاثیر سامانه‌های زهکشی زیرزمینی دارای عمق‌ها و فواصل مختلف با سامانه زهکشی سطحی نشان داد که زهکشی زیرزمینی ضمن بهبود بهره‌وری مصرف کودهای نیتروژن، سبب کاهش اثرات منفی دفع نیتروژن از اراضی شالیزار به منابع آب سطحی و زیرزمینی شد (درزی نفت‌چالی و همکاران، 1392). همچنین، گزارش شد که آبیاری کنترل‌شده به همراه کنترل سطح ایستابی می‌تواند یک روش مدیریتی موثر در کاهش تلفات نیتراژ از شالیزارها باشد (Pathak et al., 2004).

اتخاذ راهکارهای مدیریتی و سازه‌ای مناسب برای افزایش کارایی مصرف نیتروژن، مستلزم ارزیابی‌های مزرعه‌ای زمان‌بر و پرهزینه می-

1-Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis
2-The Decision Support System for Agrotechnology Transfer

زیرزمینی معمولی شامل سامانه زهکشی با فاصله 30 متر و عمق نصب 0/9 متر (D0.9L30)، با فاصله 30 متر و عمق نصب 0/65 متر (D0.65L30) و با فاصله 15 و عمق نصب 0/65 متر (D0.65L15) واقع در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب 36/39 درجه شمالی و 53/04 درجه شرقی است و ارتفاع آن از سطح دریا 15- متر است. تا زمان انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای، متوسط بارندگی و دمای منطقه به ترتیب 616 میلی‌متر و 17/3 درجه سانتی‌گراد بود. حداقل و حداکثر دمای ثبت شده در ایستگاه هواشناسی دانشگاه، به ترتیب 6- و 38/5 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم این منطقه بر اساس روش دمارتن، از نوع مرطوب می‌باشد (بخت فیروز، 1390). بافت خاک مزرعه تا عمق دو متری غالباً از نوع سیلتی رس است. در جدول 1 برخی از خصوصیات خاک منطقه مطالعه ارائه شد.

فصل بررسی نشده است. با توجه به لزوم تجهیز اراضی شالیزاری شمال کشور به زهکش‌های زیرزمینی و به تبع آن تغییر کل سیستم کشت، بهبود مدیریت کشاورزی در این اراضی مستلزم آنالیز تغییرات حاصله با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی مناسب می‌باشد. بر این اساس، در این پژوهش ضمن واسنجی و صحت‌سنجی مدل CERES-Rice برای شالیزارهای دارای زهکشی زیرزمینی، کارایی این مدل در شبیه‌سازی تلفات نیتروژن و جذب و کارایی مصرف این ماده غذایی تحت مدیریت زهکشی میان فصل برنج، مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه

این مطالعه در یک مزرعه شالیزاری دارای سه سامانه زهکشی

جدول 1- برخی از خصوصیات خاک اراضی مورد مطالعه

عمق (cm)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	هدایت هیدرولیکی (cm/hr)	نیتروژن کل (%)	کربن آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	pH عصاره اشباع
0-30	1/34	7/32	0/1	1/47	6	50/5	43/5	8
30-60	1/4	2/5	0/08	1/51	8	37	55	8/1
60-90	1/37	6/25	0/08	1/47	6	43	51	7/95

داده‌های خاک مورد نیاز شامل درصد رس، سیلت و شن و میزان کربن آلی است. درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم نیز از ورودی‌های غیر ضروری محسوب می‌شود. درصد اجزای خاک برای تخمین ظرفیت نگهداشت آب خاک توسط مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین، داده‌های مدیریت کشت شامل نام و نوع گونه کشت شده، زمان کاشت، عمق و روش کاشت، فاصله و جهت کاشت، تراکم کشت، فاکتورهای مدیریت آب، آبیاری شامل روش و میزان آبیاری، میزان و روش کاربرد کود، نوع کود مصرفی و زمان برداشت می‌باشد. نوع گونه با استفاده از ترکیبی از ضرایب ژنتیکی که در فایل ژنوتیپ برای هر گیاه وجود دارد، ساخته می‌شود.

ضرایب ژنتیکی رقم دیلمانی با استفاده از داده‌های واقعی فنولوژیکی و رشدی گیاه در سال اول و طی فرایند واسنجی مدل، تخمین زده شد که مقادیر آن‌ها در جدول 3 ارائه شد. روش تخمین به صورت گام‌به‌گام بود، به این صورت که با صفات فنولوژیکی شامل تاریخ گل‌دهی و رسیدگی فیزیولوژیک شروع شد، سپس صفات رشدی شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک و در نهایت عملکرد دانه مورد ارزیابی قرار گرفت.

عملیات زراعی

در طول دو فصل کشت برنج در سال‌های 1390 و 1391، برنج طارم رقم دیلمانی که یک رقم زودرس و کم محصول است در اراضی مورد مطالعه کشت شد. آبیاری اراضی به روش غرقابی و با استفاده از چهار حلقه چاه سطحی که عمق هر کدام حدود 20 متر است صورت گرفت. نشاکاری در روزهای 30 تیر 1390 و 28 اردیبهشت 1391 به صورت دستی و با تراکم حدود 16 بوته در مترمربع انجام شد. کلیه عملیات زراعی به استثنای مدیریت آب، مطابق با فعالیت‌های زراعی رایج در منطقه و توسط کشاورزان محلی انجام شد. مدیریت آب به صورت آبیاری - زهکشی میان فصل - آبیاری - زهکشی پایان فصل بود. 25 روز پس از نشاکاری، با قطع آبیاری و برداشتن درپوش لوله‌های زهکش، به مدت یک هفته، شرایط زهکشی میان فصل فراهم شد. همچنین، از حدود دو هفته قبل از برداشت تا زمان برداشت، زهکشی پایان فصل انجام شد. در جدول 2 خلاصه‌ای از فعالیت‌های زراعی در فصول کشت برنج ذکر شد.

داده‌های مدل DSSAT (CERES-Rice)

داده‌های مورد نیاز مدل شامل داده‌های هواشناسی، داده‌های خاک و داده‌های مدیریت گیاه می‌باشد. داده‌های هواشناسی شامل ساعات آفتابی، کمینه و بیشینه دمای هوا و همچنین بارندگی است.

جدول 2- خلاصه فعالیت‌ها و مدیریت مزرعه‌ای در مدت مطالعه

تاریخ	عملیات زراعی یا مدیریتی
فصل اول کشت برنج (سال 1390)	
18 تا 27 تیر	عملیات شخم و گل خرابی
28 تیر	کوددهی پیش فصل (140 کیلوگرم در هکتار تریپل)
30 تیر	نشاکاری
6 مرداد	کود دهی (90 کیلوگرم در هکتار اوره)
24 تا 30 مرداد	زهکشی میان فصل
30 شهریور	شروع زهکشی پایان فصل
18 مهر	برداشت
فصل دوم کشت برنج (سال 1391)	
19 تا 26 اردیبهشت	عملیات شخم و گل خرابی
28 اردیبهشت	نشاکاری
5 خرداد	کوددهی (90 کیلوگرم در هکتار اوره)
23 تا 30 خرداد	زهکشی میان فصل
4 مرداد	شروع زهکشی پایان فصل
20 مرداد	برداشت

غلظت نیتروژن زه‌آب تعیین شد. در هر دو فصل کشت، مولفه‌های بیان آب از طریق روش مذکور در نشریه شماره 2-471 معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور (1388) برآورد شد. با استفاده از مقادیر حجم زه‌آب یا نفوذ عمقی در هر بازه زمانی و غلظت نیتروژن موجود در نمونه معرف آن دوره، تلفات نیتروژن مربوطه محاسبه شد. مقادیر اندازه‌گیری شده این تلفات در تیمارهای مختلف طی دو فصل کشت، به‌صورت فایل سری زمانی (T- file) در مدل وارد شد.

داده‌های هواشناسی مربوط به دوره مطالعه از طریق نرم‌افزار رابط آب و هوایی به‌نام Weatherman که داده‌های هواشناسی را به فرمت قابل استفاده مدل تبدیل می‌کند، تهیه شد. عملکرد کل زیست‌توده در زمان برداشت، حداکثر شاخص سطح برگ، تاریخ گل-دهی و تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی به‌عنوان شاخص‌های نهایی برای ساخت فایل A مدل مورد استفاده قرار گرفت. غلظت نیتروژن موجود در عصاره اشباع خاک در فواصل 15 روزه در هر دو فصل کشت اندازه‌گیری شد. همچنین، در طول مدت زهکشی در فصول مختلف،

جدول 3- ضرایب ژنتیکی برای رقم برنج مورد مطالعه (طارم دیلمانی)

PI	P2R	P2O	P5	G1	G2	G3	G4
300/6	35	11/4	250	50	0/02	0/7	1

$$NRMSE = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}\right)} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (3)$$

که در آن‌ها؛ O_i و P_i به ترتیب مقدار مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در زمان i تعداد مشاهده‌ها، \bar{O} متوسط مقادیر مشاهده‌ای و \bar{P} متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره زمانی است. بهترین مقدار EF و R^2 برابر یک است.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

عملکرد مدل در فرآیندهای واسنجی و صحت‌سنجی با استفاده از آماره‌های کارایی مدل (EF) (Legates and McCabe, 1999)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) و شاخص توافق بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مشاهده‌ای (d) ارزیابی شد. این آماره‌ها به‌صورت روابط یک تا سه تعریف می‌شوند:

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

8/9 درصد و پایین‌ترین میزان آن 1/9 درصد بود. همچنین، کم‌ترین میزان شاخص d و EF به ترتیب برابر 0/71 و 1/06 - و بیش‌ترین مقدار این دو شاخص به ترتیب برابر 0/99 و 0/94 بود. به‌طور کلی، مدل از قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی هر دو گروه از شاخص‌های رشد و عملکرد برخوردار بود. در مقایسه با مرحله واسنجی، دقت مدل در پیش‌بینی متغیرهای مورد بررسی در مرحله صحت‌سنجی تا حدودی کاهش یافت که بیش‌ترین میزان کاهش دقت، مربوط به متغیرهای فنولوژیک بود. در این مرحله، بیش‌ترین دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه حاصل شد. نگاهی کلی به نتایج شبیه‌سازی‌ها در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد که مدل CERES-Rice شاخص‌های فنولوژیک را حدوداً 4 درصد بیش‌تر برآورد نمود در حالی که عملکرد دانه و بیولوژیک را حدوداً 6 درصد کم‌تر از مقادیر واقعی پیش‌بینی کرد. اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را می‌توان به عدم قابلیت مدل در شبیه‌سازی شرایط واقعی مزرعه نظیر تاثیر علف‌های هرز، آفات، بیماری‌ها و بسیاری از عوامل مشابه بر رشد و عملکرد برنج دانست (Vilayvong et al., 2015). به‌طور کلی، شاخص توافق بالای 0/7، مقادیر NRMSE کم‌تر از 10 درصد و کارایی نسبتاً خوب مدل می‌تواند مبین کارکرد مناسب مدل CERES-Rice برای مزرعه مورد مطالعه باشد (Loague and Green., 1991).

با استفاده از داده‌های کلیه سیستم‌های زهکشی در سال 1390، واسنجی مدل به‌گونه‌ای انجام شد که بیش‌ترین تطابق بین داده‌های مشاهده‌ای و نتایج شبیه‌سازی‌های مدل ایجاد شود. همچنین، داده‌های سال 1391 در فرایند صحت‌سنجی مدل به‌کار گرفته شد. با استفاده از مدل واسنجی شده، نقش نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی در تبادلات نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان کارایی فیزیولوژیکی مصرف نیتروژن (عملکرد دانه به میزان نیتروژن جذب‌شده) در سیستم‌های مختلف زهکشی تعیین شد.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل

مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده برخی شاخص‌های فنولوژیک و عملکرد برنج به همراه شاخص‌های ارزیابی مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی، در جدول 4 ارائه شد. در دوره واسنجی، تاریخ‌های گل‌دهی و رسیدگی به‌عنوان تاریخ‌های فنولوژیک، به ترتیب تنها یک و دو روز دیرتر از مقادیر مشاهده‌ای، شبیه‌سازی شد. علاوه بر این، اختلاف کمی (2/5 درصد) بین مقادیر عملکرد مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، وجود داشت. مقادیر آماره‌های ارزیابی نیز موید قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی متغیرهای مورد بررسی به‌ویژه عملکرد دانه است. بالاترین میزان NRMSE برای چهار مولفه شبیه‌سازی شده برابر

جدول 4- مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده متغیرهای مورد بررسی به همراه آماره‌های ارزیابی مدل

عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	رسیدگی		گل‌دهی (روز پس از کشت)	مشاهده‌ای
		(روز پس از کشت)	(روز پس از کشت)		
1390 (واسنجی مدل)					
9365	3472	78	54	54	مشاهده‌ای
8798	3415	80	55	55	شبیه‌سازی
6/1	2/5	2/6	1/9	1/9	(%) NRMSE
0/9	0/99	-	-	-	d
0/23	0/94	-	-	-	EF
1391 (صحت‌سنجی مدل)					
9798	3642	80	56	56	مشاهده‌ای
8889	3462	84	61	61	شبیه‌سازی
9/4	5/1	7/7	8/9	8/9	(%) NRMSE
0/71	0/90	-	-	-	d
-1/06	0/56	-	-	-	EF

کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. در سال‌های 1390 و 1391، مجموع تلفات واقعی نیتروژن در تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ ، $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به ترتیب به میزان 197، 321 و 535 درصد و 106، 118 و 157 درصد بیش‌تر از مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده بود. آماره‌های

شبیه‌سازی تلفات نیتروژن

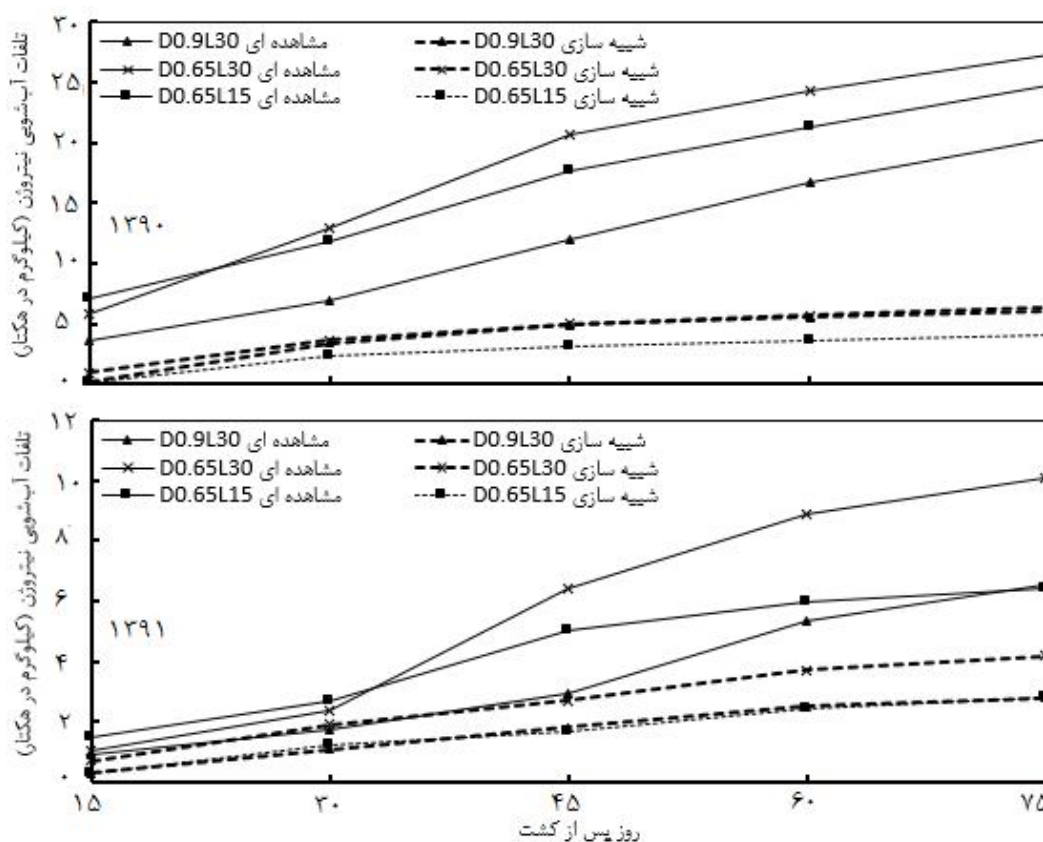
مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده تلفات نیتروژن در تیمارهای مختلف به همراه آماره‌های ارزیابی مدل در جدول 5 ارائه شد. تلفات نیتروژن شبیه‌سازی‌شده در هر دو فصل کشت، به‌طور قابل توجهی

می‌باشد (Hashim et al., 2015). به همین دلیل، در شبیه‌سازی‌های مدل، بخش اعظم نیتروژن موجود صرف جذب گیاه شده تا این‌که از مسیرهای دیگر تلف شود. یکی دیگر از دلایل خطای مدل در شبیه‌سازی تلفات نیتروژن می‌تواند مربوط به تکرار کم نمونه‌برداری‌ها (هر 15 روز یک‌بار) باشد. فاصله زمانی زیاد بین نمونه‌برداری‌ها سبب ایجاد عدم قطعیت در محاسبات تلفات نیتروژن می‌شود (Birgand et al., 2010). علاوه بر این، مدل DSSAT قادر به لحاظ کلیه واکنش‌های هیدرولوژیکی و بیولوژیکی موجود در خاک نمی‌باشد که این نیز می‌تواند به‌عنوان منبع خطا در شبیه‌سازی تلفات نیتروژن باشد (Negm et al., 2014a).

ارزیابی نیز موید عدم دقت مناسب مدل در پیش‌بینی میزان تلفات نیتروژن می‌باشد. به‌طور کلی، کم‌ترین و بیش‌ترین دقت مدل در شبیه‌سازی تلفات نیتروژن مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ بود. شکل 1 روند تلفات تجمعی نیترات اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در سیستم‌های مختلف زهکشی را نشان می‌دهد. در نمونه‌برداری‌های ابتدایی، به‌ویژه در سال 1391، اختلاف مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده کم بود اما با نزدیک شدن به انتهای فصل رشد، این اختلاف افزایش یافت. به نظر می‌رسد دلیل افزایش اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در دوره‌های ابتدایی تا میانی رشد برنج (قبل از شروع دوره رسیدگی)، به این واقعیت مربوط شود که جذب نیتروژن توسط برنج در این دوره که مقارن با رشد رویشی و زایشی برنج است، زیاد

جدول 5- مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده تلفات نیتروژن (کیلوگرم در هکتار) در تیمارهای مختلف به همراه آماره‌های ارزیابی مدل

سال	سیستم زهکشی	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	NRMSE	d	EF
1390	$D_{0.9}L_{30}$	11/9	4	75/4	0/58	-1/14
	$D_{0.65}L_{30}$	18/2	4/3	82/9	0/51	-2/79
	$D_{0.65}L_{15}$	16/5	2/6	89/66	0/45	-4/44
1391	$D_{0.9}L_{30}$	3/5	1/7	63/15	0/69	-0/06
	$D_{0.65}L_{30}$	5/8	2/64	67/68	0/66	-/20
	$D_{0.65}L_{15}$	4/31	1/68	65/91	0/62	-1/19



شکل 1- مقادیر آبشویی نیترات اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در تیمارهای مورد آزمایش

متناظر شبیه‌سازی شده بود. به‌طور کلی، کم‌ترین و بیش‌ترین دقت مدل در شبیه‌سازی جذب نیتروژن مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ بود. به‌دلیل برآورد کم‌تر میزان جذب نیتروژن و پیش‌بینی عملکرد دانه در محدوده مقادیر واقعی به‌وسیله مدل، مقادیر شبیه‌سازی شده کارایی مصرف نیتروژن بیش‌تر از مقادیر واقعی بود. در سال‌های 1390 و 1391، مقادیر شبیه‌سازی شده کارایی مصرف نیتروژن در تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ ، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به ترتیب به میزان 35، 40 و 56 درصد و 33، 26 و 38 درصد بیش‌تر از مقادیر واقعی آن بود. دلیل اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌ای را می‌توان به دخیل بودن عوامل مختلفی از جمله خطا در اندازه‌گیری میزان نیتروژن جذب‌شده در طول فصل، نحوه نمونه‌برداری و در نظر نگرفتن همه شرایط مزرعه در مدل مرتبط دانست. عدم لحاظ تغییرات خصوصیات ریشه برنج در فرایند شبیه‌سازی، می‌تواند یکی از دلایل اختلاف میان مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده جذب نیتروژن باشد زیرا ریشه‌ها مسیر ارتباطی بین نیتروژن معدنی خاک و نیتروژن گیاه هستند (Petersen et al., 2010).

پیش‌بینی‌های خوب و مطمئن از تلفات نیتروژن منوط به توصیف دقیق فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تنظیم‌کننده انتقال و تبادلات نیتروژن در سیستم آب- خاک- گیاه می‌باشد. بر این اساس، تغییرات کوچک در شبیه‌سازی‌های مربوط به زیست‌توده گیاه و اجزای بیلان آب به همراه تغییرپذیری شرایط خاک و محیط‌زیست، بر بیلان نیتروژن تاثیر دارند.

جذب نیتروژن توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن

جذب نیتروژن توسط گیاه به‌عنوان بزرگ‌ترین مخزن در چرخه نیتروژن در اکوسیستم‌های کشاورزی است (Negm et al., 2014b). میزان نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه و کارایی مصرف نیتروژن اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل در طول دو فصل کشت در جدول 6 ارائه شد. همانند تلفات نیتروژن، مدل میزان جذب نیتروژن به‌وسیله برنج را نیز به‌طور قابل توجهی کم‌تر از مقادیر واقعی، شبیه‌سازی نمود. در سال‌های 1390 و 1391، مجموع جذب واقعی نیتروژن در تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ ، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ به ترتیب به میزان 57، 65 و 141 درصد و 54، 43 و 69 درصد بیش‌تر از مقادیر

جدول 6- مقادیر واقعی و شبیه‌سازی شده نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه برنج (کیلوگرم بر هکتار) و کارایی مصرف نیتروژن (کیلوگرم بر کیلوگرم)

کارایی مصرف نیتروژن		نیتروژن جذب‌شده		تیمار
شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	
38/3	25/1	99	155/4	$D_{0.9}L_{30}$
37/9	22/8	93/7	154/4	$D_{0.65}L_{30}$
38/5	17/1	75/2	181/4	$D_{0.65}L_{15}$
1391				
کارایی مصرف نیتروژن		نیتروژن جذب‌شده		تیمار
شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	شبیه‌سازی	مشاهده‌ای	
43/3	29/2	87/4	135	$D_{0.9}L_{30}$
43/4	32/3	80/5	115/2	$D_{0.65}L_{30}$
43/5	26/8	71/7	121/1	$D_{0.65}L_{15}$

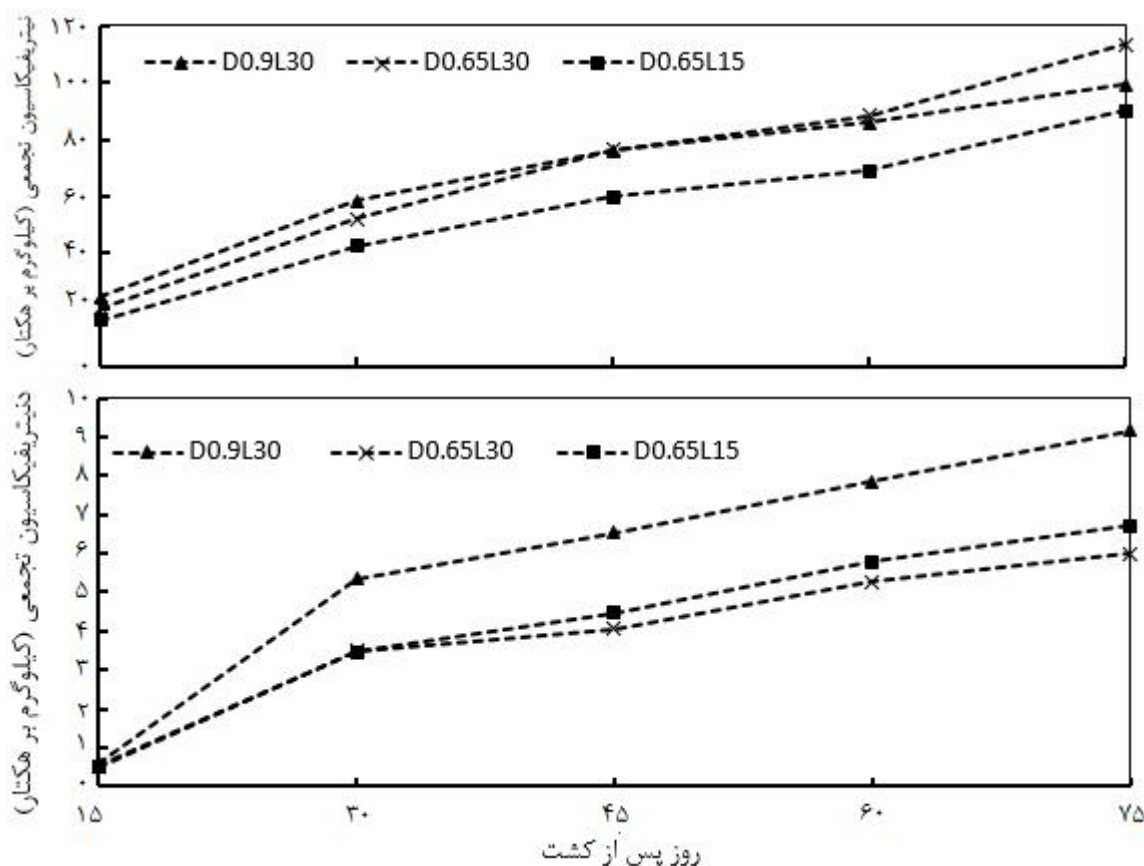
و جذب نیتروژن شبیه‌سازی شده در تیمارهای مختلف نشان‌دهنده افزایش میزان جذب با افزایش نیترات‌زایی می‌باشد. این مهم نشان می‌دهد که فراهم نمودن شرایط مناسب برای نیترات‌زایی می‌تواند نقش موثری در کاهش تلفات نیتروژن و بهبود کارایی مصرف آن داشته باشد. مقدار نیترات‌زایی در هر دو سال به‌طور قابل توجهی کم‌تر از نیترات‌زایی بود. مقدار تبادلات نیتروژن از طریق هر دو فرآیند، در سال اول بیش‌تر از سال دوم بود. لازم به ذکر است که کشت دیر هنگام برنج در مزرعه مطالعه در سال اول به دلیل عملیات نصب زهکش‌های زیرزمینی، شرایط مناسبی را برای ایجاد پوشش

نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی

یکی از قابلیت‌های مدل CERES-Rice، شبیه‌سازی فرایندهای نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی تحت شرایط موردنظر می‌باشد. در جدول 7، مجموع تبادلات نیتروژن در اثر این فرایندها در هر دو فصل کشت ارائه شد. همچنین، روند تغییرات نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی در سال 1391 (به‌عنوان نمونه) در شکل 2 نشان داده شد. در طول مدت مطالعه، نیترات‌زایی از 105 تا 157 کیلوگرم در هکتار متغیر بود که کم‌ترین مقدار آن مربوط به سیستم زهکشی $D_{0.65}L_{15}$ و بیش‌ترین آن مربوط به سیستم زهکشی $D_{0.9}L_{30}$ بود. مقایسه میزان نیترات‌زایی

که این امر احتمالاً به دلیل وجود محیط مناسب‌تر برای فعالیت میکروارگانیسم‌های دخیل در فرایندهای نیترازایی و نیترازایی در اوایل فصل کشت برنج می‌باشد. علاوه بر این، بررسی میزان نفوذ آب در فصل کشت برنج در سال 1390 نشان داد که در دوره 15 روز ابتدایی پس از نشاکاری، میزان نفوذ عمقی آب بیش‌تر از دوره‌های مشابه بعدی تا انتهای فصل کشت بود (Darzi- Naftchali et al., 2013). نفوذ بیش‌تر آب منجر به انتقال بیش‌تر اکسیژن و افزایش میزان اکسیداسیون در لایه سطحی خاک خواهد شد (Zhou et al., 2012).

گیاهی علفی فراهم آورده است که این پوشش از طریق عملیات شخم به خاک برگردانده شد. این شرایط، احتمالاً سبب افزایش مواد آلی لایه شخم در فصل اول کشت برنج شد. عوامل متعددی بر نرخ هر یک از پدیده‌های نیترازایی و نیترازایی موثرند که از میان آن‌ها، میزان کربن آلی در تنظیم هر دو فرایند نقش دارد (Zhou et al., 2012). در محیط آبی، نیترازایی که اکسیداسیون بیولوژیکی آمونیوم به نیترات است، تحت تاثیر عواملی مانند اسیدیته، منبع کربن غیر آلی، جمعیت میکروبی و مقدار آمونیوم می‌باشد (Reddy et al., 1984). بررسی روند تغییرات این پدیده‌ها در شکل 2 نشان می‌دهد که حدود 50 درصد آن‌ها در طی 15 روز ابتدایی فصل کشت رخ داد



شکل 2- روند تغییرات نیترازایی و نیترازایی در طول فصل کشت برنج در سال 1391

شد. کارکرد مدل در شبیه‌سازی عملکرد، فنولوژی و رشد برنج مناسب بود لکن، مدل میزان تلفات نیتروژن و جذب نیتروژن توسط گیاه را کم‌تر از مقادیر واقعی و کارایی مصرف نیتروژن را بیش‌تر از مقدار واقعی، پیش‌بینی نمود. شبیه‌سازی میزان نیترازایی و نیترازایی نشان داد که دوره 15 روزه ابتدایی فصل کشت برنج در شرایط مورد مطالعه، نقش مهمی در این پدیده‌ها داشت. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که می‌توان از مدل CERES-Rice برای ارزیابی کلی رفتار نیتروژن در شرایط زهکشی میان‌فصل در شالیزارهای دارای زهکش

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، قابلیت مدل گیاهی CERES-Rice برای شبیه‌سازی شاخص‌های رشد و عملکرد برنج و برخی مولفه‌های بیلان نیتروژن در شالیزارهای مجهز به زهکشی زیرزمینی در شرایط زهکشی میان‌فصل، ارزیابی شد. واسنجی و صحت‌سنجی مدل با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از سه تیمار زهکشی زیرزمینی در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام

زیرزمینی استفاده کرد. با این وجود، تصمیم‌گیری مناسب درباره توصیه یا عدم توصیه این مدل برای شرایط مورد مطالعه، منوط به ارزیابی - های جامع‌تر و لحاظ کلیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خواص ریشه در شبیه‌سازی‌ها می‌باشد.

جدول 7- مقادیر نیترات‌زایی و نیترات‌زدایی شبیه‌سازی شده در مدت مطالعه

سیستم زهکشی		نیترات‌زایی (کیلوگرم در هکتار)	نیترات‌زدایی (کیلوگرم در هکتار)
1390			
D _{0.9} L ₃₀	157	28/5	
D _{0.65} L ₃₀	151	20/9	
D _{0.65} L ₁₅	112	16/8	
1391			
D _{0.9} L ₃₀	121	9/3	
D _{0.65} L ₃₀	132	6	
D _{0.65} L ₁₅	105	6/8	

منابع

- drained paddy fields. *Agricultural Water Management*, 130: 61–68.
- Dong, N.M., Brandt, K.K., Sørensen, J., Hung, N.N., Hach, C.V., Tan, P.S., Dalsgaard, T. 2012. Effects of alternating wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. *Soil Biology and Biochemistry*. 47: 166-174.
- FAO. 2014. *Fao statistical year book, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome.
- Garrison, M.V., Batchelor, W.D., Kanwar, R.S., Ritchie, J.T. 1999. Evaluation of the CERES-Maize water and nitrogen balances under tile-drained conditions. *Agricultural Systems*. 62: 189-200.
- Guerra, L.C., Bhuiyan, S.I., Tuong, T.P., Barker, R. 1998. Producing more rice with less water from irrigated systems. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute (IWMI). v, 24p. (SWIM paper 5) doi: <http://dx.doi.org/10.3910/2009.370>.
- Hashim, M.M., Yusop, M.K., Othman, R., Wahid, S.A. 2015. Characterization of Nitrogen Uptake Pattern in Malaysian Rice MR219 at Different Growth Stages Using 15N Isotope. *Rice Science*. 22.5: 250–254.
- Jeffrey, A., Kaplan, I., Zhang, D., Shan-Tan, S.T., Nielsen, J. 2002. Environmental tracers: identifying the sources of nitrate contamination in groundwater. *Soil Sed Waters*. 6: 15-20.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijssman, A.J., Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*. 18: 235-265.
- Legates, D.R., McCabe, G.J., 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and
- بخت فیروز، ع. 1390. بررسی اثر سامانه‌های زهکشی بر گسیل گاز متان و دی‌اکسیدکربن از شالیزارها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، 50 صفحه.
- درزی نفت‌چالی، ع، میرلطیفی، س.م، شاه‌نظری، ع، اجاللی، ف. و مهدیان، م.ج. 1392. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری در فصل کشت برنج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 3. 7. 305-294.
- زارع ابیانه، ح، نوری، ح، لیاقت، ع، کریمی، و، نوری، ح. 1390. واسنجی آب‌شویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین‌های شالیزاری با استفاده از نرم‌افزار DRAINMOD. *مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، نشریه علوم آب و خاک*. 57: 63-49.
- معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور 1388. نشریه شماره 2-471. مبانی و ضوابط طراحی، تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، جلد دوم، آبیاری، 206 صفحه.
- Asadi, E., Roberto, S. 2003. Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*. 1: 270-276.
- Birgand, F., Fauchaux, C., Gruau, G., Augereau, B., Moatar, F., Bordenave, P. 2010. Uncertainties in assessing annual nitrate loads and concentration indicators: Part 1. Impact of sampling frequency and load estimation algorithms. *Transactions of the ASABE*. 53: 437-446.
- Darzi-Naftchali, A., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F., Mahdian, M.H. 2013. Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly

- Sau,F., Boote,K.J., Bostick,W.M.N., Jones,J.W., Mínguez,M.I., 2004. Testing and improving evapotranspiration and soil water balance of the DSSAT crop models. *Agronomy Journal*. 96: 1243-1257.
- Skaggs,R.W. 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, p. 185.
- Tan,X., Shao,D., Liu,H., Yang,F., Xiao,C., Yang,H. 2013. Effects of alternate wetting and drying irrigation on percolation and nitrogen leaching in paddy fields. *Paddy and Water Environment*. 11: 381-395.
- Vilayvong,S., Banterng,P., Patanothai,A., Pannangpetch,K. 2012. Evaluation of CSM-CERES-Rice in simulating the response of lowland rice cultivars to nitrogen application. *Australian Journal of Crop Science*. 6: 1534-1541.
- Wagenet,R.J., Hutson,J.L., 1989. LEACHM: Leaching Estimation and Chemistry Model: A process based model of water and solute movement transformations, plant uptake and chemical reactions in the unsaturated zone. *Continuum Vol 2 Version 2* Water Resources Inst, Cornell Univ Ithaca, NY.
- Xing,G.X., Zhu,Z.L. 2000. An assessment of N loss from agricultural fields to the environment in China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 57: 67-73.
- Yang,L., Huang,J., Zhao,L., Huang,Z., 2009. Experimental study on the distribution of soil nitrate and ammonium nitrogen under controlled drainage. *Wuhan University Journal of Natural Sciences* .14: 532-536.
- Zhou,S., Sakiyama,Y., Riya,S., Song,X., Terada,A., Hosomi,M. 2012. Assessing nitrification and denitrification in a paddy soil with different water dynamics and applied liquid cattle waste using the 15N isotopic technique. *Science of the Total Environment*. 430: 93-100.
- hydroclimatic model validation. *Water resources research*. 35: 233-241.
- Liu,H.L., Yang,J.Y., Tan,C.S., Drury,C.F., Reynolds,W.D., Zhang,T.Q. Bai,Y.L., Jin,J., He,P., Hoogenboom,G. 2011. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. *Agricultural Water Management*. 98: 1105-1111.
- Loague,K., Green,R.E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application. *Journal of contaminant hydrology*. 7: 51-73 .
- Negm,L.M., Youssef,M.A., Skaggs,R.W., Chescheir,G.M., Kladvik,E.J. 2014a. DRAINMOD-DSSAT Simulation of the Hydrology, Nitrogen Dynamics, and Plant Growth of a Drained Corn Field in Indiana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 140: 04014026.
- Negm,L.M., Youssef,M.A., Skaggs,R.W., Chescheir,G.M., Jones,J. 2014b. DRAINMOD-DSSAT model for simulating hydrology, soil carbon and nitrogen dynamics, and crop growth for drained crop land. *Agricultural Water Management*. 137: 30-45.
- Pathak,H., Timsina,J., Humphreys,E., Godwin,D.C., Shukla,A.K., Singh,U., Matthews,R.B. 2004. Simulation of rice crop performance and water and N dynamics, and methane emissions for rice in northwest India using CERES Rice model. *Technical Report*. CSIRO Land and Water. No 23/04, P: 111.
- Petersen,J., Thomsen,I.K., Mattsson,L., Hansen,E.M., Christensen,B.T. 2010. Grain yield and crop N offtake in response to residual fertilizer N in long-term field experiments. *Soil Use Management*. 26:455-464.
- Reddy,K.R., Patrick,W.H., Broadbent,F.E., 1984. Nitrogen transformations and loss in flooded soils and sediments. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 13: 273-309 .

Performance Assessment of CERES-Rice Model for Predicting Nitrogen Balance Components During Rice Growing Season in Subsurface- Drained Paddy Fields

H. Alinejad¹, A. Darzi-Naftchali^{2*}, S.F. Saberli³

Received: Oct.30, 2016

Accepted: Jan.25, 2017

Abstract

Crop simulation models are suitable tools for quick- low cost prediction of the effects of structural and managerial changes on agricultural systems. In this research, the capability of CERES- Rice model to predict nitrogen (N) losses was investigated in paddy fields under 3 subsurface drainage systems with 0.9 m drain depth and 30 m drain spacing ($D_{0.9}L_{30}$), 0.65 m drain depth and 30 m drain spacing ($D_{0.65}L_{30}$) and 0.65 drain depth and 15 m drain spacing ($D_{0.65}L_{15}$). During drainage periods of two successive growing seasons of rice (2011- 2012), the losses of N from different drainage systems were measured. The time of phenological changes and rice yield were also determined. The model performance during calibration (2011) and validation (2012) was determined using the model efficiency, index of agreement and normalized root mean square error. The indices were in the acceptable range in both the calibration and validation stages indicating the effectiveness of the model to simulate growth and yield of rice in the studied treatments. During the two growing seasons, the total measured losses of N in the $D_{0.9}L_{30}$, $D_{0.65}L_{30}$ and $D_{0.65}L_{15}$ systems were, respectively, 15.4, 24 and 20.8 kg ha⁻¹ and the corresponding simulated losses were 5.7, 6 and 4.3 kg ha⁻¹, respectively. Measured and simulated N uptakes by rice were in the range of 115.2- 181.4 kg ha⁻¹ and 71.7- 99 kg ha⁻¹, respectively, in the different treatments. Based on the results, accurate prediction of N balance components by CERES- Rice requires basic factors affecting these components in the study condition be considered in the model.

Keywords: Rice, DSSAT model, Nitrogen use efficiency, Nitrification, Denitrification

1 - MSc student, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

2 - Assistant Professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University

3 - Assistant Professor, Torbat-e Jam Educational Complex

(* - Corresponding Author Email: abdullahdarzi@yahoo.com)