ارزیابی مدل DSSAT v4.5 به منظور شبیه‌سازی آبشویی نیترات در مزرعه ذرت در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی

ملیحه ربیع[۱]، مهدی قیصری[۲*] و سید مجید میرلطیفی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۷/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۱/۹)

چکیده

یکی از مهم‌ترین عوامل آلودگی منابع آب، مصرف کودهای نیتروژنی در بخش کشاورزی است. مدل‌های گیاهی با قابلیت شبیه‌سازی آبشویی نیترات و تعیین سرنوشت نیتروژن در گیاه و خاک برای مدیریت کاهش آلودگی نیترات در آب‌های سطحی و زیر زمینی بسیار مفید می‌باشند. مدل نیتروژن- خاک (Soil-Nitrogen-Balance) از بسته نرم‌افزاری DSSAT قابلیت شبیه‌سازی سرنوشت نیتروژن در خاک و گیاه را دارد. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی مدل DSSAT برای آبشویی نیترات از عمق توسعه ریشه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ و برداشت نیتروژن گیاه در سطوح مختلف نیتروژن و آب مصرفی است. طرح آزمایشی شامل سه سطح کود نیتروژنی شامل صفر، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چهار سطح آب کاربردی شامل (Soil moisture depletion) 0.7SMD، 0.85SMD، 1.0SMD و 1.13SMD بود که در سه تکرار اجرا شد. آبشویی نیتروژن نیتراتی از عمق ۶۰ سانتی‌متری در طی دوره رشد در ۳۶ کرت آزمایشی به‌وسیله دستگاه مکش رطوبت خاک (Ceramic Suction Cups, CSC) اندازه‌گیری گردید. پس از واسنجی مدل، با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای مدول نیتروژن مدل ارزیابی گردید. چهار شاخص آماری راندمان مدل، میانگین انحراف، ضریب تبیین و شاخص توافق برای بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی از عمق ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد. مقایسه شاخص‌های آماری در هر تیمار نشان داد که دقت مدل در سطح آبیاری کامل (W3) و همین‌طور در سطح بیش‌آبیاری (W4) با افزایش کود نیتروژنی کاربردی، افزایش یافت. در تیمارهای کم‌آبیاری مدل مقدار تلفات نیترات را برابر مقدار واقعی (صفر) شبیه‌سازی نمود. بنابر نتایج، مدل با دقت قابل قبولی قادر به شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی از زیر عمق توسعه ریشه در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی است.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، نیتروژن نیتراتی، کود نیتروژنی و مدل CSM-CERES-Maize

۱. گروه آبیاری و زه‌کشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gheysari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش کاربرد کودهای نیتروژنی در بخش کشاورزی، آبشویی نیترات به زیر عمق توسعه ریشه و به دنبال آن آلودگی آب‌های زیرزمینی را به دنبال داشته است. آلودگی نیتروژن نیتراتی در خاک و آب یک مشکل شناخته شده و مسأله قابل ملاحظه از دیدگاه زیست محیطی-کشاورزی می‌باشد. به منظور فهم فرآیند آلودگی خاک-آب به‌وسیله کود نیتروژنی لازم است که غلظت و مقدار نیترات آبشویی شده از طریق روش‌های شبیه‌سازی محاسبه و پایش گردد. مدیریت آب و نیتروژن در خاک به‌عنوان عاملی مهم در کاهش خطرات ناشی از مصرف آنها بر آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشد.

منابع عمده مصرف و تلفات نیتروژن شامل برداشت توسط گیاه، تثبیت آمونیوم، فرسایش، آبشویی نیترات و تلفات به‌صورت گاز است (۳). آبشویی نیترات یکی از مهم‌ترین راه‌های هدر رفت نیتروژن خاک است. با توجه به حلالیت زیاد ترکیبات نیتراتی، این مواد همراه آب به اعماق نیمرخ خاک منتقل شده و در بسیاری از موارد از دسترس ریشه گیاه خارج می‌شوند.

از آنجایی که نیاز گیاه به نیتروژن در دوره‌های مختلف رشد متفاوت می‌باشد، مصرف زیاد یا بی‌موقع کود نیتروژنی سبب افزایش آبشویی نیترات می‌گردد. تلفات نیتروژن علاوه بر آبیاری و بارندگی تحت تأثیر نیاز گیاه طی دوره رشد آن است. بنابراین اگر کود نیتروژنی زمانی‌که گیاه نیاز چندانی به نیتروژن ندارد مصرف شود، درصد قابل توجهی از آن تلف می‌شود. از این‌رو، تنظیم زمان مصرف کودهای نیتروژنی دارای اهمیت می‌باشد. برای تشخیص زمان مصرف کودهای نیتروژنی نیاز به انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای است. اما به‌دلیل هزینه بر بودن آزمایش‌های مزرعه‌ای، محدود بودن تعداد گزینه‌های قابل بررسی در مزرعه و غیرقابل انتقال بودن دانش از مکانی به مکان دیگراستفاده از مدل‌های کامپیوتری می‌توانند دانش ما را نسبت به رفتار کودها در سیستم گیاهی افزایش دهند (۱).

چندین مدل گیاهی، دو مدل شبیه‌سازی چرخه کربن و نیتروژن در خاک، مدل موازنه آب-خاک و تعداد زیادی از انتخاب‌های مدیریت گیاه و مزرعه برای شبیه‌سازی رشد و تولید محصول گیاه و اثرات زیست محیطی در بسته نرم‌افزاری DSSAT v4.5 ارائه شده است. این بسته نرم‌افزاری به‌طورگسترده‌ای در جهان با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (۱۳). مدل CERES-Maize از بسته نرم‌افزاری DSSAT با دسترسی به مدول نیتروژن و مدول آب-خاک می‌تواند دمای خاک، آب قابل دسترسی در خاک، حرکت نیترات، تغییرات نیتروژن و کربن و مراحل مختلف رشد گیاه را در فاز خاک-گیاه محاسبه نماید (۱۰). از این مدل به‌طور گسترده در مطالعه اثرات عوامل محیطی، مدیریت تصمیم‌گیری‌ها و بررسی ارقام ژنتیکی مختلف از نظر رشد و توسعه ذرت استفاده شده است (۴، ۱۲، ۱۳ و ۱۵).

مدل نیتروژن چهار زیرروال حرکت نیتروژن، جذب نیتروژن خاک، برداشت نیتروژن و فاکتورهای تنشی نیتروژن گیاه را در بر دارد. بسیاری از روش‌های مدل‌سازی آبشویی نیترات بر پایه روش‌های عددی استوار هستند که برای مدلی در سطح مدیریت مزرعه مانند CERES غیر قابل استفاده می‌باشند. در مدل CERES تنها نیترات متحرک در نظرگرفته شده و فرض شده آمونیوم قادر به حرکت در لایه‌های خاک نمی‌باشد. بیشترین تفاوت موجود در میزان آبشویی شبیه‌سازی شده در خاک‌های با بافت مختلف ناشی از تفاوت بین نسبت آب قابل تحرک است (۱۱).

ارزیابی موازنه آب و نیتروژن در خاک به‌وسیله مدل CERES-Maize در زمینی با شرایط زه‌کشی تنبوشه‌ای در تحقیقی توسط گاریسون و همکاران (۷) ارائه گردیده است. در این تحقیق، مقادیر اندازه‌گیری شدهٔ آب در خاک، جریان آب در زه‌کش تنبوشه‌ای ، نیتروژن در خاک و نیتروژن در زه‌آب در مزرعه با مقادیر متناظر شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل مورد مقایسه قرار گرفت. این نتایج نشان داد که کارایی مدل CERES-Maize برای شبیه‌سازی حرکت آب و نیتروژن در خاک در زمین‌هایی با زه‌کش مصنوعی قابل قبول است (۷).

تحقیقات اسدی و کلمنت (۴) روی مدل CERES-Maize از بسته نرم‌افزاری DSSAT v3.5 نشان داد که مدل می‌تواند در بررسی اثرات مدیریت آبیاری و کوددهی بر عملکرد محصول ذرت، آبشویی نیترات و جذب نیتروژن توسط گیاه در شرایط آب و هوایی مرطوب به‌کارگرفته شود (۴).

تحقیقی به منظور شبیه‌سازی محصول ذرت و چرخه نیتروژن طی ۵۰ سال آزمایش روی تولید ذرت در جنوب غرب انتاریوی کانادا انجام شد (۱۲). در این تحقیق محصول ذرت در یک دوره بلند مدت (۱۹۵۹–۲۰۰۸)، مقدار نیتروژن معدنی در خاک سطحی (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) در یک سال (۲۰۰۰) و تلفات نیتروژن نیتراتی خاک برای سه سال (۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰) شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت. مدل پیش‌بینی دقیقی از مقدار محصول سالیانه ذرت ارائه نکرد، ولی به‌طورکلی نتایج مشابه نتایج ارائه شده توسط سایر محققین بود. نظر پژوهشگران این تحقیق بر آن است که فاکتورها و عواملی موجب این اختلاف شده که در مدل مورد توجه قرار نگرفته است. مقادیر نیتروژن معدنی خاک سطحی و تلفات تجمعی نیتروژن نیتراتی خاک براساس شاخص آماری ریشه مربعات خطای نرمال شده ($RMSE_n$) به‌ترتیب برابر ۶۲ و ۲۹ درصد بود و نتایج شبیه‌سازی قابل قبول ارزیابی شدند (۱۲).

مطالعات و تحقیقات انجام شده نشان داد که در برخی مناطق ایران از جمله منطقه نیمه‌خشک ورامین در استان تهران و همدان در غرب کشور، مشکل آلودگی نیترات در آب‌های زیرزمینی وجود دارد و عامل اصلی آن کشاورزی و مدیریت ناصحیح مصرف کودهای نیتروژنی می‌باشد (۸ و ۹). بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی آب و کود نیتروژنی به‌صورت میدانی برای بررسی آبشویی نیترات هزینه‌بر و وقت‌گیر است. در این راستا استفاده از مدل گیاهی CERES-Maize که قادر به شبیه‌سازی روزانه رشد و توسعه گیاه، آبشویی نیترات و نیتروژن برداشتی توسط گیاه (به‌دلیل دسترسی به مدول موازنه نیتروژن و مدول آب–خاک بسته نرم‌افزاری DSSAT) است، می‌تواند راهکار مناسبی باشد. اما دقت شبیه‌سازی این مدل‌ها قبل از استفاده باید بررسی شود. با توجه به این‌که در ایران انجام مدیریت کم‌آبیاری به‌دلیل کمبود منابع آب اجتناب‌ناپذیر است، لازم است مدول موازنه نیتروژن در خاک، برای پیش‌بینی تغییرات نیترات در خاک و آثار آن بر خاک و آب زیرزمینی در سطوح مختلف آب کاربردی مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق صحت‌سنجی مدل CSM-CERES-Maize برای شبیه‌سازی آبشویی نیترات از زیر عمق توسعه ریشه ذرت تحت سطوح مختلف آب کاربردی و کود نیتروژن برای استفاده از مدل در مدیریت‌های آب و کود است.

مواد و روش‌ها

مشخصات مزرعه آزمایشی و تیمارهای طرح

تحقیقات در مزرعه تحقیقات کشاورزی ورامین با طول جغرافیایی ″۲/۹ ´۳۸ °۵۱ شرقی، عرض جغرافیایی ″۳۸/۷ ´۲۰ °۳۵ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر انجام شد. سطح آب زیرزمینی پایین‌تر از ۱۰ متر بود و هیچ مشکل زه‌کشی در مزرعه وجود نداشت. بافت خاک لوم رسی (جدول ۱) بود. گیاه ذرت علوفه‌ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ در سطح دو هکتار کشت شد. تیمارهای آزمایشی چهار سطح آب کاربردی، شامل دو سطح کم‌آبیاری، یک سطح آبیاری کامل و یک سطح بیش‌آبیاری، و سه سطح کود نیتروژنی بود. طرح آزمایشی دارای سه سطح نیتروژنی شامل صفر، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چهار سطح آبیاری(Soil Moisture Depletion) 0.7SMD ، 0.85SMD، 1.0SMD و 1.13SMD بود که در قالب طرح کرت‌های نواری با سه تکرار طی دو سال اجرا گردید.

کودهای فسفات و پتاس براساس تجزیه نمونه خاک براساس مقادیر توصیه‌شده قبل از کاشت توزیع شد (۱۴). کود نیتروژنی از منبع کود اوره طی دوره رشد از طریق سیستم آبیاری (کودآبیاری) در اختیار گیاه قرار گرفت. سیستم آبیاری بارانی به‌گونه‌ای طراحی و اجرا شد که امکان انجام آبیاری

مستقل پلات‌های با سطح آبیاری یکسان و پلات‌های با مقدار کود یکسان میسر باشد (۱). عمق و زمان آبیاری با استفاده از بیلان رطوبت خاک به روش اندازه‌گیری رطوبت خاک در لایه‌های مختلف انجام شد (۸). برای نمونه‌گیری از آب عبور کرده از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک از دستگاه CSC (Ceramic Suction Cups) استفاده شد. در هر کدام از ۳۶ پلات طرح آزمایشی یک عدد CSC در عمق ۶۰ سانتی‌متری نصب شد. غلظت نیتروژن نیتراتی (NO_3-N) پس از هر آبیاری یا بارندگی در عصاره آب خاک که به‌وسیله CSC استخراج شده بود با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شد. هم‌چنین مقدار عبور آب از لایه ۶۰ سانتی‌متری از روش موازنه جرم آب خاک محاسبه گردید (۸). با ضرب کردن غلظت نیترات در عمق آب زهکشی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک مقدار نیترات آبشویی شده در هر تیمار محاسبه شد.

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل CSM-CERES-Maize شامل داده‌های خاک، آب و هوا، مدیریت زراعی، بیلان نیتروژن و اطلاعات ژنتیکی ذرت هستند که به‌صورت زیر تعیین و به‌کار گرفته شدند:

الف) داده‌های خاک: اطلاعات مربوط به درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک، ماده آلی اولیه خاک، اسیدیته و شوری خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در لایه‌های مختلف خاک در فایل خاک ذخیره گردید (جدول ۱).

ب) اطلاعات آب و هوا: داده‌های روزانه هوا شامل کمینه و بیشینه دمای هوا، بارش و تعداد ساعات آفتابی برای دو سال زراعی با استفاده از ابزار WeatherMan در فایل آب و هوا وارد شد.

ج) داده‌های مربوط به مدیریت زراعی: داده‌های برداشت شده در مزرعه شامل تاریخ کاشت و برداشت، مشخصات کاشت نظیر عمق و تراکم کاشت، فعالیت‌های مدیریتی نظیر عمق و زمان آبیاری، نوع، زمان و مقدار کود مصرفی، شرایط اولیه خاک از نظر مقادیر نیتروژن و رطوبت موجود، نوع واریته کشت شده و تیمارهای آزمایشی در بخش ورود اطلاعات زراعی در فایل X به مدل معرفی شدند(۶). عملکرد کل وزن زیست‌توده در زمان برداشت، حداکثر شاخص سطح برگ، تاریخ گرده‌افشانی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک از دوازده تیمار آزمایشی در دو سال زراعی به‌عنوان شاخص‌های نهایی برای ساخت فایل A مدل مورد استفاده قرار گرفتند. از این فایل برای واسنجی مدل کمک گرفته شد. عملکرد کل وزن زیست‌توده طی دوره رشد، شاخص سطح برگ طی دوره رشد از دوازده تیمار آزمایشی در دو سال زراعی در بخش پارامترهای گیاهی به‌صورت سری زمانی در فایل T مدل وارد شد. هم‌چنین، مقادیر اندازه‌گیری شده آبشویی نیترات در هر کدام از تیمارها طی دوره رشد به‌صورت یک فایل سری زمانی (T-file) در مدل وارد شد.

د) بیلان نیتروژن در خاک: نیتروژن نیتراتی موجود در خاک قبل از کاشت در لایه‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری با روش نمونه‌گیری از خاک تعیین شدند. این مقادیر برای تعریف شرایط اولیه زمین زراعی در مدل وارد گردید. یکی از شاخص‌های خروجی مدل در مدول نیتروژن مقدار آبشویی نیترات از زیر عمق توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متری) است که با مقدار مشاهده‌ای برای ارزیابی مدل مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار نیتروژن نیتراتی (NO_3-N) عبور کرده و یا آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری ($L_{NO3(60)}$) براساس رابطه زیر در مزرعه و آزمایشگاه اندازه‌گیری و محاسبه شده است (۸):

$$L_{NO_3(60)} = DP_{60} \times C_{60} \qquad [1]$$

در این رابطه DP مقدار آب نفوذ یافته از عمق ۶۰ سانتی‌متری برحسب میلی‌متر که به روش بیلان جرمی محاسبه شده است. C_{60} مقدار غلظت نیترات محلول در خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری برحسب میلی‌گرم در لیتر که در مزرعه با استفاده از CSC استخراج و در آزمایشگاه غلظت نیترات با دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه‌گیری شده است، می‌باشد.

و) ضرایب ژنتیکی ذرت در مدل CSM-CERES-Maize: مدل CSM-CERES-Maize قبل از استفاده برای رقم جدید و در یک منطقه آب و هوایی جدید باید کالیبره و ارزیابی شود. برای

جدول ۱. خصوصیات خاک مزرعه استفاده شده برای ساخت فایل خاک در بسته نرم‌افزاری DSSAT v4.5

عمق cm	رس ٪	سیلت ٪	وزن مخصوص ظاهری g/ cm^3	مواد آلی ٪
۲۰-۰	۳۲	۴۵	۱/۳	۰/۶
۴۰-۲۰	۳۲	۴۵	۱/۳	۰/۷
۶۰-۴۰	۳۱/۵	۴۴	۱/۳	۰/۴

این منظور از ضرایب ژنتیکی استخراج شده برای ذرت علوفه ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد (۲). ضرایب ژنتیکی استخراج شده برای ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در جدول ۲ آورده شده است.

دقت شبیه‌سازی مدل با شاخص‌های آماری شامل راندمان مدل (EF)، میانگین انحراف(MD)، شاخص توافق ویلموت(d) وضریب تبیین(r^2) بررسی شد. شاخص‌های راندمان مدل، متوسط انحراف و ضریب تبیین از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$EF = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}\right] \qquad [2]$$

$$MD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i) \qquad [3]$$

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \qquad [4]$$

در روابط فوق P_i مقادیر شبیه‌سازی، O_i مقادیر مشاهده شده، n تعداد مشاهده‌ها و $\bar{O}$ مقدار میانگین مشاهدات می‌باشد. شاخص آماری راندمان مدل (EF) مقادیر شبیه‌سازی شده را با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. درصورتی‌که مقادیر شبیه‌سازی با داده‌های اندازه‌گیری شده مشابه باشد ($O_i = P_i$)، راندمان مدل برابر یک شده و شبیه‌سازی عالی خواهد بود. اگر مقدار شاخص راندمان مدل کوچک‌تر از صفر و منفی شود، نشان‌دهنده تفاوت زیاد بین مقادیر شبیه‌سازی شده نسبت به داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد (۱۲). مقدار شاخص آماری توافق ویلموت (d) در رابطه ۵ تعریف شده است، این شاخص دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش است (۱۵):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}\right], \quad 0 \le d \le 1 \qquad [5]$$

نتایج و بحث

مقایسه مقادیر آبشویی نیتروژن نیتراتی اندازه‌گیری شده در مزرعه از زیر عمق توسعه ریشه ذرت (۶۰ سانتی‌متری) برای ۱۲ تیمار آزمایشی با داده‌های شبیه‌سازی مدل به تفکیک چهار سطح آبیاری در سه سطح کودی مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳، ۴ و ۵). در دو سطح کم‌آبیاری (W1و W2) برای هر سه سطح کود نیتروژنی مقادیر آبشویی نیتروژن نیتراتی اندازه‌گیری شده در بیشتر تیمارها صفر بود، به غیر از تیمارهای N150W2، N150W1 و N0W1 که کل آبشویی نیتروژن نیتراتی تجمعی آنها کمتر از ۰/۳۲ کیلوگرم در هکتار بود. مدل DSSAT برای شش تیمار سطوح کم‌آبیاری مقدار آبشویی نیتروژن نیتراتی را صفر شبیه‌سازی نمود.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد مقادیر آبشویی نیترات شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل در تیمارهای کم‌آبیاری هماهنگ با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه در تیمارهای مشابه بود.

در تیمارهای آبیاری کامل، مقایسه مقادیر واقعی کل آبشویی نیترات از عمق ۶۰ سانتی‌متری با داده‌های شبیه‌سازی مدل در سطوح مختلف کودی در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین دقت مدل در سطح کودی ۲۰۰

جدول ۲. ضرایب ژنتیکی برای ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ (۲)

واریته ذرت	P1 (°Cday)	P2 (days)	P5(°Cday)	G2 (Nr)	G3 (mg day^{-1})	PHINT(°Cday)
سینگل کراس ۷۰۴	۲۹۵	۰/۳۶۴	۷۹۰	۸۳۳	۸/۵	۵۰

P1 : (مقدار درجه روز رشد (GDD) از مرحله جوانه‌زنی تا انتهای مرحله جوانی(Juvenile phase) براساس دمای پایه ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد)، P2 : (بیان‌کننده اثر مدت روشنایی، میزان تأخیر در رشد ذرت در صورت عدم تأمین طول روز (فتوپریود) مطلوب که با قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه‌تر از فتوپریود مطلوب اتفاق می‌افتد)، P5 : (مقدار GDD از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک برحسب درجه سانتی‌گراد، دمای پایه ذرت ۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود)، PHINT (مقدار GDD مورد نیاز برای ظاهر شدن یک برگ جدید یا به عبارتی زمان گرمایی(Thermal time) بین ظاهر شدن دو برگ متوالی برحسب درجه سانتی‌گراد)، G2 : (معرف حداکثر تعداد دانه در هر گیاه که برحسب تعداد دانه در گیاه بیان می‌شود) و G3 : (سرعت رشد دانه در مرحله پر شدن دانه، در شرایط بهینه رشد را بیان کرده و برحسب میلی‌گرم در روز می‌باشد)(۵).

جدول ۳. مقایسه مقدار مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نیتروژن نیتراتی آبشویی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری در انتهای دوره رشد در تیمارهای کم‌آبیاری

	N0W1	N150W1	N200W1	N0W2	N150W2	N200W2
	(kg N ha^{-1})					
مشاهده‌ای	۰	۰/۳	۰	۰	۰	۰/۲
شبیه‌سازی	۰	۰	۰	۰	۰	۰

N0 : بدون مصرف کود نیتروژنی؛ N150 : مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ N200 : مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ W1 : سطح کم‌آبیاری 0.75SMD ؛ W2 : سطح کم‌آبیاری 0.85SMD.

جدول ۴. مقایسه کل نیترات آبشویی شده اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برحسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار (طی دوره رشد ذرت) از عمق ۶۰ سانتی‌متری، تیمارهای با آبیاری کامل

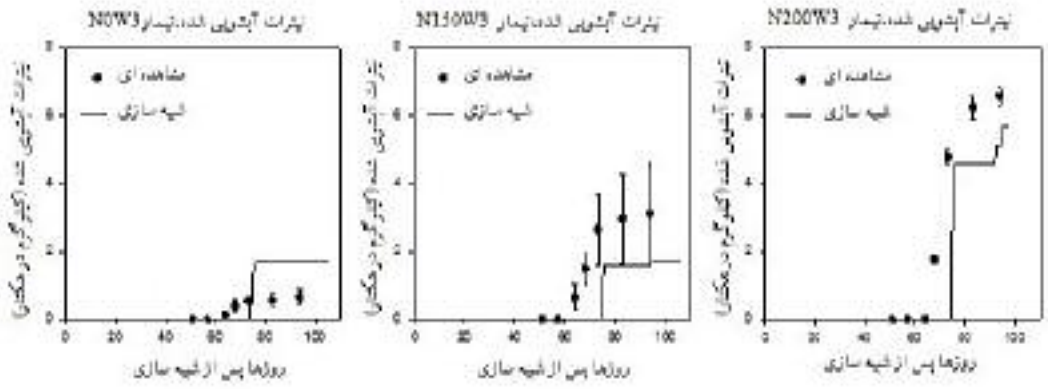
	اندازه‌گیری شده تجمعی	شبیه‌سازی شده تجمعی	EF	MD	r^2	d
N0W3	۰/۶	۱/۷	-۳/۱۶	۰/۷۴	۰/۴۴	۰/۵۸
N150W3	۳/۱	۱/۷	-۱/۹۹	۱/۴۹	۰/۳۰	۰/۵۶
N200W3	۶/۵	۵/۷	۰/۳۷	۱/۴۷	۰/۶۷	۰/۶۷

N0 : بدون مصرف کود نیتروژنی؛ N150 : مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ N200 : مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ W3 : سطح – آبیاری کامل 1.0SMD ؛ EF: راندمان مدل؛ MD: میانگین انحراف؛ r2: ضریب تبیین؛d : شاخص توافق ویلموت.

جدول ۵. مقایسه کل نیترات آبشویی شده اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برحسب کیلوگرم نیتروژن در هکتار (طی دوره رشد ذرت) از عمق ۶۰ سانتی‌متری، تیمارهای بیش‌آبیاری

	اندازه‌گیری شده تجمعی	شبیه‌سازی شده تجمعی	EF	MD	r^2	d
N0W4	۳/۶	۲/۳	-۱/۴۴	۱/۷۴	۰/۱۷	۰/۵۶
N150W4	۸/۴	۷/۸	-۰/۲۵	۲/۷۷	۰/۳۲	۰/۶۱
N200W4	۷/۰	۸/۷	۰/۷۴	-۰/۸۱	۰/۳۹	۰/۶۵

N0 : بدون مصرف کود نیتروژنی؛ N150 : مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ N200 : مصرف ۲۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار؛ W4 : سطح بیش‌آبیاری 1.13SMD ؛ EF: راندمان مدل؛ MD: میانگین انحراف؛ r2: ضریب تبیین؛d : شاخص توافق ویلموت.



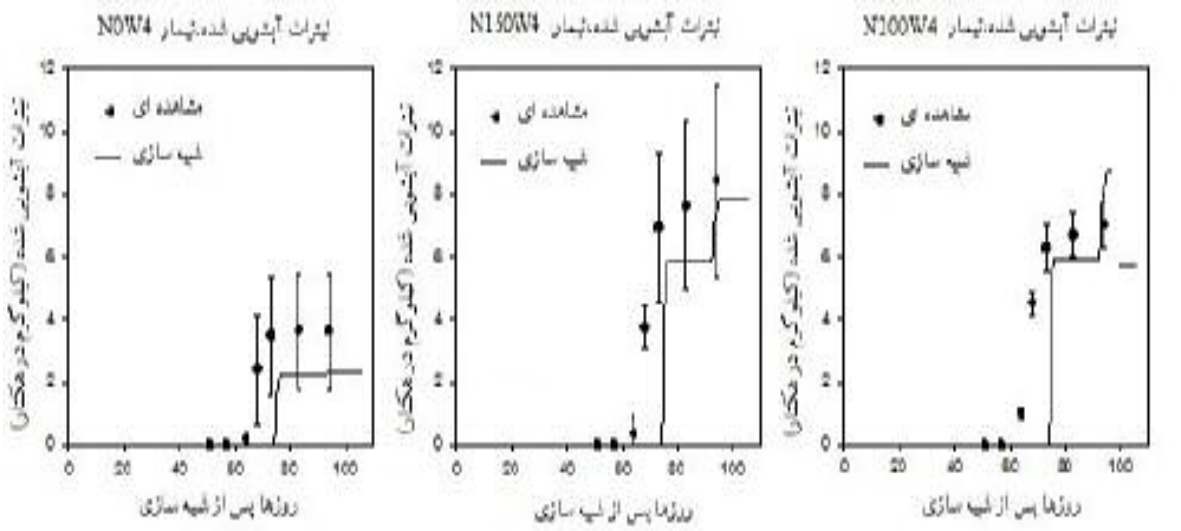
شکل ۱. نمایش مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری در طول دوره رشد ذرت در تیمارهای با آبیاری کامل (⊢●) انحراف معیار مقادیر در سه تکرار آزمایشی)

کیلوگرم نیتروژن در هکتار (EF= ۰/۳۷ و r^2=۰/۶۷) و کمترین دقت مدل در سطح کودی صفر کیلوگرم نیتروژن در هکتار (EF= -۳/۱۶ و r^2=۰/۴۴) بوده است. باید به این نکته توجه داشت، مقدار منفی شاخص راندمان مدل (EF) در سطح کودی صفر و N150 به‌دلیل کم بودن مقدار آبشویی نیترات در این تیمارها می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴ دیده می‌شود، اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مقدار اندازه‌گیری شده آبشویی نیترات در سه سطح کودی کمتر از ۱/۴ کیلوگرم نیتروژن می‌باشد. اسدی و کلمنت (۲۰۰۳) در یک خاک اسیدی با استفاده از مدل DSSAT v3.5 خطای شبیه‌سازی مدل در سطح کودی N150 و N200 را به‌ترتیب ۳/۴ و ۳/۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار گزارش نموده‌اند (۴). با توجه به ماهیت حرکت نیترات در خاک و پیچیده بودن رابطه آب-خاک-گیاه، صرفنظر از مقادیر عددی شاخص‌های آماری بررسی شده طی دوره رشد اختلاف در مقدار تجمعی آبشویی نیترات شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل با مقدار واقعی ناچیز بوده و از نظر کاربرد مدل بسیار خوب ارزیابی می‌شود.

به منظور بررسی روند تغییرات آبشویی نیتروژن نیتراتی شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی طی دوره رشد گیاه، داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در سطح آبیاری کامل (W3) برای سه سطح کود نیتروژنی طی دوره رشد در شکل ۱ آورده شده است. همان‌طورکه دیده می‌شود، اگر چه از نظر عددی مقدار شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی با مقادیر اندازه‌گیری شده متفاوت بوده اما مدل روند تغییرات را به خوبی شبیه‌سازی نموده است (شکل ۱).

مقدار کل آبشویی نیتروژن نیتراتی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری در سطح بیش‌آبیاری برای تمام سطوح مختلف کود نیتروژنی در جدول ۵ ارائه شده است. شاخص‌های آماری EF، MD، r^2 و d با افزایش کود مصرفی روند افزایشی داشته که نشان‌دهنده افزایش دقت شبیه‌سازی می‌باشد. با توجه به مقایسه داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در سطح بیش آبیاری می‌توان نتیجه گرفت که دقت شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی از عمق ۶۰ سانتی‌متری با افزایش آب در این تیمارها نسبت به دیگر سطوح آبی افزایش یافته و از طرف دیگر با افزایش کود نیتروژنی در تیمار بیش آبیاری، دقت مدل در این سطح آب کاربردی بسیار خوب ارزیابی می‌شود. بیشترین مقدار اختلاف بین مقادیر آبشویی نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در تیمار بیش‌آبیاری ۱/۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود. تیمار N200W4 با راندمان مدل (EF) و شاخص توافق ویلموت (d) به‌ترتیب برابر ۰/۷۴ و ۰/۶۵ برازش خوبی را نشان داد.

نتایج تحقیق مشابه در جنوب غرب انتاریو کانادا (۱۳)



شکل ۲. آبشویی نیتروژن نیتراتی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده از عمق ۶۰ سانتی‌متری در طول دوره رشد ذرت در تیمارهای بیش‌آبیاری(⊢● انحراف معیار مقادیر در سه تکرار آزمایشی)

در مورد شبیه‌سازی تلفات نیتروژن نیتراتی تجمعی در زه‌کشی تنبوشه‌ای از عمق ۶۰ سانتی‌متری برای دو نوع زه‌کشی سنتی تنبوشه‌ای (TD) و زه‌کشی تنبوشه‌ای کنترل شده (CDS) به‌وسیله مدل DSSAT و با استفاده از دو شاخص RMSEn و d نشان داد، دقت مدل برای شبیه‌سازی خوب تا مناسب بود. دقت مدل برای شبیه‌سازی تلفات نیتروژن نیتراتی با توجه به داده‌های سال‌های واسنجی مدل برای تیمار TD (۱۷/۸ درصد= RMSEn و ۶۷۸/ ۰=d) و برای تیمار CDS (۲۱/۶ درصد =RMSEn و ۵۲۹/ ۰=d) و در سال‌های ارزیابی مدل برای هر دو تیمار TD (۲۰/۶ درصد =RMSEn و ۹۷۹/ ۰=d) و تیمار CDS (۲۵/۲ درصد =RMSEn و ۹۷۰/ ۰=d) بودند (۱۳).

مقادیر متوسط آبشویی نیترات اندازه‌گیری شده در مزرعه از زیر عمق توسعه ریشه به همراه خطای اندازه‌گیری در سه تکرار آزمایشی با مقادیر شبیه‌سازی روزانه با استفاده از مدل DSSAT طی دوره رشد در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طورکه مشاهده می‌شود مدل روند تغییرات را به‌خوبی شبیه‌سازی نموده است. هم‌چنین مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر واقعی نزدیک می‌باشد که این نشان‌دهنده توانایی مدل در شبیه‌سازی آبشویی نیترات در سطوح بیش‌آبیاری است.

نتیجه‌گیری

تحلیل‌های صورت گرفته در مورد آبشویی نیترات حاکی از این است که مدل CSM-CERES-Maize با وارد کردن شرایط اولیه مزرعه و مدیریت‌های زراعی نظیر مقدار کود مصرفی و آب کاربردی و کمک گرفتن از مدول نیتروژن و آب- خاک بسته نرم‌افزاری DSSAT v4.5 قادر به شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی از زیر عمق توسعه ریشه در طول دوره رشد ذرت می‌باشد. از نظر آماری، کمترین دقت مدل در شبیه‌سازی آبشویی نیتروژن نیتراتی در تیمارهای بدون مصرف کود نیتروژنی رخ داد و با افزایش کود نیتروژنی مصرفی دقت شبیه‌سازی مدل افزایش یافت. بیشترین اختلاف بین مقادیر آبشویی نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده ۱/۷ کیلوگرم نیتروژن در هکتار بود و بررسی نتایج دقت خوب شبیه‌سازی آبشویی نیترات به‌وسیله مدل DSSAT v4.5 را نشان می‌دهد.

منابع مورد استفاده

۱. قیصری، م. ۱۳۸۵. تأثیر کود-آبیاری ذرت با روش آبیاری بارانی روی آبشویی نیترات، تحت سطوح مختلف کود و آب کاربردی. رساله دکتری علوم و مهندسی آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲. قیصری، م.، س.م. میرلطیفی، م. همایی و م. بیابانکی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل CSM)-CERES-Maize) در مقیاس مزرعه‌ای. نهمین کنگره علوم خاک، گرگان.

۳. ملکوتی، م.ج. و م. همایی. ۱۳۸۳. حاصل‌خیزی خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک " مشکلات و راه حل‌ها". چاپ دوم با بازنگری کامل، دفتر نشر آثار علمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

4. Asadi, M.E. and R.S. Clemente. 2003. Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. J. Food, Agric. & Environ. (JFAE), 1(3&4): 270-276.
5. Hoogenboom, G., J.W. Jones, P.W. Wilkens, W.D. Batchelor, W.T. Bowen, L.A. Hunt, N.B. Pickering, U. Singh, D.C. Godwin, B. Baer, K.J. Boote, J.T. Ritchie and J.W.White. 1994. Crop models. PP. 95-244. *In:* Tsuji, G.Y., G. Uehara and S. Balas (Eds.), DSSAT Version 3.2. University of Hawaii Honolulu, Hawaii
6. Hoogenboom, G., P.W. Wilkens and G.Y. Tsuji. 1999. DSSAT Version 3. Vol. 4. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii.
7. Garrison, M.V., W.D. Batchelor, R.S. Kanwar and J.T. Ritchie. 1999. Evaluation of the CERES-Maize water and nitrogen balances under tile-drained condition. Agric. Sys. 62(3): 189-200.
8. 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. Agric. Water Manage. 96: 946-954.
9. Jalali, M. 2005. Nitrates leaching from agricultural land in Hamadan, western Iran. Agric. Ecosys. and Environ. 110: 210-218.
10. Jones, C.A. and J.R. Kiniry. 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M Univ. Press, College station.
11. Jones, J.W., G. Hoogenboom, C.H. Porter, K.J. Boote, W.D. Batchelor, L.A. Hunt, P.W. Wilkens, U. Singh, A.J. Gijsman and J.L. Ritchie. 2003. The DSSAT cropping system model. Eur. J. Agron. 18: 235-265.
12. Lui, H.L., J.Y. Yang, C.F. Drury, W.D. Reynolds, C.S. Tan, Y.L. Bai, P. He, J. Jin and G. Hoogenboom. 2010. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. Nutr. Cycl. Agroecosys. 89(3): 313-328.
13. Lui, H.L., J.Y. Yang, C.S. Tan, C.F. Drury, W.D. Reynolds, Y.L. Bai, J. Jin, P. He and G. Hoogenboom. 2011. Simulation water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. Agric. Water Manage. 98: 1105-1111.
14. Malakouti, M.J. and M.N. Geybi. 2000. Determining Critical Levels of Efficient Nutrients in Soil, Plant and Fruit in Order to Increase Quantity and Quality of Strategic Country's Crops, 2nd ed. Nashreh Amuzesh Keshavarzi (In Farsi.).
15. Soler, C.M.T., P.C. Sentelhas and G. Hoogenboom. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. Eur. J. Agron. 27(2-4): 165-177.

Evaluation of DSSAT Model for Nitrate Leaching under Different Water and Nitrogen Rates in Maize Field

M. Rabie[1], M. Gheysari[2*] and S.M. Mirlatifi[1]

(Received : Oct. 1-2011 ; Accepted : Jan. 29-2012)

Abstract

Nitrate leaching from agricultural lands can pollute groundwater, and the degree of pollution caused significantly depends on agricultural practices implemented on farms. Field studies required to evaluate the effects of various agricultural management strategies on nitrate leaching are expensive and time consuming. As a result, it is suggested to use crop models to simulate the effects of management practices on nitrate leaching. Plant growth models such as DSSAT software package can simulate daily plant growth and development, and also are capable of simulating daily nitrate leaching and nitrogen uptake by plants. However, it is required to evaluate the performance of any model before using it for any specific region. In this study, the performance of nitrogen balance model of DSSAT software package was evaluated to simulate nitrate leaching from the root zone of silage maize at different levels of applied water and nitrogen fertilizer. The experiment consisted of three levels of nitrogen fertilizers, including zero, 150 and 200 kg N ha-1 and four levels of applied water 0.7SMD (soil moisture depletion), 0.85SMD, 1.0SMD and 1.13SMD. Nitrate-nitrogen leaching from 36 plots at the 60 cm depth during the growing period was measured by soil moisture suction equipment (ceramic suction cups, CSC). After calibrating the model by using field data, its performance was evaluated to simulate nitrate leaching. Maximum amount of N leaching 8.4 kg N ha^{-1} was obtained from over irrigation treatment with the application of 150 kg nitrogen per hectare. The model simulated nitrate leaching for this treatment as 7.8 kg N ha^{-1}. The model consistently underestimated the nitrate leaching; however, it followed the behavior of nitrate leaching during the growing season. In deficit irrigation treatments, the nitrate leaching was very low and close to zero and the model simulated the same result accordingly. The results showed that the model, in addition to phenological stages and performance indicators, can simulate nitrate leaching from the root zone and could be used to evaluate the effects of various irrigation and fertilizer management strategies on nitrate leaching.

Keywords: Leaching, Nitrate-nitrogen, Nitrogen fertilizer and CMS-CERES-Maize model

1. Dept. of Water and Drain., College of Agric., Tarbiat Modares Univ., Tehran, Iran.
2. Dept. of Water Eng., College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: gheysari@cc.iut.ac.ir