

شبیه‌سازی رطوبت و نیترات خاک تحت مدیریت‌های مختلف کود برای گیاه فلفل در اصفهان

توسط مدل Eu-Rotate-N

فروغ فاضل^{۱*} - ناصر گنجی خرم دل^۲ - مهدی قیصری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۳/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۴

چکیده

رشد جمعیت جهان، محدودیت منابع آب و نیاز به تولید محصول بیشتر، به تمایل کشاورزان در مصرف کودهای نیتروژنی بیش از نیاز گیاه و به دنبال آن آیشویی نیترات اضافه به آب‌های زیرزمینی و آلودگی زیست‌محیطی منجر شده است. به همین دلیل ارزیابی مدل‌های جدید با کاربری آسان در برآورد صحیح از توزیع رطوبت و نیتروژن و شناسایی حرکت آب و املاح در خاک منطقه و انتخاب بهترین گزینه مدیریتی با دقت بالا ضروری است. این پژوهش با هدف اعتبارسنجی مدل Eu-Rotate-N در برآورد توزیع رطوبت و نیتروژن و شاخص‌های عملکرد گیاه فلفل تحت مدیریت‌های مختلف کود نیتروژن انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح کودی صفر (N_0)، نسبت نیترات به آمونیوم $20:80$ (N_2) و $40:60$ (N_3) بود که در طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در اصفهان اجرا شد. آبیاری با پایش روزانه رطوبت و به میزان کمبود رطوبت از ظرفیت مزرعه انجام گرفت. عملکرد گیاه فلفل، رطوبت و نیتروژن خاک در طول دوره رشد اندازه‌گیری شدند. ارزیابی کارایی مدل با استفاده از چهار شاخص ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (r^2) و شاخص توافق ویلموت (d) انجام شد. عملکرد گیاه با اختلاف قابل قبولی کمتر از میزان واقعی برآورد شد. برای نیترات و رطوبت خاک، NRMSE به ترتیب برابر $11/45$ و $12/08$ ، RMSE $0/89$ و $0/22$ ، r^2 $0/998$ و $0/996$ و d برابر با $0/665$ و $0/66$ بود. میزان NRMSE کمتر از ۲۰ درصد گویای کارایی خوب مدل و r^2 بیشتر از ۹۰ درصد نشان دهنده روند شبیه‌سازی بسیار مناسب مدل بود. همچنین RMSE و d در محدوده قابل قبول قرار داشتند. با توجه به این که نتایج ارزیابی نشان دهنده کارایی مناسب مدل Eu-Rotate-N در شبیه‌سازی رطوبت، نیترات و عملکرد گیاه بود. پس می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی در پهنه‌سازی مدیریت آب و نیتروژن در مزرعه در شرایط گرم و خشک اصفهان استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی نیترات، کود آبیاری، فلفل شیرین، توزیع رطوبت خاک

مقدمه

است (۱۴ و ۳۰). نتایج پژوهش‌های زیادی نشان داده که تأثیر تعادل غلظت عناصر غذایی بر کیفیت محصولات کشاورزی نسبت به غلظت مطلق آن‌ها بیشتر است (۶، ۱۰ و ۳۹). توزیع نیتروژن (N) در سیستم‌های کشاورزی، به دلیل تأثیر مستقیم بر کیفیت آب‌های زیرزمینی و آلودگی زیست محیطی یکی از نگرانی‌های عمده می‌باشد. بنابراین پژوهش‌ها بر توضیح دقیق حرکت نیتروژن متمرکز شده است (۱۳).

آبیاری قطره‌ای می‌تواند با تأثیر بر مواد کشت شده از طریق کنترل کاربرد آب، کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها و جلوگیری از نفوذ عمقی و خارج شدن آب از ناحیه ریشه گیاه، در رفع این چالش کمک کند (۱۶، ۱۸ و ۳۳). طراحی و مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای

سبزیجات گروه مهمی از مواد غذایی هستند که نقشی اساسی در تغذیه انسان ایفا می‌نمایند و به سبب ارزش غذایی فراوان در بسیاری از ممالک دنیا جزء غذاهای اصلی به شمار می‌آیند. طبق تحقیقات متخصصان علم تغذیه، وجود سبزی‌ها در برنامه غذایی روزانه الزامی

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک

*- نویسنده مسئول: (Email: forough_f67@yahoo.com)

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
DOI: 10.22067/jsw.v31i1.50834

شبیه‌سازی مطلوب مدل بودند (۸، ۹ و ۳۵). افزایش استفاده از Eu-Rotate-N به عنوان مدل شبیه‌ساز برای تولید سبزیجات، نیاز مبرم به ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی محصولات تحت شرایط کشت رایج را نشان می‌دهد. بنابراین در این تحقیق گیاه فلفل برای اولین بار به منظور ارزیابی مدل Eu-Rotate-N برای اقلیم خشک و نیمه خشک ایران تحت رژیم‌های مختلف کود نیتروژن در مدل Eu-Rotate-N وارد شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۴ به منظور جمع آوری داده‌های موردنیاز برای ارزیابی مدل Eu-Rotate-N در مزرعه‌ای واقع در شهرستان نجف آباد در ۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان در خاکی با بافت لوم رسی سیلتی انجام شد (جدول ۱). منطقه دارای موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی، ۳۲ درجه و ۶۳ دقیقه عرض شمالی است و در ارتفاع ۱۶۴۹ متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. فلفل شیرین به صورت کشت ردیفی با تراکم ۸/۳۳ بوته در متر مربع به روش دستی در تاریخ ۳۰ فروردین ماه سال ۱۳۹۴ کاشته شد. تیمارهای آزمایش شامل سه سطح کودی صفر (N₀)، نسبت نیترات به آمونیوم ۲۰:۸۰ (N₁) و ۴۰:۶۰ (N₂) بود، که در قالب طرح آماری بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آب مورد نیاز طرح از چاه واقع در مزرعه تامین گردید. این آب دارای کیفیت مطلوب بوده و هیچ گونه محدودیتی برای استفاده در این پژوهش نداشت. مقدار هدایت الکتریکی آب چاه ۱ دسی زیمنس بر متر و مقدار غلظت نیترات ۱۸ میلی گرم در لیتر بود. اسیدیته آب چاه نیز ۷/۱ بود.

در این پژوهش از سیستم آبیاری موضعی قطره‌ای-نواری (Drip-Tape) با لوله درپردار با فاصله‌ی قطره چکان ۳۰ سانتی‌متر و دبی قطره چکان برابر ۲/۶ لیتر بر ساعت استفاده شد. طراحی سیستم قطره‌ای به گونه‌ای انجام شد که سه تکرار آزمایشی با فاصله ۱ متر در مجاورت یکدیگر قرار گرفتند.

نیز مانند دیگر روش‌ها نیازمند شناخت الگوی توزیع جذب آب و محلول توسط ریشه و شستشوی عناصر غذایی از ناحیه زیر ریشه است (۷ و ۲). برای تصمیم‌گیری‌های درست کشاورزی در مراحل مختلف رشد به ویژه در شرایط کم آبیاری اطلاعات گسترده‌ای مورد نیاز است. تولید داده‌های جدید به وسیله روش‌های تحقیقاتی کشاورزی متداول (سنٹی) و استفاده از داده‌های منتشر یافته کافی نیست (۱۹ و ۲۹). این امر لزوم استفاده از ابزارهای مدیریتی مانند مدل‌های کامپیوتری را برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مصرف کودها، بیان می‌کند. به همین دلیل ارزیابی مدل‌های جدید با کاربری آسان در برآورد صحیح از توزیع نیتروژن، ضروری است. در سال‌های اخیر مدل‌های بسیاری مثل NLEAP (۳۱)، CropSyst (۳۶)، STICS (۴) و hydrus (۳۲) برای شبیه‌سازی حرکت آب و نیتروژن در خاک زراعی ارائه شده است. به‌طور کلی این مدل‌های شبیه‌سازی بیشتر برای غلات توسعه یافته‌اند و استفاده کمی برای سبزیجات داشته‌اند (۳۳).

مدل Eu-Rotate-N (۲۵) در طیف گسترده‌ای از محیط، از آب و هوای سرد تا شرایط گرم و خشک برای شبیه‌سازی مصرف نیتروژن و به‌طور خاص برای بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در تناوب محصولات گیاهی توسعه داده شده است و مقادیر پیش فرضی برای واسنجی پارامترهای مختلف در طیف وسیعی از محصولات گیاهی تحت شرایط مزرعه دارد. این مدل با موفقیت در مقیاس مزرعه و منطقه‌ای (۲۱) استفاده شده و مشخص شده است که ابزار مفیدی برای بهبود مدیریت نیتروژن در تناوب کشت سبزیجات مزرعه‌ای است. به طوری که بدون کاهش چشمگیر عملکرد، تا حد زیادی تلفات نیتروژن را کاهش داد.

برای خیار-گلخانه‌ای در چین، Eu-Rotate-N در شبیه‌سازی توزیع نیتروژن در پاسخ به تغییرات مدیریت آبیاری و کود به کار رفت (۱۱ و ۳۷). این مدل تنها بر اساس تعداد تناوب‌های گیاهی در آلمان و نروژ (۲۵) و در محیط گرم و خشک ایتالیا (۲۱) استفاده شده است. همچنین واسنجی و اعتبارسنجی Eu-Rotate-N برای گوجه فرنگی در شرایط مزرعه و گلخانه انجام شده است. که نتایج نشان دهنده

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table1-Some Soil physical and chemical properties for soil profile in experimental site

عمق نمونه Depth (cm)	توزیع اندازه ذرات خاک			چگالی ظاهری bulk density (g cm ⁻³)	ماده آلی organic matter (%)	pH
	Particle size distribution (%)					
	رس Clay	شن Sand	سیلت Silt			
0-20	42	17.6	40.4	1.35	4	7.2
20-40	41.7	17.6	40.7	1.4	3	7
40-60	38.8	16.6	44.6	1.4	1.3	6.8
60-80	40.4	15.3	44.3	1.45	0.6	6.8
80-100	43.4	12.6	44	1.45	0.3	6.2

روش FAO با ضریب گیاهی دوگانه (۱) و چرخه ماده آلی، از جمله معدنی شدن نیتروژن، دنیتریفیکاسیون و انتشار CO₂ بر اساس الگوریتم‌های مدل DAISY (۱۲) محاسبه می‌شوند. همچنین آبشویی نیترات بر اساس فرمول برنز (۵)، آمونیاک تبخیر شده از کود توسط یک معادله تجربی مورد استفاده در مدل ALFAM (۳۸) و هیدرولیز اوره و انتشار نیتروژن گازی به روش مدل AMOVOL (۲۷)، مازول بیلان آب توسط روش پیشنهاد شده بریسون و همکاران (۳) و حرکت آب خاک با استفاده از روش بیلان آب و خاک پیشنهاد شده توسط ریچی (۲۶) شبیه‌سازی می‌شوند. محاسبه رواناب در مدل به پیروی از روش‌های سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا^۲ (۲۳) و بر اساس منحنی‌های SCS انجام می‌شود.

این مدل شامل یک پایگاه داده با تمام پارامترهای لازم برای اجرای شبیه‌سازی برای اکثر محصولات گیاهی است. این پارامترها عبارتند از آن‌هایی که مرتبط با توسعه محصول، جذب نیتروژن، رشد ریشه و تجزیه باقیمانده‌ی محصول هستند. در بین این پارامترها فقط طول هر مرحله رشد گیاه و ضریب گیاهی مربوط به آن مطابق با منطقه اصلاح شدند و واسنجی خاص دیگری برای منطقه مطالعاتی انجام نشد. همچنین در فایل مربوط به مشخصات کود نسبت پیش فرض آمونیوم به نیترات ۵۰:۵۰ است که با توجه به تیمارهای آزمایش تغییر داده شد.

داده‌های ورودی این مدل شامل مشخصات مزرعه آزمایشی، خاک، آب، هوا، تناوب کشت، کشت قبلی، کشت فعلی، عملیات کاشت، داشت و برداشت و همچنین زمان، مقدار و نوع آبیاری و کوددهی می‌باشد.

در پایان با استفاده از داده‌های برداشت شده، مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین ترتیب که نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل، برای مدیریت صورت گرفته در تیمارها، با آن‌چه از مزرعه برداشت شده بود، مقایسه شد و میزان خطا برآورد گردید. بنابراین یکی از مهم‌ترین مراحل کار، اعتبارسنجی می‌باشد که توانایی مدل را در مورد شبیه‌سازی مناسب تایید می‌کند.

ارزیابی مدل بر اساس توزیع رطوبت و نیترات خاک و میزان عملکرد محصول فلفل به ازای سطوح مختلف کود صورت گرفت. برای مقایسه داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده مزرعه‌ای از نمایه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R²) و شاخص توافق ویلموت (d) استفاده شد (رابطه ۴ تا ۷).

رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در طی دوره رشد به صورت روزانه و با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (مدل GMK-770S شرکت جی-ون^۱ کره) و روش نمونه‌گیری از خاک به وسیله اگر اندازه‌گیری شد. زمان و مقدار آبیاری بر اساس داده‌های خوانده شده از دستگاه و با هدف جایگزین نمودن کمبود آب خاک تا حد ظرفیت زراعی تعیین شد. بنابراین مقدار آب کاربردی و دور آبیاری متغیر بود. میزان آب کاربردی توسط کنتورهای حجمی ۲۵ میلی‌متری در هر آبیاری اندازه‌گیری شد. برای تعیین زمان و مقدار آبیاری در مراحل مختلف رشد، زمانی که میانگین وزنی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به $\theta_{MAD} = \alpha(1 \pm 0.05)$ رسید (رابطه ۱)، آبیاری به میزان محاسبه شده صورت می‌گرفت (رابطه ۲ و ۳). مقدار α برابر ۰/۶ بود.

$$\theta_{MAD=\alpha} = \theta_{FC} - (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times \alpha \quad (1)$$

$$D_{ir} = \sum_{i=1}^2 (\theta_{FC} - \theta_i) \times D_i \quad (2)$$

با فرض برابر بودن عمق خالص آب آبیاری با کمبود رطوبت خاک، عمق ناخالص آبیاری از رابطه‌ی ۳ محاسبه گردید (۱۵).

$$Ig = In/Ea \quad (3)$$

در این روابط θ_{FC} ، θ_{PWP} و θ_i به ترتیب رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی دائم و پیش از آبیاری، MAD حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی، D_{ir} عمق آب آبیاری در تیمارهای آبیاری برای مقدار MAD برابر با ۶۰ درصد، D_i عمق لایه نام خاک (cm)، Ig عمق ناخالص آب کاربردی بر حسب میلی‌متر، In عمق خالص نیاز آبیاری بر حسب میلی‌متر که برابر با Di می‌باشد و Ea راندمان کاربرد آبیاری قطره‌ای است که در این طرح برابر با ۹۰ درصد در نظر گرفته شد.

به جز نیتروژن سایر مواد مورد نیاز شامل فسفر و پتاسیم براساس گزارش آنالیز خاک مزرعه به میزان کافی برای کشت فلفل در خاک مزرعه موجود بود. کود نیتروژنه به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال با مقدار یکسان ۵۰ کیلوگرم در هکتار در تاریخ‌های ۲۱، ۲۲ و ۶۸ روز پس از کاشت نشاء اعمال شد.

در راستای اهداف تحقیق و جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای ایجاد فایل‌های مدل، نیتروژن خاک ۱۱ بار، به طور متوسط هر دوازده روز و رطوبت خاک به صورت روزانه در طی دوره کاشت گیاه فلفل و عملکرد نهایی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار نیتروژن از روش کجدال استفاده شد. در این پژوهش ۵ لایه با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر تعریف شد که برخی مشخصات آن ارایه گردیده است (جدول ۲).

در مدل Eu-Rotate-N تبخیر و تعرق محصول با استفاده از

جدول ۲- اطلاعات خاک به کار برده شده برای شبیه سازی مدل Eu-Rotate-N

Table 2- Soil hydraulic properties used for the simulations in Eu-rotate-n model.

عمق نمونه Depth (cm)	θ_{FC}	θ_{wp}	θ_s	θ_{ini}	نیتروژن معدنی خاک soil mineral N content (kg N/ha)
0-20	0.32	0.17	0.48	0.11	22
20-40	0.34	0.18	0.48	0.14	18
40-60	0.36	0.18	0.47	0.19	16
60-80	0.32	0.17	0.47	0.22	15
80-100	0.31	0.17	0.46	0.23	13

θ_s : رطوبت حجمی اشباع خاک، θ_{FC} : رطوبت حجمی ظرفیت زراعی، θ_{wp} : رطوبت حجمی نقطه پژمردگی، θ_{ini} : رطوبت حجمی اولیه خاک
 θ_s : Soil saturated water content, θ_{FC} : soil water content at field capacity, θ_{wp} : soil water content at permanent wilting point, θ_{ini} : initial value of water content

(RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (r^2) و شاخص توافق ویلموت (d)، نتایج شبیه سازی مدل به تفکیک برای ۳ تیمار مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جداول ۳ و ۴ آمده است.

بر اساس نتایج، RMSE برای رطوبت و نیترات شبیه سازی شده در همه تیمارهای مربوط به کوددهی به ترتیب ۰/۰۲۲ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب و ۰/۸۹ میلی گرم بر کیلوگرم است که نشان دهنده توانایی خوب مدل در شبیه سازی توزیع رطوبت و نیتروژن خاک و کارایی قابل قبول مدل بود. همچنین در تمام تیمارها مدل در شبیه سازی روند تغییرات رطوبت و نیتروژن خاک بسیار خوب عمل کرد ($r^2 > 0.99$). شاخص NRMSE نیز در تمام تیمارها برای رطوبت و نیترات کمتر از ۲۰ درصد بود که می توان نتیجه گرفت مدل، کارایی خوبی در شبیه سازی رطوبت و نیترات خاک تحت مدیریت های مختلف کود داشته است.

بهترین شبیه سازی مدل مربوط به تیمار کودی N_0 با شاخص RMSE به ترتیب برابر با ۰/۰۲۱ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب و ۰/۵۹ میلی گرم بر کیلوگرم برای رطوبت و نیترات خاک و بدترین شبیه سازی آن مربوط به تیمار کودی N_3 با شاخص RMSE به ترتیب برابر ۰/۰۲۴ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب و ۱/۰۴ میلی گرم بر کیلوگرم برای رطوبت و نیترات خاک بود. مقدار RMSE برای رطوبت خاک بین ۰/۲۴ و ۰/۲۶ و برای نیترات خاک بین ۰/۶۸ و ۱/۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم قرار دارد که در بازه قابل قبولی هستند (۲۰ و ۴۱).

مقدار NRMSE بر حسب درصد بیان می شود و اگر بیش تر از ۳۰ درصد باشد، شبیه سازی ضعیف ارزیابی می شود (۲۸). r^2 معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می باشد (۳۴).

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0.5} \quad (4)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE \times 100}{O_{iavg}} \quad (5)$$

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O_{iavg}|) + (|O_i - O_{iavg}|)^2} \quad (6)$$

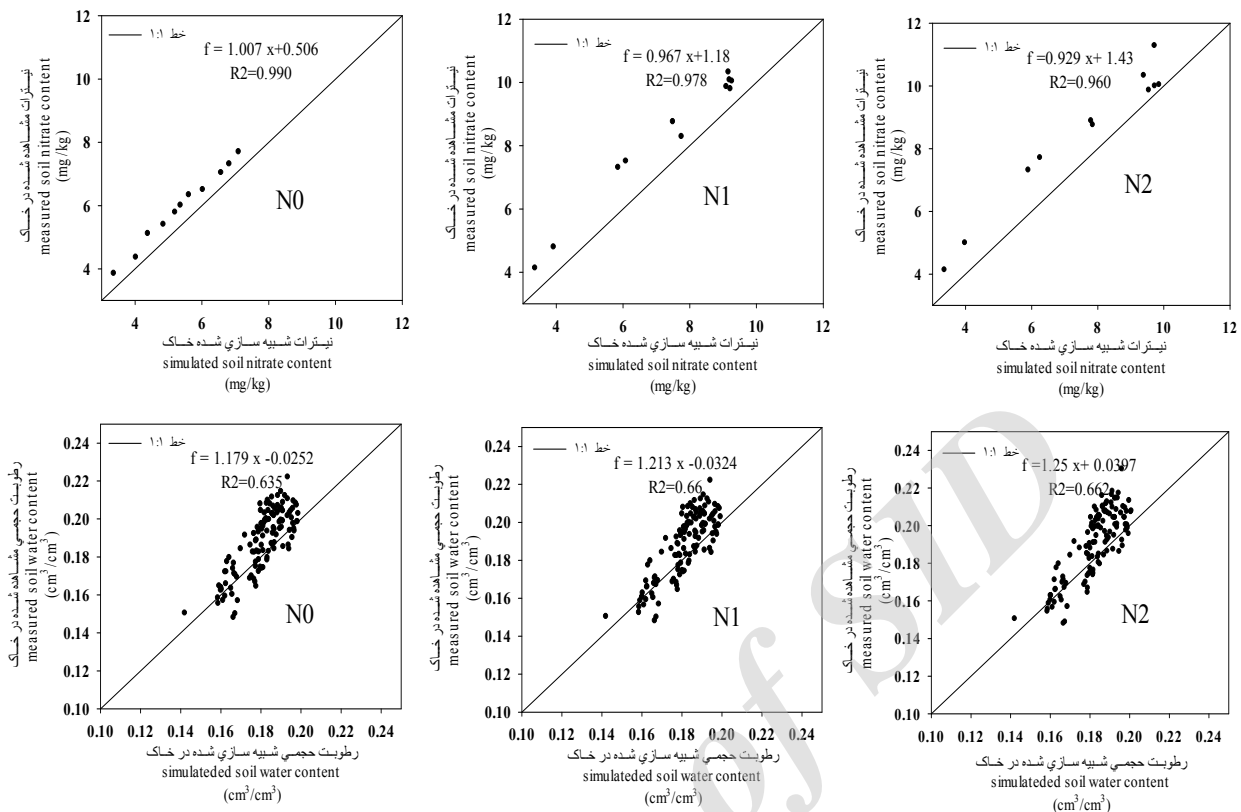
$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i O_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n P_i^2 \sum_{i=1}^n O_i^2}} \quad (7)$$

که در آن ها P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و O_{iavg} میانگین مقادیر مشاهده شده می باشد.

نتایج و بحث

مقدار رطوبت و نیترات خاک برای ۳ تیمار کود نیتروژنی متفاوت در سال زراعی اندازه گیری و با مقادیر شبیه سازی شده مقایسه گردید که در شکل ۱ نشان داده شده است. ضرایب معادلات به دست آمده برای رطوبت و نیترات در تمام تیمارها بسیار به یک نزدیک بود. توانایی یک مدل گیاهی برای شبیه سازی در شرایط مختلف رطوبتی و کود نیتروژن از ویژگی های مهم آن است که نتایج به دست آمده نشان دهنده توانایی مدل EU-Rotate-N برای کاربرد در مدیریت های کود نیتروژن می باشد.

بر اساس شاخص های آماری ریشه میانگین مربعات خطا



شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده رطوبت حجمی خاک و نیترات خاک در عمق ۱۰+۰ تا ۱۰ سانتیمتر برای سه تیمار کوددهی در طول فصل رشد

معادله خطی برازش داده شده و ضریب تعیین (R²) در شکل نشان داده شده است.

Figure 1- Comparison the simulated and measured values of soil water content and soil nitrate content in the 0–100 cm depth for 3 N fertilization treatments, throughout the experimental period.

The linear regression equations and the coefficients of determination (R²) are indicated in the figures

جدول ۳- مقدار شاخص های عملکرد آماری (r²، NRMSE، RMSE و d) برای رطوبت موجود در خاک در تیمارهای کود نیتروژن

Table 3- The Amount of Statistical performance indices (r², NRMSE, RMSE and d) for soil water content in N fertilizer treatments

تیمار آزمایشی treatment	RMSE(cm ³ /cm ³)	NRMSE%	d	r ²
N0	0.021	11.70	0.66	0.996
N2	0.021	11.73	0.66	0.995
N3	0.024	12.81	0.65	0.995
همه داده ها Total data	0.022	12.08	0.66	0.996

که مدل Eu-Rotate-N پیش بینی دقیقی از پویایی محتوای آب خاک دارد (۸ و ۳۷). در برخی مطالعات برآورد کمتر عناصر معدنی خاک توسط مدل مذکور گزارش شده است که ظاهراً به دلیل برآورد کم معدنی شدن نیتروژن از کاربردهای قبلی مواد آلی بوده است (۹ و ۲۲). مطالعات انجام شده در اسپانیا (۱۷ و ۲۴)، پیشنهاد داده اند که به

تمام شاخص های آماری برای رطوبت و نیترات تحت تاثیر کود در محدوده قابل قبول قرار داشتند. به عبارت دیگر اختلاف میان داده های مشاهده ای و شبیه سازی کم بود و مدل در شبیه سازی رطوبت و نیتروژن خاک برای تیمارهای مختلف کود نیتروژنی به خوبی عمل کرده است. دیگر نویسندگان نیز در شرایط مختلف، گزارش کرده اند

سطحی در لایه‌های بالاتر و نفوذ عمقی در لایه‌های زیرین باشد. شاخص‌های آماری نتایج شبیه‌سازی مدل به تفکیک برای اعماق مختلف هر ۳ تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در زیر ارائه شده است (جدول ۵). به طور کل شاخص RMSE بین ۰/۱۹ تا ۰/۳۰ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود که در محدوده قابل قبول قرار داشت. همچنین شاخص ویلموت بین ۰/۵۶ تا ۰/۹۳ و شاخص NRMSE در بازه پایین تر از ۲۰ درصد متغیر بودند که نشان دهنده‌ی توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی برای اعماق مختلف بودند. با توجه به مقادیر RMSE در هر سه تیمار کودی بهترین شبیه‌سازی مربوط به لایه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر با میانگین RMSE برابر با ۰/۱۹ سانتی‌متر مکعب بر سانتی‌متر مکعب بود.

منظور افزایش دقت شبیه‌سازی نیتروژن خاک، معدنی شدن نیتروژن واسنجی و اعتبارسنجی شود.

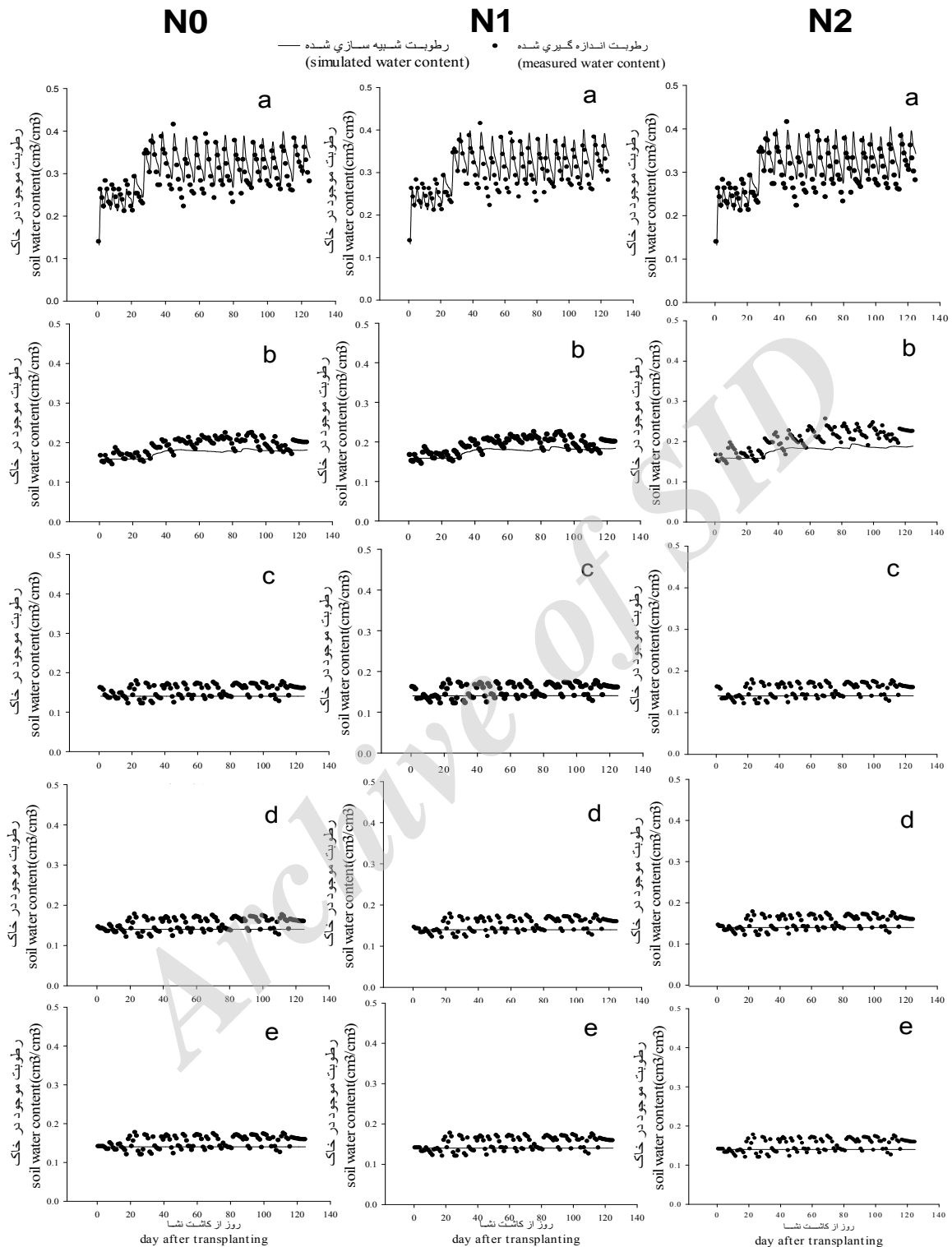
شکل ۲ داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده رطوبت خاک را در اعماق مختلف تحت سه تیمار کود نیتروژن نشان می‌دهد. در تمام تیمارها رطوبت با افزایش عمق به مقدار شبیه‌سازی شده نزدیکی بیشتری پیدا کرد. البته در لایه ۶۰ تا ۸۰ و ۸۰ تا ۱۰۰ کمی کاهش دقت وجود داشت که می‌تواند به این دلیل باشد که محدودیتی چون تغییر ساختمان خاک یا هارد پن نیز در این لایه وجود داشته و در نظر گرفته نشده است. همچنین در تمام تیمارها داده‌های رطوبت در لایه سطحی خاک کمتر از داده شبیه‌سازی شده و در لایه‌های زیرین خاک بیشتر از مقادیر شبیه سازی شده بود که می‌تواند به دلیل وجود تبخیر

جدول ۴- مقدار شاخص‌های عملکرد آماری (r^2 ، NRMSE، RMSE و d) برای نیترات موجود در خاک در تیمارهای کود نیتروژن (mg/kg)
Table4- The Amount of Statistical performance indices (r^2 , NRMSE, RMSE and d) for soil nitrate content in N fertilizer treatments (mg/kg)

تیمار آزمایشی treatment	RMSE(mg/kg)	NRMSE%	d	r^2
N0	0.59	10.03	0.669	0.998
N2	1.02	12.29	0.659	0.999
N3	1.04	10.04	0.668	0.998
همه داده ها Total data	0.89	11.45	0.665	0.998

جدول ۵- مقدار شاخص‌های عملکرد آماری (r^2 ، NRMSE، RMSE و d) برای رطوبت موجود در اعماق مختلف خاک در تیمارهای کود نیتروژن
Table5- The Amount of Statistical performance indices (r^2 , NRMSE, RMSE and d) for soil water content in different layers in N fertilizer treatments

تیمار treatments	لایه خاک layer depth(cm)	RMSE(cm ³ /cm ³)	NRMSE%	D	r^2
N0	0-20	0.026	8.86	0.93	0.997
	20-40	0.021	11.07	0.67	0.997
	40-60	0.020	13.07	0.57	0.994
	60-80	0.019	12.88	0.57	0.994
	80-100	0.019	12.61	0.56	0.994
N1	0-20	0.027	9.22	0.92	0.997
	20-40	0.020	10.56	0.69	0.997
	40-60	0.020	13.17	0.57	0.994
	60-80	0.019	12.98	0.56	0.994
	80-100	0.019	12.72	0.56	0.994
N2	0-20	0.029	10.09	0.91	0.997
	20-40	0.030	15.09	0.65	0.996
	40-60	0.020	13.17	0.57	0.994
	60-80	0.019	12.98	0.56	0.994
	80-100	0.019	12.73	0.56	0.994



شکل ۲- مقایسه رطوبت شبیبه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای سه سطح کوددهی در اعماق مختلف در فصل رشد

a: لایه صفر تا ۲۰ سانتی‌متر، b: لایه ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر، c: لایه ۴۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، d: لایه ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر، e: لایه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر

Figure 2- comparison the simulated and measured values of soil water content in different layers for 3 N fertilization treatments, throughout the experimental period.

a: 0-20cm, b: 20-40cm, c: 40-60cm, d: 60-80cm, e: 80-100cm.

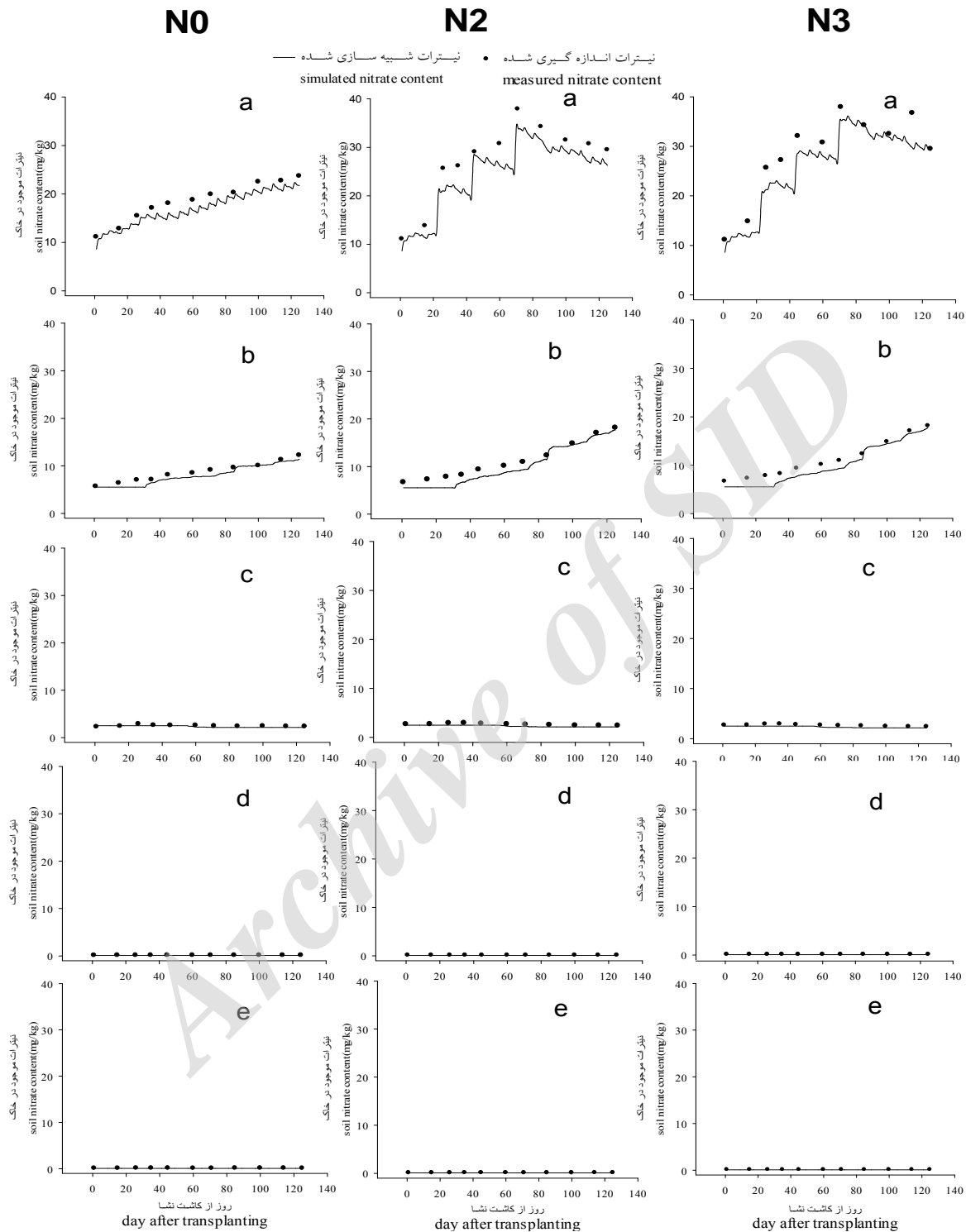
خاک در اعماق مختلف خاک مقایسه و شاخص‌های آماری برای اعماق مختلف به تفکیک محاسبه شدند (جدول ۶). نتایج نشان داد که در تمام تیمارها داده‌های اندازه‌گیری شده نیترات بیشتر از مقادیر شبیه‌سازی شده بود و با افزایش عمق به مقدار شبیه‌سازی شده نزدیکی بیشتری پیدا کرد. با توجه به شکل ۳ روند تغییرات نیترات شبیه‌سازی شده کاملاً مشابه روند تغییرات نیترات مشاهده شده بود که شاخص r^2 بالای ۹۰ درصد تیمارها نیز گویای همین مطلب است. شاخص RMSE در محدوده ۰/۰۱ تا ۳/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و قابل قبول بود. شاخص ویلموت نیز بین ۰/۵۱ تا ۰/۹۳ بود که مناسب است. بهترین شبیه‌سازی نیترات خاک مربوط به لایه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متری با میانگین RMSE برابر با ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بدترین شبیه‌سازی مربوط به لایه ۰ تا ۲۰ سانتی متری با میانگین RMSE برابر با ۲/۹۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. در کل در مورد نیترات خاک بهترین شبیه‌سازی در تیمار سطح کودی N0 در لایه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متری با RMSE برابر ۰/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بدترین شبیه‌سازی در تیمار سطح کودی N1 در لایه ۰ تا ۲۰ سانتی متری با RMSE برابر ۳/۵۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم واقع شد. محدوده RMSE نیترات خاک نیز مطابق دستورالعمل محققین در محدوده قابل قبول قرار داشت (۲۰ و ۱۱). بنابراین مدل Eu-Rotate-N برای شرایط آب و هوایی ایران بدون واسنجی، به خوبی قادر به شبیه‌سازی رطوبت و نیترات خاک بود.

دلتر نیز در تحقیقات خود عنوان کرد که مدل Eu-Rotate-N آب را در لایه اول کمتر شبیه‌سازی کرد ولی در لایه‌های زیرین بهتر برآورد کرد (۸). این تفاوت برآورد به دلیل تفکیک دو جز تبخیر و تعرق است زیرا لایه‌های سطحی تحت تاثیر دو عامل تبخیر و تعرق هستند ولی لایه‌های عمیق تر فقط تحت تاثیر تعرق هستند. شاخص RMSE رطوبت خاک برای تمام تیمارها و اعماق مختلف مطابق با دستورالعمل یانگ و همکاران (۴۱) در محدوده قابل قبول قرار داشت. داده‌های شاخص ویلموت نیز طبق تعریف ویلموت (۴۰) مناسب بوده و حاکی از آن است که این مدل بدون نیاز به واسنجی، توانایی کافی در تخمین رطوبت خاک در اعماق مختلف را داشته است. در لایه‌های سطحی به دلیل تغییرات تبخیر و هم‌چنین تاثیر عوامل محیطی نسبت به سایر لایه‌ها بیشترین اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دیده شد؛ ولی با افزایش عمق لایه، برآورد نیز بهتر شد. یانگ و همکاران (۴۱) هم در استفاده از این مدل اعلام کردند که مدل در لایه‌های سطحی مقدار رطوبت و نیتروژن را بیشتر برآورد کرد و در لایه‌های عمیق تر بهتر عمل کرد که با یافته‌های این پژوهش همخوانی داشت. این مساله ممکن است به این دلیل باشد که لایه‌های سطحی بیشتر تحت تاثیر شرایط محیطی است و بافت و ساختمان خاک لایه‌های سطحی کمی تغییر می‌کند که در پیش‌بینی مدل موثر است. به همین ترتیب داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نیترات

جدول ۶- مقدار شاخص‌های عملکرد آماری (r^2 ، NRMSE، RMSE و d) برای نیترات موجود در اعماق مختلف خاک در تیمارهای کود نیتروژن (mg/kg)

Table6- The Amount of Statistical performance indices (r^2 , NRMSE, RMSE and d) for soil nitrate content in different depth in N fertilizer treatments(mg/kg)

تیمار treatments	لایه خاک Layer depth(cm)	RMSE(mg/kg)	NRMSE%	d	r^2
N0	0-20	1.88	10.26	0.94	0.999
	20-40	0.83	9.72	0.96	0.998
	40-60	0.23	9.32	0.64	0.997
	60-80	0.01	11.39	0.53	0.998
	80-100	0.01	9.42	0.56	0.998
N1	0-20	3.44	12.60	0.95	0.998
	20-40	1.35	12.07	0.97	0.996
	40-60	0.30	12.57	0.61	0.999
	60-80	0.01	12.01	0.55	0.999
	80-100	0.01	12.19	0.51	0.999
N2	0-20	3.53	12.42	0.95	0.997
	20-40	1.37	12.34	0.97	0.996
	40-60	0.29	11.38	0.62	0.999
	60-80	0.01	13.37	0.57	0.999
	80-100	0.01	13.17	0.52	0.999



شکل ۳- مقایسه نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای سه سطح کود دهی در اعماق مختلف طی فصل رشد
 a: لایه صفر تا ۲۰ سانتی متر، b: لایه ۲۰ تا ۴۰ سانتی متر، c: لایه ۴۰ تا ۶۰ سانتی متر، d: لایه ۶۰ تا ۸۰ سانتی متر، e: لایه ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متر.

Figure 3- Comparison the simulated and measured values of soil nitrate content in different layers for 3 N fertilization treatments throughout the experimental period.

a: 0-20cm, b: 20-40cm, c: 40-60cm, d: 60-80cm, e: 80-100cm

مقایسه عملکرد نهایی گیاه نشان داد که مدل، عملکرد را در هر سه تیمار کود دهی، کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. بهترین شبیه‌سازی عملکرد محصول مربوط به تیمار سطح کودی N_2 با اختلاف ۱/۱۴ تن بر هکتار و نامناسب ترین شبیه‌سازی عملکرد محصول مربوط به تیمار سطح کودی N_1 با اختلاف ۷/۶۴ تن بر هکتار بود. افزایش کود تاثیر یکسانی بر دقت شبیه سازی نداشت. دلترا و مونوز نیز مانند نتایج این تحقیق گزارش کردند که در آب و هوای مدیترانه‌ای بدون واسنجی تابع عملکرد، مدل Eu-Rotate-N برآورد کمتری از عملکرد ارائه داد (۹).

محققان زیادی مثل گوا و همکاران (۱۱) و سان و همکاران (۳۷) از این مدل در اروپا بدون واسنجی استفاده کرده و نتایج مطلوبی در تخمین نیترات و رطوبت به دست آوردند، ولی نندل و همکاران (۲۲) و دلترا و مونوز (۹) عنوان کردند که این مدل بدون واسنجی، محصول را کمتر از حد واقعی تخمین می‌زند و بهتر است که واسنجی شود. گوا و همکاران در کاربرد Eu-Rotate-N در لایه اول نیتروژن را بیشتر شبیه‌سازی کردند. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است داده‌های شبیه‌سازی شده در پایان فصل نزدیکی بیشتری با داده‌های مشاهداتی داشتند که یافته‌های سایر محققین در این زمینه را تایید می‌کند (۱۱). داده‌های عملکرد گیاهی حاصل از نرم افزار در پایان فصل، در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده آن نشان داده شده است (جدول ۷).

جدول ۷- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده داده‌های عملکرد در انتهای فصل رشد
Table 7- Comparison the simulated and measured values of yield at harvest

شاخص index		N0	N1	N2
عملکرد	اندازه گیری شده	20	29.5	22.40
Yield (ton/ha)	شبیه سازی شده	18.8	21.86	21.26

انجام عملیات وقت گیر واسنجی، از کارایی مناسبی برای شبیه سازی محتوای رطوبت و نیترات خاک و عملکرد برخوردار است. می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی مقادیر آب و نیتروژن و در نهایت رسیدن به یک مدیریت جامع و بهینه در مزرعه در شرایط اقلیمی گرم و خشک اصفهان در ایران استفاده کرد.

نتیجه گیری کلی

مدل‌های گیاهی بسیاری در جهان برای کاربردهای متفاوت مدیریت آب و کود مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل استفاده شده در این پژوهش، مدل Eu-Rotate-N است و با توجه به این که شاخص‌های آماری به‌دست آمده در محدوده مناسبی قرار داشتند، می‌توان گفت این مدل در مورد محصول فلفل شیرین در منطقه اصفهان بدون

منابع

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage paper 56, Rome, Italy. 300 p.
- Azhdary Kh. 2008. Simulation of Water Movement in Soil in Drip Irrigation System in Different Types of Soils. Agricultural Biotechnology, Issue 1. (in Persian with English abstract).
- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussiere F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillere J.P., Henault C., Maraux F., Seguin B., and Sinoquet H. 2003. An overview of the crop model STICS. European Journal of Agronomy, 18:309-332.
- Brisson N., Mary B., Ripoche D., Jeuffroy M.H., Ruget F., Nicoulaud B., Gate P., Devienne-Barret F., Antonioletti R., Durr C., Richard G., Beaudoin N., Recous S., Tayot X., Plenet D., Cellier P., Mached J.M., Meynard J.M., and Delecote R. 1998. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balances. I. Theory and parameterization applied to wheat and corn. Agronomie, 18, 311-346.
- Burns I.G. 1974. A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soils after excess rainfall or evapotranspiration. European Journal of Soil Science, 25:165-178.
- Casero T., Benavides A., Pay J., and Recasens I. 2004. Relationship between leaf and fruit nutrients and fruit quality attributes in Golden Smoothee using multivariate regression techniques. Journal of Plant Nutrition, 27: 313-324.
- Cote C.M., Bristow K.L., Charleworth P.B., and Cook F.J. 2003. Analysis of soil wetting and solute transport in

- sub-surface trickle irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 22(3-4):143-156.
- 8- Doltra J., and Muñoz P. 2010. Simulation of nitrogen leaching from a fertigated crop rotation in a Mediterranean climate using the EU-Rotate N and HYDRUS-2D models. *Agricultural Water Management Journal*, 97:277–285.
 - 9- Doltra J., Muñoz P., and Antón A. 2010. Soil and plant nitrogen dynamics of a tomato crop under different fertilization strategies. *Acta Horticulturae*, 852:207–214.
 - 10- Fallahi E. and Simons B.R. 1996. Interrelations among leaf and fruit mineral nutrients and fruit quality in “Delicious” apples. *Journal of Tree Fruit Production*, 1:15–25.
 - 11- Guo R., Nendel C., Rahn C., Jiang C., and Chen Q. 2010. Tracking nitrogen losses in a greenhouse crop rotation experiment in North China using the EU-Rotate N simulation model. *Environmental Pollution Journal*, 158:2218–2229.
 - 12- Hansen S., Jensen H. E., Nielsen N. E., and Svendsen H. 1991. Simulation of nitrogen dynamics and biomass production in winter-wheat using the Danish simulation-model DAISY. *Fertilizer Research*, 27:245–259.
 - 13- Jackson L.E. 2000. Fates and losses of nitrogen from a nitrogen-15-labeled cover crop in an intensively managed vegetable system. *Soil Science Society of America Journal*, 64:1404–1412.
 - 14- karimi z. 2008. Study the effect of mulch on drought tolerance and other quantitative and qualitative characteristics on sweet pepper varieties. msc Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad.
 - 15- Keller J., and Bliesner R.D. 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Published by Van Nostrand Reinhold New York, p:643.
 - 16- Khorami M., Alizadeh A., and Ansari H. 2013. Simulation of Water Movement and Moisture Redistribution under Drip Irrigation Systems Using Hydrus 2D/3D. *Journal of Water and Soil*, 27(4):692-702.(in Persian with English abstract).
 - 17- Lidón A., Lado L., Berbegall F., and Ramos C. 2011. Influencia de calibración de los parámetros hidráulicos del modelo EU-Rotate N en el balance de N en el cultivo de col china. *Actas de Horticultura*, 61:52–58 (in Spanish).
 - 18- Malekian R., and Gheisari M. 2012 . Sensitivity analysis of CSM-CERES-MAIZE to field capacity in simulation of nitrogen fate. *Journal of water and soil resources conservation*, 1(2):1-14. (in Persian with English abstract).
 - 19- Meshkat M., Warner R.C., and Workman S.R. 1999. Modeling of evaporation reduction in drip irrigation system. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 125(6): 315-323.
 - 20- Nangia V., Gowda P.H., Mulla D.J., and Sands G.R. 2008. Water quality modeling of fertilizer management impacts on nitrate losses in tile drains at the field scale. *Journal of Environment Quality*, 37:296–307.
 - 21- Nendel C. 2009. Evaluation of best management practices for N fertilisation in regional field vegetable production with a small-scale simulation model. *European Journal of Agronomy*, 30(2):110-118.
 - 22- Nendel C., Venezia A., Piro F., Ren T., Lillywhite R.D., and Rahn C.R. 2013. The performance of the EU-Rotate N model in predicting the growth and nitrogen uptake of rotations of field vegetable crops in a Mediterranean environment. *The Journal of Agricultural Science*, 151:538–555.
 - 23- NRCS. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: *National Engineering Handbook*, Part 630, Hydrology, USDA.
 - 24- Olasolo L., Vazquez M., Suso A., and Pardo A. 2011. Evaluación del modelo EU-Rotate N en cultivo de patata. *Actas de Horticultura*, 61:52–58 (in Spanish).
 - 25- Rahn C.R., Zhang K., Lillywhite R.D., Ramos C., De Paz J.M., Doltra J., Riley H., Fink M., Nendel C., Thorup-Kristensen K., Pedersen A., Piro F., Venezia A., Firth C., Schmutz U., Rayns F., and Strohmeyer K. 2010. A European Decision Support System, EU-Rotate_N to predict environmental and economic consequences of the management of nitrogen fertilizer in crop rotations. *European Journal of Horticultural Science*, 75(1): 20-32.
 - 26- Ritchie J.T. 1998. Soil water balance and plant water stress. In: Tsuji G., Hoogenboom G., Thornton P. (Eds.) *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, p. 41–54.
 - 27- Sadeghi A.M., McInnes K.J., Kissel D.E., Cabrera M.L., Koelliker J.K., and Kanemasu E.T. 1988. Mechanistic model for predicting ammonia volatilization from urea. In: Bock B.R., Kissel, D.E. (Eds.). *Ammonia Volatilization from Urea Fertilizers*. National Fertilizer Development Centre, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals, Alabama, p. 67–92.
 - 28- Savage M.J. 1993. Statistical aspects of model validation. Presented at a workshop on the field water balance in the modeling of cropping systems, University of Pretoria, South Africa.
 - 29- Schmitz GH., Shutze N., and Petersohn U. 2002. New strategy for optimizing water application under trickle irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 128(5): 287-297.
 - 30- Seifi s. 2010. Study the Effects of plant density and pruning on yield and plant growth in two varieties of greenhouse bell pepper. MSc Dissertation, Ferdowsi University of Mashhad.
 - 31- Shaffer M.J., Halvorson A.D., and Pierce F.J., 1991. Nitrate Leaching and Economic Analysis Package (NLEAP): model description and application. In: Follett, R.F., Keeney, D.R., Cruse, R.M. (Eds.), *Managing nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability*. Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, pp. 285–322.
 - 32- Simunek J., Van Genuchten M.Th., and Sejna M. 2006. The HYDRUS Software Package for Simulating the Two- and Three-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably – Saturated Media. Technical

Manual.

- 33- Skaggs T.H., Trout T.J., Simunek J., and Shouse P.J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 30: 304–310.
- 34- Soler C.M.T., Sentelhas P.C., and Hoogenboom G. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *European Journal Agronomy*, 27: 165-177.
- 35- Soto F., Gallardob M., Giménezc C., Peñna-Fleitasb T., and Thompsonb R.B. 2014. Simulation of tomato growth, water and N dynamics using the EU-Rotate N model in Mediterranean greenhouses with drip irrigation and fertigation. *Agricultural Water Management*, 132:46–59.
- 36- Stöckle C.O., Donatelli M., and Nelson R., 2003. CropSyst, a cropping system simulation model. *Eur. J. Agron*, 18: 289–307.
- 37- Sun Y., Hua K., Zhangb K., Jiangc L., and Xuc Y. 2012. Simulation of nitrogen fate for greenhouse cucumber grown under different water and fertilizer management using the EU-Rotate N model. *Agricultural Water Management*, 112:21– 32.
- 38- Sdgaard H.T., Sommer S.G., Hutching H.J., Huijsmans J.F.M., Bussink D.W., and Nicholson F. 2002. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry-the ALFAM model. *Atmospheric Environment*, 36:3309–3319.
- 39- Tognoni F., Pardossi A., and Serra G. 1999. Strategies to match greenhouses to crop production. *Acta Horticulturae*, 481:451–461.
- 40- Willmott C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11):1309–1313.
- 41- Yang D.J., Zhang T.Q., Zhang K.F., Greenwood D.J., Hammond J.P., and White P.J. 2009. An easily implemented agro-hydrological procedure with dynamic root simulation for water transfer in the crop-soil system: Validation and application. *Journal of Hydrology*, 370:177-190.

Archive of SID

Simulation of Soil Water content and Nitrate under Different Fertigation Strategies for Sweet Pepper in Isfahan by EU-ROTATE-N Model.

F. Fazel^{1*} - N.Ganji Khorramdel²- M. Gheysari³

Received: 11-06-2016

Accepted: 04-09-2016

Introduction: World's population growth and limited water resources and needing to more food production led to interest farmers to use nitrogen fertilizer more than soil requires and subsequently Nitrate leaching causes groundwater and environmental pollution. Therefore, researches has concentrated on improvement of nitrogen use efficiency, which numerical simulation is the effective solutions to optimize the management of water and fertilizer in the field in order to achieve the maximal yield and minimal nitrate pollution of soil, groundwater and drainage in water deficiency crisis condition. For this reason, the evaluation of new user friendly models in correct estimation of soil moisture and nitrogen content distribution and recognition of water and solutes movement in the soil and choosing the best management option for increasing productivity and economic performance and also reduction of nitrate pollution of soil and ground water source with the least limitations and high accuracy is necessary. The Eu-Rotate-N model has been developed for simulation of nitrogen use and specifically for optimization of nitrogen use in variation of vegetables in a wide range of conditions, which without the need to calibration has presented satisfactory results in many areas. So this study was conducted to evaluate the efficiency of Eu-Rate-N model in assessment of moisture and nitrogen distribution and yield under different nitrogen fertigation management for pepper plant.

Materials and Methods: Sweet pepper was planted at density of 8.33 plant per m² in a row planting method. 150kg per hectare per year of fertilizer was used during the season. Crop yield, soil water and nitrogen content were measured on a regular basis. The treatments consisted of three fertilizer level: zero (N₀), the ratio of ammonium to nitrate 20:80 (N₁) and 40:60 (N₂), which was conducted in a completely randomized block with three replications in Isfahan. Irrigation based on daily monitoring of humidity was used with drip irrigation system. The irrigation Depth was calculated and applied with aim of replacing the water content deficiency in the root zone up to field capacity (FC) for the no water deficit treatment.

Coefficients were modified only for plant coefficients and length of each growth stage according to the area. To compare simulated data with measured data in field, indices of statistical root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (NRMSE), coefficient of determination (r²) and index of agreement Wilmot (d) were used.

Results and Discussion: The NRMSE index for nitrate and soil water content was 11.45, 12.08, the RMSE was 0.89, 0.022, the r² was 0.998, 0.996 and the d was 0.667, 0.66 respectively. All calculated indices for soil water and nitrate content were in the acceptable range. NRMSE index was less than 20 percent in all treatments which was indicating good ability of model in simulating soil water and nitrate content and r² was more than 90 percent which pointed out to well process of simulation of the model. The simulation accuracy was greater at the end of the growing season. Comparing of RMSE statistical index for different depths showed that the simulation accuracy was increased by increasing depth which can be due to changes in surface evaporation and also the effect of environmental factors on surficial layers more than other layers. Generally the best simulation was related to the layer of 80 to 100 cm. And the average RMSE was 0.019 cm³ per cm³ for soil moisture content and 0.22 mg per kg for soil nitrate. In the layer of 80-100 cm the best simulation of soil moisture and nitrate content between treatments was related to N₀ by the RMSE equal to 0.024 cm³ per cm³ and 0.21 mg per kg respectively and the weakest simulation was related to N₃. The simulated yield in all treatments was less than its actual value. Comparison of simulations between three treatments demonstrated the usefulness of EU-Rotate N to examine the effects of management on, nitrate leaching.

1 and 2- M.Sc. student and Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Arak University

(*-Corresponding Author Email: forough_f67@yahoo.com)

3- Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

Conclusions: The Eu-rotate-n model without calibration for site location was well capable of estimating soil water and nitrate content under different fertilizer management for Isfahan climatic conditions nevertheless it is suggested to use to calibrate yield functions to improve the yield simulation. Generally we can use Eu-rotate-n model for simulation of water and nitrogen content and eventually approach to integrated and optimal management in the farm in the hot, dry conditions of Isfahan.

Keywords: Fertigation, Nitrate pollution, Sweet pepper, Soil moisture distribution

Archive of SID