نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 388-377

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 377-388

شبیه‌سازی توزیع رطوبت و نیترات در خاک در دو سیستم آبیاری سطحی و قطره ای با استفاده از مدل Eu-Rotate-N در اصفهان

فروغ فاضل[1*]، ناصر گنجی خرم دل[2]، مهدی قیصری[3]

تاریخ دریافت: 1395/1/18 تاریخ پذیرش: 1395/6/24

چکیده

به علت رشد جمعیت جهان و محدودیت منابع آب، آبیاری در کشاورزی باید در جهت تولید محصول بیش‌تر با میزان آب کم‌تر حرکت کند بنابراین پژوهش‌ها بر افزایش کارایی آب و نیتروژن متمرکز شده است که شبیه‌سازی عددی راه حل مؤثری در بهینه‌سازی مدیریت آب و کود در مزرعه برای رسیدن به بالاترین عملکرد محصول و پایین‌ترین آلودگی نیترات خاک، در شرایط بحران کمبود آب می‌باشد. این امر لزوم ارزیابی مدل‌های جدید با کاربری آسان در شناسایی صحیح توزیع آب و املاح در خاک منطقه و انتخاب بهترین گزینه مدیریتی را نشان می دهد. مدل Eu-Rotate-N برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مصرف نیتروژن در تناوب محصولات گیاهی و بدون نیاز به کالیبراسیون، توسعه داده شده است. این پژوهش با هدف بررسی کارایی مدل Eu-Rrotae-N درشبیه سازی توزیع رطوبت و نیتروژن و عملکرد گیاه فلفل تحت دو سیستم آبیاری قطره ای و سطحی در مزرعه ای با بافت لوم رس سیلتی در اصفهان در سال 94 انجام شد. چهار شاخص آماری RMSE، NRMSE، r^2 و d جهت ارزیابی مدل محاسبه شدند. این شاخص‌ها برای رطوبت خاک در هر دو تیمار و در کل پروفیل خاک به ترتیب برابر با 0/025، 13/26، 0/65، 0/996 بودند. هم‌چنین برای نیترات و عملکرد گیاه در هر دو تیمار مقدار NRMSE کم‌تر از 20 درصد r^2 بیش‌تر از 90 درصد بود که نشان دهنده کارایی خوب و روند شبیه‌سازی بسیار مناسب مدل بود. بنابراین کارایی مدل Eu-Rotate-N در شبیه سازی توزیع رطوبت، نیترات و عملکرد برای گیاه فلفل تایید شد و می‌توان از مدل برای شبیه‌سازی و بهینه‌سازی مدیریت آب در مزرعه در شرایط اقلیمی گرم و خشک در خاکی با بافت سنگین برای گیاه فلفل استفاده نمود.

واژه های کلیدی: آلودگی نیترات، اقلیم گرم و خشک، توزیع رطوبت خاک، فلفل شیرین

مقدمه

رشد جمعیت و افزایش مصرف سرانه، که با بالا رفتن سطح درآمد و زندگی افراد جامعه وابستگی زیادی دارد، دو مسئله مهم در تامین نیازهای غذایی برای افراد جوامع در حال پیشرفت از جمله ایران است. در این بین بهره‌گیری مؤثر از منابع محدود آب و خاک برای تولید محصولات کشاورزی اهمیت ویژه ای دارد. بنابراین، آبیاری در کشاورزی باید در جهت تولید محصول بیش‌تر با میزان آب کم‌تر پیش رود. کمبود آب از یک سو محدود کننده رشد گیاه و از سوی دیگر زیادی آن انتقال دهنده مهم مواد شیمیایی و آلاینده‌ها به آب‌های زیرزمینی و مانع از جذب نیتروژن است (Liao and Bartholomew.,1974). بنابراین شناخت دقیق بهترین رژیم آبیاری امری ضروری است. در بین محصولات سبزیجات به جهت ارزش غذایی فراوان، به عنوان گروه مهمی از مواد غذایی شناخته شده اند و طبق نظر کارشناسان، وجود سبزی‌ها در برنامه غذایی روزانه الزامی است (کریمی، 1388 و صیفی، 1389). واضح است که هر پیشرفتی در جهت افزایش تولید سبزیجات به وضعیت اقتصادی کشور کمک می‌کند (دانشور،1383). استفاده از روش‌های آبیاری تحت فشار یکی از راه های استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی بوده که در چند سال اخیر مورد توجه کشاورزان و سیاست گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته و در سطح کشور به طور وسیعی گسترش یافته است (ملکیان و قیصری،1390). آبیاری قطره‌ای بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد (خرمی و همکاران (1392) و Skaggs et al,2004) . سیستم‌های آبیاری قطره‌ای برای طراحی و مدیریت صحیح، نیازمند شناخت توزیع رطوبت و املاح در خاک است (Cote et al.,2003 و Brisson et al.,2003).

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک
2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه اراک
3- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email:forough_f67@yahoo.com)

استفاده از مدل‌های کامپیوتری برای شبیه سازی و بهینه سازی مصرف آب و کود در شرایط مختلف، ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر مدل‌های بسیاری برای شبیه سازی توزیع آب و املاح ارائه شده است. ولی این مدل‌های شبیه سازی بیش‌تر برای غلات توسعه یافته‌اند و استفاده بسیار کمی برای سبزیجات داشته‌اند.

مدل EU-Rotate-N برای شبیه سازی و بهینه سازی مصرف نیتروژن در تناوب محصولات گیاهی در طیف اقلیمی گسترده‌ای، از آب و هوای سرد تا شرایط گرم و خشک توسعه داده شده است (Rahn et al.,2010). این مدل دارای مقادیر پیش فرضی برای کالیبراسیون تعداد زیادی از محصولات گیاهی است و کاربرد آن نشان داده است که ابزار مفیدی برای بهبود مدیریت آبیاری است. به طوری که با کاهش قابل توجه تلفات نیتروژن، حداقل اثر را بر عملکرد داشته است (Nendel.,2009). برای خیار گلخانه‌ای در چین، Eu-Rotate-N در شبیه سازی توزیع نیتروژن در مدیریت های مختلف آبیاری و کود به کار رفت (Sun et al.,2012 و Guo et al.,2010). این مدل در تناوب‌های گیاهی در آلمان و نروژ و ایتالیا استفاده شد (Nendel et al.,2013). هم‌چنین برای گوجه‌فرنگی در شرایط مزرعه و گلخانه مورد ارزیابی قرار گرفت (Doltra., 2010, Doltra et al., 2010, Soto et al., 2014).

با توجه به افزایش کاربرد مدل Eu-Rotate-N در شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تولید سبزیجات، ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی محصولات رایج ایران امری ضروری است. بنابراین در این تحقیق مدل Eu-Rotate-N نخستین بار برای گیاه فلفل و در اقلیم گرم و خشک منطقه اصفهان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال 1394 در مزرعه‌ای واقع در شهرستان نجف آباد در 40 کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان انجام شد (شکل1). منطقه دارای موقعیت جغرافیایی 51 درجه و 23 دقیقه طول شرقی، 32 درجه و 63 دقیقه عرض شمالی است و در ارتفاع 1649 متری از سطح آب‌های آزاد قرار دارد. این پژوهش در خاکی با بافت لوم رس سیلتی انجام شد (جدول1). فلفل شیرین به صورت کشت ردیفی با تراکم 8/33 بوته در متر مربع به روش دستی در تاریخ 30 فروردین ماه سال 1394 کاشته شد. تیمارهای آزمایش شامل دو سیستم آبیاری قطره ای (w1) و جوی و پشته (w2) بود که در قالب طرح آماری بلوک کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آب مورد نیاز از چاه واقع در مزرعه تامین گردید. مقدار هدایت الکتریکی آب چاه یک دسی زیمنس بر متر و مقدار غلظت نیترات 18 میلی گرم در لیتر بود. اسیدیته آب چاه 7/1 بود. این آب دارای کیفیت مطلوب بوده و هیچ گونه محدودیت کاربردی نداشت.

در این پژوهش از سیستم آبیاری موضعی قطره ای-نواری[1] و لوله درپیردار شرکت یورودریپ با فاصله‌ی قطره چکان 30 سانتی‌متر و دبی قطره چکان برابر 2/6 لیتر بر ساعت استفاده شد. طراحی سیستم قطره‌ای به گونه‌ای انجام شد که سه تکرار آزمایشی با فاصله یک متر و مجاور یکدیگر قرار داده شد. رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه در طی دوره رشد با استفاده از دستگاه رطوبت سنج (مدل GMK-770S شرکت جی-ون کره) و نمونه‌گیری از خاک به وسیله آگر انجام 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 دوره آبیاری متغیر بود. میزان آب کاربردی توسط کنتورها 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 $\theta_{MAD} = \alpha(1\pm0.05)$ رسید (رابطه1)، آبیاری به میزان محاسبه شده صورت گرفت (رابطه2 و 3). مقدار α برابر 0/6 در نظر گرفته شد.

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

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

با فرض برابر بودن عمق خالص آبیاری با کمبود رطوبت خاک، عمق ناخالص آبیاری از رابطه‌ی 3 محاسبه گردید (Keller and Bliesner., 1990).

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

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، $D_{ir(MAD=\alpha)}$ عمق آب آبیاری در تیمارهای آبیاری برای مقدار MAD برابر با α، D_i عمق لایه i ام خاک (cm)، Ig عمق ناخالص آب کاربردی بر حسب میلی‌متر، In عمق خالص نیاز آبیاری بر حسب میلی‌متر که برابر با D_i می‌باشد و Ea راندمان کاربرد آبیاری قطره ای است که در این تحقیق برابر با 90 درصد در نظر گرفته شد.

براساس گزارش آنالیز خاک مزرعه، فسفر و پتاسیم به میزان کافی برای کشت فلفل در خاک مزرعه موجود بود. برای تامین نیتروژن مورد نیاز 150 کیلوگرم بر هکتار کود آمونیوم نیترات با 20 درصد آمونیوم در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار گرفت. داده های مورد نیاز ارزیابی مدل شامل نیتروژن خاک یازده بار، رطوبت خاک به صورت روزانه در طی دوره کاشت گیاه فلفل و عملکرد نهایی اندازه گیری شدند. در این پژوهش 5 لایه با ضخامت 20 سانتی متر تعریف شد که مشخصات آن در جدول 1 و 2 ارائه گردیده است.

1- Drip-Tape

شکل1- نقشه منطقه مطالعاتی

جدول 1- برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه (سانتی‌متر)	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	چگالی ظاهری (Mg/m3)	ماده آلی (%)	pH
20-0	42/0	17/6	40/4	1/35	4	7/2
40-20	41/7	17/6	40/7	1/40	3	7
60-40	38/8	16/6	44/6	1/40	1/3	6/8
80-60	40/4	15/3	44/3	1/45	0/6	6/8
100-80	43/4	12/6	44/0	1/45	0/3	6/2

جدول2- اطلاعات خاک به کار برده شده برای شبیه سازی مدل Eu-Rotate-N

عمق نمونه (سانتی‌متر)	گنجایش حجمی زراعی	گنجایش حجمی نقطه پژمردگی	گنجایش حجمی اشباع	رطوبت حجمی اولیه	نیتروژن معدنی خاک(kg (N/ha
20-0	0/32	0/17	0/48	0/11	22
40-20	0/34	0/18	0/48	0/14	18
60-40	0/36	0/18	0/47	0/19	16
80-60	0/32	0/17	0/47	0/22	15
100-80	0/31	0/17	0/46	0/23	13

به طور خلاصه در مدل Eu-Rotate-N تبخیر و تعرق محصول با استفاده از روش FAO با ضریب گیاهی دوگانه و چرخه ماده آلی، از جمله معدنی شدن نیتروژن، نیتروژن‌زدائی و انتشار CO_2 بر اساس الگوریتم‌های مدل DAISY محاسبه می‌شوند (Allen et al., 1998 و Hansen et al., 1991). هم‌چنین آبشویی نیترات بر اساس فرمولاسیون برنز، آمونیاک تبخیر شده از کود توسط یک معادله تجربی مورد استفاده در مدل ALFAM، (Sϕgaard et al., 2002) و هیدرولیز اوره و انتشار نیتروژن گازی به روش مدل AMOVOL، (Sadeghi et al., 1988)، ماژول بیلان آب توسط روش پیشنهاد شده بریسون و همکاران و حرکت آب خاک با استفاده از روش بیلان آب و خاک پیشنهاد شده توسط ریچی شبیه سازی می‌شوند (Ritchie., 1998 و Brisson et al., 2003,Burns., 1974).

محاسبه رواناب در مدل به پیروی از روش‌های سازمان حفاظت خاک ایالات متحده آمریکا و بر اساس منحنی‌های SCS انجام می‌شود (NRCS., 2004).

سایر داده‌های ورودی این مدل شامل اطلاعات هواشناسی و میزان و برنامه زمانی آبیاری و کوددهی است. در ضرایب موجود در مدل فقط ضرایب گیاهی و طول هر مرحله از رشد مطابق با شرایط منطقه اصلاح شدند و کالیبراسیون خاص دیگری برای منطقه مطالعاتی انجام نشد.

پس از برداشت داده‌های مورد نیاز، مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه سازی مدل، با داده‌های اندازه گیری شده مقایسه شد و میزان خطا برآورد گردید. ارزیابی شبیه سازی توزیع رطوبت و نیترات خاک و میزان عملکرد محصول فلفل به ازای سیستم‌های

مختلف آبیاری صورت گرفت. برای این امر از نمایه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (R^2) و شاخص توافق ویلموت (d) استفاده شد (رابطه 4 تا 7).

بهترین مقدار برای RMSE برابر صفر و برای d و r2 یک است (Soler., 2007) با مقدار NRMSE بالای 30 درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (Savage., 1993).

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

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

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

$$r2 = \frac{\sum_1^n p_i o_i}{\sqrt{\sum_1^n p_i^2 \sum_1^n o_i^2}} \quad (7)$$

که در آن‌ها P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و مشاهده شده، n تعداد مشاهدات و O_{iavg} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد.

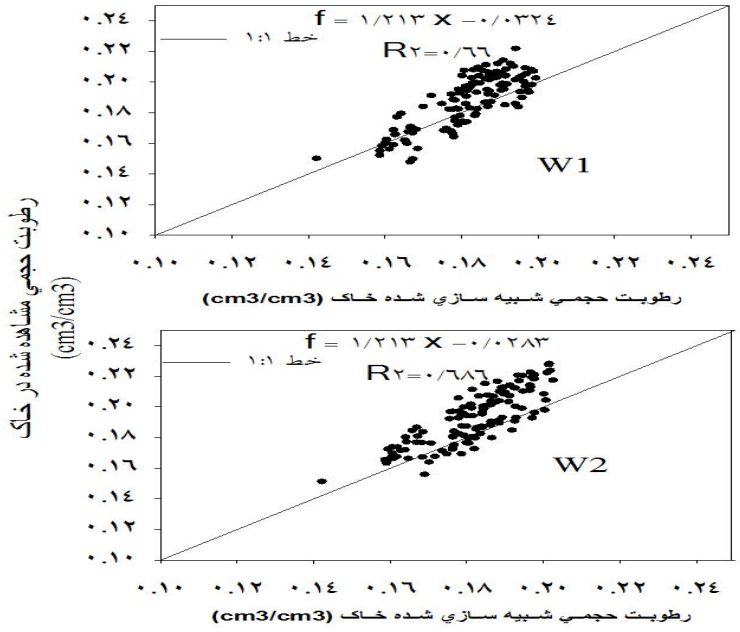
نتایج و بحث

توزیع رطوبت در خاک

مقدار رطوبت و نیترات خاک برای هر دو سیستم آبیاری اندازه‌گیری و با مقادیر شبیه‌سازی شده مقایسه گردید که در شکل 2 نشان داده شده است. ضرایب معادلات بدست آمده برای رطوبت و نیترات در تمام تیمارها بسیار به یک نزدیک بود. نتایج بدست‌آمده نشان‌دهنده توانایی مدل EU-Rotate-N برای شبیه‌سازی در شرایط مختلف رطوبتی می‌باشد.

بر اساس شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (r^2) و شاخص توافق ویلموت (d)، نتایج شبیه‌سازی مدل به تفکیک برای 2 تیمار مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در جدول 3 آمده است.

بر اساس نتایج، RMSE برای رطوبت شبیه‌سازی شده در هر دو تیمار نزدیک صفر بود که نشان دهنده توانایی خوب مدل در شبیه سازی توزیع رطوبت در خاک و کارایی قابل قبول مدل بود (Yang et al., 2009، Nangia et al., 2008). هم‌چنین در تمام تیمارها مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات رطوبت خاک بسیار خوب عمل کرد (r2>0.99).



شکل2- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک در عمق 0تا100 سانتی‌متر برای دو سیستم آبیاری در طول فصل رشد

در بین تیمارهای اعمال شده بهترین برآورد رطوبت خاک مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای با RMSE برابر با 0/021 بود. شاخص NRMSE نیز در تمام تیمارها برای رطوبت کم‌تر از 20 درصد بود که می‌توان نتیجه گرفت مدل، کارایی خوبی در شبیه‌سازی رطوبت خاک تحت مدیریت‌های مختلف آب داشته است.

تمام شاخص‌های آماری برای رطوبت تحت دو سیستم آبیاری در محدوده قابل قبول قرار داشتند. به عبارت دیگر اختلاف میان داده-های مشاهده‌ای و شبیه سازی کم بود و مدل در شبیه سازی رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف آبیاری به خوبی عمل کرده است. دیگر نویسندگان نیز در شرایط مختلف، گزارش کرده اند که مدل Eu-Rotate-N پیش بینی دقیقی از پویایی محتوای آب خاک دارد (Sun et al., 2012).

شکل 3 داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده رطوبت خاک را در اعماق مختلف تحت دو سیستم آبیاری نشان می‌دهد. در تمام تیمارها رطوبت با افزایش عمق به مقدار شبیه سازی شده نزدیکی بیش‌تری پیدا کرد. البته در لایه 60 تا 80 و 80 تا 100 کمی کاهش برآورد وجود داشت که می‌تواند به این دلیل باشد که محدودیتی در این لایه وجود داشته و در نظر گرفته نشده است. هم‌چنین در تمام تیمارها داده‌های رطوبت در لایه سطحی خاک کم‌تر از داده شبیه سازی شده و در لایه‌های زیرین خاک بیش‌تر از مقادیر شبیه‌سازی شده بود که این می تواند به دلیل وجود تبخیر سطحی در لایه‌های بالاتر و نفوذ عمقی در لایه‌های زیرین باشد.

شاخص‌های آماری نتایج شبیه سازی مدل، به تفکیک برای اعماق مختلف هر 2 تیمار مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آن در (جدول4) ارائه شده است. به طور کل شاخص RMSE بین 0/019 تا 0/035، شاخص ویلموت بین 0/56 تا 0/92 و شاخص NRMSE در بازه پایین‌تر از 20 درصد متغیر بودند که نشان دهنده‌ی توانایی خوب مدل در شبیه‌سازی رطوبت خاک برای اعماق مختلف است. با توجه به مقادیر RMSE در هر دو تیمار آبیاری بهترین شبیه‌سازی مربوط به لایه 80 تا 100 سانتی‌متر با میانگین RMSE برابر با 0/021 بود. شاخص r^2 نیز با افزایش عمق بهبود یافت ولی شاخص توافق ویلموت با افزایش عمق کاهش پیدا کرد. در هر دو تیمار آبیاری در تمام لایه‌ها رطوبت شبیه‌سازی شده در سیستم آبیاری قطره‌ای به داده مشاهده شده نزدیک‌تر بود.

بیش‌ترین اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در لایه‌های سطحی دیده شد. ولی با افزایش عمق لایه، این مقادیر به هم نزدیک‌تر شدند که می‌تواند به این دلیل باشد که تغییرات رطوبت در لایه‌های سطحی تحت تاثیر دو عامل تبخیر و تعرق است ولی در لایه‌های زیرین فقط تحت تاثیر تعرق است و مدل در برآورد جزء تبخیر دقت کم‌تری نسبت به تعرق داشته است. هم‌چنین در لایه‌های سطحی تاثیر عوامل محیطی نسبت به سایر لایه‌ها بیش‌تر است. سایر محققان نیز در مطالعات خود به نتایج مشابه‌ی در استفاده از مدل Eu-Rotate-N دست یافتند که با یافته‌های ما همخوانی داشت (Doltra et al., 2010 و Yang et al., 2009).

توزیع نیترات در خاک

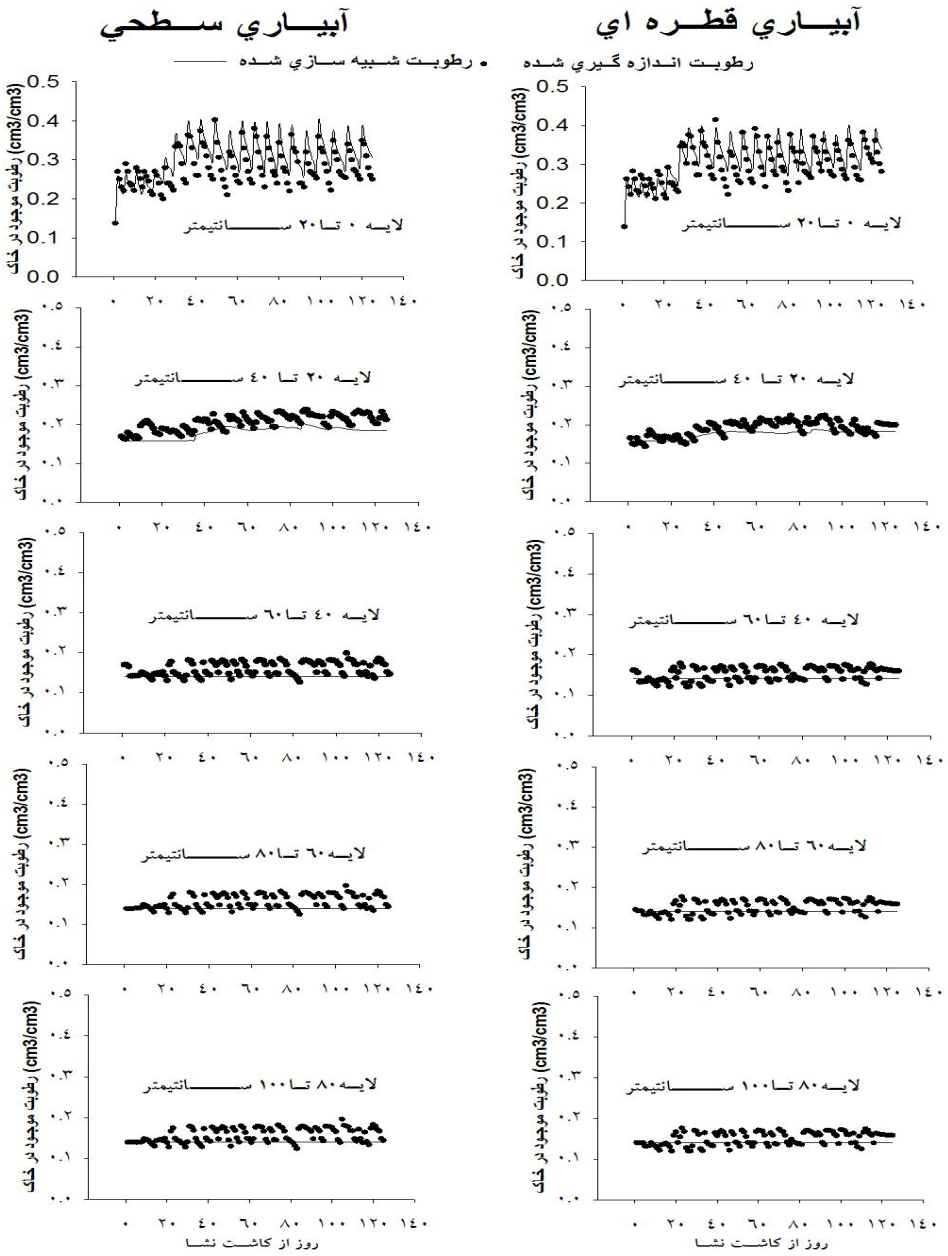
مطابق داده‌های ذکر شده، نیترات خاک نیز مورد تحلیل قرار گرفت (جدول5) و در مقایسه با داده های اندازه‌گیری شده رسم شدند (شکل4). معادله برازش داده‌ها در شکل 4 آورده شده است. ضرایب معادلات بدست آمده برای رطوبت و نیترات در تمام تیمارها بسیار به یک نزدیک بود که نشان دهنده توانایی مدل EU-Rotate-N برای شبیه سازی در تیمارهای مختلف آبیاری می‌باشد

جدول3- مقدار شاخص‌های r2، NRMSE، RMSE و d برای رطوبت موجود در خاک در تیمارهای آبیاری(mg/kg)

تیمار آزمایشی	RMSE	NRMSE%	d	r^2
آبیاری قطره‌ای	0/021	11/73	0/66	0/995
آبیاری سطحی	0/028	14/30	0/65	0/995
کل داده‌ها	0/025	13/26	0/65	0/996

جدول4- مقدار شاخص‌های r2، NRMSE، RMSE و d برای رطوبت موجود در اعماق مختلف خاک در تیمارهای آبیاری (mg/kg)

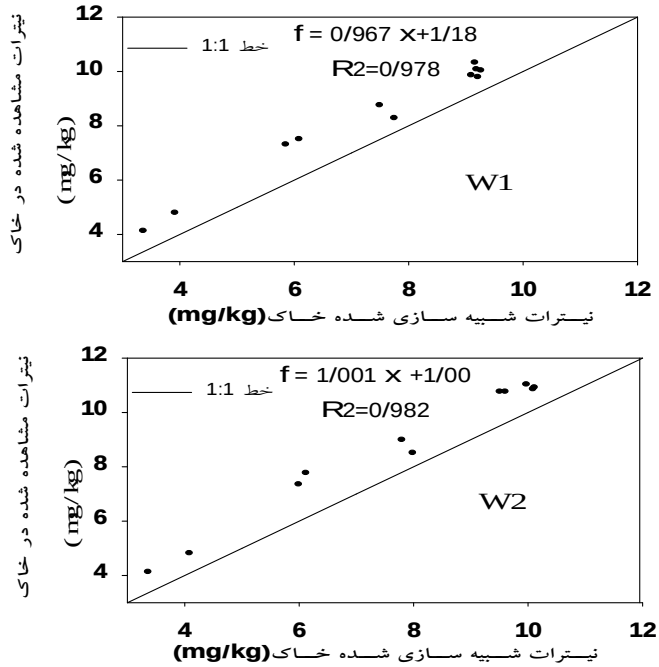
عمق نمونه (cm)	آبیاری قطره ای				آبیاری سطحی			
	RMSE	NRMSE %	d	r^2	RMSE	NRMSE %	d	r^2
20-0	0/027	9/22	0/92	0/997	0/035	12/66	0/87	0/997
40-20	0/020	10/56	0/69	0/997	0/029	14/10	0/62	0/998
60-40	0/020	13/17	0/57	0/994	0/025	16/00	0/57	0/994
80-60	0/019	12/98	0/56	0/994	0/024	15/74	0/58	0/994
100-80	0/019	12/72	0/56	0/994	0/024	15/42	0/58	0/994



شکل3- مقایسه رطوبت شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای دو سیستم آبیاری در اعماق مختلف در فصل رشد

جدول5- مقدار شاخص‌های R^2، RMSE، NRMSE و d برای نیترات موجود در خاک در تیمارهای مختلف آبیاری(mg/kg)

تیمار آزمایشی	RMSE	NRMSE %	d	R^2
آبیاری قطره‌ای	1/02	12/29	0/659	0/999
آبیاری سطحی	1/11	11/66	0/671	0/998
کل داده‌ها	1/06	12/54	0/665	0/998



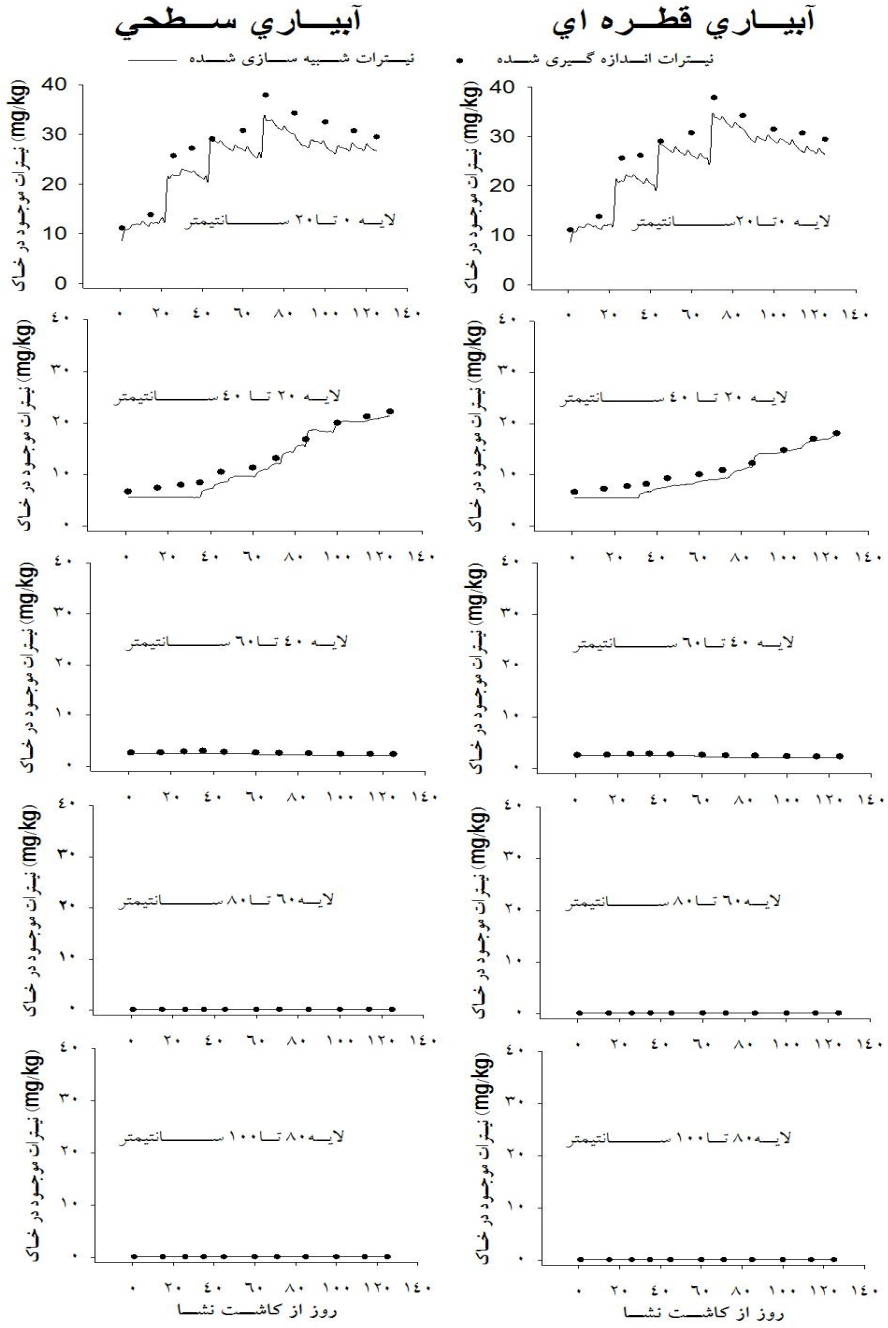
شکل4- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک در عمق 0تا100 سانتی‌متر برای دو سسیستم آبیاری در طول فصل رشد

بر اساس نتایج، RMSE برای نیترات شبیه‌سازی شده در همه تیمارهای آبیاری 1/06 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود که نشان دهنده توانایی خوب مدل در شبیه سازی توزیع نیتروژن خاک و کارایی قابل قبول مدل بود. هم‌چنین در تمام تیمارها، مدل در شبیه‌سازی روند تغییرات نیتروژن خاک بسیار خوب عمل کرد ($r2>0.99$). شاخص NRMSEنیز برای تمام داده‌ها کم‌تر از 20 درصد بود که می‌توان نتیجه گرفت مدل، کارایی خوبی در شبیه‌سازی نیترات خاک تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری داشته است.

بهترین شبیه‌سازی نیترات خاک مدل، مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای با شاخص RMSE برابر با 1/02 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. مقدار RMSE برای رطوبت خاک بین 0/24 و 0/26 و برای نیترات خاک بین 0/68 و 1/10 میلی‌گرم بر کیلوگرم است که در بازه قابل قبولی هستند (Yang et al., 2009 و Nangia et al., 2008). داده-های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نیترات خاک در اعماق مختلف خاک نیز مقایسه و شاخص‌های آماری برای اعماق مختلف به تفکیک محاسبه شدند (جدول6). نتایج نشان داد که در هر دو تیمار آبیاری مقادیر شبیه سازی شده نیترات کم‌تر از داده‌های اندازه‌گیری بود و با افزایش عمق به مقدار شبیه سازی شده نزدیکی بیش‌تری پیدا کرد. با توجه به شکل 5 و شاخص R^2 بیش‌تر از 90 درصد، روند تغییرات نیترات شبیه‌سازی شده به طور کامل مشابه روند تغییرات نیترات مشاهده شد. همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است داده‌های شبیه سازی شده در پایان فصل نزدیکی بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی دارند که می‌تواند ناشی از تجمع و افزایش غلظت نیترات باشد. به نظر می‌رسد مدل در غلظت‌های بالاتر نیترات، توانایی بیش‌تری را در شبیه‌سازی نیترات دارد. گوا و همکاران نیز طی مطالعات خود در استفاده از مدل Eu-Rotate-N به نتایج مشابهی در این زمینه دست یافتند (Guo et al., 2010).

جدول6- مقدار شاخص‌های r2، RMSE، NRMSE وd برای نیترات موجود در اعماق مختلف خاک در تیمارهای کود نیتروژن (mg/kg)

لایه خاک (cm)	آبیاری قطره ای				آبیاری سطحی			
	RMSE	NRMSE	d	r^2	RMSE	NRMSE	d	R^2
20-0	3/44	12/60	0/95	0/998	3/58	13/01	0/94	0/998
40-20	1/35	12/07	0/97	0/996	1/64	12/42	0/98	0/996
60-40	0/30	12/57	0/61	0/999	0/31	11/90	0/61	0/999
80-60	0/01	12/01	0/55	0/999	0/01	13/47	0/57	0/999
100-80	0/01	12/19	0/51	0/999	0/01	12/45	0/54	0/999



شکل5 - مقایسه نیترات شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای دو سیستم آبیاری در اعماق مختلف طی فصل رشد

شاخص RMSE در محدوده 0/01 تا 3/58 میلی‌گرم برکیلوگرم و قابل قبول بود. شاخص ویلموت نیز بین 0/51 تا 0/98 بود که مناسب است. بهترین شبیه‌سازی نیترات خاک مربوط به لایه 80 تا 100 سانتی متری با میانگین RMSE برابر با 0/01 میلی‌گرم برکیلوگرم و بدترین شبیه‌سازی مربوط به لایه 0 تا 20 سانتی‌متری با میانگین RMSE برابر با 3/51 میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. محدوده RMSE نیترات خاک نیز مطابق دستورالعمل محققین در محدوده قابل قبول قرار داشت (Nangia et al., 2008 و Guo et al., 2010). بنابراین بدون کالیبره کردن، مدل Eu-Rotate-N ، به خوبی قادر به شبیه سازی نیترات خاک بود. محققان زیادی مثل (Sun et al., 2012) از این مدل در اروپا بدون کالیبره کردن استفاده نمودند و نتایج مطلوبی در تخمین نیترات و رطوبت بدست آوردند.

عملکرد

داده‌های عملکرد شبیه سازی شده در پایان فصل با مقادیر اندازه-گیری شده آن مقایسه شد (جدول7). مقایسه عملکرد نهایی گیاه

نشان داد که مدل، عملکرد را در هر دو تیمار آبیاری، کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است. بهترین شبیه‌سازی عملکرد محصول مربوط به تیمار آبیاری سطحی با اختلاف 1/14 تن بر هکتار بود. محققین دیگری نیز مانند نتایج این تحقیق گزارش کردند که در آب و هوای مدیترانه‌ای بدون کالیبراسیون تابع عملکرد، مدل Eu-Rotate-N برآورد کم‌تری از عملکرد ارائه نموده است (Doltra et al., 2010 و Nendel et al., 2013). در ضمن ایشان پیشنهاد کردند برای بهبود شبیه‌سازی بهتر است مدل کالیبره شود. بیش‌ترین عملکرد محصول تحت سیستم آبیاری قطره‌ای بدست آمد این نتیجه دور از انتظار نیست زیرا می دانیم در سیستم آبیاری قطره‌ای، آب به مقدار کم و در فواصل منظم در نزدیکی منطقه ریشه گیاه به کار می‌رود که باعث افزایش دسترسی به مواد مغذی در نزدیکی منطقه ریشه می‌شود. در دسترس بودن مواد مغذی بیش‌تر، بخصوص در نزدیکی منطقه ریشه فتوسنتز را به اندام ذخیره‌سازی فلفل انتقال می‌دهد در نتیجه وزن فلفل افزایش می‌یابد(Sankar., 2008). افزایش در رشد رویشی گیاهان رشد کرده تحت سیستم آبیاری قطره‌ای ممکن است به علت در دسترس بودن رطوبت خاک و هم‌چنین درجه حرارت مطلوب باشد و رشد کم‌تر در گیاهان رشد کرده تحت سیستم آبیاری سطحی به دلیل رژیم نامطلوب رطوبت (تنش رطوبتی و یا رطوبت بیش از حد) در خاک و رقابت علف‌های هرز برای مواد مغذی باشد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Pattanaik et al., 2003 و Agrawal and Agrawal., 2005).

جدول7- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده داده-های عملکرد در انتهای فصل رشد

شاخص		آبیاری قطره ای	آبیاری سطحی
		N2	N2
عملکرد(ton/ha)	اندازه گیری شده	29/5	22/7
	شبیه سازی شده	21/86	21/56

نتیجه‌گیری

شاخص آماری RMSE برای رطوبت و نیترات خاک در کل تیمارها به ترتیب برابر با 0/025 و 1/06 میلی‌گرم بر کیلوگرم بدست آمد که در محدوده قابل قبول قرار دارند. در این بین بهترین برآورد رطوبت و نیترات خاک مربوط به تیمار آبیاری قطره‌ای با RMSE به ترتیب برابر با 0/021 و 1/02 میلی‌گرم بر کیلوگرم برای رطوبت و نیترات خاک بود. عملکرد نهایی گیاه نیز با اختلاف قابل قبولی شبیه سازی شد و نشان داد که مدل، عملکرد را ، کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده است. در بین تیمارها بهترین شبیه‌سازی عملکرد محصول مربوط به تیمار آبیاری سطحی با اختلاف 1/14 تن بر هکتار بود.

با توجه به این‌که شاخص‌های آماری بدست آمده در محدوده مناسبی قرار داشتند، می‌توان گفت مدل Eu-Rotate-N در کاشت محصول فلفل شیرین در منطقه اصفهان بدون انجام کالیبراسیون خاص، ازکارایی مناسبی برای شبیه سازی محتوای رطوبت و نیترات خاک و عملکرد برای هر دو سیستم آبیاری قطره ای و سطحی برخوردار است. می‌توان از این مدل برای شبیه‌سازی و بهینه سازی مدیریت آبیاری در اقلیم گرم و خشک اصفهان بهره گرفت.

منابع

خرمی،م، علیزاده،ا و انصاری،ح، 1392. شبیه‌سازی حرکت آب و توزیع مجدد رطوبت در خاک در آبیاری قطره‌ای توسط مدلHYDRUS 2D/3D، نشریه آب و خاک(علوم و صنایع کشاورزی). 27. 4: 692-702.

دانشور،م،ح، 1383. پرورش سبزی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، چاپ سوم، 461صفحه.

صیفی،س، 1389. بررسی اثر تراکم و هرس بوته بر خصوصیات کمی و کیفی دو رقم فلفل شیرین گلخانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد

کریمی،ز، 1388. بررسی اثر تیمارهای مختلف مالچ در تحمل به خشکی و دیگر صفات کمی و کیفی ارقام فلفل شیرین، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

ملکیان،ر و قیصری،م،1390. حساسیت سنجی مدلCERES-Maize نسبت به ظرفیت زراعی خاک برای شبیه سازی سرنوشت نیتروژن در نیمرخ خاک. حفاظت منابع آب و خاک،2: 1-13.

Agrawal,N and Agrawal,S. 2005. Effect of drip irrigation and mulches on the growth and yield of banana cv. Dwaraf Cavendish. Indian Journal of Horticulture. 62.3: 238-240.

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.

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., Sinoquet,H. 2003. An overview of the crop model STICS. European Journal of Agronomy, 18:309–332.

Burns,I.G. 1974. A model for predicting the redistribution of salts applied to fallow soils after

of Agricultural Engineering. ISAE. 40.3:29-34.

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., 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.

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: 41–54.

Sadeghi,A.M., Mcinnes,K.J., Kissel,D.E., Cabrera,M.L., Koelliker,J.K., 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: 67–92.

Sankar,V., Lawande,K.E and Tripathy,P.C. 2008. Effect of micro irrigation on growth, yield and water-use-efficiency of onion (Allium Cepa) under western Maharashtra conditions. Indian Journal of Agricultural Sciences. 78.7: 584-588.

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.

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.

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.

Soto,F., Gallardob,M., Giménezc,C., Pe˜na-Fleitasb,T., 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.

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.

Yang,D.J., Zhang,T.Q., Zhang,K.F., Greenwood,D.J., Hammond,J.P., White,P.J. 2009. An easily excess rainfall or evapotranspiration. European Journal of Soil Science. 25:165–178.

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.

Doltra,J., Mu˜noz,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.

Doltra,J., Mu˜noz,P., Antón,A. 2010. Soil and plant nitrogen dynamics of a tomato crop under different fertilization strategies. Acta Horticulturae. 852:207–214.

Guo,R., Nendel,C., Rahn,C., Jiang,C., 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.

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.

Keller J. and Bliesner R.D. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. Published by Van Nostrand Reinhold New York, p:643.

Liao,C.F.H and Bartholomew,M.V.1974. Relation between nitrate absorption and water transpiration by corn. Soil Science. Socitey. American. Procceding. 38: 472-479.

Nangia,V., Gowda,P.H., Mulla,D.J., 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.

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.

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.

NRCS. 2004. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In:National Engineering Handbook, Part 630. Hydrology, USDA.

Pattanaik,S.K., Sahu,N.N., Pradhan,P.C and Mohanty,M.K. 2003. Response of Banana to drip irrigation under different irrigation designs. Journal

crop-soil system: Validation and application. Journal of Hydrology. 370:177-190.

implemented agro-hydrological procedure with dynamic root simulation for water transfer in the

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 377-388

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 388-377

Simulation of Soil Nitrate and Water Distribution in two Different Surface and Drip Irrigation Systems using Eu-Rotate-N in Isfahan

F. Fazel[1*], N.Ganji Khorramdel[3], M. Gheysari[4]
Recived: Apr.06, 2016 Accepted: Sep.14, 2016

Abstract

Because of world population growth and limited water resources, irrigation should be moved in direction of producing more yield with less water. Therefore researches has concentrated on improvement of water and 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 in water deficiency crisis condition.This shows the necessity of evaluating of new user friendly models to identify the correct distribution of water and solute in the soil and choosing the best management. The Eu-Rotate-N model has been developed for simulation and optimization of nitrogen use in vegetables rotation and without the need to calibration.This study in 2015 was conducted to evaluate the efficiency of Eu-Rate-N model in simulation of moisture and nitrogen distribution and yield under drip and surface irrigation system and for pepper plant in a farm with silty clay loam soil in Isfahan. Four statistical index, RMSE, NRMSE, r2, d in order to model validation was calculated. These indexes for soil water content in both treatments and in the complete soil profile were 0.025, 13.26, 0.65, 0.996 respectively. Also NRMSE for soil nitrate content and plant yield in both treatment was less than 20 percent and r2 was more than 90 percent which pointed out to well efficiency and well process of simulation of the model. So the Eu-Rotate-N model efficiency for simulating soil water and nitrate content distribution and yield for pepper was confirmed and we can use Eu-Rotate-N model for the simulation and optimization of agricultural water management in the hot and dry climate conditions in heavy soil texture for pepper.

Keywords: Hot and dry climate, , Nitrate pollution, Soil moisture distribution, Sweet pepper

1-M.Sc. student, Water Engineering Department, College of Agriculture, Arak University

3-.Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Arak University

4 -Assistant Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology

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