نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 593-583

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 583-593

ارزیابی مدل DRAINMOD برای پیش‌بینی عمق سطح ایستابی و دبی زهکش در اراضی شالیزاری مجهز به زهکشی زیرزمینی

عبداله درزی نفت‌چالی[1*]، سید مجید میرلطیفی[2]، علی شاهنظری[3]، فرید اجلالی[4] و محمد حسین مهدیان[5]

تاریخ دریافت: 1394/3/20 تاریخ پذیرش: 1394/7/29

چکیده

در این تحقیق، کارایی مدل DRAINMOD برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و تغییرات دبی زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری ارزیابی شد. در طول مدت برقراری وضعیت زهکشی آزاد از یک فصل کشت کلزا (هفت آذر 1390 تا 14 فروردین 1391)، مقادیر عمق سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها برای سه سیستم زهکشی زیرزمینی شامل سیستم زهکشی با عمق 0/9 متر با فاصله زهکش 30 متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق 0/65 متر با فاصله زهکش 30 متر ($D_{0.65}L_{30}$) و عمق 0/65 با فاصله زهکش 15 متر ($D_{0.65}L_{15}$) اندازه‌گیری شد. عملکرد مدل در فرایند واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از آماره‌های راندمان مدل (EF)، درصد خطا (PE)، ضریب تعیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف (AD) ارزیابی شد. متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی شبیه‌سازی شده در تیمار واسنجی ($D_{0.65}L_{15}$)، برابر متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده آن (32/4 سانتی‌متر) در این تیمار در دوره مطالعه بود. در مرحله اعتبارسنجی، مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ به‌ترتیب 24/1 و 14/1 سانتی‌متر و در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ به‌ترتیب 2/1 و 19/7 سانتی‌متر بود. مقادیر EF، PE، R^2، SE و AD برای دبی‌های پیش‌بینی شده به‌ترتیب از 5/1- تا 1/3-، 9/1 تا 21/6، 0/2 تا 0/35، 0/08 تا 0/11 و 0/07 تا 0/1 متغیر بود. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده با نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که می‌توان از مدل DRAINMOD به‌عنوان یک راهنمای کلی برای پیش‌بینی روند تغییرات عمق سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها در منطقه مطالعه استفاده کرد.

واژه های کلیدی: زهکشی کنترل شده، زهکشی معمولی، کلزا، مدیریت آب

مقدمه

علی‌رغم اختصاص بخش وسیعی از اراضی حاصلخیز شمال کشور به کشت برنج و اهمیت این محصول به‌عنوان دومین منبع غذایی مردم کشور پس از گندم، عدم سرمایه‌گذاری کافی در گذشته و فراهم نکردن زیرساخت‌های مناسب سبب شد که نه تنها بهره‌وری این اراضی افزایش نیابد، بلکه به‌دلایل مختلف بخشی از شالیزارها از حیز انتفاع ساقط شده و دچار تغییر کاربری شوند. با این وجود، به‌منظور بهبود بهره‌وری این اراضی و فراهم نمودن شرایط مناسب برای کشت زمستانه و در سطح کلان، افزایش سطح رفاه و امنیت غذایی، طی دهه‌های اخیر طرح‌های تجهیز و نوسازی در بخش وسیعی از شالیزارهای شمال کشور اجرا شده است. با توجه به ناکافی بودن این طرح‌ها برای برقراری شرایط مناسب برای کشت زمستانه در اراضی شالیزاری، نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی به‌عنوان مهم‌ترین راهکار مدیریت آب برای برقراری شرایط تنوع کاربری در این اراضی مورد توجه قرار گرفت.

لزوم تهیه یک راهنمای جامع برای طراحی سیستم‌های مدیریت آب مناسب برای خاک‌ها و شرایط اقلیمی مختلف، بهره‌گیری هم‌زمان از تحقیق‌های مزرعه‌ای و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید (Wang et al., 2006). از سوی دیگر، به‌دلیل پیچیدگی‌های سیستم‌های مدیریت آب، مدل‌های شبیه‌سازی برای تشریح عملکرد این سیستم‌ها ضروری می‌باشند. واسنجی این مدل‌ها با اطلاعات محلی و مزرعه‌ای، می‌تواند آن‌ها را به ابزار مناسبی برای تعیین پارامترهای مهم سیستم مدیریت آب تبدیل نماید

1 و 3- به‌ترتیب استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
2- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
4- دانشیار گروه کشاورزی- دانشگاه پیام نور
5- استاد سازمان تحقیق، آموزش و ترویج کشاورزی
(*- نویسنده مسئول: (Email: abdullahdarzi@yahoo.com

(Desmond., 2003). یکی از مهم‌ترین مدل‌هایی که برای شبیه‌سازی حرکت و ذخیره آب در خاک به‌کار می‌رود مدل DRAINMOD است که برای مدیریت آب خاک در شرایط مرطوب و اراضی با سطح ایستابی کم عمق ارایه شد (El-Sadek et al., 2001). این مدل به‌دلیل اینکه در شبیه‌سازی‌های طولانی مدت وقت کمی از کامپیوتر می‌گیرد و نتایج شبیه‌سازی‌های آن در نواحی مختلف در مقایسه با سایر مدل‌های موجود در این زمینه بیش‌تر به واقعیت نزدیک است، نسبت به مدل‌های دیگر برتری چشم‌گیری دارد.

مدل DRAINMOD بر مبنای بیلان آب در پروفیل خاک، سطح خاک و در برخی موارد در سیستم زهکشی است (Skaggs et al., 2012) که با استفاده از آن امکان شبیه‌سازی طرح موردنظر با لحاظ یک دوره اقلیمی طولانی مدت، برای بررسی اثرات تغییرپذیری سالانه و فصلی وجود دارد. از دیگر ویژگی‌های این مدل، ارزیابی اثرات طراحی سیستم‌های مدیریت آب بر عملکرد محصول می‌باشد. مدل DRAINMOD عملکرد یک سیستم زهکشی را برای یک دوره طولانی مدت شبیه‌سازی نموده و میزان عمق سطح ایستابی، زهکشی، رواناب سطحی، تبخیر-تعرق، تلفات آب، نفوذ، تعداد روزهای مرطوب و خشک و غیره را پیش‌بینی می‌کند (Skaggs, 1980).

مدل DRAINMOD برای گستره وسیعی از خاک‌ها، گیاهان و شرایط اقلیمی، مورد آزمون و ارزیابی مزرعه‌ای قرار گرفته است (Mostaghimi et al., 1985; Shukla et al., 1994; Madramootoo et al., 1995; Mostaghimi and McMahon, 1999, Borin et al., 2000; He et al., 2002; Youssef et al., 2003; Khalil et al., 2004). نتایج این تحقیقات غالباً نشان داد که این مدل کارایی مناسبی برای پیش‌بینی نوسانات سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها دارد و به‌طور قابل اعتمادی می‌تواند هیدرولوژی خاک‌های زهکشی شده را پیش‌بینی کند. در تحقیقی، از مدل DRAINMOD برای طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی استفاده شد و نتیجه گرفته شد که براساس نتایج شبیه‌سازی‌های مدل می‌توان مناسبت‌ترین عمق و فاصله زهکش‌ها را با ملاحظه حداکثر عملکرد محصول و حداقل تلفات نیترات انتخاب کرد (Singh et al., 2006). نتایج تحقیقات مشابه نیز نشان‌دهنده قابلیت مدل DRAINMOD برای شبیه‌سازی اثرات گزینه‌های مدیریت زهکشی در شرایط مختلف (Yang, 2008; Ale et al., 2009) و ارزیابی کارایی فواصل مختلف زهکش‌ها (Wang et al., 2006) می‌باشد.

بررسی منابع نشان می‌دهد که مدل DRAINMOD به طرق مختلفی برای شالیزارهای شمال کشور مورد استفاده قرار گرفت. در تحقیقی، کارایی زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی با استفاده از آن بررسی شد که نتایج نشان‌دهنده تناسب زهکشی معمولی- کنترل شده برای اراضی مورد مطالعه بود (Darzi et al., 2007). حسن‌پور و همکاران (1389) و زارع‌ابیانه و همکاران (1390)، به‌ترتیب مدل‌های DRAINMOD و DRAINMOD-N را ابزار مناسبی برای پیش-بینی سطح ایستابی و تلفات نیترات در شالیزارهای مجهز به زهکش سطحی گزارش کردند. علی‌بخشی و همکاران (1392) دقت شبیه-سازی تلفات زهکشی نیترات به‌وسیله مدل DRIANMOD-N را ضعیف گزارش کردند. با توجه به نتایج متفاوت تحقیقات مذکور، تصمیم‌گیری درباره استفاده یا عدم استفاده از این مدل برای اراضی شالیزاری کشور، نیازمند تحقیقات بیش‌تری می‌باشد. لذا در این تحقیق، کارایی مدل DRAINMOD برای شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی در شالیزارهای دارای سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد نیاز، در طول یک فصل کشت کلزا (آذر 1390 تا اردیبهشت 1391)، از مزرعه‌ای به مساحت حدود 4/5 هکتار از اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری واقع در کیلومتر 9 جاده ساری-دریا تهیه شد. متوسط بارندگی و دمای هوای منطقه به‌ترتیب 616 میلی‌متر و17/3 درجه سانتی‌گراد است. بافت خاک این اراضی تا عمق 300 سانتی‌متری، عموما سیلتی رسی و رسی است.

در اردیبهشت 1390، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق 0/9 متر با فاصله زهکش 30 متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق 0/65 متر با فاصله زهکش 15 متر ($D_{0.65}L_{15}$) و عمق 0/65 متر با فاصله زهکش 30 متر ($D_{0.65}L_{30}$) در مزرعه مورد مطالعه نصب شد. مشخصات این سیستم‌های زهکشی به تفصیل در درزی و همکاران (1391 و 1392) بیان شد.

از زمان کشت کلزا (هفت آذر 1391) تا 14 فروردین 1391، برای ایجاد وضعیت تهویه مناسب، شرایط زهکشی آزاد برقرار بود. در این مدت، مقادیر عمق سطح ایستابی در چاهک‌های مشاهده‌ای واقع در نقطه میانی فاصله دو زهکش در سیستم‌های مختلف زهکشی، اندازه-گیری شد. هم‌چنین، در زمان‌های زهکشی، دبی زهکش‌ها اندازه-گیری شد.

تهیه داده‌های مدل

در شبیه‌سازی‌های مدل DRAINMOD 6.1 از داده‌های مختلفی استفاده شد که مهم‌ترین آن‌ها داده‌های هواشناسی، خاکشناسی، زهکشی و گیاهی می‌باشند.

داده‌های هواشناسی مورد استفاده در مدل شامل مقادیر باران ساعتی یا روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه (یا تبخیر- تعرق پتانسیل)، عرض جغرافیایی، نمایه حرارتی و فاکتورهای PET می-باشند. مقادیر بارندگی و دمای هوا برای کل دوره شبیه‌سازی مورد نیاز

می‌باشند. از آنجایی‌که مدل DRAINMOD مقادیر باران ساعتی را مورد استفاده قرار می‌دهد، داده‌های بارندگی روزانه موجود، با استفاده از برنامه ایجاد فایل داده‌های هواشناسی مدل به باران ساعتی تبدیل شد. در مدل برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل از رابطه تورنت وایت استفاده می‌شود. پارامترهای مورد نیاز این رابطه، دمای متوسط ماهانه (که به‌صورت حداکثر و حداقل دمای روزانه به مدل داده می‌شود)، عرض جغرافیایی برای محاسبه ضرایب اصلاحی معادله تورنت وایت و نمایه حرارتی می‌باشند. برای محاسبه نمایه حرارتی سالانه (I)، مقدار نمایه حرارتی ماهانه (I_m) به‌صورت زیر محاسبه و مجموع آن‌ها تعیین می‌شود. اساس این روش، داشتن دمای متوسط ماهانه می‌باشد (علیزاده، 1380).

$$I = \sum i_m \quad (1)$$

$$i_m = (\frac{T_m}{5})^{1.51} \quad (2)$$

که در آن‌ها؛ T_m متوسط دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد در ماه موردنظر می‌باشد. مقدار نمایه حرارتی برای تمام 12 ماه سال‌های مختلف تعیین و میانگین سالانه آن‌ها برای دوره آماری مورد نظر برابر 83/4 بدست آمد.

از مهم‌ترین خصوصیات خاک مورد استفاده درمدل، منحنی مشخصه رطوبتی و ضرایب آبگذری لایه‌های مختلف خاک می‌باشند. منحنی‌های مشخصه رطوبتی نمونه‌های خاک تهیه شده از تیمارهای مختلف، در آزمایشگاه تعیین شد. نمونه‌ای از این منحنی‌ها برای تیمار $D_{0.9}L_{30}$ در شکل 1 ارایه شد.

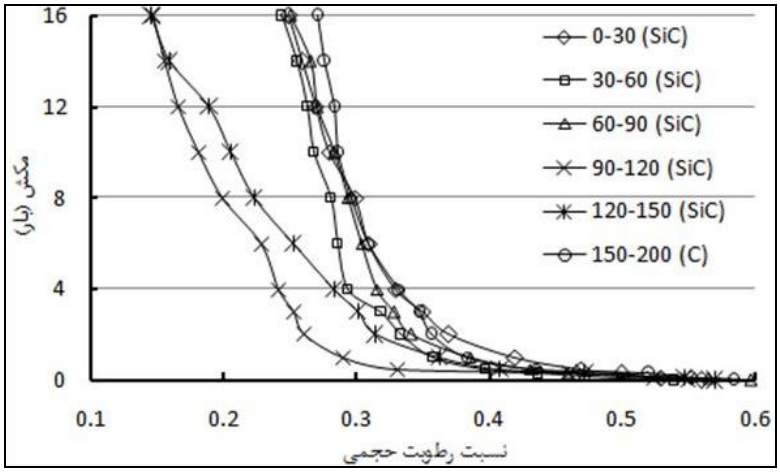
هدایت هیدرولیکی خاک با استفاده از روش چاهک مستقیم (روش ارنست) برای خاک‌های لایه‌ای، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها بعد از بارندگی و در شرایط اشباع خاک انجام شد. از روابط زیر برای محاسبه هدایت هیدرولیکی استفاده شد (علیزاده، 1382):

$$K = \frac{4000\, r^2}{(H + 20r) \times (2 - \frac{Y}{H})} \times (\frac{\Delta Y}{\Delta T}) \quad (3)$$

$$K_2 = \frac{K_{12}(H_1 + H_2) - K_1 H_1}{H_2} \quad (4)$$

که در آن‌ها؛ K هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، r شعاع چاهک (سانتی‌متر)، H عمق سطح ایستابی متعادل (سانتی‌متر)، ΔT بازه زمانی (ثانیه)، Δy تغییرات سطح ایستابی در بازه زمانی ΔT، y میانگین سطح ایستابی اولیه و آخرین سطح ایستابی قرائت شده (سانتی‌متر)، K_1 و K_2 هدایت هیدرولیکی لایه‌های یک و دو برای یک خاک مطبق، H_1 و H_2 عمق لایه‌های یک و دو و K_{12} هدایت هیدرولیکی لایه خاک دارای عمق (H_1+H_2) می‌باشد. در جدول 1 بافت خاک لایه‌های مختلف و ضریب آبگذری هر لایه برای تیمار $D_{0.9}L_{30}$ ارایه شد.

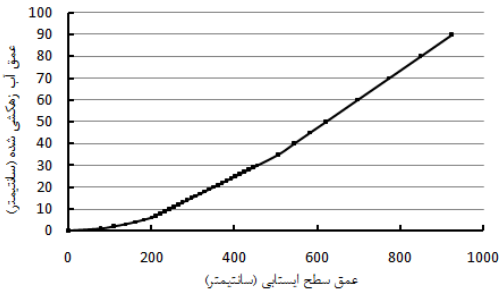
در مطالعات زهکشی، معمولاً به لایه یا افقی از خاک که ضریب آبگذری آن 0/1 تا 0/2 میانگین وزنی ضرایب آبگذری لایه‌های بالایی باشد، لایه نفوذناپذیر اطلاق می‌شود (بای بوردی، 1378). براین اساس، لایه 200 تا 300 سانتی‌متری را می‌توان به‌عنوان لایه نفوذناپذیر برای لایه‌های فوقانی در نظر گرفت. عمق این لایه در شبیه‌سازی‌های مدل DRAINMOD، برابر دو متر لحاظ شد. رابطه حجم زهکشی شده و عمق سطح ایستابی با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی لایه‌های مختلف خاک به‌وسیله مدل DRAINMOD برآورد شد (شکل 2).



شکل 1- منحنی های مشخصه رطوبتی خاک لایه‌های مختلف خاک تیمار $D_{0.9}L_{30}$

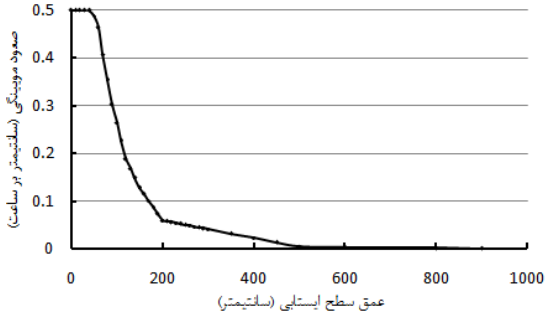
جدول 1- بافت خاک لایه‌های مختلف تیمار $D_{0.9}L_{30}$ و ضریب آبگذری هر لایه

شماره لایه	عمق لایه (cm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	بافت خاک	ضریب آبگذری (cm/day)
1	0-30	48/5	44/5	7	Silty Clay	25/6
2	30-60	55/5	42	2/5	Silty Clay	8/1
3	60-90	46/5	45/5	8	Silty Clay	20/7
4	90-120	42/5	51/5	6	Silty Clay	16/3
5	120-150	52	42	6	Silty Clay	10/9
6	150-200	58/5	35/5	6	Clay	8/3
7	200-300	61	33/5	5/5	Clay	2/5



شکل 2- رابطه حجم آب زهکشی شده با عمق سطح ایستابی برای تیمار $D_{0.9}L_{30}$

صعود مویینگی میزان جریان رو به بالای آب از سطح ایستابی می‌باشد. این مقدار تا زمانی که آب کافی در منطقه توسعه ریشه گیاه برای تأمین تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) وجود ندارد، حائز اهمیت است. روابط صعود مویینگی با عمق سطح ایستابی، با استفاده از منحنی مشخصه رطوبتی خاک به‌وسیله مدل DRAINMOD برآورد شد (شکل 3).



شکل 3- رابطه صعود مویینگی با عمق سطح ایستابی برای تیمار $D_{0.9}L_{30}$

عمق و فاصله زهکش‌ها، ضریب زهکشی، عمق لایه نفوذناپذیر، عمق سازه کنترل و میزان ذخیره سطحی، داده‌های مربوط به زهکشی می‌باشند که دو مورد آخر، تأثیر قابل توجهی بر نتایج شبیه‌سازی دارند. عمق سازه کنترل در وضعیت زهکشی معمولی همواره برابر عمق زهکش در نظر گرفته شد که نشان‌دهنده عدم سازه کنترل می‌باشد. ضریب زهکشی زیرزمینی منطقه براساس بارندگی‌های 5 روزه دوره آماری موجود، برابر 3/4 میلی‌متر در روز تعیین شد.

یکی از مهم‌ترین داده‌های گیاهی مورد نیاز مدل، عمق مؤثر ریشه می‌باشد. عمق مؤثر ریشه به صورت تابعی از زمان در مدل وارد می‌شود. در زمان‌های مختلف از فصل رشد کلزا، طول ریشه سه بوته در هر تیمار اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها به‌عنوان عمق ریشه گیاه در زمان مورد نظر، لحاظ شد. عمق مؤثر ریشه که در مدل DRAINMOD از آن استفاده می‌شود، باید کم‌تر از حداکثر عمق ریشه (تقریباً 50 تا 60 درصد آن) باشد (Skaggs, 1980)، زیرا 70 درصد آب مورد نیاز گیاه از نیمه بالایی ناحیه ریشه (عمق مؤثر ریشه)، جذب می‌شود.

جدول 2-مقادیر عمق مؤثر ریشه گیاه کلزا در زمان های مختلف تقویم کشت

روز بعد از کشت	عمق ریشه (cm)
1	3
46	4
62	5
87	10
103	16
116	20
132	24
147	27
162	10
163	3

در این تحقیق، از 60 درصد حداکثر طول ریشه در زمان‌های

مختلف به‌عنوان حداکثر طول ریشه استفاده شد و مقادیر حاصله در جدول 2 ارایه شد. عمق ریشه در دوره‌های آیش باید حدود 4-3 سانتی‌متر در نظر گرفته شود تا تبخیر-تعرق در شرایط عدم حضور گیاه صورت پذیرد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

عملکرد مدل در فرایند واسنجی و اعتبارسنجی با استفاده از آماره‌های راندمان مدل (EF) (Nash and Sutcliffe, 1970)، درصد خطا (PE)، ضریب تعیین (R^2)، خطای معیار (SE) یا جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (Wang et al., 2006) و میانگین انحراف (AD) یا میانگین خطای مطلق (Legates and McCabe, 1999) ارزیابی شد. این آماره‌ها به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$EF = \frac{\sum_{1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 - \sum_{1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (5)$$

$$PE = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i - \sum_{i=1}^{n} O_i}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \times 100 \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P}))^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 \sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2} \quad (7)$$

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2} \quad (8)$$

$$AD = \frac{\sum_{i=1}^{n}|(O_i - P_i)|}{n} \quad (9)$$

که در آن‌ها؛ O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی شده در زمان t، n تعداد مشاهده‌ها، $\overline{O}$ متوسط مقادیر مشاهده‌ای و $\overline{P}$ متوسط مقادیر پیش‌بینی شده در طول دوره زمانی است. بهترین مقدار EF و R^2 برابر یک و برای PE، SE و AD برابر صفر است.

نتایج و بحث

با توجه به وجود سه تیمار زهکشی معمولی، ابتدا مدل براساس مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در تیمار $D_{0.65}L_{15}$ به‌گونه‌ای واسنجی شد که بهترین مقادیر آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل به‌دست آید و سپس، قابلیت مدل واسنجی شده برای شبیه‌سازی عمق سطح ایستابی در سایر تیمارها ارزیابی شد. تعیین دقیق برخی از پارامترهای مدل نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، ذخیره میکرو (S_1) (wang et al., 2006) و حداکثر ذخیره سطحی (S_m) (Poole, 2006) مشکل می‌باشد. در نتیجه برای واسنجی مدل، با تغییر این مقادیر، شبیه‌سازی‌های مختلفی انجام شد. در نتیجه کالیبراسیون، مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های مختلف خاک به‌ترتیب 1/75، 0/45، 1/05، 0/46 و 0/1 سانتی‌متر بر ساعت انتخاب شد. هم‌چنین، با توجه به وضعیت زهکشی سطحی در اراضی مورد مطالعه و براساس مقادیر ارایه شده در گزارش مرجع مدل (Skaggs, 1980)، مقادیر مختلفی برای حداکثر ذخیره سطحی و ذخیره میکرو در فرایند کالیبراسیون استفاده شد که در نهایت مقادیر 0/7 و 0/5 سانتی‌متر به‌عنوان مناسب‌ترین مقدار برای دو پارامتر مذکور انتخاب شدند.

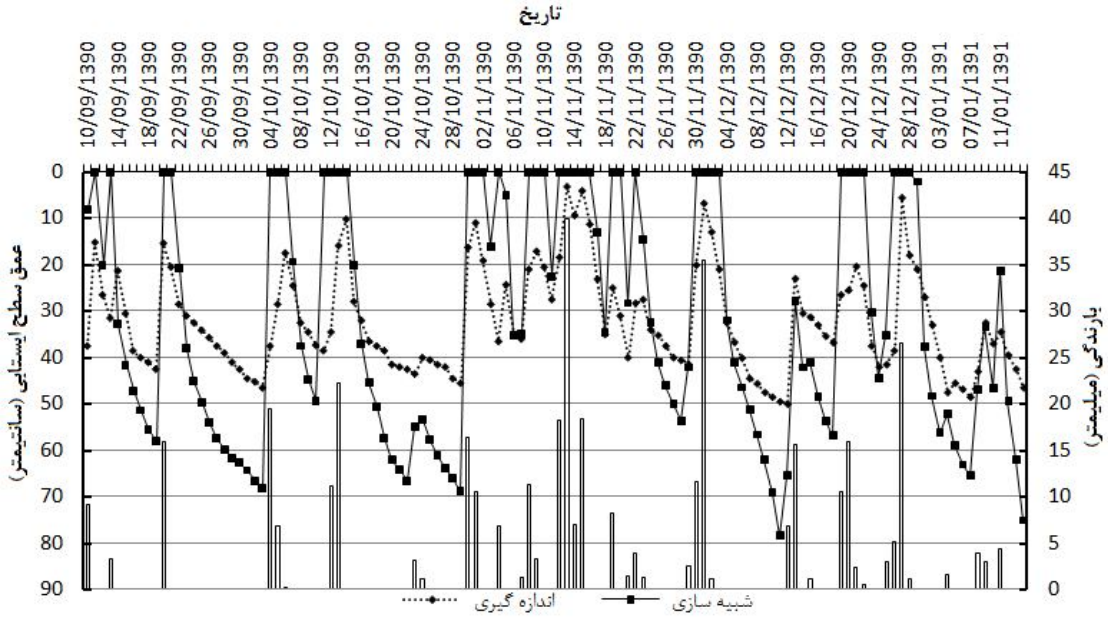
شبیه‌سازی تغییرات عمق سطح ایستابی

شکل 4 منحنی‌های عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده را برای تیمار $D_{0.65}L_{15}$ نشان می‌دهد. در نتیجه واسنجی، مدل روند تغییرات عمق سطح ایستابی پس از هر بارندگی را به‌خوبی شبیه‌سازی نمود. با این وجود، مقادیر حداقل و حداکثر عمق سطح ایستابی را عموما به‌ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از مقادیر مشاهده‌ای شبیه‌سازی نمود. علاوه براین، در بیش‌تر مواقع پس از بارندگی، مدل عمق سطح ایستابی را صفر پیش‌بینی نمود که در مزرعه مشاهده نشد. هم‌چنین، سرعت نزول یا صعود سطح ایستابی در مدل، بیش‌تر از روند واقعی آن پیش‌بینی شد.

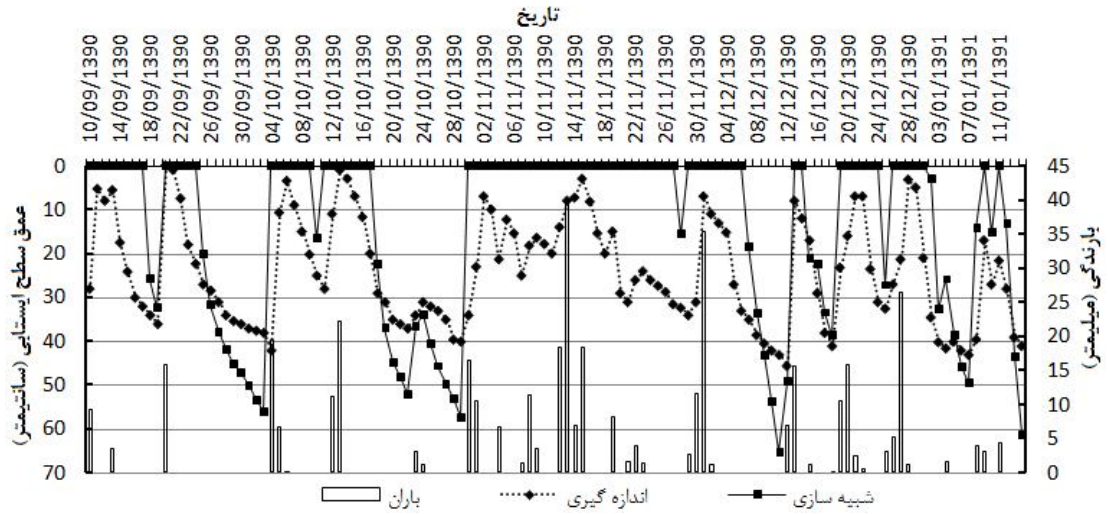
با استفاده از مدل واسنجی شده، عمق سطح ایستابی در تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.9}L_{30}$ شبیه‌سازی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها برای تیمارهای $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.9}L_{30}$ به‌ترتیب در شکل‌های 5 و 6 ارایه شد. در هر دو تیمار، مدل روند تغییرات عمق سطح ایستابی را به درستی پیش‌بینی نمود. عمق سطح ایستابی در اکثر روزهای بارانی و چند روز پس از آن، برابر صفر پیش‌بینی شد. هم‌چنین، مدل تعداد روزهای با عمق سطح ایستابی صفر در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ را بیش‌تر از تعداد آن در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ پیش‌بینی نمود. در روزهای مختلفی در طول دوره مطالعه، سطح ایستابی در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بالاتر از سطح زمین قرار داشت که مدل قادر به پیش‌بینی آن نبود.

در جدول 3 متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده و آماره‌های ارزیابی مدل ارایه شد. این مقادیر در تیمار واسنجی ($D_{0.65}L_{15}$) برابر 32/4 سانتی‌متر بودند. هم‌چنین، درصد خطای مدل، راندمان مدل، ضریب تعیین، میانگین مربعات خطا و متوسط انحراف (متوسط خطای مطلق) تیمار واسنجی به‌ترتیب 0/0005-، 1/5-، 68، 17/3 سانتی‌متر و 15/1 سانتی‌متر بود. بررسی

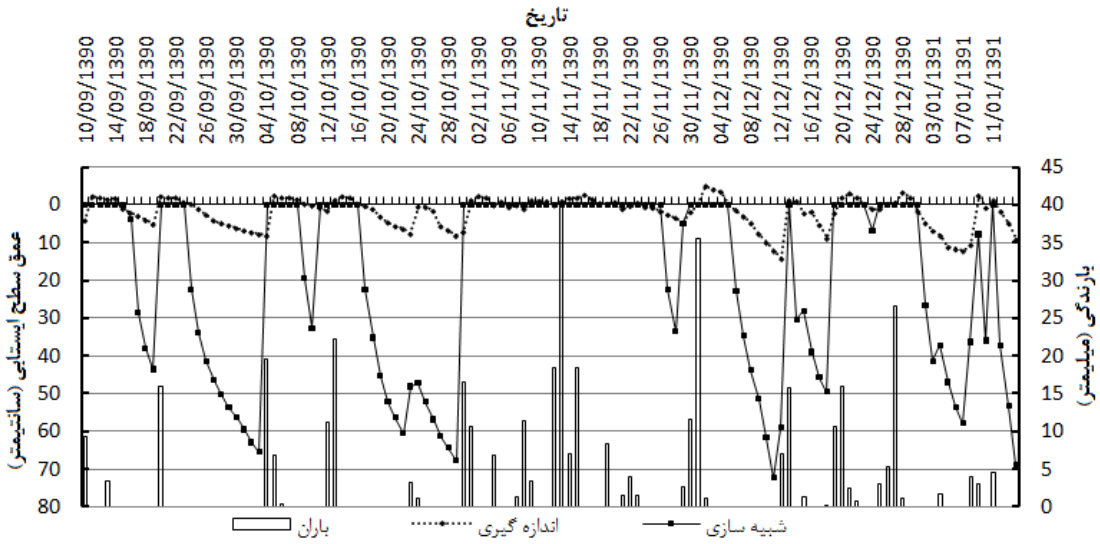
کاربرد مدل واسنجی شده برای دو تیمار دیگر، عدم کارآیی مدل برای پیش‌بینی دقیق سطح ایستابی در شرایط تحقیق را نشان می‌دهد. عمق سطح ایستابی شبیه‌سازی شده برای تیمار $D_{0.65}L_{30}$ (14/1 سانتی‌متر) کم‌تر از مقدار متناظر برای تیمار $D_{0.9}L_{30}$ (19/7 سانتی-متر) بود. متوسط عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در تیمار $D_{0.65}L_{30}$ برابر 24/1 سانتی‌متر بود که به مقدار قابل توجهی بیش‌تر از مقدار آن در تیمار $D_{0.9}L_{30}$ (2/1 سانتی‌متر) است. مقایسه آماره‌های ارزیابی مدل در تیمارهای مورد استفاده برای اعتبارسنجی، نشان‌دهنده کارآیی نامناسب مدل در هر دو تیمار می‌باشد.



شکل 4- مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{15}$



شکل 5- مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{30}$



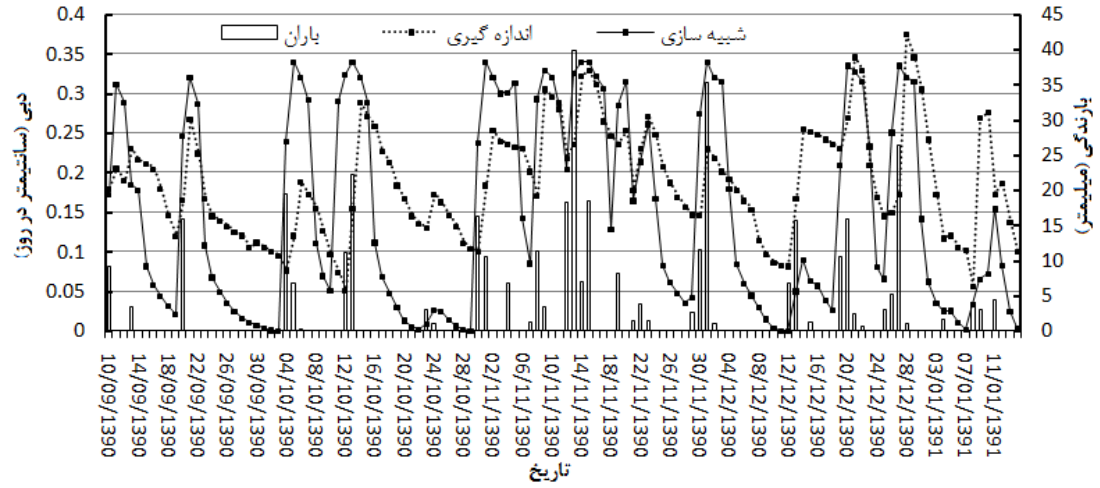
شکل 6- مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.9}L_{30}$

جدول 3-متوسط مقادیر عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده (سانتی‌متر) و آماره‌های ارزیابی مدل

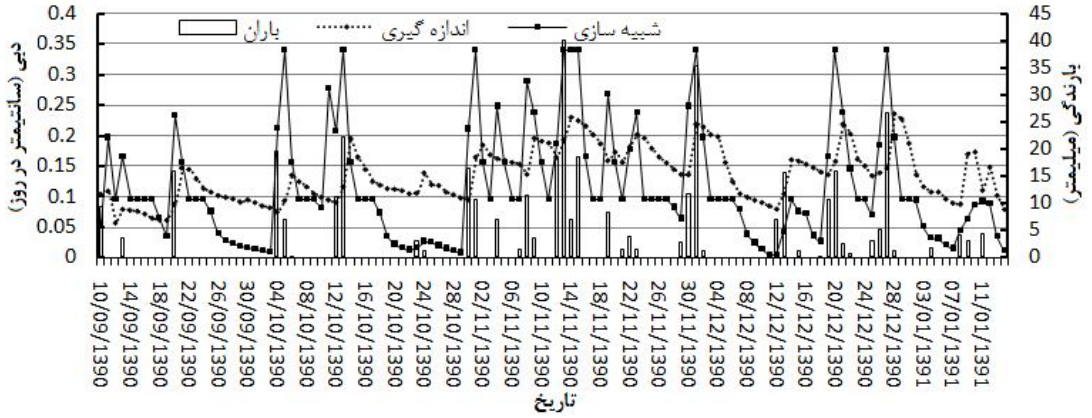
AD	SE	R^2	EF	PE	شبیه‌سازی	اندازه‌گیری	تیمار
15/1	17/3	0/68	-1/5	-0/0005	32/4	32/4	$D_{0.65}L_{15}$
14/6	17/3	0/52	-1	-41/8	14/1	24/1	$D_{0.65}L_{30}$
18/2	27/5	0/61	-46/7	-842	19/7	2/1	$D_{0.9}L_{30}$

شبیه‌سازی دبی زهکش‌ها

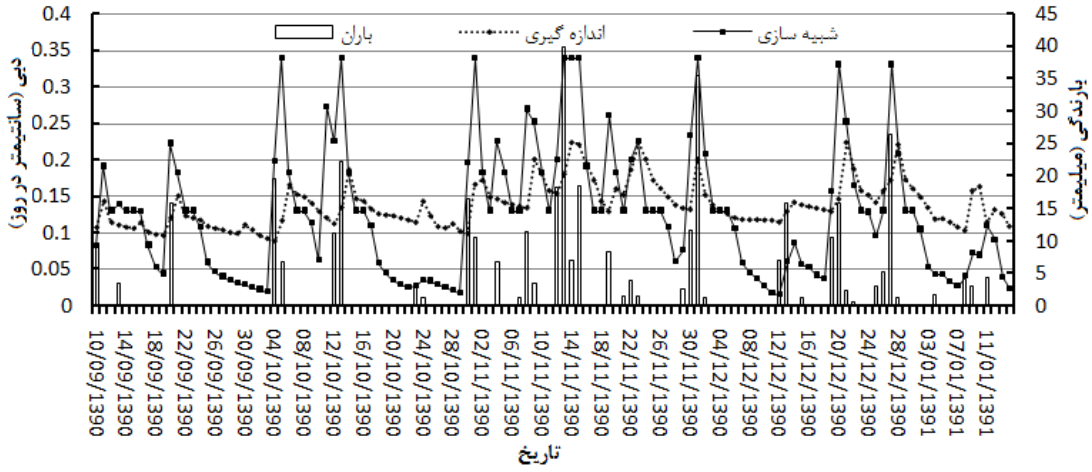
براساس واسنجی انجام شده، تغییرات دبی در سیستم‌های مختلف زهکشی شبیه‌سازی شد. شکل‌های 7 تا 9 به‌ترتیب منحنی‌های تغییرات دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده برای تیمارهای $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.9}L_{30}$ را نشان می‌دهند. همانند وضعیت مذکور در مورد سطح ایستابی، مدل روند تغییرات دبی را شبیه‌سازی نمود، ولی غالباً مقادیر دبی را بیش‌تر یا کم‌تر از مقادیر اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کرد. هم‌چنین، در اکثر رخدادهای بارندگی متوالی، مدل نقطه حداکثر دبی را زودتر از زمان واقعی آن پیش‌بینی نمود که این امر به‌دلیل عکس‌العمل دیرتر زهکش‌ها به بارندگی با توجه به بافت سنگین خاک مزرعه مورد مطالعه است.



شکل 7-مقادیر دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{15}$



شکل 8-مقادیر دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.65}L_{30}$



شکل 9-مقادیر دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در تیمار $D_{0.9}L_{30}$

جدول 4-متوسط مقادیر دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده (سانتی‌متر در روز) و آماره‌های ارزیابی مدل

تیمار	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی	PE	EF	R^2	SE	AD
$D_{0.65}L_{15}$	0/19	0/15	21/6	-1/3	0/31	0/11	0/1
$D_{0.65}L_{30}$	0/13	0/11	15/4	-2/76	0/2	0/08	0/07
$D_{0.9}L_{30}$	0/139	0/126	9/1	-5/1	0/35	0/08	0/06

در جدول 4 متوسط مقادیر دبی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده و آماره‌های ارزیابی مربوطه، ارایه شد. در کلیه تیمارها، متوسط دبی شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل، کم‌تر از مقدار واقعی آن بود. مقادیر آماره‌های ارزیابی مدل نشان می‌دهند که مدل از دقت کافی برای شبیه‌سازی دقیق دبی زهکش‌ها در منطقه مورد مطالعه برخوردار نبود. مقادیر راندمان مدل، درصد خطا، ضریب تعیین، انحراف معیار و انحراف مدل برای مقادیر پیش‌بینی شده دبی زهکش‌ها به‌ترتیب از 5/1- تا 1/3-، 9/1 تا 21/6، 0/2 تا 0/35، 0/08 تا 0/11 و 0/07 تا 0/1 متغیر بود. مقادیر پایین ضریب تبیین نشان‌دهنده همبستگی کم بین مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده می‌باشند.

عدم ارایه نتایج دقیق به‌وسیله مدل در تحقیق حاضر و تفاوت نتایج شبیه‌سازی‌ها با نتایج حسن‌پور و همکاران (1389)، احتمالاً به‌دلیل نصب زهکش‌های زیرزمینی در زیر سخت لایه و تفاوت جریان آب به سمت زهکش‌ها در این دو تحقیق می‌باشد. علاوه براین، جدیدالاحداث بودن سیستم زهکشی زیرزمینی در مزرعه مورد مطالعه، کارایی متفاوت سیستم‌های زهکشی در تخلیه زه‌آب و کنترل سطح ایستابی در مقایسه با برخی تحقیقات مشابه انجام شده در اراضی غیر شالیزاری، وضعیت متفاوت جریان آب به سمت زهکش‌ها در اراضی

شالیزاری به‌دلیل وجود سخت لایه، وقوع بارندگی‌های زیاد و مدت زمان کم داده‌برداری برای واسنجی مدل، برخی از دلایل پیش‌بینی‌های غیر دقیق مدل می‌باشند. با این وجود، مدل روند تغییرات دبی و عمق سطح ایستابی را تا حد مطلوبی شبیه‌سازی نمود. این مهم نشان می‌دهد که می‌توان از مدل DRAINMOD در مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها برای دستیابی به الگوهای کلی استفاده نمود. استفاده از این مدل در جزییات و برنامه‌ریزی‌های پایه‌ای، منوط به کیفیت نتایج واسنجی مدل بر اساس داده‌های واقعی طولانی مدت می‌باشد. نتایج استفاده از مدل DRAINMOD برای پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در اراضی فاریاب دره اردن نیز نشان داد که این مدل یا مدل‌های جریان عمودی مشابه آن، برای پیش‌بینی ارتفاع سطح ایستابی در مزارع فاریاب دارای سیستم زهکشی زیرزمینی دره اردن مناسب نمی‌باشند (Sinai and Jain, 2006).

برای بررسی قابلیت استفاده از سیستم زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در مزرعه مورد مطالعه، شبیه‌سازی‌های مختلفی براساس اعماق مختلف سازه کنترل، با استفاده از پارامترهای واسنجی شده مدل، انجام شد. به‌طور کلی، شبیه‌سازی‌های مدل نشان‌دهنده عملکرد نامناسب زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی برای فصل کشت کلزا بود. متوسط عمق سطح ایستابی شبیه‌سازی شده برای وضعیت زهکشی کنترل شده با عمق سازه کنترل 30 سانتی‌متر برای تیمارهای $D_{0.65}L_{15}$، $D_{0.65}L_{30}$ و $D_{0.9}L_{30}$ به‌ترتیب 17/2، 6/1 و 8/1 سانتی‌متر بود. این مقادیر برای وضعیت آبیاری زیرزمینی با همان عمق سازه کنترل و بدون پمپاژ آب به‌داخل زهکش‌ها، به‌ترتیب 14/9، 5/7 و 6 سانتی‌متر بود.

نتیجه‌گیری

در نتیجه واسنجی مدل DRAINMOD با تغییر مقادیر پارامترهای دارای عدم قطعیت مانند هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های مختلف، ذخیره سطحی ماکرو و میکرو برای تیمار $D_{0.65}L_{15}$، مدل روند تغییرات عمق سطح ایستابی و دبی را تا حد مطلوبی شبیه‌سازی نمود ولی از کارآیی لازم برای پیش‌بینی دقیق آن‌ها در مزرعه مورد مطالعه برخوردار نبود. مقایسه آماره‌های ارزیابی مدل در تیمارهای مورد استفاده برای اعتبارسنجی، نشان‌دهنده کارایی نامناسب مدل در هر دو تیمار بود. براساس نتایج شبیه‌سازی، می‌توان از مدل DRAINMOD در مطالعات و برنامه‌ریزی‌ها، برای دستیابی به الگوهای کلی برای اراضی مورد مطالعه استفاده نمود.

سپاسگزاری

مولفان از دانشگاه تربیت مدرس برای تأمین هزینه‌های طرح، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به‌دلیل در اختیار قرار دادن اراضی برای انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای و پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان به‌دلیل مساعدت‌های مالی، کمال تشکر را دارند.

منابع

بای بوردی،م. 1378. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، 641 صفحه.

حسن‌پور،ب.، پارسی‌نژاد،م. سلحشور دلیوند،ف و کوثری،ه. 1389. برآورد نوسانات سطح ایستابی در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل DRAINMOD (مطالعه موردی: رشت). نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 2 .4: 174-167.

درزی،ع.، میرلطیفی،س.م.، شاهنظری،ع.، اجلالی،ف و مهدیان،م.ح.، 1391. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر از اراضی شالیزاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 3 .6: 225-215.

درزی،ع.، میرلطیفی،س.م.، شاهنظری،ع.، اجلالی،ف و مهدیان،م.ح.، 1392. تاثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات نیتروژن از اراضی شالیزاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، 3 .7: 305-294.

زارع ابیانه،ح.، نوری،ح. لیاقت،ع. کریمی،ا و نوری،ح. 1390. واسنجی آبشویی نیترات و نوسانات سطح ایستابی در زمین‌های شالیزاری با استفاده از نرم‌افزار DRAINMOD-N. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک.57: 60-49.

علی‌بخشی،ح.، شاهنظری،ع و طهماسبی،ر. 1392. شبیه‌سازی انتقال نیترات اراضی شالیزاری مازندران در فصل کشت کلزا برای مدیریت منابع آب. مدیریت آب و آبیاری، 3 .2: 42-29.

علیزاده،ا.، 1382. زهکشی اراضی، طرح و برنامه ریزی سیستم های زهکشی در کشاورزی. چاپ پنجم، انتشارات آستان قدس رضوی، 448 صفحه.

علیزاده،ا.، 1380. رابطه آب و خاک و گیاه، چاپ دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، 353 صفحه.

Ale,S., Bowling,L.C., Brouder,S.M., Frankenberger,J.R and Youssef,M.A. 2009. Simulated effect of drainage water management operational strategy on hydrology and crop yield for Drummer soil in the Midwestern United States. Agricultural Water Management 96: 653 – 665.

Borin,M., Morari,F., Bonaiti,G., Paasch,M and Skaggs,R.W. 2000. Analysis of DRAINMOD Performances with different detail of soil input

through conceptual models, A discussion of principles. Journal of Hydrology, 10: 282-290.

Poole,C.A. 2006. The effect of shallow subsurface drains on nitrate-n and orthophosphorus losses from drained agricultural lands. A thesis submitted to the Graduate Faculty of North Carolina State University in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, Pp, 238.

Shukla,M.B., Prasher,S.O. Madani,A and Gupta,G.P. 1994. Field validation of DRAINMOD in Atlantic Canada. Canadian Agricultural Engineering 36.4:205-213.

Sinai,G and Jain,P.K. 2006. Evaluation of DRAINMOD for predicting water table heights in irrigated fields at the Jordan Valley. Agricultural Water Management, 79.2: 137–159.

Singh,R., Helmers,M.J and Qi,Z. 2006. Calibration and validation of DRAINMOD to design subsurface drainage systems for Iowa's tile landscapes. Agricultural Water Management, 85: 221 – 232.

Skaggs,R.W. 1980. Drainmod Reference Report; Methods for design and evaluation of drainage water management systems for soils with high water tables, USDA, SCS, North Carolina State University, Raliegh,p. 185.

Skaggs,R.W., Youssef,M.A and Chescheir,G.M. 2012. DRAINMOD: model use, calibration and validation. Transactions of the ASABE. 55 .2: 1509-1522.

Wang,X, Mosley,C.T. Frankenberger,J.R and Kladivko,E.J. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacings using DRAINMOD. Agricultural Water Management. 79: 113–136.

Yang,X., 2008. Evaluation and application of DRAINMOD in an Australian sugarcane field. Agricultural Water Management. 95: 439 – 446.

Youssef,M.A., Skaggs,R.W., Chescheir G.M and Gilliam,J.W. 2003. Field Evaluation of DRAINMOD 5.1 Using Six Years of Data from an Artificially Drained Agricultural Field in North Carolina. Paper number 032367, ASAE Annual Meeting, Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan www.asabe.org.

data in the Veneto region of Italy. Agricultural Water Management 42: 259-272.

Darzi,A., Ejlali,F., Ahmadi,M.Z and Najafi,G. 2007. The suitability of controlled drainage and subirrigation in paddy fields. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10: 492-497.

Desmond,E.D. 2003. Studies including hydrologic modeling and data analysis at the Ohio management systems evaluation area dissertation Presented in partial fulfillment of the requirements for the Degree Doctor of Philosophy in the Graduate School of The Ohio State University, p. 104.

El-Sadek,A., Feyen,J and Berlamont,J. 2001. Comparison of models for computing drainage discharge. Jour. of Irrigation and Drainage Engineering, Nov- Dec: 363-369.

He,X., Vepraskas,M.J., Skaggs R.W and Lindbo,D.L. 2002. Adapting a drainage model to simulate water table levels in coastal plain soils. Soil Sience Society of America Journal 66: 1722-1731.

Khalil,B.M., Abdel-Gawad.,S,T and Millette,J.A. 2004. Impact of controlled drainage on rice production, irrigation water requirement and soil salinity in Egypt. ASAE conference Proceeding, Drainage VIII,21-24 March, Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan www.asabe.org.

Legates,D.R and McCabe,G.J. 1999. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. Water Resources Research, 35, 233-241.

Madramootoo,C.A., Broughton,S.R and Dodds,G.T. 1995. Water table management strategies for soybean production on a sandy loam soil. Canadian Agricultural Engineering, 37.1: 1-8.

Mostaghimi,S and McMahan,P.C. 1989. Surface and Subsurface Drainage Simulations for a Claypan Soil. Published by Elsevier Science B.V., Agricultural Water Management 15.3:211-222.

Mostaghimi,S., Lembke,W.D and Boast,C.W. 1985. Controlled-Drainage/ Subirrigation Simulation for a Claypan Soil. TRANSACTIONS of the ASAE 28.5:1557-1563.

Nash,J.E and Sutcliffe,J.V. 1970. River flow forecasting

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 9, Oct.-Nov. 2015, p. 583-593

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره4، جلد9، مهر - آبان 1394، ص. 593-583

Evaluation of DRAINMOD Model for Predicting Water Table Depth and Drain Discharge in Subsurface-Drained Paddy Fields

A. Darzi- Naftchali [1*], S. M. Mirlatifi[2], A. Shahnazari[3] , F. Ejlali[4] , M. H. Mahdian[5]
Recived: Jun. 10, 2015 Accepted: Oct.21, 2015

Abstract

In this research, the applicability of DRAINMOD model for simulating water table fluctuations and subsurface drain discharge variations was evaluated at the consolidated paddy fields of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University. During free drainage period of a canola season (November 28, 2011-April 2, 2012), water table depths and subsurface drain discharges were measured in three subsurface drainage systems including drainage system with drain depth of 0.9 m and drain spacing of 30 m ($D_{0.9}L_{30}$), drain depth of 0.65 m and drain spacing of 30 m ($D_{0.65}L_{30}$), and drain depth of 0.65 m and drain spacing of 15 m ($D_{0.65}L_{15}$). The reliability of the model was tested using the statistics including model efficiency (EF), percent error (PE), coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and mean deviation (AD). Mean values of measured and simulated water table depths in the calibration treatment ($D_{0.65}L_{15}$) were both 32.4 cm. For validation treatments, such values were, respectively, 24.1 and 14.1 cm for $D_{0.65}L_{15}$ and 2.1 and 19.7 cm for $D_{0.9}L_{30}$. EF, PE, R^2, RMSE and AD values for predicted drainage discharges ranged from -5.1 to -1.3, 9.1 to 21.6, 0.2 to 0.35, 0.08 to 0.11 and 0.07 to 0.1, respectively. Comparison of measured values with the simulation results showed that DRAINMOD model can be used as a practical tool for predicting the general pattern of water table and drain discharge variations in the study area.

Key words: Controlled drainage, Conventional drainage, Canola, Water management

1, 3- Assistant and Associate professor of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2-Associate professor, Depatment of Irrigation and Drainage Engineering, College of Agriculture, Tarbiat Modares University
4- Associate professor, College of Agriculture, Payam e Noor University
5- Professor, Agriculture Research, Education and Extension Organization
(*- Corresponding Author Email: abdullahdarzi@yahoo.com)