



مجله علمی پژوهشی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره ششم، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی مدل Hydrus-2D در شبیه‌سازی آب زهکشی و آبشویی فسفر با روش‌های مختلف کود آبیاری در مزرعه پیاز

آتنا رنجبریان^۱، *خلیل اژدری^۲ و هادی قربانی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، آدانشیار گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود
تاریخ دریافت: ۹۲/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۶/۲

چکیده

مناسب‌ترین روش کود آبیاری، آلودگی محیط زیست را به حداقل می‌رساند. این پژوهش به منظور برآورد آب زهکشی و آبشویی فسفر با روش‌های مختلف کود آبیاری، با کاشت پیاز در شاهرود صورت گرفت. در این پژوهش ۴ روش کود آبیاری در ۳ نوع خاک لوم شنی، لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی مورد آزمایش قرار گرفت. روش‌های کود آبیاری پژوهش عبارت بودند از ۲ روش تزریق کود هفتگی، ۱۰ دقیقه قبل و بعد از آبیاری و ۲ روش تزریق کود یک روز در میان، قبل و بعد از آبیاری. مطالعه به روش مدل‌سازی با Hydrus-2D انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد در روش‌های کود آبیاری میزان آب زهکشی شده کم‌تر از ۳ درصد و در آبیاری کرتی بیش از ۵۰ درصد بوده است. همچنین نتیجه دیگر نشان داد که روش کود آبیاری هفتگی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری نسبت به روش‌های دیگر ارجح‌تر است. این روش نسبت به سایر روش‌های کود آبیاری ۲۸ درصد و نسبت به آبیاری کرتی ۷۰ درصد در خاک لوم شنی افزایش عملکرد داشت. همچنین با این روش، میزان آبشویی فسفر ۰/۹، ۰/۸ و ۰/۶ کیلوگرم در هکتار به ترتیب در خاک‌های لوم شنی، لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی برآورد گردید که نسبت به روش کود آبیاری یک روز در میان در خاک لوم شنی ۱۲، در خاک لوم رسی شنی ۷/۶ و در خاک لوم سیلتی رسی ۴/۲ درصد آبشویی کم‌تری داشت. همچنین در این روش نسبت به آبیاری کرتی آبشویی فسفر در خاک لوم شنی ۳۲/۲ درصد کم‌تر شد. شاخص‌های آماری NRMSE و R^2 نتایج رضایت‌بخشی داشتند.

واژه‌های کلیدی: آبشویی فسفر، شبیه‌سازی، کود آبیاری، آب زهکشی، ناحیه ریشه

* مسئول مکاتبه: azhdary2005@yahoo.co.in

مقدمه

یک سیستم کود آبیاری کارآمد سلامت محیط زیست را تضمین می‌کند. اهداف اصلی طراحی سیستم‌های کود آبیاری کنترل نمودن مقدار آب توزیع شده در ناحیه ریشه با تنظیم بده قطره‌چکان یا با انتخاب اندازه مناسب قطره‌چکان، کاهش نفوذ عمقی، کنترل شستشوی مواد غذایی و نگه داشتن آب و مواد غذایی با مناسب‌ترین توزیع در ناحیه اطراف ریشه می‌باشد. پژوهشگران زیادی مزایای توزیع نیتروژن، فسفر و پتاسیم از طریق آبیاری قطره‌ای در گیاهان مختلف را گزارش نموده‌اند (یاهو و همکاران، ۲۰۱۰؛ صلاح و همکاران، ۲۰۱۰؛ مینگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ داقدلن و همکاران، ۲۰۰۹). باریوسف (۱۹۹۹) گزارش داد که کود آبیاری (قطره‌ای) مزایای متعددی دارد از جمله کاهش شوری خاک و آلودگی آب‌های زیرزمینی، افزایش یکنواختی در توزیع مواد غذایی در طول دوره رشد و سادگی به‌کارگیری مواد حاصلخیزکننده مایع و جامد. استفاده از مدل‌های پیشرفته کامپیوتری در برآورد و تخمین حجم آب زهکشی شده و آبشویی املاح درجه صحت پژوهش را بالا می‌برد (یان‌سان و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهشگران مانند (جوشینگ و همکاران، ۲۰۰۳)، (آسولین، ۲۰۰۲)، (اژدری، ۲۰۰۸) تعیین دقیق مقدار آب زهکشی شده و نحوه حرکت مواد غذایی توزیع شده در ناحیه ریشه گیاهان را فقط از طریق مدل‌سازی امکان‌پذیر می‌دانند. زارع‌ایبانه و همکاران (۲۰۱۰) و روفائل و همکاران (۲۰۰۶) گزارش دادند که استفاده از مدل‌های کامپیوتری در اخذ نتایج درست حرکت آب در خاک بسیار مؤثر است. برای بررسی دقیق حجم آب خروجی و میزان آبشویی فسفراز زیر ناحیه ریشه گیاه باید محیط فعالیت ریشه از طریق مدل‌سازی مطالعه شود. تافته و سپاسخواه (۲۰۱۲) با پژوهشی که روی محصولات مختلف از جمله ذرت انجام دادند مقدار آب زهکشی‌یافته و نترات آبشویی شده را توسط مدل Hydrus-1D مدل‌سازی نموده و مقدار دقیق آن‌ها را برآورد کردند. سینگ و همکاران (۲۰۰۶) با شبیه‌سازی حرکت آب توزیع شده از قطره‌چکان‌های زیرزمینی، به این مطلب دست یافتند که بدون مدل‌سازی محیط اطراف قطره‌چکان، اطلاعات به‌دست آمده از نحوه توزیع رطوبت در خاک، برای مدیریت سیستم آبیاری کافی نیست. اژدری و همکاران (۲۰۰۷) با مدل‌سازی در سیستم کود آبیاری به این نتیجه رسیدند که برای طراحی درست یک سیستم کود آبیاری (قطره‌ای) اطلاع از پارامترهای هیدرولیکی خاک بسیار ضروری است و شناسایی این پارامترها از طریق مدل‌های پیشرفته مثل HYDRUS-2D درجه اطمینان مطالعات را بالا می‌برد. در مورد حرکت فسفر و پتاسیم در خاک، پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته و نتیجه مطالعات بیانگر آن است که مطالعات مبتنی بر مدل‌سازی حرکت این عناصر در خاک نتایج قابل اطمینانی می‌دهد (تارکالسون و همکاران، ۲۰۰۹؛ یین و

همکاران، ۲۰۱۱). اسکاقس و همکاران (۲۰۰۴)، تامپسون و همکاران (۲۰۰۳)، هاپمن و بریستو (۲۰۰۲) در پژوهش‌های خود مزایای توزیع مواد غذایی گیاه از طریق آبیاری قطره‌ای در کشت گیاهان مختلف را ذکر کرده‌اند. پژوهشگران متعددی در مورد برآورد میزان آب زهکشی شده از زیر ناحیه ریشه گیاهان و آبشویی فسفر در سیستم کود آبیاری با مدل Hydrus-2D و مدل‌های مختلف دیگر پژوهش‌هایی انجام داده‌اند از جمله آن‌ها افراد زیر می‌باشند: ناصری و همکاران (۲۰۱۱)، راویکمار و همکاران (۲۰۱۱)، منیرجمیل و همکاران (۲۰۰۴)، علمی و همکاران (۲۰۱۲)، هانسون و همکاران (۲۰۰۸)، الون‌بن و لین (۲۰۰۳). خواص هیدرولیکی خاک در توزیع آب و مواد غذایی در خاک نقش اساسی بازی می‌کند. دانال و همکاران (۲۰۱۲) و وتون و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه خواص هیدرولیکی خاک را در موضوعات مدل‌سازی آب و خاک ضروری می‌دانند. هدف از این پژوهش برآورد دقیق حجم آب زهکشی شده و میزان فسفر آبشویی شده از زیر ناحیه ریشه گیاه پیاز با روش‌های مختلف کود آبیاری و در خاک‌های مختلف به روش مدل‌سازی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز آموزش کشاورزی شاهرود واقع در جاده بسطام- شاهرود صورت گرفت. این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالانه ۱۶۲ میلی‌متر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه آن ۱۴/۴، حداقل درجه حرارت ۱۴- و حداکثر آن ۴۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد که دارای تابستان‌های به نسبت گرم و زمستان‌های سرد است. در این پژوهش یک سیستم کامل کود آبیاری با کشت پیاز ایجاد شد. این سیستم مجهز به فیلتر کنترل و تانک کود آبیاری بود. پیاز به صورت ردیفی کشت گردید. هر بوته گیاه توسط یک قطره‌چکان ۴ لیتر در ساعت آبیاری می‌شد. دور آبیاری این سیستم ۴۸ ساعت تعیین شد. نیاز آبی گیاه براساس روش‌های معمول برآورد شد. میزان کود مصرفی گیاه ۷۲ کیلوگرم بر هکتار نیتروژن، ۵۰ کیلوگرم بر هکتار فسفر و ۶۰ کیلوگرم بر هکتار پتاسیم بود. اسید فسفریک به عنوان منبع فسفر با ۴ روش کود آبیاری توزیع گردید.

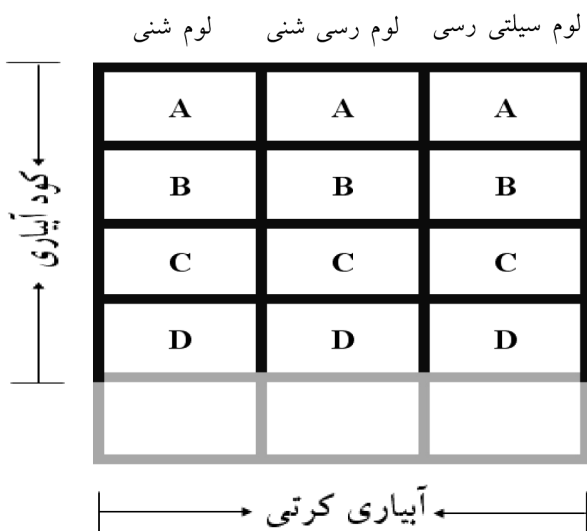
این پژوهش در سه نوع بافت خاک صورت گرفت در هر کدام از بافت‌های خاک ۴ تیمار روش کود آبیاری و یک تیمار آبیاری کرتی اجرا شد مساحت هر کرت ۱۶ مترمربع (۴×۴) در نظر گرفته شد با توجه به سه نوع بافت خاک و ۴ تیمار کود آبیاری، مساحت تحت پوشش تیمارهای کود آبیاری ۱۹۲ مترمربع (۳×۴×۱۶) و مساحت تحت پوشش آبیاری کرتی ۴۸ مترمربع (۴×۱۶) می‌باشد.

روش‌های کود آبیاری: در حالت کلی ۴ روش کود آبیاری در این پژوهش به کار رفت که به ترتیب عبارتند از:

۱- کود آبیاری هفتگی، ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری (A)، ۲- کود آبیاری هفتگی، ۱۰ دقیقه بعد از آبیاری (B)، ۳- کود آبیاری یک روز در میان، ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری (C) و ۴- کود آبیاری یک روز در میان، ۱۰ دقیقه بعد از آبیاری (D).

در این پژوهش به دلیل این که نمی‌توان یکی از فاکتورها (خاک) را تصادفی کرد از حالت خاص اسپلیت پلات موسوم به "به ترتیب قرار گرفتن عامل اصلی" استفاده شد. شکل ۱ بیان شماتیک نقشه طرح می‌باشد که بیان واقعی نوع طرح. در این شکل هر یک از خانه‌ها دارای ۳ تکرار می‌باشد و هر کدام از خاک‌ها در یک بخش از مزرعه واقع شده‌اند. در شکل حالت اتصال بخش‌های مزرعه نشان داده شده است و با توجه به اهداف پژوهش نوع طرح از اهمیت خاصی برخوردار نمی‌باشد.

از ترکیب ۴ روش کود آبیاری با ۳ نوع خاک مورد مطالعه در کل ۱۲ سناریو عملی مورد پژوهش قرار گرفت و مقادیر اندازه‌گیری آب زهکشی و فسفر آبتیوبی شده در این سناریوها مورد مقایسه قرار گرفتند.



شکل ۱- نمای شماتیک از طرح با اتصال بخش‌های مختلف مزرعه.

تحلیل حرکت آب و مواد محلول در محیط متخلخل

معادله جریان آب: حرکت آب در محیط غیراشباع و اشباع خاک را می‌توان با شکل اصلاح شده معادله ریچاردز به صورت زیر ارائه نمود (سیمونک و همکاران، ۱۹۹۹).

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right] - S \quad (1)$$

شرایط اولیه و مرزی برای این معادله به صورت زیر می‌باشد:

$$H = h_i(z) \quad \text{at} \quad -60 \leq z \leq 0, \quad t = 0 \quad (2)$$

$$-K \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) = E(t) \quad \text{at} \quad z = 0, \quad t > 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial z} = 0 \quad \text{at} \quad z = -60, \quad t > 0 \quad (4)$$

که در آن‌ها، θ : میزان رطوبت خاک، t : زمان، z : محور عمودی، k : هدایت هیدرولیکی غیراشباع خاک، S : جذب آب توسط ریشه، h : میزان بار فشار، h_i : میزان بار فشار اولیه خاک و $E(t)$: تبخیر و تعرق می‌باشند. در این پژوهش مرز انتهایی مدل مفهومی مرز زهکشی در نظر گرفته شد و بنابراین $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$ می‌باشد.

معادله انتقال املاح: معادله انتقال املاح به کار رفته در مدل Hydrus-2D توسط سیمونک و همکاران، (۱۹۹۹) به صورت زیر بیان شده است:

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = \left\{ \frac{\partial}{\partial r} (\theta D_{rr} \frac{\partial C}{\partial r} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{1}{r} (\theta D_{rr} \frac{\partial C}{\partial r} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial z}) + \frac{\partial}{\partial z} (\theta D_{zz} \frac{\partial C}{\partial z} + \theta D_{rz} \frac{\partial C}{\partial r}) \right\} - \left(\frac{\partial q_r C}{\partial r} + \frac{q_r C}{r} + \frac{\partial q_z C}{\partial z} \right) \quad (5)$$

که در آن، C : نشان‌دهنده غلظت محلول، θ : رطوبت حجمی خاک، r : مختص شعاعی، D_{rr} ، D_{zz} ، D_{rz} : اجزای پخشیدگی، q_r و q_z : چگالی محلول جریان یافته می‌باشد.

مدل **HYDRUS-2D**: این مدل معادله ریچاردز را در حالت اشباع و غیراشباع در محیط متخلخل و معادله انتقال املاح را به صورت توزیع مولکولی حل می‌کند. مدل بالا جریان آب و انتقال را به صورت عمودی، افقی و شعاعی حل نموده و برای حالات مختلف حرکت آن‌ها را شبیه‌سازی می‌نماید. این مدل برای انجام عملیات شبیه‌سازی شرایط مرزی مناسبی را برای جریان، زهکشی و اتمسفری در محیط مدل شده در نظر می‌گیرد. جزئیات مربوط به این مدل را می‌توان از منوال تخصصی مربوطه به دست آورد (سیمونک و همکاران، ۱۹۹۹).

شاخص‌های آماری: برای مقایسه نتایج مدل با داده‌های اندازه‌گیری از شاخص‌های مختلف آماری استفاده شد که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر می‌باشند:

۱- خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE)

$$RMSE = \left\{ \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (6)$$

۲- خطای میانگین مجذور مربعات نرمال شده (NRMSE)

$$NRMSE = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 \right]^{1/2}}{O} \quad (7)$$

که در آن‌ها، X : مقدار اندازه‌گیری، Y : مقدار شبیه‌سازی شده، n : تعداد داده‌ها و O : میانگین داده‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

۳- ضریب همبستگی (d)

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|X_i - O| + |Y_i - O_e|)^2} \right\} \quad (8)$$

که در آن، d : ضریب همبستگی و O_e : میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده می‌باشد. مقادیر $NRMSE$ و d بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند. هر چقدر مقدار $NRMSE$ به صفر نزدیک شود و همچنین d به ۱ نزدیک شود نشان‌دهنده این است که مدل با دقت بالایی شبیه‌سازی را انجام می‌دهد.

۴- ضریب نش سات کلیف (E)

$$E=1-\left\{\frac{\sum_{i=1}^n(X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n(X_i - O)^2}\right\} \quad (9)$$

مقدار E از ۱ تا $-\infty$ تغییر می‌کند و هر چقدر به ۱ نزدیک شود نشان‌دهنده مطابقت بالای مقادیر به‌دست آمده از مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

نتایج و بحث

عملکرد: نتایج به‌دست آمده از عملکرد محصول در روش‌های کود آبیاری و خاک‌های مورد پژوهش در جدول ۱ آمده است. این جدول نشان می‌دهد که در خاک لوم شنی متوسط عملکرد در ۴ روش کود آبیاری ۱۲۳/۳۰ تن در هکتار بوده که نسبت به آبیاری سطحی در همان نوع خاک ۴۲ درصد افزایش عملکرد را داشته است. همچنین روش کود آبیاری A با داشتن ۱۴۷/۸۰ تن در هکتار بیش‌ترین عملکرد را تولید است. این روش نسبت به آبیاری کرتی ۷۰/۵۵ درصد افزایش عملکرد را نشان می‌دهد. نتایج این جدول بیانگر آن است که با توجه به مقدار فسفر توزیع شده ۵۰ کیلوگرم بر هکتار، مقدار فسفر جذب شده در همه روش‌های کود آبیاری نسبت به آبیاری سطحی افزایش چشم‌گیری داشته است. متوسط فسفر جذب شده در روش‌های کود آبیاری در این خاک نسبت به آبیاری سطحی ۲۷ درصد افزایش را نشان می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که در خاک‌های لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی، هم از نظر عملکرد و هم از نظر جذب فسفر افزایش چشم‌گیری در روش‌های کود آبیاری نسبت به آبیاری سطحی وجود دارد. در خاک لوم رسی شنی روش کود آبیاری A ۱۵/۸ درصد افزایش عملکرد نسبت به متوسط سایر روش‌های کود آبیاری و ۶۹ درصد افزایش عملکرد نسبت به آبیاری کرتی را دارا می‌باشد. متوسط فسفر جذب شده در روش‌های کود آبیاری در این خاک نیز نسبت به آبیاری کرتی ۲۱ درصد افزایش را نشان می‌دهد. در خاک لوم سیلتی رسی ۶۱ درصد افزایش عملکرد این روش نسبت به سایر روش‌های کود آبیاری ۱۶ و نسبت به آبیاری کرتی ۶۱ می‌باشد همچنین متوسط فسفر جذب شده در روش‌های کود آبیاری در این خاک نیز نسبت به آبیاری کرتی ۱۸ درصد افزایش را نشان می‌دهد. بنابراین در همه حالات روش A از نظر عملکرد و جذب فسفر مطلوب‌تر عمل نموده است.

جدول ۱- عملکرد و فسفر جذب شده در روش‌های مختلف کود آبیاری و در خاک‌های مورد پژوهش.

روش کود آبیاری	لوم شنی		لوم رسی شنی		لوم سیلتی رسی	
	عملکرد فسفر جذب شده (تن در هکتار)	عملکرد فسفر جذب شده (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد فسفر جذب شده (تن در هکتار)	عملکرد فسفر جذب شده (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد فسفر جذب شده (تن در هکتار)	عملکرد فسفر جذب شده (کیلوگرم در هکتار)
A	۱۴۷/۸۰	۴۹/۱۰	۱۳۴/۵۹	۴۹/۲۰	۱۳۱/۸۹	۴۹/۴۱
B	۱۲۲/۴۵	۴۷/۴۰	۱۲۹/۸۷	۴۸/۳۰	۱۳۰/۶۶	۴۸/۶۰
C	۱۱۳/۲۷	۴۵/۹۰	۱۱۶/۲۱	۴۶/۸۱	۱۰۷/۷۹	۴۸/۲۰
D	۱۰۹/۶۷	۴۳/۱۰	۱۰۲/۴۳	۴۵/۴۰	۱۰۱/۵۵	۴۷/۳۰
آبیاری کرتی	۸۶/۶۶	۳۲/۵۰	۷۹/۴۹	۳۶/۷۳	۸۱/۸۶	۳۹/۴۵

خواص هیدرولیکی خاک: قبل از اجرای مدل و شبیه‌سازی توزیع و حرکت آب و اصلاح لازم بود که پارامترهای هیدرولیکی خاک تعیین شوند. پارامترهایی که برای hydrus-2D مورد نیاز می‌باشند برای خاک لوم شنی در جدول ۲ آمده است این پارامترها توسط مدل Rosetta تعیین شده‌اند که خود مدلی است واقع شده در داخل hydrus-2D و براساس شبکه عصبی کار می‌کند و پس از اخذ داده‌های مربوط به بافت خاک، درصد ذرات خاک، درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دایم، پارامترهای هیدرولیکی خاک را تخمین می‌زند. مقدار عددی این پارامترها برای اجرای hydrus-2D ضروری می‌باشد در این جدول θ_r : رطوبت باقیمانده خاک و θ_s : رطوبت اشباع خاک و n و α : ضرایبی هستند مربوط به توابع هیدرولیکی خاک که به‌طور مستقیم توسط شبکه عصبی تخمین زده می‌شوند و K_s : ضریب نفوذپذیری خاک در حالت اشباع و FC: ظرفیت مزرعه و PWP: نقطه پژمردگی دایم می‌باشد. ضرایب K_s ، FC و PWP به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری شده و به مدل داده شده‌اند. در این پژوهش بافت خاک به روش هیدرومتری، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دایم به‌وسیله دستگاه صفحات فشاری ۵ بار و ۱۵ بار و نفوذپذیری به روش بار ثابت اندازه‌گیری شد. خواص هیدرولیکی خاک برای همه خاک‌های مورد پژوهش جداگانه اندازه‌گیری و برآورد گردید خواص هیدرولیکی برای خاک‌های لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی در جدول‌های ۳ و ۴ آمده است.

آتنا رنجبریان و همکاران

جدول ۲- خواص فیزیکی و هیدرولیکی خاک لوم شنی معرفی شده به مدل.

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	θ_r	θ_s	α	n	I	K_s (cm/h)	ρ_b (گرم بر سانتی متر مکعب)	FC (درصد)	PWP (درصد)
۰-۱۵	لوم شنی	۰/۱۳	۰/۴۸	۰/۰۷۹	۱/۴۴	۰/۵	۱/۳۳	۱/۵۸	۲۲/۱۷	۷/۴۹
۱۵-۳۰	لوم شنی	۰/۱۴	۰/۴۷	۰/۰۵۹	۱/۴۷	۰/۵	۱/۲۵	۱/۶۱	۲۳/۲۷	۹/۱۳
۳۰-۴۵	لوم شنی	۰/۱۶	۰/۴۶	۰/۰۴۸	۱/۵۳	۰/۵	۱/۲۱	۱/۵۷	۲۴/۱۱	۹/۳۴
۴۵-۶۰	لوم شنی	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۰۴۴	۱/۵۵	۰/۵	۱/۱۹	۱/۶۰	۲۵/۳۶	۱۰/۳۵

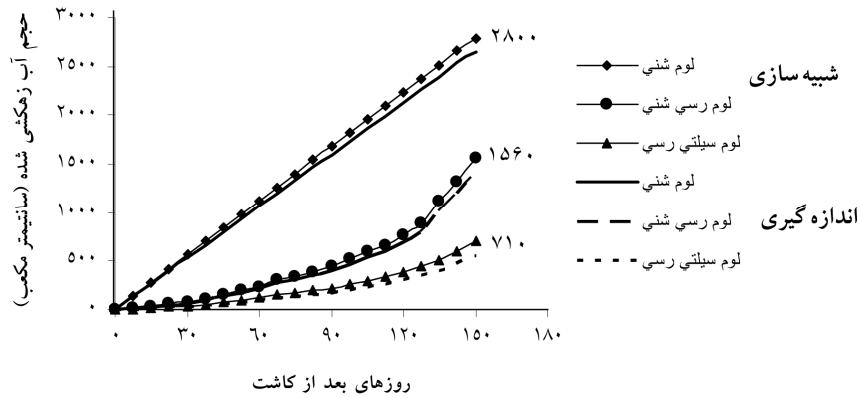
جدول ۳- خواص فیزیکی و هیدرولیکی خاک لوم رسی معرفی شده به مدل.

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	θ_r	θ_s	α	n	I	K_s (cm/h)	ρ_b (گرم بر سانتی متر مکعب)	FC (درصد)	PWP (درصد)
۰-۱۵	لوم رسی شنی	۰/۱۵	۰/۴۹	۰/۰۷۶	۱/۴۳	۰/۵	۱/۱۹	۱/۴۴	۲۳/۱۸	۸/۵۰
۱۵-۳۰	لوم رسی شنی	۰/۱۶	۰/۴۹	۰/۰۵۷	۱/۴۹	۰/۵	۱/۱۷	۱/۵۱	۲۳/۳۰	۹/۲۱
۳۰-۴۵	لوم رسی شنی	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۰۵۵	۱/۵۸	۰/۵	۱/۰۹	۱/۵۰	۲۶/۱۳	۹/۶۶
۴۵-۶۰	لوم رسی شنی	۰/۱۹	۰/۴۵	۰/۰۴۱	۱/۵۵	۰/۵	۱/۱۴	۱/۶۴	۲۵/۵۳	۹/۳۵

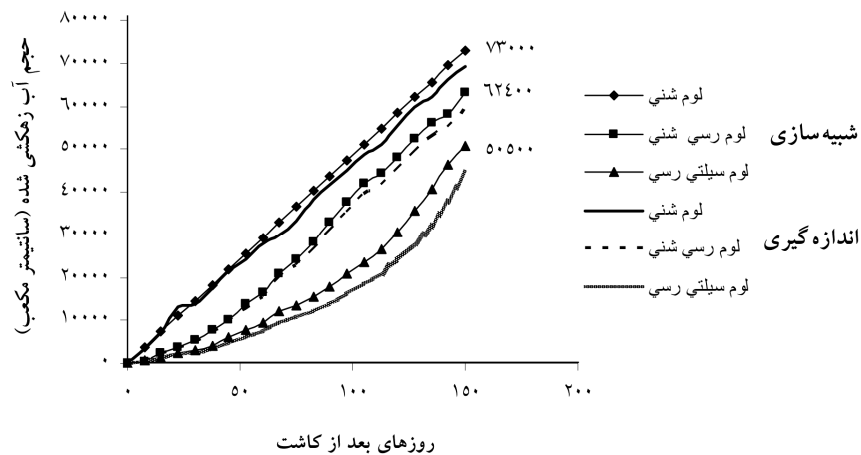
جدول ۴- خواص فیزیکی و هیدرولیکی خاک لوم سیلتی معرفی شده به مدل.

عمق خاک (سانتی متر)	بافت خاک	θ_r	θ_s	α	n	I	K_s (cm/h)	ρ_b (گرم بر سانتی متر مکعب)	FC (درصد)	PWP (درصد)
۰-۱۵	لوم سیلتی رسی	۰/۱۷	۰/۴۹	۰/۰۷۷	۱/۴۴	۰/۵	۱/۱۶	۱/۵۹	۲۲/۳۳	۸/۴۶
۱۵-۳۰	لوم سیلتی رسی	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۰۶۱	۱/۴۹	۰/۵	۱/۱۲	۱/۶۴	۲۳/۲۹	۹/۱۹
۳۰-۴۵	لوم سیلتی رسی	۰/۱۹	۰/۴۶	۰/۰۴۸	۱/۵۶	۰/۵	۱/۰۴	۱/۵۹	۲۵/۱۶	۹/۵۴
۴۵-۶۰	لوم سیلتی رسی	۰/۱۶	۰/۴۷	۰/۰۴۲	۱/۵۵	۰/۵	۱/۱۲	۱/۶۵۵	۲۵/۴۸	۹/۳۶

شبیه‌سازی آب زهکشی شده: حجم آب مصرفی در همه روش‌های کود آبیاری مورد مطالعه یکسان بود حجم آب زهکشی شده در همه روش‌ها نیز در خاکهای مشابه با اختلاف کم یکسان شد. بنابراین نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری و شبیه‌سازی مقدار آب زهکشی شده در سیستم کود آبیاری برای خاک‌های مختلف فقط در روش کود آبیاری A تشریح می‌گردد که در شکل ۲ نشان داده شده است. در این پژوهش در هر سه نوع خاک مورد مطالعه و در همه روش‌های کود آبیاری در طول دوره رویش گیاه از هر قطره‌چکان ۹۰ لیتر آب وارد خاک گردیده بود. مدل مفهومی تعریف شده به hydrus-2D نیز استوانه‌ای از خاک به عمق ۶۰ و به شعاع ۳۰ سانتی‌متر بود که گیاه و قطره‌چکان سیستم کود آبیاری در مرکز آن قرار گرفته بود. مرز بالای آن مرز جریان و انتهای آن مرز زهکشی بود. شکل ۲ نشان می‌دهد از مجموع ۹۰ لیتر آب توزیع شده توسط یک قطره‌چکان در خاک لوم شنی که نسبت به ۲ نوع خاک دیگر از بافت درشتی برخوردار است، فقط ۲۸۰۰ سانتی‌مترمکعب در طول دوره رویش گیاه زهکشی شده است. این یعنی حدود ۹۷ درصد از میزان آب توزیع شده در ناحیه ریشه تمرکز کرده و به مصرف گیاه رسیده است. اسکافز و همکاران (۲۰۰۴) نتایج مشابهی را اخذ نمودند همچنین این شکل نشان می‌دهد که در خاک‌های لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی حجم آب زهکشی شده به ترتیب ۱۵۶۰ و ۷۱۰ سانتی‌مترمکعب می‌باشد و مقدار آب باقی‌مانده در این خاک‌ها به ترتیب ۹۸/۵ و ۹۹/۳ درصد از کل آب توزیع شده می‌باشد. سینک و همکاران (۲۰۰۶) نتایج مشابهی را اخذ نموده‌اند. نکته دیگری که در این شکل پیداست این که مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی آب زهکشی بسیار نزدیک به هم هستند. شکل ۳ مقدار آب زهکشی را در سیستم آبیاری کرتی در خاک‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. در آبیاری کرتی از سطح معادل سطح پوشش یک قطره‌چکان در سیستم کود آبیاری، ۱۴۰ لیتر آب توزیع گردیده بود. نتیجه به‌دست آمده از شبیه‌سازی آب زهکشی و مقدار اندازه‌گیری نشان می‌دهد که در خاک لوم شنی در طول دوره پژوهش ۷۳۰۰۰ سانتی‌مترمکعب یا ۵۲ درصد آب توزیعی به خارج از محیط ریشه گیاه رسیده است در حالی که در سیستم کود آبیاری در همان خاک، آب زهکشی فقط ۳ درصد برآورد گردید. همچنین این شکل نشان می‌دهد در خاک لوم رسی شنی ۶۲۴۰۰ سانتی‌مترمکعب معادل ۴۴ درصد و در خاک لوم سیلتی رسی ۵۰۵۰۰ سانتی‌متر مکعب معادل ۳۶ درصد آب توزیع‌یافته در کرت به خارج از ناحیه ریشه رسیده است. گاردنس و همکاران (۲۰۰۵) به نتایج مشابهی رسیده‌اند.



شکل ۲- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری حجم آب زهکشی شده در طول دوره رویش گیاه در روش کود آبیاری A.

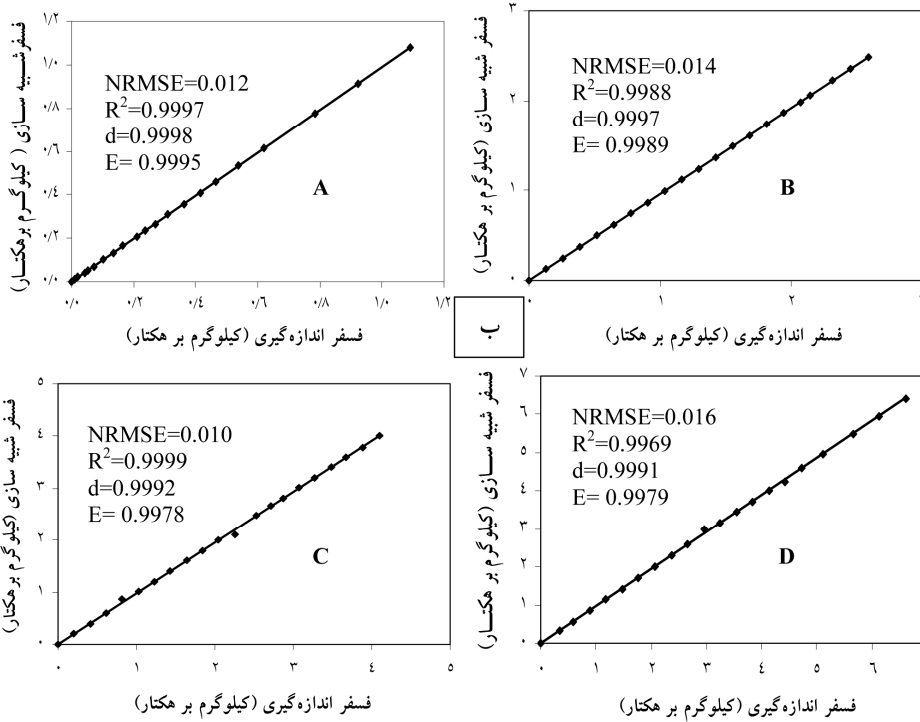
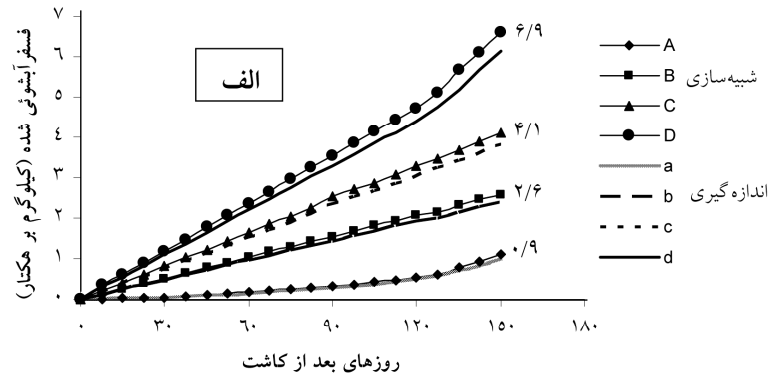


شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری حجم آب زهکشی در طول دوره ریشه گیاه در آبیاری کرتی.

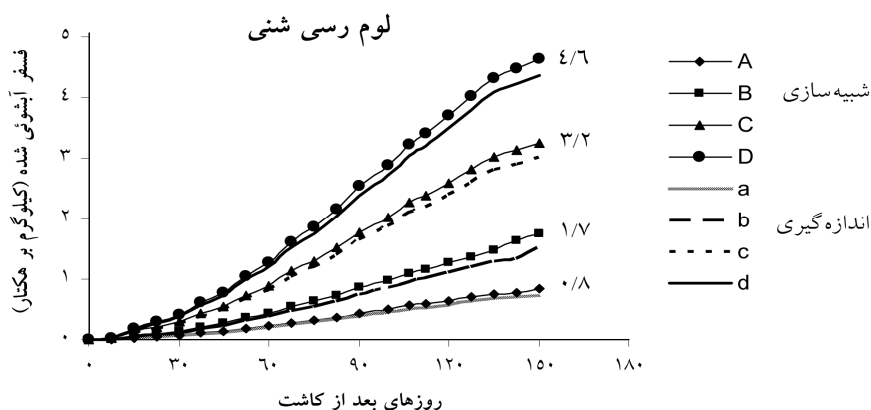
شبیه‌سازی فسفر آبشویی شده: نتیجه به‌دست آمده از برآورد فسفر آبشویی شده در خاک‌های مختلف و در روش‌های کود آبیاری مورد پژوهش در شکل‌های ۴ تا ۶ آمده است. نکات مهمی در این شکل‌ها وجود دارد. شکل ۴ مربوط به خاک لوم شنی می‌باشد. ارزیابی هر ۴ روش کود آبیاری در این شکل بیانگر آن است که مقدار فسفر آبشویی شده در هر ۴ روش نسبت به مقدار فسفر توزیع شده در طول دوره رویش گیاه که ۵۰ کیلوگرم در هکتار بوده است ناچیز است اما شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر

آبشویی شده در طول ۵ ماه دوره رویش گیاه با روش کود آبیاری A یعنی کود آبیاری هفتگی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری، نسبت به سایر روش‌ها مقدار آبشویی فسفر را کم‌تر نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در این روش در خاک لوم شنی در کل ۰/۹ کیلوگرم در هکتار و یا ۱/۸ درصد از مجموع فسفر توزیع شده آبشویی گردیده و ۹۸/۲ درصد به مصرف مفید تبدیل شده است. نتایج مشابهی را جکوز و همکاران (۲۰۰۸) به‌دست آورده‌اند. نکته دیگر در این شکل این است که روش کود آبیاری D یعنی کود آبیاری یک روز در میان ۱۰ دقیق بعد از آبیاری، نسبت به روش‌های دیگر فسفر آبشویی شده را بیش‌تر نشان می‌دهد. در این روش ۶/۹ کیلوگرم در هکتار معادل ۱۳/۸ درصد فسفر توزیعی آبشویی گردیده است. همچنین این شکل نشان می‌دهد که روش‌های کود آبیاری B و C از نظر مقدار آبشویی فسفر، به‌ترتیب در مرتبه دوم و سوم قرار گرفته‌اند. شکل بالا بیان‌کننده آن است که در روش B ۵/۲ درصد و در روش C ۸/۲ درصد آبشویی فسفر اتفاق افتاده است. مقایسه عملکرد ۴ روش کود آبیاری از نظر آبشویی فسفر، بیان‌کننده آن است که روش کود آبیاری A نسبت به متوسط ۳ روش دیگر ۷/۲ درصد و نسبت به روش D ۱۲ درصد آبشویی فسفر را کم می‌کند. شکل ۴- ب مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر آبشویی را با اعمال شاخص‌های آماری نشان می‌دهد. نتیجه به‌دست آمده از این قسمت از شکل بیانگر آن است که در همه روش‌های کود آبیاری مورد مطالعه A، B، C و D هر ۴ شاخص آماری مهم E، d، R^۲ و RMSE نتیجه رضایت‌بخشی را نشان می‌دهند چنان‌چه مشاهده می‌شود در هر ۴ روش NRMSE نزدیک به صفر و E، d، R^۲ بسیار نزدیک به یک هستند این بیانگر آن است که تطابق بسیار بالایی بین داده‌های اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل hydrus-2D در برآورد فسفر آبشویی شده در طول دوره رویش گیاه انتخابی وجود داشته است. منیرجمیل و همکاران (۲۰۰۴) به نتایج مشابه دست یافته‌اند. شکل ۵ میزان فسفر آبشویی شده در خاک لوم رسی شنی را نشان می‌دهد نتیجه به‌دست آمده از این شکل بیان‌کننده آن است که در این نوع خاک نیز میزان فسفر آبشویی در روش‌های کود آبیاری هفتگی (A و B) به مراتب کم‌تر از روش‌های ۴۸ ساعته (C و D) می‌باشد همچنین از بین دو روش کود آبیاری هفتگی، روش A با ۰/۸ کیلوگرم در هکتار معادل ۱/۶ درصد فسفر توزیعی کم‌ترین مقدار آبشویی را داشته است. در این شکل نیز روش کود آبیاری D با داشتن ۴/۶ کیلوگرم فسفر آبشویی شده که معادل ۹/۲ درصد فسفر توزیعی می‌باشد بیش‌ترین مقدار آبشویی را دارا بوده است. در این خاک روش A نسبت به روش D ۷/۶ درصد آبشویی را کم‌تر نشان می‌دهد.

لوم شنی

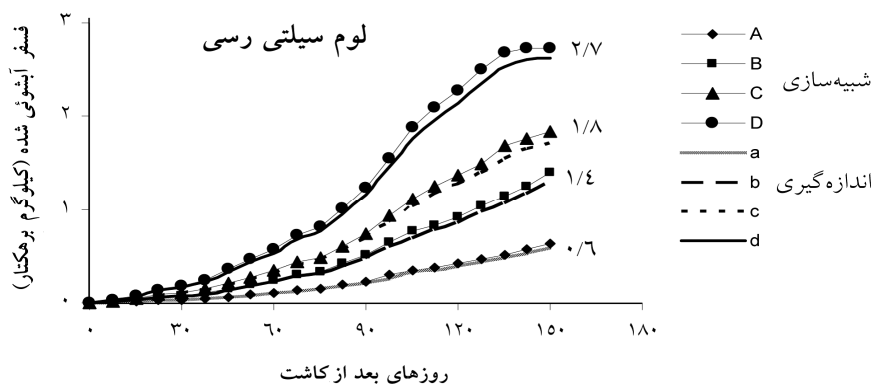


شکل ۴- الف- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر آیشویی شده در ۴ روش کود آبیاری (A, B, C و D) در خاک لوم شنی و ب- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر آیشویی شده با شاخص‌های مختلف آماری در روش‌های مختلف کود.



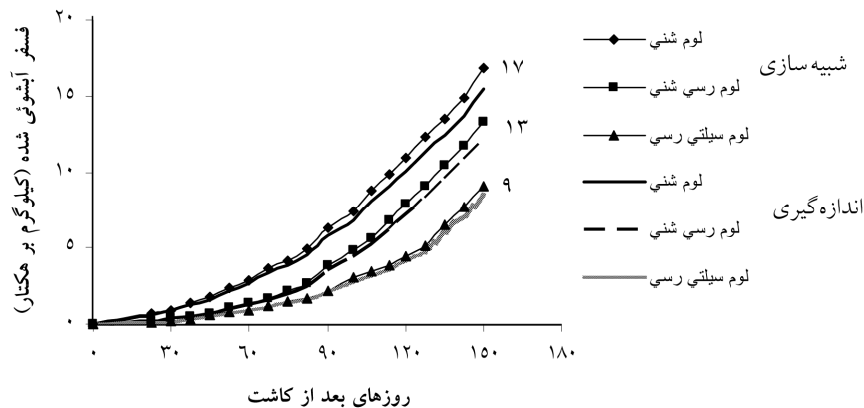
شکل ۵- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر آبتوی شده در ۴ روش کود آبیاری (A, B, C و D) در خاک لوم رسی شنی.

شکل ۶ میزان فسفر آبتوی شده در خاک لوم سیلتی رسی را نشان می‌دهد نتیجه به‌دست آمده بیانگر آن است که در این نوع خاک میزان فسفر آبتوی در روش‌های کود آبیاری A و B به‌ویژه در روش A به‌شدت پایین آمده و به ۰/۶ کیلوگرم در هکتار می‌رسد و نسبت به روش D (۲/۷ کیلوگرم بر هکتار) ۴/۲ درصد آبتوی فسفر را کم‌تر نشان می‌دهد. بنابراین روش A در بین روش‌های کود آبیاری بین روش‌های کود آبیاری ارجح‌تر می‌باشد. دی‌جانگ و همکاران (۲۰۰۴) در پژوهش روی آبتوی فسفر به چنین نتایجی رسیدند.



شکل ۶- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری آبتوی فسفر در ۴ روش کود آبیاری (A, B, C و D) در خاک لوم سیلتی رسی.

نتیجه به دست آمده از برآورد فسفر آبشویی شده در آبیاری کرتی (شکل ۷) بیان می‌کند که در طول دوره رویش گیاه از ۵۰ کیلوگرم فسفر توزیعی در خاک لوم شنی ۱۷، در خاک لوم رسی شنی ۱۳ و در خاک لوم سیلتی رسی ۹ کیلوگرم فسفر آبشویی گردیده است و این نشان‌دهنده به ترتیب ۳۴، ۲۶ و ۱۸ درصد آبشویی فسفر در خاک‌های یادشده در این نوع روش آبیاری می‌باشد. از مقایسه میزان فسفر آبشویی شده در روش آبیاری کرتی با روش کود آبیاری A می‌توان نتیجه گرفت که با اجرای روش A در خاک لوم شنی ۳۲، در خاک لوم رسی شنی ۲۴ و در خاک لوم سیلتی رسی ۱۷ درصد کم‌تر آبشویی فسفر اتفاق می‌افتد.



شکل ۷- مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری فسفر آبشویی شده در آبیاری کرتی در خاک‌های مختلف.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش کاربرد مدل Hydrus-2D در شبیه‌سازی آب زهکشی و آبشویی فسفر با روش‌های مختلف کود آبیاری در خاک‌های لوم شنی، لوم رسی شنی و لوم سیلتی رسی مورد مطالعه قرار گرفت. مقدار آب زهکشی شده و فسفر آبشویی شده از زیر ناحیه ریشه گیاه انتخابی (پیاز) در روش‌های کود آبیاری و خاک‌های مورد مطالعه از طریق مدل‌سازی برآورد گردید. نتایج به دست آمده از پژوهش نشان داد که در روش‌های کود آبیاری میزان آب زهکشی شده کم‌تر از ۳ درصد و در آبیاری کرتی بیش از ۵۰ درصد آب ورودی به خاک بوده است. همچنین یافته‌های پژوهش بیانگر آن

است که در همه خاک‌های مورد مطالعه با اجرای روش کود آبیاری هفتگی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری، نسبت به روش‌های دیگر کم‌ترین میزان فسفر آبشویی یافته، بیش‌ترین مقدار فسفر جذب گردیده و بیش‌ترین مقدار عملکرد محصول به‌دست می‌آید. بنابراین این روش نسبت به روش‌های دیگر کود آبیاری ارجح‌تر می‌باشد. روش بالا در خاک لوم شنی نسبت به روش توزیع یک روز در میان کود مورد نیاز گیاه، ۱۲ درصد و نسبت به آبیاری کرتی ۳۲/۲ درصد آبشویی فسفر را کم‌تر نشان داد. همچنین نتیجه دیگر پژوهش بیان می‌کند که در این روش در خاک‌های مورد مطالعه دیگر نیز میزان آبشویی فسفر نسبت به روش‌های دیگر کم‌تر روی داده است.

منابع

1. Ajdary, Kh., Singh, D.K., Singh, A.K., and Manoj, Kh. 2007. Modeling of Nitrogen Leaching from Experimental Onion Field under Drip Fertigation. *J. Agric. Water Manage.* 89: 15-28.
2. Ajdary, Kh. 2008. Simulation of Nitrogen Distribution in Soil with Drip Irrigation System. *J. Appl. Sci.* 8: 18. 3157-3165.
3. Alon, B.G., and Lunn, M.D. 2003. Phosphorus availability under continues point source irrigation. *S.S.S.A.J.* 67: 5. 1449-1456.
4. Antonopoulos, V.Z. 2001. Simulation of water and nitrogen balances of irrigation and fertilized Corn-crop soil. *J. Irrig. Drain. Engin.* 127: 2. 77-83.
5. Assouline, S. 2002. The effect of micro drip and conventional drip irrigation on water distribution and uptake. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66: 1630-1636.
6. Bar-Yosef, B. 1999. Advances in Fertigation. *Advances in Agronomy.* 65: 1-77.
7. Dagdelen, N., Basal, H., Yilmaz, E., Gurbuz, T., and Akcay, S. 2009. Different drip irrigation regimes affect cotton yield, water use efficiency and fiber quality in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 96: 111-120.
8. Dan, L., Xiuzhi, C., Zhiping, P., Shuisen, C., Weiqi, C., Liusheng, H., and Yongjie, L. 2012. Prediction of soil organic matter content in a litchi orchard of south china using spectral indices. *Soil and Tillage Research.* 123: 78-86.
9. De Jonge, L.W., Moldrup, P., Rubak, G., Schelde, H.K., and Djurhuus, J. 2004. Particle leaching and particle-facilitated transport of phosphorus at field scale, *Vadose Zone J.* 3: 462-470.
10. Elmi, A., Joumana S., Nohra, A., Chandra, A., and William, H. 2012. Estimating phosphorus leachability in reconstructed soil columns using Hydrus-1D model. *65: 6.* 1751-1758.
11. Gardenas, A.I., Hpmans, J.W., Hanson, B.R., and Simunek, J. 2005. Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. *Agricultural Water Management.* 74: 3. 219-242.

12. Hanson, B.R., Simunek, J., and Hopmans, J.W. 2008. Leaching with Subsurface drip irrigation under saline shallow ground water conditions. *Vadose Zone J.* 7: 2. 810-818.
13. Hayens, R.J. 1985. Principles of fertilizer use for trickle irrigated crops. *Fertilizer Research*, 6: 2. 235-255.
14. Hopmans, J.W., and Bristow, K.L. 2002. Current capabilities and future needs of root water and nutrient uptake modeling. *Advances in Agronomy*. 77: 104-175.
15. Jacques, D., Simunek, J., Mallants, D., and Van Genuchten, M.Th. 2008. Modeling coupled hydrological and chemical processes: Long-term uranium transport following phosphorous fertilization. *Vadose Zone J.* 7: 698-711.
16. Jiusheng, Li., Jianjun, Z., and Ren, L. 2003. Water and nitrogen distribution as affected by fertigation of ammonium nitrate from a point source. *Irrig Sci.* 22: 1. 19-30.
17. Ming, C., Yaohu, K., Shuqin, W., and Shi-ping, L. 2009. Drip irrigation with saline water for oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agric. Water Manage.* 96: 12. 1766-1772.
18. Munir, J.M., Ahmed, H., and Abed, E.F. 2004. Phosphorus fertigation and preplant conventional soil application of drip irrigated summer squash. *J. Agron.* 3: 3. 162-169.
19. Naseri, A.A., Hoseini, Y., Moazed, H., Abbasi, F., Samani, H.M.V., and Sakebi, S.A. 2011. Phosphorus transport through a saturated soil column: Comparison between physical modeling and Hydrus-3D outputs. *J. Appl. Sci.* 11: 5. 815-823.
20. Ravikumar, V., Vijayakumar, G., Simunek, J., Chellamuthu, S., Santhi, R., and Appavu, K. 2011. Evaluation of fertigation scheduling for sugarcane using a vadose zone flow and transport model. *Agricultural Water Management.* 98: 9. 1431-1440.
21. Roupael, Y., Mariateresa, C., Elvira, R., Alberto, B., and Giuseppe, C. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *J. Agric. Water Manage.* 82: 99-117.
22. Salah, E.E.H., and Urs, S. 2010. Optimal coupling combinations between irrigation frequency and rate for drip-irrigated maize grown on sandy soil. *Agric. Water Manage.* 97: 3. 439-448.
23. Simunek, J., Sejna, M., and Van genuchten, M.Th. 1999. The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solute in variably-saturated media. International groundwater modeling center. Colorado School of Mines Golden, Co 80401.
24. Singh, D.K., Rajput, T.B.S., Singh, D.K., Sikarwar, H.S., Sahoo, R.N., and Ahmad, T. 2006. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *J. Agric. Water Manage.* 83: 130-134.

25. Skaggs, T.H., Trout, T.J., Simunek, J., and Shouse, J. 2004. Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observations. *J. Irrig. Drain. Engin.* 130: 4. 1-7.
26. Thompson, T.L., White, S.A., Walorth, J., and Sower, G.J. 2003. Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated Broccoli. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 67: 910-918.
27. Tarkalson, D.D., Van Donk, S.J., and Petersen, J.L. 2009. Effect of Nitrogen Application Timing on Corn Production Using Subsurface Drip Irrigation. *Soil Science.* 174: 3. 174-179.
28. Wheaton, A.D., McKenzie, B.M., and Tisdall, J.M. 2008. Management to increase the depth of soft soil improves soil conditions and grapevine performance in an irrigated vineyard. *Soil and Tillage Research.* 98: 1. 68-80.
29. Yin, X., Seavert, C.F., and Roux, J. 2011. Responses of irrigation water use and productivity of sweet cherry to single-lateral drip irrigation and ground covers. *Soil Sci.* 176: 1. 39-47.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(6), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Evaluation of the Hydrus-2D in simulation of drainage water and phosphorus leaching with different fertigation methods in onion field

A. Ranjbarian¹, *Kh. Ajdary² and H. Ghorbani²

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil and Water, University of Technology, Shahrood,

²Associate Prof., Dept. of Soil and Water, University of Technology, Shahrood

Received: 05/10/2013; Accepted: 08/24/2013

Abstract

Selection of proper fertigation method will decrease environmental pollution. The objective of this research was estimation of drainage water and phosphorus leaching with different fertigation methods in onion field in Shahrood. In this research 4 fertigation methods were used. Two methods were weekly fertigation of 10 minutes before and after irrigation and other two methods were alternate day fertigation of 10 minutes before and after irrigation with drip system in 3 types of soils i.e. sandy loam, sandy clay loam and silty clay loam. Modeling method has been used in this research. Results showed that in the fertigation system drainage water was 3% and in basin irrigation it was more than 50%. Also results showed that the method of weekly fertigation 10 minute before irrigation was the best method in comparison with other methods. This method comparing with fertigation methods had 28% more yield and with comparison to basin irrigation it had 70% more yield in sandy loam soil. In this method phosphorus leaching was 0.9, 0.8 and 0.6 kg/ha in sandy loam, sandy clay loam and silty clay loam soil respectively. This method with comparison of alternate day fertilizer distribution show's 12, 7.6 and 4.4% less phosphorus leaching in sandy loam, sandy clay loam and silty clay loam soil, respectively. Moreover it was revealed that this method show's 32.2 percent less phosphorus leaching in sandy loam soil comparing to basin irrigation method.

Keywords: Phosphorus leaching, Simulation, Fertigation, Drainage water, Root zone

* Corresponding Author; Email: azhdary2005@yahoo.co.in

