



کاربرد مدل HYDRUS-2D در شبیه سازی حرکت عمقی نیترات در خاک با سیستم کود آبیاری

خلیل اژدری^{۱*}، سید علی شاهرانی^۲ و هادی قربانی^۲

^۱ دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

^۲ دانش آموخته ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهرود

^۲ دانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

چکیده

مؤثرترین روش بکارگیری آب و کود در سبزیجات و محصولات باغی، کوددهی همراه با آبیاری (کود آبیاری) است که برای اجرای آن نیاز به اجرای سیستم تحت فشار قطره‌ای می‌باشد. در این روش عناصر غذایی در خاک کنترل گردیده و مطابق با نیاز رشد گیاه در اختیار آن قرار داده می‌شود. در تحقیق حاضر نحوه حرکت نیترات در خاک در طول فصل رشد گیاه گوجه‌فرنگی در قالب سیستم کود آبیاری بررسی شده است. نتایج نشان داد که برنامه آبیاری ۴۸ ساعته و کوددهی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری به صورت هفتگی بهترین نحوه توزیع کود برای این محصول می‌باشد. نتایج مربوط به شبیه‌سازی توزیع عمقی نیترات در خاک نیز نشان داد که حداکثر مقدار نیترات تراکم یافته در عمق خاک، در هفته آخر نسبت به هفته اول ۳۰ درصد افزایش داشته که تقریباً مطابق با درصد افزایش عمق ریشه‌دوانی در این هفته‌ها بوده است. همچنین نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل HYDRUS-2D حاکی از آن بود که بیشترین تمرکز نیترات در طول دوره رشد گیاه انتخابی در منطقه توسعه ریشه بوده و لذا مواد مغذی در هنگام نیاز گیاه کاملاً در دسترس بوده است.

کلمات کلیدی: آب‌شویی؛ کود آبیاری؛ نیترات، شبیه‌سازی؛ گوجه‌فرنگی.

۱- مقدمه

و کشاورزان را در مناطق گرم و خشک ایران مجبور به استفاده از سیستم‌های تحت فشار نظیر آبیاری قطره‌ای نموده است. از سوی دیگر طراحی صحیح این سیستم‌ها نیاز به اطلاعات کافی از نحوه توزیع جریان آب در خاک به صورت افقی و عمودی دارد. این نوع اطلاعات در تعیین عمق نصب لوله‌های فرعی، فاصله آن‌ها، فاصله قطره چکان‌ها از هم و چگونگی تنظیم شدت جریان خروجی از آن نقش مهمی ایفا می‌کند. همچنین این نوع اطلاعات در به حداقل رساندن میزان نفوذ عمقی سیستم و تلفات تبخیر نیز تأثیرگذار می‌باشد [۱]. آزمایش‌های وسیع با خاک‌های مختلف و با آب‌دهی مختلف قطره چکان برای تحقیق روی نحوه توزیع آب و مواد مغذی جهت به دست آوردن پارامترهای مدیریتی و طراحی یک سیستم آبیاری درست، کار پرهزینه و وقت‌گیری است. یک مدل مناسب کالیبره شده که توانایی شبیه‌سازی توزیع جریان آب و مواد محلول در خاک را داشته باشد، زمان و هزینه اقتصادی مطالعه را در این خصوص کاهش می‌دهد. محققین با شبیه‌سازی

سیستم کود آبیاری مؤثرترین روش بکارگیری آب و کود در سبزیجات و محصولات باغی است که از طریق آبیاری قطره‌ای کاربردی می‌گردد. در این روش به دلیل مصرف بهینه آب و کود، آلودگی محیط زیست به حداقل رسیده و تقسیم مصرف کودها در مواقع مورد نیاز گیاه به سهولت انجام می‌پذیرد. همچنین از هدر رفتن کود به دلیل کنترل عناصر غذایی در خاک جلوگیری شده و مطابق با نیاز رشد گیاه در اختیار آن قرار داده می‌شود. از طرفی به دلیل حلالیت یکنواخت کودهای ازته در آب آبیاری جذب آن بهتر صورت می‌گیرد. از مزایای بالقوه این روش عبارتند از: بازده بالای آب، افزایش محصول، امکان بکارگیری کود و سم همراه با آب آبیاری، جلوگیری از رویش علف‌های هرز و نیاز کمتر به نیروی انسانی. مزایای استفاده از سیستم کودآبیاری و آبیاری قطره‌ای در انواع گیاهان از سوی محققین گزارش گردیده است [۴، ۹، ۱۰]. کمبود منابع آبی، کیفیت نامناسب آب کاربردی و تبخیر بالا، باغداران

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۲۵۷۳۵۴۴۲

آدرس پست الکترونیک: azhdary2005@yahoo.co.in

حرکت آب در سیستم آبیاری قطره‌ای به این نتیجه رسیدند که اطلاعات به دست آمده از نحوه توزیع رطوبت خاک، برای سیستم آبیاری کافی نبوده و مدل‌سازی محیط قطره چکان ضروری می‌باشد [۸]. بکارگیری مدل‌های کامپیوتری به ما این امکان را می‌دهد تا بهترین میزان کوددهی نیتروژن را جهت به حداقل رساندن تلفات نیترات از طریق آب‌شویی، بدون کاهش عملکرد تعیین کنیم [۶]. مدل Hydrus-2D از جمله مدل‌هایی است که جابجایی آب در خاک را با کاربرد معادله داری و عموماً حل معادله ریچاردز شرح می‌دهد. دانشمندان با بکارگیری مدل Hydrus-2D بیان کردند که شبیه‌سازی حرکت آب و مواد مغذی در خاک توسط مدل‌های مطمئن، درک ما را برای تعیین وضعیت کوددهی و تشخیص حرکات بعدی مواد مغذی در خاک افزایش می‌دهد [۲]. محققان دیگر نیز با کاربرد این مدل در مطالعه سناریوهای مختلف کود آبیاری به این مطلب اذعان نمودند که مدل Hydrus-2D از توانایی بالایی در شبیه‌سازی توزیع آب و نیتروژن در سیستم کود آبیاری، برخوردار است [۳]. هدف از این تحقیق بررسی چگونگی حرکت نیترات از لایه‌های عمقی خاک در سیستم کود آبیاری به روش مدل‌سازی و کالیبره کردن مدل HYDRUS-2D نسبت به حرکت آب و نیترات در لایه‌های خاک و همچنین مقایسه مطالعه مبتنی بر شبیه‌سازی رفتار نیترات در لایه‌های خاک در سیستم کود آبیاری با مطالعات معمولی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود واقع در بسطام انجام شد. این مزرعه در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۸ دقیقه و ۳۱/۸۵ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۷ دقیقه و ۳۳/۲۹ ثانیه شمالی قرار دارد. همچنین این منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک بوده، به طوری که میانگین بارش سالیانه آن ۱۶۷ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد و بر اساس اقلیم نمای آمبرژه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم می‌باشد. گیاه کشت شده در این تحقیق گوجه‌فرنگی بود. برای اجرای این طرح یک سیستم آبیاری قطره‌ای کامل مورد نیاز بود. سیستم مورد نظر بر اساس امکانات موجود در منطقه طراحی و اجرا گردید که شامل قسمت‌های مختلف نظیر فیلتر، تانک کود و شیر آلات کنترل فشار بود. در این سیستم آب

خروجی از تانک کود پس از عبور از فیلتر وارد لوله اصلی شده و سپس به لوله‌های فرعی می‌رسید و از طریق قطره چکان‌های مربوطه توزیع می‌گردید. بر روی هر لوله فرعی عبوری از داخل کرت‌ها، شیرهای کنترل کننده نصب گردید و در مواقع ضروری از آن‌ها استفاده می‌شد. آب مورد نیاز برای آبیاری زمین از یک حلقه چاه با pH=۸ و EC=۰/۲۱۲ ds/m که بیان‌گر کیفیت مطلوب آن است، تأمین شد. سطح خالص زمین مورد استفاده ۱۹۲ مترمربع بود، که به صورت سه کرت ۴×۱۶ مترمربع طراحی گردید. از هر کرت اصلی پنج لوله فرعی عبور داده شد که قطر لوله‌های فرعی یک سانتی‌متر بود و بر روی لوله‌ها به فاصله هر ۴۰ سانتی‌متر یک قطره چکان نصب گردید که فواصل قطره چکان‌ها با تعداد بوته‌های کاشته شده در هر ردیف مطابقت داشت. فاصله هر دو لوله فرعی ۶۰ سانتی‌متر و فاصله لوله فرعی کناری از مرز کرت مجاور ۸۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بعد از نصب کامل سیستم آبیاری قطره‌ای اتصالات آن تست شده و اطمینان حاصل گردید که دبی قطره چکان‌ها ۴ لیتر بر ساعت است. در شکل ۱ شمایی از محل اجرای تحقیق آورده شده که خصوصیات ذکر شده در بالا در آن به تصویر کشیده شده است. در این تحقیق در انتهای سیستم کود آبیاری یک طرح آبیاری سطحی با توزیع ۱۰۰ درصد کود مورد نیاز ایجاد شد و هدف از آن فقط مقایسه پارامترهای رویشی گیاه با سیستم کود آبیاری بود و در آن مطالعه مدل‌سازی حرکت آب و نیترات صورت نگرفت. نتایج مربوط به آن در قسمت نتایج و بحث تشریح گردیده است. بافت خاک (روش هیدرومتری)، EC (متعلق به عصاره خاک)، pH (متعلق به گل اشباع)، جرم مخصوص ظاهری (کلوخه و پارافین)، هدایت هیدرولیکی اشباع (دستگاه گلف) و حد ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی دائم (دستگاه صفحات فشاری) برای خاک منطقه تا عمق ۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است. برای اندازه‌گیری نیترات نیز از روش یکی از محققین استفاده گردید [۵]. در این روش نمونه‌ها در نهایت با دستگاه اسپکترو فتومتر آنالیز شده و سپس اعداد خروجی دستگاه به واحد قابل قبول برای مدل Hydrus-2D تبدیل گردیدند.

۳- مدل Hydrus-2D

برای این کار، مدل، هم با داده‌های مربوط به حرکت آب و هم با داده‌های مربوط به حرکت نیترات واسنجی گردید. شکل ۲ مربوط به مقایسه نحوه توزیع نیترات در ماه سوم از دوره رویش گیاه بر اساس شبیه‌سازی مدل می‌باشد. در این شکل مشاهده می‌شود که مقادیر شبیه‌سازی شده غلظت نیترات توسط مدل، روندی بسیار مشابه با مقادیر مشاهده شده در ساعات مختلف پس از کود آبیاری را طی کرده‌اند. همچنین از رگرسیون خطی حاصل از این اشکال کاملاً پیداست که مقادیر مشاهده شده غلظت نیترات نسبت به مقادیر شبیه‌سازی شده آن توسط مدل، اختلاف چشم‌گیری ندارند. ضرایب همبستگی (R2) بالا در این نمودارها بیان گر همین مطلب می‌باشد. در قسمت صحت سنجی از داده‌های دراز مدت برای آزمایش نتایج مدل استفاده شد.

جدول ۳- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی (شده) در انتهای فصل رشد

جدول ۳ داده‌های مربوط به انتهای دوره رشد گیاه می‌باشد. همان طور که در این جدول ملاحظه می‌شود، روند تغییرات داده‌های مربوط به اندازه‌گیری و شبیه‌سازی در انتهای

عمق خاک (cm)	مقدار نیترات (mg/ml)	
	اندازه‌گیری	شبیه‌سازی (شده)
۱۰	۰/۲۵	۰/۲۴۲
۲۰	۰/۲۶	۰/۲۵
۳۰	۰/۲۳	۰/۲۴
۴۰	۰/۲۱	۰/۲۲
۵۰	۰/۱۸	۰/۱۷
۶۰	۰/۱۵	۰/۱۴۱

دوره رشد گیاه نیز بسیار مشابه هم بوده و تفاوت چشم‌گیری بین آن‌ها مشاهده نمی‌شود و این موضوع نشان می‌دهد که این مدل می‌تواند شبیه‌سازی حرکت آب و املاح مانند نیترات را در دراز مدت نیز به خوبی انجام دهد. به

این مدل، معادله ریچاردز را برای حرکت آب و مواد محلول در خاک حل می‌کند. مدل فوق در حل معادله جریان و انتقال محلول شرایط مرزی متعددی را در نظر می‌گیرد و در حین اجرا شدن، حرکت آب و مواد انتقالی از سطح خاک به اعماق مختلف را در شرایط مختلف شبیه‌سازی می‌کند. یکی از محاسن اصلی این مدل این است که دوره اجرای آن را می‌توان مطابق با دوره رویش گیاه تنظیم نمود و لذا از لحظه به لحظه رویش گیاه می‌توان اطلاعات و داده‌های کیفی مناسب اخذ نمود. جزئیات کامل مربوط به این مدل در راهنمای تخصصی آن آمده است [۷] فرم تغییر شکل یافته معادله ریچاردز برای جریان آب از یک منبع نقطه‌ای به شکل زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial r} \left\{ K(h) \frac{\partial h}{\partial r} \right\} + \frac{K(h)}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ K(h) \left(\frac{\partial h}{\partial z} + 1 \right) \right\} \quad (1)$$

که در این رابطه θ رطوبت حجمی (cm³ cm⁻³)، h بار هیدرولیکی یا بار آبی، t زمان، r فاصله شعاعی از محل قطره-چکان، z مختصات عمودی و k ضریب هیدرولیکی غیر اشباع می‌باشد. این مدل معادله فوق را با بکارگیری روش خطی عناصر محدود نوع گالرکین^۱ به صورت عددی حل می‌کند [۱].

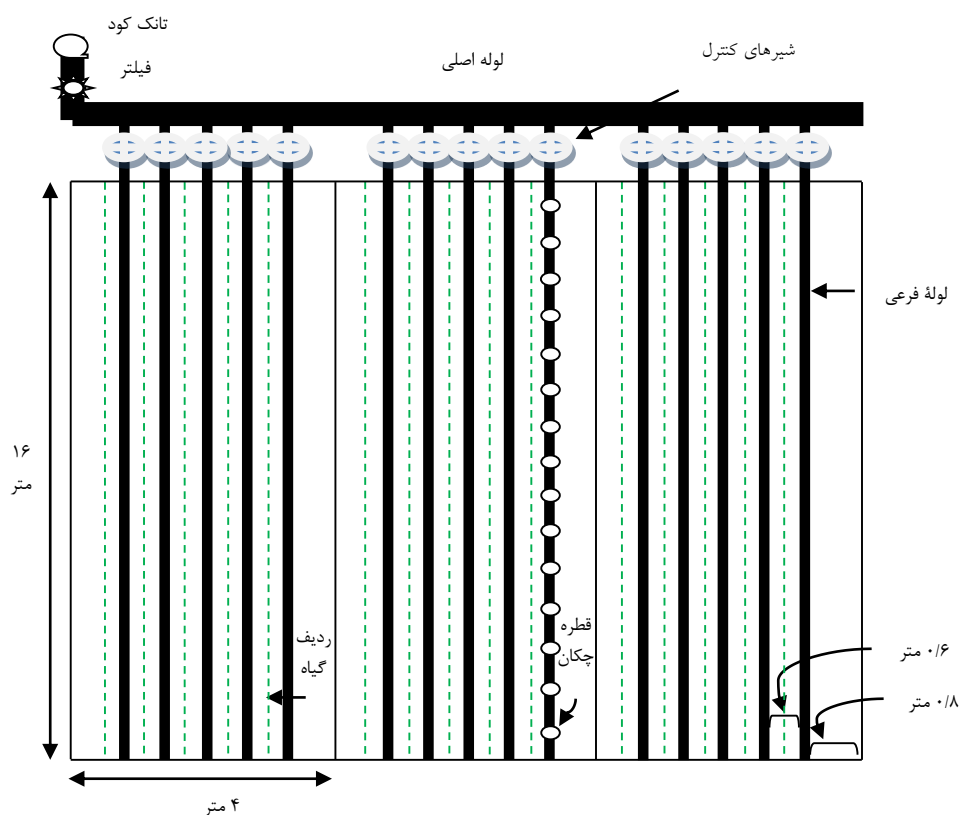
۴- نتایج

برای بررسی و اطمینان هر چه بیشتر از موفقیت طرح، نتایج مربوط به عملکرد پارامترهای رویشی در سیستم کود آبیاری با سیستم آبیاری کرتی مقایسه گردید که نتایج آن در جدول شماره ۲ آمده است. طبق داده‌های این جدول، متوسط عملکرد در سه تیمار مربوط به کود آبیاری نسبت به آبیاری کرتی ۳۰ درصد افزایش و همچنین میانگین بازده مصرف آب و نیتروژن در سیستم کود آبیاری نسبت به آبیاری کرتی به ترتیب ۱۱۲ و ۷۰ درصد افزایش داشته است.

۴-۱- واسنجی و صحت سنجی مدل

قبل از بکارگیری مدل جهت انجام عملیات شبیه‌سازی حرکت نیترات در ناحیه ریشه و پایین‌تر از آن، لازم بود که این مدل با داده‌های مختلف دوره رویش گیاه واسنجی شود.

^۱ Galerkin



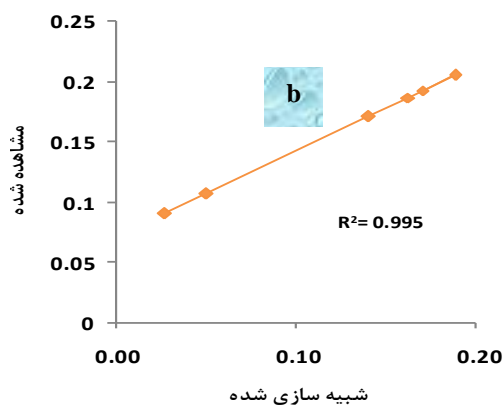
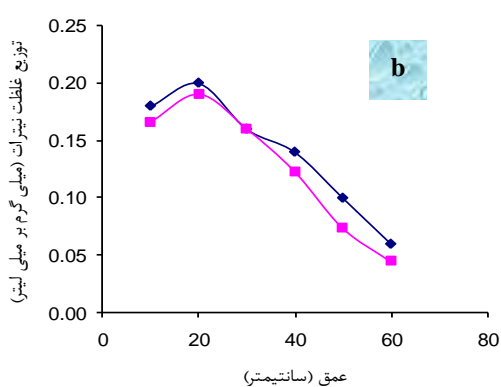
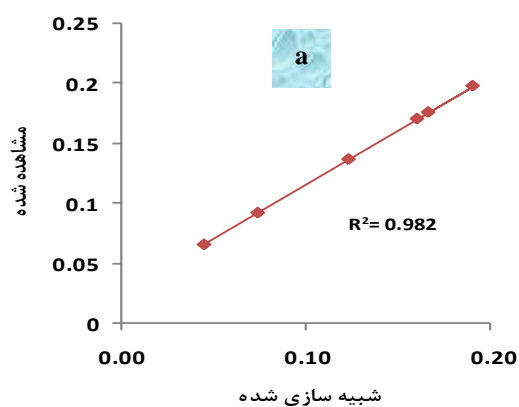
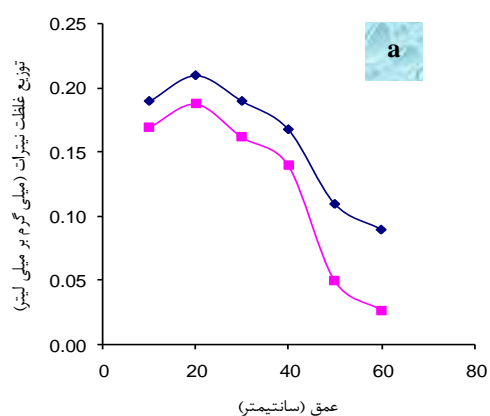
شکل ۱- شمایی از محل تحقیق با سیستم آبیاری قطره‌ای

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل تحقیق

عمق	ذرات (%)			بافت خاک	ضریب نفوذپذیری (cm/h)	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (%)	رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی دائم (%)	pH
	رس	سیلت	شن						
۰-۱۰ (cm)	۳۰	۳۳	۳۷	لوم رسی	۱/۸	۱/۳۸	۲۲/۷۵	۱۳/۶	۷/۷۷
۱۰-۲۰	۳۲	۳۲	۳۶	لوم رسی	۱/۸	۱/۳۶	۲۱/۷۸	۱۱/۱۴	۷/۸۲
۲۰-۳۰	۳۰	۳۴	۳۶	لوم رسی	۱/۵۱	۱/۴۸	۲۵/۵۷	۱۱/۸	۷/۸۱
۳۰-۴۰	۲۶	۱۲	۶۲	لوم رسی شنی	۱/۹۴	۱/۳۶	۲۲/۴۶	۱۲/۲۷	۷/۹
۴۰-۵۰	۱۸	۳۲	۵۰	لوم رسی شنی	۱/۹۷	۱/۵۰	۲۶/۰۸	۱۳/۴۷	۷/۸۴
۵۰-۶۰	۲۸	۳۰	۴۲	لوم رسی	۱/۰۱	۱/۵۱	۲۶/۷۲	۱۴/۸	۷/۸۸

جدول ۲- نتایج مربوط به عملکرد گیاه، بازده مصرف آب و بازده مصرف کود نیتروژن

تیمار	عملکرد (t/ha)	میزان آب مصرفی (m ³)	بازده مصرف آب (kg/m ³)	میزان نیتروژن مصرفی (kg/ha)	بازده مصرف نیتروژن (t/kg)
T ₁ (۱۰۰٪ کود آبیاری)	۷۱/۹۱	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۳۶	۱۰۰	۰/۷۲
T ₂ (۸۰٪ کود آبیاری)	۷۳/۷۱	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۸۰	۸۰	۰/۹۲
T ₃ (۶۰٪ کود آبیاری)	۷۲/۰۶	۴۱۴۰/۶۲	۱۷/۴۰	۶۰	۱/۲
T ₄ (۱۰۰٪ آبیاری سطحی)	۵۵/۸۵	۶۷۵۰	۸/۲۷	۱۰۰	۰/۵۶



—◆— شبه سازی —■— مشاهده شده

شکل ۲- توزیع نیترات در ماه سوم از دوره رویش گیاه و رگرسیون خطی حاصل از آن
(a) ۲۴ ساعت (b) ۴۸ ساعت بعد از آبیاری

همین خاطر بعد از این آزمایش‌ها این مدل جهت شبیه‌سازی-های مختلف به کار گرفته شد.

۲-۴- شبیه‌سازی توزیع عمقی نیترات

شبیه‌سازی‌های مختلف از توزیع عمقی نیترات در طول دوره رویش گیاه انتخابی در شکل‌های ۳ تا ۵ آمده است. شکل ۳ توزیع عمقی نیترات را در هفته‌های اول و سوم از دوره رویش گیاه نشان می‌دهد. شکل ۳ از دو بخش نمودار و اسپکتروم رنگی تشکیل شده است. بخش رنگی دارای مقیاس خاصی است که مقدار عددی توزیع نیترات را نشان می‌دهد. نکات بسیار حائز اهمیتی در این شکل وجود دارد. از آنجا که این شکل پس از واسنجی و صحت‌سنجی مستقیماً شبیه‌سازی مدل را نشان می‌دهد از درجه اطمینان بالایی برخوردار است. اولین نکته در شکل ۳ این است که قسمت اول منحنی توزیع عمقی نیترات، صعودی است و این بخش صعودی در نمودار a حداکثر تا عمق ۶ سانتی‌متر و در نمودار b تا عمق ۸ سانتی‌متر از سطح خاک ادامه داشته و سپس منحنی سیر نزولی را طی کرده است. مفهوم این نوع توزیع این است که فشار محلول خروجی از منبع تغذیه‌کننده طوری تنظیم گردیده که در هفته‌های اول حداکثر مقدار نیترات توزیع شده در اعماق نزدیک سطح زمین قرار گرفته و به اعماق زیرین انتقال نیافته است. نکته مهم دیگر این است که پس از یک نقطه اوج، منحنی به شدت سیر نزولی پیدا کرده و نفوذ نیترات به لایه‌های پایین‌تر به شدت کاهش یافته است. از آنجا که در هفته‌های اول از فصل رویش، گیاه انتخابی در مراحل اولیه رشد خود بوده و عمق ریشه‌دوانی حدوداً ۶-۵ سانتی‌متر بوده است، لذا تمرکز نیترات در ناحیه اطراف ریشه در این زمان تأثیر مهمی در جذب مواد غذایی گیاه داشته و گیاه را در این مرحله دچار فقر غذایی نخواهد کرد. با توجه به شکل ۴ ملاحظه می‌شود که مقدار نیترات در سطح خاک نسبت به هفته‌های قبل کاهش داشته است و این مطلب می‌تواند به دلیل تبخیر نیترات از سطح خاک باشد. همچنین در این شکل بار دیگر می‌بینیم که سیر نزولی حرکت نیترات به سمت لایه‌های پایین پس از یک نقطه اوج صورت گرفته و حاکی از آن است که قطره‌چکان در توزیع محلول به درستی عمل کرده است.

نکته حائز اهمیت این است که نقطه اوج در هر ۱۵ روز به صورت منظم افزایش داشته، به طوری که در هفته‌های پنجم،

هفتم و نهم به ترتیب به ۱۰، ۱۱ و ۱۲ سانتی‌متری سطح خاک رسیده است.

از اسپکتروم‌های رنگی شکل ۵ نیز در می‌یابیم که بیشترین تراکم توزیع مواد غذایی در اطراف بوته گیاه بوده است، که باز هم حاکی از عملکرد خوب سیستم کود آبیاری و فشار مناسب قطره‌چکان‌ها می‌باشد و باعث جلوگیری از اتلاف محلول غذایی در سطوح برهنه خاک شده است. در این نمودارها نیز روند منظم افزایش نقطه اوج کاملاً مشهود است به طوری که در هفته آخر به حدود ۲۱ سانتی‌متری سطح خاک رسیده است. اندازه‌گیری طول ریشه در دوره‌های مختلف از رشد گیاه نشان می‌دهد که این نحوه توزیع نیترات با روند توسعه ریشه گیاه کاملاً مطابقت داشته است، به نحوی که طول ریشه در هفته اول تا سوم ۵ سانتی‌متر و در انتهای فصل رشد متوسط ۲۲ سانتی‌متر بوده است. بدیهی است که این نتایج تنها زمانی حاصل می‌شود که سیستم آبیاری قطره‌ای به طور صحیح نصب گردیده و بهترین برنامه کود آبیاری جهت اجرای طرح برگزیده شده باشد.

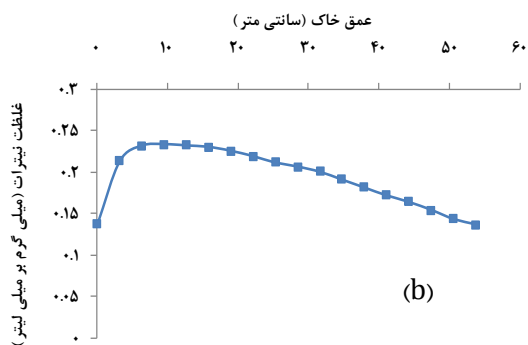
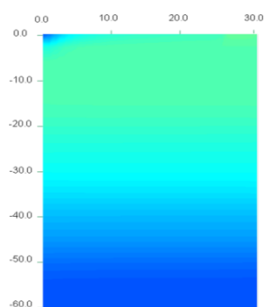
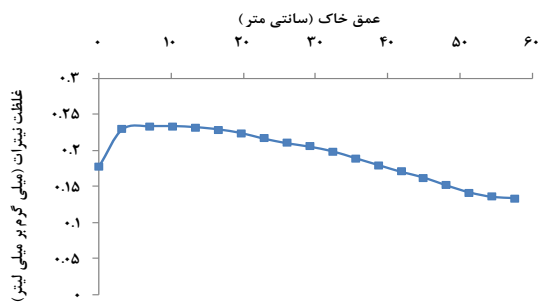
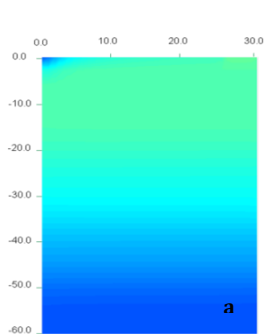
۵- نتیجه گیری

با توجه به مجموع نتایج حاصل از تحقیق اعم از عملکردهای پارامترهای رویشی گیاه، واسنجی و صحت‌سنجی مدل و شبیه‌سازی‌های مختلف آن در مورد توزیع عمقی نیترات در طول دوره رویش گیاه و همچنین نتایج حاصل از مقدار انتقال نیترات به لایه‌های پایین‌تر از منطقه توسعه ریشه، نکات مهمی به دست می‌آید.

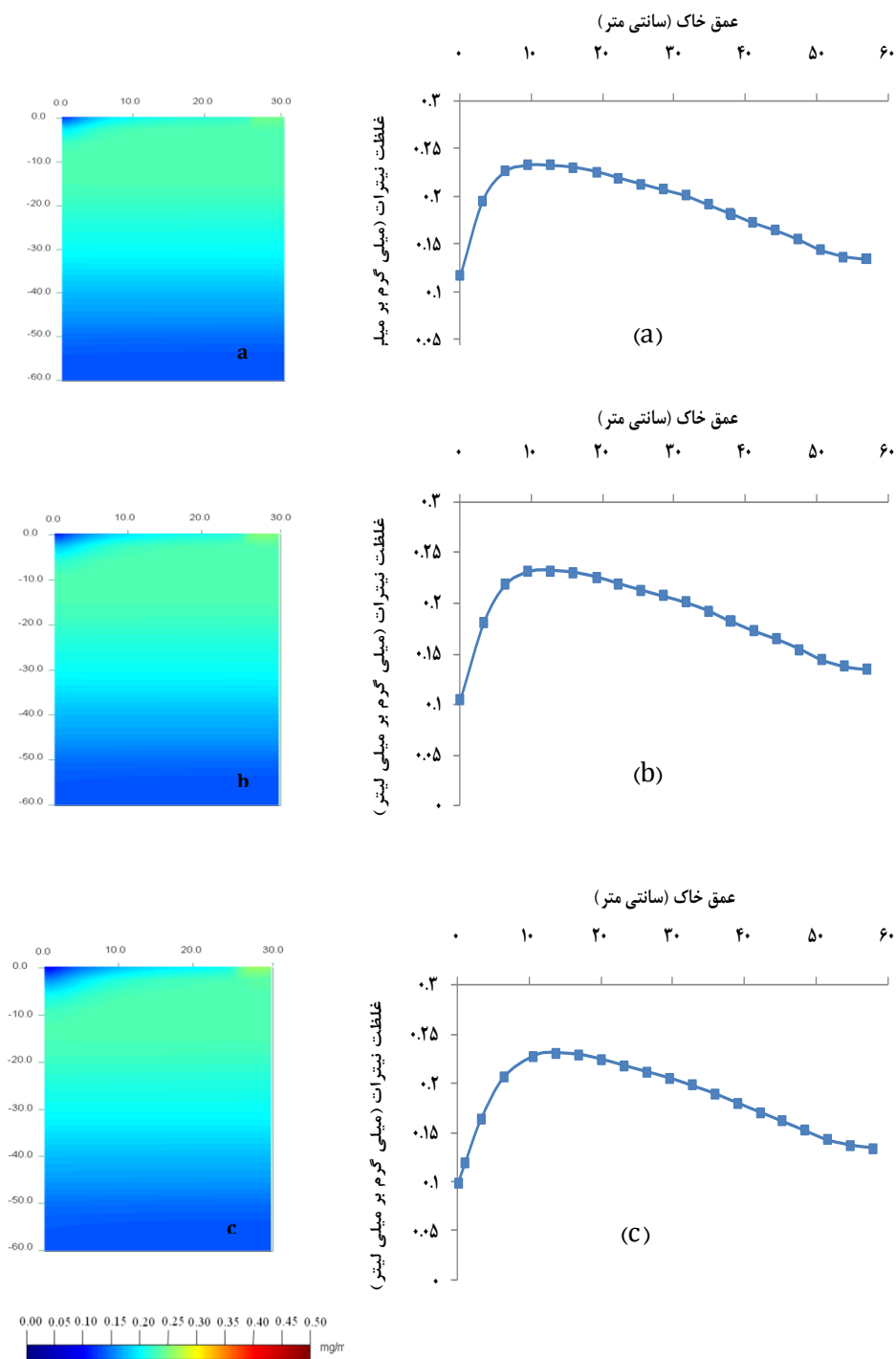
شبیه‌سازی توزیع عمقی نیترات با مدل مربوطه نشان داد که توزیع این ماده در مراحل مختلف دوره رشد گیاه از یک منحنی بسیار ایده آل تبعیت می‌کند، طوری که در یک سیستم پیشرفته می‌توان انتظار چنین منحنی را داشت. روند تغییرات این منحنی طوری بود که از سطح خاک تا ناحیه توسعه ریشه در هفته‌های مختلف سیر صعودی داشته و پس از رسیدن به یک حداکثر سیر نزولی را طی کرده است و این رفتار در کلیه مراحل دوره رشد تکرار گردیده است. نتایج مربوط به شبیه‌سازی توزیع عمقی نیترات نیز نشان داد که نقطه اوج منحنی-های مربوطه در هفته آخر نسبت به هفته اول ۳۰ درصد افزایش داشته که تقریباً مطابق با درصد افزایش عمق ریشه‌دوانی در این هفته‌ها می‌باشد و این مطلب حاکی از آن است که بیشترین تمرکز نیترات در طول دوره رشد گیاه انتخابی، در منطقه

سیستم کوددهی ۱۰ دقیقه قبل از آبیاری در هر هفته مناسب‌ترین روش توزیع کود برای محصول گوجه‌فرنگی در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد.

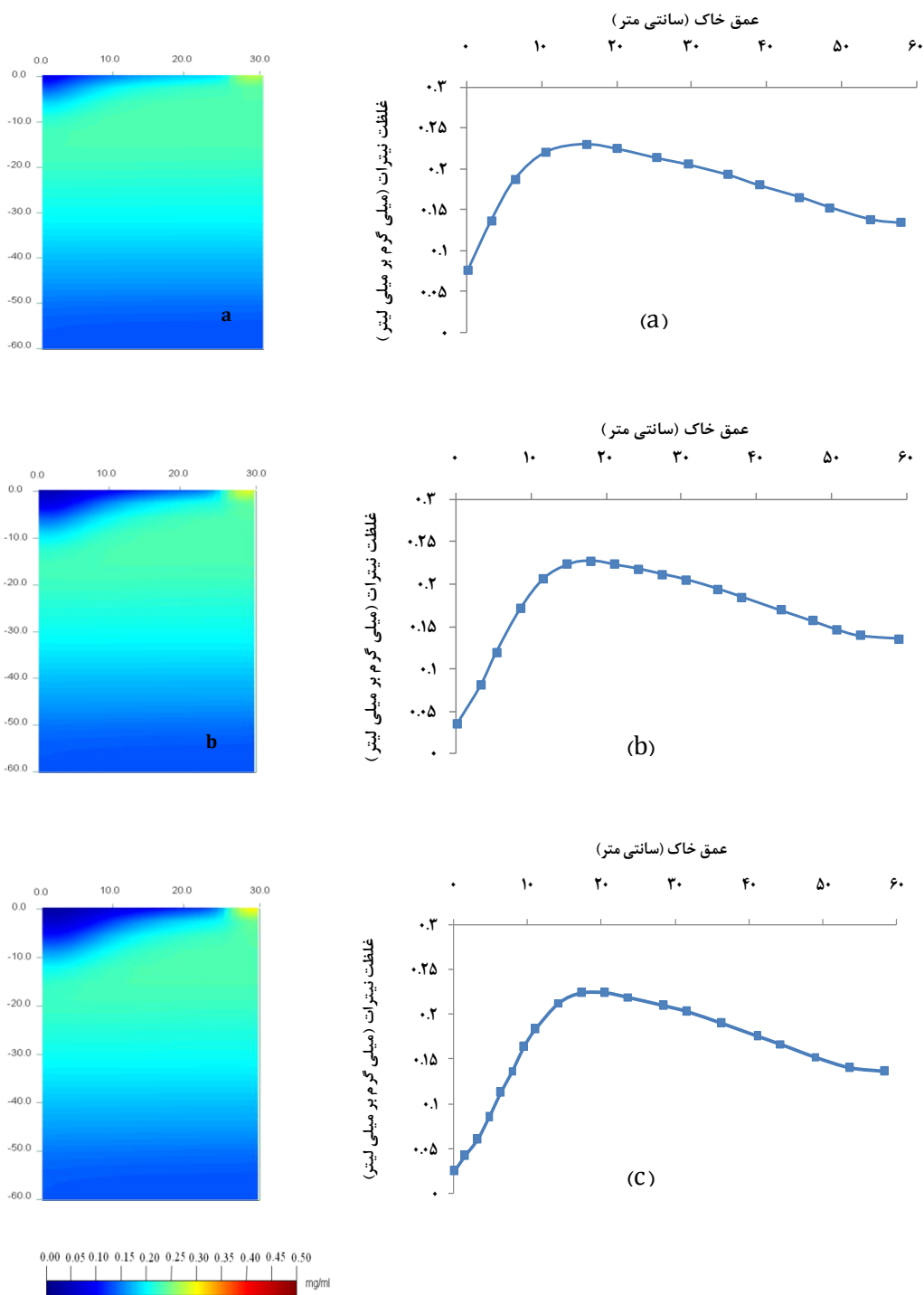
توسعه ریشه بوده و لذا مواد مغذی در هنگام نیاز کاملاً در دسترس بوده و گیاه دچار تنش نشده است. استراتژی آبیاری ۴۸ ساعته، کود آبیاری هفتگی و



شکل ۳- شبیه‌سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفته اول (b) هفته سوم



شکل ۴- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفته پنجم (b) هفته هفتم (c) هفته نهم



شکل ۵- شبیه سازی تغییرات نیترات با عمق (a) هفته یازدهم (b) هفته چهاردهم (c) هفته آخر

- مراجع**
- [۱] ازدیری خ (۱۳۸۷) شبیه‌سازی توزیع رطوبت در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای با استفاده از مدل HYDRUS-2D. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۵(۱): ۱۴-۱.
- [2] Assefa B, Chen Y (2008) Simulation of the lateral movement of NO₃-N in soils following liquid manure injection. Canadian Bio systems Engineering 50: 217-226.
- [3] Gardnas AI, Hpmans JW, Hanson BR, Simunek J (2005) Two-dimensional modeling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation. Agricultural Water Management 74(3): 219-242.
- [4] Hochmuth GJ (2000) Nitrogen management practices for vegetable production in Florida. Circular 1222, University of Florida.
- [5] Miranda KM, Espey MG, Wink DA (2001) A rapid, simple spectrophotometric method for simultaneous detection of nitrate and nitrite. Nitric Oxide 5: 62-71.
- [6] Paz JM, Ramos C (2003) Simulation of nitrate leaching for different nitrogen fertilization rates in a region of Valencia (Spain) using a GIS-GLEAMS system. Agriculture, Ecosystems and Environment 103: 59-73.
- [7] Simunek J, Sejna M, Van GM (1999) The HYDRUS-2D software package for simulating the two-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. US salinity Laboratory Agricultural Research Service US Department of Agricultural Riverside, California: p 226.
- [8] Singh DK, Rajput TBS, Sikarwar HS, Sahoo RN, Ahmad T (2006) Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. J Agricultural Water Management 83: 130-134.
- [9] Skaggs TH, Trout TJ, Simunek J, Shouse J (2004) Comparison of HYDRUS-2D simulation of drip irrigation with experimental observation. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 130(4): 1-7.
- [10] Thompson TL, White SA, Walorth J, Sower GJ (2003) Fertigation frequency for subsurface drip-irrigated Broccoli. Soil Sci Soc Am J 67: 910-918.