

ارزیابی یکنواختی کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای

فریبرز عباسی*^۱، عبدالمجید لیاقت^۲ و امیر گنججه^۳
۱، عضو هیأت علمی (استادیار) مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
۲، ۳، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج
(تاریخ دریافت: ۸۶/۳/۲۰ - تاریخ تصویب: ۸۶/۱۲/۱۵)

چکیده

بکار بردن کود همراه آب آبیاری در حال گسترش است. لذا، تعیین معیارهای مناسب آن در روش‌های آبیاری سطحی امری ضروری است. در این تحقیق مسائل فنی کودآبیاری شامل یکنواختی توزیع، زمان تزریق و مدت زمان تزریق در آبیاری جویچه‌ای با دو رژیم انتها بسته و انتها باز با کاهش جریان و با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای و یک مدل ریاضی کودآبیاری بررسی شده است. آزمایش‌های مزرعه‌ای در سال ۱۳۸۴ در یک خاک لومی بدون پوشش گیاهی در قالب اسپلیت پلات با طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با استفاده از دو رژیم آبیاری جویچه‌ای (انتها بسته و انتها باز هر دو با کاهش جریان) به عنوان فاکتور اصلی و سه تیمار تزریق کود نترات پتاسیم شامل تزریق در تمام مدت زمان آبیاری، تزریق در نیمه اول آبیاری و تزریق در نیمه دوم آبیاری به عنوان فاکتور فرعی در دو تکرار اجرا شد. شاخص‌های توزیع یکنواختی نیمه (DULH) و چارک پایین (DULQ) برای آب و کود در آزمایش‌های مختلف تعیین و با مقادیر برآورد شده به وسیله مدل کودآبیاری مقایسه گردید. نتایج نشان داد که یکنواختی توزیع نیمه پایین کود برای آزمایش‌های تزریق کود در نیمه اول آبیاری بین ۸۱ تا ۸۹ درصد، برای آزمایش‌های تزریق در نیمه دوم آبیاری بین ۹۳ تا ۹۶ درصد و برای تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری بین ۸۷ تا ۹۳ درصد متغیر می‌باشد. یکنواختی توزیع نیمه پایین آب در همه آزمایش‌ها بسیار بالا و بین ۹۴ تا ۹۸ درصد تغییر نمود. آنالیز حساسیت نشان داد که ضریب انتشارپذیری طولی، پارامتر حساسی در مطالعه انتقال املاح روی سطح خاک نیست. نتایج حاکی از آن است که تزریق در نیمه دوم نسبت به تزریق در نیمه اول و کل آبیاری بهتر است. بهترین گزینه تزریق در نیمه دوم با شرایط انتها بسته می‌باشد. زیرا رواناب کودی در این حالت صفر و یکنواختی توزیع کود نیز قدری بالاتر است. نتایج مدل نیز تزریق در نیمه دوم با شرایط انتهای بسته را بهترین حالت نشان می‌دهد. از نظر یکنواختی توزیع کود، بین آزمایش‌های انتها باز و انتها بسته اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. تلفات کود به صورت رواناب در جویچه‌های انتهای باز بین ۱۷/۷ تا ۵۰/۲ درصد متغیر بود. نتایج نشان داد که در صورت مدیریت صحیح، آبشویی و تلفات نفوذ عمقی عامل تهدید کننده‌ای در این روش کوددهی نیست.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، کودآبیاری، مدل ریاضی، یکنواختی توزیع.

مقدمه

امروزه در کشاورزی نوین کاربرد توأم کودهای ازته و آب تحت عنوان کودآبیاری^۱ در روشهای آبیاری تحت فشار عمومیت پیدا کرده است. در این روش از کاربرد کود، امکان مصرف کم، مکرر و تقسیطی عناصر غذایی در طول دوره رشد مطابق با نیاز گیاه وجود دارد. همچنین پخش یکنواخت کود در خاک و توزیع یکنواخت آن در طول دوره رشد امکان پذیر است. تاکنون مسئله کودآبیاری در روش های آبیاری سطحی، که در بسیاری از مناطق جهان بیش از ۹۰ درصد اراضی آبی با آن روش آبیاری می شود، مورد کم توجهی قرار گرفته است. تصور موجود این است که آبیاری سطحی از بازده و یکنواختی توزیع پایینی برخوردار است. اما نتایج برخی مطالعات تحقیقاتی نشان می دهد که به طور کلی یکنواختی آبیاری نواری و جویچه ای کمتر از سامانه های آبیاری تحت فشار نبوده است (۱۱). نتایج تحقیقات نشان داده که کودآبیاری باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول می شود (۱۷، ۱۹). بر اساس نتایج واعظی و همکاران (۲۰۰۲) در کودآبیاری با مصرف کود کمتر نسبت به پخش سطحی کود، کارایی مصرف آب و همچنین کارایی مصرف کود افزایش می یابد. پاپادوپولوس (۱۹۹۲) تاثیر کودآبیاری را روی محصولات مختلف نظیر سیب زمینی، گوجه فرنگی، هویج، خیار، هندوانه و توت فرنگی ارزیابی نمود. نتایج پژوهش وی نشان داد که کارایی مصرف آب و کود و عملکرد محصول در این روش بیشتر از روش معمول بوده است. نتایج اریکسون (۱۹۹۳) و هاچ ماس و همکاران (۱۹۹۶) نشان از عملکرد بیشتر و صرفه جویی حدود ۵۰ درصد در کود مصرفی در روش کودآبیاری است. پاپادوپولوس و لینا (۲۰۰۰) با کاربرد فسفات اوره به روش کودآبیاری افزایش کارایی مصرف کود و عملکرد گوجه فرنگی و بادمجان را گزارش نمودند. مید (۲۰۰۰) با بررسی اثر کودآبیاری روی سبزیجاتی نظیر کاهو و کلم، کارایی مصرف کود را تا ۲ برابر بیشتر نسبت به روش سنتی گزارش کرده است. لوری (۲۰۰۳) تأثیر آبیاری با لوله های نیمه تراوا و کودآبیاری را روی درختان انگور در نیاگارا مطالعه نمود.

نتایج وی نشان داد که کودآبیاری تأثیر مثبتی بر اندازه حبه ها و عملکرد انگور داشت.

هر چند کودآبیاری در روش های آبیاری قطره ای و بارانی توسعه چشمگیری داشته است، لیکن دستورالعمل مناسب برای طراحی و مدیریت کودآبیاری در آبیاری سطحی وجود ندارد. با توجه به اینکه کاربرد کود همراه آب آبیاری در حال گسترش است، تعیین معیارهای مناسب برای کاربرد آن در روش های آبیاری سطحی امری ضروری است. به دلیل تصور موجود که آبیاری سطحی از بازده و یکنواختی توزیع پایینی برخوردار است، استفاده از کودآبیاری در آبیاری سطحی محدود می باشد. ارزیابی تردیگیل (۱۹۸۵) در ایالات متحده نشان می دهد در حالی که کاربرد مواد شیمیایی در آبیاری قطره ای و آبیاری بارانی به ترتیب ۶۱ درصد و ۴۳ درصد می باشد، فقط ۳/۵ درصد سامانه های آبیاری سطحی از این روش استفاده می کردند. احتمالاً دلایل استفاده محدود از این شیوه در آبیاری سطحی به خاطر یکنواختی پایین و تلفات کود بواسطه رواناب می باشد (تردیگیل و همکاران، ۱۹۹۰). تحقیقات هانسون و همکاران (۱۹۹۵) بر روی ۹۵۹ مزرعه در کالیفرنیا نشان می دهد که به طور کلی یکنواختی آبیاری نواری و جویچه ای بیشتر از دیگر سامانه های آبیاری در منطقه بوده است. این یافته ها ضرورت مطالعات بیشتر در خصوص کودآبیاری در روش های آبیاری سطحی را طلب می نمایند.

بولت و همکاران (۱۹۹۴) کود آبیاری در آبیاری موجی را با استفاده از یک مدل ریاضی بررسی نمودند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که استفاده از کود در سیکل نهایی بالاترین یکنواختی توزیع را دارد. نتایج آزمایش های کود-آبیاری جینز و همکاران (۱۹۸۸) نشان از آبشویی سریع کود از طریق جریان ترجیحی را دارد. نتایج آزمایش های جینز و همکاران (۱۹۹۲) در آبیاری کرتی نشان داد که کود آبیاری پتانسیل افزایش نفوذ عمقی کود را به همراه دارد. پلایان و فاسی (۱۹۹۷) یکنواختی کودآبیاری را در آبیاری نواری ارزیابی نمودند. نتایج آزمایش های آنها نشان داد که ضریب توزیع یکنواختی نیمه پایین بین ۳ تا ۵۲ درصد متغیر بود. نتایج تحقیق آنها همچنین نشان داد که تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری بیشترین یکنواختی توزیع و تزریق به-

کوددهی در جویچه‌های معمولی و یک در میان را با کاشت ذرت بررسی نمودند. نتایج آنها نشان داد که بکارگیری کود در جویچه‌هایی که یک در میان آبیاری نمی‌شوند، با جویچه‌هایی که یک در میان آبیاری می‌شوند، به‌طور قابل ملاحظه‌ای آیشویی کود را بدون تاثیر بر عملکرد گیاه، کاهش می‌دهد.

هدف اصلی از این تحقیق بررسی و ارزیابی مسائل فنی کودآبیاری در رژیم‌های مختلف آبیاری جویچه‌ای شامل یکنواختی توزیع، زمان مناسب برای تزریق کود به آب آبیاری و واسنجی و صحت‌سنجی یک مدل ریاضی برای مطالعه کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی و ارزیابی مسائل فنی کود آبیاری در آبیاری جویچه‌ای، آزمایش‌های مزرعه‌ای در یک خاک با بافت لومی بدون پوشش گیاهی در مزرعه ۴۰۰ هکتاری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر (کرج) در تابستان سال ۱۳۸۴ اجرا گردید. برخی ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش در جدول (۱) آمده است. آزمایش‌ها در قالب اسپلیت پلات با طرح بلوک‌های کامل تصادفی روی دو رژیم آبیاری جویچه‌ای (انتها باز و انتها بسته هر دو با کاهش جریان) به عنوان فاکتور اصلی و سه تیمار تزریق کود نیترات پتاسیم شامل تزریق در تمام مدت زمان آبیاری، تزریق در نیمه اول آبیاری و تزریق در نیمه دوم آبیاری به عنوان فاکتور فرعی در دو تکرار (در مجموع ۱۲ آزمایش) اجرا شد. هر آزمایش شامل سه جویچه آزمایشی (یک جویچه اصلی در وسط و دو جویچه محافظ^۲ در دوطرف) بود. طول جویچه‌ها بین ۱۶۰ تا ۱۷۵ متر و فواصل آنها ۰/۷۵ متر اندازه‌گیری گردید. در این آزمایش‌ها، آبیاری‌های اول و دوم به منظور یکنواخت نمودن رطوبت و زبری سطح خاک، با آب معمولی و بدون اضافه نمودن مواد مغذی انجام و تیمارهای کودی در آبیاری سوم اعمال گردید. اعمال کود آبیاری در نوبت سوم آبیاری حائز اهمیت است زیرا بخشی از کود مورد نیاز گیاه همراه کاشت به زمین داده می‌شود. لذا،

صورت پالس‌های کوتاه^۱ کمترین یکنواختی را داشت. آنها در تحقیق خود یک مدل ریاضی ساده نیز بر اساس معادله یک بعدی جریان توده‌ای بسط دادند. گارسیا-ناوارو و همکاران (۲۰۰۰) مدل ریاضی دیگری برای کود آبیاری ارائه و نشان دادند که نسبت به مدل پلایان و فاسی (۱۹۹۷) دقیق‌تر بود. عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) نیز یک مدل ریاضی برای ارزیابی کودآبیاری در آبیاری سطحی ارائه و با داده‌های مزرعه‌ای آزمون نمودند. نتایج آزمایش‌های آنها در یک خاک لوم ماسه‌ای همانند شبیه‌سازی‌های پلایان و فاسی (۱۹۹۷) نشان داد که تزریق کود در نیمه دوم آبیاری و یا تزریق در تمام مدت زمان آبیاری بیشترین توزیع یکنواختی کود را داشت. نتایج مدل آنها نیز با داده‌های مزرعه‌ای مطابقت خوبی داشت. زریهان و همکاران (۲۰۰۵) نیز یک مدل اینرسی صفر آبیاری سطحی را با مدل زیرسطحی HYDRUS-1D (۲۳) برای بهبود مدیریت آبیاری کرتی ترکیب و نتایج آن را با داده‌های مزرعه‌ای مقایسه نمودند. آنها نشان دادند که مدل ترکیبی گزینه خوبی برای مدیریت کودآبیاری سطحی است. نتایج آزمایش‌های آدامسون و همکاران (۲۰۰۵) در نوارهای آبیاری نشان داد که تزریق بروماید در تمام مدت زمان آبیاری بیشترین یکنواختی توزیع را داشت. تزریق در نیمه وسط و نیمه انتهایی آبیاری یکنواختی کمتری داشت. دلیل آن بسته بودن انتهای نوارها و نرسیدن بروماید به بخش انتهایی نوارها به دلیل پس زدن آب گزارش گردید. زریهان و همکاران (۲۰۰۳) نیز شاخص‌های ارزیابی کودآبیاری سطحی را مرور نموده‌اند.

هوم و همکاران (۲۰۰۲) کارآیی مصرف آب و کود را در روش‌های آبیاری بارانی، جویچه‌ای و کرتی در یک خاک درشت بافت را مقایسه و بیشترین تلفات نفوذ عمقی کود را به ترتیب در روش‌های آبیاری جویچه‌ای و بارانی گزارش نمودند. بنجامین و همکاران (۱۹۹۴) انتقال املاح در آبیاری جویچه‌ای معمولی و یک در میان را مقایسه و نتیجه گرفتند که حرکت املاح در جویچه‌هایی که به‌صورت یک در میان آبیاری شده‌اند، حداقل بوده است. بنجامین و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه دیگری در یک خاک لومی تاثیر

آزمایش‌ها طوری تنظیم شده بودند که حدود ۱۰۰ کیلوگرم کود نیترات پتاسیم در هکتار مصرف شود. هنگام تزریق کود، از جویچه اصلی در ایستگاه‌هایی به فواصل ۲۰ متری و همین‌طور انتهای جویچه نمونه‌های آب حاوی کود برداشت و در لوله‌های آزمایشی در پوشدار تا زمان تجزیه نگهداری می‌شد.

در ابتدای تزریق کود هنگامی که آب حاوی کود به هر یک از ایستگاه‌ها می‌رسد، تغییرات غلظت کود ناگهانی است. به همین دلیل نمونه‌برداری در ابتدا با فواصل زمانی کم (هر یک دقیقه) و به تدریج با فواصل زمانی زیاد (حدود ۱۰ دقیقه) انجام می‌گردد. در تیمارهای تزریق کود در نیمه اول آبیاری، هنگام قطع تزریق کود، نمونه‌برداری هر یک دقیقه انجام می‌شد تا غلظت کود به صفر می‌رسید. نمونه‌ها تا زمان تجزیه در یخچال در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شد. برای تعیین غلظت نیترات در نمونه‌ها از روش Spectro photometer استفاده گردید. نمونه‌های خاک از کف جویچه اصلی و در عمق‌های مختلف (۲۰-۰، ۴۰-۲۰، ۶۰-۴۰ و ۸۰-۶۰ سانتی‌متر) در سه نقطه ابتدا، وسط و انتهای جویچه برای تعیین غلظت نیترات، ۷۲ ساعت پس از تزریق کود توسط اگر جمع‌آوری گردید. نمونه‌های خاک در هوای آزاد خشک و سپس از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. غلظت نیترات نمونه‌های خاک پس از تعیین عصاره اشباع آنها با دستگاه Spectro photometer انجام گرفت.

برای تعیین معادله نفوذ از روش بهینه‌سازی استفاده گردید. بدین ترتیب که ابتدا نفوذ پایه با روش ورودی-خروجی و سپس دو پارامتر a و k در معادله نفوذ کوستیاکف-لوتیس و همچنین ضریب زبری مانینگ با سعی و خطا طوری تعیین گردید که بهترین تطابق بین منحنی-های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل اینرسی صفر (۳) ایجاد گردد.

شاخص‌های توزیع یکنواختی نیمه پایین^۱ (DU_{LH}) و چارک پایین^۲ (DU_{LQ}) برای آب و کود در آزمایش‌های مختلف با استفاده از مقدار آب نفوذ یافته و غلظت‌های

نیازی به اضافه نمودن مواد مغذی طی آبیاری‌های اول و دوم که معمولاً یکنواختی آبیاری به دلیل بالا بودن ضریب زبری سطح نیز پایین است، نخواهد بود.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g/cm ³)	EC (dS/m)	pH
۰-۲۰	لوم	۱/۳۴	۱/۱۶	۷/۷۷
۲۰-۴۰	لوم	۱/۴۶	۰/۸۲	۷/۶۷
۴۰-۶۰	لوم	۱/۴۷	۰/۸۰	۷/۸۵
۶۰-۸۰	لوم	۱/۵	۰/۸۷	۷/۶۹

دور آبیاری‌ها، طبق روال معمول منطقه محل اجرای تحقیق برای محصولات تابستانه ۱۰ روز و مدت زمان آبیاری در آبیاری اول حدود ۱۸۰ دقیقه و در آبیاری‌های دوم و سوم حدود ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد. زمان قطع جریان طوری انتخاب شد که آزمایش‌ها به شرایط واقعی و مزرعه نزدیک و متوسط عمق آب نفوذ یافته حداقل ۵۰ میلی‌متر باشد. به منظور کاهش تلفات کود، در کلیه آزمایش‌های کودی (آبیاری سوم) از رژیم کاهش جریان استفاده گردید. بدین منظور، طبق توصیه‌های واکر و اسکوگروبا (۱۹۸۷) پس از تکمیل حدود ۸۰ درصد پیشروی، دبی ورودی جویچه‌ها به حدود نصف مقدار اولیه تقلیل یافت. زمان‌های پیشروی و پسروی به فواصل ۲۰ متری در جویچه‌های آزمایشی یادداشت برداری گردید. جریان ورودی و خروجی از جویچه‌ها با استفاده از فلوم‌های WSC اندازه‌گیری شد. برای دبی ورودی، از شدت جریان‌های نزدیک به بیشترین دبی غیر فرسایشی استفاده گردید.

برای تزریق کود به جویچه‌ها از بشکه‌های بزرگ (۲۲۰ لیتری) استفاده گردید. به طوری که در هر آزمایش برای هر جویچه یک بشکه در نظر گرفته شد. محلول کود از طریق بشکه بزرگ وارد بشکه کوچکتری (۲۰ لیتری) می‌شد. در بشکه کوچک شناوری نصب شده بود که باعث ثابت نگه داشتن دبی تزریق کود به جویچه‌های آزمایشی می‌گردید. قبل از شروع هر آزمایش، کود نیترات پتاسیم با درصد خلوص ۹۹ درصد در ظرف‌های کوچک خارج از بشکه‌ها با آب مخلوط و سپس وارد بشکه‌های ۲۲۰ لیتری می‌شد.

1. Distribution Uniformity of Low Half

2. Distribution Uniformity of Low Quarter

نتایج و بحث

یکنواختی‌های توزیع آب و کود در آبیاری سوم جویچه‌ای-های آزمایشی در جدول (۲) ارائه شده‌است. یکنواختی‌های اندازه‌گیری شده توزیع آب و کود در آزمایش جویچه‌های انتها باز با تزریق در نیمه دوم آبیاری (آزمایش F-SH-2) به دلیل کاهش زیاد دبی ورودی قبل از تکمیل مرحله پیشروی کمتر از سایر آزمایش‌های اجراء شده می‌باشد. ویژگی‌های نفوذپذیری نیز در این آزمایش در مقایسه با دیگر آزمایش‌ها قدری بیشتر بود (نتایج نشان داده نشده‌اند). جبهه پیشروی در این آزمایش هرگز به انتهای مزرعه نرسید (جدول ۳). در سایر آزمایش‌ها، یکنواختی‌های توزیع آب و کود نسبتاً بالا است. دلیل آن انتخاب حداکثر دبی ممکن (غیر فرسایشی) است. نتایج نشان می‌دهد که یکنواختی توزیع نیمه پایین کود برای آزمایش‌های تزریق کود در نیمه اول آبیاری بین ۸۱ تا ۸۹ درصد می‌باشد. در حالی که یکنواختی توزیع نیمه پایین آب بین ۹۶ تا ۹۸ درصد برآورد گردید. یکنواختی توزیع نیمه پایین کود برای آزمایش‌های تزریق در نیمه دوم آبیاری بین ۹۳ تا ۹۶ درصد و یکنواختی توزیع نیمه پایین آب بین ۹۴ تا ۹۷ درصد بود. برای تزریق در کل آبیاری نیز یکنواختی توزیع نیمه پایین کود بین ۸۷ تا ۹۳ درصد و یکنواختی توزیع نیمه پایین آب بین ۹۵ تا ۹۷ درصد متغیر می‌باشد. روند تغییرات یکنواختی توزیع چارک پایین در آزمایش‌های مختلف مشابه یکنواختی توزیع نیمه پایین بود. با این تفاوت که مقادیر آنها نسبت به مقادیر نیمه پایین قدری کمتر است (جدول ۲). یکنواختی‌های توزیع کود و آب آبیاری برآورده شده به‌وسیله مدل ریاضی عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) همخوانی خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه داشت (جدول ۲). برای اغلب آزمایش‌ها اختلاف مقادیر اندازه‌گیری و پیش بینی شده به‌وسیله مدل برای یکنواختی توزیع آب و کود کمتر از ۳ درصد بود (بجز در جویچه‌های انتها باز با تزریق کود در نیمه دوم، آزمایش F-SH-2). یکنواختی توزیع نیمه پایین کود در آزمایش‌های عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) در یک خاک لوم ماسه‌ای بین ۶۲ تا ۸۷ درصد و یکنواختی توزیع آب بین ۷۱ تا ۸۵ درصد گزارش گردید. دلیل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع کود در آن آزمایش‌ها در مقایسه با آزمایش‌های این تحقیق آن است که عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) کود را در آبیاری اول

تعیین شده برای نیترات در هر ایستگاه، تعیین گردید. ضرایب توزیع یکنواختی نیمه و چارک پایین با استفاده از مدل ریاضی عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) نیز برآورد و با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. این مدل حاصل ترکیب یک مدل جریان سطحی آب^۱ و یک مدل انتقال املاح برای آبیاری جویچه‌ای و نواری است. مدل برای انتقال املاح از معادله انتقال-انتشار یک بعدی و برای حرکت آب روی سطح خاک از معادلات معروف سنت-ونانت استفاده می‌کند. با وجود جریان دو بعدی آب و املاح روی و زیر جویچه‌های آبیاری، اعتقاد بر آن است که یک مدل یک بعدی ساده می‌تواند اطلاعات مفیدی بدون نیاز به پارامترهای ورودی زیاد که برای انجام یک آنالیز دو بعدی مورد نیاز است، فراهم کند. زیرا فرض جریان یک بعدی آب و املاح در مطالعه جریان سطحی، مثل آبیاری جویچه‌ای، به علت کوچک بودن سطح مقطع جویچه‌ها، زیاد هم دور از واقعیت نیست. در واقع آنالیز جریان سطحی و انتقال املاح در آبیاری جویچه‌ای نسبت به نوارهای عریض و بویژه رودخانه‌ها، به دلایل بیان شده در بالا نزدیکتر به حالت یک بعدی است. در این مدل، معادلات جریان آب روی سطح خاک با روش حجم‌های کنترل متحرک^۲ و معادله انتقال-انتشار با روش کرنگ-نیکلسون^۳ حل گردید. اطلاعات ورودی مدل شامل پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مقطع جویچه، ویژگی‌های نفوذپذیری خاک، ضریب زبری مانینگ، زمان قطع جریان، مدت زمان تزریق کود، ضریب انتشار پذیری طولی^۴، دبی و غلظت نمک ورودی می‌باشد. ضریب انتشار پذیری طولی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای و واسنجی مدل برآورد گردید. خروجی‌های مدل نیز شامل غلظت املاح، سرعت و شدت جریان، عمق و سطح مقطع جریان، زمان‌های پیشروی و پسروی در طول جویچه، تلفات آب و املاح به صورت رواناب از انتهای جویچه و شاخص‌های یکنواختی توزیع آب و کود است.

1. Overland Water Flow
2. Moving Control Volume
3. Crank-Nicholson
4. Longitudinal Dispervity

بیشترین تلفات کودی در تیمار تزریق در نیمه دوم آبیاری و کمترین آن در تیمارهای تزریق در نیمه اول آبیاری اتفاق افتاد. رواناب خروجی از جویچه‌ها بین ۱۳/۷ تا ۴۵/۹ درصد تغییر نمود. نتایج شبیه‌سازی‌های پلایان و فاسی (۱۹۹۷) در آبیاری نواری نشان داد که در صورت عدم مدیریت صحیح، تزریق کود در رژیم‌های انتها باز می‌تواند تا ۶۰ درصد کود تزریق شده را به صورت رواناب از انتهای مزرعه تلف نماید. در مجموع، علی‌رغم اینکه یکنواختی توزیع آزمایش‌های تزریق در نیمه اول آبیاری قدری کمتر از سایر گزینه‌های پیشنهادی است (جدول ۲)، تلفات کود به‌صورت رواناب در آن به مراتب کمتر و لذا در صورت باز بودن انتهای مزرعه گزینه قابل توصیه تزریق کود از ابتدای زمان آبیاری است. در صورت بسته بودن انتهای مزرعه، تزریق در نیمه دوم آبیاری و ترجیحاً شروع تزریق قبل از تکمیل مرحله پیشروی گزینه قابل توصیه است.

تزریق نمودند. بالا بودن ضریب مانینگ و نفوذپذیری خاک در آبیاری اول موجب کاهش یکنواختی توزیع آب و بالطبع کود می‌شود. در آزمایش‌های پلایان و فاسی (۱۹۹۷) روی نوارهای آبیاری نیز علی‌رغم بالا بودن نسبی یکنواختی توزیع آب در اغلب آزمایش‌ها، یکنواختی توزیع نیمه پایین کود بین ۳ تا ۵۲ درصد متغیر بود. یکی از دلایل پایین بودن یکنواختی توزیع کود در آن آزمایش‌ها کوتاه بودن مدت زمان تزریق کود (۵ دقیقه) به آب آبیاری بود. تزریق پالس‌های کوتاه مدت بخصوص در اوایل آبیاری موجب می‌شود که کود تزریق شده در آب آبیاری رقیق و بخش عمده آن در قسمت‌های ابتدایی مزرعه نفوذ نماید.

اختلاف یکنواختی توزیع کود در رژیم آبیاری انتها باز و انتها بسته بسیار اندک بود (جدول ۲). لیکن تلفات کود به‌صورت رواناب در رژیم انتها باز علی‌رغم کاهش جریان قابل توجه بود (جدول ۳). تلفات کود به‌صورت رواناب در جویچه‌های انتها باز بین ۱۷/۷ تا ۵۰/۲ درصد متغیر بود.

جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده ضریب یکنواختی چارک و نیمه پایین آب و کود در آزمایش‌های مزرعه‌ای

آزمایش	مقادیر یکنواختی توزیع آب (درصد)				مقادیر یکنواختی توزیع کود (درصد)			
	پیش بینی شده توسط مدل		اندازه‌گیری شده		پیش بینی شده به‌وسیله مدل		اندازه‌گیری شده	
	DU _{LQ}	DU _{LH}	DU _{LQ}	DU _{LH}	DU _{LQ}	DU _{LH}	DU _{LQ}	DU _{LH}
F-FH-1	۹۵/۳	۹۷/۸	۹۳/۶	۹۶/۴	۸۳/۲	۸۸/۰	۷۸/۹	۸۳/۹
F-FH-2	۹۴/۸	۹۷/۷	۹۶/۵	۹۷/۷	۸۹/۵	۹۲/۶	۷۶/۶	۸۹/۲
F-T-1	۹۳/۵	۹۶/۵	۹۲/۷	۹۵/۸	۸۷/۷	۹۳/۲	۸۹/۰	۹۳/۰
F-T-2	۹۴/۷	۹۷/۲	۹۳/۶	۹۵/۷	۸۳/۵	۸۸/۸	۸۵/۹	۹۰/۰
F-SH-1	۹۶/۴	۹۸/۴	۹۵/۴	۹۷/۱	۸۶/۸	۹۲/۷	۹۳/۹	۹۵/۹
F-SH-2	۹۲/۸	۹۶	۴۸/۸	۷۸/۴	۹۳/۲	۹۷/۴	۱۸/۹	۶۹/۰
B-T-1	۹۵/۵	۹۸	۹۴/۵	۹۶/۸	۸۹/۳	۹۳/۶	۸۴/۲	۹۰/۲
B-T-2	۹۵/۱	۹۷/۵	۹۰/۶	۹۵/۱	۸۸/۶	۹۲/۶	۸۲/۳	۸۷/۸
B-SH-1	۹۵/۷	۹۸/۲	۹۵/۶	۹۶/۷	۸۹/۶	۹۵/۳	۹۴/۷	۹۶/۱
B-SH-2	۹۳/۹	۹۶/۶	۸۹/۶	۹۴/۹	۹۳/۷	۹۷/۶	۹۱/۰	۹۳/۷
B-FH-1	۹۴/۵	۹۶/۹	۹۴/۰	۹۶/۰	۷۷/۳	۸۲/۶	۷۵/۹	۸۱/۵
B-FH-2	۹۷/۱	۹۸/۶	۹۷/۳	۹۸/۱	۸۹/۷	۹۲/۲	۸۷/۳	۸۸/۳

F آزمایش انتها باز، B آزمایش انتها بسته، FH تزریق در نیمه اول، SH تزریق در نیمه دوم، T تزریق در تمام مدت زمان آبیاری و شماره های ۱ و ۲ جلوی آزمایش‌ها معرف تکرار است.

نتایج گارسیا-ناوارو و همکاران (۲۰۰۰) در نوارهای آبیاری همخوانی دارد. بر خلاف جریان سطحی^۵ املاح، ضریب انتشار پذیری طولی در مطالعات زیر سطحی^۶ انتقال املاح در خاک از پارامترهای حساس بوده که تأثیر به‌سزایی در حرکت املاح در خاک دارد (۱، ۹). دلیل افزایش ناگهانی غلظت در شکل ۱ کاهش دبی ورودی است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، دبی ورودی به جویچه‌ها پس از تکمیل حدود ۸۰ درصد مرحله پیشروی کاهش ولی تزریق کود به آب آبیاری با همان شدت اولیه ادامه داشت. لذا، پس از کاهش دبی غلظت کود در آب آبیاری به شدت افزایش می‌یابد (شکل ۱). همین طور، در تیمارهای تزریق کود در نیمه اول، پس از قطع تزریق کود به آب آبیاری که در دقیقه ۶۰ آبیاری اتفاق افتاد، غلظت کود در آب آبیاری به تدریج کاهش و نهایتاً به صفر می‌رسد (بخش انتهایی منحنی‌ها در شکل ۱). در حالی که در سایر تیمارهای کودی، غلظت نیترات پس از کاهش دبی ورودی به طور ناگهانی افزایش و سپس تا پایان آبیاری ثابت باقی می‌ماند (شکل ۲).

شبیه‌سازی غلظت نیترات بوسیله مدل در آب حاوی کود روی سطح خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی خوبی داشت. در شکل ۲ نمونه‌ای از غلظت‌های نیترات شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل و اندازه‌گیری شده در یکی از جویچه‌های آزمایشی مقایسه شده‌اند. ملاحظه می‌شود که غلظت نیترات پس از کاهش جریان ورودی بطور قابل توجهی افزایش و مدل بخوبی این رفتار را شبیه‌سازی نموده است.

نمونه‌ای از مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت نیترات در پروفیل خاک برای یکی از آزمایش‌های تزریق کود در نیمه اول آبیاری در ایستگاه ۱۰ متری از ابتدای جویچه در شکل ۳ نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که کود تزریقی تا عمق حدود ۷۰ سانتی متری خاک نفوذ نموده و تغییرات غلظت نیترات در اعماق پایین‌تر از ۴۰ سانتی متری خاک ناچیز است. این نتایج بیانگر آن است که در صورت مدیریت صحیح، آبشویی و تلفات نفوذ عمقی عامل تهدید کننده‌ای در این روش کوددهی نیست. پروفیل نیترات نفوذ یافته در

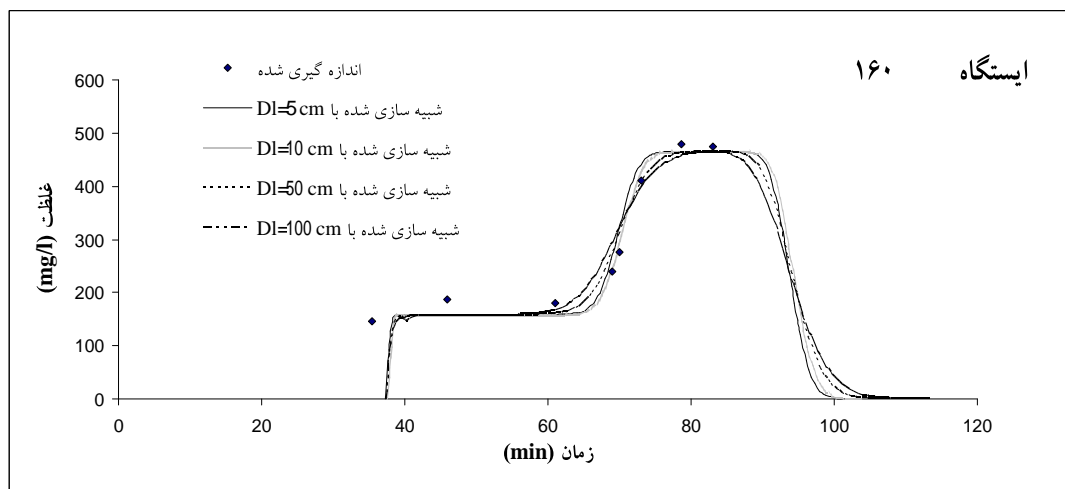
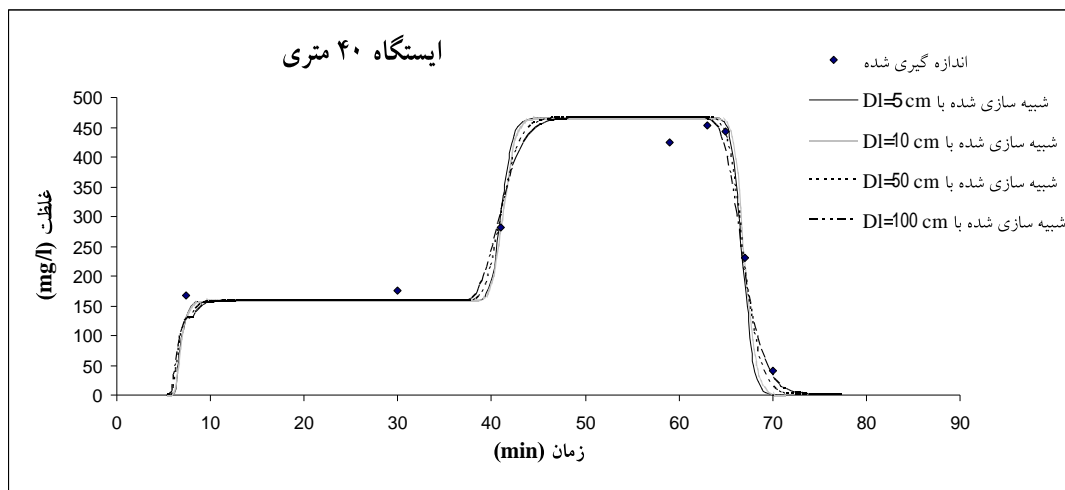
جدول ۳- مقادیر تلفات آب و کود به‌صورت رواناب در جویچه‌های انتها باز

آزمایش	رواناب (درصد)	
	آب	کود
F-FH-1	۲۰/۸	۲۴/۰
F-FH-2	۱۳/۷	۱۷/۷
F-T-1	۴۰/۲	۳۲/۶
F-T-2	۴۵/۹	۴۶/۲
F-SH-1	۲۵/۲	۵۰/۲
F-SH-2	۰/۰	۰/۰

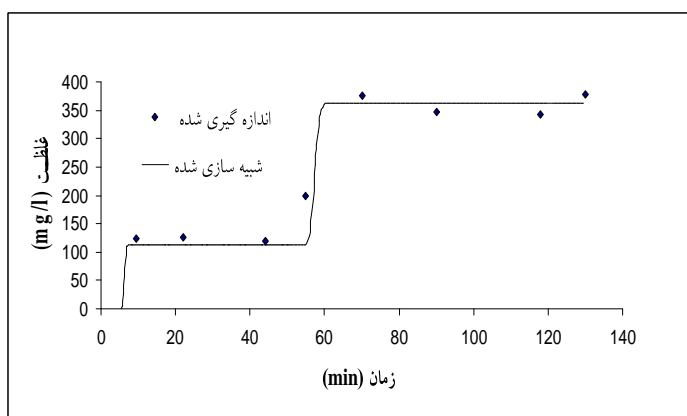
روش آنالیز حساسیت^۱ نشان داد که ضریب انتشارپذیری طولی پارامتر حساسی در مطالعه انتقال املاح روی سطح خاک نبوده و مقدار آن ۵ سانتی متر برآورد گردید (شکل ۱). بدین ترتیب مدل با چهار مقدار متفاوت ۵، ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ سانتی متر برای ضریب انتشارپذیری طولی اجرا گردید. نتایج برای دو ایستگاه ۴۰ و ۱۶۰ متری آزمایش جویچه‌های انتها باز با تزریق کود در نیمه اول آبیاری (آزمایش F-FH-2) در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به ازای مقادیر متفاوت ضریب انتشار پذیری طولی، به طور نسبی مطابقت خوبی بین منحنی‌های اندازه‌گیری و پیش بینی شده رخنه^۲ بخصوص برای بال‌های صعودی^۳ و نزولی^۴ منحنی وجود دارد. در شکل ۱ که برای فاصله ۱۶۰ متری از ابتدای جویچه است، همان‌طور که پیش بینی می‌شد، تغییرات غلظت نیترات نسبت به فاصله ۴۰ متری با شدت کمتری انجام گرفته است. مقادیر متفاوت ضریب انتشار پذیری طولی اثر کمی روی منحنی رخنه و همچنین تأثیر بسیار جزئی روی مقادیر یکنواختی توزیع داشت. به همین علت در تمامی آزمایش‌ها از مقدار ۵ سانتی متر برای ضریب انتشار پذیری طولی استفاده گردید. این نتایج با یافته‌های عباسی و همکاران (۲۰۰۳b) در جویچه‌های ۱۱۵ متری در یک خاک لوم ماسه‌ای و همچنین با

1. Sensitivity Analysis
2. Breakthrough Curve
3. Rising Limb
4. Falling Limb

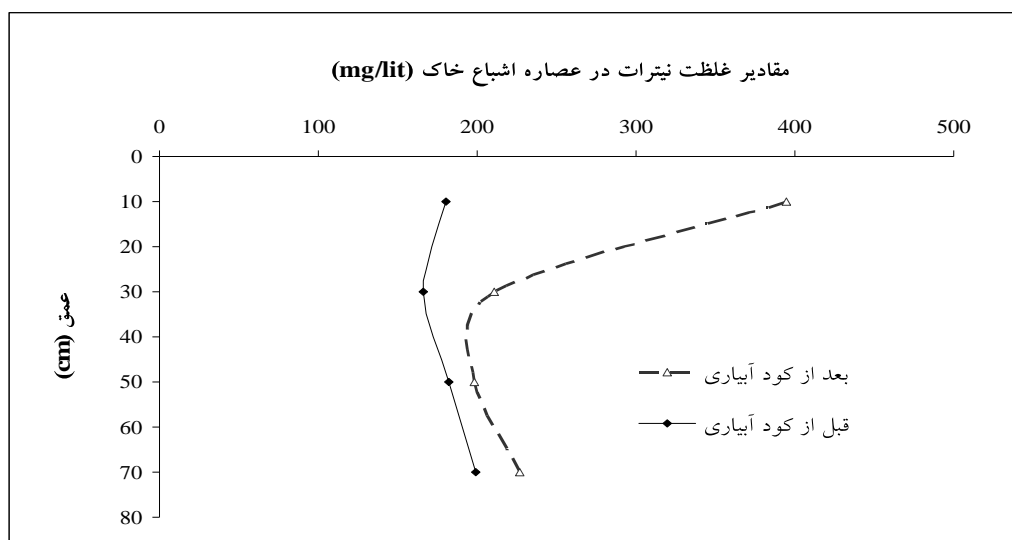
5. Overland
6. Subsurface



شکل ۱- حساسیت منحنی رخنه به مقادیر متفاوت ضریب انتشارپذیری طولی در جریان سطحی (ایستگاه ۴۰ و ۱۶۰ متری آزمایش انتها باز با تزریق کود در نیمه اول آبیاری، آزمایش F-FH-2)



شکل ۲- مقایسه منحنی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده رخنه در فاصله ۴۰ متری از ابتدای یکی از جویچه‌های آزمایشی (آزمایش B-T-2)



شکل ۳- پروفیل نیترات نفوذ یافته در ایستگاه ۱۰ متری یکی از آزمایش‌های اجرا شده ۳ روز پس از آبیاری (آزمایش F-FH-2)

رواناب می‌شود. یکنواختی تزریق کود در نیمه اول آبیاری بین ۱۵-۱۰ درصد کمتر از یکنواختی توزیع آب بود. در حالی که یکنواختی توزیع آب و کود در نیمه دوم آبیاری تقریباً یکسان و یکنواختی توزیع کود در حالت تزریق در تمام زمان آبیاری حدود پنج درصد کمتر از یکنواختی توزیع آب بود. در صورت عدم مدیریت صحیح، پتانسیل تلفات کود به صورت رواناب در روش کودآبیاری بسیار بالا خواهد بود. لیکن نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که آبخوبی و تلفات نفوذ عمقی در صورت مدیریت صحیح عامل تهدید کننده در این روش کوددهی نیست. در صورت باز بودن انتهای مزرعه بهترین گزینه برای کاهش تلفات کود از طریق رواناب، تزریق کود در زمان‌های ابتدایی شروع آبیاری (مثلاً نیمه اول آبیاری) و در صورت بسته بودن انتهای مزرعه، تزریق در نیمه دوم آبیاری و ترجیحاً شروع تزریق قبل از تکمیل مرحله پیشروی گزینه قابل توصیه است.

این تحقیق به منظور بررسی مسائل فنی کودآبیاری و بدون کاشت گیاه اجرا گردید. ارزیابی خیلی از محاسن کود آبیاری از جمله تأثیر آن بر کیفیت و کمیت محصول و همچنین کاهش مصرف کود که از مزایای اصلی کود آبیاری در روش‌های آبیاری تحت فشار ذکر گردیده است، در این

سایر ایستگاه‌های این آزمایش و همین‌طور سایر آزمایش‌های اجرا شده کم و بیش مشابه شکل (۳) بود که از ارائه آنها خودداری شده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، مسائل فنی کودآبیاری شامل تلفات کود، یکنواختی توزیع، زمان شروع تزریق و مدت زمان تزریق کود در رژیم‌های آبیاری جویچه‌ای در یک خاک لومی ارزیابی و یک مدل ریاضی کودآبیاری واسنجی و صحت سنجی گردید. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که محدودیت اصلی کود آبیاری در روش‌های آبیاری سطحی تلفات کود و یکنواختی توزیع آن است. کارایی این روش کوددهی در روش‌های آبیاری سطحی به شدت تحت تأثیر عوامل طراحی و مسائل مدیریتی است که کمبود آنها به دلیل نو بودن ایده در روشها و رژیم‌های مختلف آبیاری سطحی احساس می‌شود. نتایج نشان داد که در صورت مدیریت صحیح و انتخاب بهینه عوامل طراحی آبیاری، یکنواختی توزیع کود با یکنواختی توزیع آب برابری می‌نماید. در مجموع یکنواختی توزیع کود در صورت تزریق کود در نیمه دوم آبیاری بیشترین است. لیکن این گزینه در صورت باز بودن انتهای مزرعه موجب تلف شدن بخشی از کود بصورت

که کودآبیاری در حالت کم آبیاری دارای راندمان بالاتری است، تحقیق در خصوص کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای یک در میان می‌تواند نتایج مفیدی داشته باشد.

تحقیق میسر نگردید. لذا، با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق توصیه می‌شود که کودآبیاری در روش‌های آبیاری سطحی با کاشت محصولات مختلف ارزیابی شود. از آنجایی

REFERENCES

1. Abbasi, F., D. Jacques, J. Simunek, J. Feyen, & M. Th. van Genuchten. 2003a. Inverse estimation of the soil hydraulic and solute transport parameters from transient field experiments: Heterogeneous soil. *Trans. ASAE*, 46(4): 1097-1111.
2. Abbasi, F., J. Simunek, M. Th. van Genuchten, J. Feyen, F. J. Adamsen, D. J. Hunsaker, T. S. Strelkoff, & P. Shouse. 2003b. Overland water flow and solute transport: Model development and field data analysis. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 129(2): 71-81.
3. Abbasi, F., M. Mahmoodian Shooshtari, & J. Feyen. 2003c. Evaluation of various surface irrigation numerical simulation models. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 129(3), 208-213.
4. Adamsen, F. J., D. J. Hunsaker, & H. Perea, 2005. Border strip fertigation: Effect of injection strategies on the distribution of bromide. *Trans. ASAE*, 48(2): 529-540.
5. Benjamin, J. G., L. K. Porter, H. R. Duke, L. R. Ahuja, & G. Butters. 1998. Nitrogen movement with furrow irrigation method and fertilizer band placement. *SSSAJ.*, 62: 1103-1108.
6. Benjamin, J. G., H. R. Havis, L. R. Ahuja, & C.V. Alonso. 1994. Leaching and water flow pattern in every furrow and alternate-furrow irrigation. *SSSAJ.*, 58: 1511-1517.
7. Boldt, A. L., D. G. Watts, D. E. Eisenhauer, & J. S. Schepers. 1994. Simulation of water applied nitrogen distribution under surge irrigation. *Trans. ASAE*, 37(4): 1157-1165.
8. Ericson, N. A. 1993. Quality and storability in relation to fertigation of apple trees. *Acta. Hort.*, 326: 73-83.
9. Forrer, I., R. Kasteel, M. Flury, & H. Fluhler. 1999. Longitudinal and lateral dispersion in an unsaturated field soil. *Water Resour. Res.*, 35: 3049-3060.
10. Garcia-Navarro, P., E. Playan, & N. Zapata. 2000. Solute transport modeling in overland flow applied to fertigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 126(1): 33-40.
11. Hanson, B., W. Bowers, B. Davidoff, D. Kasapligil, A. Carvajal, & W. Bendixen. 1995. Field performance of micro-irrigation systems, micro-irrigation for a changing world: Conserving Resources/Preserving the Environment. *Proc. 5th Int. Micro-Irrigation Congress*, 769-774.
12. Hochmuth, G. J., E. E. Albrechts, C. C. Chandler, J. Cornells, & J. Harrison. 1996. Nitrogen fertigation requirements of drip irrigated strawberries. *SSSAJ.*, (4): 660-665.
13. Home, P. G., P. K. Panda, & S. Kar. 2002. Effect of method and scheduling of irrigation on water and nitrogen use efficiencies of Akra. *Agric. Water Manag.*, 76:160-180.
14. Jaynes, D. B., R. C. Rice, & D. J. Hunsaker. 1992. Solute transport during chemigation of a level basin. *Trans. ASAE*, 35 (6): 1809-1815.
15. Jaynes, D. B., R. S. Bowman, & R. C. Rice. 1988. Transport of conservative tracers in the field under continuous flood irrigation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 618-624.
16. Lowrey, W. D. 2003. Assessing the influence of irrigation and fertigation on fruit composition, vine performance and wine quality in a cool humid climate. M.Sc. Thesis Department of Biological Sciences, Brock University, Ontario, US.
17. Mead, R. 2000. Fertigation efficiency. Available on url:[http://www.Microirrigation forum. Corn/new/archives/ferteff.htm/](http://www.Microirrigationforum.Corn/new/archives/ferteff.htm/).
18. Mohammad, M. J. 2004. Squash yield, nutrient content and soil fertility parameters in response to methods of fertilizer application and rates of nitrogen fertigation. *J. Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 68: 99-108.

19. MousaviFazl, S. H., A. Aghyani, M. Joliani, M. R. Forohar, S. Esfaneyari, & A. Sabah. 2009. Effect of water and N fertilizer application yield and quality of potato under drip (Tape) irrigation system. Final Research Report, Agricultural Engineering Research Institute, AERI. (in press)
20. Papadopoulos, P. 1992. Fertigation of vegetables in plastic houses. Present situation and future prospects. *Acta Hort.*, 323: 151-179.
21. Papadopoulos, P. & R. M. Leena. 2000. Nitrogen and phosphorus fertigation of tomato and eggplant. *Acta. Hort.*, I (511).
22. Playan, E. & J. M. Faci. 1997. Border irrigation: Field experiment and a simple model. *Irrig. Sci.*, 17(4):163-171.
23. Simunek, J., M. Sejna, & M. Th. van Genuchten, 1998. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media, Version 2.0, IGWMC-TPS-70, Int. Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Co.
24. Threadgill, E. D. 1985. Chemigation via sprinkler irrigation: Current status and future development. *Applied Eng. In Agriculture*, 1(1): 16-23.
25. Threadgill, E. D., D. E. Eisenhauer, J. R. Young, & B. Bar-Yosef. 1990. Chemigation. G. J. Hoffman, T. A., Howell, and K. H. Solomon (eds.) *Management of farm irrigation systems*, ASAE, St. Joseph, Mich., 747-780.
26. Vaezi, A. R. M. Homae, & M. J. Malakouti. 2002. Effect of fertigation on fertilizer use efficiency and water use efficiency on forage corn. 16 (2): 152-160.
27. Walker, W. R., & G. V. Skogerboe. 1987. *Surface Irrigation: Theory and Practice*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
28. Zerihun, D., A. Furman, A. W. Warrick, & C. A. Sanchez. 2005. Coupled surface-subsurface flow model for improved basin irrigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 131(2):111-128.
29. Zerihan, D., C. A. Sanchez, K. L. Farrell-Poe., F. J. Adamsen, & D. J. Hunsaker. 2003. Performance indices for surface N fertigation. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 129(3):173-183.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.