

ارزیابی یکنواختی توزیع آب و نیتروژن در کودآبیاری جویچه‌ای نیشکر

نادر سلامتی، فریبرز عباسی، معصومه دلبری*، علی شینی دشتگل و پیمان افراسیاب**

* نگارنده مسئول: دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، سیستان و بلوچستان، ایران. ص. پ. ۳۵۸۵۶-۹۸۶۱۳، تلفن: ۰۵۴۲)۳۱۲۳۲۲۴۵، پیام‌نگار: mas_delbari@yahoo.com

** به ترتیب: دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل؛ استاد پژوهش مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ دانشیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل؛ رئیس اداره آبیاری و زهکشی موسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان؛ و استادیار دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل
تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۶

چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیرات کودآبیاری بر یکنواختی توزیع آب و نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای نیشکر از طریق مقایسه دو روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل عباسی و همکاران پرداخته شده است. آزمایشی در مقیاس بزرگ به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار در یک قطعه ۲۵ هکتاری از مزارع کشت جدید (پلانته) در اراضی کشت و صنعت نیشکر دهخدا از اسفند سال ۱۳۹۱ تا مهرماه ۱۳۹۲ اجرا شد. فاکتور اصلی تقسیم‌های کودی است که در سه سطح (دو تقسیمی، سه تقسیمی و چهار تقسیمی) و فاکتور فرعی سطوح کود مصرفی است که در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد کود مورد نیاز به ترتیب معادل ۳۵۰، ۲۸۰ و ۲۱۰ کیلوگرم کود اوره) اعمال شد. ضرایب معادله کوستیاکف با استفاده از مدل بیلان حجمی استخراج شد. از مدل کودآبیاری عباسی و همکاران برای شبیه‌سازی جریان آب و انتقال نیترات در خاک استفاده شد. گستره‌ی زمان تزریق کود از ۳۰ درصد انتهایی مدت زمان آبیاری تا ۶۰ درصد مدت زمان آبیاری را به خود اختصاص داد. مدیریت صحیح مقدار دبی ورودی و تزریق کود در زمان‌های مناسب موجب افزایش ضریب یکنواختی توزیع آب و کود شد. مقدار نمایه آماری E در تمام تیمارهای کودآبیاری بزرگتر از ۰/۹۹۰ به دست آمد که نشان از کارایی بالای مدل در پیش‌بینی مدت زمان‌های پیشروی و پسروی دارد. مقایسه میانگین مدت زمان پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده با مدت زمان پیشروی و پسروی استخراجی از مدل در تمامی تیمارهای کودآبیاری، با آزمون تی (T-test) نشان داد که آماره T کمتر از مقدار ۲/۴۴۷ (بحرانی) است که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل عباسی و همکاران است. همچنین، نتایج آزمون T در مورد مقایسه میانگین دبی ورودی و ضرایب یکنواختی آب و کود حاکی از بیشتر بودن مقادیر آماره T از ۲/۳۰۵ (بحرانی) است که تأثیر معنی‌دار میزان دبی در نوسانات ضرایب یکنواختی آب و کود را نشان می‌دهد مدل عباسی و همکاران قادر است تا با توجه به شرایط مختلف مزرعه و با تعریف ضرایب نفوذ برای مدل و تغییر شیب، افزایش یا کاهش میزان دبی و تغییر طول جویچه، شرایط بهینه را برای افزایش کارایی مصرف آب و یکنواختی توزیع کود فراهم آورد. در نوبت‌های آبیاری و تقسیم‌های انتهایی، انطباق مقادیر هر دو روش مورد مقایسه در این تحقیق بیشتر است به طوری که در تیمار ۴ تقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی در آبیاری یازدهم و تیمار ۳ تقسیمی و ۱۰۰ درصد سطح کودی در آبیاری دهم، اختلاف مقدار آب نفوذ یافته در دو روش به ۲ میلی‌متر کاهش یافت و در هر دوی این تیمارها مقادیر ضرایب یکنواختی توزیع کود حتی از آب بیشتر بود و به بیش از ۹۰ درصد رسید.

واژه‌های کلیدی

آبیاری جویچه‌ای، بیلان حجمی، تقسیم کود، شدت کاربرد کود، مدل عباسی و همکاران

مقدمه

برنامه مدیریت تغذیه‌ای مصرف شود. که کل عناصر غذایی قابل دسترس موجود در مزرعه را مد نظر قرار می‌دهد. این برنامه باید برای هر مزرعه و

در اکثر کشورهای جهان سوم، کودپاشی با دست هنوز هم به شکل گسترده‌ای رواج دارد. کود باید بر اساس یک

استفاده قرار می‌گیرد و ۵۰ درصد دیگر از طریق آبشویی، رواناب و تصعید گازی از دسترس گیاه خارج و به سخنی دیگر تلف می‌شود (Playan & Faci, 1997). صرف نظر از ارزش اقتصادی، تلفات این نهاده مهم سبب مشکلات زیست محیطی می‌شود (Boldt et al., 1994; Bacon et al., 1995; Wiesler, 1998).

با تنظیم مقدار کود مصرفی در هر مرحله کودآبیاری و کاربرد کود بر اساس نیاز گیاه و عمق توسعه ریشه، می‌توان آبشویی عناصر غذایی را کنترل کرد. به علت توزیع یکنواخت کود، رشد گیاه یکنواخت و رسیدن محصول در سطح مزرعه نیز همزمان خواهد بود. این امر تأثیر مهمی بر کاهش ضایعات برداشت خواهد داشت. با وجود مزایای ذکر شده در روش‌های آبیاری سطحی که در بسیاری از مناطق جهان بیش از ۹۰ درصد اراضی آبی با آن روش‌ها آبیاری می‌شوند، کودآبیاری مورد کم توجهی قرار گرفته است (Abbasi, 2014). در صورت انتخاب صحیح عوامل طراحی آبیاری و زمان مناسب کاربرد کود، یکنواختی توزیع کود حتی بیش از یکنواختی توزیع آب خواهد بود. یکنواختی توزیع کود به شدت تحت تأثیر معیارهای طراحی و مدیریت آبیاری، روش و رژیم آبیاری، دبی ورودی، بافت خاک، ویژگی‌های نفوذپذیری، ضریب زبری، نوبت آبیاری و مدت زمان تزریق کود به سامانه آبیاری قرار می‌گیرد (Abbasi, 2014).

در تحقیقی، یکنواختی کودآبیاری در آبیاری نواری انتها بسته ارزیابی شد (Playan & Faci, 1997). آزمایش‌ها با استفاده از کود نیترات آمونیوم برای سه دبی ورودی با مقادیر ۳/۳۶، ۴/۹۴ و ۷/۸۲ لیتر بر ثانیه و سه تیمار زمان تزریق کود شامل صفر، ۳۳ و ۵۰ درصد فاصله زمان پیشروی، اجرا شدند. طول نوارهای آزمایش ۲۸۰ متر با شیب ۰/۰۰۱ و عرض آنها بین ۲/۹-۳/۵۵ متر بود. در هر آزمایش ۱۰۰ کیلوگرم کود در مدت زمان ۵ دقیقه به سیستم تزریق شد. نتایج نشان داد که ضریب

بر اساس تاریخچه کاشت و تجزیه خاک آن اجرا شود (Alizadeh et al., 2009). هرگاه این امر میسر نباشد، باید از توصیه‌های کودی استفاده کرد که دولت و بنگاه‌های ترویج کشاورزی و تولیدکنندگان کود منتشر می‌کنند، که البته این توصیه‌ها ممکن است بر اساس تجربه‌های شخصی کشاورز دستخوش دگرگونی‌هایی شود. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که به طور کلی یکنواختی آبیاری نواری و جویچه‌ای کمتر از سامانه‌های آبیاری تحت فشار نیست (Hanson et al., 1999)، همچنین کودآبیاری باعث افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول می‌شود (Mead, 2000; Mousavifazl et al., 2009). تحقیقات اخیر درباره روش‌های آبیاری سطحی نشان می‌دهد که کودآبیاری سبب کاهش تلفات کود، مصرف کم و مکرر عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه و پخش یکنواخت کود در خاک می‌شود (Sabillón et al., 2004; Zerihun et al., 2005; Abbasi et al., 2008). پژوهشگران نیز گزارش کرده‌اند که کودآبیاری در آبیاری کرتی، پتانسیل افزایش نفوذ عمقی کود را به همراه دارد (Jaynes et al., 1992). در تحقیقی، کودآبیاری در آبیاری موجی با استفاده از یک مدل ریاضی بررسی شد. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که کودآبیاری در مرحله کاهش جریان سبب یکنواختی توزیع بالا و تلفات زیاد رواناب می‌شود (Boldt et al., 1994). کارآمدترین مدیریت پخش کود زمانی حاصل می‌شود که بتوان مقدار کافی مواد غذایی محلول را در خاک مرطوب با تهویه مناسب زمانی در اختیار ریشه گیاه قرار داد که گیاه به مواد غذایی بیشتری نیازمند است. کودآبیاری مناسب‌ترین وسیله برای نیل به هدف فوق است. در مناطقی که کودآبیاری انجام نمی‌گیرد، کشاورزان به ناچار مقدار زیادی کود را هنگام کاشت به صورت دستی و یا با ماشین‌های کودپاش به همراه بذر به کار می‌برند. در این روش کوددهی مشاهده می‌شود که کمتر از ۵۰ درصد کود نیتروژنی مورد

نتایج تحقیقات در زمینه مقایسه کودآبیاری با کوددهی سطحی در گیاه ذرت نشان می‌دهد که بیشترین عملکرد و اجزای عملکرد در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی و ۱۰۰ درصد نیاز کودی اتفاق افتاد (Mohseni *et al.*, 2012). محققان یک مدل شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در آبیاری جویچه‌ای را برای کاربرد بهینه کود در آبیاری جویچه‌ای ارائه کردند. نتایج شبیه‌سازی آنها نشان می‌دهد که برای دستیابی به کمترین تلفات کود، بهترین مدت زمان تزریق کود بین ۵ تا ۱۵ درصد کل زمان قطع جریان است و تزریق‌های طولانی‌تر به کاهش راندمان مصرف کود منجر می‌شود (Sabillón & Merkley, 2004). پژوهشگران در تحقیقی نشان دادند که تلفات ناشی از آبیاری کود علاوه بر مدیریت آب به مدیریت کود نیز بستگی دارد (Crevoisier *et al.*, 2008). برای مثال تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری و یا زمان‌های انتهایی آبیاری نسبت به نیمه اول آبیاری یکنواختی توزیع کود بیشتری را ایجاد می‌کند (Playan & Faci, 1997; Abbasi *et al.*, 2010). نتایج بررسی تأثیر عمق جریان و عمق آب کاربردی در حرکت آب و املاح با استفاده از مدل HYDRUS-2D نشان می‌دهد که عمق جریان و عمق آب کاربردی نقش مهمی در آبیاری نیترات و تجمع آن در بالای پشته‌ها دارد و سطوح آبیاری زیاد (به علت زمان کاربرد طولانی‌تر) منجر به کاهش قابل توجهی در اختلاف بین مقدار نیتروژن اندازه‌گیری شده در بالای پشته و در کف جویچه می‌گردد (Mailhol *et al.*, 2001). به هر حال، مدیریت بهینه آب و کود برای جلوگیری از کاهش کیفیت منابع آب و خاک که ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی است، اجتناب‌ناپذیر است. هدف از این مقاله ارزیابی و بررسی کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای نیشکر از طریق ارزیابی زمان‌های پیشروی، عمق آب نفوذ یافته و ضرایب یکنواختی توزیع آب و کودی است که از داده‌های مزرعه تعیین و با مقادیر برآورد شده توسط مدل عباسی و همکاران مقایسه می‌شود.

یکنواختی توزیع نیمه پایین کودآبیاری بین ۳ تا ۵۲ درصد متغیر است. نتایج همچنین نشان داد که تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری، بیش‌ترین یکنواختی توزیع و تزریق به صورت پالس‌های کوتاه (short pulse)، کمترین یکنواختی را دارد.

پژوهشگران نشان دادند که افزایش عمق آب آبیاری منجر به افزایش تلفات نفوذ عمقی آب و املاح می‌شود (Playan & Faci, 1997). محققان با اجرای پژوهش‌هایی به منظور بررسی انتقال املاح در جویچه‌های آبیاری نتیجه گرفتند که عمق آب نقش مهمی در افزایش ریسک آبیاری نیترات دارد (Mailhol *et al.*, 2001; Abbasi *et al.*, 2003b). در تحقیقی دیگر، یکنواختی توزیع کود در کودآبیاری جویچه‌ای ارزیابی گردید. نتایج نشان داد بین یکنواختی توزیع نیمه پایین در سه زمان تزریق (نیمه اول، نیمه دوم و کل آبیاری) اختلاف معنی‌داری وجود دارد به طوری که تزریق در نیمه دوم نسبت به تزریق در نیمه اول و کل آبیاری بهتر است (Ganjeh, 2006). نتیجه پژوهش درباره یکنواختی کودآبیاری جویچه‌ای در یک خاک لومی روی گیاه ذرت نشان می‌دهد که بهترین زمان تزریق کود، ۲۰ دقیقه انتهایی زمان آبیاری است. در سال دوم، کود فقط در زمان بهینه تزریق کود (۲۰ دقیقه انتهایی زمان آبیاری) تزریق شد و صحت نتایج سال اول مورد تایید قرار گرفت. تلفات نیترات از طریق رواناب سطحی در سال اول بسته به زمان تزریق کود بین ۵/۷ تا ۴۲/۰ درصد و در سال دوم با اعمال مدت زمان تزریق بهینه بین ۱/۴ تا ۱۲/۳ درصد متغیر بود. این روش همراه بود با یکنواختی بالایی از توزیع کود که با مدیریت صحیح، تلفات کود به صورت رواناب در کودآبیاری جویچه‌ای اندک خواهد بود. مدل ریاضی عباسی و همکاران قادر است مقدار تلفات آب و کود و یکنواختی توزیع کود و آب را به طور قابل قبولی پیش‌بینی کند (Abbasi *et al.*, 2010).

مواد و روش‌ها

رسیدن به حداکثر تولید، استفاده از ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در نظر گرفته شده است. در هر نوبت آبیاری دبی ورودی، زمان پیشروی و پسروی آب در فواصل ۴۰ متر تا فاصله ۲۴۰ و ۲۵۰ متر (۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ و ۲۵۰ متر) اندازه‌گیری شد. دبی ورودی با فلوم‌های WSC تیپ ۳ اندازه‌گیری شد. کود اوره مورد نیاز در بشکه‌های ۲۲۰ لیتری حل و در زمان‌های مورد نظر به آب آبیاری تزریق شد. برای تزریق ۶۰ درصد کود به جویچه‌ها از بشکه‌های ۲۲۰ لیتری و برای تزریق ۲۰ و ۴۰ درصد باقیمانده از بشکه‌های کوچک استفاده شد. به منظور ثابت بودن میزان دبی در بشکه‌های بزرگ و کوچک، سطح آب در آنها ثابت نگه داشته می‌شد. از زمان شروع تزریق به فاصله مزدوج و مضربی از ۵ دقیقه در فواصل ۴۰ متری (در محل شاخص‌های چوبی) در ظروف مخصوص نمونه آب‌کود برداشت گردید. نمونه‌ها تا زمان تجزیه در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری می‌شدند. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مزرعه آزمایشی از جمله بافت خاک، pH، EC، نسبت جذب سدیم، درصد سدیم انحلال‌پذیر و مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌ها اندازه‌گیری شد (جدول ۲). قبل از هر نوبت آبیاری، نمونه‌های خاک از از چهار عمق خاک ۰-۳۳، ۳۳-۶۶، ۶۶-۱۰۰، ۱۰۰-۱۵۰ و ۱۵۰-۲۰۰ سانتی‌متری در فواصل ۴۰ و ۲۰۰ متری از ابتدای جویچه‌های شاخص (جویچه‌های اندازه‌گیری) برداشت شده و از طریق محاسبه رطوبت وزنی و سپس رطوبت حجمی، کمبود رطوبت خاک استحصال گردید. عمق خالص آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک تعیین شد. عمق ناخالص با فرض یک مقدار مناسب برای راندمان کاربرد (راندمان کاربرد بالاتر از ۶۰ درصد)، لحاظ گردید. به عنوان مثال، متوسط رطوبت حجمی در آبیاری اول در تیمار ۴ تقسیتی و ۶۰ درصد سطح کودی در چهار عمق اندازه‌گیری خاک، ۳۵ درصد بود، مقدار عمق خالص آبیاری محاسباتی، ۳۶ میلی‌متر و عمق ناخالص آبیاری

این آزمایش به صورت کرت‌های یک بار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با ۳ تکرار در یک قطعه ۲۵ هکتاری از مزارع کشت جدید (plant) در اراضی کشت و صنعت دهخدا از اسفند سال ۱۳۹۱ تا مهرماه ۱۳۹۲ اجرا شد. فواصل جویچه‌ها از هم ۱/۸۳ متر و طول آنها ۲۵۰ متر در نظر گرفته شد. فاکتور اصلی تقسیط‌های کودی است که در سه سطح اجرا شد: در سطح دو تقسیتی، ۶۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله پنجه‌زنی و ۴۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله ساقه رفتن، در سطح سه تقسیتی ۳۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله پنجه‌زنی، ۴۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله ساقه رفتن و ۳۰ درصد کود مورد نیاز قبل از مرحله رسیدگی، در سطح چهار تقسیتی ۲۰ درصد کود مورد نیاز بلافاصله بعد از هیلینگ‌آپ^۱ (تبدیل جوی به پشته)، ۳۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله پنجه‌زنی، ۳۰ درصد کود مورد نیاز در مرحله ساقه رفتن و ۲۰ درصد کود مورد نیاز قبل از مرحله رسیدگی (جدول ۱). هر تیمار شامل ۲۲ جویچه (یک هکتار) و فاکتور فرعی سطوح کود مصرفی (۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد کود مورد نیاز به ترتیب معادل ۳۵۰، ۲۸۰ و ۲۱۰ کیلوگرم کود اوره) بود. محققان، میزان نیتروژن مورد نیاز در کودآبیاری نیشکر را ۱/۴ کیلوگرم نیتروژن برای یک تن نیشکر در ۱۰۰ تن اول و برای هر یک تن اضافی یک کیلوگرم نیتروژن کافی دانسته‌اند (Keating et al., 1999). اگر تولید ۱۳۰ تن در هکتار محصول نیشکر مینا باشد، در مجموع ۳۶۹ کیلوگرم کود اوره با ۴۶ درصد نیتروژن مورد نیاز خواهد بود (Abdollahi, 2009). بر همین اساس در واحدهای توسعه نیشکر و صنایع جانبی در خوزستان، معمولاً ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره به عنوان ۱۰۰ درصد نیاز کودی در زمان‌های تقسیط کود اعمال می‌گردد. از این‌رو در واحدهای کشت و صنعت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان برای

1- Hilling Up

شده به منظور اعمال دور آبیاری بهینه به منظور مدیریت بهینه‌ی آبیاری استفاده گردید. همچنین از آمار ایستگاه فوق در کاربرد مدل‌های HYDRUS و AquaCrop استفاده شد که بحث استفاده از آمار ایستگاه هواشناسی برای استفاده در مدل‌های فوق خارج از بحث این مقاله می‌باشد.

بر اساس راندمان کاربرد محاسبه شده که برابر ۶۵/۵ درصد برآورد گردید، برابر ۵۵ میلی‌متر به دست آمد. از آمار ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت نیشکر دهخدا استفاده شد. از آمار ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت دهخدا به منظور محاسبه تبخیر تعرق به روش پنمن‌مانتیت - فائو استفاده شد و از تبخیر تعرق محاسبه

جدول ۱- درصد سطح کود، مقدار کود مصرفی و زمان‌های تقسیط کود در تیمارهای آزمایشی

جمع	تقسیط ۴	تقسیط ۳	تقسیط ۲	تقسیط ۱	
۱۰۰	۲۰	۳۰	۳۰	۲۰	میزان کود (درصد)
۲۱۰	۴۲	۶۳	۶۳	۴۲	کود مصرفی (کیلوگرم)
	۱۳۹۲/۴/۱۶	۱۳۹۲/۳/۲۱	۱۳۹۲/۲/۲۵	۱۳۹۱/۱۲/۲۲	T ₁
۲۸۰	۵۶	۸۴	۸۴	۵۶	کود مصرفی (کیلوگرم)
	۱۳۹۲/۴/۱۶	۱۳۹۲/۳/۲۱	۱۳۹۲/۲/۲۵	۱۳۹۱/۱۲/۲۲	T ₂
۳۵۰	۷۰	۱۰۵	۱۰۵	۷۰	کود مصرفی (کیلوگرم)
	۱۳۹۲/۴/۱۶	۱۳۹۲/۳/۲۱	۱۳۹۲/۲/۲۵	۱۳۹۱/۱۲/۲۲	T ₃
۱۰۰		۳۰	۴۰	۳۰	میزان کود (درصد)
۲۱۰		۶۳	۸۴	۶۳	کود مصرفی (کیلوگرم)
		۱۳۹۲/۴/۷	۱۳۹۲/۳/۵	۱۳۹۲/۱/۲۷	T ₄
۲۸۰		۸۴	۱۱۲	۸۴	کود مصرفی (کیلوگرم)
		۱۳۹۲/۴/۷	۱۳۹۲/۳/۵	۱۳۹۲/۱/۲۷	T ₅
۳۵۰		۱۰۵	۱۴۰	۱۰۵	کود مصرفی (کیلوگرم)
		۱۳۹۲/۴/۷	۱۳۹۲/۳/۵	۱۳۹۲/۱/۲۷	T ₆
۱۰۰			۴۰	۶۰	میزان کود (درصد)
۲۱۰			۸۴	۱۲۶	کود مصرفی (کیلوگرم)
			۱۳۹۲/۴/۸	۱۳۹۲/۲/۲۷	T ₇
۲۸۰			۱۱۲	۱۶۸	کود مصرفی (کیلوگرم)
			۱۳۹۲/۴/۸	۱۳۹۲/۲/۲۷	T ₈
۳۵۰			۱۴۰	۲۱۰	کود مصرفی (کیلوگرم)
			۱۳۹۲/۴/۸	۱۳۹۲/۲/۲۷	T ₉
۱۰۰		۳۰	۴۰	۳۰	میزان کود (درصد)
۳۵۰		۱۰۵	۱۴۰	۱۰۵	کود مصرفی (کیلوگرم)
		۱۳۹۲/۴/۳	۱۳۹۲/۲/۳۰	۱۳۹۲/۲/۳	شاهد

T₁ = تیمار ۴ تقسیطی و ۶۰ (درصد) سطح کودی، T₂ = تیمار ۴ تقسیطی و ۸۰ (درصد) سطح کودی، T₃ = تیمار ۴ تقسیطی و ۱۰۰ (درصد) سطح کودی
 T₄ = تیمار ۳ تقسیطی و ۶۰ (درصد) سطح کودی، T₅ = تیمار ۳ تقسیطی و ۸۰ (درصد) سطح کودی، T₆ = تیمار ۳ تقسیطی و ۱۰۰ (درصد) سطح کودی
 T₇ = تیمار ۲ تقسیطی و ۶۰ (درصد) سطح کودی، T₈ = تیمار ۲ تقسیطی و ۸۰ (درصد) سطح کودی، T₉ = تیمار ۲ تقسیطی و ۱۰۰ (درصد) سطح کودی

نوبت‌های آبیاری تیمارهای آزمایش ۲۱ راند بود که از ۲۰ اسفند ۱۳۹۱ تا ۱۵ مهر سال ۱۳۹۲ اعمال گردید. در همین بازه زمانی، تعداد نوبت‌های آبیاری تیمار شاهد ۲۵ راند بود.

دبی جویچه‌ها با فلوم WSC، از طریق قرائت ارتفاع آب درون فلوم محاسبه و به این ترتیب حجم آب آبیاری و میزان ساعات آبیاری، که به منظور پوشش دادن میزان کمبود رطوبتی اعمال شد، مدیریت گردید. تعداد

جدول ۲ - برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مزرعه آزمایشی

هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	pH	کاتیون‌ها (میلی اکی‌والان بر لیتر)				آنیون‌ها (میلی اکی‌والان بر لیتر)		درصد سدیم انحلال-پذیر	نسبت جذب			عمق خاک (سانتی‌متر)	
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻		شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)		
۲/۳	۸/۱	۵/۵	۵/۳	۱۴/۶	۰/۱۵	۸/۱	۵/۳	۶/۳	۵۷/۲	۱۱	۵۱/۰	۳۸/۰	سیلتی رسی لوم ۰-۳۰
۲/۵	۸/۱	۶/۳	۶/۳	۱۷/۴	۰/۳۳	۶/۹	۴/۵	۶/۹	۵۸/۰	۱۰/۲	۵۰/۸	۳۹/۰	سیلتی رسی لوم ۳۰-۶۰

که در آن، ρ_1 و ρ_2 پارامترهای هیدرولیکی مقطع؛ n ضریب زبری مانینگ؛ S_0 شیب طولی مزرعه؛ و Q_0 دبی ورودی (مترمکعب در دقیقه است) (Abbasi, 2012). مقادیر ρ_1 و ρ_2 با استفاده از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\rho_2 = \frac{2}{C_2} \quad C_2 = \frac{3\sigma_2}{5\sigma_2 - 2\sigma_1} \quad (۴)$$

$$\rho_1 = \frac{1}{C_1 \rho_2} \quad C_1 = \sigma_1 \left[\frac{\gamma_1^{0.67}}{\sigma_1^{1.67}} \right]^{C_2} \quad (۵)$$

که در آن، C_1 و C_2 (بقیه پارامترها) پارامترهای تجربی هستند که با فرض یک رابطه توانی بین عمق و محیط خیس شده و سطح مقطع جریان برآورد می‌گردند. از اعداد استخراج شده با مقطع سنج دو نقطه، معمولاً نقطه وسط جویچه (y_2 عمیق‌ترین نقطه) و نقطه تقریباً با نصف ارتفاع نقطه

نیم‌رخ جویچه‌ها با مقطع سنج و شیب آنها با دوربین نقشه‌برداری تعیین شد. بعد از اولین آبیاری، تلفات عمقی آب آبیاری و تلفات نیتروژن برابر مراحل زیر به ترتیب تعیین شد.

اطلاعات برداشت شده با مقطع سنج شامل دو مورد زیر است: الف) ارتفاع کف جویچه تا خط مماس بر پشته جویچه (y)؛ ب) فاصله افقی تا پشته کناری (T).

محیط خیس شده (WP) برای دو نقطه اول و دوم به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$WP_1 = \sum_{i=1}^{n=y_2} \left\{ 2 \left[(y_i - y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})^2]^{0.5} \right] \right\} \quad (۱)$$

$$WP_2 = \sum_{i=1}^{n=y_2} \left\{ 2 \left[(y_i - y_{i-1})^2 + [0.5(T_i - T_{i-1})^2]^{0.5} \right] \right\} \quad (۲)$$

سطح مقطع جریان از رابطه ۳ قابل محاسبه است:

$$A_0 = \left[\frac{Q_0^2 n^2}{3600 S_0 \rho_1} \right]^{\frac{1}{\rho_2}} \quad (۳)$$

ارزیابی یکنواختی توزیع آب و نیتروژن در کودآبیاری...

تابع نفوذ فرم معادله کوستیاکف را دارد. $t_r =$ زمان
پسروی (دقیقه)؛ $(t_a)_i =$ زمان پیشروی به ایستگاه \bar{a}_m
(دقیقه)؛ a و K پارامترهای تجربی برآزش در معادله
کوستیاکف هستند.

جرم کود نفوذ یافته در واحد طول بین دو گام زمانی
متوالی با استفاده از غلظت املاح محلول در آب و مقدار
آب نفوذ یافته از رابطه زیر تعیین گردید:

$$F_z = \frac{\sum_{i=1}^n (Z_i^{t+\Delta t} - Z_i^t) \times \frac{(C_i^{t+\Delta t} + C_i^t)}{2} \times \Delta x_i}{L} \quad (15)$$

که در آن،

$F_z =$ جرم کود نفوذ یافته در واحد طول (کیلوگرم بر متر)
است و C_i^t ، $C_i^{t+\Delta t}$ ، Z_i^t و $Z_i^{t+\Delta t}$ به ترتیب غلظت کود
(کیلوگرم بر مترمکعب)؛ حجم آب نفوذ یافته در واحد
طول (متر مکعب بر متر) در گره \bar{a}_m و در زمان‌های t و
 $t + \Delta t$ هستند و اندازه گام مکانی (متر)؛
 $n =$ تعداد گره‌های محاسباتی در طول مزرعه و $L =$ طول
مزرعه است (Abbasi, 2014).

در این تحقیق، از مدل کودآبیاری عباسی و همکاران
(Abbasi et al., 2003a) برای شبیه‌سازی جریان آب و
انتقال نیترات در سطح خاک استفاده گردید.
این مدل از مدل ریاضی اینرسی صفر برای شبیه‌سازی
هیدرولیک جریان آب روی سطح خاک استفاده می‌کند
(Abbasi et al., 2003b).

برای حل معادله جریان آب روی سطح خاک، از روش
حجم کنترل در سلول‌های متحرک و خطی‌سازی به روش
الگوریتم نیوتن-رافسون استفاده شده است. در این مدل،
معادله انتقال-انتشار برای شبیه‌سازی انتقال املاح در
سطح خاک، به صورت یک بعدی حل شده است. برای
حل معادله انتقال املاح از روش عددی تفاضل محدود
کرانک-نیکلسون استفاده شده است (Abbasi, 2014).
در این مدل ترکیبی، غلظت املاح به‌کار برده شده به

قبلی (y_1) انتخاب و فاصله افقی هر نقطه تا پشتة کناری
(T_1) و (T_2) در نظر گرفته شد:

$$T = a_1 y^{a_2} \quad (6)$$

$$WP = \gamma_1 y^{\gamma_2} \quad (7)$$

$$A = \sigma_1 y^{\sigma_2} \quad (8)$$

$$a_2 = \frac{\log(T_2/T_1)}{\log(y_2/y_1)} \quad (9)$$

سپس مقدار a_1 محاسبه شد.

$$\sigma_1 = \frac{a_1}{a_2 + 1} \quad (10)$$

$$\sigma_2 = a_2 + 1 \quad (11)$$

$$\gamma_2 = \frac{\log(WP_2/WP_1)}{\log(y_2/y_1)} \quad (12)$$

پس از محاسبه WP_2 از رابطه ۲ و γ_2 از رابطه ۱۲ و
جاگذاری γ_2 در رابطه (۷)، مقدار γ_1 محاسبه می‌گردد.
قدم بعدی استفاده از روش بیلان حجمی برای محاسبه
ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف است. با انتگرال‌گیری از
توزیع رطوبت تحت‌الارضی و استفاده از قانون دوزنقه
می‌توان حجم کل آب نفوذ کرده را تعیین کرد:

$$V_z = \frac{L}{2n} (Z_0 + 2Z_1 + \dots + Z_n) \quad (13)$$

که در آن،

$L =$ طول جویچه (متر)؛ $Z =$ نفوذ تجمعی در نقطه‌ی i ام
(مترمکعب بر متر)؛ $n =$ تعداد تقسیمات جویچه و
 $V_z =$ حجم کل آب نفوذ یافته در طول جویچه (مترمکعب)
است. مقادیر نفوذ تجمعی را می‌توان از فرمول زیر
به دست آورد:

$$Z_i = K [t_r - (t_a)_i]^a \quad (14)$$

در مواردی که ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود مدل کمتر از ۸۵ درصد باشد با واسنجی این ضرایب، یکنواختی توزیع آب و کود تا مرز مورد نظر میسر می‌شود. این امر از یک طرف موجب یکنواختی رشد گیاه و از طرف دیگر، با توزیع یکنواخت و پخش کود در عمق مناسب خاک که متناسب با رشد و گسترش ریشه گیاه است، مانع از آب‌شویی نیترات می‌شود.

برای ارزیابی کارایی مدل از شاخص‌های ارزیابی حداکثر خطا (ME)^۱، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۲، ضریب تبیین (CD)^۳، شاخص سازگاری (d)^۴ (Willmott et al., 1982) و ضریب کارایی مدل (E)^۵ استفاده شد (Loague & Green, 1991). روابط این شاخص‌ها به ترتیب به صورت زیر هستند:

$$ME = \text{MAX} |P_i - Q_i| \quad (17)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (18)$$

$$CD = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \right] \quad (19)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{Q}| + |Q_i - \bar{Q}|)^2} \quad (20)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q}_i)^2} \quad (21)$$

که در روابط فوق،

P_i = مقادیر شبیه‌سازی شده؛ Q_i = مقادیر اندازه‌گیری شده؛ n = تعداد نمونه‌های به کار رفته؛ و \bar{Q}_i = مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده است. حداقل مقدار $RMSE$ ، ME و CD صفر است. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است. در حالی که $RSME$ نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با

صورت تابعی از زمان، گرادیان صفر غلظت و غلظت صفر املاح به ترتیب به عنوان شرط مرزی بالادست، شرط مرزی پایین دست و شرط اولیه در نظر گرفته می‌شوند. بعد از استخراج ضرایب معادله نفوذ کوستیاکف با استفاده از روش بیلان حجمی، ضریب یکنواختی توزیع آب با به‌کارگیری از روش کریستیانسن محاسبه شد. سپس از نتایج تجزیه نیترات در آزمایشگاه استفاده شد که از تجزیه نمونه‌های آب کود جمع‌آوری شده در زمان کودآبیاری‌ها حاصل شده. همچنین در هر دو روش، از داده‌های ثبت شده یک نوبت آبیاری، زمان قطع آبیاری، زمان شروع تزریق کود، مدت زمان تزریق کود و مقدار کود تزریق شده نیز استفاده شد. از ضرایب σ_1 و σ_2 که از داده‌های مقاطع جویچه‌های شاخص محاسبه شده بود و همچنین از ضرایب هیدرولیکی ρ_1 و ρ_2 در محاسبه مقدار نفوذ آب و کود در هر دو روش استفاده شد. خروجی مدل عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2003a) زمان‌های پیشروی، عمق نفوذ آب و مقدار نفوذ کود در بازه‌های زمانی مختلف از شروع آبیاری تا زمان قطع آب است. این مدل مقدار ضریب یکنواختی توزیع آب به روش کریستیانسن را محاسبه می‌کند ولی برای محاسبه ضریب یکنواختی توزیع کود باید از مقادیر کود نفوذ یافته در کل زمان آبیاری استفاده کرد و پس از آن با استفاده از روش کریستیانسن این ضریب یکنواختی محاسبه می‌شود (Abbasi, 2014). ضریب یکنواختی کریستیانسن به منظور برآورد میزان یکنواختی توزیع کود و آب از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$UC = 1 - \sum_{i=1}^n \left[\frac{abs(X_i - \bar{X})}{n\bar{X}} \right] \quad (16)$$

که در آن،

UC = ضریب یکنواختی کریستیانسن (اعشار)؛
 abs = علامت قدر مطلق؛ X_i = مقدار داده‌ها؛ \bar{X} = میانگین مقادیر داده‌ها؛ و n = تعداد داده‌هاست.

1- Maximum Error

3- Coefficient of Determination

5- Coefficient of Efficiency

2- Root Mean Square Error

4- Index of Agreement

بی‌معنی بودن اختلاف مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده است و گرنه مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، اختلاف معنی‌دار خواهند داشت. به عبارت دیگر، کمتر بودن مقادیر آماره T از بحرانی، نشان‌دهنده کارایی بالای مدل است. همچنین، آزمون T-test برای مقایسه تأثیر مقادیر مختلف دبی ورودی بر میزان تغییرات ضرایب یکنواختی آب و کود استفاده شد.

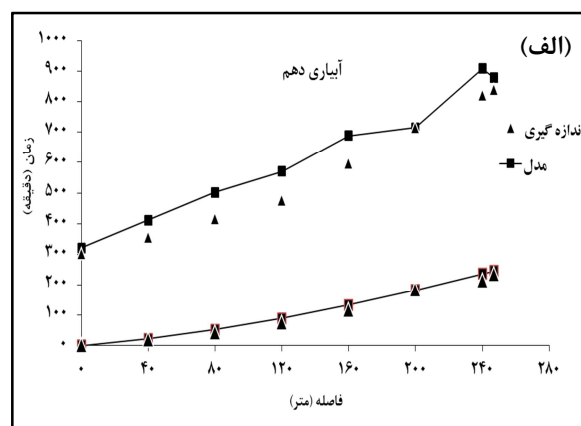
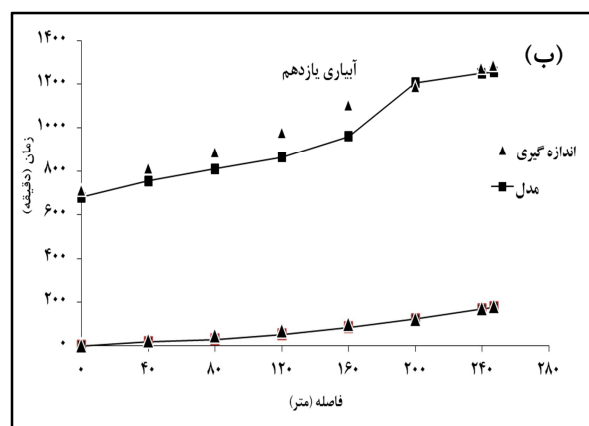
نتایج و بحث

مقایسه زمان‌های پیشروی

زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده در فواصل مختلف طول جویچه و مقادیر متناظر استخراجی از مدل عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2003a) برای آبیاری‌های دهم و یازدهم در شکل ۱ نشان داده شده است.

مقادیر اندازه‌گیری شده، چقدر است؛ شاخص CD نسبت پراکندگی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. چنانچه تمام مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های $RSME$ و ME برابر صفر و مقدار شاخص CD ، E و d برابر یک می‌شود. ضریب E نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به انحراف مقادیر اندازه‌گیری از مقادیر میانگین را نشان می‌دهد. مقدار ضریب E بین $-\infty$ تا $+\infty$ متغیر است. هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد مدل کاراتر است. مقدار ضریب d نیز از $-\infty$ تا $+\infty$ متغیر است (Alizadeh et al., 2010).

برای مقایسه آماری نتایج پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده در مزرعه با نتایج به‌دست آمده با مدل، از آزمون تی تست (T-test) استفاده شد. مقادیر خروجی آزمون T-test دو مقدار آماره T^1 و T^2 بحرانی هستند. اگر مقادیر آماره T از T بحرانی کوچک‌تر باشد، نتیجه آزمون



شکل ۱- مقایسه منحنی پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با مدل عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2003a) در آبیاری‌های دهم (الف) و یازدهم (ب)

درصد سطح کودی در آبیاری دهم و کودآبیاری سوم در فواصل ابتدای جویچه تا ۲۴۷ متری انتهای جویچه برابر ۲۳۵ دقیقه است؛ مدل، این زمان را ۲۴۶ دقیقه برآورد کرده است. در آبیاری دهم زمان پسروی اندازه‌گیری شده در ابتدای جویچه ۳۰۳ دقیقه بعد از شروع آبیاری است؛

همان‌طور که مشاهده می‌گردد همخوانی خوبی بین زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده در نقاط ۴۰ متری، و مضرری از ۴۰ تا انتهای جویچه، وجود دارد. شکل ۱- الف نشان می‌دهد که اختلاف زمان‌های ثبت شده پیشروی در تیمار سه تقسیمی و ۱۰۰

مدل، این زمان را ۳۲۱ دقیقه برآورد کرده است. پسروی در انتهای جویچه در ۸۳۹ دقیقه بعد از شروع آبیاری اتفاق افتاده درحالی که مدل این زمان را ۸۷۸ دقیقه برآورد کرده است. شکل ۱-ب نشان می‌دهد که اختلاف زمان‌های ثبت شده پیشروی در تیمار ۴ تقسیطی و ۶۰ درصد سطح کودی در آبیاری یازدهم و کودآبیاری چهارم در فواصل ابتدای جویچه تا ۲۴۷ متری انتهای جویچه، برابر ۱۸۰ دقیقه است و مدل و این زمان را ۱۷۶ دقیقه برآورد کرده است. از طرفی در آبیاری یازدهم زمان پسروی اندازه‌گیری شده در ابتدای جویچه ۷۱۰ دقیقه پس از شروع آبیاری است در حالی که زمان پسروی برآورد شده با مدل ۶۷۹ دقیقه است (شکل شکل ۱-ب).

پسروی در انتهای جویچه در ۱۲۸۴ دقیقه بعد از شروع آبیاری اتفاق افتاده است اما مدل این میزان را ۱۲۵۶ دقیقه برآورد کرده است. علت تغییر شیب منحنی پسروی در فاصله دویست متری در شکل ۱ این است که جویچه‌ها در واحدهای کشت و صنعت نیشکر انتها بسته هستند و با توجه به تجمع بیشتر آب در ۴۰ متر انتهای جویچه، پسروی نسبت به ۴۰ مترهای قبلی دیرتر اتفاق می‌افتد و به همین دلیل منحنی پسروی تغییر شیب بیشتری، نسبت به بقیه نقاط، دارد.

مقایسه عمق آب نفوذ یافته و ضرایب یکنواختی آب و کود

در تیمارهای ۳ تقسیطی مقدار ضریب K از ۰/۰۴۱ در آبیاری ششم تا ۰/۰۲۳ در آبیاری سوم متغیر است و مقدار ضریب a از ۰/۲۴۹ تا ۰/۵۱۰ در نوسان است. متوسط دبی ورودی از ۱/۲۵ تا ۱/۶۹ لیتر بر ثانیه و متوسط غلظت نیترات در آب آبیاری از ۵/۱۱ تا ۷/۴۵ میلی‌گرم تغییر می‌کنند. بیشترین زمان قطع آبیاری در تیمارهای ۳ تقسیطی، ۴۵۲ دقیقه و بیشترین زمان شروع تزریق ۱۸۷ دقیقه بعد از شروع آبیاری و بیشترین مدت زمان تزریق کود ۲۶۵ دقیقه است. بیشترین عمق آب نفوذ یافته اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل به ترتیب ۸۰ و ۷۶ میلی‌متر در آبیاری ششم است. کمترین ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود اندازه‌گیری مزرعه‌ای به ترتیب ۷۹/۴ و ۷۹/۳ درصد بودند اما در مدل به ترتیب ۹۵/۷ و ۸۰/۶ درصد است (جدول ۳). ضرایب یکنواختی آب در هر دو روش، بالاتر از ۸۵ درصد بود، ولی ضریب یکنواختی برآورد شده‌ی کود توسط مدل ۸۰ درصد است که یکی از دلایل ناهمخوانی به احتمال زیاد شرایط نامتعادل خاک در آبیاری و کودآبیاری اول است. از دلایل دیگر می‌توان به ضریب زبری بالای خاک در کودآبیاری اول یا به مقدار ضریب K محاسبه شده از روش بیلان حجمی اشاره نمود (جدول ۳).

در تیمار ۲ تقسیطی مقدار ضرایب K و a در آبیاری دهم به ترتیب برابر ۰/۰۹۵ و ۰/۳۷۸، دبی ورودی برابر ۱/۱۰ لیتر در ثانیه، غلظت نیترات برابر ۵/۹۴ میلی‌گرم در لیتر، زمان قطع آبیاری، زمان شروع تزریق و مدت تزریق

در تیمارهای ۴ تقسیطی، مقدار ضریب K از ۰/۰۳۳ در آبیاری یازدهم تا ۰/۰۱۶۷ در آبیاری اول متغیر و مقدار ضریب a از ۰/۳۰۳ تا ۰/۵۲۷ در نوسان است. تغییرات متوسط دبی ورودی و متوسط غلظت نیترات در آب آبیاری به ترتیب از ۰/۸۴ تا ۲/۴۷ لیتر بر ثانیه و از ۲/۱۲ تا ۸/۵۰ میلی‌گرم در نوسان است. بیشترین زمان قطع آبیاری در تیمارهای ۴ تقسیطی ۵۳۰ دقیقه و کمترین زمان شروع تزریق ۱۲۱ دقیقه بعد از شروع آبیاری و بیشترین مدت

توجه به مدت زمان تزریق کود نشان می‌دهد که در آبیاری‌های اول، که مدت زمان آبیاری کوتاه‌ترند، این تزریق در یک‌سوم انتهای زمان آبیاری صورت گرفته ولی در آبیاری‌های بعدی به نیمه دوم زمان آبیاری و در تقسیط‌های انتهایی به خصوص در تیمارهای ۴ تقسیطی در تقسیط چهارم این زمان به ۶۲ درصد انتهایی مدت زمان آبیاری ختم شده است. دلیل کوتاه بودن تزریق در آبیاری‌ها و کودآبیاری‌های اول و منتهی شدن آن به یک‌سوم انتهای آبیاری بستگی دارد به مراحل رشد نیشکر و طول ریشه این گیاه به طوری که در تزریق‌های انتهایی با گسترش بیشتر ریشه، مدت زمان آبیاری نیز بیشتر می‌شود و مدت زمان تزریق از ۳۰ درصد انتهای مدت زمان آبیاری به میزان ۶۰ درصد این مدت زمان آبیاری افزایش می‌یابد. این گستره که از مدت زمان کل آبیاری بیشتر است، موجب نفوذ بیشتر کود در خاک می‌شود و محدوده کامل‌تری از ریشه را پوشش می‌دهد. در این پژوهش، بر اساس نتایج تحقیقات قبلی (Playan & Faci, 1997; Ganjeh, 2006; Crevoisier *et al.*, 2008; Abbasi *et al.*, 2009)، از تزریق کود در شروع آبیاری پرهیز و به طور عمده به نیمه دوم آبیاری موقوف شد.

مدیریت اعمال دبی مناسب در آبیاری‌های مختلف به شرایط مزرعه و مرحله رشد گیاه برمی‌گردد. در آبیاری اول به دلیل تبدیل جوی به پشته (هلینگ‌آپ)، به هم خوردگی خاک و پوک شدن خاک، فرصت نفوذ کم می‌شود و بیشترین مقدار آب وارد شده به جویچه به سرعت نفوذ می‌کند. لذا تزریق بیشترین دبی غیرفرفسایشی و کم کردن فرصت نفوذ موجب توزیع یکنواخت‌تر کود در طول جویچه می‌شود و عملاً موجب ارتقای ضریب یکنواختی توزیع آب و کود در آبیاری‌های خواهد شد و در کودآبیاری‌های انتهایی به دلیل تثبیت خاک مزرعه و طویل شدن ریشه، تزریق دبی کمتر در مدت زمانی طولانی‌تر موجب افزایش فرصت نفوذ آب و

به ترتیب برابر با ۴۸۴، ۱۹۹ و ۲۸۵ دقیقه است. عمق آب نفوذ یافته و ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود اندازه‌گیری شده در آبیاری دهم به ترتیب برابر ۷۲ میلی‌متر، ۹۰/۱ درصد و ۸۹/۰ درصد و در مدل برابر ۷۵ میلی‌متر، ۹۸/۲ درصد و ۸۱/۴ درصد است. اختلاف مقدار آب نفوذ یافته در دو روش فقط ۳ میلی‌متر است. ضرایب یکنواختی آب در دو روش بیش از ضرایب یکنواختی توزیع کود است؛ این اختلاف در مدل بارزتر است و به بیش از ۱۶ درصد می‌رسد (جدول ۳).

اثر تیمارهای تقسیط و سطوح کودی بر ضرایب نفوذ اثری است غیر مستقیم و به مراحل رشد گیاه و دبی ورودی وابسته است. با تغییر دبی ورودی و تغییر زمان‌های پیشروی که منشعب از میزان دبی ورودی به جویچه است این ضرایب نفوذ نیز دچار تغییر می‌شوند. شرایط خاک از جمله ضریب زبری هم در مقدار این ضرایب مؤثر است ولی با توجه به آبیاری‌های متوالی و تثبیت شرایط بستر جویچه، ضریب زبری جویچه در آبیاری‌های بعدی به سمت ثابت میل می‌کند.

مدت زمان آبیاری و تزریق کود در کودآبیاری‌ها متغیر است و به مراحل رشد گیاه بستگی دارد. مدت زمان تزریق کود نیز به مراحل رشد نیشکر و مدت زمان آبیاری بستگی دارد و اینها همه نیز وابسته به مقدار تبخیر و تعلق گیاه هستند. به طوری که کوتاه‌ترین زمان آبیاری متعلق به تیمار ۴ تقسیطی و ۶۰ درصد سطح کودی در اولین آبیاری به مدت ۱۸۰ دقیقه است و کم‌ترین مدت زمان تزریق کود نیز به همین تیمار و همین آبیاری با مدت زمان ۵۹ دقیقه تعلق گرفت. ولی طولانی‌ترین مدت زمان آبیاری به تیمار ۴ تقسیطی و ۱۰۰ درصد سطح کودی در آبیاری هشتم به میزان ۵۳۰ دقیقه متعلق است. در حالی که تیمار چهار تقسیطی و ۶۰ درصد سطح کودی در آبیاری یازدهم بیش‌ترین مدت زمان تزریق کود (با مدت زمان ۲۹۵ دقیقه) را به خود اختصاص داد.

می‌شود که مقدار ضریب زبری مانینگ در مرحله واسنجی تعیین و مقدار آن $0/04$ معین شد که در مقادیر واسنجی شده از این مقدار استفاده گردید. در هر چهار تیمار، بدون تغییر دبی و زمان قطع آبیاری و فقط با تغییر شیب، زمان شروع و مدت زمان تزریق، ضریب یکنواختی توزیع کود واسنجی شده و حداقل به 85 درصد ارتقا یافته است. در مرحله دوم برای واسنجی ضریب یکنواختی کود، سعی شده تا اگر دبی اولیه زیاد بوده با کاهش دبی و در عوض افزایش زمان قطع آبیاری، یا برعکس، در صورت کم بودن دبی اولیه با افزایش دبی و کاهش زمان قطع آبیاری، ضریب یکنواختی توزیع کود واسنجی شود. البته در هر دو مورد نیز تغییر شیب جویچه و تغییر زمان شروع و مدت زمان تزریق کود همزمان با تغییرات فوق در مدل لحاظ گردید. به طوری که در آبیاری و کودآبیاری اول تیمار چهار تقسیمی، در مورد اول واسنجی شده، با تغییر مقدار شیب جویچه و زمان شروع تزریق کود، ضریب یکنواختی از $80/2$ درصد به $95/1$ درصد ارتقا یافت. در دومین مورد واسنجی شده، با کاهش دبی ورودی از $2/47$ به $1/2$ لیتر در ثانیه و افزایش زمان قطع آبیاری از 210 به 460 دقیقه نیز ضریب یکنواختی توزیع کود حتی از آب بیشتر شد و به $98/5$ درصد رسید. در سه تیمار بعدی نیز با بهره‌گیری از تکنیک‌های فوق ضرایب یکنواختی توزیع کود ارتقا یافته است (جدول ۴).

اعمال مدیریت صحیح با ورود دبی مناسب به مزرعه، موجب ارتقای ضرایب یکنواختی آب و کود می‌گردد. به طوری که در آبیاری و کودآبیاری‌های اول طبیعی است که نفوذ آب و کود در مزرعه‌ای که به تازگی هلینگ‌آپ (تبدیل جوی به پشته) شده و هنوز سطح خاک تثبیت نشده است بیشتر باشد. لذا با ورود دبی بیشتر عملاً فرصت نفوذ کم‌تر می‌شود و ضرایب یکنواختی آب و کود در آبیاری و کودآبیاری‌های اول افزایش می‌یابد. در کودآبیاری‌های انتهایی با تثبیت

کود می‌شود و در نتیجه کود در عمق بیشتری از خاک نفوذ می‌کند که به تبع آن دامنه گسترده‌تری از ریشه پوشش داده می‌شود. این امر در نهایت ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود بالاتری را موجب می‌گردد. بر اساس توضیحات بالا در تیمار ۴ تقسیمی و 80 درصد سطح کودی در آبیاری اول $2/47$ لیتر در ثانیه به ثبت رسید. در حالی که این میزان دبی در تیمار ۴ تقسیمی و 100 درصد سطح کودی در آبیاری هشتم به $0/84$ لیتر در ثانیه تنزل یافت. به عبارت دیگر در این تحقیق مطابق یافته‌های تحقیقات قبلی (Pang & Letey, 1998; Abbasi *et al.*, 2003b; Mailhol *et al.*, 2007) با اعمال عمق مناسب آب آبیاری، مدیریت بهینه کودآبیاری حاصل آمد و ریسک آبشویی نترات کاسته شد. اعمال مدیریت صحیح دبی ورودی و تزریق کود در زمان‌های مناسب، موجب افزایش ضریب یکنواختی توزیع آب و کود شده است. مقدار ضرایب یکنواختی جدول ۳ به وضوح این موضوع را نشان می‌دهد.

مقادیر واسنجی شده ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود

مقادیر ضریب یکنواختی آب و کود اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده با مدل عباسی و همکاران (جدول ۳) نشان می‌دهد که در چهار تیمار، توزیع کود از 85 درصد کمتر است. از نظر تئوری، ضریب یکنواختی توزیع آب و کود باید حداقل به 85 درصد ارتقا یابد تا هدف پخش یکنواخت آب و کود در سطح جویچه میسر شود. به همین دلیل با سعی و خطا و تغییر حداقل سه تا حداکثر پنج پارامتر: زمان شروع تزریق کود و مدت زمان تزریق کود، غلظت نترات تزریقی، زمان قطع آبیاری و شیب جویچه با استفاده از مدل، ضرایب یکنواختی توزیع آب و به خصوص کود ارتقا داده شد که نتایج این مقادیر واسنجی شده در جدول ۴ نشان داده شده است. یادآوری

ارزیابی یکنواختی توزیع آب و نیتروژن در کودآبیاری...

کودآبیاری توسط نمایه‌های آماری با هم مقایسه گردیده‌اند. مقایسه مقادیر E که در تمام تیمارها نزدیک به یک است نشان از کارایی بالای مدل در پیش‌بینی مدت زمان‌های پیشروی و پسروی دارد.

در جدول ۶ مقادیر میانگین دبی ورودی به جویچه و میانگین ضرایب یکنواختی آب و کود اندازه‌گیری مزرعه‌ای که در جدول ۳ نشان داده شده‌اند از طریق آزمون T-test با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هم در مورد ضریب یکنواختی آب و هم ضریب یکنواختی کود، مقادیر آماره T از T بحرانی بزرگتر است. این موضوع نشان می‌دهد که بین مقادیر دبی ورودی و ضرایب یکنواختی اندازه‌گیری آب و کود، اختلاف معنی‌داری وجود دارد، یعنی کم و زیاد شدن مقادیر دبی ورودی به جویچه در نوسانات ضرایب یکنواختی آب و کود مؤثر است به طوری که تغییر مقادیر دبی ورودی موجب تغییر معنی‌داری در ضرایب یکنواختی آب و کود شده است.

در جدول ۷ مقادیر میانگین مدت زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل در تیمارهای کودآبیاری از طریق آزمون T-test با هم مقایسه شده‌اند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در تمامی تیمارها مقادیر آماره T از T بحرانی کوچکتر است. این موضوع نشان می‌دهد که مدت زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مقادیر استخراجی از مدل اختلاف معنی‌داری با هم ندارند که نشان از کارایی بالای مدل در پیش‌بینی زمان‌های پیشروی و پسروی دارد.

خاک و پرشدن مجاری و فضاهاى خالی خاک با آبیاری‌های قبلی، فرصت نفوذ آب و کود بیشتر می‌شود. از این‌رو دبی کمتر افزایش ضریب یکنواختی توزیع آب و کود را به همراه خواهد داشت.

در آبیاری و کودآبیاری‌های اول که مدت زمان قطع آب نیز کوتاهتر از مدت زمان قطع آبیاری‌های بعدی است، با تزریق کود در یک‌سوم انتهای مدت زمان قطع آبیاری، مدیریت بهینه کودآبیاری اعمال می‌شود. یعنی با توجه به وضع تثبیت نشده خاک و پوک بودن آن و همچنین کم بودن عمق توسعه ریشه، عملاً با کوتاه کردن مدت زمان تزریق، آن‌هم در انتهای مدت زمان آبیاری، هم عمق توسعه کود در خاک کم می‌شود و هم ضریب یکنواختی آب و کود ارتقا پیدا می‌کند. اما در کودآبیاری‌های بعدی، به‌خصوص در آخرین تقسیط کودآبیاری‌ها، به دلیل توسعه عمودی و افقی ریشه و تثبیت سطح خاک و پر شدن مجاری و فضاهاى خالی خاک در اثر آبیاری‌های قبلی در عمل با گسترده کردن مدت زمان تزریق کود (نسبت به اولین کودآبیاری‌ها) و با اعمال دبی کمتر، مدیریت بهینه کودآبیاری حاصل می‌شود بدین معنا که در تقسیط‌های انتهایی، مدت زمان تزریق کود عمدتاً در ۶۰ درصد انتهای زمان قطع آب اعمال می‌شود و بدین ترتیب کود فرصت بیشتری برای توسعه عمودی در خاک دارد و تا عمق توسعه ریشه پیش می‌رود. این امر موجب استفاده بهینه از کود توسط گیاه و رشد یکنواخت آن در مزرعه می‌شود و آبشویی نترات را به حداقل کاهش می‌دهد.

در جدول ۵ مقادیر مدت زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری مزرعه‌ای و مدل در تیمارهای

جدول ۳ - مقایسه مقادیر عمق آب نفوذ یافته و ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود اندازه‌گیری و برآورد شده با مدل عباسی و همکاران

مدل	اندازه‌گیری شده					مدت تزریق (دقیقه)	مدت شروع تزریق کود (دقیقه)	مدت زمان قطع آبیاری (دقیقه)	متوسط غلظت نیترات در آب آبیاری (میلی‌گرم بر لیتر)	متوسط دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)	K	a	نوبت تقسیط کود آبیاری	نوبت آبیاری	سطوح کودی	سطوح تقسیط
	ضریب یکنواختی توزیع (درصد)	عمق آب نفوذ یافته (میلی‌متر)	ضریب یکنواختی توزیع (درصد)	عمق آب نفوذ یافته (میلی‌متر)	مدت تزریق (دقیقه)											
آب	۹۷/۵	۵۵	۸۶/۱	۸۷	۶۰	۵۹	۱۲۱	۱۸۰	۵/۱۶	۲/۳	۰/۰۱۵۷	۰/۳۰۳	اول	آبیاری اول	۶۰ درصد	
آب	۹۵/۹	۶۶	۸۹/۴	۸۹/۴	۷۴	۷۲	۱۲۹	۲۰۱	۵/۲۵	۲/۴۷	۰/۰۱۶۷	۰/۳۳۸	اول	آبیاری اول	۸۰ درصد	
آب	۹۷/۵	۶۸	۸۳/۷	۸۵/۰	۷۳	۲۹۰	۱۴۶	۴۳۶	۴/۰۹	۱/۱۸	۰/۰۰۸۸	۰/۳۸۵	دوم	آبیاری پنجم	۸۰ درصد	چهار تقسیطی
آب	۹۷/۲	۶۰	۹۷/۲	۹۹/۳	۶۲	۲۴۵	۲۸۵	۵۲۰	۸/۵۰	۰/۸۴	۰/۰۰۵	۰/۴۴۰	سوم	آبیاری هشتم	۱۰۰ درصد	
آب	۹۷/۶	۷۱	۹۴/۱	۸۱/۶	۷۷	۲۹۵	۱۷۸	۴۷۳	۲/۱۲	۱/۱۲	۰/۰۰۳۳	۰/۵۲۷	چهارم	آبیاری یازدهم	۶۰ درصد	
آب	۹۵/۷	۵۴	۸۶/۷	۸۷/۵	۶۲	۱۴۵	۹۵	۲۴۰	۷/۴۵	۱/۶۹	۰/۰۲۳	۰/۲۴۹	اول	آبیاری سوم	۱۰۰ درصد	
آب	۹۷/۶	۷۶	۷۹/۳	۷۹/۴	۸۰	۲۶۰	۱۴۹	۴۰۹	۵/۱۱	۱/۴۰	۰/۰۰۴۱	۰/۵۱۰	دوم	آبیاری ششم	۸۰ درصد	سه تقسیطی
آب	۹۸/۲	۷۵	۹۳/۸	۸۳/۷	۷۳	۲۶۵	۱۸۷	۴۵۲	۵/۲۹	۱/۲۵	۰/۰۰۹۵	۰/۳۷۲	سوم	آبیاری دهم	۱۰۰ درصد	
آب	۹۸/۲	۷۵	۸۹/۰	۹۰/۱	۷۲	۲۸۵	۱۹۹	۴۸۴	۵/۹۴	۱/۱۰	۰/۰۰۹۵	۰/۳۷۸	دوم	آبیاری دهم	۸۰ درصد	دو تقسیطی

جدول ۴ - مقایسه مقادیر واسنجی شده ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود توسط مدل عباسی و همکاران

ضریب یکنواختی توزیع (درصد)	مدت تزریق (دقیقه)	زمان شروع تزریق کود (دقیقه)	زمان قطع آبیاری (دقیقه)	متوسط غلظت نیترات (میلی گرم بر لیتر)	متوسط		وضعیت تیمار	K	a	نوبت تقسیم کود آبیاری	نوبت آبیاری	سطوح کودی	سطوح تقسیمی	
					شیب جویچه (متر بر متر)	دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)								
۸۰/۲	۹۵/۹	۷۲	۱۲۹	۲۰۱	۵/۲۵	۲/۴۷	۰/۰۰۰۵			واسنجی نشده				
۹۵/۱	۹۶/۹	۲۰۱	۰	۲۰۱	۱/۸۸	۲/۴۷	۰/۰۰۰۳	۰/۳۳۸	۰/۰۱۶۷	اول	آبیاری اول	۸۰ درصد		
۹۸/۵	۹۷/۸	۴۶۰	۰	۴۶۰	۱/۶۹	۱/۲	۰/۰۰۰۳			واسنجی شده			چهار تقسیمی	
۸۰/۵	۹۷/۵	۲۹۰	۱۴۶	۴۳۶	۴/۰۹	۱/۱۸	۰/۰۰۰۵			واسنجی نشده				
۹۳/۹	۹۴/۹	۴۳۶	۰	۴۳۶	۲/۷۲	۱/۱۸	۰/۰۰۰۳	۰/۳۸۵	۰/۰۰۸۸	دوم	آبیاری پنجم	۸۰ درصد		
۸۶/۹	۹۳/۱	۲۶۰	۰	۲۶۰	۲/۶۹	۲/۰۰	۰/۰۰۰۳			واسنجی شده				
۸۰/۶	۹۵/۷	۱۴۵	۹۵	۲۴۰	۷/۴۵	۱/۶۹	۰/۰۰۰۵			واسنجی نشده				
۹۰/۰	۹۳/۳	۳۰۰	۰	۳۰۰	۳/۰۷	۱/۹	۰/۰۰۰۳	۰/۲۴۹	۰/۰۲۳	اول	آبیاری سوم	۱۰۰ درصد	سه تقسیمی	
۹۵/۰	۹۶/۲	۴۰۰	۰	۴۰۰	۳/۶۵	۱/۲۰	۰/۰۰۰۳			واسنجی شده				
۸۱/۴	۹۸/۲	۲۸۵	۱۹۹	۴۸۴	۵/۹۴	۱/۱۰	۰/۰۰۰۵			واسنجی نشده				
۸۹/۸	۹۵/۱	۴۸۴	۰	۴۸۴	۳/۵۱	۱/۱۰	۰/۰۰۰۳	۰/۳۷۸	۰/۰۰۹۵	دوم	آبیاری دهم	۸۰ درصد	دو تقسیمی	
۸۶/۷	۹۲/۴	۲۸۰	۰	۲۸۰	۳/۳۳	۲/۰۰	۰/۰۰۰۳			واسنجی شده				

جدول ۵ - نمایه‌های آماری مقایسه زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل عباسی و همکاران

<i>d</i>	<i>E</i>		<i>CD</i>		<i>RMSE</i>		<i>ME</i>		نوبت تقسیط کودآبیاری	نوبت آبیاری	سطوح کودی	سطوح تقسیط
	پیشروی	پسروی	پیشروی	پسروی	پیشروی	پسروی	پیشروی*	پسروی				
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱۲	۶۳/۲۹	۹/۲۳	۵۰	۱۳	اول	آبیاری اول	۶۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۷۴۲	۰/۹۹۷۰	۰/۰۲۵۸	۰/۰۰۳۰	۳۵۹/۶۰	۱۷/۹۸	۴۵۴	۲۴	اول	آبیاری اول	۸۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۶	۰/۹۹۸۰	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۲۰	۸۵/۰۱	۲۰/۳۸	۱۶۸	۳۵	دوم	آبیاری پنجم	۸۰ درصد
۰/۹۹۹۸	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۴۵	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۵۵	۰/۰۰۱۳	۲۶۳/۲۰	۱۹/۰۶	۳۴۲	۲۵	سوم	آبیاری هشتم	۱۰۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۳	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۴	۹۵/۷۰	۱۲/۴۳	۱۴۳	۱۸	چهارم	آبیاری یازدهم	۶۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۴	۰/۹۹۶۸	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۳۲	۶۷/۷۰	۲۲/۴۴	۷۸	۳۲	اول	آبیاری سوم	۱۰۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۷۴۱	۰/۹۹۷۹	۰/۰۲۵۹	۰/۰۰۲۱	۷۳۲/۵	۱۶/۹۱	۳۶۱	۲۲	دوم	آبیاری ششم	۸۰ درصد
۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۹۹	۰/۹۹۸۱	۰/۹۹۸۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴	۸۷/۱۴	۱۶/۰۶	۹۲	۱۸	سوم	آبیاری دهم	۱۰۰ درصد
۰/۹۹۹۷	۰/۹۹۹۹	۰/۹۸۵۴	۰/۹۹۷۳	۰/۰۱۴۶	۰/۰۰۲۷	۵۲۳/۴	۲۸/۰۷	۴۷۹	۳۳	دوم	آبیاری دهم	۸۰ درصد

* زمان‌های پیشروی و پسروی بر حسب دقیقه هستند

جدول ۶ - مقایسه آماری مقادیر متوسط دبی و ضرایب یکنواختی آب و کود از طریق آزمون T-test

ضریب یکنواختی آب		ضریب یکنواختی کود	
T آماری	T بحرانی	T آماری	T بحرانی
۳/۲۱۸	۲/۳۰۶	۳/۰۶۶	۲/۳۰۶

جدول ۷- نتایج آزمون T-test مقایسه زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل عباسی و همکاران

زمان پسروی		زمان پیشروی		نوبت تقسیم کودآبیاری	نوبت آبیاری	سطوح کودی	سطوح تقسیم
T بحرانی	T آماری	T بحرانی	T آماری				
۲/۴۴۷	۰/۷۸۵	۲/۴۴۷	۰/۵۵۲	اول	آبیاری اول	۶۰ درصد	
۲/۴۴۷	۰/۱۷۶	۲/۴۴۷	-۰/۴۲۱	اول	آبیاری اول	۸۰ درصد	
۲/۴۴۷	۰/۱۲۵	۲/۴۴۷	-۲/۰۷۹	دوم	آبیاری پنجم	۸۰ درصد	چهار تقسیمی
۲/۴۴۷	۰/۵۵۰	۲/۴۴۷	۱/۱۵۰	سوم	آبیاری هشتم	۱۰۰ درصد	
۲/۴۴۷	۱/۸۸۴	۲/۴۴۷	۱/۸۸۰	چهارم	آبیاری یازدهم	۶۰ درصد	
۲/۴۴۷	۱/۵۶۳	۲/۴۴۷	۱/۵۶۲	اول	آبیاری سوم	۱۰۰ درصد	
۲/۴۴۷	۲/۱۶۱	۲/۴۴۷	۱/۸۳۵	دوم	آبیاری ششم	۸۰ درصد	سه تقسیمی
۲/۴۴۷	-۱/۸۴۹	۲/۴۴۷	-۱/۶۶۹	سوم	آبیاری دهم	۱۰۰ درصد	
۲/۴۴۷	۱/۰۹۱	۲/۴۴۷	-۰/۴۶۵	دوم	آبیاری دهم	۸۰ درصد	دو تقسیمی

نتیجه‌گیری

کاهش یافته است و در هر دو این تیمارها مقادیر ضرایب یکنواختی توزیع کود حتی از عمق آب نفوذ یافته بیشتر است و به بیش از ۹۰ درصد می‌رسد. از دلایل این امر می‌توان به تثبیت نبودن سطح خاک در آبیاری و کود آبیاری‌های اول اشاره کرد که این وضعیت بر مقدار نفوذ آب و به تبع آن بر مقدار نفوذ کود مؤثر است و با پر شدن مجاری خاک در آبیاری‌های بعدی، تثبیت سطح خاک بیش‌تر شده و فرصت نفوذ نیز افزایش می‌یابد؛ همین امر در تطبیق بیش‌تر نتایج دو روش و افزایش ضریب یکنواختی توزیع کود مؤثر بوده است. همچنین در چهار تیمار از ۱۰ تیمار کودآبیاری که مقادیر ضریب یکنواختی توزیع کود در آن‌ها از ۸۵ درصد کمتر است با سعی و خطا و با تغییر حداقل سه تا حداکثر پنج پارامتر، ضرایب یکنواختی توزیع کود واسنجی شد. در این خصوص سعی شده است تا اگر دبی اولیه زیاد است با کاهش آن و افزایش زمان قطع آبیاری، یا برعکس، و نیز با تغییر شیب جویچه و تغییر زمان شروع و مدت زمان تزریق کود، ضریب یکنواختی توزیع کود واسنجی شود. مقدار نمایه آماری E در تمام تیمارهای کودآبیاری بزرگتر از ۰/۹۹۰

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که اعمال مدیریت بهینه کودآبیاری موجب ارتقای ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود شده است. اکثر ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود اندازه‌گیری شده بیش از ۸۰ درصد و برخی بیش از ۸۵ درصد بودند. به‌جز یک مورد از ضرایب یکنواختی محاسبه شده توسط مدل (که علت آن پیش‌تر گفته شده)، در بقیه موارد ضرایب توزیع یکنواختی آب و کود در هر دو روش بیش از ۸۰ درصد است. کم‌ترین انطباق در دو روش، در مورد عمق آب نفوذ یافته و ضرایب یکنواختی توزیع آب و کود در اولین تقسیم‌های کود و اولین آبیاری‌هاست به طوری که در تیمار چهار تقسیمی و ۸۰ درصد سطح کودی در آبیاری اول، بیش‌ترین اختلاف عمق آب نفوذ یافته به میزان ۸ میلی‌متر مشاهده می‌شود. در نوبت‌های آبیاری و تقسیم کودآبیاری‌های انتهایی، انطباق مقادیر هر دو روش بیش‌تر شد به طوری که در تیمار ۴ تقسیمی و ۶۰ درصد سطح کودی در آبیاری یازدهم و تیمار ۳ تقسیمی و ۱۰۰ درصد سطح کودی در آبیاری دهم، اختلاف مقدار عمق آب نفوذ یافته به ۲ میلی‌متر

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که مدل عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2003a) می‌تواند با توجه به شرایط مختلف مزرعه و با تعریف ضرایب نفوذ برای مدل و تغییر شیب، افزایش یا کاهش میزان دبی و تغییر طول جویچه، شرایط بهینه را برای افزایش کارایی مصرف آب و یکنواختی توزیع کود فراهم آورد. بنابراین، استفاده از مدل عباسی و همکاران به منظور افزایش کارایی مصرف آب و کود و یکنواختی توزیع در منطقه توصیه می‌شود. از آنجاکه این نتایج حاصل پژوهشی یک ساله است، پیشنهاد می‌شود چنین طرح‌هایی به صورت چند ساله برای ارقام تجاری نیشکر از مرحله پلانت تا مراحل بعدی راتون نیز ادامه یابد.

است که نشان از کارایی بالای مدل در پیش‌بینی زمان‌های پیشروی و پسروی دارد. مقایسه مدت زمان‌های پیشروی و پسروی اندازه‌گیری شده با مدت زمان پیشروی و پسروی شبیه‌سازی شده در تمامی تیمارهای کودآبیاری توسط آزمون T-test نشان می‌دهد که مقادیر آماره T کمتر از مقدار ۲/۴۴۷ (T بحرانی) است. این امر نشان از کارایی بالای مدل عباسی و همکاران (Abbasi *et al.*, 2003a) دارد. همچنین در مورد دبی ورودی به جویچه و ضرایب یکنواختی آب و کود، بیشتر بودن مقادیر آماره T از مقدار ۲/۳۰۵ (T بحرانی)، تأثیر معنی‌دار میزان دبی در نوسانات ضرایب یکنواختی آب و کود را نشان می‌دهد.

مراجع

- Abbasi, F. 2012. Principles of Flow in Surface Irrigation. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID) Pub. 232 p. (in Farsi)
- Abbasi, F. 2014. Advanced Soil Physics. 2nd Ed. Tehran University: Institute of Publishing and Printing, Tehran University. 320 p. (in Farsi)
- Abbasi, F., Shooshtari, M. M. and Feyen, J. 2003c. Evaluation of the various surface irrigation numerical simulation models. *J. Irrig. Drain. Eng.* 129(3): 208-213.
- Abbasi, F., Adamsen, F., Hunsaker, D., Feyen, J., Shouse, P. and van Genuchten, M. Th. 2003b. Effects of flow depth on water flow and solute transport in furrow irrigation: field data analysis. *J. Irrig. Drain. Eng.* 129(4): 237-246.
- Abbasi, F., Simunek, J., van Genuchten, M. Th., Feyen, J., Adamsen, F. J., Hunsaker, D. J., Strelkoff, T. S. and Shouse, P. 2003c. Overland water flow and solute transport: Model development and field data analysis. *J. Irrig. Drain. Eng.* 129(2): 71-81.
- Abbasi, F., Liaghat, A. M. and Ganjeh, A. 2008. Evaluation of uniformity in furrow fertigation. *J. Soil Water.* 39, 37-26. (in Farsi)
- Abbasi, F., Liaghat, A. M., Alizadeh, H. A., Abbasi, Y. and Mohseni, A. 2009. Evaluation of nitrate losses in furrow fertigation by field data and model analysis. *J. Water Soil.* 24, 781-791. (in Farsi)
- Abdollahi, L. 2009. A revision of sugarcane fertilizer irrigation management and integration of domestic and foreign experience and using plant models predict. *Shekan Sugar Magazine*, April 2009. Deabal Khazae Agro-Industry. (in Farsi)
- Alizadeh, H. A., Liaghat, A. M. and Abbasi, F. 2009. Effect of furrow fertigation on fertilizer and water use efficiency, productivity and yield components of corn (*Zea mays* L.). *J. Water Soil.* 23(4): 137-147. (in Farsi)
- Alizadeh, H. A., Nazari B., Parsinejad, M., Ramezani Eetedali, H. and Janbaz, H. R. 2010. Evaluation of AquaCrop model on wheat deficit irrigation in Karaj area. *Iranian J. Irrig. Drain.* 2(4): 278-283. (in Farsi)
- Bacon, P. E. 1995. Nitrogen Fertilization in the Environment. Marcel Dekker Inc., New York.

- Boldt, A. L., Watts, D. G. Eisenhauer, D. E. and Schepers, J. S. 1994. Simulation of water applied nitrogen distribution under surge irrigation. *Trans. ASAE*. 37(4): 1157-1165.
- Bose, P. K. and Thakur, K. 1977. Critical time of irrigation and nitrogen fertilisation under water deficit condition -review of work done at Sugarcane Research Institute, Pusa. *Indian Sugar*, 26: 809-811.
- Crevoisier, D., Popova, Z., Mailhol, J. C. and Ruelle, P. 2008. Assessment and simulation of water and nitrogen transfer under furrow irrigation. *Agric. Water Manage.* 95, 354-366.
- Ganjeh, A. 2006. Evaluation of fertigation distribution in furrow irrigation. M.Sc. Thesis. Irrigation and Drainage. College of Agriculture and Natural Resources. Tehran University. (in Farsi)
- Hanson, B., W. Bowers, B., Davidoff, D., Kasapligil, A., Carvajal, and Bendixen, W. 1999. Field performance of micro-irrigation systems, micro-irrigation for a changing world: Conserving Resources/Preserving the Environment. *Proc. 5th Int. Micro-Irrigation Congress*.
- Jaynes, D. B., Rice, R. C. and Hunsaker, D. J. 1992. Solute transport during chemigation of a level basin. *Trans. ASAE*. 35 (6): 1809-1815.
- Keating, B. A., Robertson, M. J., Muchow, R. C. and Huth, N. I. 1999. A modelling framework to integrate research on nitrogen management of sugarcane. *Field Crops Res.* 61, 253- 271.
- Loague, K. and Green, R. E. 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *J. Contam. Hydrol.* 7, 51-73.
- Mohseni, A., Mirseyed Hoseyni, H. and Abbasi, F. 2012. Comparison of fertigation with surface broadcast fertilizer method in water, fertilizer use efficiency, yield, component yield of corn and losses of nitrogen. *J. Water Soil.* 26(5): 1181-1189. (in Farsi)
- Mailhol, J. C., Ruelle, P. and Nemeth, I. 2001. Impact of fertilization practices on nitrogen leaching under irrigation. *Irrig. Sci.* 20, 139-147.
- Malavolta, E., Vitti, G. C. and Oliveira, S. A. 1997. Avaliação do estado nutricional das plantas. *Princípios E aplicações*. 2nd Ed. Potafos, Piracicaba.
- Mead, R. 2000. Fertigation Efficiency. Available at: [http://www. Microirrigation forum. Corn/new/archives/ferteff.htm/](http://www.Microirrigationforum.Corn/new/archives/ferteff.htm/).
- Mousavifazl, S. H., Aghyani, A., Joliani, M., Forohar, M. R., Esfaneyari, S. and Sabah, A. 2009. Effect of water and N fertilizer application yield and quality of potato under drip (Tape) irrigation system. Research Report. Agricultural Engineering Research Institute. AERI. (in Farsi)
- Pang, X. P. and Letey, J. 1998. Development and evaluation of ENVIRO-GRO, an integrated water, salinity, and nitrogen model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62, 1418-1427.
- Playan, E. and Faci, J. M. 1997. Border irrigation: Field experiment and a simple model. *Irrig. Sci.* 17(4): 163-171.
- Sabillón, G. N. and Merkley, G. P. 2004. Fertigation guidelines for furrow irrigation. *Spanish J. Agric. Res.* 2(4): 576-587.
- Wiesler, F. 1998. Comparative assessment of the efficiency of various nitrogen fertilizers. In: Rengel, Z (Ed.) *Nutrient Use in Crop Production*. Food Product Press. NY.
- Willmott, C. J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc. Sci.* 63,1309-1313.
- Zerihun, D., Sanchez, C. A., Furman, A. and Warrick, A. W. 2005. Coupled surface-subsurface solute transport model for irrigation borders and basins. II: Model evaluation. *J. Irrig. Drain. Eng.* 131(5): 407-419.

Distribution Uniformity of Water and Nitrogen in Sugarcane Furrow Fertigation

N. Salamati, F. Abbasi, M. Delbari*, A. Sheinidashtegol and P. Afrasiab

* Corresponding author: Associate Professor, Faculty of Water and Soil, Zabol University, P. O. Box: 98613-35856, Zabol, Iran. Email: mas_delbari@yahoo.com

Received: 9 February 2015, Accepted: 6 June 2015

This research investigated the effects of fertigation on the uniformity of distribution of water and nitrogen for furrow irrigation and compared them to the results of field measurements from Abbasi et al. model output. This large-scale experiment was carried out as once-split plots in a randomized complete block design with three replications over 25 ha² of newly-planted sugarcane planted by Dehkhoda Sugarcane Agro-Industry from February 2012 to October 2013. The main factor was split application of fertilizer (1, 2, or 3 applications during the growing season). The secondary factor was fertilizer application level at 100% (350 kg urea), 80% (280 kg urea), and 60% (210 kg urea) of fertilizer requirements. The coefficients for the Kostiakov infiltration equation were derived using the volumetric balance model. The Abbasi et al. fertigation model was implemented to simulate water flow and nitrate transport in soil. Fertilizer injection time was 30% to 60% of total irrigation time. Proper management of the inlet discharge and appropriate selection of fertilizer application times and frequencies increased distribution uniformity for the water and fertilizer. The E statistical index was greater than 0.990 for all fertigation treatments, indicating good performance of the model for prediction of advance and recession times. Comparison of the means for advance and recession times using the t-test showed that $t < 2.447$ (critical t) for all treatments, indicating good performance of the model. The t-test for discharge and uniformity coefficients for water and fertilizer showed that $t > 2.305$ (critical t), which suggests that flow rate had a significant effect on water and fertilizer distribution uniformity. The Abbasi et al. model improved water use efficiency and fertilizer distribution uniformity by optimizing the model inputs for infiltration parameters, inflow rate, and field slope. The results of field measurements and model prediction were more similar to the last fertilizer application times than to other treatments. The discrepancy of infiltrated water depths obtained from both methods was about 2 mm for the 4-application treatment with the 60% fertilizer level during the 11th irrigation and the 3-application treatment with the 100% fertilizer level during the 10th irrigation treatment. For these treatments, distribution uniformity of fertilizer increased more than did water distribution uniformity (> 90%).

Keywords: Abbasi *et al.* Model, Fertilizer Application Rate, Furrow Irrigation, Spilt Fertilizer Application, Volume Balance