مجله پژوهش آب ایران
جلد ۹/ شماره ۳/ پیاپی ۱۸/ پاییز ۱۳۹۴ (۱۴۱-۱۴۹)

بررسی تلفات آب و نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای با هیدروگراف‌های ورودی موجی و ثابت

حسن اوجاقلو[۱*]، تیمور سهرابی[۲] و فریبرز عباسی[۳]

چکیده

تعیین شاخص‌های صحیح کودآبیاری در روش‌های جدید آبیاری سطحی از جمله آبیاری موجی امری ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش مقدار تلفات آب و کود نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای با جریان موجی و پیوسته مقایسه شد. بدین منظور آزمایش‌های مزرعه‌ای در یک خاک با بافت لوم رسی در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. مدیریت‌های کودآبیاری مختلف با جریان موجی شامل تزریق کود در تمامی موج‌های مرحله پیشروی، مرحله پس از پیشروی و ترکیب موج انتهایی فاز پیشروی و ابتدای مرحله پس از پیشروی آزمایش شد. برای جریان پیوسته نیز تزریق کود در نیمه دوم مرحله پیشروی و پس از مرحله پیشروی اعمال شد. تلفات رواناب برای آزمایش‌های با جریان موجی و پیوسته به‌ترتیب در محدوده ۱۳/۸ تا ۳۳/۴ و ۹/۱ تا ۱۵/۰ درصد و تلفات نفوذ عمقی آب به‌ترتیب در محدوده ۹/۱ تا ۱۷/۰ و ۲۴/۵ تا ۳۴ درصد به دست آمد. کمترین و بیشترین مقدار تلفات نیترات از طریق رواناب در آزمایش‌های با جریان موجی به‌ترتیب ۷/۱ و ۵۸/۶ و در جریان پیوسته ۴/۱ و ۲۸/۵ درصد محاسبه شد. همچنین تلفات نفوذ عمقی نیترات در تمامی آزمایش‌ها ناچیز و خطر آبشویی نیترات وجود نداشت. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین گزینه مدیریت کودآبیاری برای کاهش تلفات رواناب نیترات، تزریق کود در تمامی موج‌های مرحله پیشروی و نیمه دوم مرحله پیشروی به‌ترتیب در جویچه‌های با جریان موجی و پیوسته است.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، تلفات نیترات، جریان موجی، کودآبیاری.

ارجاع: اوجاقلو ح. سهرابی ت. و عباسی ف. ۱۳۹۴. بررسی تلفات آب و نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای با هیدروگراف‌های ورودی موجی و ثابت. مجله پژوهش آب ایران. ۱۸: ۱۴۱-۱۴۹.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه زنجان.
۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران.
۳- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.
*** نویسنده مسئول: ojaghloo@ut.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۱/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۴

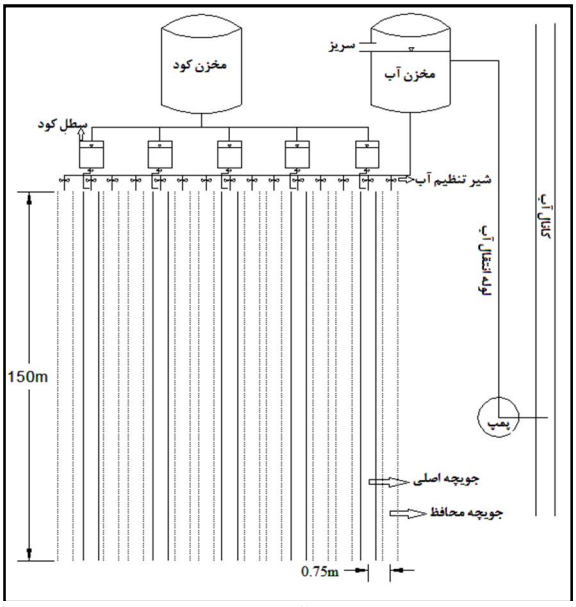
مقدمه

وجود بحران آب در نواحی خشک و نیمه‌خشک مانند ایران و خطر آلودگی منابع آب زیرزمینی در اثر کاربرد ناصحیح آب و کود در بخش کشاورزی موجب شده تا انتخاب مناسب‌ترین روش آبیاری و کودآبیاری نسبت به هر زمان دیگر مهم باشد. آبیاری موجی یکی از روش‌های پیشرفته آبیاری سطحی است که در چند دهه اخیر توسعه یافته است. از مهم‌ترین مزایای این روش نسبت به آبیاری با جریان پیوسته (معمولی) می‌توان به امکان افزایش راندمان کاربرد آب، افزایش یکنواختی توزیع رطوبت و کنترل مقدار رواناب انتهایی اشاره کرد (استرینگهام و کلر، ۱۹۷۹؛ واکر، ۱۹۸۴؛ هورست و همکاران، ۲۰۰۷ و قبادی‌نیا و همکاران، ۱۳۸۶). از سوی دیگر کودآبیاری یکی از روش‌های مدیریتی برای کاهش مصرف کود است که می‌تواند به‌عنوان یکی از راه‌حل‌های کاهش آلودگی منابع آب که ناشی از مصرف بی‌رویه و یا مصرف نادرست کود است، مطرح شود. با توجه به اینکه مهم‌ترین مسئله در مدیریت کودآبیاری، زمان کاربرد کود و بهبود عملکرد هیدرولیکی آبیاری است، مدیریت مناسب جریان موجی در جویچه‌ها سبب کاهش میزان رواناب و افزایش یکنواختی توزیع آب در خاک می‌شود (یونتس و همکاران، ۱۹۹۶). با کاربرد کود در روش آبیاری موجی امکان رسیدن به پتانسیل بالای توزیع کود در طول جویچه و کاهش تلفات نیترات وجود داشت. بدین منظور راهنمای عملی برای کاربرد کود در این روش جدید آبیاری سطحی لازم است (بولت و همکاران، ۱۹۹۴). کود آبیاری در دهه‌های اخیر به ویژه در آبیاری بارانی و قطره‌ای، پیشرفت زیادی داشته ولی در روش‌های سطحی کمتر به آن توجه شده است. پژوهش‌های اخیر در رابطه با روش‌های آبیاری سطحی نشان می‌دهد که کودآبیاری سبب کاهش تلفات کود، مصرف کم و مکرر عناصر غذایی در طول دوره رشد و همچنین توزیع یکنواخت کود در خاک می‌شود (سبیلون و مرکلی، ۲۰۰۴ و عباسی و همکاران، ۱۳۸۷). بولت و همکاران (۱۹۹۴) مدل کامپیوتری SIFUM را برای شبیه‌سازی مقدار کود و آب نفوذ یافته، یکنواختی توزیع کود و تلفات کود در روش آبیاری موجی ارائه دادند. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها نشان داد، در خاک‌های با نفوذپذیری بالا برای رسیدن به بیشترین توزیع یکنواخت و بازده کاربرد کود، کودآبیاری باید در تمامی موج‌ها انجام شود و در خاک‌های با نفوذپذیری متوسط و کم، کودآبیاری در تمامی موج‌ها و یا فقط موج‌های فاز پیشروی می‌تواند انجام پذیرد ولی تزریق کود باید در طول کل زمان جریان انجام پذیرد. نتایج آزمایش‌های پلایان و فاسی (۱۹۹۷) نشان داد ضریب توزیع یکنواختی نیمه پایین کود بین ۳ تا ۵۲ درصد متغیر بوده و تزریق کود در تمام مدت زمان آبیاری بیشترین یکنواختی توزیع و تزریق به‌صورت پالس‌های کوتاه کمترین یکنواختی را دارد. عباسی و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که تزریق کود در کل زمان آبیاری یا نیمه دوم آبیاری برای جویچه انتها بسته با دبی ورودی مناسب، سبب یکنواختی بالاتر نسبت به حالت تزریق کود در نیمه اول آبیاری شده است. نتایج سبیلون و مرکلی (۲۰۰۴) نشان داد که بهترین مدت زمان تزریق کود در حدود ۵ تا ۱۵ درصد زمان قطع جریان و بهترین زمان شروع تزریق کود در محدوده ۵ تا ۹۵ درصد زمان پیشروی به دست می‌آید. مروج الاحکامی و همکاران (۲۰۱۲) عملکرد هیدرولیکی آبیاری و کودآبیاری سطحی تحت تأثیر الگوهای متفاوت هیدروگراف جریان ورودی در آبیاری جویچه‌ای را بررسی کردند. بیشترین یکنواختی توزیع کود در شرایط یکسان از نظر حجم آب کاربردی، در الگوهای پلکانی و افزایش- کاهشی به دست آمد. نتایج مطالعات مزرعه‌ای علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) نشان داد، یکنواختی توزیع نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای در محدوده ۸۹/۷ تا ۹۶ درصد و تلفات رواناب نیترات بسته به مدت زمان تزریق و دبی خروجی بین ۵/۷ تا ۴۲ است. نوابیان و لیاقت (۱۳۸۹) روش‌های مختلف مدیریتی آبیاری و کوددهی در آبیاری جویچه‌ای را برای کاهش انتقال عناصر مغذی از سطح مزرعه به‌صورت رواناب بررسی کردند. مدیریت آبیاری به‌صورت کاهش دبی و اعمال سه مرحله‌ای کود جامد به‌عنوان مدیریت مناسب توصیه شد. نتایج بررسی‌های مزرعه‌ای ابراهیمیان و همکاران (۱۳۹۰) نشان داد که تلفات رواناب در آبیاری جویچه‌ای یک در میان به‌دلیل بیشتر بودن نفوذ جانبی کمتر از آبیاری معمولی است. تلفات نیترات در رواناب در آبیاری جویچه‌ای معمولی نیز بیشتر از آبیاری جویچه‌ای یک در میان است. با توجه به مزایای آبیاری موجی و در نظر گرفتن این نکته که تاکنون مطالعه مزرعه‌ای درخصوص کاربرد کود در این روش آبیاری انجام نشده است، هدف از این پژوهش، مطالعه و بررسی اثر مدیریت‌های مختلف کودآبیاری

در آبیاری جویچه‌ای با جریان موجی بر میزان تلفات آب و کود (نیترات) و مقایسه آن با روش معمول (جریان پیوسته) است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای این پژوهش در مزرعه آموزشی و پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج انجام شد. موقعیت جغرافیایی مزرعه آزمایشی شامل طول جغرافیایی ۵۷′ ۵۰° شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵′ ۴۸° شمالی با ارتفاع ۱۳۱۲ متر از سطح دریا است. آزمایش‌ها در شرایط بدون کشت گیاه انجام شد و کود نیترات آمونیوم به‌عنوان کود ازته و بر اساس محاسبات انجام شده برای گیاه فرضی ذرت (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در دو آزمایش کودآبیاری و در هر نوبت به میزان ۳۰ درصد کود مورد نیاز به همراه آب آبیاری به داخل جویچه‌ها تزریق شد. آب آبیاری از کانال با پمپ به داخل مخزن آب تخلیه و برای ثابت ماندن دبی ورودی به جویچه، یک سرریز در مخزن آب برای ایجاد ارتفاع ثابت آب نصب شد. کود نیز از مخزن اصلی وارد مخزن‌های کوچک‌تری که روی جویچه‌ها نصب شده بودند، وارد می‌شد. این مخزن‌ها دارای شناور برای تثبیت ارتفاع کود برای دستیابی به شدت ثابت تزریق کود بودند. شکل ۱ شمایی از سیستم توزیع آب و کود به جویچه‌ها را نشان می‌دهد. همچنین برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ آورده شده است. سه تیمار برای مدیریت‌های مختلف تزریق کود در روش موجی شامل تزریق کود در تمامی موج‌های مرحله پیشروی، تزریق کود در مرحله پس از پیشروی و تزریق کود در موج انتهایی مرحله پیشروی و ابتدای فاز پس از پیشروی جریان در نظر گرفته شد. همچنین برای روش پیوسته نیز دو تیمار شامل تزریق کود در نیمه دوم مرحله پیشروی و تزریق کود در مرحله پس از پیشروی جریان اعمال شد. با توجه به اینکه پژوهشی در خصوص ارزیابی مزرعه‌ای عملکرد کودآبیاری جویچه‌ای با جریان موجی انجام نشده بود، ملاک اصلی انتخاب تیمارها در این روش، نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی بولت و همکاران (۱۹۹۴) و در روش پیوسته، نتایج به دست آمده از بررسی‌های پژوهشگران در مزرعه بود. هر آزمایش شامل سه جویچه آزمایشی (یک جویچه اصلی در وسط و دو جویچه محافظ در دو طرف) بود. در همه آزمایش‌ها انتهای جویچه‌ها باز و بدون سیستم برگشت رواناب انتهایی بود. در آزمایش‌های با جریان موجی، موج‌ها فقط در طول مرحله پیشروی اعمال می‌شد و پس از آن به جریان حالت پیوسته تبدیل می‌شد.



شکل ۱- شمایی از سیستم آب و کود رسانی به جویچه‌های

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق (cm)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	رطوبت ظرفیت زراعی (% حجمی)	رطوبت پژمردگی (% حجمی)	شوری عصاره اشباع (dS.m-1)	ماده آلی (%)
۰-۲۰	لوم رسی	۱/۵۰	۲۸/۵	۱۲/۳	۲/۴۰	۱/۸۶
۲۰-۴۰	لوم رسی	۱/۴۴	۲۶/۳	۱۱/۴	۱/۳۵	۱/۴۱
۴۰-۶۰	لوم شنی	۱/۴۶	۲۱/۸	۱۰/۲	۱/۳۸	۰/۸۴

طول جویچه‌ها ۱۵۰ متر و فاصله‌های آن‌ها ۰/۷۵ متر انتخاب شد. شیب طولی مزرعه متغیر بود به طوری که مقدار شیب در ۶۰ متر ابتدایی برابر با ۰/۰۰۹ و ادامه آن تا انتهای جویچه‌ها برابر با ۰/۰۰۴درصد بود. تعداد شش نوبت آبیاری به فاصله‌های هفت روز انجام شد که در آبیاری سوم و ششم همراه با کود بود. زمان قطع جریان طوری انتخاب شد تا آزمایش‌ها به شرایط واقعی مزرعه نزدیک و حداقل عمق آب نفوذ یافته در انتهای مزرعه در حدود ۵۰ میلی‌متر باشد. زمان‌های پیشروی و پسروی به فواصل ۱۰ متر یادداشت‌برداری و جریان ورودی و خروجی از جویچه‌ها با استفاده از فلومهای WSC تیپ ۲ اندازه‌گیری شد. حداکثر دبی غیرفرسایشی جویچه‌ها با توجه به رابطه تجربی پیشنهادی توسط سازمان حفاظت خاک آمریکا (USDA-SCS) در حدود ۰/۶۶ لیتر بر ثانیه بود و در تمامی آزمایش‌ها دبی ورودی به جویچه‌ها کمتر از مقدار مذکور بود. دبی کود ورودی به جویچه‌ها نیز متناسب با مدت زمان تزریق کود متفاوت درنظر گرفته شد. مشخصات دو آزمایش کودآبیاری با جریان موجی و پیوسته به‌ترتیب در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. برای برآورد مقدار کود هدر رفته به‌صورت رواناب، نمونه‌برداری از آب ورودی و خروجی از انتهای جویچه‌ها به فواصل زمانی ۵ دقیقه انجام شد. برای تعیین غلظت نیترات در نمونه آب‌ها از روش UV با دستگاه اسپکتوفتومتر استفاده شد. به منظور برآورد تلفات عمقی آب و کود، نمونه برداری از خاک در سه عمق ۲۰-۰، ۴۰-۲۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری و در زمان‌های قبل از آبیاری، ۲، ۴ و ۶ روز پس از آبیاری از کف و پشته جویچه‌های اصلی انجام شد. رطوبت نمونه خاک‌ها به روش وزنی اندازه‌گیری و برای محاسبه تلفات نفوذ عمقی آب، مقدار رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در عمق ۶۰ سانتی‌متری قبل از آبیاری با بیشترین رطوبت ثبت شده بعد از آبیاری مقایسه شد. تفاوت این دو مقدار به‌عنوان رطوبت انتقال یافته به ناحیه پایین ریشه درنظر گرفته شد. باتوجه به اینکه متوسط عمق خاک زراعی مزرعه آزمایشی ۶۰ سانتی‌متر و در زیر آن، لایه متشکل از سنگریزه و شن درشت قرار داشت، در نتیجه عمق ۶۰ سانتی‌متری به‌عنوان مبنای محاسبات مقدار تلفات نفوذ عمقی آب و نیترات قرار گرفت. برای اندازه‌گیری نیترات خاک نیز ابتدا اقدام به تهیه عصاره ۱ به ۵ خاک و آب شد و پس از مخلوط کردن آن در دستگاه شیکر به مدت ۳ ساعت، عصاره‌گیری از نمونه‌ها انجام و درنهایت مقدار نیترات خاک با روش رنگ‌سنجی با بروسین در دستگاه اسپکتوفتومتر به دست آمد. تلفات نفوذ عمقی نیترات با استفاده از بیلان جرمی بین مقدار نیترات ورودی به جویچه، مقدار اولیه خاک، مقدار ذخیره شده در خاک و مقدار خروجی از انتهای جویچه‌ها به‌صورت رواناب محاسبه شد.

جدول ۲- مشخصات کودآبیاری اول و دوم با جریان موجی

کودآبیاری	آزمایش	زمان تزریق کود	متوسط دبی ورودی (l/s)	زمان موج (min)	نسبت موج	مدت زمان آبیاری (min)	مدت زمان تزریق کود (min)	غلظت نیترات در مخزن کود (mg/l)	شدت تزریق کود (l/h)
اول	۱	موج آخر پیشروی و ابتدای پس از پیشروی	۰/۴۲	۴۵	۰/۶۶	۲۲۵	۶۰	۷۹۳۶۵	۸/۵۷
	۲	پس از پیشروی	۰/۵۱	۴۵	۰/۶۶	۲۲۵	۶۰	۷۹۳۶۵	۸/۶۸
	۳	تمام موج‌های پیشروی	۰/۴۰	۴۵	۰/۶۶	۲۲۵	۱۲۰	۷۹۳۶۵	۴/۳۲
دوم	۱	موج آخر پیشروی و ابتدای پس از پیشروی	۰/۴۲	۴۵	۰/۶۶	۲۲۵	۶۰	۷۹۳۶۵	۱۱/۷۰
	۲	پس از پیشروی	۰/۵۹	۴۵	۰/۶۶	۱۷۰	۷۵	۷۹۳۶۵	۹/۰۷
	۳	تمام موج‌های پیشروی	۰/۴۱	۴۵	۰/۶۶	۲۲۵	۱۲۰	۷۹۳۶۵	۵/۸۲

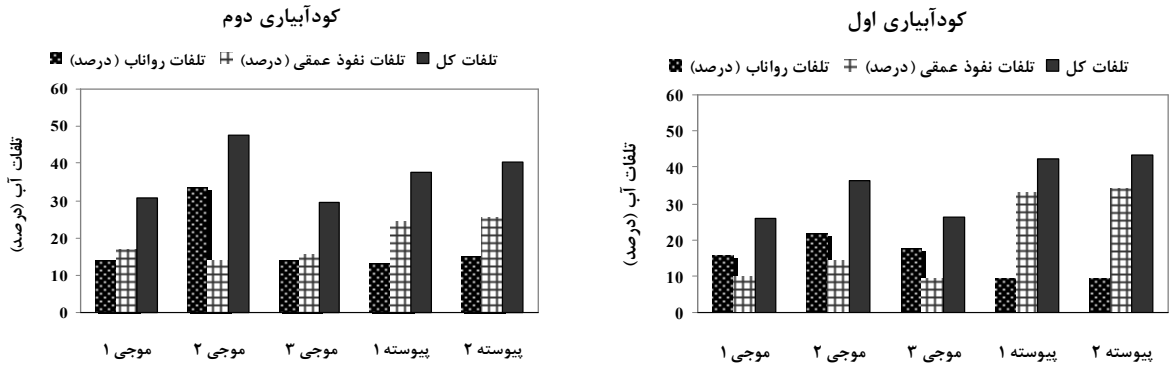
جدول ۳- مشخصات کودآبیاری اول و دوم با جریان پیوسته

کودآبیاری	آزمایش	زمان تزریق کود	متوسط دبی ورودی (l/s)	زمان موج (min)	نسبت موج	مدت زمان آبیاری (min)	مدت زمان تزریق کود (min)
اول	۱	نیمه دوم مرحله پیشروی	۰/۴۲	۳۴۰	۱۲۰	۷۹۳۶۵	۴/۳۲
	۲	مرحله پس از پیشروی	۰/۴۸	۳۴۰	۳۰	۷۹۳۶۵	۱۷/۲۰
دوم	۱	نیمه دوم مرحله پیشروی	۰/۴۳	۱۹۵	۷۵	۷۹۳۶۵	۹/۲۸
	۲	مرحله پس از پیشروی	۰/۴۳	۱۹۵	۷۵	۷۹۳۶۵	۹/۲۸

نتایج و بحث

تلفات آب

مقادیر تلفات آب در دو آزمایش کودآبیاری برای جویچه‌های با جریان موجی و پیوسته در شکل ۲ نشان داده شده است. تلفات رواناب در کودآبیاری اول برای جویچه‌های با جریان موجی و پیوسته به‌ترتیب در محدوده ۱۵/۸ تا ۲۱/۸ و ۹/۱ تا ۹/۴ درصد و در کودآبیاری دوم به‌ترتیب در حدود ۱۳/۸ تا ۳۳/۴ و ۱۳/۰ تا ۱۵/۱ درصد به دست آمد. به طور کلی کاهش شیب طولی در نیمه پایینی مزرعه سبب کم شدن سرعت پیشروی جریان، نفوذ بیشتر آب و در نتیجه کاهش رواناب در بیشتر جویچه‌ها در هر دو آزمایش کودآبیاری شده است. در کودآبیاری اول، مقدار تلفات رواناب در آزمایش‌های با جریان موجی بیشتر از آزمایش‌های با جریان پیوسته می‌باشد. پدیده اثر موج سبب کاهش نفوذ آب و افزایش سرعت پیشروی جریان شد به طوری که در مرحله پس از پیشروی جریان به‌دلیل کاهش یافتن نفوذ در طول جویچه، تلفات رواناب از انتهای جویچه‌های با جریان موجی قابل ملاحظه است. مقدار جریان ورودی در آزمایش موجی دوم در مرحله پیشروی جریان بیشتر از سایر آزمایش‌ها است ولی در مرحله پس از پیشروی به مقدار جریان ورودی سایر آزمایش‌ها کاهش می‌یابد. با این وجود بیشترین تلفات رواناب در این آزمایش مشاهده شد. در آزمایش‌های با جریان پیوسته به‌دلیل بالا بودن مقدار نفوذ در تمام مدت آبیاری، تلفات رواناب کمتری مشاهده شد.



شکل ۲- تلفات آب در جویچه‌های با جریان موجی و پیوسته (درصد)

در کودآبیاری دوم، به‌دلیل تثبیت شدن شرایط هیدرولیکی حاکم بر جویچه‌ها، از اثر موج در کاهش نفوذپذیری کاسته شده و به همین دلیل اختلاف زیادی بین تلفات رواناب آزمایش‌های با جریان موجی و پیوسته بجز آزمایش موجی دوم مشاهده نمی‌شود. تلفات نفوذ عمقی در کودآبیاری اول و برای آزمایش‌های با جریان موجی و پیوسته به‌ترتیب در محدوده ۹/۱ تا ۱۴/۳ و ۳۳/۲ تا ۳۴/۰ درصد و در کودآبیاری دوم به‌ترتیب در محدوده ۱۴/۲ تا ۱۷/۰ و ۲۴/۵ تا ۲۵/۵ درصد به دست آمد. در هر دو آزمایش کودآبیاری، تلفات نفوذ عمقی در آزمایش‌های با جریان

پیوسته بیشتر از موجی است به طوری که بیشترین اختلاف در کودآبیاری اول مشاهده می‌شود. در کودآبیاری اول نسبت سرعت پیشروی جریان در جویچه‌های با جریان موجی به جریان پیوسته در حدود ۱/۷۵ محاسبه شد. همین امر سبب شده تا به طور میانگین نسبت میزان آب مصرفی در جویچه‌های با جریان موجی به پیوسته در حدود ۰/۴۱ تا ۰/۶۲ است. مقدار آب اضافی مصرف شده در آزمایش‌های با جریان پیوسته به طور عمده به‌صورت نفوذ عمقی اتلاف می‌شود. در کودآبیاری دوم به‌دلیل کاهش اثر پدیده موج، نسبت سرعت پیشروی جریان در آزمایش‌های با جریان موجی نسبت به پیوسته به طور میانگین ۱/۲ است. در نتیجه اختلاف زیادی در میزان آب مصرف شده در طول مرحله پیشروی بین آزمایش‌های با جریان پیوسته و موجی وجود ندارد که درنهایت سبب کاهش اختلاف بین آزمایش‌های فوق است. نتایج به دست آمده هماهنگی خوبی با نتایج بررسی‌های پیشین توسط اداره تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا (۱۹۸۱)، واکر و اسکوگربو (۱۹۸۷)، رودریگز و همکاران (۲۰۰۴) داشت. نتایج آزمون t-test نشان داد در کودآبیاری اول اختلاف معنی‌داری بین تلفات نفوذ عمقی و کل آب بین روش‌های موجی و پیوسته وجود دارد ولی تفاوت تلفات رواناب بین روش‌های فوق معنی‌دار نیست. همچنین براساس آزمون بالا و در کودآبیاری دوم، اختلاف معنی‌داری بین تلفات نفوذ عمقی، رواناب و کل بین روش‌های موجی و پیوسته وجود ندارد.

تغییرات غلظت نیترات در رواناب

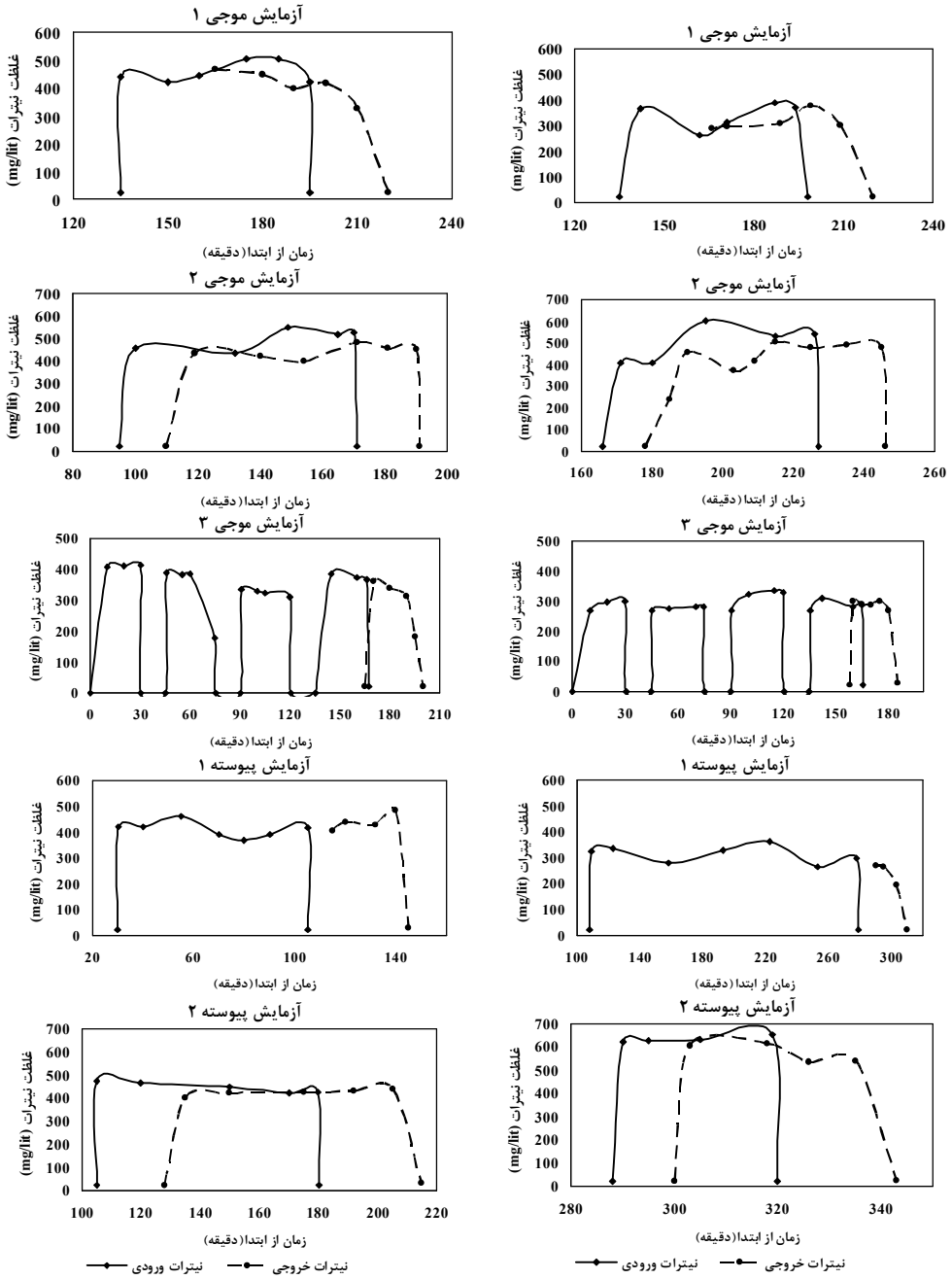
تغییرات غلظت نیترات در جریان ورودی و رواناب جویچه‌های آزمایشی در شکل ۳ نشان داده شده است. مدت زمان و شدت تزریق کود در تمامی آزمایش‌ها متناسب با مدیریت مدنظر به نحوی انتخاب شد تا میزان کود یکسان وارد جویچه‌ها شود. در تمامی آزمایش‌های کودآبیاری با جریان موجی، غلظت نیترات رواناب به فاصله زمانی ۱۵ تا ۲۰ دقیقه به نزدیکی غلظت جریان ورودی می‌رسد. در آزمایش موجی سوم به‌دلیل اینکه تزریق کود از ابتدای آبیاری بود، غلظت نیترات رواناب با فاصله زمانی بیشتری و با شروع رواناب به غلظت جریان ورودی رسیده است. تزریق کود در این آزمایش در تمامی موج‌های فاز پیشروی انجام می‌شد و با پایان یافتن مرحله پیشروی قطع می‌شد که در نتیجه مدت زمان تغییرات غلظت و خروج نیترات در رواناب کم بود.

ولی در آزمایش موجی دوم به‌دلیل اینکه تزریق در مرحله پس از پیشروی انجام می‌شد پس مدت زمان تغییرات غلظت و خروج نیترات رواناب بیشتر از سایر جویچه‌ها است. در آزمایش موجی اول که تزریق کود در آخرین موج پیشروی و ابتدای مرحله پس از پیشروی انجام می‌شد مدت زمان تغییرات غلظت و خروج نیترات حد وسط دو آزمایش دیگر است. در آزمایش‌های با جریان پیوسته نیز مشابه جریان موجی تزریق در طول مرحله پیشروی سبب مدت زمان کم تغییرات غلظت و خروج نیترات رواناب شده است (آزمایش اول)، در حالیکه تزریق کود در مرحله پس از پیشروی سبب مدت زمان زیاد تغییرات غلظت و خروج نیترات در رواناب می‌شود (آزمایش دوم).

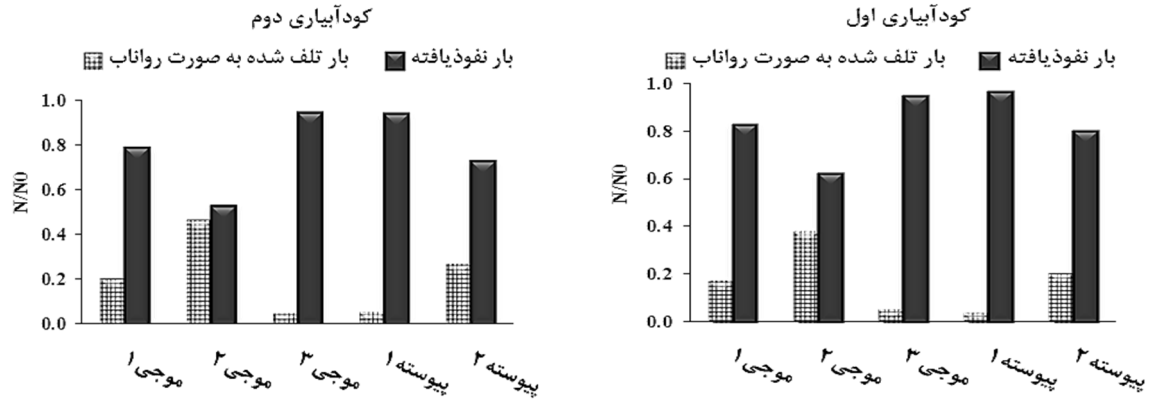
تلفات نیترات

نسبت مقادیر بار نفوذیافته به ورودی (Ns/N0) و همچنین نسبت بار تلف شده به ورودی (Ni/N0) برای آزمایش‌های کودآبیاری با جریان موجی و پیوسته در شکل ۴ ارائه شده است. مقدار بار وروی نیترات در همه جویچه‌های آزمایشی در محدوده ۷۷۸/۲ تا ۸۱۹/۰ و به طور متوسط ۸۰۰ گرم است. دلیل تغییرات بار ورودی نیترات در آزمایش‌های انجام گرفته مربوط به نوسانات دبی خروجی کود محلول از مخزن‌های قرار داده شده در ورودی هر جویچه است. کمترین مقدار تلفات نیترات در رواناب مربوط به آزمایش اول جریان پیوسته در کودآبیاری اول و بیشترین مقدار مربوط به آزمایش دوم جریان موجی در کودآبیاری دوم است. البته نکته قابل ذکر اینکه مقدار جریان آب ورودی در آزمایش دوم جریان موجی پس از مرحله پیشروی و به هنگام تزریق کود به مقدار ۰/۴۲ لیتر بر ثانیه (برابر با جریان ورودی در سایر آزمایش‌ها) کاهش می‌یافت. تلفات نیترات از طریق رواناب سطحی در آزمایش‌های با جریان موجی و در کودآبیاری اول و دوم به‌ترتیب در محدوده ۵/۱ تا ۳۷/۷ و ۵/۴ تا ۴۷/۱ و برای جریان پیوسته به‌ترتیب در محدوده ۳/۷ تا ۲۰/۲ و ۶/۰ تا ۲۷/۲ درصد به دست آمد. همچنین در تمامی آزمایش‌های کودآبیاری اول و دوم، تزریق کود در مرحله قبل از پیشروی سبب تلفات کم و پس از مرحله پیشروی سبب تلفات بیشتر نیترات در رواناب شده است. در آزمایش سوم موجی به‌دلیل اینکه

تزریق کود از ابتدای مرحله پیشروی شروع و در انتهای پیشروی جریان قطع می‌شود تلفات نیترات در رواناب قابل ملاحظه نیست. برعکس در آزمایش دوم جریان موجی که تزریق در مرحله پس از پیشروی انجام می‌شود، بیشترین مقدار تلفات دیده شد. در این آزمایش به‌دلیل کاهش نفوذپذیری، نیترات با سرعت بیشتری به همراه آب آبیاری به انتهای جویچه می‌رسد و خارج می‌شود. در آزمایش اول جریان موجی که تزریق کود در موج انتهایی پیشروی و ابتدای مرحله پس از پیشروی انجام شده، تلفات حد واسطی بین دو آزمایش دیگر دارد. نتایج به دست آمده از مطالعه مزرعه‌ای حاضر برای جریان موجی هماهنگی خوبی با نتایج شبیه‌سازی بولت و همکاران (۱۹۹۴) دارد. در آزمایش اول جریان پیوسته نیز مشابه آزمایش سوم جریان موجی به‌دلیل اینکه تزریق کود در طول مرحله پیشروی انجام شده، مقدار تلفات نیترات در رواناب ناچیز است. در حالی که در آزمایش دوم جریان پیوسته که تزریق کود در آن در مرحله پس از پیشروی بود، تلفات دیده می‌شود (مشابه آزمایش دوم موجی). نتایج بررسی‌های عباسی و همکاران (۱۳۸۷) نیز تأیید کننده نتیجه به دست آمده در این پژوهش است.

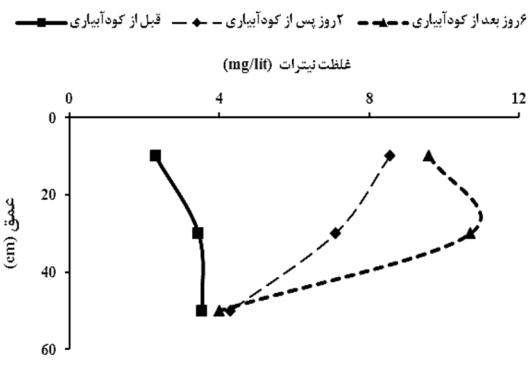


شکل ۳- تغییرات غلظت نیترات در جریان ورودی و رواناب در آزمایش‌های کودآبیاری با جریان موجی و پیوسته



شکل ۴- نسبت مقادیر بار نفوذیافته و تلف شده از طریق رواناب به بار ورودی نیترات

با توجه به اینکه در جویچه‌های با جریان موجی، اثر موج سبب کاهش نفوذپذیری در مرحله پیشروی جریان می‌شود، در مدیریت‌های کودی مشابه، جویچه‌های با جریان موجی تلفات نیترات بیشتری در رواناب خواهند داشت. مقدار تلفات نیترات رواناب در کودآبیاری دوم نسبت به کودآبیاری اول بیشتر است. دلیل این موضوع از یک سو بالا بودن رطوبت قبل از آزمایش‌ها نسبت به کودآبیاری اول است که سبب کاهش نفوذپذیری شده است. از سوی دیگر کودآبیاری دوم در نوبت آبیاری ششم انجام شده و بستر جویچه‌ها از نظر هیدرولیکی تثبیت شده‌اند. در این شرایط سرعت پیشروی جریان به‌دلیل کاهش زبری کف جویچه در این آزمایش نسبت به آزمایش اول بیشتر می‌باشد. تغییرات غلظت نیترات در پروفیل خاک برای یکی از آزمایش‌های انجام شده در شکل ۵ نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود کود تزریق شده تا عمق ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متری نفوذ کرده به طوری که بیشترین تغییرات غلظت نیترات در سطح خاک و در عمق‌های پایین‌تر از ۴۰ سانتی‌متری کم است. در نتیجه در تمامی آزمایش‌ها با توجه به نوع مدیریت کودآبیاری اعمال شده خطر آبشویی نیترات وجود ندارد. در این آزمایش با توجه به اینکه تزریق کود قبل از اتمام مرحله پیشروی شروع شده حداکثر مقدار نیترات در عمق‌های میانی خاک (۳۰ سانتی‌متری) به‌دلیل شستشوی کود توسط آب نفوذ یافته در مرحله پس از پیشروی مشاهده می‌شود.



شکل ۵- پروفیل نیترات نفوذ یافته در ایستگاه ۱۰ متری آزمایش اول جریان موجی (کودآبیاری اول)

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر مدیریت‌های مختلف کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای با جریان موجی بر میزان تلفات آب و کود نیترات بررسی و با روش معمول (جریان پیوسته) مقایسه شد. بدین منظور دو آزمایش کودآبیاری در آبیاری‌های نوبت سوم و ششم انجام شد. به طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد، تزریق کود در طول مرحله پیشروی و پس از پیشروی به‌ترتیب سبب تلفات کم و زیاد نیترات در رواناب خواهد شد. مقدار تلفات آب و نیترات به‌صورت رواناب در آزمایش‌های با جریان موجی در صورت عدم کنترل، قابل ملاحظه و حتی بیشتر از آبیاری با جریان پیوسته خواهد بود. نتایج نشان داد، تلفات نفوذ عمقی و خطر آبشویی نیترات در مدیریت‌های اعمال شده کودآبیاری وجود ندارد. با توجه به نتایج به دست آمده و برای کاهش تلفات رواناب کود در جویچه‌های با جریان موجی، تزریق کود از ابتدای مرحله پیشروی به‌عنوان گزینه اول و موج انتهایی پیشروی به‌عنوان گزینه دوم

توصیه می‌شود. در جویچه‌های با جریان پیوسته نیز تزریق کود قبل از پایان یافتن مرحله پیشروی گزینه مطلوب‌تری از نظر کاهش تلفات نیترات در رواناب خواهد بود. این پژوهش اولین قدم در آزمایش‌های کودآبیاری با جریان موجی است که در شرایط بدون کشت گیاه انجام شده، لذا توصیه می‌شود کودآبیاری با جریان موجی در شرایط کاشت محصولات مختلف انجام گیرد. همچنین توصیه می‌شود عملکرد کودآبیاری با جریان موجی در خاک‌های با بافت سبک که جریان موجی دارای کارایی بیشتری است، نیز مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد.

منابع

۱. ابراهیمیان ح. لیاقت ع. ب. پارسی‌نژاد م. عباسی ف. و نوابیان م. ۱۳۹۰. بررسی تلفات آب و نیترات و کارآیی مصرف آب در کودآبیاری جویچه‌ای یک در میان. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۵(۱): ۲۱-۲۹.

۲. سهرابی ت. حیدری ن. توکلی ع. و نیریزی س. ۱۳۷۵. آبیاری موجی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی، وزارت نیرو. ۱۴۵ ص.

۳. عباسی ف. لیاقت ع. ب. و گنجه ا. ۱۳۸۷. ارزیابی یکنواختی کودآبیاری در آبیاری جویچه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۳۹(۱): ۱۱۷-۱۲۷.

۴. علیزاده ح. عباسی ف. و لیاقت ع. ۱۳۸۹. ارزیابی یکنواختی توزیع و تلفات نیترات در کودآبیاری جویچه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۵۱(۱): ۴۵-۵۵.

۵. قبادی‌نیا م. سهرابی ت. و میرابزاده م. ۱۳۸۶. بررسی اثر افزایش پله‌ای دبی جریان بر روی پیشروی آب در جویچه در آبیاری موجی. مجله پژوهش کشاورزی همدان. ۷(۲): ۷۹-۸۹.

۶. نوابیان م. و لیاقت ع. ۱۳۸۹. بررسی مدیریت آبیاری و کود بر کیفیت رواناب خروجی در آبیاری جویچه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۵۱(۱): ۱-۱۳.

7. Abbasi F. Simunek J. Genuchten M. Th. V. Feyen J. Adamsen F. J. Hunsaker D. J. Strelkoff T. S. and Shouse P. 2003. Overland Water Flow and Solute Transport: Model Development and Field-Data Analysis. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 129(2): 71-81.
8. 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.
9. Horst M. G. Shamutalov S. S. Goncalves J. M. and Pereira L. S. 2007. Assessing impacts of surge flow irrigation on water saving and productivity of cotton. Agriculture Water Management. 87: 115- 127.
10. Moravejalahkami B. Mostafazadeh-Fard B. Heidarpour M. and Abbasi F. 2012. The effects of different inflow hydrograph shapes on furrow irrigation fertigation. Biosistem Engineering. 186-194.
11. Playan E. Faci J. M. 1997. Border fertigation: field experiment and a simple model. Irrigation Sciences. 17: 163-171.
12. Rodriguez J. A. Diaz A. Reyes J. A. and Pujols R. 2004. Comparison between surge irrigation and conventional furrow irrigation for covered black tobacco cultivation in a Ferralsol soil. Spanish Journal of Agriculture Research. 2(3): 445-458.
13. Sabillón G. N. and Merkley G. P. 2004. Fertigation guidelines for furrow irrigation. Spanish Journal of Agriculture Research 2: 576-587.
14. Stringham G. E. and Keller J. 1979. Surge flow for automatic irrigation. Presented at the July. 1979, ASCE Irrig. and Drain. Div. Special Conference, Held at Albuquerque. N. M. 132-142.
15. Walker W. R. 1984. Surge flow in the west. Proceedings of the surge flow irrigation conference. Texas Agriculture Extension Service. Midland. 1-30.
16. Walker W. R. and Skogerboe G. V. 1987. Surface irrigation theory and practice.Prentice, Hall INC. New Jersey. 386 p.
17. Yonts C. D. Eisenhauer D. E. and Fekersillassie D. 1996. Impact of surge irrigation on furrow water advance. Transaction of ASAE 39(3): 973-979.