

## بررسی توزیع مکانی پخش آب و کود تحت سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی

شهرام زبردست<sup>۱\*</sup>، تیمور سهرابی<sup>۲</sup>، حامد ابراهیمیان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۳. استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۶/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۵/۸/۱۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۹/۱۶)

### چکیده

با ارزیابی سامانه‌های آبیاری بارانی اجرا شده می‌توان میزان موفقیت این سامانه‌ها را تعیین کرد و راه کارهای عملی برای بهبود بازده آبیاری این سامانه‌ها و پیشنهادهایی برای سامانه‌های آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

پخش آب و کود در سطح مزرعه تحت مدیریت کودآبیاری توسط سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی بود. محل انجام این تحقیق در مزرعه تحقیقی و آموزشی دانشگاه تهران واقع در کرج بود که در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵ انجام گردید. نیتروژن موردنیاز گیاه از منبع کودی اوره (۴۶٪) تأمین گردید. برای اندازه‌گیری یکنواختی پخش سامانه آبیاری دوار مرکزی مقدار آب و نیتروژن جمع‌آوری شده در قوطی‌های اندازه‌گیری که به صورت شعاعی قرار گرفتند اندازه‌گیری شد. ضریب یکنواختی پخش آب هیرمن و هین در قوطی‌های اندازه‌گیری در کودآبیاری‌های اول و دوم به ترتیب ۸۴ و ۹۱ درصد به دست آمده است. همچنین ضریب یکنواختی پخش کود در کودآبیاری سال‌های اول و دوم به ترتیب ۶۹ و ۷۲ درصد بود. نتایج نشان داد ضریب یکنواختی به دست آمده از پخش کود کمتر از ضریب یکنواختی پخش آب است.

واژه‌های کلیدی: اوره، کودآبیاری، یکنواختی پخش، دوار مرکزی

### مقدمه

برآورد سازمان ملل متحد حاکی از ضرورت افزایش ۳۰ درصدی در مقدار آب آبیاری موردنیاز جهت تأمین مقدار غذای موردنیاز در سال ۲۰۲۵ میلادی است. با توجه به این موضوع ضروری است تا با بهبود راندمان آبیاری، توجهی بیش از پیش در بهینه‌سازی مصرف آب به منظور بالابردن بهره‌وری آب در کشاورزی صورت پذیرد (Hezarjaribi and Sohrabi, 2010). از جمله دستگاه‌های مکانیزه آبیاری تحت فشار که در چند سال اخیر توسعه چشمگیری یافته‌اند سامانه آبیاری تحت فشار بارانی دوار مرکزی می‌باشد (Wright et al., 2002). عدم یکنواختی پخش آب در سامانه آبیاری منجر به نوسان محصول دهی در ناحیه فاریاب و در نتیجه تفاوت در بازگشت سرمایه برای قسمت‌های مختلف مزرعه خواهد شد (Sayadi and Falan, 2007). ارزیابی سامانه آبیاری دوار مرکزی در حال کار جهت بررسی درست بودن یا نبودن چگونگی نصب دستگاه، طراحی مناسب با شرایط منطقه و حصول اطمینان از عملکرد مناسب سامانه امر ضروری و اجتناب‌ناپذیر است (Ghaemi, 2004). بی‌اطلاعی کشاورزان از مقدار واقعی یکنواختی پخش سامانه دوار مرکزی‌شان باعث

استفاده مقدار نامناسب کود و بالا رفتن هزینه‌ها می‌شود و صدمات زیست‌محیطی به دنبال دارد (Nelson and Hill, 2010).

در مطالعه‌ای دیگر معیار شاخص یکنواختی توزیع ۸۵ درصد به بالا عالی، ۸۰ درصد خیلی خوب، ۷۵ درصد خوب، ۷۰ درصد نسبتاً خوب و کمتر از ۶۵ درصد ضعیف و غیرقابل قبول برای سامانه‌های آبیاری بارانی ثابت (غیره متحرک) در نظر گرفته شده است (Merriam and Keller, 1973).

مطالعه‌ای که در قم توسط (Dustmohammadi et al., 2013) انجام شد، عملکرد سامانه آبیاری دوار مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد ضریب یکنواختی حدود ۶۴ درصد بود که عملکرد مناسبی نداشت و سامانه نیاز به تعویض آبپاش داشت (Dustmohammadi et al., 2013). مقدار کاربرد نیتروژن در روش کودآبیاری، وابسته به نوع گیاه، مرحله رشد و محصول موردنظر است. پتانسیل تلفات آبشویی نیتروژن در خاک درشت‌بافت شنی بسیار زیاد است (Hergert, 1976). در مطالعه تجزیه و تحلیل عوامل ارزیابی سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی کرج، متوسط یکنواختی توزیع آب را ۸۴ درصد تعیین گردید و نشان داده شد که سامانه آبیاری از کارایی مناسبی برخوردار نیست (Sohrabi and Asilmanesh, 1998). در

\* نویسنده مسئول : zebardast.shahram@yahoo.com

بود (Almasraf *et al*, 2011). نتایج تحقیقات در انجام کودآبیاری با سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی، نمودارهای یکنواختی توزیع آب و نیتروژن نشان می‌دهد که، رفتار کاربرد آب دقیقاً مشابه با کاربرد نیتروژن نمی‌باشد. نتایج یک تحقیق در ایالات متحده نیز نشان می‌دهد ضریب یکنواختی پخش آب با ضریب یکنواختی پخش کود یکسان نمی‌باشد. این تفاوت موجب شده است که در شرایطی که یکنواختی در کاربرد آب ۸۹ درصد به‌دست آمده است، یکنواختی توزیع نیتروژن ۷۶ درصد باشد (Best and Dukes, 2001).

عموماً تصور بر این بوده است که یکنواختی پخش کود در سامانه‌های آبیاری برابر یکنواختی پخش آب است. هدف این تحقیق بررسی یکنواختی پخش آب و کود تحت سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی می‌باشد.

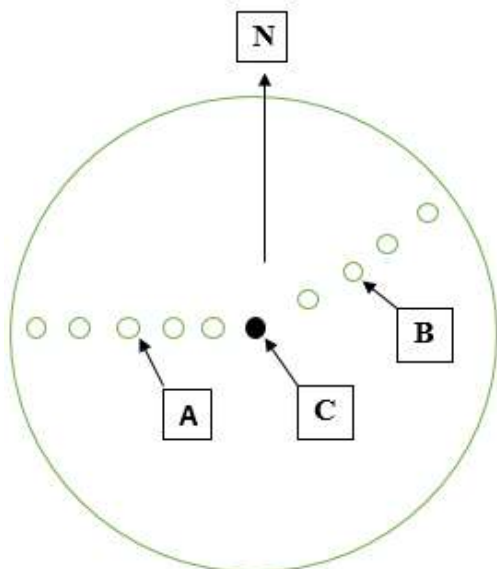
### مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی آموزشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در شهرستان کرج انجام شد. موقعیت جغرافیایی مزرعه آزمایشی دارای طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی با ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا است. شهرستان کرج دارای آب و هوای مدیترانه‌ای است. متوسط بارندگی سالانه برابر ۲۶۵ میلی‌متر است. بالاترین میانگین دمای هوای ماهیانه در تیرماه ۲۴/۵ درجه سانتی‌گراد و پایین‌ترین میانگین در دی ماه ۱/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از نظر خاکشناسی اراضی منطقه در یک واحد فیزیوگرافی ناشی از رسوبات بادبزی رودخانه کرج قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه انجام مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه مزرعه تحقیقاتی و آموزشی دانشگاه تهران واقع در استان البرز، شهرستان کرج

سامانه‌های آبیاری دوار مرکزی که برای کودآبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند ضریب یکنواختی پخش آب در محدوده ۸۴ تا ۹۰ درصد یکنواختی پخش کود قابل قبولی را خواهند داشت (King *et al*, 2009). کمپ و همکاران در مطالعه‌ای نشان دادند در شرایطی که ضریب یکنواختی سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی ۸۹/۳ و ۹۱ درصد بود، یکنواختی پخش نیتروژن مناسب است (Camp *et al*, 1998). مطالعه بررسی عملکرد، مشکلات بهره‌برداری و فنی سیستم‌های آبیاری بارانی دوار مرکزی در خراسان انجام شد و مقادیر متوسط یکنواختی توزیع و ضریب یکنواختی را در سامانه دوار مرکزی به ترتیب برابر ۷۹/۲ و ۸۲/۹ درصد به دست آمد (Sohrabi and Omidvar, 2002). در مطالعه‌ای دیگر تأثیر سرعت حرکت سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی بر یکنواختی پخش آب مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد یکنواختی پخش آب در سامانه دوار مرکزی بیشتر تحت تأثیر نوع نازل است تا سرعت‌های مختلف حرکت دستگاه (Dukes and Perry, 2006). آبیاری در شب و نازل‌های با ارتفاع کم، به دلیل کمتر بودن سرعت باد در شب و کاهش سرعت باد با کاهش ارتفاع از سطح زمین به‌طور قابل توجه یکنواختی پخش آب دوار مرکزی را افزایش می‌دهد (Ortiz *et al*, 2009). نتایج تحقیقی در شیراز، بر روی کودآبیاری با سامانه آبیاری دوار مرکزی ضریب یکنواختی توزیع نیتروژن در قوطی‌های اندازه-گیری برابر ۸۰ درصد به‌دست آمد (Chagha and Ghaemi, 2007). در تحقیقی که در دانشگاه ایالت کلرادو انجام شد در شرایطی که سامانه آبیاری دوار مرکزی با ضریب یکنواختی ۸۹ درصد آب را در سطح مزرعه پخش می‌کرد، ضریب یکنواختی پخش نیتروژن به‌دست آمده از آن ۷۶ درصد بود. این ضریب یکنواختی باعث می‌شود که برای اطمینان از اینکه نیتروژن به-اندازه نیاز در اختیار گیاه قرار گیرد، ۴۵ درصد کود بیشتر از نیاز در سطح مزرعه پخش شود (Best and Duke, 2001). تأثیر یکنواختی کودآبیاری با استفاده از سامانه آبیاری بارانی بر نفوذ عمقی، توزیع نیتروژن در خاک، جذب نیتروژن توسط گیاه و عملکرد محصول مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد، استفاده از سامانه آبیاری بارانی برای پخش کود موجب افزایش یکنواختی پخش کود خواهد شد (Li *et al*, 2005). در مطالعه‌ای که در دانشگاه ایالت میشیگان (Michigan State University) انجام شد، اثر ضعف یکنواختی در سامانه آبیاری بارانی در شرایط کود آبیاری افزایش پیدا خواهد کرد. سطوحی که آب کمتر و یا بیشتری دریافت می‌کنند به‌تناسب آن نیتروژن کمتر و یا بیشتری دریافت خواهند کرد. اگر ضعف یکنواختی وجود داشته باشد، رشد گیاه و محصول غیریکنواخت و ناهموار خواهد



شکل ۳. نحوه آرایش شعاعی قوطی‌های جمع‌آوری آب. A: آرایش قوطی‌ها در کودآبیاری سال اول. B: آرایش قوطی در کودآبیاری سال دوم. C: نقطه مرکزی سامانه دوار مرکزی.

جدول (۱) مشخصات سامانه آبیاری دوار مرکزی مورد مطالعه و شدت جریان در زمان کارکرد سامانه را در کودآبیاری سال‌های اول و دوم نشان می‌دهد. مشخصات کیفیت آب آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. آب مورد استفاده برای آبیاری، از منابع آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱. خصوصیات سامانه آبیاری دوار مرکزی مورد مطالعه

کودآبیاری	نوع محصول	دبی سامانه (l/s)	تاریخ آزمایش	سرعت (m/min)
اول	ذرت	۲۵/۱۷	۹۴/۶/۲۳	۰/۴۱
دوم	گندم	۴۶/۶۷	۹۵/۳/۱۱	۰/۴۲

جدول ۲. مشخصات کیفیت آب آبیاری

کودآبیاری	اسیدیته (pH)	شوری (ds/m)	نیتروژن کل (ppm)
سال اول	۷/۹۵	۰/۶۹۲	۱۶/۳۳
سال دوم	۷/۸۵	۰/۶۶۳	۱۰/۴۳

کود مورد استفاده در این تحقیق کود اوره (۴۶٪) بود. این کود جامد و به صورت دانه‌های سفید رنگ است و به راحتی در آب به صورت محلول در می‌آید. پس از وارد کردن کود در داخل تانک سیستم کودآبیاری سیستم همزن تانک کود را کاملاً در آب داخل تانک حل کرد. برای یکنواخت ماندن و ته‌نشین نشدن احتمالی کود یک سیستم گردش آب داخل تانک نیز وجود داشت که در زمان کودآبیاری روشن شد. مشخصات و پارامترهای سیستم کودآبیاری در سال اول و دوم در جدول (۳)

سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی به منظور محاسبه یکنواختی شعاعی پخش آب و کود اوره مورد آزمایش‌های مزرعه‌ای قرار گرفت و مقایسه ضریب یکنواختی هیرمن و هین (Heermann and Hein, 1968)، ضریب یکنواختی کریستن‌سن و شاخص یکنواختی توزیع آب و کود انجام گردید. در این تحقیق ضرایب یکنواختی توزیع آب و نیتروژن به ترتیب با اندازه‌گیری وزن آب موجود در قوطی‌های اندازه‌گیری و نیتروژن موجود در نمونه‌های آب قوطی‌های اندازه‌گیری در آزمایشگاه محاسبه گردید. سامانه آبیاری دوار مرکزی مورد آزمایش با طولی معادل ۳۶۰ متر، دارای ۶۴ آبپاش که فاصله‌ها و دبی آن‌ها متفاوت می‌باشد تشکیل شده است. آبپاش‌ها توسط لوله‌های عصبی شکل که به بالای لاترال وصل شده‌اند در ارتفاع حدود دو متری از سطح زمین قرار گرفته‌اند. قطر لاترال ۱۶۸ میلی‌متر است، برج‌ها با فاصله حدود ۵۰ متر از هم قرار دارند و توسط موتورهای الکتریکی با قدرت دو اسب بخار به جلو حرکت می‌کنند. در سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی مورد مطالعه در این تحقیق از نازل‌های دوار شرکت نلسون با صفحات آبی رنگ با نام تجاری Nelson, R3000, U4-8 مورد استفاده گردید. سایز و فاصله بین نازل‌ها مطابق با استاندارد شرکت سازنده و متغیر بود. فشار کارکرد این نازل‌ها ۲ بار است. شکل (۲) نمایی از ترکیب قطعات نازل‌های سامانه دوار مرکزی را نشان می‌دهد. قوطی‌های اندازه‌گیری (catch cans) برای اندازه‌گیری مقدار آب و نیتروژن کل (ازت) به کار برده شده در سطح مزرعه، در نقاط مختلف به صورت شعاعی با فاصله‌های ۱۲ متری در کودآبیاری‌های اول و دوم قرار داده شد. نیتروژن کل موجود در نمونه‌های آب و خاک با روش کجلدال اندازه‌گیری شد. شکل (۳) آرایش و نحوه قرار گرفتن قوطی‌های اندازه‌گیری آب در عملیات کودآبیاری‌های سال اول و سال دوم نشان می‌دهد.



شکل ۲. نازل دوار صفحه آبی شرکت نلسون

سیستم آبیاری نیز ارتفاع آب داخل تانک اندازه‌گیری شد و با تقسیم کردن حجم محلول تزریق شده بر مدت زمان انجام تزریق، دبی پمپ تزریق به طور دقیق به دست آمده است.

آورده شده است. جهت اندازه‌گیری سرعت تزریق و واسنجی سیستم کودآبیاری مزرعه حد مشخصی از سطح آب داخل تانک در نظر گرفته شد و در زمان قطع جریان تزریق کود به داخل

جدول ۳. مشخصات و پارامترهای سیستم کودآبیاری

کودآبیاری	زمان شروع تزریق کود (h)	مدت زمان تزریق کود (h)	غلظت نیتروژن در تانک کود (ppm)	سرعت تزریق کود (lit/hr)
سال اول	۱۹:۳۰	۶/۸۳	۷۵۰۰۰	۲۱۶
سال دوم	۱۸:۴۰	۷/۰۰	۶۰۰۰۰	۱۹۸

اولین بار در سال ۱۹۴۲ میلادی توسط کریستیان سن به صورت رابطه (۳) که در زیر آمده است پیشنهاد شده است (Christiansen, 1942):

$$CU_C = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |V_i - \bar{V}|}{n\bar{V}} \right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$CU_C$  ضریب یکنواختی کریستیان سن (درصد)،  $n$ : تعداد قوطی،  $\bar{V}$ : میانگین عمق آب جمع شده در قوطی‌هاها (لی‌متر)،  $V_i$ : عمق آب در هر یک از قوطی‌های اندازه‌گیری (لی‌متر).

#### یکنواختی توزیع آب (DU)

پارامتر یکنواختی توزیع برای این منظور محاسبه می‌شود که آیا سامانه با بازده قابل قبول بهره‌برداری می‌شود. برای تعیین شاخص یکنواختی توزیع آب از رابطه (۴) زیر استفاده شد (Burt et al, 1997):

$$DU = \frac{D_q}{\bar{D}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$D_q$ : میانگین وزنی پایین‌ترین ربع نمونه‌ها (میلی‌متر)،  $\bar{D}$ : میانگین وزنی نمونه‌های کل سامانه (میلی‌متر) و  $DU$ : یکنواختی توزیع آب (اعشار).

#### نتایج و بحث

در این مطالعه یکنواختی پخش آب و نیتروژن به ترتیب با اندازه‌گیری نمونه‌های وزنی و درصد نیتروژن موجود در هر نمونه که به صورت شعاعی قرار داشتند محاسبه شده است و با استفاده از روابط ضریب یکنواختی هیرمن و هین، ضریب یکنواختی کریستیان سن و شاخص یکنواختی توزیع مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق سعی بر آن بوده است که علاوه بر ارزیابی کارکرد سامانه موجود در مزرعه، رابطه رگرسیونی نیز میان متغیرهای موجود توسعه داده و همبستگی موجود به دست آورده شود.

در جدول (۵) مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع آورده شده است.

داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی مزرعه مورد مطالعه تهیه گردید. جدول (۴) آمار ایستگاه هواشناسی شامل سرعت باد، دمای متوسط هوا و رطوبت نسبی هوا را در کودآبیاری سال‌های اول و دوم نشان می‌دهد.

جدول ۴. داده‌های ایستگاه هواشناسی

کودآبیاری	سرعت باد (m/s)	رطوبت متوسط روزانه (%)	دمای متوسط (c°)
سال اول	۲/۷	۲۶/۶	۲۳/۸
سال دوم	۴/۰	۲۷/۰	۲۲/۶

#### ضریب یکنواختی هیرمن و هین ( $CU_H$ )

هیرمن و هین در سال ۱۹۶۸ معیاری را برای یکنواختی پخش پیشنهاد کردند که باید تنها برای سامانه‌های دوار مرکزی بکار رود. در این معیار، عمق آب پخش شده با توجه به موقعیت شعاعی آن‌ها در طول لاترال سامانه توزیع می‌گردد تا سطوح حلقوی متفاوت توسط هر عمق نمایش داده شود. ضریب یکنواختی هیرمن و هین از معادله (۱) قابل محاسبه است:

$$CU_H = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n S_i |V_i V_p|}{\sum_{i=1}^n V_i S_i} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن  $CU_H$  ضریب یکنواختی هیرمن و هین؛  $V_i$  حجم آب جمع‌آوری شده در قوطی  $i$ ام (میلی‌لیتر)؛  $V_p$  میانگین وزنی آب جمع‌آوری شده در قوطی‌ها (میلی‌لیتر) با فرمول (۲) قابل محاسبه است؛  $S_i$  فاصله قوطی  $i$ ام از نقطه مرکزی سامانه دوار مرکزی (متر)؛  $n$  تعداد کل قوطی‌های اندازه‌گیری.

$$V_p = \frac{\sum_{i=1}^n V_i S_i}{\sum_{i=1}^n S_i} \quad (\text{رابطه ۲})$$

ضرایب معادله (۲) شرح داده شده است.

#### ضریب یکنواختی کریستیان سن ( $CU_C$ )

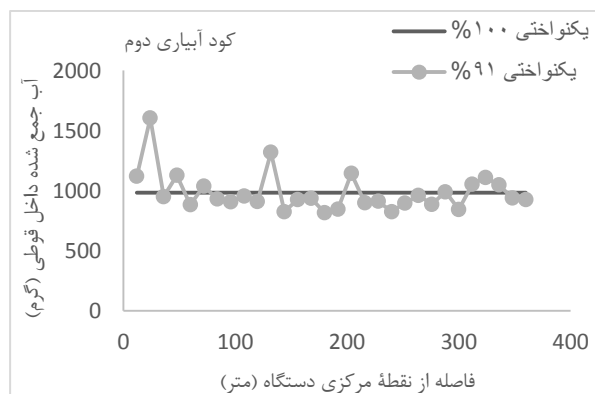
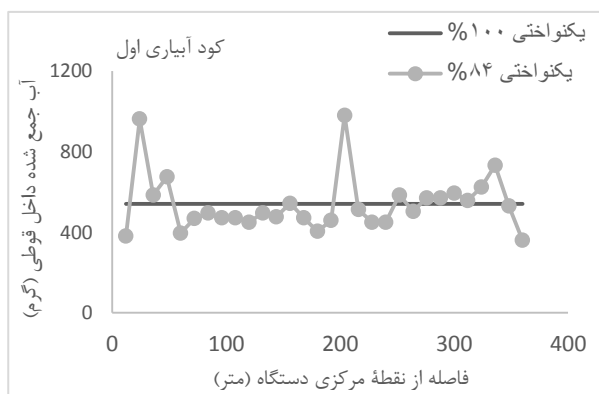
پارامتر دیگری که به طور گسترده برای ارزیابی یکنواختی سامانه‌های آبیاری بارانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، ضریب یکنواختی کریستیان سن می‌باشد. ضریب یکنواختی ( $CU_C$ ) برای

جدول ۵. مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع برای کودآبیاری اول و دوم

میانگین عمق آب کودآبیاری	ضریب یکنواختی کاربرد	ضریب یکنواختی هیرمن و هین	ضریب یکنواختی کریستین سن	شاخص یکنواختی توزیع آب (اعشار)	توضیحات
۲/۰۶ (سانتیمتر)	۸۳/۸۵ (درصد)	۸۲/۷۴ (درصد)	۰/۷۸	سرعت باد کمتر از ۲/۷ متر بر ثانیه	
۳/۸۰	۹۱/۲۴	۸۹/۰۵	۰/۸۶	سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه	

هیرمن و هین و کریستین سن وجود نداشت. همچنین شاخص یکنواختی توزیع (DU) برای کودآبیاری سال‌های اول و دوم به ترتیب مقدار ۰/۷۸۳ و ۰/۸۶۷ به دست آمد. در ارزیابی‌های انجام شده بر روی سامانه‌های آبیاری دوار مرکزی، برخی محققین اظهار کردند که شاخص یکنواختی توزیع برای سامانه‌های دوار مرکزی باید بزرگ‌تر از ۹۰ درصد باشد تا عملکرد مناسبی داشته باشد (Heermann et al, 1992).

شکل (۴) توزیع آب را در امتداد لاترال سامانه دوار مرکزی در کودآبیاری سال اول و کودآبیاری سال دوم نشان می‌دهد. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده در مزرعه، مقدار ضریب یکنواختی هیرمن و هین (CU<sub>H</sub>) محاسبه شده در کودآبیاری سال اول ۸۴ درصد و در کودآبیاری سال دوم ۹۱ درصد و ضریب یکنواختی کریستین سن (CU<sub>C</sub>) نیز در کودآبیاری اول ۸۳ درصد و در کودآبیاری دوم ۹۰ درصد محاسبه گردید. تفاوت قابل‌ملاحظه میان ضریب یکنواختی



شکل ۴. منحنی مقدار وزن آب جمع‌آوری شده در قوطی‌ها نسبت به فاصله از مرکز در کودآبیاری سال اول و دوم

مرکزی سامانه آب بیشتری توسط سامانه دوار مرکزی پخش خواهد شد. در کودآبیاری سال اول به دلیل عدم کارکرد سامانه در دبی مناسب آبپاش‌ها مقدار این همبستگی کمتر بوده است.

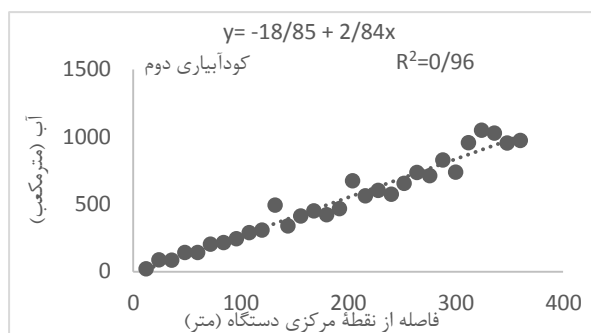
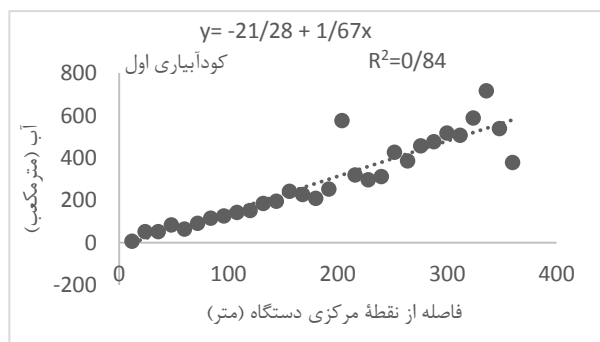
شکل (۶) توزیع نیتروژن کاربردی در امتداد لاترال سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی را در کودآبیاری‌های سال اول و سال دوم نشان می‌دهد. ضریب یکنواختی پخش کود محاسبه شده توسط رابطه هیرمن و هین ۶۹ و ۷۲ درصد به ترتیب در کودآبیاری سال‌های اول و دوم بود. دلیل کمتر بودن ضریب یکنواختی پخش کود در سال اول کمتر بودن ضریب یکنواختی پخش آب نسبت به سال دوم بود که رفع مشکل عدم یکنواختی پخش آب قابل حل خواهد بود. در کودآبیاری اول نیاز کودی ۴۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و در کودآبیاری دوم ۳۲ کیلوگرم در هکتار نیتروژن بوده است.

دلیل کمتر بودن ضریب یکنواختی پخش آب در کودآبیاری اول کمتر بودن دبی سامانه دوار مرکزی بود که موجب عدم کارکرد نازل‌ها در دبی نرمال شد. در سال دوم با افزایش دبی مشکل حل شد.

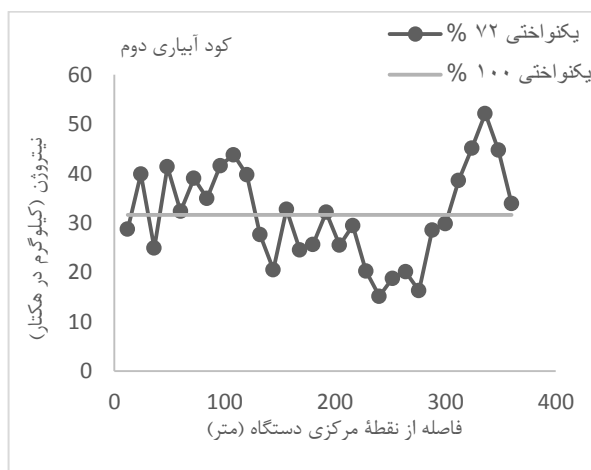
شکل (۵) رابطه رگرسیون و همبستگی میان مقدار مترمکعب آب بکار رفته را با فاصله از نقطه مرکزی سامانه را به ترتیب برای کودآبیاری اول و کودآبیاری دوم نشان می‌دهد. ضریب (R<sup>2</sup>) در کودآبیاری اول و کودآبیاری دوم به ترتیب ۸۴ و ۹۶ درصد محاسبه شده است. در سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی با فاصله گرفتن از نقطه مرکزی مساحت تحت آبیاری هر آبپاش افزایش می‌یابد و به تبع آن باید در مدت زمان آبیاری آب و کود بیشتری را به کار برد، لذا این روابط رگرسیون و ضرایب به دست آمده نشان می‌دهند که با همبستگی ۹۲ و ۹۸ درصد به ترتیب در کودآبیاری سال‌های اول و دوم با فاصله گرفتن از نقطه

فاصله از نقطه مرکزی سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی مساحت تحت آبیاری هر آبپاش افزایش می‌یابد و به تبع آن کود بیشتری نیز باید توسط آبپاش پخش شود.

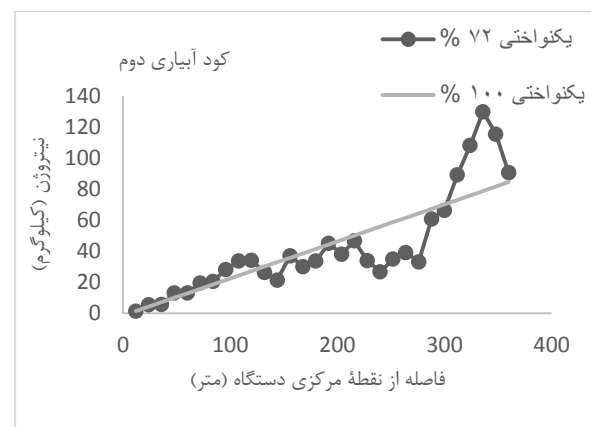
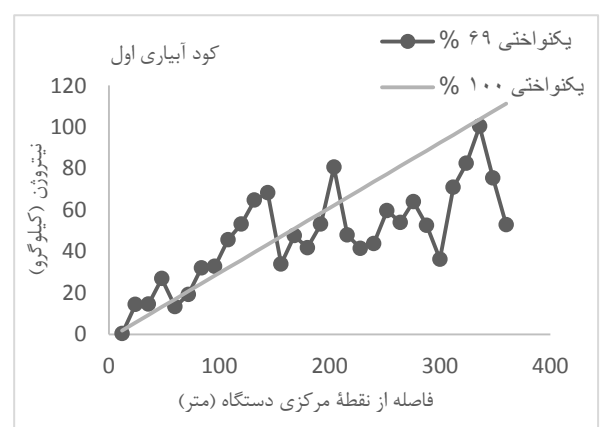
شکل (۷) مقدار نیتروژن بکار رفته در سطوحی از مزرعه بافاصله‌های مشخص از نقطه مرکزی سامانه آبیاری دوار مرکزی را در کودآبیاری سال‌های اول و دوم نشان می‌دهد. با افزایش



شکل ۵. رابطه رگرسیون و ضریب همبستگی مثبت موجود میان مقدار آب کاربردی و فاصله از نقطه مرکزی دستگاه در کودآبیاری سال‌های اول و دوم



شکل ۶. توزیع نیتروژن در امتداد لاترال سامانه آبیاری دوار مرکزی در کودآبیاری سال‌های اول و دوم



شکل ۷. مقدار نیتروژن بکار رفته در فاصله‌های مشخص از نقطه مرکزی سامانه دوار مرکزی در کودآبیاری سال‌های اول و دوم

می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۵) مشخص است در نتیجه این عدم یکنواختی پخش کود نقاطی از مزرعه بیشتر از نیاز کود دریافت کردند و نقاطی نیز کمتر مقدار مورد نیاز محصول کود دریافت کردند. نقاطی از مزرعه بیشتر از ۱۱۰ کیلوگرم در هکتار در کودآبیاری اول و بیشتر از ۸۰ کیلوگرم در هکتار در

با کاهش ضریب یکنواختی توزیع آب، ضریب یکنواختی توزیع نیتروژن نیز کاهش یافت. البته مقدار کاهش در ضریب یکنواختی آب دقیقاً برابر با کاهش ضریب یکنواختی توزیع نیتروژن نبوده است. به‌رحال کاهش یکنواختی توزیع نیتروژن نشان‌دهنده تأثیر منفی ضعف یکنواختی توزیع در مزرعه

دست‌آمده است. یکنواختی به‌دست‌آمده از توزیع نیتروژن در سامانه آبیاری کمتر از یکنواختی توزیع آب در هر دو واقعه کود آبیاری بود. در کود آبیاری سال اول که ضریب یکنواختی پخش آب کمتری به‌دست آمد، به‌تبع آن ضریب یکنواختی پخش کود نیز از مقدار کمتری برخوردار بود. از این‌رو تنها باید از سامانه آبیاری جهت عملیات کود آبیاری استفاده کرد که دارای یکنواختی توزیع آب بالایی باشد تا اینکه بتوان به یکنواختی توزیع کود قابل قبول دست پیدا کرد. معادله رگرسیون و ضریب همبستگی میان میزان فاصله از نقطه مرکزی سامانه و مقدار آب کاربردی محاسبه گردید. نتایج، ضریب همبستگی بیشتری را در کودآبیاری سال دوم نسبت به کودآبیاری سال اول نشان داد. دلیل اصلی ضعف یکنواختی در کودآبیاری سال اول کارکرد سامانه آبیاری در دبی کمتر از دبی طراحی بود که این مشکل را می‌توان با توجه بیشتر بهره‌بردار به دبی موجود در زمان آبیاری برطرف کرد. ارزیابی‌های انجام‌شده نشان داد با توجه به تفاوت زیاد در غلظت محلول کود خارج شده از نازل‌ها و عدم تشابه یکنواختی پخش آب با یکنواختی پخش کود به‌دلیل عدم اختلاط کامل محلول کود داخل تانک با آب آبیاری در زمان تزریق است. در شرایط عدم یکنواختی مناسب مجبور به کاربرد بیشتر آب‌شده که موجب شسته شدن و خارج شدن کود از منطقه توسعه ریشه می‌گردد. بررسی یکنواختی پخش کود برای جلوگیری از آلوده شدن منابع آب زیرزمینی که موجب به خطر افتادن سلامت عمومی و صدمات زیست‌محیطی می‌شود، توجه بیشتر در راهبری سیستم‌های آبیاری که کودآبیاری انجام می‌دهند را طلب می‌کند.

کودآبیاری دوم نیتروژن دریافت می‌کنند که این در حالی است که نقاطی نیز کمتر از ۱۰ کیلوگرم در هکتار در کودآبیاری اول و دوم نیتروژن دریافت کرده‌اند. میزان تلفات تبخیر و بادبردگی به دلیل آبیاری شبانه و با توجه به کمتر بودن سرعت باد در شب در مقایسه با سرعت باد در روز، در هر دو سال کودآبیاری نسبتاً کم بود. جدول (۶) مقادیر آب به‌کاربرده شده و جمع‌آوری شده در داخل قوطی‌های اندازه‌گیری و درصد تلفات تبخیر و بادبردگی را نشان می‌دهد. در این جدول حجم آب به‌کار برده شده با استفاده از کنتور دستگاه در طول مدت آبیاری به دست آمد. حجم آب جمع‌آوری شده یا همان مقدار آبی که به سطح زمین رسیده‌است با ضرب، متوسط عمق آب موجود در قوطی در مساحت دهانه قوطی به دست آمده است.

جدول ۶. میزان تلفات تبخیر و بادبردگی

کودآبیاری	حجم آب جمع‌آوری شده (m <sup>3</sup> )	حجم آب به کاربرده شده (m <sup>3</sup> )	تلفات تبخیر و بادبردگی (%)
سال اول	۴۰۹۲	۴۱۰۴	۰/۲۹
سال دوم	۷۴۴۳	۷۵۶۰	۱/۵۵

### نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد سامانه آبیاری بارانی دوار مرکزی مزعه تحقیقاتی و آموزشی دانشگاه تهران تحت مدیریت کودآبیاری بود. ضریب یکنواختی پخش آب هیرمن و هین در کودآبیاری‌های سال اول و دوم به ترتیب ۸۴ و ۹۱ درصد به‌دست آمد. همچنین این ضریب یکنواختی برای پخش نیتروژن در کودآبیاری سال‌های اول و دوم به ترتیب ۶۹ و ۷۲ درصد به

### REFERENCES

- Almasraf, S., Jury, J. and S. Miller. (2011). Field evaluation of center pivot sprinkler irrigation systems in Michigan. Final Draft. Department of Biosystems and Agricultural Engineering. Michigan State University. East Lansing, MI, USA.
- Best, S. C. and H. R. Duke. (2001). Spatial distribution of water and nitrogen application under center pivot sprinklers. In Proc. of Central Plains Irrigation course and exposition. Central Plane Irrigation Association. Kearney, Nebraska (pp. 58-65).
- Burt, C. M., Clemmons, A.J. and KH. Strelkoff. (1997). Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation Drainage Eng.* 123(6), 423-442.
- Camp, C. R., Sadler, E. J., Evans, D. E., Usrey L. J. and M. Omary. (1998). Modified center pivot system for precision management of water and nutrients. *Journal of Applied Engineering in Agriculture.* 14(1), 23-31.
- Chagha, y. and A. A. Ghaemi. (2007). Check losses due to evaporation and Badbrdgy analog systems. Ninth Seminar of irrigation and reduce evaporation, Shahid Bahonar University of Kerman.
- Christiansen, J. E. (1942) Standards. 43<sup>rd</sup> Ed. American Soc. Of Agric. And Biological Engineers. St. Joseph, MI 864 pp.
- Doustmohammdi, M., Soltanimohammadi, A. and H. RezaiiRad. (2013). Evaluation performance center pivot irrigation system in Qom. In: First National Conference on Water Crisis, 15-16 May., Islamic Azad Univercity of Isfahan, Iran, pp. 410-419. (In Farsi).
- Dukes, M.D. and C. Perry. (2006). Uniformity testing of variable-rate center pivot irrigation control systems. *Precision Agriculture.* 7(3), 205-218.

- Ghaemi, A. A. (2004). Hydraulic Evaluation and Testing of Iranian Made Center Pivot Irrigation System. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 5(19), 28-48. (In Farsi).
- Heermann, D. F. and R. R. Hein. (1968) Performance characteristics of self-propelled center-pivot irrigation system. *Trans ASAE*. 11(1), 11-15.
- Heermann, D., Wallender, W. and M. Bos. (1992). Irrigation efficiency and uniformity. Chapter 6 in *Management of Farm Irrigation System*, Pp: 125-149.
- Hergert, G. W. (1976). Sprinkler application of fertilizer nutrients. *Solutions Magazine*, (1976).
- Hezarjaribi, A. and B. Sohrabi. (2010) Evaluation of water distribution uniformity of varying severity of a modified center pivot system. *Journal of Soil and Water Conservation*. 17(1), 129-143. (in Farsi).
- King, B. A., Wall R. W. and T. F. Karsky. (2009). Center-pivot irrigation system for independent site-specific management of water and chemical application. *Journal of Applied Engineering in Agriculture*. 25(2), 187-198.
- Nelson, R. M., and R. W. Hill. (2010). Center Pivot Irrigation and Fertilizer Use Evaluation. *Journal of the NACAA*. 3(1), 199-209.
- Ortiz, J. N., Tarjuelo, J. M. and J. A. De Juan. (2009). Characterisation of evaporation and drift losses with centre pivots. *Journal of Agricultural water management*. 96(11), 1541-1546.
- Sayadi, H. and A. Falan. (2007). Design center pivot irrigation systems. The SID Publications, Tehran, page 220. (In Farsi).
- Sohrabi, T. and R. Asilmanesh. (1998). Evaluation performance center pivot irrigation system in karaj. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 2(2), 1-14. (In Farsi).
- Sohrabi, T. and M. Omidvar. (2002). Performance review, operational and technical difficulties rotary sprinkler irrigation systems in the region of Khorasan Jovin. *Journal of Agriculture and Rural Sciences*. 4(1), 38-51. (In Farsi).
- Wright, J., Bergsrud, F., Rehm, G., Malzer, G. and B. Montgomery. (2002). Nitrogen Application with Irrigation Water-Chemigation. College of Agriculture, Food, and Environmental Sciences. University of Minnesota.