



اثر فشار و باد بر یکنواختی آبپاش‌های متحرک در سیستم آبیاری بارانی

فاطمه کیخایی*

۱- هیات علمی، گروه آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۴/۲۷

چکیده

استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر در افزایش بهره‌وری و کاهش تلفات آب در بخش کشاورزی اهمیت ویژه‌ای دارد. عملکرد این سامانه‌ها تا حد زیادی به نوع آبپاش، فشار کارکرد و شرایط اقلیمی از جمله سرعت باد وابسته است. این پژوهش با هدف ارزیابی ضریب یکنواختی توزیع آب و راندمان کاربرد در چند نوع آبپاش متداول شامل سارو، نوآوران، آمبو و ویر در شرایط فشارهای ۴ و ۴/۵ اتمسفر و سه محدوده سرعت باد (۲-۴، ۴-۶ و ۶-۸ متر بر ثانیه) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی اراک در سال ۱۳۹۵ انجام شد. آزمایش‌ها بر روی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک با آبپاش متحرک و آرایش مربعی قوطی‌ها انجام گردید و ضرایب یکنواختی کریستیان‌سن (CU) و یکنواختی توزیع (DU) محاسبه شدند. نتایج نشان داد که افزایش فشار کارکرد تا حدود ۴/۵ اتمسفر در شرایط باد آرام موجب بهبود یکنواختی می‌شود، اما در بادهای شدید به دلیل ریز شدن قطرات و افزایش تلفات بادبردگی، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. میانگین ضریب یکنواختی در فشار ۴ اتمسفر با افزایش سرعت باد از آرام به شدید به ترتیب در آبپاش‌های سارو، نوآوران، آمبو و ویر به میزان ۳۵، ۴۵، ۳۴ و ۴ درصد کاهش یافت. در مجموع، آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴ اتمسفر در تمامی شرایط باد بیشترین ضریب یکنواختی و عملکرد هیدرولیکی را نشان داد. نتایج این تحقیق تأکید می‌کند که انتخاب نوع آبپاش متناسب با شرایط اقلیمی و کنترل سرعت باد در زمان آبیاری می‌تواند موجب افزایش راندمان کاربرد و کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، سرعت باد، ضریب یکنواختی، فشار کارکرد

مقدمه

حفظ منابع یکی از ارکان اساسی توسعه پایدار کشاورزی است. آب یکی از منابع مهم، اما محدود می‌باشد. لذا ضروری است تا از حداقل آب موجود به‌نحو مطلوب استفاده گردد. عمده-ترین هدف آبیاری به‌کار بردن مقدار بهینه آب در منطقه توسعه ریشه‌ها است تا گیاه رشد نموده و مقداری از نیاز آبی را که به‌وسیله بارندگی جبران نمی‌شود، تامین نماید. روش آبیاری بارانی یکی از سیستم‌های آبیاری تحت فشار است که آب را از یک منبع گرفته و به صورت قطراتی آن را در هوا پخش می‌نماید. نقش اولیه آبیاش‌ها، توزیع یکنواخت آب می-باشد بدون اینکه سبب جریان سطحی شده و از زهکشی بیش از حد محیط ریشه جلوگیری شود. به‌همین دلیل، آبیاش یک عامل خیلی مهم از یک سیستم آبیاری بارانی می‌باشد. نحوه عملکرد آبیاش، میزان قابلیت تولید و راندمان کل سیستم را تعیین می‌نماید (Keller & Bliesner, 1990; Wilson & Zoldoske, 1997). در سال‌های اخیر، انواع

گوناگونی از آبیاش‌ها با طراحی‌های بهینه و ویژگی‌های هیدرولیکی متفاوت برای کاربرد در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک توسعه یافته‌اند. عملکرد هر آبیاش تحت تأثیر عواملی مانند فشار کارکرد، نوع و قطر نازل، زاویه پرتاب، الگوی پاشش و شرایط باد است (Carrión *et al.*, 2021; Li *et al.*, 2023). آبیاش‌های ضربه‌ای، رایج‌ترین نوع در سامانه‌های کلاسیک ثابت و متحرک هستند و به‌وسیله بازوی ضربه‌ای، آب را در یک مسیر چرخشی توزیع می‌کنند. این نوع آبیاش‌ها برای فشارهای ۲ تا ۵ بار مناسب بوده و در اغلب مناطق کشاورزی ایران کاربرد دارند (Tang *et al.*, 2020; محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). باد مهمترین عامل موثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی است و کاهش شدید یکنواختی آبیاری به‌عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد می‌باشد (Zapata *et al.*, 2007). مقدار پخش آب که در طراحی منظور می‌شود، بستگی به-میزان تبخیر-تعرق در دوره حداکثر مصرف یا حداکثر ظرفیت نگهداری آب در منطقه توسعه

ریشه و میزان تخلیه آب از خاک دارد. هرچه یکنواختی پخش آب در سطح مزرعه کمتر باشد، تلفات آب بیشتر خواهد بود. ابراهیمی (۱۳۸۵) نشان داد که راندمان کاربرد آب، به-تنهایی یکنواختی توزیع آب و کفایت آبیاری را در تمام نقاط مزرعه نشان نمی‌دهد، لذا این راندمان نخواهد توانست معرف راندمان واقعی آبیاری باشد میربلوچ و همکاران (۱۳۹۹) با ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک با آبیاش متحرک در شهرستان خاش نشان دادند که ۵۰ درصد سیستم‌های مورد مطالعه، ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع کمتر از مقدار توصیه شده مریام و کلر داشتند. استفاده از ضریب یکنواختی کریستیان‌سن در سیستم‌های آبیاری بارانی برای بیان یکنواختی بسیار متداول است. در پژوهشی Dabbaus (1962) از طریق روش‌های آماری مشخص کرد که ضریب یکنواختی کریستیان‌سن در مقایسه با دیگر روش‌ها معتبرتر است. در تحقیقی دیگر ذکر شده است که شرکت‌های سازنده آبیاش معمولاً از ضریب یکنواختی کریستیان‌سن برای ارزیابی سیستم‌ها استفاده می‌کنند (Heermann *et al.*, 1980). فشار کارکرد، اصلی‌ترین عامل سیستمی موثر بر توزیع آب در آبیاری بارانی است (Montero, 2003). در فشار کم به دلیل ریزش بیشتر آب در فواصل نزدیک به‌آبیاش و در فشار بالا به-دلیل تولید قطرات ریزتر و حساس‌تر به‌باد، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد و معیار اصلی فاصله بین آبیاش‌ها در هر شرایط باد، فشار کارکرد و نوع نازل، یکنواختی توزیع آب است (keller *et al.*, 1990). به طور کلی فاصله کم بین آبیاش‌ها موجب یکنواختی بالاتری می‌شود (بزانه، ۱۳۹۳). در یک سرعت باد مشخص، معمولاً آرایش مربعی نسبت به-مستطیلی ضریب یکنواختی بالاتری دارد. علاوه‌بر این جهت باد هم تاثیر کمتری بر آرایش مربعی دارد (Tarjuelo *et al.*, 1992). مطالعات جدید نشان می‌دهد که استفاده از آبیاش‌های بهینه‌سازی‌شده بر پایه مدل‌سازی دینامیک سیالات می‌تواند، یکنواختی توزیع آب را ۱۰ تا ۲۰ درصد افزایش دهد (Zhu *et al.*, 2019 و Li *et al.*, 2023). در تحقیقی دیگر از عوامل سرعت و

صورت گرفته نشان داد که بادهای با سرعت کمتر از ۵ کیلومتر در ساعت تأثیر چندانی روی یکنواختی توزیع آب ندارند، ولی سرعت‌های بیشتر از ۱۵ کیلومتر در ساعت باعث به هم خوردن یکنواختی توزیع آب می‌شوند و لذا معمولاً سیستم آبیاری بارانی برای مناطقی که سرعت متوسط باد بیش از ۱۵ کیلومتر در ساعت باشد، توصیه نمی‌شود (Seginer & Kostinsky, 1975). نتایج تحقیق شیخ اسماعیلی (۱۳۸۶) هم نشان داد که برای کسب یکنواختی توزیع قابل قبول در شرایط وزش-بادهای با سرعت بیش از ۲ متر بر ثانیه می-بایست حداکثر فواصل آبیاش‌ها به ابعاد ۲۵×۲۵ متر با آرایش مربعی انتخاب گردد و در شرایطی که سرعت باد از ۱۵ کیلومتر بر ساعت تجاوز کند، مقدار ضریب یکنواختی از ۸۰ درصد کمتر خواهد شد. هر نوع آبیاش پروفیل پاشش خاصی دارد که به -اندازه نازل و فشار کارکرد بستگی دارد. بررسی‌های میدانی محمدی و همکاران (۱۳۹۹) نشان دادند که مقادیر کم شاخص‌های ارزیابی به دلیل فاصله نامناسب

جهت باد، مدت آبیاری، زاویه پخش آب و ارتفاع آبیاش به عنوان عوامل بر یکنواختی توزیع آب یاد شده است (Tarjuelo *et al.*, 1999). عوامل موثر بر توزیع آب از آبیاش‌ها به سه دسته کلی طراحی آبیاش، اندازه، تعداد و طراحی داخلی نازل‌ها و فشار کارکرد تقسیم-بندی شد (Carrion *et al.*, 2001). باوی و همکاران (۱۳۸۷) در تحقیقی اثر شدت‌های مختلف باد، فشار، فواصل و آرایش آبیاش‌ها را بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی در امیدیه بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت فواصل آبیاش‌ها به قطر پراکنش، ضریب یکنواختی مخصوصاً در بادهای شدید (بیشتر از ۷ متر بر ثانیه) کاهش می‌یابد. اثر باد بر توزیع یکنواختی آبیاش‌هایی که فاصله کمتری دارند، کمتر است و لذا در صورت وجود باد با کاهش فواصل آبیاش‌ها می‌توان یکنواختی توزیع آب را افزایش داد. هرچه سرعت باد بیشتر باشد و قطرات آب نیز ریزتر باشند، تأثیر منفی باد نیز بیشتر شده و امکان اختلال در توزیع یکنواختی آب افزایش می‌یابد. تحقیقات

آبپاش‌ها، فشار کم اجرا نسبت به فشار طراحی، تغییرات فشار زیاد در سامانه و استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبپاش است. کلیه سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک komet162 در اراضی دشت ارسباران ارزیابی شدند که دارای مقادیر ارزیابی کمتر از مقادیر توصیه شده توسط مریام و کلر بودند (احمدزاده و امامی فر، ۱۴۰۲). این مطالعه به منظور بررسی میزان یکنواختی پخش آب در شرایط فشار کارکرد و سرعت‌های باد مختلف بر روی چهار آبپاش در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. ضریب یکنواختی کریستیان‌سن، عملکرد هیدرولیکی و یکنواختی توزیع آب، مقدار یکنواختی توزیع آب در شرایط مختلف از لحاظ فشار آب، سرعت باد و روند تغییرات آن بررسی شد و آبپاش مناسب تعیین گردید.

مواد و روش‌ها

عوامل موثر بر یکنواختی پخش آب

یکنواختی پخش آب در راندمان کاربرد آب موثر است (Tarjuelo et al., 1992). Merriam & Keller (1978) راندمان

آبیاری یا همان درصد راندمان کاربرد آب در مزرعه را به صورت معادله (۱) عنوان کردند:

$$AE = (D/Dr) \times 100 \quad (1)$$

که در آن D : متوسط عمق آب نفوذ یافته و ذخیره شده در منطقه ریشه برحسب میلی‌متر. Dr : متوسط عمق آب آبیاری اندازه‌گیری شده از نازل آبپاش برحسب میلی‌متر می‌باشد. که در آبیاری سنتی (سطحی) این راندمان حدود ۳۰ درصد و در آبیاری بارانی حدود ۷۰ درصد و در آبیاری قطره‌ای تا ۹۰ درصد افزایش می‌یابد. Keller (1978) مقادیر بهینه راندمان کاربرد آب را برای سیستم‌های مختلف آبیاری با توجه به شرایط اقلیمی طبق جدول (۱) بیان نمود. معمولاً بنا برآن‌چه در اکثر طراحی‌ها نیز به کار می‌رود برای سیستم کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شرایط ایران راندمان‌های ۷۵ و ۷۰ درصد را به عنوان راندمان کاربرد بهینه در نظر می‌گیرند. برای تعیین مقدار یکنواختی آب در یک سیستم آبیاری بارانی از یک شبکه مربعی جمع‌کننده‌ها (قوطی‌های یکسان) که در اطراف آبپاش بر روی زمین چیده می‌شوند، استفاده می‌گردد. آبپاش باید در مرکز شبکه

مربعی نصب شود (وسط چهار تا جمع کننده افقی باشد (Bloomer, 2007, 2008).

مجاور) و باید دقت شود که ورودی قوطی‌ها

جدول ۱- راندهای معمول برای سیستم‌های آبیاری بارانی با مدیریت مناسب

راندهای کاربردی (درصد)	نوع سیستم و شرایط محیطی
۸۵	سیستم‌های متحرک و ثابت با یکنواختی پاشش بالا در شرایط اقلیمی سرد یا مرطوب و باد کم
۸۰	سیستم‌های متحرک در اغلب اقلیم‌ها و شرایط بادی و سیستم‌های ثابت با شدت پاشش متوسط تا زیاد و یکنواختی مناسب در اکثر اقلیم‌ها و باد کم
۷۵	سیستم‌های ثابت معمولی در اغلب اقلیم‌ها و شرایط بادی و سیستم‌های متحرک در اقلیم بیابانی و باد شدید
۷۰	سیستم‌های ثابت با شدت پاشش بالا در اقلیم‌های بیابانی و باد شدید یا شدت پاشش کم در دیگر اقلیم‌ها با باد شدید و سیستم‌های آراپاهای
۶۵	سیستم‌های ثابت با شدت پاشش نسبتاً کم در اقلیم‌های بیابانی و باد شدید یا شدت پاشش کم در اقلیم‌های بیابانی و باد شدید
۶۰	سیستم‌های ثابت با شدت پاشش کم و قطرات کوچک در اقلیم‌های بیابانی و باد شدید و آبیاری‌های تفنگی و بوم

مهم‌ترین عامل اقلیمی که بر توزیع آبیاری‌ها اثر می‌گذارد، تغییرات سرعت و جهت باد است. همچنین برای یک سرعت باد ثابت، تغییرات جهت باد الگوی پخش آب را در امتداد باد بهم می‌زند و بنابراین بر مقدار ضریب یکنواختی- کریستیان‌سن اثر می‌گذارد (Seginer and Kostinsky, 1975). برای بیان یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی، شرکت‌های سازنده آبیاری‌ها معمولاً از ضریب یکنواختی کریستیان-سن برای ارزیابی آبیاری‌ها استفاده می‌کنند. معمولاً ضریب یکنواختی اعلام شده توسط کارخانه سازنده برای شرایط ایده‌آل می‌باشد.

به‌همین دلیل ممکن است پس از نصب وسایل آبیاری بارانی در مزرعه، دستیابی به ضریب یکنواختی فوق ممکن نشود. استفاده از جداول موجود می‌تواند برای تخمین ضریب یکنواختی سیستم آبیاری بارانی قبل از برپایی سیستم در مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. دقیق‌ترین روش ارزیابی ضریب یکنواختی توزیع آب، اندازه‌گیری پارامترهای لازم در مزرعه و محاسبه ضریب یکنواختی توزیع آب است. اولین مطالعه در خصوص یکنواختی آبیاری بارانی توسط کریستیان‌سن در کالیفرنیا صورت گرفت که منجر به ارائه ضریب یکنواختی کریستیان‌سن

(معادله ۲) شده است (Christiansen, 1942).

کریستیانسن برای تعیین یکنواختی،

از یک شبکه مربعی قوطی‌های یکسان که در

اطراف یک آبپاش بر روی زمین چیده می‌شوند

استفاده کرد. آبپاش در مرکز شبکه مربعی

گذاشته می‌شود و باید دقت شود که قوطی‌ها

در تمام مدت آزمایش کاملاً افقی باشند.

$$CU = 1 - \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \quad (2)$$

که در آن، CU: ضریب یکنواختی کریستیان-

سن، x_i : عمق آب در هر یک از قوطی‌های

جمع‌آوری آب (میلی‌متر)، $\bar{x}$: میانگین عمق آب

در قوطی‌ها (میلی‌متر) و n : تعداد قوطی‌های

جمع‌آوری آب می‌باشد. DU: ضریب

یکنواختی توزیع است و تمرکز آن روی ربع

پایین مقادیر جمع‌آوری شده است. این

شاخص برای ارزیابی این است که حتی نقاط

کم‌آب‌دیده، چه درصدی از میانگین کل آب را

دریافت می‌کنند.

$$DU = (Z_q/Z_{avg}) \times 100 \quad (3)$$

Z_q : میانگین مقادیر کمترین ۲۵ درصد از

داده‌های جمع‌آوری‌شده، Z_{avg} : میانگین کل

مقادیر آب جمع‌آوری‌شده. DU: شاخص

یکنواختی توزیع (درصد).

روش انجام پژوهش

این تحقیق در مرکز تحقیقات کشاورزی استان

مرکزی و در ایستگاه اراک که در بین ۳۴ درجه

و ۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی از خط

استوا و ۴۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول

شرقی انجام شد، در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد

سال ۱۳۹۵ صورت گرفت. در این پژوهش در

مجموع ۲۷ آزمایش (سه تیمار فشار کارکرد

آبپاش، سه تیمار نوع آبپاش، با سه سرعت باد)

با ارتفاع پایه یک متر انجام شد. آزمایش در

قطعه زمینی مسطح و دارای پوشش یونجه در

مزرعه ایستگاه دارای سیستم آبیاری بارانی

کلاسیک با آبپاش متحرک انجام پذیرفت. در

این آزمایش علاوه بر آبپاش آمبو و ویر دو

آبپاش مدل آمبو به نام‌های سارو و نوآوران، نیز

مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات فنی آبپاش

ویر شامل فشار کارکرد: ۴ الی ۷ اتمسفر، میزان

آبدهی ۱۴۰ الی ۳۰۰ لیتر در دقیقه، شعاع

پاشش ۲۵ الی ۳۰ متر است (جدول ۲). این

آبپاش مناسب آبیاری سیستم آبیاری کلاسیک

ثابت و با ۳ نازل ساخته شده که بدنه آن از فلز
برنج و لوله آلومینیومی با محور و فنر از جنس
استیل ساخته شده است. در این تحقیق نازل
اصلی ۹ میلی‌متری استفاده شد (شکل ۱).
مشخصات فنی آبیاش آمبو شامل از فشار
کارکرد: از ۱/۵ الی ۵ اتمسفر، میزان آبدهی ۸۸
الی ۴۱۴ لیتر در دقیقه، شعاع پاشش ۱۶ الی
۲۹ متر (جدول ۳). این آبیاش با دو نازله و بدنه
ساخته شده از ترکیبی از آلیاژ آلومینیوم و برنج
و قطعات پلاستیکی می‌باشد (شکل ۲). برای
استفاده در سیستم‌های آبیاری کلاسیک ثابت و
در قطعات متوسط و بزرگ توصیه می‌شود و در
این طرح از نازل ۱۰ میلی‌متری استفاده شده
است.

جدول ۲- مشخصات آبیاش ویر ۱۵۵ (VYR155)

۸×۶/۳×۳/۲	۹×۶/۳×۳/۲	۱۰×۶/۳×۳/۲	۱۱×۶/۳×۳/۲	۱۲×۶/۳×۳/۲	۱۳×۶/۳×۳/۲	۱۰×۶/۳×۳/۲
میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر	میلی‌متر
شعاع	دبی	شعاع	دبی	شعاع	دبی	شعاع
پاشش	پاشش	پاشش	پاشش	پاشش	پاشش	پاشش
مترمکب	مترمکب	مترمکب	مترمکب	مترمکب	مترمکب	مترمکب
متر	متر	متر	متر	متر	متر	متر
برساعت	برساعت	برساعت	برساعت	برساعت	برساعت	برساعت
۸/۵	۵۱	۹/۶	۵۲	۱۱	۵۳	۱۲
۵/۵	۵۳	۱۰/۸	۵۴	۱۲/۳	۵۵	۱۳/۴
۱۰/۴	۵۴	۱۱/۷	۵۵	۳۱/۵	۵۸	۱۴/۷
۱۱/۲	۵۶	۱۲/۸	۵۷	۱۴/۶	۶۰	۱۶
۴	۵۱	۹/۶	۵۲	۱۱	۵۳	۱۲
۵	۵۳	۱۰/۸	۵۴	۱۲/۳	۵۵	۱۳/۴
۶	۵۴	۱۱/۷	۵۵	۳۱/۵	۵۸	۱۴/۷
۷	۵۶	۱۲/۸	۵۷	۱۴/۶	۶۰	۱۶

جدول ۳- مشخصات فنی آبیاش آمبو

قطر نازل (میلی‌متر)	فشار (اتم‌سفر)	شعاع پاشش (متر)	دبی آبدهی	
			لیتر بر دقیقه	مترمکب بر ساعت
۷	۱/۵	۱۶	۸۶	۵/۱
۷	۲	۱۷/۵	۹۹	۵/۹
۸	۳	۱۹/۵	۱۲۱	۷/۲
۸	۴	۲۱	۱۴۰	۸/۴
۷	۲	۱۸	۱۳۰	۷/۸
۷	۳	۲۱	۱۵۹	۹/۵
۱۰	۴	۲۳	۱۸۴	۱۱
۱۰	۵	۲۴/۵	۲۰۷	۱۲/۴



شکل ۲- آبپاش آمبو



شکل ۱- آبپاش ویر ۱۵۵

شونده تولید می‌گردد. آبپاش با فن‌آوری Komet اتریش و ایتالیا با نام تجاری سارو توسط شرکت الوند مکش در ایران تولید می‌شود شکل (۳). مشخصات فنی آبپاش باران ۲۱۰۱ عبارت است از فشار عملکرد ۲/۵ تا ۶ اتمسفر، شعاع پاشش ۱۸ تا ۳۴ متر، آبدهی ۷-۲۸ متر مکعب در ساعت، و نازل مورد استفاده در طرح ۸ میلی‌متر بود شکل (۴).

آبپاش آمبو با شعاع متوسط، تولید شرکت سایم است که دارای یکنواختی توزیع آب بالایی می‌باشد. این آبپاش قابل استفاده در تمام زمین‌های کشاورزی با ابعاد متوسط به بالا و بزرگ می‌باشد و به یکی از گزینه‌های پرمصرف در سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در ایران است. این آبپاش دو نازله بوده و جنس آن ترکیبی از آلیاژ آلومینیوم و برنج و قطعات پلاستیکی است و در دو مدل تمام دور و تنظیم

جدول ۴- مشخصات فنی آبپاش تمام دور سارو مدل TM-25 کامت

دبی	دبی	شعاع پرتاب	فشار	قطر نازل
لیتر بر ثانیه	لیتر بر ثانیه	متر	بار	میلی‌متر
۱۰/۵۵	۲/۹۳۲	۲۶	۵	۱۰
۱۲/۲۶	۳/۴۰۶	۲۹	-	-



شکل ۴- آبپاش تمام دور نوآوران مدل باران ۲۱۰۱



شکل ۳- آبپاش سارو تمام دور مدل TM25

با توجه به استاندارد ایزو ۷۷۴۹/۲ یک قوطی لبه تیز آلومینیومی با قطر بالایی ۱۰ و ارتفاع ۱۰/۵ سانتی‌متر قرار داده شد (شکل ۶). بعد از یک ساعت کار سیستم، پمپ خاموش شد و بلافاصله حجم آب جمع شده در هر قوطی قرائت شد. حجم آب جمع شده با توجه به قطر بالایی قوطی تبدیل به عمق آب شد. به منظور لحاظ کردن اثر تبخیر بر عمق آب داخل قوطی‌ها، تعداد ۸ قوطی با مقدار آب مشخص (۲۰۰ میلی‌لیتر) به عنوان شاهد در نظر گرفته شد و در پایان آزمایش در صورت کسری شدن آب از آن‌ها، آن مقدار به مقادیر قرائت شده اضافه شد. همچنین به منظور بررسی تاثیر سرعت باد بر ضریب یکنواختی، با استفاده از یک دستگاه بادسنج کنتوری که در ارتفاع ۲ متری زمین نزدیک محل آزمایش نصب شده بود، سرعت باد اندازه‌گیری و ثبت شد. در نهایت مقدار ضریب یکنواختی کریستیان‌سن برای تیمارهای مختلف آبیاش و فشار کارکرد آبیاش محاسبه شد و همچنین مقدار ضریب

بررسی‌های انجام شده در استان مرکزی نشان داد که سیستم آبیاری بارانی با آبیاش متحرک در مقایسه با سایر سیستم‌های آبیاری بارانی از تطابق نسبتاً مناسبی با شرایط مزرعه به لحاظ بافت خاک، شیب زمین، الگوی کشت و بهره‌برداری و نگهداری داشته و مشخصات هیدرولیکی لوله‌ها و آبیاش‌ها در طرح‌های اجرا شده قابل قبول بوده است. به منظور تامین فشار کارکرد آبیاش از یک پمپ محوری با دور موتور ۲۹۰۰ دور در دقیقه استفاده شد که به لوله رانش آن یک لوله پلی‌اتیلن با قطر ۹۰ میلی‌متر و طول تقریبی ۱۰۰ متر جهت رساندن آب به محل اجرای طرح متصل شد. جهت تنظیم و کنترل دقیق فشار از دو فشارسنج ۰-۶ اتمسفر، که یکی در یک متری خروجی از پمپ و دیگری در روی لوله آبرسان آبیاش و در ۵ متری آبیاش نصب شده بود، استفاده شد. برای تعیین مقدار آب پخش شده از آبیاش با توجه به حداکثر شعاع پاشش، زمینی مربعی به ضلع ۳۳ متر به شبکه‌های ۳×۳ متر تقسیم‌بندی شد (شکل ۵). بر روی هر گره

یکنواختی توزیع نیز برای هر یک از آبپاش‌ها

تعیین گردید.



شکل ۶- قوطی و سه پایه مورد استفاده جهت جمع آوری آب خروجی از آبپاش



شکل ۵- نمایی از آرایش ظروف جهت تعیین ضرایب CU و DU

نتایج و بحث

فشار کارکرد و اثر باد

نتیجه محاسبات ضریب یکنواختی برای تیمار فشار کارکرد برای کلیه آزمایشات صحرایی در جدول (۵) آورده شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش فشار مقدار ضریب یکنواختی در شرایط باد آرام کاهش پیدا می‌کند. و نتیجه‌ای مطابق با تحقیقات Keller & Ron (1990) به‌دست آمد، به‌طوری‌که در فشارهای بالا ذرات پودری شده و به‌راحتی توسط باد برده می‌شوند و لذا یکنواختی کاهش می‌یابد. اگرچه برای پیدا کردن فشار مناسب در شرایط باد آرام توصیه می‌شود که طیف وسیع‌تری از فشار بررسی گردد، لیکن به‌علت پودر شدن آب در فشارهای بالاتر از ۴/۵ و تاثیر

بیشتر سرعت باد بر این ذرات، فشار بیشتر از این مقدار توصیه نمی‌گردد. وجود بادهای شدید در یک منطقه می‌تواند عامل محدود کننده‌ای در طراحی سیستم بارانی بوده و یا حداقل زمان کار آن را محدود به شب که در آن سرعت باد کمتر است بنماید (علیزاده، ۱۳۸۱). همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، افزایش سرعت باد از کم تا شدید در فشار ۴ اتمسفر برای آبپاش‌های سارو، نوآوران و آمبو روند کاهشی داشته است اما تاثیر باد در آبپاش ویر روند مشخصی نداشته اما در شرایط باد آرام بالاترین ضریب یکنواختی را داشت. در بین کلیه آبپاش‌ها در فشار ۴ اتمسفر و شرایط متفاوت سرعت باد، بالاترین ضریب یکنواختی را آبپاش ویر دارا بود. پایین‌ترین ضریب

یکنواختی در شرایط ذکر شده مربوط به آبیاش نوآوران و آمبو در شرایط باد شدید به دست آمد. همان طوری که جدول ۵ نشان می‌دهد در محدوده سرعت‌های باد بیشتر از ۴ متر بر ثانیه، ضریب یکنواختی در سه نوع آبیاش سارو، نوآوران و آمبو کاهش یافته است. در این حالت پیشنهاد می‌شود که جهت کسب یکنواختی بالاتر در سیستم‌های آبیاری بارانی، در مناطقی که سرعت باد بالاتر از ۴ متر در ثانیه است آبیاری بارانی صورت نگیرد. براساس این نتایج مشخص گردید که وقتی سرعت باد ملایم است می‌توان به یکنواختی قابل قبولی دست یافت. در سرعت باد ملایم فقط ذرات بسیار ریز آب تحت تاثیر باد قرار گرفته و جابجا می‌شوند و در نتیجه ضریب یکنواختی به مقدار کمی کاهش می‌یابد در صورتی که با افزایش سرعت باد تعداد بیشتری از ذرات (ذرات با قطر بزرگتر) آب توسط باد جابجا شده و باعث بهم خوردن یکنواختی توزیع آب می‌گردد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۹). در فشار ۴/۵ اتمسفر بالاترین مقدار ضریب یکنواختی مربوط

به آبیاش ویر در شرایط باد آرام بدست آمد و کمترین مقدار مربوط به آبیاش نوآوران می‌باشد. اثر متقابل نوع آبیاش و فشار در جدول (۶) نشان داده شده است این نتیجه بیانگر آن است که در هر آبیاش با افزایش فشار در طیف مورد مطالعه، ضریب یکنواختی در شرایط بدون باد یا باد آرام کم شده است اما در شرایط باد متوسط عکس‌العمل آبیاش‌های متفاوت، یکسان نبوده است. ضریب یکنواختی آبیاش سارو افزایش یافت در حالی که ضریب یکنواختی آبیاش آمبو تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشت و ضریب یکنواختی آب در آبیاش‌های نوآوران و ویر کاهش داشت. بررسی تاثیر افزایش فشار آبیاش در سرعت‌های بیشتر از ۴ متر بر ثانیه بر ضریب یکنواختی کریستیان‌سن نشان داد که در کلیه آبیاش‌ها باد شدید موجب کاهش ضریب یکنواختی خواهد شد اما این تاثیر در دو آبیاش آمبو و ویر بمراتب کمتر از آبیاش‌های سارو و نوآوران می‌باشد. باد با سرعت بیشتر از ۴ متر بر ثانیه موجب کاهش بیش از دو برابری ضریب یکنواختی آبیاش نوآوران در سرعت

متوسط باد شد. نتایج مبین آن است که ضریب مجاز فشار را از عوامل اصلی پایین بودن یکنواختی در فشار ۴ اتمسفر، با افزایش سرعت باد از آرام به متوسط و از متوسط به شدید در آبپاش‌های سارو، نوآوران و آمبو کاهش یافته است و تنها آبپاش ویر از این قاعده پیروی ننموده است و تغییرات محسوسی در ضریب یکنواختی آن دیده نشده است (جدول ۶).

احمدزاده و امامی‌فر (۱۴۰۲) نیز تغییرات غیر (۷ تا ۱۳) ارائه شد.

جدول ۵- ضرایب یکنواختی کریستیان‌سن بر حسب درصد در آبپاش‌های مختلف با تیمارهای مختلف فشار و سرعت باد

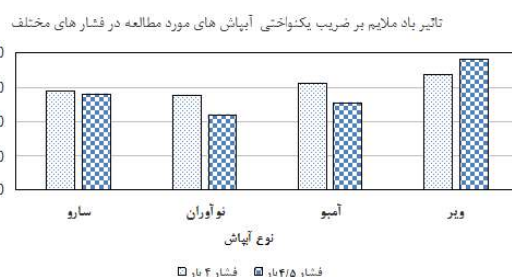
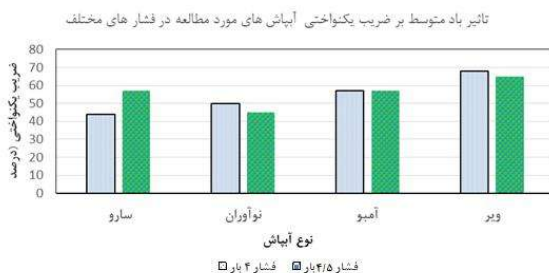
فشار (اتمسفر)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	نوع آبپاش			
		سارو	نوآوران	آمبو	ویر
۴	۲-۰	۵۸	۵۵	۶۲	۶۷
۴	۴-۲	۴۴	۵۰	۵۷	۶۸
۴	۶-۴	۴۲	۴۱	۴۱	۷۰
۴/۵	۲-۰	۵۶	۴۴	۵۱	۷۶
۴/۵	۴-۲	۵۷	۴۵	۵۷	۶۵
۴/۵	۶-۴	۲۸	۱۶	۴۰	۶۸

جدول ۶- اثر متقابل سرعت باد و فشار بر ضریب یکنواختی (CU) آبپاش‌های مورد مطالعه

نوع آبپاش	سرعت باد صفر تا دو (متر بر ثانیه)	دو تا چهار (متر بر ثانیه)	چهار تا شش (متر بر ثانیه)	فشار (بار)	
				فشار (بار)	فشار (بار)
سارو	۵۸	۵۶	۴۴	۵۷	۴۲
نوآوران	۵۵	۴۴	۵۰	۴۷	۴۱
آمبو	۶۲	۵۱	۵۷	۵۷	۴۱
ویر	۶۷	۷۶	۶۸	۶۵	۷۰

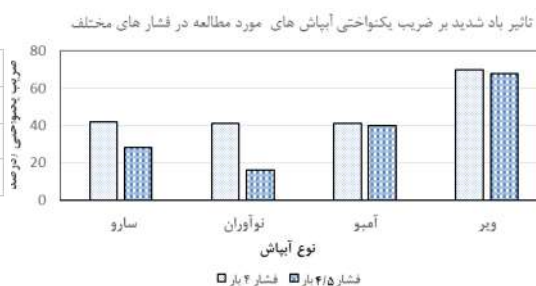
جدول ۷- اثر متقابل فشار و سرعت باد بر ضریب یکنواختی توزیع (DU) آبیاش‌های مورد مطالعه

سرعت باد	صفر تا دو (متر بر ثانیه)	دو تا چهار (متر بر ثانیه)	چهار تا شش (متر بر ثانیه)	
نوع آبپاش	فشار (بار)	فشار (بار)	فشار (بار)	
سارو	۴۶	۴۴	۲۵	۴۳
نواآوران	۱۹	۱۸	۲۰	۲۸
آمبو	۳۷	۳۰	۴۰	۴۳
ویر	۴۷	۵۲	۵۰	۴۱



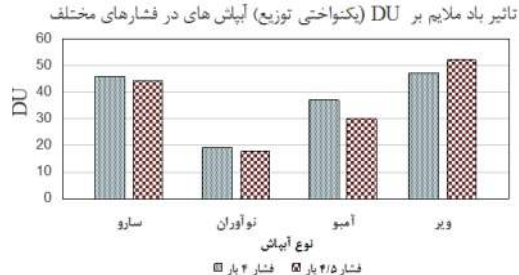
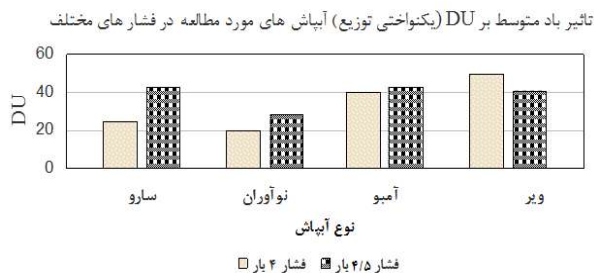
شکل ۸- اثر باد با سرعت متوسط بر ضریب یکنواختی آبیاش‌های متفاوت

شکل ۷- اثر باد آرام بر ضریب یکنواختی آبیاش‌های متفاوت



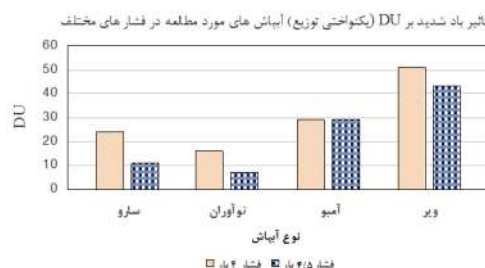
شکل ۱۰- مقایسه ضریب یکنواختی آبیاش‌های مختلف در شرایط تغییرات سرعت باد

شکل ۹- اثر باد شدید بر ضریب یکنواختی آبیاش‌های متفاوت



شکل ۱۲- تاثیر باد متوسط بر یکنواختی توزیع آبیاش‌های متفاوت

شکل ۱۱- تاثیر باد ملایم بر یکنواختی توزیع آبیاش‌های متفاوت



شکل ۱۳- تاثیر باد شدید بر یکنواختی توزیع آبپاش‌های متفاوت

نتیجه‌گیری

اتمسفر، در محدوده باد متوسط، آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴ اتمسفر و در محدوده باد شدید، آبپاش ویر با فشار ۴ اتمسفر در مقایسه با آبپاش‌های آمبو، نوآوران و سارو انتخاب می‌گردد. با توجه به بادخیز بودن منطقه اراک استفاده از دو آبپاش سارو و نوآوران در شرایط باد شدید توصیه نمی‌شود. زیرا ضریب یکنواختی پایینی در شرایط مورد بررسی داشتند و پیشنهاد می‌شود طراحان سیستم‌های آبیاری تحت فشار در منطقه اراک استفاده از آبپاش نوآوران را در اولویت‌های بعدی قرار دهند. همچنین آبپاش سارو در سرعت باد کمتر از ۴ متر بر ثانیه باشد توصیه می‌شود که این امر نیز در برنامه‌ریزی آبیاری محدودیت‌هایی ایجاد خواهد نمود. به‌طور کلی به‌ترتیب آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴ اتمسفر و آبپاش آمبو با فشار کارکرد ۴ اتمسفر در منطقه

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص می‌شود که فشار کارکرد و سرعت باد تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر میزان ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع آبپاش‌های مورد مطالعه داشتند. از بررسی سرعت باد بر میزان ضریب یکنواختی، نشان داد که با افزایش سرعت باد، ضریب یکنواختی کاهش یافت به‌طوری‌که در سرعت‌های باد بیشتر از ۴ متر بر ثانیه، ضریب یکنواختی کمتر شد. براساس نتایج ضریب یکنواختی کریستیان‌سن در محدوده سرعت باد آرام، آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴/۵ اتمسفر، در محدوده باد متوسط، آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴ اتمسفر و در محدوده باد شدید، آبپاش ویر با فشار ۴ اتمسفر توصیه می‌شود. همچنین براساس نتایج ضریب یکنواختی توزیع، در محدوده باد آرام، آبپاش ویر با فشار کارکرد ۴/۵

اراک جهت استفاده در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک توصیه می‌گردد.

بزانه، م. ۱۳۹۳. ارزیابی هزینه‌های سیستم آبیاری بارانی در شرایط مختلف استقرار آبپاش‌ها، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز.

منابع

احمدزاده کلیر، ف. و م. امامی فر. ۱۴۰۲. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک (Komet 162) در اراضی توسعه کشت‌آبی دشت ارسباران. نشریه علمی‌پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳: ۱۴۸-۱۶۲.

شیخ‌اسماعیلی، ا. ۱۳۸۶. بررسی یکنواختی توزیع آب جهت طراحی بهینه سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک. علوم خاک و آب، (۱) ۲۱: ۱۳۹-۱۲۹.

علیزاده، ا. ۱۳۸۱. اصول طراحی سیستم‌های آبیاری. دانشگاه امام رضا (ع). ۵۵۲ ص.

ابراهیمی، ح. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد روش‌های آبیاری تحت‌فشار در استان خراسان. نشریه علوم کشاورزی، (۳) ۱۲: ۵۷۷ ص.

محمدی، م.، ج. عزیزی، و م. رئوف. ۱۳۹۹. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در دشت اردبیل. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، (۳) ۳۷۳-۳۳۵.

باوی، ع.، ح.ع. کشکولی، و س. برومند نسب. ۱۳۸۷. تاثیر عوامل جوی و هیدرولیکی بر ضریب یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی در منطقه امیدیه. نشریه پژوهش آب ایران، (۲) ۵۹-۵۳.

میربلوچ، م.ح.، م. دلبری، و ح. پیری. ۱۳۹۹. ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک با آبپاش متحرک در شهرستان

requirement for the degree of the Master of Science.

خاش. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۰(۱)

:۳۱-۴۴.

Heermann, D.F. and R.A. Kohl. 1980. Fluid dynamics of sprinkler systems. In: M. E. Jensen (Ed) Design and Operation of Farm Irrigation Systems, ASAE, St. Joseph, MI. 583-618.

Bloomer, D. 2007. Irrigation code of practice and irrigation design standards. Irrigation New Zealand Inc.

Keller, J. and D. Ron.1990. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nastrand Reinhold, Section 2.

Bloomer, D. 2008. Code of practice for irrigation evaluation. Irrigation New Zealand.

Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: Keller's Sprinkle Irrigation Design Translation, 39 - 90.

Carrion, P., J.M. Tarjuelo, and J. Montero. 2001. SIRIAS: A simulation model for sprinkler irrigation: I. Description of model. Irrigation Science. 20(2): 73-84.

Keller, J. and R.D. Bliesner. 1990. Sprinkler and trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold, New York, NY, USA. 652 pp.

Christiansen, J.E. 1942. Irrigation by Sprinkling. California Agricultural Experiment Station Bulletin 670, University of California, Berkeley.

Li, X., Y. Zhang, J. Wang, and Q. Liu. 2023. Evaluation of sprinkler irrigation uniformity under varying pressure and wind conditions. Agricultural Water Management, 285, 108255.

Carrión, P., J.M. Tarjuelo, and J. Montero. 2021. Recent advances in sprinkler irrigation design and evaluation. Irrigation Science, 39: 97–112.

Merriam, J.I. and J. Keller. 1978. Farm irrigation system evaluation. #rd. logan. Utah: Agricultural and Irrigation Engineering Department, Utah state University.

Dabbaus, B. 1962. A study of sprinkler uniformity evaluation methods. Thesis submitted to Utah State university of Logan. In partial fulfillment of the

sprinkler to optimize application of water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, 118 (6): 895-913.

Wilson, T. P. and D.F. Zoldoske, 1997. Evaluating Sprinkler Irrigation Uniformity. <http://www.Waterright.org/site/publications/970703>.

Zapata, N., E. Playan, A. Martinez-Cob, Sanchez, J.M. Faci, and S. Lecina. 2007. From on farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. *Agricultural Water Management*, 87: 187-199.

Zhu, X.Y., S.Q. Yuan, J.Y. Jiang, J.P. Liu, and X.F. Liu. 2015. Comparison of fluidic and impact sprinklers based on hydraulic performance. *Irrigation Science*, 33: 367-374.

Zhu, Z.R., Y.S. Fan, F.Y. Duan, and Z. Chen. 2019. Effects of sprinkler irrigation and fertilization on water dynamic and yield of spring wheat. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 37: 174-178.

Montero, J., J.M. Tarjuelo, and P. Carrion. 2003. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer. *Irrigation Science*, 22: 47-56.

Seginer, I. and M. Kostrinsky. 1975. Wind sprinkler patterns and system design. *Journal of Irrigation and Drainage Division*. ASCE. 101(TR4): pp. 251-264.

Tang, P., C.h. Chen, and H. Li. 2020. Improving water distribution uniformity by optimizing the structural design of vertical impact sprinklers. *Sustainability*, 12(18): 7574

Tarjuelo, J.M., J. Montero, P. Carrion, F.T. Honrubia, J. Ortiz, and M.A. Calvo. 1999. a: Irrigation uniformity with medium size sprinklers. Part II. Influence of wind and other factors on water distribution. *Transactions of the ASAE*, 42(3): 677-689.

Tarjuelo, J.M., M. Valiente, and J. Lozoya. 1992. Working conditions of

Effect of pressure and wind on the uniformity of mobile sprinklers in sprinkler irrigation system

Fatemeh Keykhaei^{1*}

1-Scientific member, Department of Irrigation and Soil Physic, Soil and Irrigation Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

Received: 2025.7. 18

Accepted: 2025.9.11

Abstract

The use of sprinkler irrigation systems is one of the most effective strategies for improving water productivity and reducing losses in agricultural water management. The performance of these systems strongly depends on sprinkler type, operating pressure, and climatic factors such as wind speed. This study aimed to evaluate the water distribution uniformity and application efficiency of four common sprinkler models-Saroo, Noavaran, Ambo, and VYR—under different operating pressures (4 and 4.5 atm) and three wind speed ranges (0–2, 2–4, and 4–6 m s⁻¹) in the Agricultural Research Station of Arak, Markazi Province during 2016. Experiments were carried out using a classic solid-set sprinkler system with a square array of catch cans. The Christiansen Uniformity Coefficient (CU) and Distribution Uniformity (DU) were calculated for each treatment. Results indicated that increasing the operating pressure up to 4.5 atm improved water distribution uniformity under calm wind conditions, whereas higher wind speeds caused a significant decrease due to droplet drift and evaporation losses. The average CU at 4 atm decreased by 35%, 45%, 34%, and 4% for the Saroo, Noavaran, Ambo, and VYR sprinklers, respectively, as wind speed increased from calm to severe. Overall, the VYR sprinkler at 4 atm exhibited the highest CU and the most stable performance under all wind conditions. The findings highlight that selecting the proper sprinkler type according to climatic conditions and scheduling irrigation during low wind periods can substantially enhance water application efficiency and reduce evaporation and wind drift losses in sprinkler irrigation systems.

Keywords: Operating pressure, Sprinkler irrigation, Uniformity coefficient, Wind speed

* Corresponding author (f.keykhaei@areeo.ac.ir)