Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigating the effect of some factors of sprinkler building, irrigation system, and its management on uniformity coefficient in sprinkler irrigation

Neda Karimi[1], Darya Dehghan[2], Shaho Moloudi[3], Adel Siosemardeh[4], Eisa Maroufpoor[*5]

1. M.Sc. Graduate, Dept. of Water Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: neda.karimi1365@gmail.com
2. M.Sc. Graduate, Dept. of Irrigation and Reclamation Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: darya.dehghan@ut.ac.ir
3. Expert of Regional Water Company of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: shaho.mhe@gmail.com
4. Associate Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: a33@uok.ac.ir
5. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran. E-mail: e.maroufpoor@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 05.17.2022
Revised: 09.08.2022
Accepted: 09.02.2022

Keywords:
Diameter of collecting containers,
Impact sprinkler,
Irrigation time,
Sprinkler rotation speed,
Turbine sprinkler

ABSTRACT

Background and Objectives: The uniformity of water distribution in the field affects all irrigation indicators from the aspect of water and soil conservation. When the uniformity coefficient is low, application efficiency decreases; consequently, the product yield decreases and increases surface water and deep percolation losses. Factors affecting water distribution uniformity in sprinkler irrigation are classified into four groups: sprinkler building, irrigation system, system management, and climatological factors. In this study, the effect of rotation speed and rotation factor of sprinkler (sprinkler building), sprinkler riser height, working pressure, arrangement and distances of sprinklers (irrigation system), and irrigation time (system management) in field conditions on uniformity coefficient were investigated. Also, the diameter of water collection containers was evaluated on the tests results.

Materials and Methods: This research was conducted on the research farm of Kurdistan University located in Dushan village of Sanandaj city. In the present study, were used from R8 Komet and Luxor Sprinklers. The Sprinkler irrigation model was performed by the single sprinkler method, and the experiments were done according to ISO15886-3: 2021 standard. An area of 3600 m^2 was networked to the center of the sprinkler, a square grid of 3*3 meters. In each network vertices, two models of containers with two inner diameters of 80 and 180 mm and a height of 90 and 200 mm, respectively, were placed to collect water. The pressures tested for both sprinklers were 30 and 40 m. The experiments used two test times (1 and 3 h), two average rotation speeds (1.5 and 3.5 rpm), and two sprinkler riser heights of 1 and 2 m. The sprinklers arrangement and distances included 18×18, 24×24, and 27×27 in the square and triangular arrangements, and 21×15, 27×21, and 24×30 in the rectangular arrangement. At the end of each experiment, the water volume of the collection containers was measured by a graduated cylinder. All experiments were performed in 3 replications. Also, the wind speed was measured every 15 minutes by EXTECH 45158 tricycle device. Christiansen uniformity coefficient (CU) was used to calculate the

uniformity of sprinkler water distribution. The research was conducted in a completely randomized block design with the factorial experiment. SPSS 22 software was used to analyze the data.

Results: The effect of container diameter on CU was not significant. The uniformity coefficient of the two sprinklers has a significant difference. The effect of the arrangement and riser height of the sprinklers in the two low and mild wind speeds on the CU is insignificant. The effect of two low and mild wind speeds on CU was insignificant. The effect of working pressure and sprinkler distances in the two low and mild wind speeds on CU are significant. The effect of irrigation time on the uniformity coefficient is significant. The effect of sprinkler rotation speed was significant on CU.

Conclusion: The minimum diameter mentioned for water collection containers, according to the ISO15886-3 standard, is sufficient for the conditions of the experiments of the present study. The Sprinkler rotation is effective on the uniformity coefficient. CU of Komet sprinkler is acceptable for all crops of agronomy and garden, but the Luxor sprinkler is only suitable for garden crops. Only part of the decrease in uniformity due to increasing the distance of sprinklers can be compensated by increasing the pressure. Increasing the irrigation time is effective in improving the uniformity coefficient. Increasing the rotation speed of the sprinkler due to repairs can effectively reduce the uniformity coefficient.

Cite this article: Karimi, Neda, Dehghan, Darya, Moloudi, Shaho, Siosemardeh, Adel, Maroufpoor, Eisa. 2022. Investigating the effect of some factors of sprinkler building, irrigation system, and its management on uniformity coefficient in sprinkler irrigation. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (3), 67-84.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2022.20232.3556
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی اثر برخی عوامل ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری و مدیریت آن بر ضریب یکنواختی در آبیاری بارانی

ندا کریمی[۱]، دریا دهقان[۲]، شاهو مولودی[۳]، عادل سی‌وسه مرده[٤]، عیسی معروف‌پور[*۵]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: neda.karimi1365@gmail.com
۲. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: darya.dehghan@ut.ac.ir
۳. کارشناس آب منطقه‌ای استان کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: shaho.mhe@gmail.com
٤. دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: a33@uok.ac.ir
۵. نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. رایانامه: e.maroufpoor@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۰۲/۲۷
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰٦/۱۷
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰٦/۱۱

واژه‌های کلیدی:
آبپاش توربینی،
آبپاش ضربه‌ای،
سرعت چرخش آبپاش،
قطر ظروف جمع‌آوری،
مدت‌زمان آبیاری

چکیده

سابقه و هدف: میزان یکنواختی توزیع آب در مزرعه تمامی شاخص‌های آبیاری را از جنبه حفاظت آب‌وخاک تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. درصورتی‌که ضریب یکنواختی کم باشد راندمان کاربرد آب کاهش یافته و علاوه بر افزایش تلفات سطحی و عمقی آب، عملکرد محصول هم کاهش می‌یابد. عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی به چهار گروه ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری، مدیریت سامانه و عوامل کلیماتولوژی طبقه‌بندی می‌شوند. در این پژوهش اثر عوامل سرعت چرخش و عامل چرخش آبپاش (ساختمان آبپاش)، ارتفاع پایه آبپاش، فشار کارکرد، آرایش و فواصل آبپاش‌ها (سامانه آبیاری)، مدت‌زمان آبیاری (مدیریت سامانه) در شرایط مزرعه‌ای بر ضریب یکنواختی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین قطر ظروف جمع‌آوری آب نیز بر نتایج آزمایش‌ها بررسی شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در روستای دوشان شهرستان سنندج انجام شد. در پژوهش حاضر از آبپاش ضربه‌ای کامت مدل R8 و آبپاش توربینی لاکسور استفاده شد. مدل آبیاری بارانی جهت انجام آزمایش‌ها به روش آبپاش منفرد و بر اساس استاندارد ISO15886-3:2021 انجام شد. محدوده‌ای به مساحت ۳٦۰۰ مترمربع به مرکزیت آبپاش شبکه‌بندی مربعی ۳×۳ متر شد. در هرکدام از رئوس شبکه دو مدل ظرف با دو قطر داخلی ۸۰ و ۱۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌متر به ترتیب، برای جمع‌آوری آب قرار داده شد. فشارهای مورد آزمایش برای هر دو آبپاش ۳۰ و ٤۰ متر بود. دو مدت‌زمان انجام آزمایش یک و سه ساعت، دو سرعت چرخش معمولی (۱/۵ دور بر دقیقه) و تند (۳/۵ دور بر

دقیقه) و دو ارتفاع پایه آبپاش ۱ و ۲ متری در انجام آزمایش‌ها استفاده شد. در پایان هر آزمایش، حجم آب ظروف جمع‌آوری به‌وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری می‌شد. تمامی آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد. هم‌چنین سرعت باد در طول مدت آزمایش، هر ۱۵ دقیقه یک‌بار توسط دستگاه سه‌کاره EXTECH 45158 اندازه‌گیری گردید. از ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) برای محاسبه یکنواختی توزیع آب آبپاش‌ها، استفاده گردید. پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به‌صورت آزمایش فاکتوریل انجام گرفت. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار Spss 22 استفاده شد.

یافته‌ها: ۱- اثر قطر ظروف بر CU معنی‌دار نبود. ۲- ضریب یکنواختی دو آبپاش، اختلاف معنی‌دار دارند. ۳- اثر آرایش آبپاش‌ها و ارتفاع پایه آبپاش در دو سرعت باد کم و ملایم بر CU معنی‌دار نیست. ٤- اثر دو سرعت باد کم و ملایم بر CU معنی‌دار نبود. ٥- اثر فشار کارکرد و فواصل آبپاش‌ها در دو سرعت باد کم و ملایم بر CU، معنی‌دار است. ٦- اثر مدت‌زمان آبیاری بر ضریب یکنواختی معنی‌دار است. ۷- اثر سرعت چرخش آبپاش بر CU معنی‌دار بود.

نتیجه‌گیری: حداقل قطر ذکرشده برای ظروف جمع‌آوری آب، مطابق استاندارد ISO15886-3، برای شرایط آزمایش‌های مطالعه حاضر کفایت می‌کند. عامل چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی مؤثر است. ضریب یکنواختی آبپاش کامت برای تمامی محصولات زراعی و باغی قابل‌قبول، اما آبپاش لاکسور مناسب محصولات باغی است. با افزایش فشار فقط می‌توان بخشی از کاهش ضریب یکنواختی ناشی از افزایش فاصله آبپاش‌ها را جبران نمود. افزایش مدت‌زمان آبیاری در بهبود ضریب یکنواختی مؤثر است. افزایش سرعت چرخش آبپاش در اثر تعمیرات، می‌تواند بر کاهش ضریب یکنواختی مؤثر باشد.

استناد: کریمی، ندا، دهقان، دریا، مولودی، شاهو، سی‌وسه مرده، عادل، معروف‌پور، عیسی (۱۴۰۱). بررسی اثر برخی عوامل ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری و مدیریت آن بر ضریب یکنواختی در آبیاری بارانی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۳)، ۸۴-۶۷.
DOI: 10.22069/jwsc.2022.20232.3556

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

روش‌های آبیاری کارآمد می‌تواند مصرف آب در کشاورزی را ۳۰ الی ۷۰ درصد کاهش داده و عملکرد محصول را ۲۰ الی ۹۰ درصد افزایش دهد (۱). تاکنون در ایران بیش از ۲ میلیون هکتار تحت پوشش سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار قرار دارد که سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بیش‌ترین فراوانی را دارد. مطالعات فراوانی در ایران، راندمان سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت را پایین گزارش کرده‌اند (۲ و ۳). یکی از مهم‌ترین پارامترهای ارزیابی عملکرد این سامانه‌ها، ضریب یکنواختی (CU) است که اساسی‌ترین پارامتر در طراحی و مدیریت آن شناخته می‌شود (٤، ٥ و ٦). یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی علاوه بر عملکرد محصول، تمامی شاخص‌های دیگر آبیاری را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (۷). روش‌های مختلفی جهت افزایش ضریب یکنواختی این سامانه‌ها از لحاظ فنی، اقتصادی و اجرایی (قطر مناسب نازل، فشار کارکرد مناسب، آبیاری شبانه، بهره‌برداری مطلوب، اجرای صحیح سامانه و غیره) ارائه شده است (۳، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱). در آبیاری بارانی، عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب به چهار گروه ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری، مدیریت سامانه و عوامل کلیماتولوژی طبقه‌بندی می‌شوند (۱۲). از عوامل مهم ساختمان آبپاش می‌توان به عامل چرخش آبپاش و سرعت چرخش آن اشاره نمود. آبپاش‌ها بر مبنای عامل چرخش، به سه گروه، ضربه‌ای، توربینی (چرخ‌دنده‌ای) و عکس‌العملی تقسیم می‌شوند (۱۳). از عوامل مهم سامانه آبیاری، ارتفاع پایه آبپاش، فشار کارکرد و فواصل آبپاش‌ها است (١٤). از دیگر پارامترهای مؤثر بر میزان یکنواختی توزیع آب، مدت زمان آبیاری (مدیریت آبیاری) و سرعت باد (کلیماتولوژی) است. بر اساس اصول هیدرولیکی، اثرات مستقل این پارامترها بر ضریب یکنواختی قابل پیش‌بینی است اما در شرایط مزرعه اثرات متقابل آن‌ها بر یکدیگر پیچیده و پیش‌بینی اثر نهایی بر ضریب یکنواختی بدون انجام آزمایش‌های میدانی غیرممکن می‌باشد (۱۳). به‌عنوان‌مثال، با کاهش فاصله بین آبپاش‌ها، یکنواختی توزیع آب به دلیل هم‌پوشانی بهتر آبپاش‌ها، افزایش می‌یابد (۱۵)، اما در شرایط باد شدید، کاهش این فاصله نمی‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود یکنواختی توزیع آب داشته باشد (١٦). هم‌چنین به‌عنوان مثال دیگر می‌توان به افزایش ارتفاع پایه آبپاش اشاره نمود. افزایش ارتفاع پایه آبپاش، سبب اوج گرفتن بیش‌تر جت آب می‌شود که به دلیل افزایش در سرعت باد، میزان یکنواختی کاهش می‌یابد (۱۷)، اما افزایش ارتفاع پایه آبپاش سبب افزایش شعاع پرتاب می‌گردد که موجب بهبود میزان یکنواختی می‌شود (۱۸).

اثرات برخی از پارامترهای عوامل چهار گونه مذکور بر ضریب یکنواختی در شرایط مختلف موردبررسی قرار گرفته‌اند (۱۹، ۲۰ و ۲۱) اما برخی عوامل کم‌تر موردتوجه قرار گرفته و یا گزارش نشده‌اند که در ادامه ذکر می‌شوند. ۱- عامل چرخش آبپاش، از عوامل مهم مرتبط با ساختمان آبپاش است. بر اساس این عامل، دو نوع رایج آبپاش‌های کشاورزی، آبپاش‌های ضربه‌ای و توربینی می‌باشند (۱۳). حرکت آبپاش‌های ضربه‌ای متناوب و حرکت آبپاش‌های توربینی پیوسته می‌باشد. ۲- سرعت چرخش آبپاش از مشخصات مکانیکی آن است که مقدار آن در آبپاش‌ها متفاوت است. برای یک آبپاش معین هرچه سرعت چرخش آبپاش زیادتر شود قطر پراکنش آب کم می‌گردد. سرعت چرخش آبپاش باید یکنواخت و نسبتاً آرام باشد. این چرخش برای انواع مختلف آبپاش‌ها بین یک چرخش در هر ۳ دقیقه تا ۲ چرخش در دقیقه متفاوت است. در دوره بهره‌برداری سرعت چرخش آبپاش به‌دلیل فرسودگی و خرابی قطعات آبپاش (فنر آبپاش و یا چرخ‌دنده‌ها) افزایش و یا کاهش می‌یابد. ۳- یکی از عوامل مهم مدیریت

سامانه، مدت‌زمان آبیاری است. مدت‌زمان آبیاری براساس کمبود رطوبت خاک و شدت پاشش آبپاش محاسبه می‌شود. در شدت‌های بالای پاشش، مدت‌زمان آبیاری کم و در شدت‌های کم، مدت‌زمان آبیاری بالا است. هم‌چنین در استاندارد ISO 15886-3 حداقل مدت‌زمان انجام آزمایش برای اندازه‌گیری ضریب یکنواختی، یک ساعت ذکر شده است (۲۲). مدت‌زمان انجام آزمایش باید جوابگوی تغییرات کلیماتولوژی منطقه آزمایش در مقیاس میکرو باشد. ٤- هم‌چنین در استاندارد مذکور قطر ظروف جمع‌آوری باید حداقل برابر با نصف ارتفاع و حداکثر برابر با ارتفاع ظرف و نباید کم‌تر از ۸۵ میلی‌متر باشد. قطر ظرف بیانگر سطح دریافت‌کننده قطرات آب است و با توجه به پراکندگی قطرات، باید به‌اندازه کافی بزرگ باشد تا بیانگر توزیع واقعی قطرات آب در روی خاک گردد.

در پژوهش حاضر، اثر عوامل فوق‌الذکر بر روی ضریب یکنواختی در شرایط مزرعه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. هم‌چنین سایر پارامترهای دیگر هم‌چون فشار کارکرد آبپاش، ارتفاع پایه آبپاش، فواصل و آرایش آبپاش‌ها در سرعت‌های باد متفاوت موردمطالعه قرار می‌گیرد. بنابراین هدف پژوهش حاضر، بررسی اثر برخی پارامترهای مرتبط با ساختمان آبپاش، مدیریتی، سامانه آبیاری، کلیماتولوژی و روش ارزیابی بر ضریب یکنواختی آبیاری بارانی است که کمتر موردتوجه قرار گرفته و یا گزارش نشده‌اند.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در روستای دوشان شهر سنندج با طول جغرافیایی "٤٦°٥٩'٤٥ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۵°۱۹'۰۰ شمالی با متوسط ارتفاع ۱٤۸۰ متر از سطح آزاد دریا انجام شد (شکل ۱). در پژوهش حاضر از آبپاش ضربه‌ای کامت مدل R8 (Austria، Lienz، Komet Company) و آبپاش توربینی لاکسور (Italy، Guastalla، Sime Company) استفاده شد. آبپاش R8 تک‌نازله (۱۲ mm) و آبپاش لاکسور دو نازله (۱۲+٤ mm) است. مدل آبیاری بارانی جهت انجام آزمایش‌ها به روش آبپاش منفرد اجرا گردید. مدل مذکور شامل یک دستگاه الکتروپمپ فشار قوی ۸۰/٤WKL، لوله اصلی، لوله کنارگذر، شیر پروانه‌ای و کنتور حجمی بود. سپس محدوده‌ای به مساحت ۳٦۰۰ مترمربع به مرکزیت آبپاش شبکه‌بندی مربعی ۳×۳ متر شد (شکل ۲). در هر کدام از رئوس شبکه دو مدل ظرف با دو قطر داخلی ۸۰ و ۱۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۹۰ و ۲۰۰ میلی‌متر به ترتیب، برای جمع‌آوری آب قرار داده شد.

فشارهای مورد آزمایش برای هر دو آبپاش ۳۰ و ٤۰ متر بود. این فشارها بر روی پایه آبپاش و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از آبپاش به‌وسیله فشارسنج اندازه‌گیری شد. دو مدت‌زمان انجام آزمایش یک و سه ساعت، دو سرعت چرخش معمولی (۱/۵ دور بر دقیقه) و تند (۳/۵ دور بر دقیقه) و دو ارتفاع پایه آبپاش ۱ و ۲ متری در انجام آزمایش‌ها استفاده شد. تیمارهای آرایش و فواصل آبپاش‌ها شامل، فواصل ۱۸×۱۸، ۲٤×۲٤ و ۲۷×۲۷ در آرایش مربعی و مثلثی و فواصل ۱۵×۲۱، ۲۱×۲۷ و ۲٤×۳۰ در آرایش مستطیلی بود. تیمارهای فشار کارکرد آبپاش، آرایش و فواصل آبپاش‌ها، قطر ظروف جمع‌آوری و سرعت باد برای هر دو آبپاش بررسی شد اما تیمارهای مدت‌زمان آزمایش، ارتفاع پایه آبپاش و سرعت چرخش آبپاش تنها برای آبپاش کامت در فشار ٤۰ متر با قطر ظروف جمع‌آوری ۸۰ میلی‌متر بررسی شد. در جدول ۱ مشخصات کلی آزمایش‌های انجام شده، ذکر گردیده است. در پایان هر آزمایش، حجم آب ظروف جمع‌آوری به‌وسیله استوانه مدرج اندازه‌گیری می‌شد. تمامی آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد. هم‌چنین

سرعت باد در طول مدت آزمایش، هر ۱۵ دقیقه یک‌بار توسط دستگاه سه‌کاره EXTECH 45158 (Extech, Nashua, NH, USA) اندازه‌گیری گردید. تمامی آزمایش‌ها در دو محدوده سرعت باد رایج منطقه، سرعت باد کم (۱/۸–۰ m/s) و ملایم (۴/۵ – ۱/۸ m/s) انجام شد.

شکل ۱- موقعیت جغرافیای استان کردستان و شهر سنندج (منطقه مورد مطالعه).

Figure 1. Geographical location of Kurdistan province and Sanandaj city (study area).

جدول ۱- مشخصات آزمایش‌های انجام‌شده در پژوهش حاضر.

Table 1. General characteristics of the experiments performed in the current research.

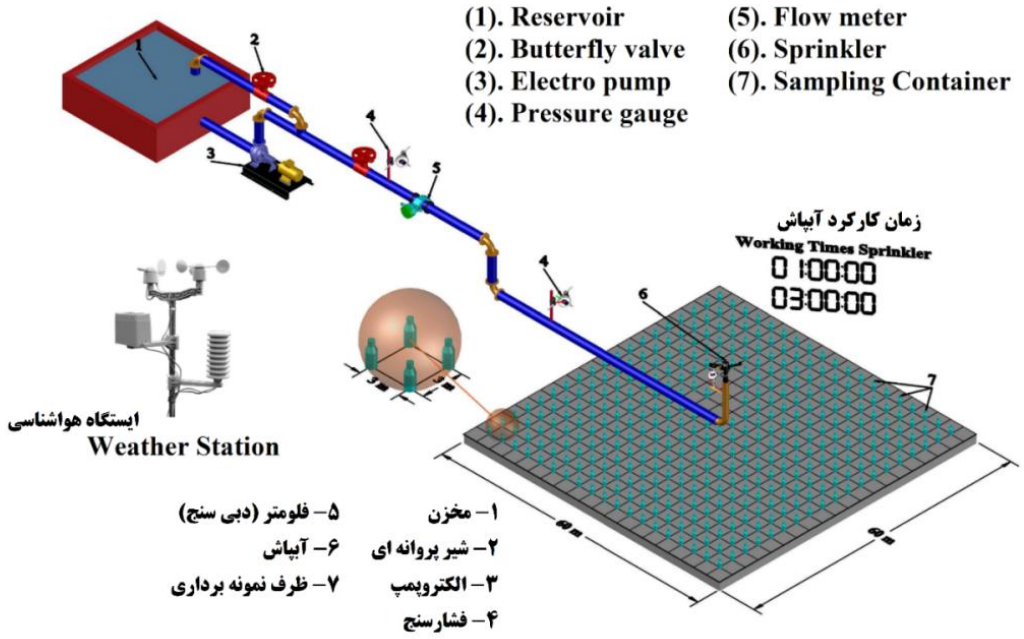
تعداد آزمایش‌ها Number of experiments	دور آبپاش Sprinkler Revolution (Rpm)	ارتفاع پایه آبپاش Riser Height (m)	مدت زمان آزمایش Experiment duration (h)	قطر ظروف Container diameter (mm)	سرعت باد Wind Velocity (m/s)	فشار کارکرد Working Pressure (m)	نوع آبپاش sprinkler type
3	1.5	1	1	80, 180	0.0-1.8	30	لاکسور Luxor
3	1.5	1	1	80,180	1.8-4.5		
3	1.5	1	1	80, 180	0.0-1.8	40	
3	1.5	1	1	80,180	1.8-4.5		
3	1.5	1	1	80, 180	0.0-1.8	30	کامت Komet
3	1.5	1	1	80,180	1.8-4.5		
3	1.5	1	1	80	0.0-1.8	40	
3			3				
3	1.5	1	1				
3		2					
3	1.5	1	1				
3	3.5						
3	1.5	1	1				
3			3				
3	1.5	1	1	80	1.8-4.5		
3		2					
3	1.5	1	1				
3	3.5						

برای محاسبه یکنواختی توزیع آب آبپاش‌ها، از ضریب یکنواختی کریستیانسن (رابطه ۱) استفاده گردید که از متداول‌ترین شاخص‌های یکنواختی آبپاش است (٤):

$$CU = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}}\right) \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن، CU ضریب یکنواختی کریستیانسن (درصد)، x_i عمق آب اندازه‌گیری‌شده در هر ظرف (میلی‌متر)، $\bar{x}$ متوسط عمق آب اندازه‌گیری‌شده در ظرف‌ها (میلی‌متر)، n تعداد کل ظرف‌های اندازه‌گیری می‌باشد.

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به‌صورت آزمایش فاکتوریل انجام گرفت. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار *Spss 22* (*IBM-Crop., Armonk, NY, USA*) استفاده شد.



شکل ۲- نمایی از مدل انجام آزمایشات به روش آبپاش منفرد.

Figure 2. View of the model for conducting experiments with the single sprinkler method.

نتایج و بحث

در جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مختلف و اثرات متقابل آن‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود به جز دو پارامتر سرعت باد و آرایش آبپاش‌ها، تأثیر سایر پارامترها، بر ضریب یکنواختی معنی‌دار است (P<۰/۰۱) که در ادامه، به تفکیک تشریح خواهند شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مختلف بر میزان ضریب یکنواختی و اثرات متقابل آن‌ها.

Table 2. The results of variance analysis of different parameters on the coefficient of uniformity and their interaction effects.

منبع تغییرات Source of Change	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean Square	F	Pr	سطح معنی‌داری (٪) Significance Level (%)
نوع آبپاش Sprinkler Type	1	$3.11\cdot10^2$	6.382	0.014	
سرعت باد* Wind velocity*	1	5.120	0.096	0.757	
فشار Pressure	1	$2.85\cdot10^2$	5.786	0.019	<1
فاصله Distance	2	$1.22\cdot10^2$	65.163	0.000	
آرایش* Arrangement*	2	4.959	0.092	0.912	
نوع آبپاش × سرعت باد Sprinkler Type × Wind Velocity	3	$1.44\cdot10^2$	2.979	0.037	
نوع آبپاش × فشار Sprinkler Type × Pressure	3	$2.10\cdot10^2$	4.597	0.005	
نوع آبپاش × فاصله Sprinkler Type × Distance	5	$5.57\cdot10^2$	38.824	0.000	
نوع آبپاش × آرایش* Sprinkler Type × Arrangement	5	7.65·10	1.509	0.199	<1
سرعت باد × فشار* Wind velocity × Pressure	3	$1.02\cdot10^2$	2.035	0.117	
فشار × فاصله Pressure × Distance	5	$5.62\cdot10^2$	40.233	0.000	

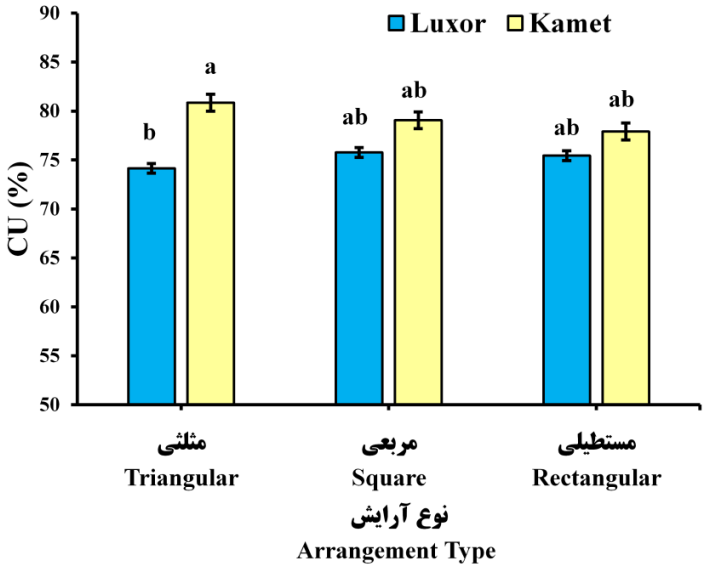
* عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد (P>۰/۰۱)

طبق بررسی، در هر دو آبپاش، اثر قطر ظروف بر ارتفاع آب جمع‌آوری‌شده، معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱). بنابراین اثر قطر ظروف بر CU آبپاش‌ها نیز معنی‌دار نبود (P>۰/۰۱) که با نتایج پلایان و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد (۲۳). بنابراین حداقل قطر ذکرشده برای ظروف (۸۵ mm) در استاندارد ISO15886-3، برای شرایط آزمایش‌های این مطالعه کفایت می‌کند (۲۲). مساحت دهانه ظرف باید کفایت الگوی پاشش آب روی زمین را بدهد. فاکتورهای متعددی مانند باد، فشار کارکرد آبپاش و قطر نازل بر الگوی پاشش آبپاش و نحوه پخش آب روی زمین تأثیر می‌گذارند. مساحت دهانه ظرف باید الگوی کوچک و قابل‌قبولی از الگوی کامل پخش آب روی زمین را آبگیری نماید. در صورتی که الگوی دریافتی پخش آب به وسیله مساحت دهانه ظرف کافی نباشد، مقادیر یکنواختی ظروف جمع‌آوری با قطرهای مختلف، متفاوت خواهد بود. بنابراین کفایت قطر ظروف به شرایط حاکم بر انجام آزمایش‌ها بستگی دارد.

با بررسی اثر نوع آبپاش و آرایش بر ضریب یکنواختی معلوم شد که ضریب یکنواختی دو آبپاش، اختلاف معنی‌دار (P<۰/۰۱) دارند (جدول ۲). به‌عبارتی، عامل چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی مؤثر است. CU آبپاش کامت در هر سه آرایش، بیش‌تر از آبپاش لاکسور است که اختلاف آن‌ها در آرایش مثلثی

معنی‌دار (P<۰/۰۱) است. آبپاش کامت از نوع ضربه‌ای و آبپاش لاکسور از نوع چرخ‌دنده‌ای است. آبپاش کامت تک نازله (۱۲ mm) و آبپاش لاکسور دو نازله (۱۲+٤ mm) است. سایر شرایط هندسی دو آبپاش (به‌عنوان مثال: ارتفاع پایه آبپاش و زاویه پاشش) و شرایط آزمایش آن‌ها (شرایط هیدروکلیماتولوژی و هیدرولیکی) مشابه می‌باشد. بنابراین مدل آبپاش عامل مؤثری در میزان CU است که برتری مدل ضربه‌ای بر چرخ‌دنده‌ای را نشان می‌دهد که با نتایج ایساکا و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد (۲٤). آن‌ها با مقایسه عملکرد آبپاش‌های ضربه‌ای و چرخ‌دنده‌ای با استفاده از شبیه‌سازی توزیع آب به‌کمک برنامه Matlab نشان دادند که آبپاش‌های ضربه‌ای از منظر پایداری چرخش و توزیع آب، عملکرد بسیار بهتری نسبت به آبپاش‌های چرخ‌دنده‌ای دارند. آبپاش‌های ضربه‌ای دارای حرکت متناوب و آبپاش‌های چرخ‌دنده‌ای دارای حرکت پیوسته می‌باشند.

در هر دو آبپاش، اثر آرایش آبپاش‌ها بر CU معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱) (جدول ۲). آرایش آبپاش عامل مؤثری بر CU است (۱۳). اثر آرایش بر CU به عوامل هیدرولیکی و کلیماتولوژی بستگی دارد. در شرایط هیدرولیکی و کلیماتولوژی یکسان، عامل مؤثر بر CU در آرایش‌های متفاوت، بیش‌ترین فاصله بین آبپاش‌ها است که در آرایش‌های مربعی و مستطیلی مربوط به قطر می‌باشد که در طرح حاضری، تقریباً با هم برابر می‌باشد اما در آرایش مثلثی متساوی‌الساقین مربوط به فاصله بین آبپاش‌های روی بال است. معمولاً این فاصله در آرایش مثلثی کم‌تر از آرایش‌های مربعی و مستطیلی خواهد بود. در هر دو آبپاش، CU آرایش‌های مربعی و مستطیلی تقریباً با هم برابر است (شکل ۳). در آبپاش کامت CU آرایش مثلثی بیش‌تر از دو آرایش دیگر، و در آبپاش لاکسور کم‌تر از دو آرایش دیگر است اما اختلافات آن‌ها معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱). معاضد و همکاران (۲۰۱۰) در مطالعات خود بر روی آبپاش ضربه‌ای دو نازله نوع ژاله مدل ۳، گزارش کردند که بیش‌ترین CU به‌ترتیب مربوط به آرایش مربعی، مثلثی و مستطیلی بوده است (۲۵).



شکل ۳- اثر نوع آرایش آبپاش بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور

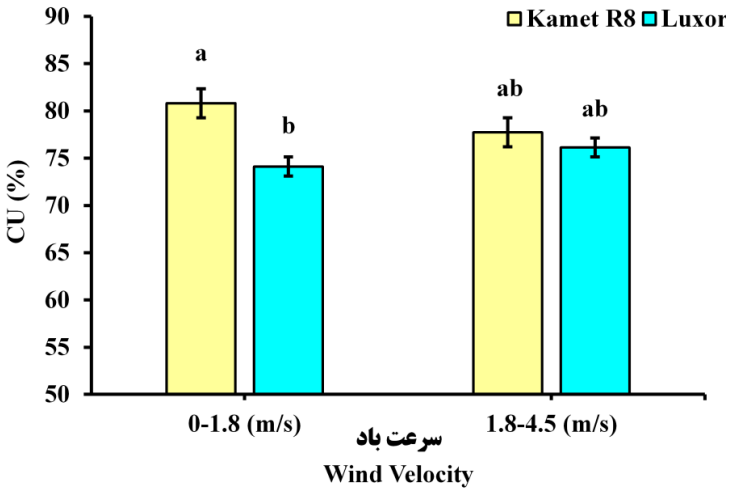
(ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 3. The effect of sprinkler arrangement on the coefficient of uniformity of two sprinklers Komet R8 and Luxor (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

با بررسی اثر نوع آبپاش و سرعت باد بر ضریب یکنواختی می‌توان بیان نمود که اثر دو سرعت باد کم (۱/۸ m/s – ۰) و ملایم (٤/٥ m/s – ۱/۸) بر CU معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). در سرعت باد کم، CU آبپاش‌ها اختلاف معنی‌دار دارند (P<۰/۰۱) به‌طوری‌که CU آبپاش لاکسور ۷٤/۱ درصد و آبپاش کامت ۸۰/۸ درصد است اما در سرعت باد ملایم تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (P>۰/۰۱). با افزایش سرعت باد ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد (۱۳ و ۲٦). در آبپاش کامت با افزایش سرعت باد، CU کمی کاهش یافته است اما در آبپاش لاکسور کمی بهبود پیدا کرده است که در هر دو آبپاش این تغییرات معنی‌دار نبوده است (P>۰/۰۱).

کلر و بلایسنر (۲۰۰۰) شاخص درشتی قطرات ($CI = 0.032P^{\frac{1}{3}}/D$ ، $P\,(kPa)$ ، $D\,(mm)$) را برای تعیین درشتی و ریزی قطرات آب پیشنهاد نمودند (۱۳). بر اساس شاخص CI، اندازه قطرات هر دو آبپاش کامت و لاکسور در نازل ۱۲ میلی‌متر، درشت (CI<۷) و در آبپاش لاکسور در نازل ٤ میلی‌متر و فشار ٤۰۰ کیلو پاسکال، ریز می‌باشد (CI>۱۷). تأثیر سرعت باد بر CU علاوه بر میزان سرعت باد، به‌اندازه قطرات هم‌بستگی دارد. باد ملایم با جابه‌جایی قطرات ریز در آبپاش لاکسور سبب بهبود CU شده اگرچه تغییرات آن معنی‌دار نبوده است.

اثر سرعت باد کم و ملایم بر CU، به تفاوت متوسط مقادیر آن‌ها هم‌بستگی دارد. در این مطالعه متوسط سرعت باد کم، ۰/۹٥ m/s و متوسط سرعت باد ملایم ۲/۷٤ m/s بود. بنابراین با توجه به اختلاف کم بین آن‌ها، اثر دو سرعت باد کم و ملایم بر CU معنی‌دار نشده است. دِچمی و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی تأثیر سرعت باد بر عملکرد محصول ذرت، این نتیجه را ارائه دادند که سرعت باد بیش‌تر از ۲/۱ m/s به‌طور قابل‌توجهی بازدهی محصول را تحت‌تأثیر قرار داده و به دلیل کاهش یکنواختی موجب کاهش عملکرد محصول خواهد شد (۲۷)؛ درصورتی‌که دومو و همکاران (۲۰۱۳) با مطالعه عملکرد میدانی آبپاش فلویدک در هر دو حالت آبپاش منفرد و به‌صورت مجموعه (مزرعه) عنوان کردند که در سرعت بادهای کم‌تر و مساوی ۳/٥ m/s، سرعت باد تأثیر معنی‌داری بر CU نخواهد گذاشت (۱٦) (شکل ٤).



شکل ٤- اثر سرعت باد بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور

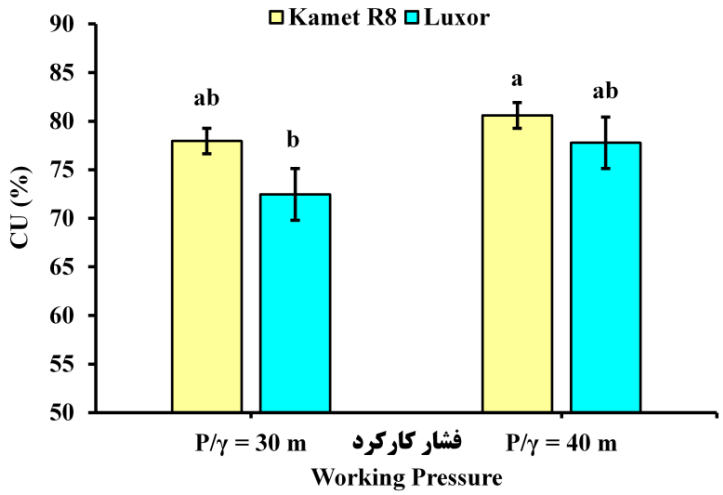
(ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 4. Effect of wind velocity on the coefficient of uniformity of two sprinklers Komet R8 and Luxor (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

اثر فشار کارکرد بر روی CU، معنی‌دار است (جدول ۲)، اما در بررسی هر کدام از آبپاش‌ها به‌صورت مستقل، ملاحظه می‌شود که اثر فشار کارکرد سبب افزایش CU شده است (شکل ۵) اما معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱). میزان بهبود CU آبپاش کامت ۲/٦ درصد و آبپاش لاکسور ۵/۳ درصد است. با تغییر فشار از ۳۰ متر به ٤۰ متر، میزان CI نازل ۱۲ mm از ٤/٤ به ٦/٤ افزایش می‌یابد که بیانگر بهبود اندازه قطرات آب می‌باشد (۷<CI<۱۷) (۱۳). هم‌چنین CU آبپاش کامت در هر دو فشار بیش‌تر از آبپاش لاکسور است اما اختلاف آن‌ها معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱).

کلر و بلایسنر (۲۰۰۰) میزان CU را ۸۵ درصد برای گیاهان ظریف و با ریشه کم‌عمق، ۷۵ تا ۸۳ درصد برای گیاهان معمولی و ۷۰ درصد برای درختان پیشنهاد داده‌اند (۱۳). بنابراین CU آبپاش کامت در هر دو فشار موردمطالعه می‌تواند قابل‌قبول باشد اما آبپاش لاکسور در فشار ۳۰ متر (۷۲/۵ درصد) فقط مناسب درختان میوه خواهد بود. دِچمی و همکاران (۲۰۰۳) و تارجئولو (۱۹۹۹) گزارش کردند که فشار کارکرد بالاتر از ٤۰ متر، سبب ایجاد قطرات پودری‌شکل و اثرات منفی باد بر آن‌ها شده و ضریب یکنواختی را کاهش می‌دهد (۱۵ و ۲۷).

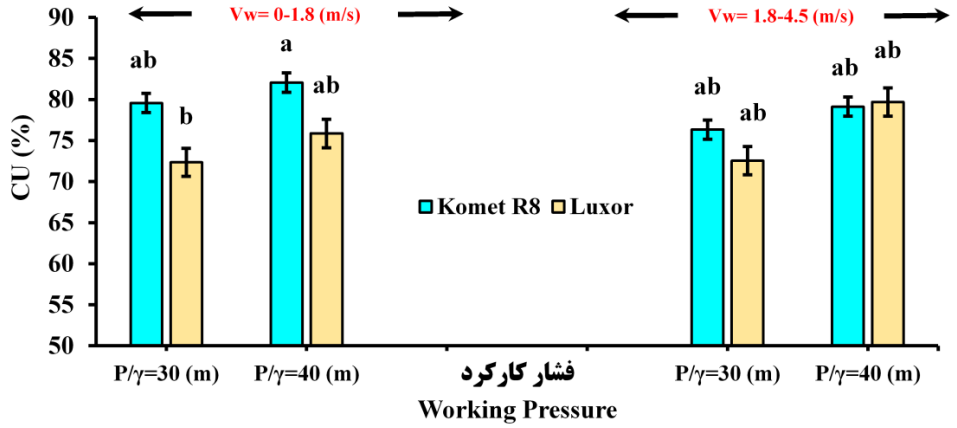
هم‌چنین اثر متقابل فاکتورهای سرعت باد و فشار کارکرد در هردو آبپاش مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (شکل ٦). در هر دو محدوده سرعت باد و در هر دو آبپاش، افزایش فشار موجب افزایش مقدار CU می‌گردد اما این افزایش معنی‌دار نیست (P>۰/۰۱). بیش‌ترین CU مربوط به آبپاش کامت در فشار ٤۰ متر و سرعت باد کم است (۸۲ درصد) و کم‌ترین CU نیز مربوط به آبپاش لاکسور در فشار ۳۰ متر و سرعت باد کم (۷۲ درصد) است.



شکل ۵- اثر فشار کارکرد بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور

(ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 5. The effect of working pressure on the coefficient of uniformity of two sprinklers Komet R8 and Luxor (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

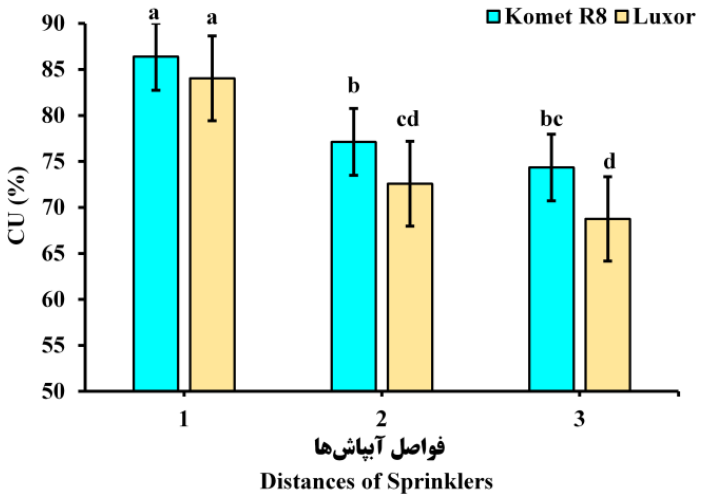


شکل ٦- اثر متقابل سرعت باد و فشار کارکرد بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور
(ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 6. Interaction of wind speed and working pressure on the coefficient of uniformity of Komet R8 and Luxor sprinklers (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

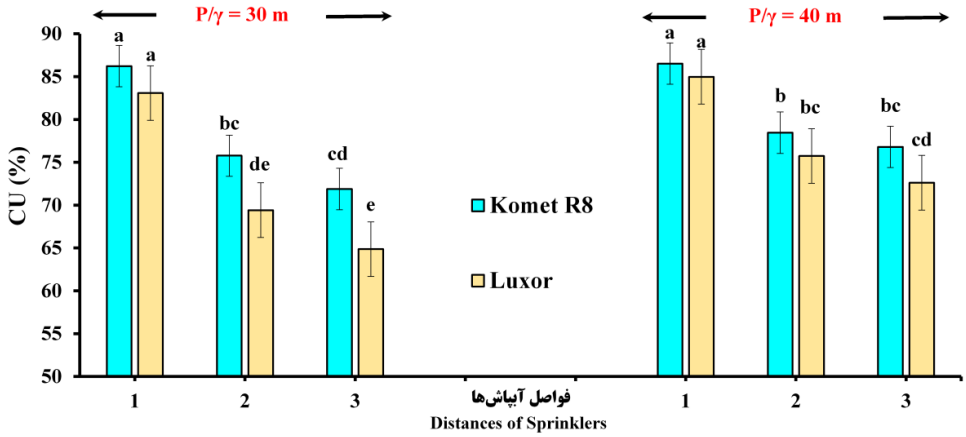
مساحت تقریبی فواصل ذکرشده آبپاش‌ها، به‌ترتیب ۳۲۰ مترمربع، ۵۷۰ مترمربع و ۷۲۰ مترمربع است که به ترتیب با فواصل ۱، ۲ و ۳ ذکر می‌گردند. اثر فاکتور فواصل آبپاش‌ها بر میزان CU معنی‌دار (P<۰/۰۱) است (جدول ۲). در هر دو آبپاش، افزایش فاصله موجب کاهش CU می‌گردد به‌طوری‌که میزان CU فاصله ۳، نسبت به فاصله ۱، در آبپاش کامت، ۱۲ درصد و در آبپاش لاکسور، حدود ۱۵ درصد کاهش می‌یابد (P<۰/۰۱) (شکل ۷). کاهش فاصله آبپاش‌ها سبب بهبود هم‌پوشانی الگوی پاشش آبپاش‌ها و البته افزایش هزینه‌های اجرایی خواهد شد.

با افزایش فشار می‌توان کاهش CU ناشی از افزایش فاصله را کمی جبران نمود (شکل ۸). در هر دو آبپاش، افزایش فشار در هر سه فاصله، سبب افزایش CU شده است اما در هیچ‌کدام از آبپاش‌ها، اثر افزایش فاصله را به‌طور کامل جبران ننموده است.



شکل ۷- اثر فواصل آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور
(ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 7. The effect of sprinkler distances on the coefficient of uniformity of Komet R8 and Luxor sprinklers (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).



شکل ۸- اثر متقابل فشار کارکرد و فواصل آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

Figure 8. Interaction of working pressure and sprinkler distances on the coefficient of uniformity of Komet R8 and Luxor sprinklers (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level)

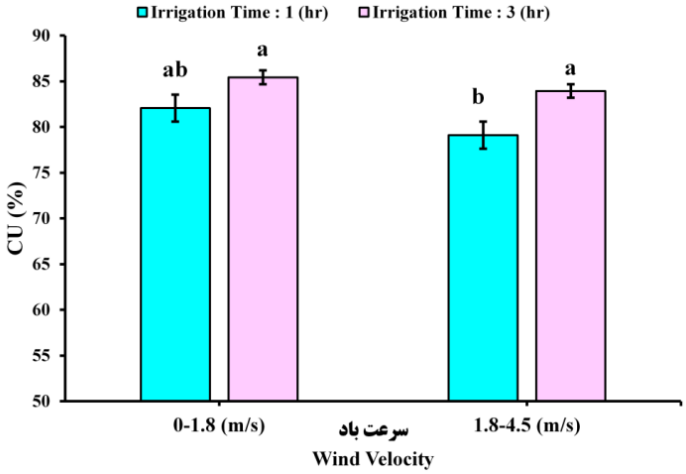
اثر مدت‌زمان آبیاری بر ضریب یکنواختی معنی‌دار (P<۰/۰۱) است (جدول ۳). با افزایش مدت‌زمان آبیاری از ۱ ساعت به ۳ ساعت، میزان CU افزایش یافته است. در محدوده سرعت باد کم، این افزایش غیرمعنی‌دار (P>۰/۰۱) اما در محدوده سرعت باد ملایم، این افزایش تقریباً ۱ درصد و معنی‌دار (P<۰/۰۱) است (شکل ۹). در استاندارد ISO15886-3 حداقل مدت‌زمان آزمایش برای ارزیابی آبپاش و یکنواختی توزیع، یک ساعت ذکر شده است (۱۹) ولی نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که با افزایش مدت‌زمان آبیاری، ضرایب یکنواختی به‌دست‌آمده افزایشی و با افزایش سرعت باد، اختلاف آن‌ها معنی‌دار می‌باشد که با نتایج دچمی و همکاران (۲۰۰۳) که اثرات تغییر مکان و زمان کاربرد آب بر عملکرد ذرت را با در نظر گرفتن یک سامانه آبیاری بارانی مطالعه کردند، نیز مطابقت دارد (۲۷). یکی از دلایل این اختلاف می‌تواند ناپایداری شرایط جوی در طی مدت آزمایش و یا تغییرات کلیماتولوژی منطقه آزمایش در مقیاس میکرو باشد. بنابراین حداقل مدت‌زمان آزمایش یک ساعت، نمی‌تواند برای تمامی شرایط کافی باشد و پیشنهاد می‌شود در صورت امکان وجهت اطمینان از تطبیق نتایج آزمایش‌ها با شرایط واقعی مزرعه، مدت‌زمان انجام آزمایش یکنواختی توزیع در مزرعه، بیش‌تر از یک ساعت در نظر گرفته شود.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب یکنواختی در آبپاش کامت R8 (فشار کارکرد: ۴۰ متر).

Table 3. The results of Variance analysis of the effect of different parameters on the coefficient of uniformity in the Komet R8 (the working pressure: 40 m).

سطح معنی‌داری (٪) Significance Level	Pr	F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی df	منابع تغییرات Source of Change
<1	0.000	34.427	$1.71 \cdot 10^{2}$	3	سرعت چرخش آبپاش Rotation speed of sprinkler
<1	0.017	6.230	$2.23 \cdot 10$	3	مدت‌زمان آبیاری Irrigation time
>1	0.171	2.158	$1.60 \cdot 10$	3	ارتفاع پایه آبپاش* Sprinkler riser height*

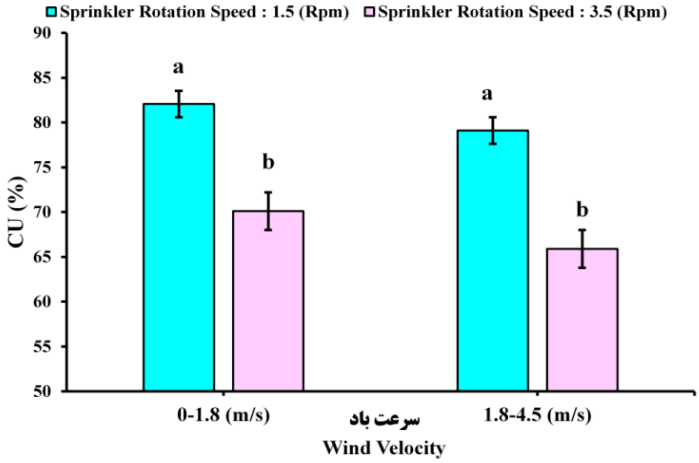
* عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد (P>۰/۰۱)



شکل ۹- اثر مدت‌زمان انجام آزمایش بر میزان ضریب یکنواختی آبپاش کامت R8 در سرعت باد کم و ملایم (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 9. Effect of test time on Komet R8 sprinkler uniformity coefficient at low and mild wind velocity (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

اثر سرعت چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی CU معنی‌دار (P<۰/۰۱) بود (جدول ۳). با افزایش سرعت چرخش آبپاش از ۱/۵ دور در دقیقه به ۳/۵ دور در دقیقه میزان یکنواختی توزیع در محدوده باد آرام ۱۲ درصد و در محدوده باد متوسط ۱۳/۵ درصد کاهش یافت (شکل ۱۰). با افزایش سرعت چرخش آبپاش، میزان آشفتگی جت خروجی از آبپاش افزایش می‌یابد که سرعت باد نیز بر این آشفتگی می‌افزاید و در نهایت منجر به کاهش یکنواختی توزیع آب در مزرعه می‌گردد. بنابراین میزان سرعت چرخش آبپاش لازم است موردتوجه کارخانه‌های سازنده آبپاش‌ها قرار گیرد. هم‌چنین مراکزی که اقدام به تعمیر آبپاش‌ها می‌نمایند، گاهی مجبور به کوتاه کردن طول فنر آبپاش و یا تعویض آن می‌شوند که منجر به تغییر سرعت چرخش آبپاش می‌گردد که لازم است اثر آن بر میزان یکنواختی توزیع آب موردتوجه قرار گیرد.

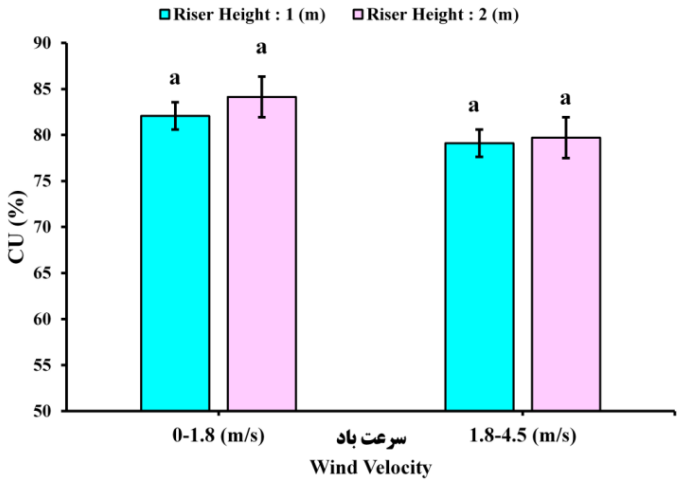


شکل ۱۰- اثر سرعت چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی آبپاش کامت R8 در سرعت باد کم و ملایم (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 10. Effect of sprinkler rotation speed on Komet R8 sprinkler uniformity coefficient at low and mild wind velocity (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

اثر ارتفاع پایه آبپاش بر ضریب یکنواختی در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که اثر ارتفاع پایه آبپاش بر ضریب یکنواختی معنی‌دار نیست (P<۰/۰۱). با افزایش ارتفاع پایه آبپاش از یک متر به دو متر، در هر دو محدوده سرعت باد، ضریب یکنواختی افزایش یافته است. به نظر می‌رسد این نتیجه به دلیل کاهش تلاطم جریان آب با افزایش ارتفاع پایه آبپاش می‌باشد؛ ولی این افزایش معنی‌دار نیست که با نتایج تارجئولو و همکاران (۱۹۹۹) مطابقت دارد (شکل ۱۱) (۱۵).

محمد و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کردند که با افزایش ارتفاع پایه آبپاش، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد که با نتایج پژوهش حاضر مغایرت دارد (۱۷). اثر ارتفاع پایه آبپاش بر ضریب یکنواختی به سایر شرایط هیدرولیکی و اقلیمی منطقه از جمله میزان سرعت باد هم‌بستگی دارد. در سرعت‌های باد کم، اثر ارتفاع پایه آبپاش ناچیز و در سرعت‌های باد تندتر، این اثر محسوس‌تر خواهد بود.



شکل ۱۱- اثر ارتفاع پایه آبپاش بر ضریب یکنواختی آبپاش کامت R8 در سرعت باد کم و ملایم (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 11. Effect of sprinkler riser height on Komet R8 sprinkler coefficient of uniformity at low and mild wind velocity (Columns having at least one letter in common are not significantly different at 1% level).

نتیجه‌گیری کلی

عامل چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی مؤثر است و در شرایط یکسان، آبپاش ضربه‌ای از ضریب یکنواختی بیش‌تری نسبت به آبپاش توربینی برخوردار است. افزایش سرعت چرخش آبپاش سبب کاهش ضریب یکنواختی می‌شود بنابراین در دوره بهره‌برداری و تعمیرات آبپاش، لازم است به‌سرعت استاندارد آن توجه شود. با کاهش شدت پاشش آبپاش، می‌توان مدت‌زمان آبیاری را افزایش داد که در بهبود ضریب یکنواختی مؤثر است. ضریب یکنواختی آبپاش کامت برای تمامی محصولات زراعی و باغی قابل‌قبول اما آبپاش لاکسور مناسب محصولات باغی است. با افزایش فشار فقط می‌توان بخشی از کاهش ضریب یکنواختی ناشی از افزایش فاصله آبپاش‌ها را جبران نمود. فراتحلیل اثرات تیمارهای موردمطالعه روی متغیرهای پاسخ و مدل‌سازی متغیرهای پاسخ تحت‌تأثیر ورودی‌ها با روش‌های محاسبات نرم و هم‌چنین بهینه‌سازی طرح آزمایش فاکتوریل انجام‌شده با روش‌های RSM و تاگوچی به‌منظور یافتن سطوح بهینه هر یک از تیمارها به صورت پیوسته را می‌توان برای ادامه مطالعات پیشنهاد نمود.

تقدیر و تشکر

این پژوهش در قالب یک پایان‌نامه در دانشگاه کردستان صورت گرفته است.

داده‌ها، اطلاعات و دسترسی

داده‌های این پژوهش مربوط به پایان‌نامه نویسنده اول است که با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل‌دسترسی می‌باشند.

تعارض منافع

در این مقاله تضاد منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: داده‌برداری، انجام محاسبات، نویسنده دوم: کنترل انجام محاسبات، انجام آنالیزهای آماری، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده سوم: مشارکت در داده‌برداری، نویسنده چهارم: استاد مشاور پایان‌نامه، راهبری آنالیز آماری، نویسنده پنجم: استاد راهنمای پایان‌نامه، نظارت تحقیق، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش در قالب گرنت دانشجویی نویسنده اول، توسط دانشگاه کردستان بوده است.

منابع

1. Saccon, P. 2018. Water for agriculture, irrigation management. Applied soil ecology. 123: 793-796.
2. FAO, W. 2009. Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food: Environmental Health Criteria 240. In: WHO Geneva.
3. Maroufpoor, S., Shiri, J., and Maroufpoor, E. 2019. Modeling the sprinkler water distribution uniformity by data-driven methods based on effective variables. Agricultural Water Management. 215: 63-73.
4. Maroufpoor, E., Faryabi, A., Ghamarnia, H., and Moshrefi, G.Y. 2010. Evaluation of uniformity coefficients for sprinkler irrigation systems under different field conditions in Kurdistan Province (northwest of Iran). Soil and Water Research. 5: 4. 139-145. (In Persian)
5. Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi, A., Slatni, A., Salvador, R., and Playan, E. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. Biosystems Engineering. 107: 1. 25-35.
6. Yan, H., Bai, G., He, J., and Li, Y. 2010. Model of droplet dynamics and evaporation for sprinkler irrigation. Biosystems Engineering. 106: 4. 440-447.
7. Maroufpoor, S., Maroufpoor, E., and Khaledi, M. 2019. Effect of farmers' management on movable sprinkler solid-set systems. Agricultural Water Management. 223: 10591. 1-7.
8. Bai, W.M., and Li, L.H. 2003. Effect of irrigation methods and quota on root water uptake and biomass of alfalfa in the Wulanbuhe sandy region of China. Agricultural Water Management. 62: 2. 139-148.
9. DeBoer, D.W. 2002. Drop and energy characteristics of a rotating spray-plate sprinkler. Irrigation and drainage engineering. 128: 3. 137-146.
10. Li, M., Yan, H., Wang, Y., and Sui, R. 2016. Effect of irrigation amount and uniformity on alfalfa yield and quality

under center pivot system. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) Annual International Meeting, p1.
11. Montazar, A., and Sadeghi, M. 2008. Effects of applied water and sprinkler irrigation uniformity on alfalfa growth and hay yield. Agricultural Water Management. 95: 11. 1279-1287.
12. Pair, C.H. 1968. Water distribution under sprinkler irrigation. Transaction of the ASAE. 11: 5. 648-651.
13. Keller, J., and Bliesner, R. 2000. Sprinkle and trickle irrigation. Caldwell. In: NJ. The Blackburn Press. 351p.
14. Faryabi, A., Maroufpoor, E., Ghamarnia, H., and Yamin Moshrefi, G. 2020. Comparison of classical sprinkler and wheel move irrigation systems in dehgolan plain, north-west iran. Irrigation and Drainage. 69: 3. 352-362. (In Persian)
15. Tarjuelo, J.M., Montero, J., Honrubia, F., Ortiz, J., and Ortega, J. 1999. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. Agricultural Water Management. 40: 2-3. 315-331.
16. Dwomoh, F.A., Shouqi, Y., and Hong, L. 2013. Field performance characteristics of fluidic sprinkler. Applied Engineering in Agriculture. 29: 4. 529-536.
17. Mohamed, A.E., Hamed, A.M.N., Ali, A.A.M., and Abdalhi, M.A. 2019. Effect of Weather Conditions, Operating Pressure and Riser Height on the Performance of Sprinkler Irrigation System. IOSR Agriculture and Veterinary Science. 12: 1. 01-09.
18. Bishaw, D., and Olumana, M. 2016. Evaluating the Effect of Operating Pressure and Riser Height on Irrigation Water Application under Different Wind Conditions in Ethiopia. Asia Pacific Energy and Environment. 3: 1. 41-48.
19. Farzankia, F., Maroufpoor, E., Rostamyan, B., and Azarboo, N. 2014. Investigation of Water Distribution Uniformity of Some Impact Sprinklers in the Fixed Head Sprinkle Irrigation System in Different Hydraulic Conditions and Atmospheric. Iranian Journal of Irrigation & Drainage. 8: 3. 519-527. (In Persian)
20. Ojaghlou, H., Bigdeli, Z., and Shirdeli, A. 2017. Assessment of wind velocity effect on technical performance of semi-portable sprinkling irrigation systems in Zanjan province. Irrigation and Water Engineering. 7: 4. 97-107. (In Persian)
21. Sheikhesmaeili, O. 2006. Analysis of Wind and Water Pressure Effects on Sprinkler Uniformity in Semi-Portable Sprinkling Irrigation System. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources. 13: 5. 1-9. (In Persian)
22. ISO15886-3. 2021. Agricultural irrigation equipment - Sprinklers - Part 3: Characterization of distribution and test methods. International Standardization Organisation, Geneva, Switzerland.
23. Playán, E., Zapata, N., Faci, J., Tolosa, D., Lacueva, J., Pelegrín, J., Salvador, R., Sánchez, I., and Lafita, A. 2006. Assessing sprinkler irrigation uniformity using a ballistic simulation model. Agricultural Water Management. 84: 1-2. 89-100.
24. Issaka, Z., Li, H., Jiang, Y., Tang, P., and Chao, C. 2019. Comparison of rotation and water distribution uniformity using dispersion devices for impact and rotary sprinklers. Irrigation and Drainage. 68: 5. 881-892.
25. Moazed, H., Bavi, A., Boroomand-Nasab, S., Naseri, A., and Albaji, M. 2010. Effects of climatic and hydraulic parameters on water uniformity coefficient in solid set systems. Journal of Applied Sciences (Faisalabad). 10: 16. 1792-1796.
26. Tarjuelo, J., Ortega, J., Montero, J., and De Juan, J. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. Agricultural Water Management. 43: 3. 263-284.
27. Dechmi, F., Playán, E., Cavero, J., Faci, J., and Martínez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea mays*). Irrigation science. 22: 2. 67-77.