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 wind speed and sprinkler operation pressure on the uniformity of water distribution in the sprinkler irrigation system

Mohammad Karim Zadeh[*1], Amir Reza Rezaee[2], Maryam Kazemi Zadeh[3]

1. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. Water Engineering, Faculty of Sciences and Agricultural Engineering, Torbat Heydarieh Branch, Islamic Azad University, Torbat Heydarieh, Iran. E-mail: mo.karimzadeh@iau.ac.ir
2. M.Sc. Student in Irrigation and Drainage Engineering, Dept. Water Engineering, Faculty of Sciences and Agricultural Engineering, Torbat Heydarieh Branch, Islamic Azad University, Torbat Heydarieh, Iran. E-mail: amirre69@gmail.com
3. Ph.D. Graduate in Irrigation and Drainage Engineering, Dept. Water Engineering, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: maryamkazemizade@rocketmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 03.02.2024
Revised: 05.07.2024
Accepted: 06.14.2024

Keywords:
Sprinkler layout,
Sprinkler operating pressure,
Uniformity coefficient,
Wind speed

ABSTRACT

Background and Objectives: The industrialization of agriculture in most countries of the world and facing the problem of water scarcity has caused more control over water consumption; so that water can be used in the necessary amount and at the right time. The uniformity of water distribution in sprinkler irrigation systems is influenced by multiple factors. Therefore, understanding the effects of these factors and providing plans and strategies to improve the efficiency and improve the uniformity of water distribution in sprinkler irrigation systems is of particular importance and shows the necessity of conducting applied research in this field. Uniformity of water distribution is affected by wind speed and sprinkler operation pressure, which are the most significant climatic and system variables, and there is a correlation among these factors and the uniformity coefficient. On the other hand, measuring the uniformity coefficient in the farm is a difficult and time-consuming task. Therefore, developing mathematical models to investigate this correlation will be very efficient. The present research aims to achieve goals such as investigating the effect of wind speed, operating pressure and arrangement of sprinklers on the uniformity of water distribution, obtaining mathematical models to determine the uniformity coefficient by applying different sprinkler operating pressures at different wind speeds and finally, scientific and practical solutions were presented to increase the uniformity of water distribution in the farm.

Materials and Methods: This research was carried out in the form of installing a single sprinkler a 33-meter square plot of land without vegetation, located in the research farm of Islamic Azad University, Torbat Heydarieh branch, during April to November of 2015. Three factors of wind speed (three levels: 0-5, 5-7 and more than 7 m/s), operating pressure (three levels: 2.2, 3.5 and 2.4 bar) and the layout of sprinklers (10 states: 12×15, 18×12, 18×15, 21×18, 24×21, 12×12, 15×15, 18×18, 21×21 and 24×24 m) as factors affecting The uniformity coefficient was investigated with three repetitions.

Results: In this research, in the calm weather conditions, the uniformity coefficient increased by changing the pressure from 2.2 to 3.5 and 4.4 bar, and the value of this coefficient was significant at the pressure of 4.4

compared to 2.2 and 3.5 bar. The uniformity coefficient in wind speeds of 5-7 and more than 7 m/s decreased by 11 and 19%, respectively, compared to the uniformity coefficient in wind speeds of less than 5 m/s. The area covered by sprinklers and their distances had more impact on changes in uniformity coefficient than wind speed. The highest uniformity coefficient was related to the layout of 18×12 and 18×15 m at a pressure of 2.2 bar and a wind speed of less than 5 m/s. The decrease in uniformity coefficient caused by changing sprinkler layout was much less than the decrease caused by changing the sprinkler distance. Also, the linear relationship between the uniformity coefficient and wind speed was evaluated in the range of pressure changes between 2.2 and 4.2 bar.

Conclusion: By examining various factors and according to the obtained results, it is recommended as a general result; In order to achieve a high uniformity coefficient by using the VYR 35 sprinkler at wind speed of less than 5 m/s from layout 12×18 m with pressure 2.2 bar, at wind speed 5-7 m/s from layout 15×15 m with pressure 3.5 bar, and in wind speed over 7 m/s, use 12×18 m with pressure 4.2 bar to be used. Of course, it seems more logical that in order to reduce the initial investment costs, the layout 18×12 meters to be used, and according to the prevailing wind speed in the region, pressure 2.2 bar for the wind speed less than 5 m/s and the pressure of 2.4 bar should be used in wind speed greater than 5 m/s.

Cite this article: Karim Zadeh, Mohammad, Rezaee, Amir Reza, Kazemi Zadeh, Maryam. 2024. Investigating the effect of wind speed and sprinkler operation pressure on the uniformity of water distribution in the sprinkler irrigation system. *Journal of Water and Soil Conservation*, 31 (2), 139-157.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2024.22258.3717
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹۴

بررسی تأثیر سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش بر یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی

محمد کریم‌زاده*[۱]، امیررضا رضائی[۲]، مریم کاظمی‌زاده[۳]

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، واحد تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت حیدریه، ایران. رایانامه: mo.karimzadeh@iau.ac.ir

۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، واحد تربت حیدریه، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت حیدریه، ایران. رایانامه: amirre69@gmail.com

۳. دانش‌آموخته دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: maryamkazemizade@rocketmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۲/۱۲/۱۲
تاریخ ویرایش: ۰۳/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۰۳/۰۳/۲۵

واژه‌های کلیدی:
آرایش آبپاش،
سرعت باد،
ضریب یکنواختی،
فشار کارکرد آبپاش

چکیده

سابقه و هدف: صنعتی‌شدن کشاورزی در اکثر کشورهای جهان و روبروشدن با مسأله کم‌آبی باعث شده است که بر مصرف آب کنترل بیش‌تری اعمال گردد؛ تا بتوان آب را به مقدار لازم و در زمان مناسب مورداستفاده قرار داد. عوامل زیادی بر یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی مؤثر هستند؛ بنابراین شناخت آثار این عوامل و ارائه برنامه‌ها و راهکارهایی به‌منظور بهبود کارایی و ارتقای یکنواختی پخش آب در سیستم‌های آبیاری بارانی از اهمیت خاصی برخوردار بوده و ضرورت انجام پژوهش‌های کاربردی در این زمینه را بیش‌تر نمایان می‌کند. سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش به ترتیب از مهم‌ترین متغیرهای محیطی و سیستمی مؤثر بر یکنواختی توزیع آب هستند و بین تغییرات این عوامل با ضریب یکنواختی همبستگی وجود دارد. از سوی دیگر اندازه‌گیری ضریب یکنواختی در مزرعه کار سخت و زمان‌بری است؛ بنابراین توسعه مدل‌های ریاضی برای بررسی این همبستگی بسیار کارآمد خواهد بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به‌صورت استقرار آبپاش منفرد در قطعه زمینی مربع و عاری از پوشش گیاهی به ضلع ۳۳ متر واقع در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌حیدریه، در طی ماه‌های فروردین تا آبان‌ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. در این پژوهش سه عامل سرعت باد (سه سطح: ۵-۰، ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه)، فشار کارکرد (سه سطح: ۲/۲، ۳/۵ و ۴/۲ بار) و نحوه چیدمان آبپاش‌ها (۱۰ حالت: ۱۵×۱۲، ۱۸×۱۲، ۱۸×۱۵، ۲۱×۱۸، ۲۴×۲۱، ۱۲×۱۲، ۱۵×۱۵، ۱۸×۱۸، ۲۱×۲۱ و ۲۴×۲۴ متر) به‌عنوان عوامل مؤثر بر ضریب یکنواختی توزیع آب با سه تکرار موردبررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: در این پژوهش در شرایط هوای آرام با تغییر فشار از ۲/۲ به ۳/۵ و ۴/۴ بار ضریب یکنواختی افزایش یافت و مقدار ضریب مذکور در فشار ۴/۴ نسبت به ۲/۲ و ۳/۵ بار معنی‌دار گردید. با افزایش سرعت باد در هر سه فشار کارکرد آبپاش میزان ضریب یکنواختی کاهش یافت. ضریب یکنواختی در سرعت‌های ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه به ترتیب ۱۱ و ۱۹ درصد نسبت به ضریب یکنواختی در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه کاهش داشت. تأثیر سرعت باد در تغییرات یکنواختی توزیع آب کم‌تر از تأثیر مساحت تحت پوشش آبپاش و فواصل آن‌ها مشاهده شد. بیش‌ترین ضریب یکنواختی مربوط به آرایش‌های ۱۸×۱۲ و ۱۸×۱۵ متر در فشار ۲/۲ بار و سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه بود. کاهش ضریب یکنواختی در اثر تغییر آرایش آبپاش‌ها به‌مراتب کم‌تر از کاهش یکنواختی توزیع آب در اثر تغییر فاصله آبپاش‌ها بود. هم‌چنین رابطه ضریب یکنواختی با سرعت باد در بازه تغییرات فشار کارکرد از ۲/۲ تا ۴/۲ بار به‌صورت خطی ارزیابی شد.

نتیجه‌گیری: با بررسی عوامل مختلف و بنا بر نتایج به‌دست‌آمده، به‌عنوان یک نتیجه کلی توصیه می‌شود؛ برای دستیابی به ضریب یکنواختی بالا با کاربرد آبپاش ویر ۳۵ در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه از آرایش ۱۸×۱۲ متر با فشار کارکرد ۲/۲ بار، در سرعت باد ۷-۵ متر بر ثانیه از آرایش ۱۵×۱۵ متر با فشار کارکرد ۳/۵ بار و در سرعت باد بیش از ۷ متر بر ثانیه از آرایش ۱۸×۱۲ متر با فشار کارکرد ۴/۲ بار استفاده شود. البته منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد که به‌منظور کاهش هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری از آرایش ۱۸×۱۲ متر استفاده و با توجه به سرعت باد غالب منطقه، از فشار کارکرد ۲/۲ بار برای سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه و از فشار کارکرد ۴/۲ بار در سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه استفاده شود.

استناد: کریم‌زاده، محمد، رضائی، امیررضا، کاظمی‌زاده، مریم (۱۴۰۳). بررسی تأثیر سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش بر یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری بارانی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۱ (۲)، ۱۵۷-۱۳۹.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.22258.3717

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

کمبود و محدودیت منابع آب، به‌خصوص در ایران شرایطی را می‌طلبد که از منابع آب حداکثر استفاده صورت گرفته و تاحدامکان از تلفات آن جلوگیری به عمل آید. یکی از اساسی‌ترین گام‌ها در صرفه‌جویی و حفاظت بیش‌تر منابع آب در کشاورزی، به‌کارگیری سیستم‌های آبیاری با پتانسیل به‌دست‌آوردن راندمان و یکنواختی بالا است. یکنواختی آبیاری به این معنی است که مقدار یکسانی آب در تمام قسمت‌های زمین توزیع شود. عملاً یکنواختی صددرصدی در آبیاری امکان‌پذیر نیست؛ زیرا عوامل غیرقابل‌کنترلی در آن نقش دارند. ازآن‌جاکه یکنواختی‌های زیاد معمولاً با افزایش هزینه‌های ثابت و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری همراه است؛ باید طرح به صورتی باشد که علاوه‌بر برخورداری از یکنواختی زیاد، ازنظر اقتصادی نیز قابل توجیه باشد. صنعتی‌شدن کشاورزی در اکثر کشورهای جهان و روبروشدن با مسأله کم‌آبی باعث شده است که بر مصرف آب کنترل بیش‌تری اعمال گردد؛ تا بتوان آب را به مقدار لازم و در زمان مناسب مورداستفاده قرار داد. انجام این کنترل‌ها در آبیاری‌های سطحی بسیار مشکل می‌باشد؛ ولی در آبیاری تحت فشار این عمل با سهولت بیش‌تری انجام می‌گیرد. در آبیاری تحت‌فشار وقتی‌که سیستم شروع به کار می‌کند عمل آبیاری در تمام نقاط هم‌زمان شروع شده و مدت زمان آبیاری در همه‌جا مساوی است. به همین دلیل تلفات نفوذ عمقی در مقایسه با آبیاری سطحی کم‌تر است.

یکنواختی پخش آب در روش‌های مختلف آبیاری، متأثر از عوامل مربوط به سیستم، محیط و مدیریت می‌باشد. با توجه به وابستگی میزان تولید و عملکرد محصول با یکنواختی توزیع رطوبت خاک، بررسی ارتباط توزیع آب با هر یک از این عوامل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای بیان یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی از معیارهای متعددی از جمله ضریب یکنواختی کریستیان سن، ضریب یکنواختی بیل، ضریب پیشنهادی هارت و رینولدز و غیره استفاده می‌شود. همه این معادلات بر توزیع آب در اطراف آبپاش استوار است و در آن‌ها باد مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر ضریب یکنواختی آبیاری بارانی می‌باشد. دابوس (۱۹۶۲) با استفاده از روش‌های آماری نشان داد که ضریب یکنواختی کریستیان سن در مقایسه با سایر روش‌ها از اعتبار بیش‌تری برخوردار است (۱).

در سیستم‌های آبیاری بارانی، مناسب‌ترین مقدار فشار کارکرد و اندازه آبپاش باید باتوجه‌به فاصله بین آبپاش‌ها و اثر باد به‌عنوان عمده‌ترین عوامل مؤثر بر یکنواختی بخش آب انتخاب شود. پیر (۱۹۶۸)، عوامل مؤثر بر یکنواختی توزیع آب را در چهار دسته عوامل مربوط به آبپاش‌ها (اندازه نازل، سرعت چرخش، فشار آب در نازل، نوع نازل و...)، عوامل مربوط به سیستم آبیاری (آرایش و فواصل آبپاش‌ها، تغییرات فشار آب در لوله‌ها و...)، عوامل مربوط به مدیریت آبیاری (مدت آبیاری، زمان آبیاری، عمود بودن آبپاش‌ها و...) و عوامل مربوط به اقلیم (سرعت و جهت باد، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی و ...) دسته‌بندی کرد (۲). باید توجه داشت که تأثیر عوامل فوق بر یکنواختی توزیع آب از هم جدا نبوده؛ بلکه دارای اثرات متقابلی بر یکنواختی توزیع آب می‌باشند. مهم‌ترین عامل اقلیمی که بر توزیع آبپاش‌ها اثر می‌گذارد تغییرات سرعت و جهت باد است (۳ و ۴).

برای یک سرعت باد ثابت، تغییرات جهت باد، الگوی پخش آب را در امتداد باد به هم می‌زند و موجب افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی شده و بنابراین بر مقدار یکنواختی اثر می‌گذارد. ولی، در زمان طراحی و بهره‌برداری از سیستم آبیاری می‌توان با اعمال تمهیداتی ازجمله انتخاب مناسب فشار، نوع

آبپاش، اندازه نازل، نوع نازل، فواصل آبپاش و انجام آبیاری در شب یا زمانی که سرعت باد کم است تأثیر این عوامل را کاهش داد (۵، ۶، ۷ و ۸). در اکثر مطالعات انجام‌شده عامل باد بیش‌ترین تأثیر را بر پایین بودن ضریب یکنواختی و بازده آبیاری داشته است (۹ و ۱۰).

کریمی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثر برخی عوامل ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری و مدیریت آن بر ضریب یکنواختی در آبیاری بارانی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عامل چرخش آبپاش بر ضریب یکنواختی مؤثر است و با افزایش فشار فقط می‌توان بخشی از کاهش ضریب یکنواختی ناشی از افزایش فاصله آبپاش‌ها را جبران نمود (۱۱). در بررسی اثر سرعت باد بر عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در استان زنجان نیز مشخص شد؛ سرعت باد اثر قابل‌توجهی بر کاهش یکنواختی و راندمان کاربرد آب داشته است. هم‌چنین در این پژوهش به‌کار بردن عمق آب آبیاری زیاد و تغییرات فشار در سامانه‌های آبیاری بارانی، به‌عنوان عوامل مؤثر دیگر بر کاهش عملکرد فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت شناخته شد (۱۲).

باوی و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی اثر مقادیر مختلف فشار کارکرد، فواصل و آرایش آبپاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی دریافتند که با افزایش فشار کارکرد، ضریب یکنواختی توزیع کریستیان سن به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که افزایش ضریب یکنواختی توزیع آب با افزایش فشار کارکرد از ۳۵ به ۴۰ متر، در مقایسه با افزایش فشار کارکرد از ۴۰ به ۴۵ متر، بیش‌تر بود (۱۳). اسی (۲۰۰۹) میانگین ضریب یکنواختی توزیع آب را در فواصل ۱۲×۱۲ و ۱۸×۱۸ متر به‌ترتیب برابر ۹۱ و ۸۷ درصد به‌دست آورد (۱۴). مونترو و همکاران (۲۰۰۳) نتیجه گرفتند که فشار کارکرد، اصلی‌ترین عامل سیستمی مؤثر بر توزیع آب در آبیاری بارانی است (۱۵). به‌منظور توزیع یکنواخت آب برای هر نازل با اندازه مختلف، در واقع یک دامنه مطلوب فشار کارکرد تعریف می‌شود (۱۶). کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) دریافتند در فشار کم به‌دلیل ریزش بیش‌تر آب در فواصل نزدیک به آبپاش و در فشار بالا به‌دلیل تولید قطرات ریزتر و حساس‌تر به باد، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد (۱۷). رحمت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۵) ضریب یکنواختی توزیع آب برای دو آبپاش مورداستفاده در طرح‌های آبیاری بارانی را تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و جوی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش سرعت باد در فواصل بیش‌تر آبپاش‌ها ضریب یکنواختی کاهش بیش‌تری نسبت به فواصل کم‌تر دارد (۱۸). موسوی بایگی و همکاران (۲۰۰۸) نیز دریافتند که در نتیجه افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع آب کاهش می‌یابد (۱۹). تارجوئلو (۱۹۹۲) پس از مطالعه تأثیر سرعت باد بر ضریب یکنواختی نتیجه گرفت که ضریب یکنواختی توزیع آب با افزایش سرعت باد کاهش می‌یابد و این کاهش معمولاً با یک معادله درجه دوم مطابقت دارد (۲۰). شیخ‌اسماعیلی (۲۰۰۷) نیز تأثیر سرعت باد و خصوصیات هیدرولیکی بر یکنواختی توزیع آب در آبپاش‌های متداول در آبیاری بارانی را مورد پژوهش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ارتباط بین سرعت باد و یکنواختی توزیع آب در آبپاش‌های مورد بررسی خطی نیست و با افزایش سرعت باد، ضریب یکنواختی با شدت بیش‌تری کاهش می‌یابد (۲۱). اما بعضی از پژوهش‌گران گزارش نموده‌اند که یک ارتباط خطی بین کاهش یکنواختی توزیع آب و افزایش سرعت باد در آبپاش‌های مورداستفاده در کشاورزی برقرار است (۲۲).

نتایج مطالعات انجام‌شده بیانگر آن است که فشار کارکرد آبپاش و سرعت باد به‌ترتیب از مهم‌ترین

عوامل هیدرولیکی و جوی مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی می‌باشند؛ بنابراین شناخت آثار این عوامل و ارائه برنامه‌ها و راهکارهایی به‌منظور بهبود کارایی و ارتقای یکنواختی پخش آب در سیستم‌های آبیاری بارانی از اهمیت خاصی برخوردار است. از طرفی ضریب یکنواختی پخش آب نیز یکی از پارامترهای اساسی ارزیابی سیستم آبیاری متناسب با منطقه موردنظر است. پس توجه به مسأله بحران آب و روند توسعه روزافزون جایگزینی سیستم‌های آبیاری تحت فشار با سیستم‌های سنتی در سطح کشور و نبود شناخت کافی از اثر متقابل این عوامل بر عملکرد سیستم‌های آبیاری و چگونگی توزیع آب، ضرورت انجام پژوهش‌های کاربردی در این زمینه را بیش‌تر نمایان می‌کند. سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش به ترتیب از مهم‌ترین متغیرهای محیطی و سیستمی مؤثر بر یکنواختی توزیع آب هستند و بین تغییرات این عوامل با ضریب یکنواختی همبستگی وجود دارد. از سوی دیگر اندازه‌گیری ضریب یکنواختی در مزرعه کار سخت و زمان‌بری است؛ بنابراین توسعه مدل‌های ریاضی برای بررسی این همبستگی بسیار کارآمد خواهد بود. پژوهش حاضر به‌منظور نیل به اهدافی چون بررسی تأثیر عوامل جوی و هیدرولیکی و آرایش آبپاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب، دستیابی به روابطی ریاضی جهت تعیین ضریب یکنواختی با اعمال فشارهای مختلف کارکرد آبپاش در شرایط جوی متفاوت و نهایتاً ارائه راهکارهای علمی و کاربردی جهت افزایش یکنواختی توزیع آب در مزرعه تحقیقاتی واقع در شهرستان تربت‌حیدریه تعریف و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایش‌ها صحرایی ضریب یکنواختی توزیع آبپاش‌ها برای همه تیمارها با ایجاد همپوشانی از طریق شبیه‌سازی الگوی توزیع آبپاش و با استفاده از رابطه کریستیان سن محاسبه شد. هم‌چنین اثر هر یک از عوامل فشار کارکرد آبپاش، سرعت باد و فواصل و آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های این پژوهش در قطعه زمینی مسطح و عاری از پوشش گیاهی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌حیدریه، واقع در کیلومتر ۵ جاده مشهد- تربت‌حیدریه، در طی ماه‌های فروردین تا آبان‌ماه سال ۱۳۹۵ انجام شد. شهرستان تربت حیدریه در جنوب غربی شهر مشهد در استان خراسان رضوی با موقعیت جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. آزمایش‌ها براساس دستورالعمل‌های استاندارد ایزو[1] و جامعه مهندسان کشاورزی آمریکا[2] به روش استقرار آبپاش منفرد اجرا شد (۲۳، ۲۴ و ۲۵). این مزرعه آزمایشی در مجاورت استخر ذخیره آب به ابعاد ۳۰×۲۵×۲/۵ مترمکعب قرار داشت که جهت تأمین آب از این منبع استفاده شد. در این پژوهش آبپاش ویر ۳۵ (VYR 35) با دو نازل به قطرهای ۲/۴ و ۴/۴ میلی‌متر (شعاع پاشش ۱۶-۱۴/۵ متر، فشار کارکرد ۴/۲-۱/۸ بار و دبی خروجی ۱/۹۵-۱/۲۵ مترمکعب بر ساعت) که از آبپاش‌های مرسوم در طرح‌های آبیاری بارانی در منطقه تربت‌حیدریه است، مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به کاتالوگ سازنده این آبپاش سه فشار ۲/۲، ۳/۵ و ۴/۲ بار برای انجام آزمایش‌ها تعیین شد. به‌منظور تنظیم و کنترل دقیق فشار از دو فشارسنج ۶-۰ اتمسفری استفاده شد که یکی در یک‌متری خروجی از پمپ و دیگری در روی لوله آب‌رسان آبپاش و در ۵ متری آبپاش نصب شده

1- ISO 7749/1- (1986) and ISO 7749/2- (1990)
2- ASAE S398.1 (2001)

بود. با توجه به این‌که آرایش و فواصل آبپاش‌ها از فاکتورهای مؤثر بر یکنواختی توزیع آب در مزرعه است، در این مطالعه برای بررسی این موضوع پنج فاصله، ۱۲، ۱۵، ۱۸، ۲۱ و ۲۴ متر به‌عنوان فاصله آبپاش‌ها بر روی لوله فرعی انتخاب و سپس ضریب یکنواختی توزیع آب برای آرایش‌های مستطیلی (۱۵×۱۲، ۱۸×۱۲، ۱۸×۱۵، ۲۱×۱۸ و ۲۴×۲۱) و مربعی (۱۲×۱۲، ۱۵×۱۵، ۱۸×۱۸، ۲۱×۲۱ و ۲۴×۲۴) محاسبه گردید. سرعت باد در محل با نصب دستگاه بادسنج فنجانی (Anemometer) با دقت بالا اندازه‌گیری شد. با توجه به تغییرات سرعت باد طی یک روز و در روزهای متفاوت در منطقه، آزمایش‌ها در طیف گسترده‌ای از سرعت باد صورت پذیرفت. در انجام آزمایش‌ها، پارامتر سرعت باد به‌صورت ۵-۰، ۷-۵ و ۷ < (بیش از ۷) متر بر ثانیه دسته‌بندی شد. برای تعیین مقدار آب پخش‌شده از آبپاش با توجه به حداکثر شعاع پاشش، کرتی مربع به ضلع ۳۳ متر به شبکه‌های ۳×۳ متر تقسیم‌بندی شد و بر روی هر گره با توجه به استاندارد ایزو ۷۷۴۹/۲ یک قوطی با قطر دهانه ۱۰ و ارتفاع ۱۰/۵ سانتی‌متر قرار داده شد (شکل ۱). بعد از یک ساعت کار سیستم، حجم آب جمع‌شده در هر قوطی قرائت و با توجه به قطر قوطی تبدیل به عمق آب می‌شد. برای محاسبه ضریب یکنواختی پخش آب از فرمول ضریب یکنواختی کریستیان سن استفاده شد.

$$UC = 1 - \sum_{i=1}^{n} \frac{|x_i - \bar{x}|}{n\bar{x}} \times 100$$

که در آن، UC ضریب یکنواختی کریستیان سن (٪)، x_i عمق آب (mm) در هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب، $\bar{x}$ میانگین عمق آب (mm) در قوطی‌های جمع‌آوری و n تعداد قوطی‌های جمع‌آوری آب.

شکل ۱- نمای قرارگیری آبپاش منفرد و شبکه ظروف جمع‌آوری آب.

Figure 1. View of individual sprinkler placement and water collection container network.

بنابراین در این پژوهش سه عامل سرعت باد (۳ سطح)، فشار کارکرد (۳ سطح) و نحوه چیدمان آبپاش‌ها (۱۰ حالت) با سه تکرار به‌عنوان عوامل مؤثر بر ضریب یکنواختی توزیع آب مورد بررسی قرار گرفت. الگوی پاشش برای تیمارهای آرایش (مربعی و مستطیلی) و فواصل مختلف در شرایط مختلف فشار و سرعت باد با همپوشانی دادن و مشابه‌سازی الگوی توزیع آبپاش موردمطالعه (منفرد) و با فرض یکسان بودن آبپاش‌ها و لوله‌های فرعی با استفاده از نرم‌افزار Excel تعیین گردید. هم‌چنین جهت دسته‌بندی داده‌ها و هم‌چنین برای دستیابی به یک رابطه منطقی بین ضریب یکنواختی و سرعت باد از انواع نمودارها و معادلات در محیط نرم‌افزاری Excel استفاده و در نهایت رابطه‌ای انتخاب گردید که در آن بیش‌ترین همبستگی یکنواختی با سرعت باد مشاهده شد. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده گردید و باتوجه‌به معنی‌دار شدن اثر تیمارها بر ضریب یکنواختی در سطح احتمال ۵ درصد، مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت.

نتایج و بحث

تأثیر فشار کارکرد آبپاش بر ضریب یکنواختی توزیع آب: باتوجه‌به جدول ۱، نتایج آنالیز واریانس نشان داد تأثیر تغییرات فشار آب از ۲/۲ به ۴/۲ بار در سطح احتمال ۵ درصد بر میزان ضریب یکنواختی توزیع آب معنی‌داری است. اما تأثیر معناداری در ضریب یکنواختی با افزایش فشار از ۲/۲ به ۳/۵ بار مشاهده نشد. فشار ۴/۲ و ۲/۲ بار به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب یکنواختی را دارا بودند.

جدول ۱- تأثیر فشار کارکرد آبپاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب.

Table 1. The effect of sprinklers Pressure on the uniformity of water distribution.

سطح احتمال ۵ درصد Subset of alpha = 0.05		تعداد تیمارها Treatment Number	فشار آبپاش‌ها (بار) Pressure of sprinklers (bar)
1	2		
59.597		90	P=2.2
62.655		90	P=3.5
	70.730	90	P=4.2
0.321	1.000		Sig.

با افزایش فشار از ۲/۲ به ۳/۵ بار (افزایش تقریباً ۶۰ درصدی) ضریب یکنواختی ۵/۲ درصد افزایش می‌یابد. اما زمانی که فشار ۹۱ درصد افزایش یافته و ۴/۲ بار شود، ضریب یکنواختی تقریباً ۱۹ درصد افزایش می‌یابد. مشاهده می‌شود که این ارتباط خطی نیست و در فشارهای بیش‌تر شیب منحنی بیش‌تر می‌باشد. با کاهش فشار، دبی و شعاع پراکنش کم می‌شود؛ اما تأثیر کاهش دبی نسبت به کاهش سطح کم بوده و این امر سبب افزایش شدت پخش می‌شود. افزایش شدت پخش باعث افزایش شدت ضربه قطرات آب روی خاک و نهایتاً کاهش ضریب یکنواختی توزیع آب می‌گردد (۱۶). در واقع افزایش فشار، بارش زیاد آب در محیط دایره پاشش را کاهش داده و با اصلاح الگوی پاشش ضریب یکنواختی را

افزایش می‌دهد. بنابراین در فشار کارکرد کم، توصیه می‌شود که فواصل آبپاش‌ها کم‌تر انتخاب شود. نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج حاصل از یافته‌های دیگر پژوهش‌گران در بررسی تأثیر فشار بر ضریب یکنواختی توزیع آب مطابقت دارد (۱۳، ۲۶، ۲۷ و ۲۱). در مطالعه انجام‌شده توسط هارت (۱۹۹۵) نیز افزایش ضریب یکنواختی با افزایش فشار کارکرد آبپاش مشاهده شد (۲۲). رحمت‌آبادی (۲۰۱۵) نیز در بررسی اثر فشار آب بر ضریب یکنواختی توزیع آب گزارش داد که فشار ۴/۵ بار فشار مناسب و فشار کم‌تر از ۴ بار برای آبیاری بارانی توصیه نمی‌شود (۱۸).

تأثیر سرعت باد بر ضریب یکنواختی توزیع آب: اثر سرعت باد بر یکنواختی توزیع آب در منطقه مورد آزمایش، در سه بازه ۵-۰، ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه بررسی شد. مقایسه بین میانگین‌های ضریب یکنواختی در سرعت‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار SPSS با سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری بین یکنواختی پخش آب در سرعت باد ۵-۰ با سرعت‌های ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه وجود دارد. اما اختلاف معنی‌داری بین یکنواختی پخش آب بین سرعت‌های ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه مشاهده نشد.

جدول ۲- تأثیر سرعت باد بر یکنواختی توزیع آب.

Table 2. The effect of wind speed on the uniformity of water distribution.

سرعت باد (متر بر ثانیه) Wind speed (m/s)	تعداد تیمارها Treatment Number	سطح احتمال ۵ درصد Subset of alpha = 0.05	
		2	1
More than 7	90		57.990
5-7	90		63.603
0-5	90	71.388	
Sig.		1.000	0.067

ضریب یکنواختی در سرعت‌های ۷-۵ و بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه به‌ترتیب ۱۱ و ۱۹ درصد نسبت به ضریب یکنواختی در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه کاهش داشت. در مطالعه انجام شده توسط باوی و همکاران (۲۰۰۸)، نیز کاهش ۲۰ درصدی ضریب یکنواختی در سرعت‌های بیش‌تر از ۷ متر بر ثانیه نسبت به سرعت ۵-۰ متر بر ثانیه گزارش شده است (۱۳). واقعیت امر این است که سرعت باد بالا، افزایش تلفات و بادبردگی و کاهش یکنواختی توزیع آب را باعث می‌شود که در این شرایط باید یا فواصل آبپاش‌ها را کم‌تر انتخاب کرد و یا این‌که آرایش آبپاش‌ها را مربعی در نظر گرفت. البته در سرعت بالای باد، انجام آبیاری با فشار کارکرد کم‌تر به‌منظور ایجاد قطرات درشت‌تر و یا انجام آبیاری در شب هم می‌تواند به‌عنوان گزینه‌هایی مناسب جهت افزایش یکنواختی توزیع آب در مزرعه مطرح باشند.

تأثیر فواصل آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب: نتایج تجزیه واریانس و ارتباط بین فواصل مختلف و ضریب یکنواختی توزیع آب در جدول ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود ضریب یکنواختی توزیع آب در فواصل ۱۸×۱۲ متر بیش‌ترین مقدار و در فواصل

۱۵×۱۲ متر کم‌ترین مقدار می‌باشد. با افزایش فواصل آبپاش‌ها بیش از ۲۱ متر میزان ضریب یکنواختی کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشت. با توجه به این‌که ماکزیمم شعاع پاشش آبپاش استفاده شده در این پژوهش ۱۶ متر می‌باشد حداکثر فاصله بین آبپاش‌ها نباید بیش‌تر از ۲۱ انتخاب شود و نتایج حاصل از پژوهش نیز بیانگر این مطلب می‌باشند. باید توجه داشت که افزایش فواصل بین آبپاش‌ها، کاهش میزان همپوشانی و کاهش ضریب یکنواختی را به‌همراه دارد. ساهو و همکاران (۲۰۰۸) نیز گزارش کردند که استفاده از فواصل بزرگ بین آبپاش‌ها ضریب یکنواختی را به‌شدت کاهش می‌دهد (۲۸). نتایج این پژوهش با پژوهش‌های رحمت‌آبادی (۲۰۰۸) و باوی و همکاران (۲۰۰۸) نیز تطابق دارد (۱۳ و ۱۸). در آرایش آبپاش‌ها با فواصل زیاد، ضریب یکنواختی را می‌توان از طریق کم کردن فاصله و یا افزایش فشار کارکرد به‌منظور تداخل بیش‌تر آب آبپاش‌ها و اصلاح الگوی پاشش افزایش داد.

تأثیر آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب: با دقت در گروه‌بندی صورت‌گرفته توسط نرم‌افزار SPSS در جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که اختلاف معنی‌داری در ضریب یکنواختی در تیمارهایی که در یک گروه قرار دارند، مشاهده نمی‌شود. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این جدول، در فواصل کم‌تر از ۲۱ متر، گرچه آرایش مستطیلی نسبت به آرایش مربعی به مقدار خیلی جزئی دارای ضریب یکنواختی بیش‌تری بود. اما میزان ضریب یکنواختی در آرایش مربعی و مستطیلی با هم اختلاف معنی‌داری نداشت. آرایش‌های مربعی با فواصل ۲۱ متر و بیش‌تر نیز میزان یکنواختی کم‌تر از ۷۰ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش انجام شده توسط فرزان‌کیا و همکاران (۲۰۱۴) مشابه نتایج پژوهش حاضر می‌باشد (۲۷). اما باوی (۲۰۰۹) در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسید که آرایش مربعی دارای بالاترین ضریب یکنواختی توزیع آب و آرایش مستطیلی دارای پایین‌ترین مقدار ضریب یکنواختی می‌باشد (۲۹). در واقع می‌توان بیان نمود که کاهش ضریب یکنواختی در اثر تغییر آرایش آبپاش‌ها به مراتب کم‌تر از کاهش یکنواختی توزیع آب در اثر تغییر فاصله آبپاش‌ها است.

جدول ۳- تأثیر فواصل آبپاش‌ها بر یکنواختی توزیع آب.

Table 3. The effect of sprinkler distances on the uniformity of water distribution.

چیدمان آبپاش‌ها Sort of sprinklers	تعداد تیمارها Treatment Number	سطح احتمال ۵ درصد Subset of alpha = 0.05			
		4	3	2	1
(12×15)	27				36.785
(24×24)	27				37.970
(21×24)	27				39.793
(18×21)	27			55.959	
(21×21)	27		69.993		
(18×18)	27	79.926			
(12×12)	27	80.156			
(15×15)	27	80.256			
(15×18)	27	80.770			
(12×18)	27	81.663			
Sig.		0.580	1.000	1.000	0.302

ضریب یکنواختی توزیع آب در مزرعه از مهم‌ترین معیارهای طراحی سیستم‌های آبیاری بارانی محسوب می‌شود. از آن‌جا که معمولاً مقدار ۷۸ درصد به بالا برای این ضریب مورد قبول طراحان می‌باشد (۱۷)؛ به‌منظور بررسی اثر آرایش آبپاش‌ها و هم‌چنین مدل‌سازی ریاضی اثر متقابل سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش بر ضریب یکنواختی، در این پژوهش فواصل و آرایشی مدنظر قرار گرفت (۱۸×۱۲، ۱۸×۱۵، ۱۵×۱۵، ۱۲×۱۲ و ۱۸×۱۸) که ضریب یکنواختی بیش‌تر از ۷۸ درصد را دارا می‌باشند.

تأثیر سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب: براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). در این پژوهش با افزایش سرعت باد در هر سه فشار کارکرد آبپاش (۴/۲، ۳/۵ و ۲/۲ بار) میزان ضریب یکنواختی کاهش یافت. این نتیجه با نتایج پژوهش‌هایی که در این زمینه انجام شده مطابقت دارد (۱۳، ۳۰، ۲۷، ۳۱، ۲۰ و ۲۱). تأثیر کاهش ضریب یکنواختی در نتیجه افزایش سرعت باد برای هر سه فشار کارکرد به‌صورت روابط خطی ۱ تا ۳ به ترتیب برای فشار ۲/۲، ۳/۵ و ۴/۲ بار به‌دست آمد.

با افزایش یک متر بر ثانیه به سرعت باد، ضریب یکنواختی به‌ترتیب در فشارهای ۲/۲، ۳/۵ و ۴/۲ بار به میزان ۳/۳۵، ۱/۹۸ و ۱/۹۶ درصد کاهش می‌یابد. مطابق روابط ارائه شده، در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۶ متر بر ثانیه میزان ضریب یکنواختی از ۸۰ درصد کم‌تر می‌گردد. توصیه اکثر پژوهش‌گران از جمله سگینر (۱۹۷۵) بر این است که آبیاری بارانی در شرایط وزش بادهای با سرعت بیش از ۱۵ کیلومتر بر ساعت (بیش‌تر از ۴ متر بر ثانیه) انجام نگیرد (۳۲).

در این روابط ضریب یکنواختی (UC) بر حسب درصد و سرعت باد (V) برحسب متر بر ثانیه می‌باشد.

جدول ۴- اثر هر یک از متغیرها بر ضریب یکنواختی توزیع آب.

Table 4. The effect of each of the variables on the coefficient of uniformity of water distribution.

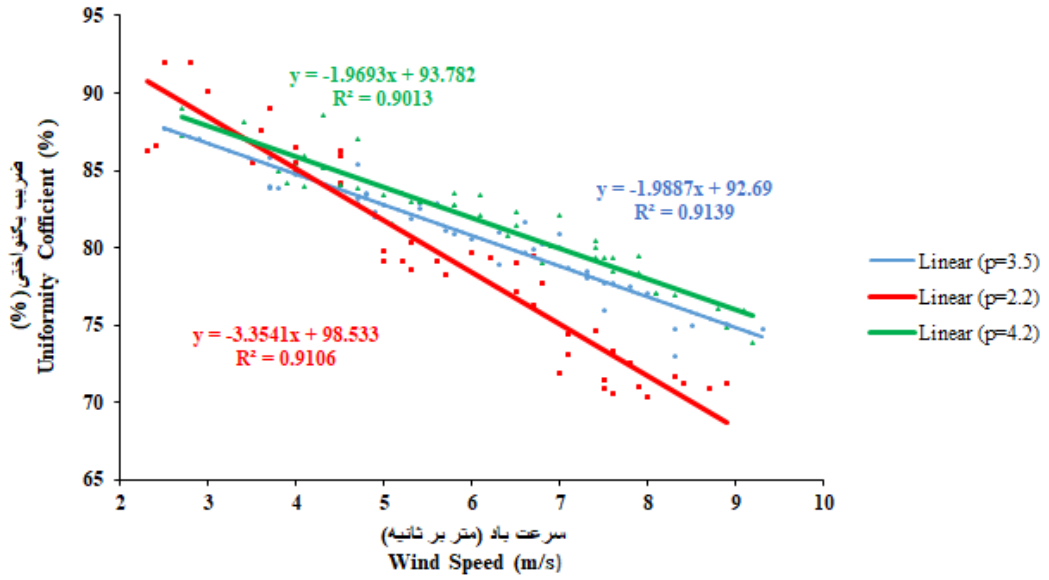
منبع تغییرات Source	مجموع مربعات Sum of Squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Squares Mean	مقدار F F Value	معنی‌داری Sig.
(مدل تصحیح‌شده) Corrected Model	119544.329[a]	89	1343.195	496.101	0.000
(عرض از مبدا) Intercept	1118116.000	1	1118116. 000	412969.108	0.000
(آرایش آبپاش) Sort of sprinkler	93923.906	9	10435.990	3854.467	0.000
(فشار) Pressure	6003.887	2	3001.944	1108.749	0.000
(سرعت باد) wind Speed	8247.118	2	4123.559	4123.559	0.000
(آرایش × فشار)Sort × Pressure	7888.575	18	438.254	438.254	0.000
(آرایش × باد) Sort × Wind	1540.021	18	85.557	85.557	0.000
(فشار × باد) Pressure × Wind	67.083	4	16.771	16.771	0.000
(آرایش × فشار × باد) Sort × Pressure × Wind	1873.40	36	52.048	19.224	0.000
(خطا) Error	487.351	180	2.708		
(کل) Total	1238147.680	270			
(مجموع تصحیح‌شده) Corrected Total	120031.680	269			

$$UC = -3.3541V + 98.533 \quad (R^2=0.91) \quad (۱)$$

$$UC = -1.9887V + 92.69 \quad (R^2=0.91) \quad (۲)$$

$$UC = -1.9693V + 93.782 \quad (R^2=0.90) \quad (۳)$$

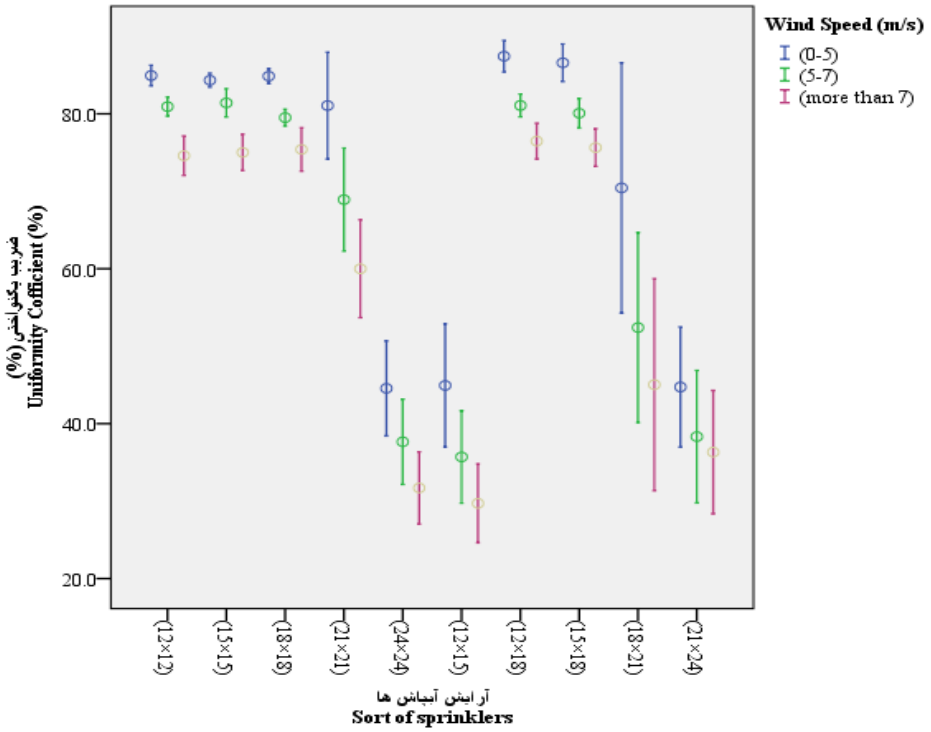
با بررسی شکل ۲ مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت باد در فشارهای مختلف، ضریب یکنواختی به‌صورت خطی کاهش پیدا می‌کند. نمودارهای موجود در شکل ۲ بیانگر این مطلب هستند که در سرعت باد بیش‌تر از ۴/۵ متر بر ثانیه می‌توان میزان ضریب یکنواختی را با افزایش فشار کارکرد آبپاش افزایش داد. در سرعت باد کم‌تر از ۳/۵ متر بر ثانیه افزایش فشار موجب کاهش ضریب یکنواختی می‌شود اما در بازه ۴/۵-۳/۵ متر بر ثانیه اعمال فشار ۳/۵ بار اثر منفی بر ضریب یکنواختی دارد اما اثر افزایش فشار به ۴/۲ بار بر ضریب یکنواختی مثبت است. بنابراین در فواصل و آرایش مذکور، آبپاش ویر ۳۵ با فشار کارکرد ۲/۲ بار در سرعت باد کم‌تر از ۳/۵ متر بر ثانیه بیش‌ترین میزان یکنواختی توزیع آب در مزرعه را دارا می‌باشد. بیش‌ترین مقدار ضریب یکنواختی در سرعت باد بیش‌تر از ۳/۵ متر بر ثانیه با اعمال فشار کارکرد ۴/۲ بار در این آبپاش رخ می‌دهد. در این شرایط افزایش فشار آب باعث افزایش قطر پاشش، همپوشانی بیش‌تر آبپاش‌ها و اصلاح الگوی پاشش و نهایتا افزایش توزیع یکنواخت آب می‌شود. اما نتایج مطالعه شیخ‌اسماعیلی (۲۰۰۷) در بررسی تأثیر توامان فشار آب و سرعت باد بر یکنواختی توزیع آب بیانگر کاهش ضریب یکنواختی با افزایش فشار از ۴۵ به ۵۰ متر بود (۲۱). در پژوهش حاضر و در سرعت باد کم‌تر از ۳/۵ متر بر ثانیه افزایش فشار نه‌تنها باعث بهبود ضریب یکنواختی نمی‌شود بلکه با افزایش شعاع پاشش، همپوشانی کم‌تر آبپاش‌ها و به دنبال آن، کاهش توزیع یکنواخت آب را به‌همراه دارد.



شکل ۲- نمودار تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به سرعت باد.

Figure 2. The graph of changes in the uniformity coefficient with respect to wind speed.

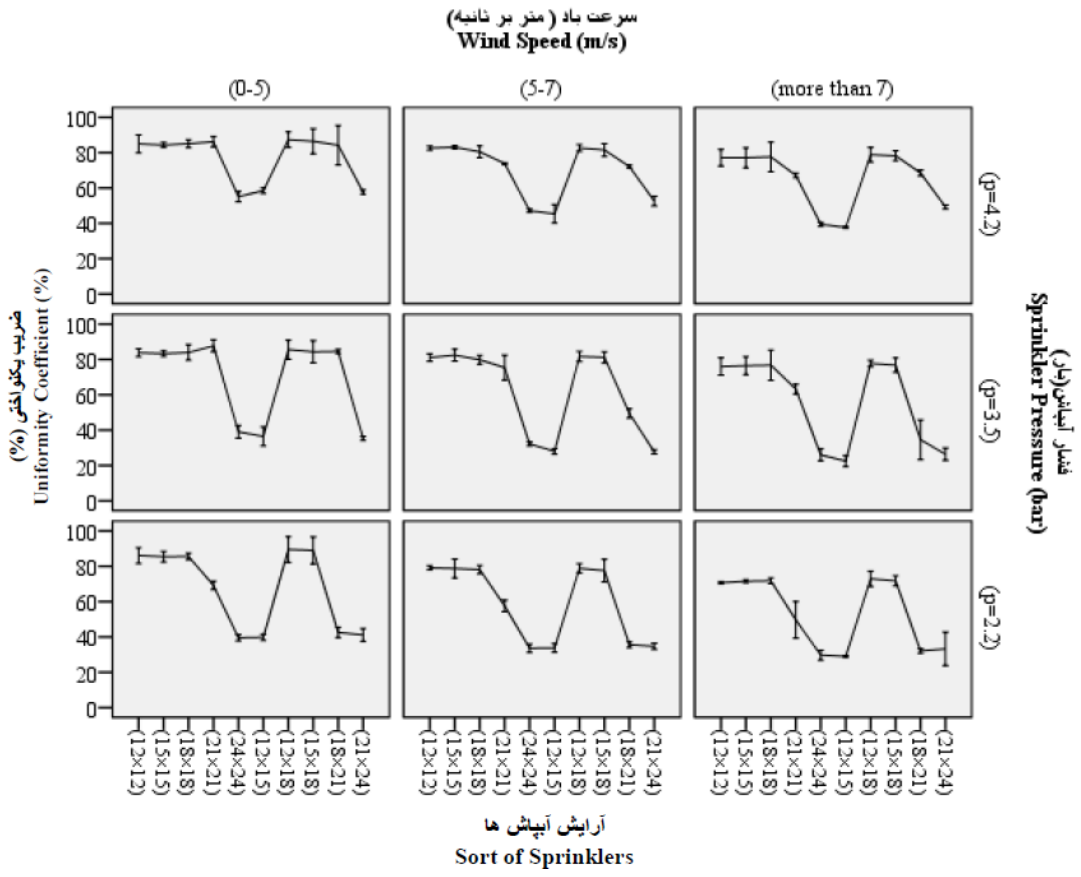
تأثیر سرعت باد، فواصل و آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب: بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر متقابل سرعت باد و آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به شکل ۳ مشخص می‌شود که در همه تیمارهای دەگانه چیدمان آبپاش‌ها با افزایش سرعت باد، مقدار ضریب یکنواختی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و این کاهش در مورد آرایش با فواصل ۲۱×۱۸ متر به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. در آرایش‌های با فواصل ۲۱×۲۱، ۲۴×۲۴، ۲۱×۱۵، ۲۱×۱۸ و ۲۴×۲۱ متر میزان ضریب یکنواختی از ۸۰ درصد کم‌تر می‌باشد. بنابراین تأثیر سرعت باد در تغییرات یکنواختی توزیع آب کم‌تر از تأثیر مساحت تحت پوشش آبپاش و فواصل آن‌ها است. در مطالعات انجام شده توسط بزانه و همکاران (۲۰۱۵) نیز نتایجی مشابه گزارش شده است (۳۳). به‌منظور حصول یکنواختی توزیع آب مطلوب باید از آبپاش‌های با قطر پاشش بزرگ‌تر و یا از فواصل کم‌تر استفاده نمود و یا این‌که در سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه فشار کارکرد آبپاش را افزایش داد. از طرفی با توجه به شکل ۳ می‌توان بیان نمود که تقریباً بیش‌ترین مقدار ضریب یکنواختی در سرعت باد بیش از ۵ متر بر ثانیه مربوط به آرایش‌های مربعی با فواصل کم‌تر از ۲۱ متر می‌باشد. بنابراین توصیه می‌شود؛ در شرایط سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه از آرایش مربعی با فواصل کم‌تر از ۲۱ متر استفاده شود و هم‌چنین برای مناطقی با سرعت‌های باد کم‌تر، به‌دلیل کاهش هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری آرایش مستطیلی پیشنهاد می‌شود.



شکل ۳- نمودار تغییرات ضریب یکنواختی نسبت به فواصل آبپاش‌ها در سرعت‌های باد متفاوت.

Figure 3. The graph of changes in the uniformity coefficient in relation to the distances of the sprinklers in different wind speeds.

تأثیر سرعت باد، فشار کارکرد و آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب: اثر سه عامل سرعت باد، فشار کارکرد و آرایش آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی توزیع آب به طور هم‌زمان در سطح احتمال ۵ درصد مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول ۴ و بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر توأمان این عوامل بر ضریب یکنواختی توزیع آب با سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بود. شکل ۴ به‌صورت شماتیک تأثیر هم‌زمان عوامل سرعت باد، فشار کارکرد، آرایش و فواصل آبپاش‌ها را بر ضریب یکنواختی توزیع آب نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در همه تیمارهای آزمایش با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع آب کاهش داشت که این کاهش در سرعت‌های باد بالا و در فشارهای کارکرد بیش‌تر، مشهودتر است. در واقع با افزایش فشار کارکرد آبپاش، تولید قطرات ریزتر و حساس‌تر به باد افزایش و در نتیجه ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. در آرایش ۱۵×۱۲ متر که کم‌ترین ضریب یکنواختی را در مقایسه با دیگر آرایش‌ها داشت؛ در فشار کارکرد ۲/۲ بار، با افزایش سرعت باد به بیش از ۷ متر بر ثانیه، ضریب یکنواختی ۲۷ درصد و در همین آرایش و در فشار کارکرد ۴/۲ بار، با افزایش سرعت باد به بیش از ۷ متر بر ثانیه، حدود ۳۶ درصد کاهش یافت.



شکل ۴- شماتیک اثرات متقابل سرعت باد، فشار و فواصل آبپاش‌ها بر ضریب یکنواختی.

Figure 4. Schematic of mutual effects of wind speed, pressure and sprinkler distances on uniformity coefficient.

آرایش‌های ۲۴×۲۴ و ۱۵×۱۲ متر در همه تیمارهای (سه سطح اعمال فشار آبپاش و سه سطح سرعت باد) این پژوهش دارای کم‌ترین میزان ضریب یکنواختی بودند. البته علاوه بر این دو آرایش، در آرایش‌های ۲۱×۲۱، ۲۴×۲۱ و ۲۱×۱۸ متر نیز ضریب یکنواختی کم‌تر از ۷۰ درصد مشاهده می‌شود. بنابراین کاربرد آبپاش ویر (VYR 35) با این فواصل در شرایط جوی و هیدرولیکی مشابه توصیه نمی‌شود. با توجه به این شکل بیش‌ترین ضریب یکنواختی مربوط به آرایش‌های ۱۸×۱۲ و ۱۸×۱۵ متر در فشار ۲/۲ بار و سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه است. به نظر می‌رسد آبپاش موردنظر در این شرایط، پراکنش یکنواخت‌تر و همپوشانی بهتری نسبت به سایر آرایش‌ها داشته است. اختلاف بالای ضریب یکنواختی در بین تیمارهای ۱۸×۱۲ و ۱۵×۱۲ متر را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که با توجه به این‌که بیش‌ترین شعاع پاشش آبپاش مورد آزمایش ۱۶ متر است؛ بنابراین در فواصل کم با افزایش بارش در محیط دایره پاشش، ضریب یکنواختی کاهش می‌یابد. در سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه آرایش مربعی (با فواصل کم‌تر از ۲۱ متر) و در سرعت‌های کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه آرایش مستطیلی از ضریب یکنواختی بیش‌تری برخوردار می‌باشد. در بین تیمارهای با سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه، آبپاش‌های با فشار کارکرد ۲/۲ بار بیش‌ترین میزان یکنواختی را داشتند. با افزایش سرعت باد ضریب یکنواختی کاهش یافت و درصد کاهش در آرایش‌های مستطیلی نسبت به مربعی بیش‌تر مشاهده شد. ضریب یکنواختی در آرایش مربعی (فواصل کم‌تر از ۲۱ متر) و در سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه با افزایش فشار افزایش یافت. اما در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه با افزایش فشار، ضریب یکنواختی در آرایش مربعی کاهش یافت. پس به‌منظور دستیابی به ضریب یکنواختی بالا و توزیع یکنواخت آب در مزرعه باید در سرعت باد بالا از آرایش مربعی با فشار کارکرد بیش‌تر و در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه از آرایش مستطیلی با فشار کارکرد کم‌تر استفاده شود. باوی و همکاران (۲۰۰۸) نیز دریافتند که با افزایش فشار کارکرد آبپاش ضریب یکنواختی به‌صورت غیرخطی افزایش می‌یابد (۱۳).

نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با استفاده از نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرایی ضریب یکنواختی، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌حیدریه، به مطالعه اثر سرعت باد، فشار کارکرد، آرایش و فواصل آبپاش ویر ۳۵ بر یکنواختی توزیع رطوبت خاک در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش‌های متحرک پرداخته شد. با توجه به بازه تغییرات سرعت باد، فشار کارکرد، آرایش و فواصل آبپاش‌ها مقدار ضریب یکنواختی کریستیانسن برای توزیع آب در خاک در تیمارهای آزمایش اندازه‌گیری گردید. براساس یافته‌های پژوهش، وابستگی ضریب یکنواختی به پارامتر فشار کارکرد در مقایسه با سرعت باد کم‌تر بود. در این منطقه بهبود مدیریت فشار کارکرد سیستم در شرایط سرعت باد بالا تأثیر بیش‌تری بر یکنواختی توزیع آب نسبت به شرایط سرعت باد پایین دارد. هم‌چنین رابطه ضریب یکنواختی با سرعت باد در بازه تغییرات فشار کارکرد از ۲/۲ تا ۴/۲ بار به‌صورت خطی ارزیابی شد. در این پژوهش کاهش ضریب یکنواختی در اثر تغییر آرایش آبپاش‌ها به‌مراتب کم‌تر از کاهش یکنواختی توزیع آب در اثر تغییر فاصله آبپاش‌ها بود. برای حصول ضریب یکنواختی بالا و توزیع یکنواخت آب در مزرعه در شرایط سرعت باد بالا باید از آرایش مربعی با فشار کارکرد بیش‌تر و در سرعت باد پایین از آرایش مستطیلی با فشار کارکرد

کم‌تر استفاده شود. درنهایت با بررسی عوامل مختلف و بنا بر نتایج به‌دست‌آمده، به‌عنوان یک نتیجه کلی توصیه می‌شود؛ در این منطقه برای دستیابی به ضریب یکنواختی بالا با کاربرد آبپاش ویر ۳۵ در سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه از آرایش ۱۸×۱۲ متر با فشار کارکرد ۲/۲ بار، در سرعت باد ۷-۵ متر بر ثانیه از آرایش ۱۵×۱۵ متر با فشار کارکرد ۴/۲ بار و در سرعت باد بیش از ۷ متر بر ثانیه از آرایش ۱۸×۱۲ متر با فشار کارکرد ۴/۲ بار استفاده شود. البته منطقی‌تر به‌نظر می‌رسد که به‌منظور کاهش هزینه‌های اولیه سرمایه‌گذاری از آرایش ۱۸×۱۲ متر استفاده و با توجه به‌سرعت باد غالب منطقه، از فشار کارکرد ۲/۲ بار برای سرعت باد کم‌تر از ۵ متر بر ثانیه و از فشار کارکرد ۴/۲ بار در سرعت باد بیش‌تر از ۵ متر بر ثانیه استفاده شود. در این پژوهش تأثیر افزایش فشار کارکرد آبپاش در ایجاد قطرات ریز و تلفات و بادبردگی کم‌تر از افزایش شعاع پاشش و همپوشانی بیش‌تر آبپاش‌ها است. بنابراین با افزایش فشار، بخشی از کاهش ضریب یکنواختی ناشی از افزایش فاصله آبپاش‌ها و سرعت باد را می‌توان جبران نمود.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های این پژوهش مرتبط با پروژه تحقیقاتی بررسی تأثیر سرعت باد و فشار کارکرد آبپاش بر یکنواختی توزیع آب در آبیاری بارانی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌حیدریه است. دسترسی به داده‌ها و اطلاعات صرفاً برای داوران/دبیرتخصصی/سردبیر نشریه و بنابر درخواست ایشان میسر خواهد بود.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد و مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مشارکت در طرح و روش تحقیق، نظارت تحقیق، بازبینی مقاله.

نویسنده دوم: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها.

نویسنده سوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله، مشارکت در آنالیزها.

اصول اخلاقی

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

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مستقیم مالی برخوردار نبوده است ولی از امکانات و مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت‌حیدریه استفاده گردیده است.

منابع

1.Dabbous, B. (1962). A study of sprinkler uniformity evaluation methods. M.Sc. Thesis Utah state university, logon.

2.Pair, C. H. (1968). Water distribution under sprinkler irrigation. *Transactions of the ASAE*. 11 (5), 648-651.

3.Playan, E., & Mateos, L. (2005). Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural water management J.* 13 (5), 100-116.

4.Solomon, K. (1979). Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. *Transactions of ASAE*, 22 (5), 1078-1086.

5.Dechmi, F., Playan, E., Faci, M., Tejero, M., & Bercero, A. (2003). Analysis of an irrigation district in northeastern Spain. *Agricultural water management J.* 61 (1), 93-109.

6.Martinez, R. S., Montero, M., Coreoles, J. I., Tarjuelo, J. M., & Juan, A. D. (2003). Effects of water distribution uniformity of sprinkler irrigation systems on corn yield. *Agricultural Water Management J.* 38 (2), 135-146.
7.Valin, M. I., Calejo, M. J., Jorge, J., & Percira, L. S. (2003). Field evaluation of sprinkler irrigation systems in Alentejo. Causes of problems. In: 6th Inter Regional Conference environment-water, Albacete.
8.Zamani Sepahvand, S., Torabi Podeh, H., & Nasrolahi, A. H. (2022). Estimation of Wind Drift and Evaporation Losses of Sprinkler Irrigation Systems under the Influence of Different Exploitation Managements (Case Study: Choghahoroshi Khorramabad Plain). *Irrigation and Drainage J*. 1 (17), 129-141. [In Persian]
9.Bagheri, H., Ansari, H., & Hashemineia, S. M. (2013). Modeling wind drift and evaporation losses in urban landscape. *Irrigation and Drainage J.* 1 (7), 80-92. [In Persian]
10.Raoof, M., Hoseini, Y., & Nazari-Gigloo, F. (2018). Evaluation of classic semi-permanent sprinkler system and modeling evaporation losses and wind drift in ADF 25˚ nozzle sprinkler model in Moghan region. *Water and Soil Conservation J.* 7 (4), 117-134. [In Persian]
11.Karimi, N., Dehghan, D., Moloudi, S. H., Siosemardeh, A., & Maroufpoor, E. (2022). Investigating the effect of some factors of sprinkler building, irrigation system, and its management on uniformity coefficient in sprinkler irrigation. *Water and Soil Conservation J.* 29 (3), 67-84. [In Persian]
12.Ojaghlou, H., Bigdeli, Z., & Shirdeli, A. (2017). Assessment of wind velocity effect on technical performance of semi-portable sprinkler irrigation systems in Zanjan province. *Irrigation and Water Engineering J.* 7 (28), 97-107. [In Persian]
13.Bavi, A. (2009). Investigating the effect of wind and temperature on the uniformity of distribution and evaporation and wind losses in the fixed classical rain irrigation system with Jaleh 3 sprinkler in Omidiye region. M.Sc. Thesis Azad University, Ahvaz. Iran. [In Persian]
14.Osei, F. K. B. (2009). Evaluation of sprinkler irrigation system for improved maize seed production for farmers in Ghana. M.Sc. Thesis. **March: http:// dspace.knust.edu.gh/dspace/bitstream /123456789/1939/1/fulltxt.pdf.**
15.Montero, J., Tarjuelo, J. M., & Carrion, P. (2003). Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer. *Irrigation Science J.* 22 (2), 47-56.
16.Christiansen, J. E. (1942). Irrigation by sprinkling. California Agric. Exp. Stn. Bull. 670. University of California. Berkeley.
17.Keller, J., & Bliesner, R. D. (1990). Sprinkler and trickle irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York. USA.
18.Rahmatabadi, V., Behzad, M., Borumand Nasab, S., & Sakhaei Rad, H. (2015). Analysis of water distribution uniformity for two types of sprinklers use in sprinkler irrigation systems under various climatic and hydraulic conditions. *Water and Soil Science J.* 19 (73), 1-9. [In Persian]
19.Mousavi Baygi, M., Alizadeh, A., Erfanian, M., Ansari, H., & Baghani, J. (2008). The effect of irrigation system characteristics and meteorological parameters on the uniformity of water distribution in rain irrigation methods. *Agricultural Sciences and Industries J.* 21 (2), 155-161.
20.Tarjuelo, J. (1992). Working condition of sprinkler to optimize application of water. *Irrigation and Drainage Engineering J.* 118 (6), 895-913.
21.Sheikhesmaeili, O. (2007). Analysis of wind and water pressure effects on sprinkler uniformity in semi-portable sprinkling irrigation system. *Agriculture and Natural. Resources* J. 13 (5), 1-9. [In Persian]
22.Hart, W. E. (1995). Data on distribution and water losses of small sprinkler in winds of 0-20 miles per hour. Tech.

Report project: FE 7-4 No. 663.5 Experiment station H.S.P. A Filed Engineering Department.
23. American Society of Agricultural Engineers. Standards-ASAE. S398.1. (2001). Procedure for Sprinkler Testing and Performance Reporting. 879-882.
24. ISO-7749/1. (1986). Part 1. Design and operational requirements. Uniformity of distribution and test methods. Agricultural Irrigation Equipment-Rotating Sprinklers. 1-10.
25. ISO-7749/2. (1990). Part 2. Uniformity of distribution and test methods. Agricultural Irrigation Equipment-Rotating Sprinklers. 1-6.
26. Erfanian, M., Alizadeh, A., Mousavi Baygi, M., Ansari, H., & Baghani, J. (2009). Wind drift and evaporation losses potential effects on sprinkler irrigation system efficiency in northern, southern and Razavi Khorasan's agricultural plains. *Soil and Water J.* 22 (1), 161-172. [In Persian]
27. Farzankia, F., Maroufpoor, E., Rostamyan, B., & 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. *Irrigation and Drainage Iranian J.* 3 (8), 519-527. [In Persian]
28. Sahoo, N., Pradhan, P. L., Anumala, N. K., & Ghosal, M. K. (2008). Uniform water distribution from low pressure rotating sprinkler. The CIGR Ejournal. Manuscript. LW 08014. Vol. X. 2008, P. 10.
29. Bavi, A., Kashkooli, H. A., & Borumand Nasab, S. (2008). Effects of climatic and hydraulic parameters on water distribution uniformity coefficient in sprinkler irrigation system in Omidieh district. *Iranian Water Research J.* 2 (1), 53-59. [In Persian]
30. Daghagheleh, M., Khodadadi Dehkordi, D., Norouzi Aghdam, E., & Egdernezhad, A. (2018). Uniformity coefficient of water distribution in three sprinkler types under different wind speeds and riser heights in Ahvaz, Iran. *Agroecology J*. 14 (1), 9-19. [In Persian]
31. Ojaghlou, H., Bigdeli, Z., & Shirdeli, A. (2017). Application of Investigating the effect of wind speed on the technical performance of fixed classical rain irrigation systems with mobile sprinklers in Zanjan province. *Irrigation and Water Engineering J.* 7 (4), 97-107. [In Persian]
32. Seginer, I., & Kostrinsky, M. (1975). Wind sprinkler patterns and system design. *Irrigation and Drainage Division J.* 101 (4), 251-264.
33. Bazzaneh, M., Sadraddini, A., Nazemi, A. H., & Delear Hasannia, R. (2015). Effect of Optimum Arrangement and Spacing of Sprinklers on Uniformity Coefficient of Fixed Sprinkler Irrigation System. *Water Research in Agriculture J.* 29 (4), 537-546. [In Persian]