

## Research Paper

# Investigation the Effect of Rotation Speed, Rotation Factor, and Irrigation Duration on Wind Drift and Evaporation Losses of Agricultural Sprinklers

Neda Karimi<sup>1</sup>, Darya Dehghan<sup>2</sup>, Shaho Moloudi<sup>3</sup>, Adel Siosemardeh<sup>4</sup>, Eisa Maroufpoor<sup>5\*</sup>

<sup>1</sup> Department of water Engineering, faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, [neda.karimi1365@gmail.com](mailto:neda.karimi1365@gmail.com)

<sup>2</sup> Researcher, Department of Water Resources Research, Water Research Institute, Ministry of Energy, Tehran, Iran, [Darya.dehghan@ut.ac.ir](mailto:Darya.dehghan@ut.ac.ir)

<sup>3</sup> Expert of Regional Water Company of Kurdistan, Sanandaj, Iran, [shaho.mhe@gmail.com](mailto:shaho.mhe@gmail.com)

<sup>4</sup> Department of Plant Production and Genetics, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, [A33@uok.ac.ir](mailto:A33@uok.ac.ir)

<sup>5</sup> Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran,

(\* Corresponding author, E-mail: [E.maroufpoor@uok.ac.ir](mailto:E.maroufpoor@uok.ac.ir) Tel: +989183809030)



[10.22125/IWE.2023.381413.1700](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.381413.1700)

Received:

**January 14, 2023**

Accepted:

**April 5, 2023**

Available online:

**December 30, 2023**

## Keywords:

**Sprinkler irrigation, Komet R8 sprinkler, Luxor sprinkler, types of sprinklers, application efficiency.**

## Abstract

The main purpose of this research is to investigate the effect of rotation factor, rotation speed, irrigation duration, as well as the effect of other different climatic and system factors, on Wind Drift and Evaporation Losses (WDEL) of impact and gear driven sprinklers. Experiments were carried out in the research farm of University of Kurdistan and in an area of 3600 m<sup>2</sup> by single sprinkler method on two Komet R8 and Luxor sprinklers. The results showed that 1- the diameter of water collection containers has no significant effect on WDEL. 2- Up to the wind speed of 11.5 km/h and the air temperature of 40 °C, there is no significant difference between the WDEL of sprinklers. 3- The average WDEL of Komet sprinkler in low wind speed is 8.5% and Luxor sprinkler is 10.4% and their difference is not significant. With the increase of wind speed from low to moderate, the average increase in WDEL of Komet sprinkler was 125% and Luxor sprinkler was 21% and their difference was significant (P<0.05). 4- In both sprinklers, WDEL increased with increasing working pressure, but neither the increase nor the difference between WDEL of sprinklers was significant. 5- In both sprinklers, WDEL increases with the increase of vapor pressure deficit, but this increase was significant only in Komet sprinkler and in the high range (P<0.05). 6- By increasing the riser height of the sprinkler from 1 m to 2 m, the WDEL of the Komet sprinkler increases by 21%. 7- By increasing the irrigation duration from 1 h to 3 h, the WDEL of Komet decreased by 24%. 8- By increasing the sprinkler rotation speed from 1.5 Rpm to 3.5 Rpm, the average WDEL of Komet decreased by 13.4 %. In general, the Komet sprinkler had more WDEL potential than the Luxor sprinkler, and also in the irrigation events of farmers, the amount of WDEL is lower than the reported values of the research.

## 1. Introduction

One of the effective parameters on the efficiency of sprinkler irrigation system is the amount of irrigation losses, most of which are shown in wind drift and evaporation losses (WDEL). These losses depend on climatic parameters (wind speed, air temperature, relative humidity, vapor pressure deficit, etc.) and irrigation system (nozzle diameter, water droplet diameter, nozzle height, working pressure, etc.). However, there are a series of parameters affecting WDEL that have not been investigated or are

less reported. Among these parameters, can mention the sprinkler building and the irrigation duration. In this research, the effect of the sprinkler rotation factor and its rotation speed, irrigation duration, the diameter of collection containers, and also the Interaction effects of the aforementioned parameters on wind drift and evaporation losses will be investigated.

## 2. Materials and Methods

The experiments of this research were carried out in the research farm of University of Kurdistan located in Dooshan village of Sanandaj city. Two Komet R8 and Luxor sprinklers were used. The working pressure of the sprinklers was considered to be 30 and 40 m. All experiments were performed in 3 replications, in the form of a completely randomized design and as a factorial experiment. An area of 3600 m<sup>2</sup> was divided with 3 × 3 m grids and water collection containers were placed at the vertices of the squares of each grid and a solid set sprinkler irrigation system was implemented. The tests were performed according to the ISO15886-3:2021 standard and by the single sprinkler method. The parameters of the diameter of water collection containers, wind speed, sprinkler working pressure, irrigation duration, sprinkler rotation speed, and sprinkler riser height were investigated.

## 3. Discussion and Conclusion

The results showed that 1- the diameter of water collection containers has no significant effect on WDEL. 2- Up to the wind speed of 11.5 km/h and the air temperature of 40 °C, there is no significant difference between the WDEL of sprinklers. 3- The average WDEL of Komet sprinkler in low wind speed is 8.5% and Luxor sprinkler is 10.4% and their difference is not significant. With the increase of wind speed from low to moderate, the average increase in WDEL of Komet sprinkler was 125% and Luxor sprinkler was 21% and their difference was significant ( $P < 0.05$ ). 4- In both sprinklers, WDEL increased with increasing working pressure, but neither the increase nor the difference between WDEL of sprinklers was significant. 5- In both sprinklers, WDEL increases with the increase of vapor pressure deficit, but this increase was significant only in Komet sprinkler and in the high range ( $P < 0.05$ ). 6- By increasing the riser height of the sprinkler from 1 m to 2 m, the WDEL of the Komet sprinkler increases by 21%. 7- By increasing the irrigation duration from 1 h to 3 h, the WDEL of Komet decreased by 24%. 8- By increasing the sprinkler rotation speed from 1.5 Rpm to 3.5 Rpm, the average WDEL of Komet decreased by 13.4%. In general, the Komet sprinkler had more WDEL potential than the Luxor sprinkler, and also in the irrigation events of farmers, the amount of WDEL is lower than the reported values of the research.

## 4. The most important references

- 1). Al-Ghobari, H. M., El-Marazky, M. S., Dewidar, A. Z., & Mattar, M. A. 2018. Prediction of wind drift and evaporation losses from sprinkler irrigation using neural network and multiple regression techniques. *Agricultural Water Management*, 195, 211-221
- 2). Dechemi, F., Playa'n, E., Cavero, J., Faci. and Martinez, A. 2003. Wind effect on solid set sprinkler irrigation depth and yeild of maize (*Zea mays*). *Irrigation science*, 22:67-77.
- 3). Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. *Sprinkler and Trickle Irrigation*. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- 4). Keller, J., and Bliesner, R. 2000. *Sprinkle and trickle irrigation*. Caldwell. In: NJ. The Blackburn Press. 351p.
- 5). Playa'n, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N., Marti'nez-Cob, A. and Sa'nchez, I. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Journal of Agriculture Water Management*. 76: 139–159.
- 6). 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.

## Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



## بررسی اثر سرعت چرخش، عامل چرخش و مدت زمان آبیاری بر تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاش‌های کشاورزی

ندا کریمی<sup>۱</sup>، دریا دهقان<sup>۲</sup>، شاهو مولودی<sup>۳</sup>، عادل سی‌وسه مرده<sup>۴</sup>، عیسی معروف‌پور<sup>۵</sup>\*

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۱۰/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۶

مقاله پژوهشی

### چکیده

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی اثر عامل چرخش، سرعت چرخش و مدت زمان آبیاری بر تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL) آبیاش‌های ضربه‌ای و چرخ‌دنده‌ای می‌باشد. آزمایش‌ها در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان و در محدوده‌ای به مساحت ۳۶۰۰ متر مربع به روش آبیاش منفرد روی دو آبیاش ضربه‌ای کامت R8 و چرخ‌دنده‌ای لاکسور انجام شد. نتایج نشان داد: ۱- تا سرعت باد ۱۱/۵ Km/h و دمای هوای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، اختلاف معنی‌داری بین WDEL آبیاش‌های ضربه‌ای و چرخ‌دنده‌ای وجود ندارد ۲- متوسط WDEL آبیاش کامت در سرعت باد کم ۸/۵٪ و لاکسور ۱۰/۴٪ و اختلاف آنها معنی‌دار نبود. با افزایش سرعت باد از کم به ملایم، متوسط افزایش WDEL آبیاش کامت، ۱۲۵٪ و لاکسور، ۲۱٪ و اختلاف آنها معنی‌دار شد ( $P < 0.05$ ) ۳- در هر دو آبیاش، با افزایش فشار کارکرد، WDEL افزایش پیدا کرد، اما این افزایش معنی‌دار نبود. ۴- در هر دو آبیاش با افزایش کمبود فشار بخار اشباع، WDEL افزایش می‌یابد اما این افزایش فقط در آبیاش کامت و در بازه زیاد معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). ۵- با افزایش مدت‌زمان آبیاری از یک ساعت به سه ساعت، WDEL کامت ۲۴ درصد کاهش یافت ۶- با افزایش سرعت چرخش آبیاش از ۱/۵ دور در دقیقه به ۳/۵ دور در دقیقه ۱۳/۴٪، WDEL کامت کاهش یافت. به طور کلی آبیاش ضربه‌ای کامت پتانسیل WDEL بیشتری نسبت به آبیاش چرخ‌دنده‌ای لاکسور داشت و همچنین در رخدادهای آبیاری کشاورزان، میزان WDEL، کمتر از مقادیر گزارش شده تحقیقات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری بارانی، آبیاش کامت R8، آبیاش لاکسور، انواع آبیاش، راندمان کاربرد.

<sup>۱</sup> کارشناسی‌ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. [Neda.karimi1365@gmail.com](mailto:Neda.karimi1365@gmail.com)

<sup>۲</sup> کارشناس پژوهشی گروه فرآیندها و پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی، پژوهشکده مطالعات و تحقیقات منابع آب، مؤسسه تحقیقات آب وزارت

نیرو، تهران، ایران. [Darya.dehghan@ut.ac.ir](mailto:Darya.dehghan@ut.ac.ir)

<sup>۳</sup> کارشناس آب منطقه‌ای استان کردستان، سنندج، ایران. [Shaho.mhe@gmail.com](mailto:Shaho.mhe@gmail.com)

<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. [A33@uok.ac.ir](mailto:A33@uok.ac.ir)

<sup>۵</sup> استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (\* نویسنده مسئول)

Email: [E.maroufpoor@uok.ac.ir](mailto:E.maroufpoor@uok.ac.ir)



## مقدمه

از عوامل مؤثر در کارایی و راندمان بهینه سامانه‌های آبیاری بارانی میزان تلفات آبیاری می‌باشد که قسمت عمده آن تلفات تبخیر و بادبردگی است (Dylla and Shull, 1983). میزان تلفات تبخیر و بادبردگی به شرایط اقلیمی و سیستمی سامانه آبیاری وابسته است (Playán et al., 2005). برخی محققین میزان آن را ۱۰-۵٪ (Keller and Bliesner, 1990)، برخی دیگر حداکثر مقدار آن را تا ۳۰٪ (Yazar, 1984; Montero, 1999) و حتی تا ۵۰٪ (Frost and Schwalon, 1955; Faci and Bercero, 1991) گزارش کرده‌اند. عوامل زیادی بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثر است که می‌توان آن‌ها را به پارامترهای اقلیمی و سیستمی طبقه‌بندی کرد (McLean et al., 2000). بنابراین تنها روش به حداقل رساندن میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، مدیریت پارامترهای سیستمی و اصلاح سامانه آبیاری می‌باشد (Peters et al., 2016; Maroufpoor et al., 2019; Mohammad et al., 2019).

عوامل اقلیمی که تاکنون از نظر محققین مختلف بر تلفات تبخیر و بادبردگی اثر داشته‌اند، شامل سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، کمبود فشار بخار و تشعشعات خورشیدی می‌باشند (De Wrachien, and Lorenzini, 2006). از عوامل سیستمی مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی که تاکنون ذکر شده‌اند، می‌توان به قطر نازل، قطر قطرات آب، ارتفاع نازل و فشار کارکرد آبیاری اشاره کرد (Keller and Bliesner, 1990; Playán et al., 2005). اما از عوامل سیستمی، پارامترهای دیگری هم وجود دارند که می‌توانند بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثر باشند که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند و یا گزارش نشده‌اند. ساختمان آبیاری یکی از عوامل مهم پارامترهای سیستمی است که بر قطر قطرات آب و الگوی توزیع آن‌ها مؤثر است. قطرات بسیار ریز، سبک هستند و می‌توانند مسافت بیشتری را طی کنند؛ در نتیجه بیشتر در معرض تلفات تبخیر و بادبردگی قرار می‌گیرند (Al-Ghobari et al., 2018; Sarwar et al., 2021) و تا ۲۵ درصد تلفات تبخیر و بادبردگی افزایش می‌یابد (Frost and

Schwalon, 1955). یکی از اجزای مهم ساختمان آبیاری، عامل چرخش آبیاری است. بر اساس عامل چرخش، دو مدل رایج آبیاری‌های کشاورزی، آبیاری‌های ضربه‌ای و آبیاری‌های چرخ‌دنده‌ای (توربینی) هستند (Keller and Bliesner, 1990). در آبیاری‌های ضربه‌ای، جریان آب پس از عبور از ون و لوله آبیاری و برخورد با قاشقک بازوی متحرک، در هوا پخش می‌شود اما در آبیاری‌های چرخ‌دنده‌ای جریان آب پس از عبور از میان چرخ‌دنده‌ها و یا توربین و عبور از ون و لوله آبیاری، در هوا پخش می‌گردد. بنابراین حرکت آبیاری‌های ضربه‌ای به صورت متناوب و حرکت آبیاری‌های توربینی به صورت پیوسته می‌باشد. سرعت چرخش آبیاری از دیگر مشخصات مکانیکی مهم ساختمان آبیاری است. کارخانه‌های تولیدی آبیاری، سرعت چرخش را از یک چرخش در هر ۳ دقیقه تا ۲ چرخش در دقیقه تنظیم می‌کنند. فرسودگی فنر آبیاری و یا چرخ‌دنده‌ها در دوره بهره‌برداری و همچنین تعمیرات آن‌ها، سبب تغییر سرعت چرخش آبیاری می‌شود. افزایش سرعت چرخش آبیاری سبب به هم ریختگی الگوی پاشش آبیاری و همچنین کاهش قطر پراکنش آب و مسافت طی شده توسط قطرات آب می‌گردد. یکی از عوامل مهم دیگر پارامترهای سیستمی، مدت زمان آبیاری است. مدت زمان آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه و شدت پخش آبیاری محاسبه می‌شود. با کاهش شدت پخش آب، مدت زمان آبیاری افزایش می‌یابد. در استاندارد ISO 15886-3 حداقل مدت زمان انجام آزمایش برای آزمون عملکرد آبیاری، یک ساعت ذکر شده است (ISO 15886-3, 2021). در صورتی که در طی مدت زمان آبیاری، شرایط اقلیمی مزرعه از جمله درجه حرارت، رطوبت نسبی و در نتیجه، کمبود فشار بخار اشباع تغییر می‌کند. بر اساس یافته‌های (Lorenzini, 2002)، رابطه میزان تلفات تبخیر و بادبردگی و درجه حرارت، یک رابطه لگاریتمی است. همچنین افزایش رطوبت نسبی و کاهش کمبود فشار بخار اشباع سبب کاهش تلفات تبخیر

تبخیر و بادبردگی اشاره می شود. حسینی و همکاران (۱۳۹۹) اثر پارامترهای مختلف اقلیمی بر تلفات تبخیر و بادبردگی را با استفاده از آبپاش مدل "F33AS 11/64" مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد پارامترهای سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع به ترتیب، بیشترین و کمترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و بادبردگی دارند. Matter et al. (2022) سعی کردند معادلاتی را مبتنی بر روش‌های مختلف شبکه‌های هوشمند جهت تخمین تلفات تبخیر و بادبردگی توسعه دهند. نتایج نشان داد معادله توسعه‌یافته مبتنی بر شبکه عصبی، دقیق‌ترین معادله و معادله پیشنهادی بر اساس رگرسیون برداری پشتیبان، کمترین دقت را در برآورد مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی داشت. Sarwar et al. (2020) نیز مطالعه‌ای را جهت برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از شبکه‌های هوشمند انجام دادند. نتایج این مطالعه، یافته‌های Matter et al. (2022) را تأیید کرد و شبکه عصبی را در برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی، توانمند معرفی می‌کند. ساعدی و پیترز (۱۴۰۱) با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی، رلندمان دبی آبپاش را که خود، وابسته به پارامتر تلفات تبخیر و بادبردگی است، برآورد کردند. نتایج نشان داد که مدل توسعه‌یافته می‌تواند با دقت بالایی رلندمان دبی آبپاش را برآورد کرده و به‌عنوان یک روش قابل اطمینان در ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی استفاده شود.

محققین فراوانی اثر سایر پارامترهای سیستمی همچون فشار کارکرد آبپاش و ارتفاع پایه آن و پارامترهای اقلیمی مانند سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع را مورد بررسی قرار داده‌اند (Yazar, 1984; De Wrachien, and Lorenzini, 200; Molle et al., 2012; Naderianfar et al., 2018; Al-Ghobari et al., 2018)، اما تاکنون تحقیقات کمی بر روی اثر عوامل ساختمان آبپاش همچون عامل چرخش و سرعت چرخش آبپاش، قطر ظروف جمع‌آوری نمونه‌ها و یا مدت زمان آبیاری بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی انجام شده و یا گزارش نشده است. در تحقیق حاضر علاوه بر پارامترهای ذکر شده، اثر عوامل اقلیمی نیز بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. بنابراین اهداف

می‌گردد (Playán et al., 2005; Alnaizy and Simonet, 2012; Al-Ghobari et al., 2018).

(Playán et al. (2005) در تحقیقات خود در منطقه زاراگوزای اسپانیا با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک، گزارش کردند که اثر آبیاری بارانی بر شرایط اقلیمی مزرعه متوسط بود. آن‌ها میزان افزایش رطوبت نسبی را  $3/9$  درصد و میزان کاهش دمای مزرعه را  $0/5$  درجه سانتی‌گراد، در طی رخداد آبیاری و چند دقیقه پس از شروع آبیاری گزارش کردند. آن‌ها همچنین گزارش کردند که تغییر شرایط اقلیمی مزرعه سبب کاهش تبخیر و تعرق محصول در طی رخداد آبیاری به میزان  $0/23$  میلی‌متر بر ساعت گردید. همچنین (Martínez-Cob et al., 2008) در منطقه مونتانا، در زاراگوزای اسپانیا گزارش کردند که تلفات تبخیر و بادبردگی با تغییر مقادیر پارامترهای اقلیمی مزرعه، سبب کاهش میزان تبخیر و تعرق محصول می‌شود. آن‌ها گزارش کردند که تلفات تبخیر و بادبردگی با متوسط مقدار  $19/3$ ٪ در طی فصل آبیاری، میزان آب مورد نیاز مزرعه را  $1/8$  تا  $4/9$ ٪ کاهش داد. از پارامترهای مهم دیگر که می‌تواند بر نتایج روش مزرعه‌ای اندازه‌گیری میزان تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثر باشد، قطر ظروف جمع‌آوری است. بر اساس استاندارد ISO 15886-3، قطر ظروف جمع‌آوری نباید کمتر از  $85$  میلی‌متر باشد. قطر ظروف باید قابلیت کافی برای جمع‌آوری آب در شرایط باد را داشته باشد (Playán et al. (2005)). همچنین آب جمع‌آوری شده در داخل این ظروف، در طی مدت زمان قرلنت ظروف در زمان آزمایش، در معرض تبخیر قرار دارد و یک منبع خطا در انجام آزمایشات است (Seginer et al., 1991). Playán et al. (2005) در تحقیقات خود از ظروف جمع‌آوری با سه قطر  $79$  میلی‌متر،  $130$  میلی‌متر و  $210$  میلی‌متر استفاده کردند. آن‌ها گزارش کردند که قطر مناسب ظروف جمع‌آوری تابع پارامترهای اقلیمی متفاوتی همچون سرعت باد، درجه حرارت و رطوبت نسبی است. نتایج آن‌ها نشان داد که در برخی موارد، بین عمق آب جمع‌آوری شده در ظروف اختلاف معنی‌دار وجود دارد. در ادامه به برخی مطالعات جدید گزارش شده، در خصوص تلفات

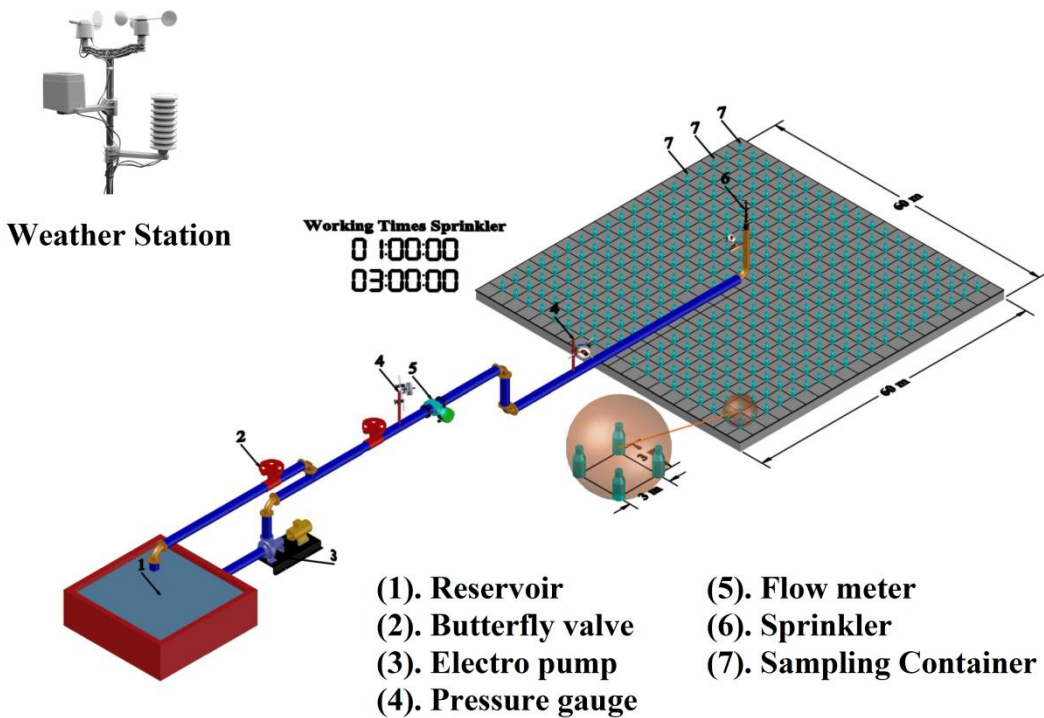


شرقی و "۳۵°۱۹'۰۰" شمالی انجام شد (شکل (۱)). آزمایش‌ها بر اساس استاندارد ISO15886-3:2021 و به روش آبیاری منفرد انجام شد. محدوده مذکور با ابعاد ۳×۳ متر شبکه‌بندی شد و ظروف جمع‌آوری آب در رئوس مربع‌های شبکه قرار گرفتند. در محدوده مذکور سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت اجرا گردید؛ به طوری که آبیاری در مرکز محدوده قرار داشت (شکل ۱). سامانه مذکور شامل یک دستگاه الکتروپمپ فشار قوی ۸۰/۴ WKL جهت تأمین فشار آب، لوله اصلی انتقال آب، لوله کنارگذر برای تنظیم نقطه کار پمپ، شیر پرولنه‌ای برای تنظیم جریان، کنتور حجمی جهت اندازه‌گیری جریان و فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار آب بود.

اصلی تحقیق حاضر عبارت است از ۱- بررسی اثر عامل چرخش آبیاری و سرعت آن بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت، ۲- بررسی اثر مدت‌زمان آبیاری بر میزان تلفات مذکور، و ۳- بررسی اثر قطر ظروف جمع‌آوری بر میزان تلفات اندازه‌گیری‌شده در شرایط مزرعه‌ای. همچنین اثرات متقابل این پارامترها در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه، بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی نیز بررسی خواهد شد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در محدوده‌ای به مساحت ۳۶۰۰ مترمربع از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان واقع در روستای دوشان شهر سنندج با موقعیت جغرافیایی "۴۵'۵۹°۴۶"



شکل (۱): جغرافیای منطقه مورد مطالعه و نمایی از مدل انجام آزمایشات



جمع‌آوری آب، سرعت باد و فشار کارکرد آبیاری برای هر دو آبیاری و سه تیمار مدت‌زمان آبیاری، سرعت چرخش آبیاری و ارتفاع پایه آبیاری برای آبیاری کامت R8، در فشار کارکرد ۴۰ متر بود. تمامی آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شدند. مشخصات تیمارها در **Error! Reference source not found.** ارائه شده است.

آبیاری ضربه‌ای کامت R8 (Austria)، با یک نازل ۱۲ میلی‌متری و آبیاری چرخ‌دنده‌ای لاکسور (Company Komet.Lienz Sime, Guastalla, Italy)، با دو نازل ۴ و ۱۲ میلی‌متری در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفتند.

آزمایش‌ها در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت آزمایش فاکتوریل انجام شد. تیمارها شامل قطر ظروف

جدول (۱): تیمارهای آزمایش‌ها و محدوده تغییرات آن‌ها

آبیاری مورد بررسی	محدوده تغییرات	تیمارها
کامت R8، لاکسور	۱۸۰، ۸۰	قطر ظروف جمع‌آوری آب (mm)
کامت R8، لاکسور	۱/۸ - ۰ ۴/۵ - ۱/۸	سرعت باد (m/s)
کامت R8، لاکسور	۴۰، ۳۰	فشار کارکرد آبیاری (m)
کامت R8	۳، ۱	مدت‌زمان آبیاری (h)
کامت R8	۲، ۱	ارتفاع پایه آبیاری (m)
کامت R8	۳/۵، ۱/۵	سرعت چرخش آبیاری (rpm)

ظروف شاهد نیز اندازه‌گیری گردید. در بازه زمانی انجام آزمایش‌ها هر ۱۵ دقیقه، پارامترهای درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد با استفاده از دستگاه سه‌کاره 45158 Min. Hygro Thermo-Anemometer (Extech, Nashua, NH, USA)، اندازه‌گیری گردید. محدوده تغییرات پارامترهای مذکور در بازه انجام آزمایش‌ها در جدول (۲) ذکر گردیده است.

میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در طی زمان انجام آزمایش‌ها، با استفاده از رابطه محاسبه شد:

$$L_s = \frac{\text{حجم آب خارج شده از آبیاری} - 9 \times \sum_{i=1}^n x_i}{\text{حجم آب خارج شده از آبیاری}} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه،  $L_s$ : میزان تلفات تبخیر و بادبردگی (درصد) و  $x_i$ : عمق آب جمع‌آوری شده در قوطی نام بوده و همچنین ضریب ۹ مربوط به مساحت تحت پوشش هر قوطی بر حسب مترمربع می‌باشد. به‌منظور محاسبه تبخیر از ظروف جمع‌آوری در حین آزمایش و همچنین در طی قرائت ظروف، از ۳ ظرف شاهد در مجاور محدوده شبکه‌بندی شده، استفاده شد. عمق آب داخل ظروف شاهد معادل عمق آب ظروف جمع‌آوری در نظر گرفته شد (Playán et al., 2005). در پایان هر آزمایش پس از اندازه‌گیری حجم آب داخل ظروف جمع‌آوری، حجم آب



اما بین نتایج ظروف متوسط و بزرگ اختلاف معنی داری وجود نداشت. آنان تا سرعت باد  $16/2 \text{ Km/h}$ ، استفاده از ظروف کوچک را پیشنهاد نمودند و همچنین گزارش کردند که تفاوت بین نتایج ظروف را نمی توان به دمای هوا و یا رطوبت نسبی منطقه ارتباط داد بلکه نقش خطاهای اندازه گیری را مؤثر و مهم دانستند. در استاندارد ISO15886-3، جهت ارزیابی عملکرد آبیاش ها، حداقل قطر ظروف جمع آوری  $85 \text{ mm}$  ذکر شده است. بنابراین برای منطقه مورد مطالعه، حداقل قطر پیشنهاد شده کفایت می کند. پارامترهای اقلیمی (باد) و هیدرولیکی متعددی (ساختمان آبیاش و فشار کارکرد آبیاش) بر الگوی پخش آب آبیاش تأثیر دارند. در صورتی که سطح آبیگری ظرف کافی باشد، قطرات آب آبیگری شده، الگوی قابل قبولی از الگوی کامل پاشش آبیاش خواهد بود. در آن صورت، بین عمق آب داخل ظروف با قطرهای متفاوت، اختلاف معنی داری وجود نخواهد داشت. کریمی و همکاران (۱۴۰۱) گزارش کردند که بین عمق آب و همچنین مقادیر ضریب یکنواختی ظروف با قطرهای  $80$  و  $180$  میلی متر در منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، اختلاف معنی داری وجود نداشت. بنابراین کفایت قطر ظروف به شرایط کلیماتولوژی منطقه و هیدرولیکی سامانه آبیاری که الگوی پاشش آبیاش را تحت تأثیر قرار می دهد، بستگی دارد و نمی توان آن را به تغییرات تک تک پارامترها نسبت داد.

جدول (۲): محدوده تغییرات پارامترهای درجه حرارت، رطوبت نسبی و سرعت باد در بازه زمانی انجام آزمایشات

سرعت باد (m/s)	درجه حرارت ( $^{\circ}\text{C}$ )	رطوبت نسبی (%)	کمبود فشار بخار اشباع (kPa)
۳/۰-۲/۷۳	۲۵-۴۰	۸-۳۰	۶/۲-۱/۳

## نتایج و بحث

### اثر قطر ظروف جمع آوری بر میزان WDEL

در جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس اثر قطر ظروف جمع آوری آب بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاش ها (WDEL) نشان داده شده است. در هر دو آبیاش مورد مطالعه، اثر قطر ظروف بر میزان WDEL معنی دار نبوده است. در زمان انجام آزمایش ها، سرعت باد در بازه  $\text{km/h}$   $2/6$  تا  $11/5$ ، دمای هوا در بازه  $25$  تا  $40$  درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی در بازه  $8$  تا  $30$  درصد بود. متوسط تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاش کامت  $13/8$  درصد و آبیاش لاکسور  $11/6$  درصد بود. (Playán et al. (2005 اثر سه قطر ظروف کوچک، متوسط و بزرگ ( $80$ ،  $130$  و  $210$  میلی متر) را بر میزان WDEL بررسی کردند و گزارش کردند که بین نتایج ظروف کوچک و متوسط و همچنین کوچک و بزرگ اختلاف معنی دار وجود داشت ( $P < 0.05$ )

جدول (۳): نتایج تجزیه واریانس قطر ظروف جمع آوری بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاش ها

نوع آبیاش	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Pr	سطح معنی داری
کامت R8	بین گروهها*	۱	$6/43 \times 10$	$1/84$	$0/19$	$> 1$
	داخل گروهها	۲۲	$3/49 \times 10$	---	---	
لاکسور	بین گروهها*	۱	$6/89$	$0/94$	$0/34$	$> 1$
	داخل گروهها	۲۲	$7/33$	---	---	

\* عدم وجود اختلاف معنی دار در سطح اطمینان  $99$  درصد ( $P > 0.01$ )



تحقیق نشان داد که تا سرعت باد  $11/5 \text{ Km/h}$  و همچنین متوسط دمای هوای  $40$  درجه سانتیگراد اختلاف معنی داری بین WDEL آبپاش‌های ضربه‌ای و چرخ‌دنده‌ای در شرایط هیدرولیکی مورد مطالعه وجود ندارد.

#### سرعت باد

اثر سرعت باد بر WDEL معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ )

#### جدول (۴): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان تلفات تبخیر و

(۲) در شکل (۲) اثر دو سرعت باد کم و ملایم بر WDEL به تفکیک آبپاش‌ها نشان داده شده است. در هر دو آبپاش، با افزایش سرعت باد، WDEL به‌طور معنی‌داری افزایش یافته است ( $P < 0.05$ ). متوسط WDEL آبپاش کامت در سرعت‌های باد کم و ملایم، به ترتیب،  $8/5$  درصد و  $19/1$  درصد و آبپاش لاکسور به ترتیب،  $10/4$  درصد و  $13/2$  درصد بود. با افزایش سرعت باد از کم به ملایم، متوسط افزایش WDEL آبپاش کامت،  $125$  درصد و آبپاش لاکسور،  $21$  درصد بود. همچنین WDEL آبپاش‌ها در سرعت باد کم، غیرمعنی‌دار، اما در سرعت باد ملایم معنی‌دار است ( $P < 0.05$ ). سرعت باد یکی از عوامل جوی است که تأثیر مستقیمی بر WDEL دارد. افزایش سرعت باد سبب جابه‌جایی لایه بخار آب در منطقه پاشش آبپاش‌ها شده و تلفات تبخیر را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش سرعت باد، میزان بادبردگی در منطقه آبپاش‌ها نیز بیشتر می‌گردد. نتایج نشان داد که پتانسیل تبخیر و بادبردگی قطرات آب آبپاش کامت بسیار بیشتر از آبپاش لاکسور است؛ به طوری که با افزایش سرعت باد از کم به ملایم، WDEL آبپاش کامت بسیار افزایش می‌یابد و با WDEL آبپاش لاکسور تفاوت معنی‌دار پیدا می‌کند ( $P < 0.05$ ). متوسط شعاع پاشش آبپاش کامت در فشارهای کارکرد  $30$  و  $40$  متر به ترتیب  $23$  و  $26$  متر و آبپاش لاکسور  $23$  و  $24$  متر بود. بنابراین مسافت طی‌شده توسط قطرات آب دو آبپاش، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. همچنین فشار کارکرد و قطر نازل دو آبپاش یکسان است.

#### اثر برخی پارامترهای مستقل بر میزان WDEL آبپاش‌ها در

#### جدول (۴): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان تلفات تبخیر و

نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی بر WDEL آبپاش‌ها نشان داده شده است. در ادامه، اثر هر کدام از پارامترها بر WDEL مورد بررسی قرار می‌گیرد.

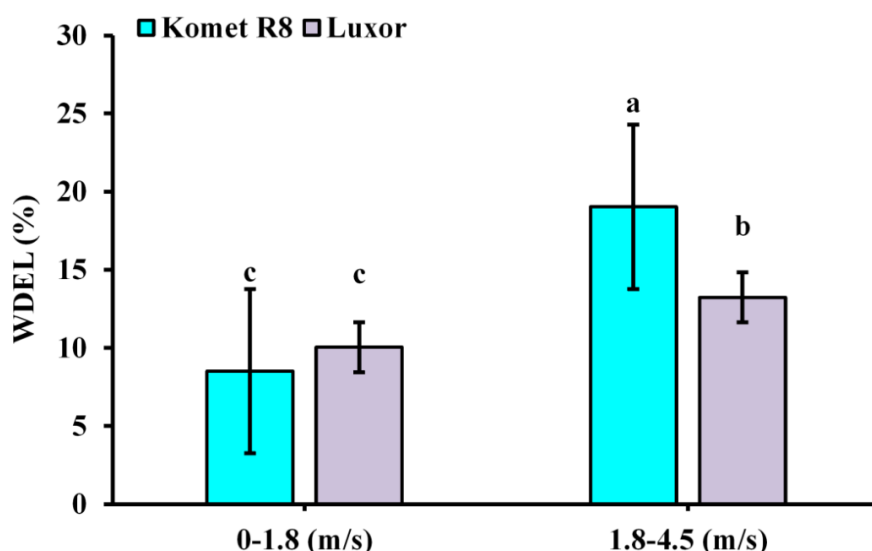
#### نوع آبپاش

اثر نوع آبپاش بر WDEL معنی‌دار نبوده است. به عبارتی، اختلاف معنی‌داری بین WDEL آبپاش کامت و آبپاش لاکسور در شرایط هیدرولیکی و کلیماتولوژی یکسان وجود نداشت. آبپاش کامت از نوع ضربه‌ای و آبپاش لاکسور از نوع توربینی می‌باشد. بنابراین عامل حرکت آبپاش کامت در اثر جابه‌جایی بازوی متحرک و ضربه آن به بدنه آبپاش، و عامل حرکت آبپاش لاکسور، چرخش چرخ‌دنده‌های آن می‌باشد. حرکت آبپاش کامت به صورت ناپیوسته و متناوب بوده و حرکت آبپاش لاکسور به صورت پیوسته و مداوم است. تفاوت در ساختمان آبپاش‌ها، می‌تواند سبب تفاوت در الگوی پاشش و یا اندازه قطرات آب گردد. تلفات تبخیر و بادبردگی شامل دو بخش تلفات تبخیر و تلفات بادبردگی می‌باشد. تلفات تبخیر در طی مسافت خروج قطرات آب از دهانه آبپاش تا رسیدن به زمین روی می‌دهد و تلفات بادبردگی در شرایطی که اندازه قطرات آب، کوچک و سرعت باد کافی باشد اتفاق می‌افتد. اندازه قطرات آب، تابع قطر نازل، فشار کارکرد آبپاش و ساختمان آبپاش می‌باشد (Keller and Bliesner, 2000). قطر نازل هر دو آبپاش  $12$  میلی‌متر و فشار کارکرد آن‌ها  $30$  و  $40$  متر بود. در مورد تفاوت بین WDEL آبپاش‌های ضربه‌ای و چرخ‌دنده‌ای، تحقیقات کمی صورت گرفته و یا گزارش نشده است. نتایج این

al. (2005) آن را به عنوان متغیر مستقل اصلی در معادلات تخمین WDEL معرفی نمودند.

رستمیان و همکاران (۱۳۹۳) با مطالعه بر روی سه آبپاش مختلف، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی و همچنین عوامل مؤثر بر آن را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که همبستگی پارامتر سرعت باد با میزان تلفات در آبپاش‌های ZK30 و ZM22 به ترتیب در سطح احتمال ۱ درصد و ۵ درصد معنی‌دار، و در آبپاش AMBO فاقد همبستگی معنی‌داری می‌باشد. به طور کلی میزان تلفات تبخیر و بادبردگی با افزایش ۱ متر بر ثانیه بر سرعت باد، به میزان ۹/۴ درصد افزایش می‌یافت. حسینی و همکاران (۱۳۹۹) تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه آبیاری عقربه‌ای در منطقه مغان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد تلفات تبخیر و بادبردگی ارتباط مستقیمی با سرعت باد در منطقه دارد؛ به طوری‌که در سرعت باد کمتر از ۳ متر بر ثانیه پارامترهای ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان‌های پتانسیل و واقعی ربع پایین در محدوده مناسبی قرار گرفتند.

بنابراین عامل اصلی این پدیده، تفاوت در ساختمان دو آبپاش است. ضربات مکرر بازوی متحرک به جت آب و همچنین حرکت سریع آبپاش کامت هنگام ضربه (در مقابل حرکت آرام و پیوسته آبپاش لاکسور)، منجر به تولید قطراتی از آب می‌گردد که پتانسیل بالایی برای تبخیر و بادبردگی پیدا می‌کند. (Kincaid, 1996) میزان WDEL را وابسته به سرعت باد، اندازه قطرات آب و مسافت طی شده قطرات قبل از رسیدن به زمین دانست. Dechemi et al. (2003) گزارش کردند در سرعت‌های باد بیشتر از ۷/۶ Km/h، میزان WDEL با افزایش سرعت باد بیشتر می‌شود. همچنین Alnaizy and Simonet (2012) نیز گزارش کردند که به طور کلی با افزایش سرعت باد تلفات تبخیر و بادبردگی نیز افزایش خواهد یافت. (Tarjuelo et al. 2000) سرعت باد را به عنوان تأثیرگذارترین پارامتر بر WDEL و Playán et



شکل (۲): اثر سرعت باد بر تلفات تبخیر و بادبردگی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)



جدول (۴): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی و همچنین اثرات متقابل آنها بر میزان تلفات تبخیر و

بادبردگی آبیاش‌های کامت R8 و لاکسور

تعداد پارامتر	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Pr	سطح معنی‌داری (%)
یک پارامتره	نوع آبیاش*	۱	$2/73 \times 10$	۱/۲۴	۰/۲۸	
	سرعت باد	۱	$2/82 \times 10^2$	۲۷/۱۷	۰/۰۰	
	فشار کارکرد*	۱	$4/60 \times 10$	۲/۱۸	۰/۱۵	
دو پارامتره	کمبود فشار بخار اشباع	۲	$1/04 \times 10^2$	۷/۱۵	۰/۰۰	
	نوع آبیاش × سرعت باد	۳	$1/30 \times 10^2$	۲۱/۵۳	۰/۰۰	
سه پارامتره	نوع آبیاش × فشار کارکرد*	۳	$2/75 \times 10$	۱/۲۸	۰/۳۱	<۵
	نوع آبیاش × کمبود فشار بخار اشباع	۵	$5/47 \times 10$	۴/۱۵	۰/۰۱	
	سرعت باد × فشار کارکرد	۳	$1/15 \times 10^2$	۱۳/۸۰	۰/۰۰	
	سرعت باد × کمبود فشار بخار اشباع	۵	$7/03 \times 10$	۷/۹۶	۰/۰۰	
	فشار کارکرد × کمبود فشار بخار اشباع	۵	$5/74 \times 10$	۴/۶۲	۰/۰۱	
سه پارامتره	سرعت باد × فشار کارکرد × کمبود فشار بخار اشباع	۱۱	$7/94 \times 10$	۸/۱۸	۰/۰۰	

\* عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد ( $P > 0.05$ )

حاضر، اثر فشار کارکرد بر WDEL هر دو آبیاش یکسان بود.

موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۸) تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه آبیاری بارانی را در ۳ فشار مختلف (۳۰۰، ۳۵۰، ۴۰۰ کیلوپاسکال) و برای آبیاش دو نازل ۳۵ VYR مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد با افزایش فشار، مقدار تلفات افزایش یافته است، اما این افزایش معنی‌دار نبوده است. آذرو و همکاران (۱۳۹۵) با هدف شناسایی عوامل مؤثر بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی آزمایشاتی را روی آبیاش‌های ضربه‌ای ZK30، ZM22 و AMBO در شهرستان سنندج انجام دادند. نتایج نشان داد که در هر سه آبیاش مورد آزمایش، پارامترهای کمبود فشار بخار اشباع و دما بیشترین میزان

### فشار کارکرد آبیاش

متوسط WDEL آبیاش کامت در فشارهای کارکرد ۳۰ و ۴۰ متر به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۵/۸ درصد و آبیاش لاکسور ۱۰/۹ و ۱۲/۴ درصد بود. اثر فشار کارکرد آبیاش‌ها بر WDEL معنی‌دار نبود و همچنین WDEL آبیاش‌ها در هر دو فشار اختلاف معنی‌دار نداشت. Keller and Bliensner (2000) شاخص درشتی قطرات ( $CI = 0.032 P^{1/3} / D$ ) را برای تعیین اندازه قطرات آب ارائه دادند. بر اساس شاخص  $CI$ ، در هر دو فشار کارکرد، اندازه قطرات آب در محدوده کمتر از ۷ قرار می‌گیرد که در طیف قطرات درشت است. افزایش فشار کارکرد، سبب کوچک‌تر شدن قطرات آب گردیده و پتانسیل تبخیر و بادبردگی را افزایش می‌دهد. به عبارتی نتایج نشان داد که در هر دو آبیاش، با افزایش فشار کارکرد، WDEL آبیاش‌ها افزایش پیدا کرد اما این افزایش برای هیچ کدام از آبیاش‌ها، معنی‌دار نبود. بنابراین در محدوده تغییرات عوامل کلیماتولوژی و هیدرولیکی طرح

کمبود فشار بخار اشباع، WDEL آبپاش لاکسور همانند آبپاش کامت افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود. همچنین در هیچ کدام از بازه‌های کمبود فشار بخار اشباع، بین WDEL آبپاش‌ها اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. بنابراین با افزایش کمبود فشار بخار اشباع، اندازه قطرات آبپاش کامت پتانسیل بیشتری برای WDEL دارد که با نتایج قبلی در مورد اثر سرعت باد بر WDEL آبپاش کامت مطابقت دارد. (Montero et al., 2000) پس از توسعه معادلاتی جهت تخمین WDEL، توصیه کردند که تأثیر پارامترهای درجه حرارت و رطوبت نسبی هوا در قلب کمبود فشار بخار در معادلات لحاظ شود، زیرا همبستگی بیشتری را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط محققین مختلف (Playán et al., 2005; Bavi, 2009; Alnaizy and Simonet, 2012; Al-Ghobari et al., 2018)، افزایش رطوبت نسبی و کاهش کمبود فشار بخار اشباع سبب کاهش تلفات تبخیر می‌شود.

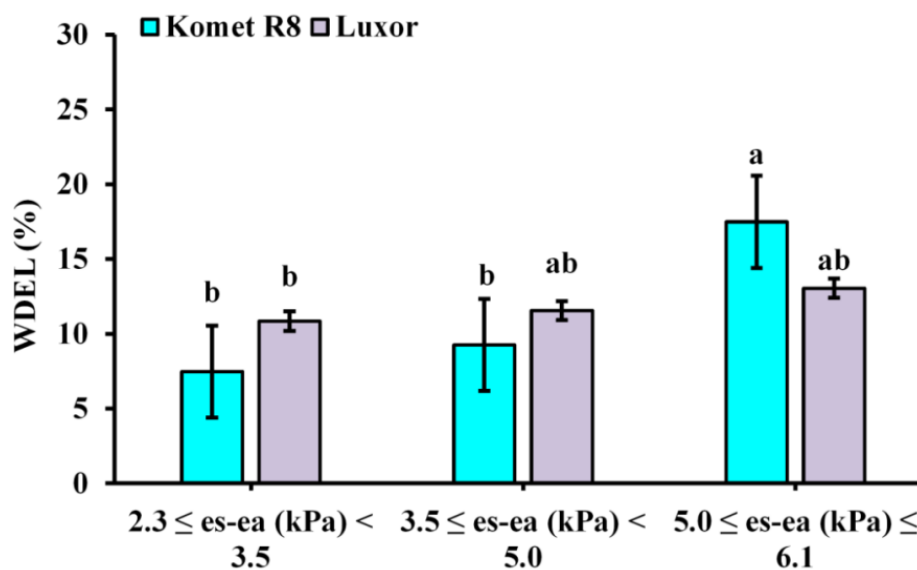
همبستگی را با تلفات تبخیر و بادبردگی دارند و این همبستگی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار است.

### اثر کمبود فشار بخار اشباع

اثر کمبود فشار بخار اشباع منطقه بر WDEL معنی‌دار است ( $P < 0.05$ )

### جدول (۴): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان تلفات تبخیر و

(در شکل (۳)، اثر کمبود فشار بخار اشباع بر WDEL، به تفکیک آبپاش‌ها نشان داده شده است. در هر دو آبپاش با افزایش کمبود فشار بخار اشباع، WDEL آبپاش‌ها افزایش می‌یابد اما این افزایش فقط در آبپاش کامت و در بازه زیاد معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). به عبارتی با افزایش



شکل (۳): اثر کمبود فشار بخار اشباع هوا بر تلفات تبخیر و بادبردگی دو آبپاش کامت R8 و لاکسور (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند)

### اثرات متقابل پارامترها بر تلفات تبخیر و بادبردگی آبپاش‌ها

اثرات متقابل پارامترهای نوع آبپاش و سرعت باد، نوع آبپاش و فشار کارکرد و همچنین نوع آبپاش و کمبود فشار بخار اشباع در بخش‌های قبلی ذکر شد. اثر متقابل پارامترهای سرعت باد و فشار کارکرد، سرعت باد و کمبود



et al. (1985) و Tarjuelo et al. (1999) نیز اثرگذاری ارتفاع پایه آبیاری بر WDEL را معنی‌دار گزارش کردند. عدم تطابق نتایج این محققین با نتایج طرح حاضر، به دلیل تفاوت در وضعیت منطقه مورد مطالعه آنها می‌باشد، زیرا اثر هر کدام از پارامترهای هیدرولیکی و یا کلیماتولوژی بر روی WDEL، تحت تأثیر تمامی عوامل موثر بر WDEL و یا به عبارتی شرایط کلی حاکم بر انجام آزمایشات می‌باشد. با افزایش مدت زمان آبیاری از یک ساعت به سه ساعت، WDEL به طور متوسط ۲۴ درصد کاهش یافت. با افزایش مدت زمان آبیاری، شرایط کلیماتولوژی مزرعه تغییر می‌کند به طوری که با افزایش رطوبت اتمسفر مزرعه، کمبود فشار بخار اشباع، کاهش می‌یابد و بنابراین WDEL کاهش پیدا می‌کند. اگرچه در این پژوهش، با افزایش مدت زمان آبیاری، کاهش WDEL معنی‌دار نبوده است اما برای اندازه‌گیری میزان WDEL در شرایط مزرعه‌ای، علیرغم پیشنهاد استاندارد ISO15886-3:2021 برای انجام آزمایشات در مدت زمان ۱ ساعت، پیشنهاد می‌شود که پارامتر مدت زمان آبیاری مورد توجه قرار گیرد. در این راستا، مدت زمان‌های آبیاری رایج در منطقه هم می‌تواند راهنمای خوبی برای تصمیم‌گیری باشد. با افزایش سرعت چرخش آبیاری از ۱/۵ دور در دقیقه به ۳/۵ دور در دقیقه به طور میانگین ۱۳/۴ درصد WDEL کاهش یافت. با افزایش سرعت چرخش آبیاری، تعداد ضربات متناوب بازوی متحرک بر جت آب افزایش می‌یابد که سبب تغییر الگوی جت آب و اندازه قطرات آن می‌گردد (کریمی و همکاران، ۱۴۰۱). همچنین دور تندتر چرخش آبیاری، احتمالاً تغییر کلیماتولوژی اتمسفر مزرعه را هم به همراه داشته‌باشد. به هر حال نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که این تغییرات سبب کاهش WDEL شده است. این کاهش می‌تواند مربوط به کاهش بادبردگی قطرات آب و یا حتی کاهش تبخیر آن در طی مسیر از دهانه آبیاری تا سطح زمین باشد. کریمی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان، گزارش کردند که افزایش سرعت چرخش آبیاری ضربه‌ای سبب کاهش معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) ضریب یکنواختی آبیاری شده است.

فشار بخار اشباع و همچنین فشار کارکرد و کمبود فشار بخار اشباع بر WDEL آبیاری‌ها معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ )

#### جدول (۴): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و کلیماتولوژی و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر میزان تلفات تبخیر و

تغییرات افزایشی تمامی پارامترهای مذکور بر WDEL هم‌سو می‌باشد. بنابراین افزایش پارامترهای مذکور، اثر افزایشدهنده بر WDEL داشته که در هر دو آبیاری معنی‌دار بوده است.

#### اثر برخی پارامترهای مستقل بر میزان WDEL آبیاری کامت R8

اثر تغییرات پارامترهای ارتفاع پایه آبیاری، مدت زمان آبیاری و سرعت چرخش آبیاری و همچنین اثرات متقابل آن‌ها بر WDEL، برای آبیاری کامت R8 مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس هر یک از پارامترهای مذکور در ارائه شده است. هیچ یک از پارامترهای مذکور اثر معنی‌داری بر WDEL آبیاری کامت R8 نداشتند. نتایج نشان داد با افزایش ارتفاع پایه آبیاری از یک متر به دو متر، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی به طور متوسط، ۲۰/۹ درصد افزایش یافت. با افزایش ارتفاع پایه آبیاری، جت آب در طول مسیر از ارتفاع بلندتری نسبت به سطح زمین برخوردار خواهد بود. همچنین سرعت باد با افزایش ارتفاع، به صورت لگاریتمی افزایش می‌یابد که سبب افزایش پتانسیل بادبردگی قطرات آب خواهد شد. بنابراین در منطقه مورد مطالعه که کشاورزان متناسب با ارتفاع گیاه، از ارتفاع‌های متفاوت پایه آبیاری استفاده می‌کنند تا ارتفاع پایه ۲ متر، میزان افزایش نسبی WDEL برای آبیاری کامت در حدود ۲۱ درصد خواهد بود و معنی‌دار نمی‌باشد. این در حالی است که کریمی و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی اثر ارتفاع آبیاری ۱ و ۱/۵ متری بر روی تلفات تبخیر و بادبردگی نشان دادند که در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثرگذاری مذکور معنی‌دار است. همچنین Edling

جدول (۵): تجزیه واریانس اثر پارامترهای مختلف هیدرولیکی و اثرات متقابل آن‌ها بر تلفات تبخیر و بادبردگی آبپاش کامت R8

تعداد پارامتر	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Pr	سطح معنی‌داری (%)
	ارتفاع پایه آبپاش*	۱	۴/۰۰×۱۰	۱/۵۱	۰/۲۳	
یک پارامتره	مدت‌زمان انجام آزمایش*	۱	۵/۲۶×۱۰	۲/۰۳	۰/۱۷	<۱
	سرعت چرخش آبپاش*	۱	۶/۴۳	۰/۲۳	۰/۶۴	
	سرعت چرخش آبپاش × ارتفاع پایه آبپاش*	۲	۲/۰۱×۱۰	۰/۷۲	۰/۵۰	
دو پارامتره	سرعت چرخش آبپاش × مدت‌زمان انجام آزمایش*	۲	۳/۴۹×۱۰	۱/۳۲	۰/۲۹	<۱
	ارتفاع پایه آبپاش × مدت‌زمان انجام آزمایش*	۲	۴/۰۰×۱۰	۱/۵۵	۰/۲۴	
سه پارامتره	سرعت چرخش آبپاش × ارتفاع پایه آبپاش × مدت‌زمان انجام آزمایش*	۳	۲/۷۷×۱۰	۱/۰۳	۰/۴۰	<۱

\* عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد ( $P > 0.01$ )

فشار بخار اشباع و یا سرعت باد از کم به ملایم، WDEL آبپاش کامت افزایش قابل توجهی یافت. در محدوده تغییرات عوامل کلیماتولوژی و هیدرولیکی طرح حاضر، اثر فشار کارکرد بر WDEL هر دو آبپاش یکسان بود. افزایش ارتفاع پایه آبپاش از یک متر به دو متر در آبپاش کامت، باعث افزایش ۲۱ درصدی تلفات تبخیر و بادبردگی شد. با افزایش مدت‌زمان آبیاری از یک ساعت به سه ساعت و همچنین افزایش سرعت چرخش آبپاش از ۱/۵ دور در دقیقه به ۳/۵ دور در دقیقه، WDEL آبپاش کامت به ترتیب، ۲۴ درصد و ۱۳/۴ درصد کاهش یافت که پیشنهاد می‌شود در تخمین آن در طرح‌های مطالعاتی، مورد توجه قرار گیرد. به طور کلی پتانسیل تلفات تبخیر و بادبردگی در آبپاش کامت نسبت به آبپاش لاکسور بیشتر بوده و در محدوده تغییرات پارامترهای سیستمی و کلیماتولوژی طرح حاضر، بر اساس شاخص میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، عملکرد آبپاش چرخ‌دنده‌ای لاکسور بر آبپاش ضربه‌ای کامت R8 برتری دارد.

## نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL) دو آبپاش ضربه‌ای کامت R8 و توربینی لاکسور در شرایط مزرعه‌ای بررسی و مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین اثر قطر ظروف جمع‌آوری آب نیز مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد قطر ظروف جمع‌آوری تأثیر معنی‌داری بر WDEL نداشت و جهت ارزیابی عملکرد آبپاش‌ها، حداقل قطر ظروف جمع‌آوری پیشنهاد شده در استاندارد (۸۵ mm)، برای منطقه مورد مطالعه کفایت می‌کند. اختلاف معنی‌داری بین WDEL دو آبپاش ضربه‌ای و توربینی در شرایط هیدرولیکی و کلیماتولوژی رایج منطقه (تا سرعت باد ۱۱/۵ کیلومتر بر ساعت و درجه حرارت هوای ۴۰ درجه سانتی‌گراد) وجود نداشت اما پتانسیل تبخیر و بادبردگی قطرات آب آبپاش کامت بسیار بیشتر از آبپاش لاکسور بود؛ به طوری که با افزایش کمبود



## منابع

- آذربو، ن.، معروف پور، ع. فرزنان کیا، ف. و ب. رستمیان. ۱۳۹۵. بررسی دقت برخی از مدل های برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت. پژوهش آب ایران، سال دهم، ص ۴۰-۴۷.
- باوی، ع. ۱۳۸۴. بررسی تاثیر باد و درجه حرارت بر یکنواختی توزیع و تلفات تبخیر و باد در آبیاری کلاسیک ثابت با آبپاش ژاله ۳. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و بارانی تحقیقات اهواز.
- حسینی، ی.، رئوف، م. و ف. نظری گیگلو. ۱۳۹۹. ارزیابی و مدلسازی تلفات تبخیر و باد بردگی سامانه آبیاری عقربه‌ای در منطقه مغان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (۵) ۲۷، ص ۱۰۹-۱۲۷.
- رستمیان، ب.، معروف پور، ع.، آذربو، ن. و ف. فرزنان کیا. ۱۳۹۳. بررسی اثر عوامل جوی و هیدرولیکی بر میزان تلفات تبخیر و باد آبپاش‌های ضربه‌ای در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت. آب و خاک، (۴) ۲۸، ص ۶۶۹-۶۶۱.
- ساعدی، س. ا. و پ. تروی. ۱۴۰۱. پیش‌بینی تلفات تبخیر و باد بردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۳) ۱۶، ص ۵۳۷-۵۴۹.
- کریمی، ن.، دهقان، د.، مولودی، ش.، سی و سه مرده، ع. و ع. معروف پور. (۱۴۰۱). بررسی اثر برخی عوامل ساختمان آبپاش، سامانه آبیاری و مدیریت آن بر ضریب یکنواختی در آبیاری بارانی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک.
- کریمی، ب.، محمدی نسب، آ. و چ. عبدی. ۱۳۹۵. ارزیابی تلفات تبخیر و باد بردگی در سیستم آبیاری بارانی شبانه و روزانه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، (۱) ۱۰، ص ۱۲۸-۱۳۵.
- موسوی بایگی، م.، علیزاده، ا.، عرفانیان ارغوانیان سرشوری، م.، انصاری، ح. و ج. باغانی. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر عوامل اقلیمی و سیستمی بر تلفات تبخیر و باد بردگی در آبیاری بارانی. علوم و صنایع کشاورزی.
- Al-Ghobari, H. M., El-Marazky, M. S., Dewidar, A. Z., and Mattar, M. A. 2018. Prediction of wind drift and evaporation losses from sprinkler irrigation using neural network and multiple regression techniques. *Agricultural Water Management*, 195, 211-221
- Alnaizy, R., and Simonet, D. 2012. Analysis of Water Evaporation and Drift Losses During Irrigation in Semi-arid Areas of Sharjah (UAE) and Riyadh (KSA). *Natural Resources Research*, 21(2).
- De Wrachien, D., and Lorenzini, G. 2006. Modelling jet flow and losses in sprinkler irrigation: overview and perspective of a new approach. *Biosystems engineering*, 94(2), 297-309 .
- Dechemi, F., Playa'n, E., Cavero, J., Faci. and Martinez, A. 2003. Wind effect on solid set sprinkler irrigation depth and yeild of maize (*Zea mays*). *Irrigation science*, 22:67-77.
- Dylla, A., and Shull, H. 1983. Estimating losses from a rotating-boom sprinkler. *Transactions of the ASAE*, 26(1), 123-0125 .
- Edling, R. 1985. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplets from low pressure irrigation nozzles. *Transactions of the ASAE*, 28(5), 1543-1550 .
- Faci, J. M., and Bercero, A. 1991. Efecto del viento en la uniformidad y en las pe'rdidas por evaporacio'n y arrastre en elriego por aspersion. *Inv. Agric. Prod. Prot. Veg*, 6(2), 171-182.
- Frost, K.R. and Schwalon, H.C. 1955. Sprinkler evaporation losses. *Agriculture Engineering*. 36(8), 526-528.
- ISO15886-3. 2021. Agricultural irrigation equipment - Sprinklers - Part 3: Characterization of distribution and test methods. International Standardization Organisation, Geneva, Switzerland.





- Keller, J. and Bliesner, R.D. 1990. Sprinkler and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York, USA.
- Keller, J., and Bliesner, R. 2000. Sprinkle and trickle irrigation. Caldwell. In: NJ. The Blackburn Press. 351p.
- Kincaid, D. C., Solomon, K. H., and Oliphant, J. C. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinklers. Transactions of the ASAE, 39(3), 839-845 .
- 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.
- Lorenzini, G. 2002. Air temperature effect on spray evaporation in sprinkler irrigation. Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage, 51(4), 301-309 .
- 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.
- Martínez-Cob, A., Playán Jubillar, E., Zapata Ruiz, N., Cavero Campo, J., Medina Pueyo, E. T., and Puig Basa, M. 2008. Contribution of evapotranspiration reduction during sprinkler irrigation to application efficiency .
- Mattar, M. A., Roy, D. K., Al-Ghobari, H. M., and Dewidar, A. Z. 2022. Machine learning and regression-based techniques for predicting sprinkler irrigation's wind drift and evaporation losses. Agricultural Water Management, 265, 107529 .
- McLean, R., Ranjan, S., and Klassen, G. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. Canadian Agricultural Engineering, 42(1), 1-8 .
- 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.
- Molle, B., Tomas, S., Hendawi, M., and Granier, J. 2012. Evaporation and wind drift losses during sprinkler irrigation influenced by droplet size distribution. Irrigation and Drainage, 61(2), 240-250 .
- Montero, J. 1999. Análisis de la distribución de agua en sistemas de riego por aspersión estacionario. Desarrollo del Modelo de Simulación de Riego por Aspersión (SIRIAS). Colección Tesis Doctorales N°103. Ediciones Universidad de Castilla La Mancha, España.
- Montero, J., Tarjuelo, J., Ortega, J., and de Juan, J. 2000. Discharge efficiency in sprinkling irrigation: analysis of the evaporation and drift losses in semi-arid areas .
- Naderianfar, M., Faryabi, A., and Dehghan, H. 2018. Estimation of wind drift and evaporation losses in sprinkler irrigation of urban green spaces. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 14(1), 77-96 .
- Peters, R. T., Neibling, H., Stroh, R., Molaie, B., and Mehanna, H. 2016. Low energy precision application (LEPA) and low elevation spray application (LESA) trials in the Pacific Northwest. Proceedings of 2016 California Alfalfa and Forage Symposium.



- Playa'n, E., Salvador, R., Faci, J.M., Zapata, N., Martı́nez-Cob, A. and Sa'nchez, I. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *Journal of Agriculture Water Management*. 76: 139–159.
- Sarwar, A., Peters, R. T., & Mohamed, A. Z. 2020. Linear mixed modeling and artificial neural network techniques for predicting wind drift and evaporation losses under moving sprinkler irrigation systems. *Irrigation Science*, 38, 177-188.
- Sarwar, A., Peters, R. T., Shafeeqe, M., Mohamed, A., Arshad, A., Ullah, I., Saddique, N., Muzammil, M., and Aslam, R. A. 2021. Accurate measurement of wind drift and evaporation losses could improve water application efficiency of sprinkler irrigation systems– A comparison of measuring techniques. *Agricultural Water Management*, 258, 107209 .
- Seginer, I., Kantz, D., and Nir, D. 1991. The distortion by wind of the distribution patterns of single sprinklers. *Agricultural Water Management*, 19(4), 341-359 .
- 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 .
- 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.
- Yazar, A. 1984. Evaporation and drift losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. *Journal of Agriculture Water Management*. 8:439-449.