

Evaporation and Wind Blowdown Losses of a Fixed Classic Sprinkler Irrigation System with Mobile Sprinklers in Isfahan Province

Elahe Ebrahimi, Mahdi Gheysari* and Alireza Gohari¹

(Received: May 28-2025 ; Revised: August 3-2025 ; Accepted: September 21-2025)

1. Department of Water Science and Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding author, Email: gheysari@iut.ac.ir

Abstract

Given the rising need for water consumption and the decrease in available water resources, improving water use efficiency appears essential. Using modern irrigation techniques and applying irrigation management based on current, accurate scientific principles will enhance irrigation efficiency. This study aimed to estimate evaporation and windfall losses using meteorological variables and measure these losses in the cities of Isfahan, Golpayegan, and Fereydounshahr under different weather conditions. Evaporation and windfall losses were examined at 3, 6, 9, 12, and 15 hours using two selected equations across three meteorological stations with seven years of weather data. Then, evaporation and windfall losses were estimated using two experimental methods (abbreviated as WD1 and WD2), a science-based method (named droplet size), and field measurements. Results showed that evaporation and windage losses calculated with the empirical equation WD1 were about 2% higher than the field measurement value, while WD2 was about 1.5% lower. The correction factors for WD1 were 0.54, 0.44, and 0.51 for Isfahan, Fereydounshahr, and Golpayegan, respectively, and for WD2, it was 1.62, 1.17, and 1.56, respectively. The differences in evaporation and windage losses at various times of day and months of the year were statistically significant at the 5% level.

Keywords: Meteorological variables, Field measurement, Droplet size, Water productivity

How to cite this article: Ebrahimi, E., Gheysari, M. and Gohari, A. 2025. Evaporation and Wind Blowdown Losses of a Fixed Classic Sprinkler Irrigation System with Mobile Sprinklers in Isfahan Province. *J. Water and Soil Sci.* 29(4): 62-72. DOI: [10.47176/jwss.29.4.71331](https://doi.org/10.47176/jwss.29.4.71331)

Copyright © 2025 Ebrahimi et al. Published by Isfahan University of Technology.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در استان اصفهان

الهه ابراهیمی، مهدی قیصری*  و علیرضا گوهری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۳/۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۵/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۳۰)

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gheysari@iut.ac.ir

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون نیاز مصرف آب و کاهش منابع آب قابل استفاده، افزایش بهره‌وری مصرف آب ضروری به نظر می‌رسد. استفاده از روش‌های نوین آبیاری و اعمال مدیریت آبیاری بر اساس اصول علمی نوین و دقیق باعث افزایش کارایی آبیاری خواهد شد. هدف این پژوهش برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از متغیرهای هواشناسی و اندازه‌گیری تلفات تبخیر و بادبردگی در شهرهای اصفهان، گلپایگان و فریدون‌شهر با شرایط آب‌وهوایی متفاوت بود. تلفات تبخیر و بادبردگی در ساعات ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۵ با استفاده از دو معادله انتخابی در سه ایستگاه هواشناسی با آمار آب‌وهوایی هفت‌ساله بررسی شد. سپس با دو روش تجربی (با نام‌های اختصاری WD1 و WD2) و یک روش مبتنی بر علوم (با نام اندازه قطرات) و اندازه‌گیری میدانی، مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی برآورد شد. نتایج نشان داد تلفات تبخیر و بادبردگی محاسبه‌شده با استفاده از معادله تجربی WD1 حدود ۲ درصد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری میدانی و معادله تجربی WD2 حدود ۱/۵ درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری میدانی بود. ضریب تصحیح برای معادله WD1 در شهرهای اصفهان، فریدون‌شهر و گلپایگان به ترتیب برابر با ۰/۵۴، ۰/۴۴ و ۰/۵۱ و برای معادله WD2 به ترتیب برابر با ۱/۶۲، ۱/۱۷ و ۱/۵۶ بود. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی بین ساعات مختلف روز و ماه‌های مختلف سال اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند.

واژه‌های کلیدی: متغیرهای هواشناسی، اندازه‌گیری میدانی، اندازه قطرات، بهره‌وری آب

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. © ۱۴۰۴.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط به استناد صحیح به مقاله و با رعایت

شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است: (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



مقدمه

امروزه بخش قابل توجهی از نیاز غذایی مردم دنیا از اراضی کشاورزی تحت آبیاری تأمین می‌شود. این نوع کشاورزی در قرن اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی داشته و باعث افزایش تولید محصول شده است. در دهه‌های اخیر منابع مالی هنگفتی در سراسر دنیا به اجرای پروژه‌های آبیاری اختصاص داده شده است با این وجود، با توجه به محدودیت‌های مالی موجود و هزینه اجرای زیاد این پروژه‌ها، لزوم انجام پژوهش‌های گسترده به منظور کاهش تلفات آب، افزایش کارایی مصرف آب و بهبود عملکرد تولید اراضی کشاورزی تحت آبیاری ضروری به نظر می‌رسد. در سال‌های اخیر در ایران سیستم‌های آبیاری بارانی به دلیل سهولت کاربرد و قابلیت اتوماتیک شدن، بسیار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. عمده سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش متحرک است. بر اساس آمارهای موجود، حدود ۲/۵ میلیون هکتار از اراضی کشاورزی ایران به سیستم‌های آبیاری بارانی تجهیز شده‌اند.

آبیاری بارانی با وجود تمام مزیت‌هایی که دارد، مشکلاتی نیز دارد. مقداری از آب قبل از اینکه به خاک برسد، ممکن است در هوا تبخیر شود یا توسط باد جابه‌جا شود و از مزرعه خارج شود که به این تلفات، تبخیر و بادبردگی می‌گویند. این بخش از آب از حوضه آبریز خارج شده و به‌عنوان تلفات محسوب می‌شود. میزان این تلفات تحت تأثیر عواملی مانند سرعت و جهت باد، فشار سیستم آبیاری، انتخاب مناسب آبپاش و نازل، و همچنین نحوه مدیریت آبیاری قرار دارد (۳ و ۱۰).

الگوی توزیع آب در سیستم‌های آبیاری بارانی به فاکتورهای زیادی از قبیل نوع آبپاش، قطر و تعداد نازل، فشار کاری و خصوصیات نازل بستگی دارد. بعضی از فاکتورها مانند قطر نازل و فشار کاری با تأثیر بر اندازه قطرات بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی اثر می‌گذارند (۶).

کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) اندازه قطرات آب را یکی از عوامل مؤثر در میزان تلفات تبخیر و بادبردگی دانسته‌اند (۵). مونتر و همکاران (۲۰۰۰) با در نظر گرفتن تیمارهای مختلف مانند نوع

آبپاش، اندازه و تعداد نازل‌ها، فشار آب و ارتفاع پایه آبپاش با استقرارهای متفاوت آبپاش‌ها و شرایط مختلف جوی، سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع محیط را از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی دانستند (۸). تارجلو و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که عوامل فشار کارکرد آبپاش، رطوبت هوا و سرعت باد، بر تلفات تبخیر و بادبردگی مؤثر است (۱۲). مونتر و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که قطرات درشت مقاومت بیشتری در برابر حرکت توده هوا از خود نشان می‌دهند. تلفات تبخیر و بادبردگی قطرات درشت کمتر است. با افزایش فشار نازل، قطر قطرات کاهش پیدا می‌کند و باعث افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی می‌شود (۷). دجی و همکاران (۲۰۰۳) گزارش کردند که افزایش ارتفاع نازل از سطح زمین و در نتیجه طولانی‌تر شدن مسیر قطره تا زمین و مدت‌زمان طولانی حرکت در هوا و قرار گرفتن بیشتری در معرض باد، باعث افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی می‌شود (۲). عرفانیان و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که در مناطق بادخیز به منظور کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی، از فشار کارکرد زیاد و در نهایت قطرات ریز آب خودداری شود. همچنین به منظور کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایطی که سرعت باد از ۴/۵ متر بر ثانیه بیشتر است، از به‌کارگیری سیستم آبیاری بارانی اجتناب شود و یا زمان کار سیستم به شب موکول شود (۴). یاکوبی و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی شده تأیید کردند که آبیاری در شب، تلفات آب را تقلیل می‌دهد (۱۴). یاکوبی و همکاران (۲۰۱۲) گزارش کردند که وقتی سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه فراتر رود، آبیاری بارانی متوقف شود و علاوه بر این، سرعت باد و رطوبت نسبی از مهم‌ترین و مؤثرترین پارامترهایی هستند که بر تلفات تبخیر و بادبردگی تأثیر می‌گذارند (۱۳). عطائی در مناطقی از استان اصفهان تعدادی از طرح‌های آبیاری تحت فشار را ارزیابی کرد و راندمان پتانسیل آبیاری بارانی را بین ۱۸ تا ۷۰ درصد و متوسط راندمان واقعی کاربرد را ۵۱ درصد گزارش کرد (۱). با توجه به اهمیت اطلاع از مقدار دقیق تلفات تبخیر و بادبردگی

اساس نتایج بخش اول، راهکارهای مدیریتی به منظور افزایش کارایی آبیاری در نقاط مختلف استان پیشنهاد شده است.

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی تحت سناریوهای مختلف
در منابع علمی معادله‌های بسیاری برای محاسبه تلفات تبخیر و بادبردگی ارائه شده است (جدول ۲).

برای انتخاب معادلات مناسب برآورد تبخیر و بادبردگی (Wind Drift and Evaporation Losses, WDEL)، ابتدا دامنه تغییرات متغیرهای هواشناسی در ایستگاه‌های منتخب استان اصفهان استخراج و با شرایط اقلیمی مبنای معادلات مختلف مقایسه شد. سپس با بررسی تطابق نوع آبیاری، فشار کاری و ویژگی‌های سیستم‌های آبیاری منطقه با شرایط مفروض در هر معادله، معادلاتی که بیشترین انطباق را داشتند انتخاب شدند که به شرح زیر است:

$$LOSSES_{ijk} = a + SPR_i + NOZ(ASP)_{j(i)} + b(e_s - e_a)^{0.5} + cw + e_{k(ij)} \quad (WDEL1) \quad (1)$$

$$LOSSES = aP + b(e_s - e_a)^{0.5} + cw + e \quad (WDEL2) \quad (2)$$

در این معادلات:

LOSSES: درصد تلفات تبخیر و بادبردگی

a و b و c: اعداد ثابت هستند که در معادله WDEL1 به ترتیب برابر با ۸/۶۳، ۱۸/۱۰ و ۱/۴۱ و در معادله WDEL2 به ترتیب برابر با ۰/۰۰۷، ۷/۳۸ و ۰/۸۴۴ است.

SPR: عدد ثابت مربوط به آبیاری برابر با ۲/۰۲- است.

NOZ(ASP): عدد ثابت مربوط به نازل آبیاری برابر با ۰/۵۸- است.

W: سرعت باد برحسب متر بر ثانیه

ea: فشار بخار واقعی هوا

es: فشار بخار اشباع

P: فشار کار بر حسب کیلوپاسکال

e: درصد خطا

و از طرفی هزینه‌بر بودن و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری میدانی، ضرورت دارد علاوه بر کمی‌کردن میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، عوامل مؤثر بر تلفات و میزان نقش آنها تعیین شود. با این وجود تاکنون در فلات مرکزی ایران مطالعه جامعی مبتنی بر اندازه‌گیری میدانی و ارزیابی مدل‌های تجربی در خصوص تعیین تلفات تبخیر و بادبردگی انجام نشده است.

این مطالعه با هدف ارزیابی تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک در سه منطقه با اقلیم‌های متفاوت (اصفهان، گلپایگان، فریدون‌شهر) انجام شده است. همچنین، در این مطالعه نتایج مدل‌های تجربی و مدل‌های با مبنای علمی با داده‌های میدانی مقایسه شدند تا مدل‌های با دقت بیشتر برای مناطق مورد بررسی شناسایی و معرفی شوند.

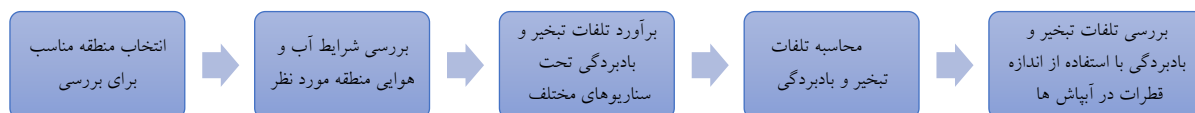
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

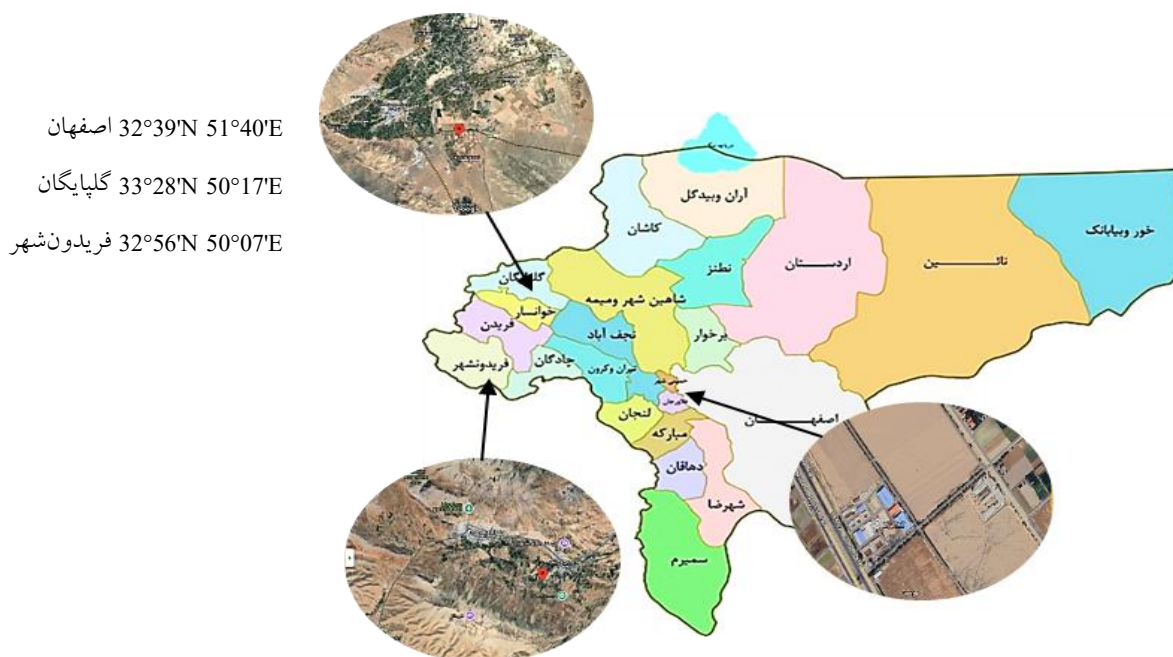
طبق آمار سال ۹۷، در استان اصفهان در مجموع ۱۰۵۲۸۰ هکتار طرح‌های آبیاری تحت فشار اجرا شده است که از این مجموع، ۷۲۲۵۴ هکتار آن آبیاری بارانی است.

شرایط آب‌وهوایی

برای مطالعه تبخیر و بادبردگی، مطابق فلوچارت شکل ۱ و موقعیت مکان‌های مشخص‌شده در شکل ۲، داده‌های ایستگاه‌های منتخب (اصفهان، گلپایگان، فریدون‌شهر) در تمامی ماه‌های سال و دوره‌های سه‌ساعته با توجه به اهمیت زمان از روز در تلفات تبخیر و بادبردگی جمع‌آوری شد. در بخش اول، تلفات تبخیر و بادبردگی تحت سناریوهای مختلف قابل طرح با استفاده از معادله‌های توسعه‌داده‌شده در مراجع معتبر مشخصات آب و هوایی مناطق مورد مطالعه مطابق جدول ۱ محاسبه و ارائه شده است و در بخش دوم، ارزیابی عملکرد و محاسبه تلفات تبخیر و بادبردگی در شرایط واقعی اندازه‌گیری شده است. سپس بر



شکل ۱. مراحل بررسی تلفات تبخیر و بادبردگی



شکل ۲. موقعیت مکانی سایت‌های اندازه‌گیری پژوهش

جدول ۱. مشخصات آب و هوایی مناطق مورد مطالعه

شاخص	واحد	اصفهان	گلپایگان	فریدونشهر
بیشینه دمای روزانه	درجه سانتی‌گراد	۴۰	۳۷/۵	۲۸/۳
کمینه دمای روزانه	درجه سانتی‌گراد	-۵	-۱۳	-۱۰
متوسط بارش سالانه	میلی متر	۱۰۰-۱۲۰	۲۲۵-۳۵۰	۵۷۰-۶۰۰
متوسط سرعت باد سالانه	مایل بر ساعت	۵/۵-۸/۵	۷-۹/۶	۷/۳۴
جهت باد غالب	-	غرب و شمال غرب	شمال غربی	غرب

محاسبه تلفات تبخیر و بادبردگی

تلفات تبخیر و بادبردگی (WDEL) بر اساس تعریف، مقدار آبی است که از نازل خارج می‌شود؛ ولی به زمین (یا تاج پوشش گیاه) نمی‌رسد. این مقدار بر اساس معادله ۳ قابل محاسبه است.

$$WDEL = \frac{(q_s * t) - (9 \sum_{i=1}^{144} z_i)}{(q_s * t)} \quad (3)$$

WDEL: درصد تلفات تبخیر و بادبردگی

q_s : دبی آبیاری (L/min یا m^3/h بسته به واحد)

t : زمان عملکرد سیستم (معمولاً بر حسب دقیقه یا ثانیه)

جدول ۲. معادله‌های تخمین تلفات تبخیر و بادبردگی مستخرج از منابع

معادله	شاخص‌ها	مرجع
$(e_s - e_a) = e_s \left(1 - \frac{H}{100} \right) = 0.611 \exp \left(\frac{17.27 T_a}{237.3 + T_a} \right) \cdot \left(1 - \frac{H}{100} \right)$	e_a فشار بخار واقعی هوا (kPa) e_s فشار بخار اشباع (kPa) T_a درجه حرارت هوا (°C) H رطوبت نسبی	(Murray, 1967)
$L = \frac{Q_e}{Q_s} = 0.0087 e^{0.213 W} (T_a - T_w)^{0.58}$	L تلفات Q_e آب تبخیر شده (m³/s) Q_s آب تخلیه شده آبپاش (m³/s) T_a دمای خشک دماسنج (°C) T_w دمای تر دماسنج (°C) W سرعت باد (m/s)	(Seginer et al., 1991)
$EFT-NOZ_{ijk} = LOSSES_{ijk} - (a + SPR_i + b(e_s - e_a)_{ijk}^{0.5} + cW_{ijk})$		(Seginer et al., 1991)
$LOSSES_{ij} = a + SPR_i + NOZ(ASP)_{j(i)} + b(e_s - e_a)^{0.5} + cw + e_{k(ij)}$		
$LOSSES = aP + b(e_s - e_a)^{0.5} + cW + e$	P فشار کار (kPa)	(Campbell, 1995)

که در آن P فشار آب در سر آبپاش (KPa) و B قطر روزنه سر آبپاش (mm) است.

چنانچه $CI \leq 7$ باشد، قطرات درشت و اگر $CI \geq 17$ باشد، قطرات ریز خواهند بود.

در شکل ۳ سه وضعیت برای سرعت باد و برای قطرات ریز و درشت نمودارها ارائه شده است. در صورتی که CI بین ۷ و ۱۷ باشد، مقدار Re از معادله ۵ به دست می‌آید.

$$RE = \frac{(CI - 7)}{10} (Re)_f + \frac{(17 - CI)}{10} (Re)_c \quad (5)$$

CI : درشتی (Coarseness Index) یا نمایه درشتی قطرات آب تولیدشده توسط آبپاش

Ref : قطرات ریز (fine droplets)

Rec : قطرات درشت (coarse droplets)

با استفاده از معادله CI (معادله ۴)، نمایه درشتی قطرات محاسبه شد. با استفاده از اطلاعات هواشناسی ثبت شده و با فرمول پنمن - مانتیث

Z_i : مقدار آب دریافت شده در هر نقطه از سطح در زمان

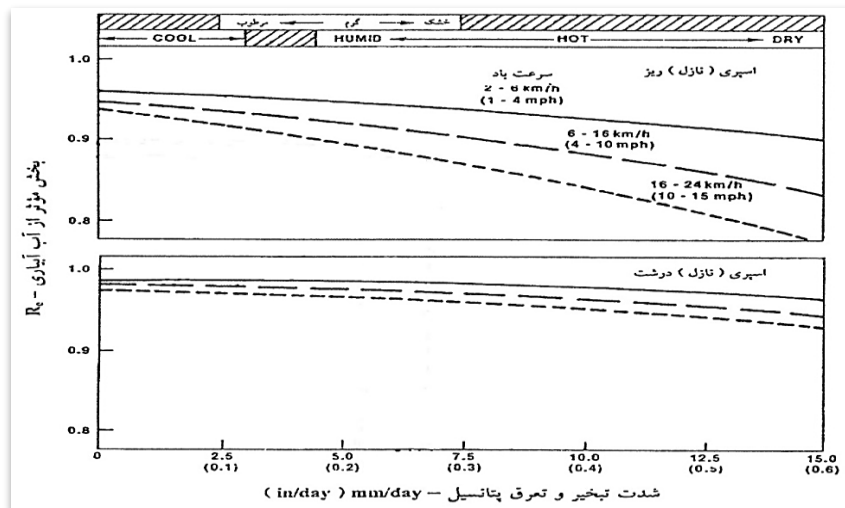
(برای نمونه از پلیت‌های جمع‌آورنده یا سنسورها)

۱۴۴: تعداد نقاط اندازه‌گیری (مثلاً ۱۲×۱۲ شبکه جمع‌آوری) عدد ۱۰۰ برای تبدیل به درصد استفاده می‌شود.

بررسی تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اندازه قطرات در آبپاش‌ها

هرچه فشار آب زیادتر باشد، حجم آب خروجی زیادتر شده و قطرات آب نیز ریزتر می‌شوند. برعکس فشار کم، قطرات درشت‌تری تولید می‌کند. تأثیر درشتی قطرات بر تبخیر و بادبردگی از روی نمایه درشتی (Coarseness Index) که با علامت CI نشان داده می‌شود، تعیین می‌شود (۵). این نمایه طبق معادله ۴ برابر است با:

$$CI = 0.032 \frac{P^{1.3}}{B} \quad (4)$$



شکل ۳. نسبت تعداد قطراتی که به سطح زمین می‌رسند، به تعداد قطراتی که از دهانه سر آبیاش خارج می‌شوند (۵)

بادبردگی با معادله WD2 در گلپایگان با مقدار ۱۰/۸۷ درصد و کمترین مقدار در اصفهان با مقدار ۸/۴۰ درصد برآورد شد.

نتایج نشان داد که گلپایگان بیشترین مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی را در میان شهرهای اصفهان، فریدون‌شهر و گلپایگان داشت که متوسط سرعت باد به ترتیب در شهرهای گلپایگان، اصفهان، فریدون‌شهر برابر ۵/۱۵، ۳/۷۳ و ۳/۲۱ متر بر ثانیه بود؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت سرعت باد یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی است.

پلایان و همکاران (۲۰۰۴) گزارش کردند که سرعت باد مهم‌ترین عامل بر تلفات تبخیر و بادبردگی است (۹). شیخ اسماعیلی (۲۰۰۶) در پژوهش خود روی رابطه تلفات تبخیر و بادبردگی با پارامترهای جوی و هیدرولیکی دریافت که سرعت باد، درجه حرارت هوا و کمبود فشار بخار اشباع محیط از مهم‌ترین پارامترهای جوی مؤثر بر میزان تلفات تبخیر و بادبردگی است (۱۱).

بر اساس نتایج، گلپایگان بیشترین پتانسیل در تلفات تبخیر و بادبردگی را بین سایت‌های مورد بررسی داشت.

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از داده‌های میدانی اندازه‌گیری میدانی در ۲۹ مهر ۱۳۹۷ در اصفهان انجام شد. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی برای ساعت ۱۴/۲۰ تا ۱۵/۵۰

فائو، پتانسیل تبخیر برای هر منطقه محاسبه شد. سپس از روی نمودار با توجه به پتانسیل تبخیر، مقدار R_e به دست آمد.

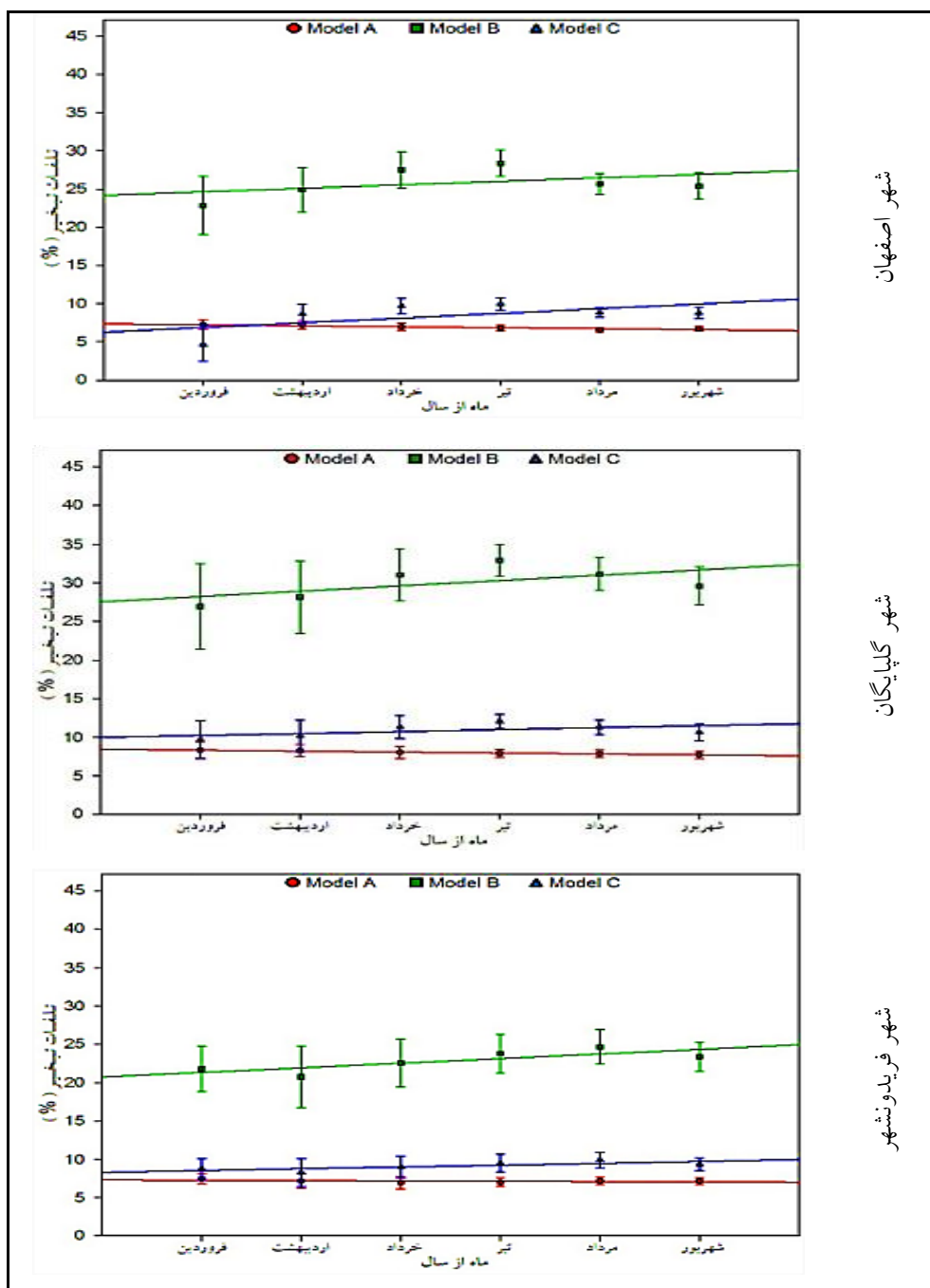
نتایج و بحث

مقایسه تلفات تبخیر و بادبردگی با مدل‌های منتخب در بازه زمانی مختلف

نتایج ارزیابی در شهر اصفهان نشان داد، مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی برآوردشده با معادله WD1 بیشتر از معادله WD2 بوده است (شکل ۴). برای تمام ماه‌های سال، روند تغییرات تلفات تبخیر و بادبردگی از ساعت ۳ صبح تا ۱۲ ظهر افزایشی و سپس کاهشی بود. طبق بررسی‌های انجام‌شده، تلفات تبخیر و بادبردگی در سه شهر نشان داده شده است که تلفات در ساعت ۱۲ ظهر بیشترین مقدار و در ساعت ۳ صبح کمترین مقدار است.

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از معادلات

به‌طور کلی، در نیمسال اول بیشترین مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی با معادله WD1 در گلپایگان با مقدار ۲۹/۹۶ درصد و کمترین مقدار در فریدون‌شهر با مقدار ۲۳/۸۴ درصد برآورد شد. همچنین، در نیمسال اول بیشترین مقدار تلفات تبخیر و



شکل ۴. نمودار تلفات تبخیر و بادبردگی در شهرهای مختلف

برابر ۱۲/۳۹ درصد بوده و در مدت انجام آزمایش، متوسط سرعت باد ۲/۴ متر بر ثانیه و دمای هوا ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. سایز نازل آبپاش ۴ میلی‌متر و فشار نازل ۱۲ تا ۱۵ متر بود. اندازه‌گیری میدانی در ۷ مهر ۱۳۹۷ در گلیگان انجام شد. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی برای ساعت ۱۴/۱۰ تا ۱۶/۱۰

برابر ۱۸/۱۵ درصد بوده و در مدت انجام آزمایش متوسط سرعت باد ۲/۵ متر بر ثانیه و دمای هوا ۲۴ درجه سانتی‌گراد بود. سایز نازل آبپاش ۴ میلی‌متر و فشار نازل ۱۲ تا ۱۵ متر بود. اندازه‌گیری میدانی در ۷ شهریور ۱۳۹۷ در فریدونشهر انجام شد. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی برای ساعت ۱۵/۴۰ تا ۱۷/۴۰

شهر فریدون شهر ۱۲/۹۰، در گلپایگان ۱۴/۹۰ و در اصفهان ۱۱ درصد محاسبه شد.

مدیریت تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم آبیاری بارانی و محاسبه حجم آب صرفه جویی شده با انتخاب زمان مناسب در آبیاری بارانی

سطح تحت پوشش سیستم های آبیاری بارانی در شهرهای اصفهان، گلپایگان و فریدون شهر ۱۳۰۰۰ هکتار است و اگر فرض کنیم مقدار آب خالص آبیاری در آبیاری بارانی حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی لیتر در یک فصل زراعی باشد و راندمان آبیاری بارانی حدود ۷۰٪ باشد، حجم آب ناخالص مورد نیاز برای آبیاری یک هکتار حدود ۸۰۰۰ مترمکعب است؛ بنابراین حجم ناخالص آب مورد استفاده در آبیاری بارانی در شهرهای اصفهان، گلپایگان و فریدون شهر حدود ۱۰۴۰۰۰۰۰۰ مترمکعب است. متوسط تلفات تبخیر و بادبردگی سه شهر یادشده ۱۳/۸۷ درصد است؛ بنابراین حجم آبی که از دسترس مزرعه خارج می شود، برابر با ۱۴۴۲۴۸۰۰ مترمکعب است. میانگین افزایش تلفات ناشی از آبیاری در بعد از ظهر در سه شهر برابر است با ۳/۵۹ درصد که در صورت انتخاب زمان مناسب آبیاری، ۳۷۳۳۶۰۰ مترمکعب آب صرفه جویی شده و به چرخه بازمی گردد.

نتیجه گیری

از نتایج این پژوهش می توان برای تخمین تلفات تبخیر و بادبردگی در طراحی و بهره برداری از سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرهای یادشده و شهرهایی که شرایط اقلیمی مشابه دارند، با استفاده از معادلات و نمودارهای ارائه شده، بهره برد. با توجه به بررسی های انجام شده، باد از مهم ترین پارامترهای جوی است که تأثیر مستقیمی بر تلفات تبخیر و بادبردگی دارد. وقتی سرعت باد از ۴ متر بر ثانیه فراتر رود، باید آبیاری بارانی متوقف شود یا آبیاری در زمان دیگری که سرعت باد کاهش می یابد، انجام

برابر ۱۵/۶۱ درصد بوده و در مدت انجام آزمایش متوسط سرعت باد ۲/۴ متر بر ثانیه و دمای هوا ۳۰ درجه سانتی گراد بود. ساین نازل آبپاش ۴ میلی متر و فشار نازل ۱۲ تا ۱۵ متر بود.

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اطلاعات هواشناسی

برای محاسبه مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از معادله ها، اطلاعات مربوط به معادله ها را از مقادیر ثبت شده توسط هواشناسی استان را مطابق با همان روزهایی که کار میدانی صورت گرفت برای سه شهر انتخابی که از لحاظ آب و هوایی متفاوت بودند (۴)، در روزهای ۷ شهریور، ۷ مهر و ۲۹ مهر را استخراج کرده و مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی محاسبه شد.

مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی محاسباتی در ۷ شهریور ۱۳۹۷ در فریدون شهر با دو معادله WD1 و WD2 به ترتیب ۳۵/۷۶ و ۱۳/۳۹ درصد بود. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی محاسباتی در ۷ مهر ۱۳۹۷ در گلپایگان با دو معادله WD1 و WD2 به ترتیب ۳۵/۷۰ و ۱۱/۶۰ درصد بود. مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی محاسباتی در ۲۹ مهر ۱۳۹۷ در اصفهان با دو معادله WD1 و WD2 به ترتیب ۲۲/۸۰ و ۷/۶۵ درصد بود.

برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اندازه قطرات در آبپاش ها و مقدار Re

با استفاده از فرمول پنمن - مانتیث فائو مقدار تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) با استفاده از داده های هواشناسی ثبت شده محاسبه شد. مقادیر ET_0 برای فریدون شهر در تاریخ ۹۷/۰۶/۰۷، مقدار ۶/۶۱ میلی متر در روز و برای گلپایگان در تاریخ ۹۷/۰۷/۰۷، مقدار ۷/۵۱ میلی متر در روز و برای اصفهان در تاریخ ۹۷/۰۷/۲۹، ۵/۵۱ میلی متر در روز محاسبه شد. با استفاده از مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل و با استفاده از شکل ۳، مقادیر Re و مقادیر تلفات تبخیر و بادبردگی مطابق با جدول ۳ در

جدول ۳. مقایسه تلفات تبخیر و بادبردگی با سه روش (مدل‌ها - داده‌های میدانی - اندازه قطرات در آبیاری و مقدار Re)

نام شهر	مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از معادله		مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی	مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی با استفاده از اندازه قطرات در آبیاری‌ها
	معادله WD1	معادله WD2		
اصفهان	۲۲/۸	۷/۶۵	۱۲/۳۹	۱۱
فریدون‌شهر	۳۵/۷۶	۱۳/۳۹	۱۵/۶۱	۱۲/۹
گلپایگان	۳۵/۷	۱۱/۶	۱۸/۱۵	۱۴/۹

جدول ۴. محاسبه حجم آب صرفه‌جویی‌شده با انتخاب زمان مناسب آبیاری در استان اصفهان

حجم ناخالص آب مورد استفاده در آبیاری بارانی در استان اصفهان (مترمکعب)	افزایش تلفات ناشی از آبیاری در بعدازظهر (درصد)	حجم آبی که در صورت انتخاب زمان مناسب آبیاری (صبح و شب) صرفه‌جویی شده و به چرخه بازمی‌گردد (مترمکعب)
۵۷۸,۰۳۲,۰۰۰	۳/۵۹٪	۲۰,۷۵۱,۳۴۸

شود. دمای هوا تأثیر مستقیمی بر تلفات تبخیر و بادبردگی دارد. با افزایش دمای هوا که شاخصی از مقدار انرژی خورشیدی است، تبخیر ذرات آب پاشیده‌شده در هوا بیشتر شده و حجم بیشتری از آب بخار می‌شود. رطوبت نسبی بیانگر میزان بخار آب موجود در هواست و هرچه مقدار آن کمتر باشد، شدت تبخیر آب پخش‌شده در هوا به وسیله آبیاری برای اشباع‌شدن هوا از بخار آب بیشتر است و هرچه میزان رطوبت نسبی بیشتر باشد، مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی کمتر است؛ بنابراین نتیجه می‌گیریم رطوبت نسبی با تلفات تبخیر و بادبردگی نسبت عکس دارد.

با توجه به نتایج حاصل از بررسی تلفات تبخیر و بادبردگی اصلاح‌شده معادله‌ها، میانگین تلفات تبخیر و بادبردگی اصفهان ۱۴/۵۸ درصد، گلپایگان ۱۵/۹۷ درصد و فریدون‌شهر ۱۱/۴۸ درصد برآورد شد و با استفاده از اندازه‌گیری میدانی مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی اصفهان ۱۲/۳۹ درصد، گلپایگان

۱۸/۱۵ درصد و فریدون‌شهر ۱۵/۶۱ درصد برآورد شد که به‌طور کلی گلپایگان بیشترین مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی را دارد.

میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در سامانه‌های آبیاری بارانی اجراشده در اصفهان ۱۷۶۶۴۰۰ مترمکعب، در گلپایگان ۳۸۴۷۲۰۰ مترمکعب و در فریدون‌شهر ۵۲۱۲۸۰۰ مترمکعب برآورد شد. به طور تقریبی، در کل استان اصفهان مقدار تلفات تبخیر و بادبردگی ناشی از سامانه‌های آبیاری بارانی ۸۰۱۷۳۰۳۸ مترمکعب برآورد می‌شود.

با مدیریت زمان آبیاری، مقداری از تلفات تبخیر و بادبردگی را می‌توان جبران کرد که این مقادیر آب صرفه‌جویی‌شده به ترتیب برای اصفهان برابر با ۴۲۶۰۰۰ مترمکعب، گلپایگان ۱۲۳۳۶۰۰ مترمکعب و در فریدون‌شهر ۹۹۳۶۰۰ مترمکعب است و به طور تقریبی برای کل استان اصفهان برابر با ۲۰۷۵۱۳۴۸ مترمکعب مطابق با جدول ۴ برآورد شد.

References

منابع مورد استفاده

1. Ataei, M. 1997. Evaluation of pressurized irrigation projects implemented in the Isfahan region and examining the possibility of their improvement. Master thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, I.R. Iran.

2. Dechmi, F., E. Playan, J. M. Faci, M. Tejero and A. Bercero. 2003. Analysis of an irrigation district in northeastern Spain: II: Irrigation evaluation, simulation and scheduling. *Agricultural Water Management* 61(2): 93–109.
3. Ebadi, A., N. Zohrehvandi and et al. 2015. Investigation of evaporation and wind erosion losses in a fixed classical sprinkler irrigation system with mobile sprinklers. *Journal of Water and Soil Sciences* 19(73): 25-36.
4. Erfanian, M., A. Alizadeh, M. Mousavi Bayegi, H. Ansari and J. Baghani. 2008. Study of the potential effects of evaporation and wind erosion on the efficiency of sprinkler irrigation systems in the agricultural plains of Khorasan Razavi, North and South provinces. *In: International Water Resources Conference with the First Regional*, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran. <https://civilica.com/doc/83031/>
5. Keller J. and R.D. Bliesner. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York.
6. Kincaid, D. C. and R. N. Longley. 1989. A water droplet evaporation and drift model for irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE* 32(2): 457-463. <https://doi.org/10.13031/2013.31296>
7. Montero J., J.M. Tarjuelo and P. Carrion. 2003. Sprinkler droplet size distribution measured with an optical spectropluviometer. *Irrigation Science* 22(2): 47–56.
8. Montero J., J.M. Tarjuelo, J.F. Ortega and J.A. De juan. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semiarid conditions. *Agricultural Water Management* 43(3): 263 – 284.
9. Playa'n, E., S. Garrido, J.M. Faci and A. Gala 'n. 2004. Characterizing pivot sprinklers using and experimental irrigation machine. *Agricultural Water Management* 70 (3): 177–193.
10. Playán, E. and L. Mateos. 2006. Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. *Agricultural Water Management* 80(1-3):100-116. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.007>
11. Sheikh Esmacili, A. 2006. Investigation of evaporation and wind losses in a classic fixed sprinkler irrigation system with a movable sprinkler. *In: National Conference on Irrigation and Drainage Network Management*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
12. Tarjuelo J.M., J. Montero, F.T. Honrubia, J.J. Ortiz and J.F. Ortega. 1999. Analysis of uniformity of sprinkle irrigation in a semi-arid area. *Agricultural Water Management* 40(2-3): 315-331.
13. Yacoubi S., K. Zayani, A. Slatni and E. Playan. 2012. Assessing sprinkler irrigation performance Using Field Evaluations at the medjerda lower Valley of Tunisia. *Engineering* 4: 682 -691
14. Yacubi, S., K. Zayani, N. Zapata, A. Zairi, A. Slatni, R. Salvador and E. Playan. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato : irrigation performance and crop yield. *Biosystems Emgining* 107(1): 25-35.