



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی اراک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و هفتم، شماره پنجم، ۱۳۹۹

۱۰۹-۱۲۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17532.3302

مقاله کامل علمی - پژوهشی

## ارزیابی و مدل‌سازی تلفات تبخیر و باد بردگی سامانه آبیاری عقربه‌ای در منطقه مغان

\* یاسر حسینی<sup>۱</sup>، مجید رئوف<sup>۲</sup> و فردین نظری گیگلو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی،

<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** ارزیابی هر دستگاه آبیاری و تحلیل کارایی قابل‌اندازه‌گیری آن دستگاه در شرایط واقعی، یک ابزار مدیریتی است که به استفاده‌کننده دستگاه امکان می‌دهد تا بتواند از آنچه در دسترس دارد به بهترین شکل ممکن استفاده نماید. از آنجاکه نواحی مختلف ایران دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک است، به‌دست آوردن میزان واقعی تلفات تبخیر و باد بردگی و همچنین استفاده بهینه از آب، در راستای مدیریت پایدار منابع آب از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. از طرفی برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی توسط مدل‌های ارائه‌شده در شرایط اقلیمی مختلف، نتایج متفاوتی را در برداشته و ارائه مدل مرجع امکان‌پذیر نیست، بنابراین هدف از این پژوهش بررسی پارامترهای مؤثر اقلیمی بر تلفات تبخیر و باد بردگی سامانه عقربه‌ای و ارائه مدلی بهینه با استفاده از رگرسیون چندمتغیره در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در استان اردبیل و در شهرستان پارس‌آباد و در بخش شش کشت و صنعت مغان، در سرعت‌های باد ۰-۳، ۳-۶ (متر بر ثانیه) و در سه تکرار انجام شد. آزمایش‌های بر روی دو سیستم عقربه‌ای موجود در بخش ۵ و ۶ کشت و صنعت مغان (۱-۴-۶ و ۱-۸-۶) انجام شد که دو تیمار طرح را شامل گردید. ارتفاع متوسط این منطقه از سطح دریا ۳۲ متر است. برای انجام آزمایش، دو ردیف قوطی با زاویه ۳۰° نسبت به یکدیگر در مسیر شعاعی و به مرکزیت سامانه عقربه‌ای با فاصله ۱۰ متر از هم قرار گرفتند. آبیاش به‌کار رفته در این پژوهش آبیاش مدل "F33AS 11/64" با قطر پاشش ۲۶ متر بود و فشار کارکرد آبیاش‌ها در حدود ۴/۴۵ بار بود.

**یافته‌ها:** نتایج این پژوهش نشان داد راندمان سامانه در سرعت باد ۰ تا ۳ و ۳ تا ۶ به ترتیب برابر ۸۹/۴۷ و ۸۴/۴۷ درصد بوده و عوامل مؤثر در تلفات تبخیر و باد بردگی، شامل سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت نسبی، قطر نازل و کمبود فشار بخار اشباع است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در سامانه عقربه‌ای، عامل باد بیش‌ترین تأثیر و کمبود فشار بخار اشباع کم‌ترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و باد بردگی داشته است. همچنین معادله تلفات تبخیر و باد بردگی با شرایط

\* مسئول مکاتبه: [y\\_hoseini@uma.ac.ir](mailto:y_hoseini@uma.ac.ir)

جوی منطقه به‌دست آمد، که دارای بهترین برازش با مقادیر اندازه‌گیری شده بود. نتایج نشان داد، اختلاف میانگین مقادیر مدل شده و مشاهداتی در سطح اعتماد یک درصد معنی‌دار نیست. علاوه بر این، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی اندازه‌گیری شده بین ۷ تا ۱۸ درصد و مدل‌سازی شده بین ۱۰ تا ۱۸ درصد متغیر است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج ارتباط مستقیم تلفات و بادبردگی را با سرعت باد در منطقه نشان داد. به‌طوری‌که 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 گرفته و در سرعت‌های متوسط و زیاد باد، پارامترهای ارزیابی آن در محدوده مطلوبی قرار نمی‌گیرد و این نشان‌دهنده اهمیت طراحی سامانه عقربه‌ای در مناطق بادخیز می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تلفات تبخیر و بادبردگی، راندمان، رگرسیون چندمتغیره، سرعت باد

### مقدمه

ارزیابی عملکرد، مفهومی است که در دستگاه‌های آبیاری امروزه نقش مهمی داشته و این نقش روزبه‌روز آشکارتر می‌شود (۱۴ و ۱۶). این موضوع در پژوهش قائمی (۲۰۰۴) انجام شد و ارزیابی هیدرولیکی سامانه عقربه‌ای و اندازه‌گیری عوامل ضریب یکنواختی کریستیان سن<sup>۱</sup> (CU)، یکنواختی توزیع<sup>۲</sup> (DU)، راندمان واقعی ربع پایین<sup>۳</sup> (AELQ) و راندمان پتانسیل ربع پایین<sup>۴</sup> (PELQ) در سطح یک مزرعه گندم در منطقه باجگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز صورت گرفت و میانگین پارامترهای عملکرد سامانه، به‌ترتیب ۶۳، ۷۵، ۵۵ و ۵۵ درصد محاسبه گردید. نتایج نشان‌دهنده وضعیت نامناسب سامانه، عدم مطابقت با شرایط کارکرد و طراحی نادرست سامانه بود (۱۱). هم‌چنین سهرابی و اصیل‌منش (۱۹۹۸) عملکرد سامانه آبیاری بارانی عقربه‌ای را در کرج مورد ارزیابی قرار دادند و تجزیه و تحلیل عوامل ارزیابی نشان داد که سامانه آبیاری مذکور از کارایی مناسبی برخوردار نمی‌باشد که علت آن ناسازگاری شرایط کارکرد و طراحی سیستم بیان شد (۳۲).

فراست و شوالن (۱۹۵۵) نموداری را جهت تخمین تلفات تبخیر و باد به‌دست آوردند، آن‌ها دریافتند که میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، با سرعت باد و فشار آب رابطه مستقیم و با رطوبت نسبی و اندازه قطر نازل رابطه عکس دارد (۱۰). به‌منظور بررسی تأثیر سیکل‌های حرکت و توقف سامانه عقربه‌ای بر روی شاخص‌های ارزیابی و هم‌چنین تأثیر باد بر روی این پارامترها پژوهشی توسط اوزا و همکاران (۲۰۱۵) انجام شد و نتایج آن نشان داد با کاهش زمان توقف دستگاه، عملکرد سامانه بهبود می‌یابد. (۲۳). حمدی و همکاران (۲۰۱۶) در ارزیابی عملکرد سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای در کشت و صنعت مغان متوسط ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، بازده کاربرد آب<sup>۵</sup> (AE) و بازده پتانسیل کاربرد آب در ربع پایین (PELQ) و تلفات تبخیر و بادبردگی را به‌ترتیب ۴۷/۵، ۰/۴، ۵۰/۱، ۵۰/۱، ۵/۳۲ محاسبه نمودند که کارایی نامناسب این سامانه‌ها، به دلایل مدیریتی و اشکالات فنی نسبت داده شد (۱۳). رنجبر و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی سامانه آبیاری عقربه‌ای را در دانشکده کشاورزی تبریز در سه تکرار مورد ارزیابی قرار دادند و تلفات تبخیر و بادبردگی سامانه را با استفاده از معادله‌ای مبتنی بر شاخص‌های

- 1- Coefficient of Uniformity
- 2- Distribution Uniformity
- 3- Application Efficiency of Low Quarter
- 4- Potential Efficiency of Low Quarter

5- Application Efficiency

مؤثر بر آن با ضريب تبیین ۰/۸۵ برآورد نمودند براساس نتایج ایشان، در سرعت‌های باد بالاتر از ۴ متر بر ثانیه، به دلیل بالاتر بودن میزان تلفات بادبردگی و تبخیر، آبیاری با روش‌های مختلف بارانی و از جمله با سامانه آبیاری عقربه‌ای توصیه نمی‌شود و بیان گردید، زمان کارکرد سیستم‌های آبیاری بارانی باید به گونه‌ای تنظیم گردد که این سیستم‌ها با سرعت‌های بالای وزش باد و دمای حداکثر روز مواجه نشوند (۲۶). کیانی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود بر روی سامانه‌های آبیاری تحت فشار در استان گلستان، برای سامانه آبیاری عقربه‌ای، مقدار یکنواختی توزیع (DU)، تلفات و نفوذ عمقی را به ترتیب برابر ۸۰، ۴ و ۷۵ درصد محاسبه نمودند (۱۶). در پژوهشی توسط احمد الی و همکاران (۱۳۹۶) انجام شد و سامانه‌های آبیاری عقربه‌ای استان قم مورد ارزیابی قرار گرفت، مقادیر ضریب کریستیان سن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان واقعی ربع پایین (AELQ) و راندمان پتانسیل ربع پایین (PELQ) به ترتیب برابر ۸۱، ۶۳، ۸۵ و ۸۵ درصد محاسبه گردید و از مشکلات این سیستم به گرفتگی جزئی برخی از پاشنده‌ها در اثر وجود ناخالصی‌های بیولوژیکی و فیزیکی اشاره نمودند (۱).

ثنایی و همکاران (۲۰۱۵) سامانه‌های عقربه‌ای را در استان کرمان، مورد ارزیابی قرار دادند؛ و به این نتیجه رسیدند که ضعف مدیریتی در زمینه طراحی، اجرا و نظارت عوامل اصلی افت کارایی این سامانه و پایین بودن راندمان کاربرد آن می‌باشد (۲۹). سرور و همکاران (۲۰۱۹) مدل‌های مختلف برآورد تلفات بادبردگی و تبخیر را بر روی سامانه آبیاری ستریپوت مورد مطالعه قرار دادند، بیش‌تر مدل‌ها نتایج دقیقی ارائه ندادند و تنه مدل فیزی و همکاران (۲۰۰۱) با میانگین ریشه مربعات خطای برابر ۱۰ درصد و حداکثر خطای مطلق برابر ۸ درصد بیش‌ترین دقت را داشت (۹ و ۳۰). بنابراین درک صحیح از فاکتورهای

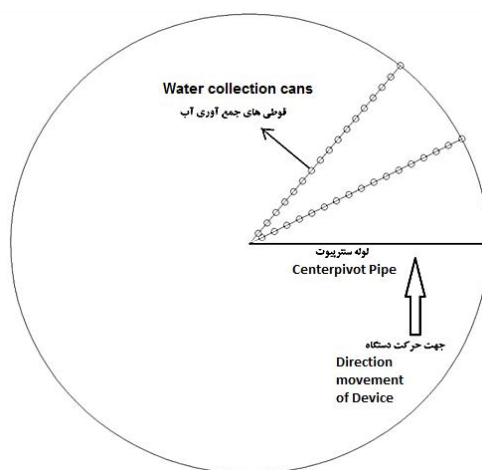
مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی در آبیاری بارانی به منظور بالا بردن راندمان آبیاری بسیار مهم است. سالمی و رضوانی (۲۰۱۶) پائین بودن راندمان کاربرد ربع پایین در سامانه‌های آبیاری بارانی، عموماً به علت فقدان آگاهی بهره‌برداران در مورد نحوه استفاده بهینه از سامانه از جمله کنترل فشار ورودی به سامانه، استفاده هم‌زمان از تعداد زیاد آبیاری و مدت نامناسب کارکرد هر یک از آبیاری‌ها است (۲۸). باوی همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران، تلفات تبخیر و باد می‌تواند در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی مؤثر باشد (۵). کینکید و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که تلفات تبخیر و بادبردگی در آبیاری عمدتاً بستگی به آبیاری و اندازه قطر نازل دارد (۱۷). رحمت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۲) بیان نمودند که تلفات تبخیر و باد در آبیاری بارانی عمدتاً بستگی به عامل‌های اقلیمی مانند سرعت باد، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی و نیز عامل‌های مربوط به سامانه آبیاری بارانی مانند فشار آب، ارتفاع رایزر و اندازه نازل دارد؛ و میزان تلفات تبخیر و بادبردگی با درجه حرارت محیط رابطه مستقیم و با رطوبت نسبی رابطه عکس دارد (۲۵). مطالعات انجام شده در این زمینه دامنه تغییرات تلفات تبخیر و بادبردگی را بسیار متفاوت گزارش نموده‌اند، تاجرولو و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در پژوهش‌های مختلف در دامنه ۲ تا ۴۰ درصد متفاوت می‌باشد و از میان پارامترهای مؤثر، عامل باد می‌تواند نقش مؤثرتری در این زمینه داشته باشد (۳۴). در پژوهشی که توسط اسپارژنون و همکاران (۱۹۸۳) انجام شد نتایج نشان داد که وزش باد در مناطق گرم و خشک می‌تواند تلفات تبخیر و بادبردگی را حتی به ۳۰ درصد نیز برساند (۳۳). از آن‌جاکه برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی ارائه شده توسط مدل‌های مختلف نتایج متفاوتی را در بردارد،

دو ردیف قوطی با زاویه  $30^\circ$  نسبت به هم را در مسیر شعاعی و به مرکزیت سیستم ستربویوت با فاصله ۱۰ متر از هم قرار داده شد. شماتیکی از نحوه چینش قوطی بین آبیاش‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است. آبیاش به‌کار رفته در این پژوهش آبیاش مدل "F33AS 11/64" با قطر پاشش ۲۶ متر بود و فشار کارکرد آبیاش‌ها در حدود ۲ تا ۲/۵ بار متفاوت بود. در جدول ۱ روابط تجربی مختلف استفاده شده برای به‌دست آوردن میزان تلفات تبخیر ارائه شده‌اند.

بنابراین هدف از این پژوهش برآورد راندمان کاربرد سامانه آبیاری عقربه‌ای در منطقه مغان و تخمین صحیح و دقیق میزان تلفات تبخیر و بادبردگی و ارائه معادله‌ای بهینه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**الف- نحوه چینش قوطی‌ها:** آزمایش‌های بر روی دو سیستم عقربه‌ای موجود در بخش ۵ و ۶ کشت و صنعت و دامپروری مغان (۶-۸-۱ و ۶-۴-۱) انجام شد که دو تیمار طرح را شامل گردید. برای ارزیابی



شکل ۱- شماتیکی از نحوه چینش قوطی بین آبیاش‌ها.

Figure 1. Arrangement of the cans between the sprinklers.

جدول ۱- فرمول‌های تجربی تلفات تبخیر و باد بردگی.

Table 1. Experimental formulas of evaporation and wind losses.

فرمول تجربی Experimental formulas	مدل Model
$L_s = (1.98D^{-0.77} + 0.22(e_s - e_a)^{0.63} + 3.6 \times 10^{-4} P^{1.16} + 0.4W^{0.7})^{4.2}$	Trimmer (1987)
$LS = 0.007P + 7.38(e_s - e_a)0.5 + 0.844w$	Tajuelo <i>et al.</i> (2000)
$LS = -0.74D + 2.58W + 0.47T$	Faci <i>et al.</i> (2001)
$LS = 7.479 + 5.287W$	Dechmi <i>et al.</i> (2003)
$LS = 1.55 + 1.13W$	Playan <i>et al.</i> (2005)

$L_s$  = تلفات تبخیر و بادبردگی،  $D$  = قطر نازل بر حسب mm،  $(e_s - e_a)$  = کمبود فشار بخار اشباع بر حسب kpa،  $w$  = سرعت باد بر حسب m/s

$ET$  = تبخیر و تعرق بر حسب mm،  $CI$  = شاخص درشتی،  $P$  = فشار کارکرد بر حسب kpa،  $T$  = دمای هوا بر حسب سانتی‌گراد.

$L_s$ : Wind drift and Evaporation Losses,  $D$ : Nozzle diameter in mm,  $(e_s - e_a)$ : Lack of saturated vapor pressure in kpa,  $W$ : Wind speed in m / s,  $ET$ : Evapotranspiration in mm,  $CI$ : Coarse index,  $P$ : Operating pressure in kpa,  $T$ : Air temperature in Celsius degrees.

آپاش چيده مي‌شوند.

**يكنواختي توزيع<sup>۲</sup> (DU):** كلر و بليسنر (۱۹۹۰) بيان نمودند كه ضريب يكنواختي كريستيانسن به‌طور كامل گوياي مشكلات واقعي توزيع آب در مزرعه نيست، زيرا در محاسبه آن از عمق آب پخش‌شده در تمام قوطي‌ها استفاده مي‌گردد. آن‌ها جهت محاسبه يكنواختي توزيع آب معادله زير را ارائه دادند (۱۵):

$$DU = \frac{d_q}{\bar{d}} \times 100 \quad (3)$$

كه در آن، DU يكنواختي توزيع (٪)،  $d_q$  متوسط عمق آب پخش‌شده در ۲۵ درصد از قوطي‌ها كه كم‌ترين آب را دريافت داشته‌اند (mm) و  $\bar{d}$  متوسط عمق آب جمع‌آوري‌شده در n قوطي (mm) مي‌باشد. براي تعيين CU و DU كل يك سيستم بايد مقادير به‌دست آمده از رابطه‌هاي ۱، ۲ و ۳ را در ضرايب اصلاحي (كه وابسته به حداقل، متوسط و حداكثر فشار كار كرد آپاش‌ها در كل سيستم مي‌باشند) ضرب نمود (۱۹) و (۲۰). دو پارامتر ضريب يكنواختي كريستيانسن و يكنواختي توزيع بيانگر وضعيت سيستم در پخش يكنواخت آب در مزرعه مي‌باشد. در طراحي سامانه‌هاي آبياري باراني سعي مي‌گردد كه اين دو پارامتر ذكر شده حتي‌الامكان بيشينه باشد.

**راندمان پتانسيل ربع پايين (PELQ):** مفهوم پتانسيل ربع پايين با اين فرض به‌دست آمده است كه در ۲۵ درصد از اراضي كه كم‌ترين آب را دريافت نموده‌اند متوسط عمق آب پخش‌شده برابر نياز آبي گياه مي‌باشد. با اين فرض تنها در ۱۲/۵ درصد از زمين محصول خسارت‌ديده و در اثر تنش آبي وارده کاهش محصول خواهيم داشت. راندمان پتانسيل ربع پايين به‌صورت زير محاسبه مي‌گردد:

ب- شاخص‌هاي ارزيايي سيستم: در طراحي سامانه‌هاي آبياري باراني و اجراي آن‌ها چندين پارامتر ارزيايي موردبررسي قرار مي‌گيرند كه شاخص‌هاي مورد مطالعه در اين پژوهش عبارت‌اند از:

**تلفات تبخير و بادبردگي ( $E_w$ ):** اين پارامتر بيان مي‌كند كه چند درصد از آب خارج‌شده از آپاش‌ها از محدوده اراضي موردنظر خارج مي‌گردند و طبق رابطه زير محاسبه مي‌گردد.

$$E_w = \frac{d_w}{d_i} \times 100 = \left(1 - \frac{d_a}{d_i}\right) \times 100 \quad (1)$$

كه در آن،  $E_w$  مقدار تلفات تبخير و بادبردگي (٪)،  $d_w$  متوسط عمق آبي كه در هنگام كار آپاش توسط باد يا به‌صورت تبخير از محدوده مزرعه خارج مي‌گردد (mm)،  $d_i$  متوسط عمق آب خارج‌شده از آپاش‌ها (mm) و  $d_a$  متوسط عمق آب پخش‌شده در سطح زمين (mm) مي‌باشند. در طراحي سامانه‌هاي آبياري باراني سعي بر آن است مقدار تلفات حداقل گردد.

**ضريب يكنواختي كريستيان سن<sup>۱</sup> (CU):** يكي از پارامترهايي كه مي‌تواند يكنواختي توزيع آب در مزرعه را بيان نمايد ضريب يكنواختي كريستيانسن است. اين پارامتر به‌صورت رابطه ۲ تعريف مي‌گردد (۳):

$$CU = \left(1 - \frac{\sum |d_i - \bar{d}|}{n \bar{d}}\right) \times 100 \quad (2)$$

كه در آن، CU ضريب يكنواختي (٪)،  $d_i$  عمق آب پخش‌شده در قوطي شماره i ام (mm)،  $\bar{d}$  ميانه‌گين عمق آب جمع‌آوري‌شده در n قوطي (mm) و n تعداد قوطي‌هايي مي‌باشند كه به‌صورت شبكه منظم جهت اندازه‌گيري عمق آب پخش‌شده در اطراف

$$AE = \frac{d}{d_r} \times 100 \quad (۶)$$

که در آن،  $d$  متوسط عمق آب نفوذ یافته و ذخیره شده در منطقه ریشه (mm).

ضرایب اصلاحی  $CU$ ،  $DU$ ،  $PELQ$  و  $AELQ$ : جهت تبدیل مقادیر  $CU$  و  $DU$  اندازه‌گیری شده در آبیاری‌های مورد آزمایش به مقادیر  $CU$  و  $DU$  کل سیستم آبیاری می‌توان از روابط زیر استفاده کرد (۳، ۱۸ و ۱۹):

$$CU_S = CU \times \left[ \frac{1}{2} \left( 1 + \sqrt{\frac{P_n}{P_a}} \right) \right] \quad (۷)$$

$$DU_S = DU \times \left[ \frac{1}{4} \left( 1 + 3 \sqrt{\frac{P_n}{P_a}} \right) \right] \quad (۸)$$

که در آن‌ها،  $CU$  و  $DU$  به ترتیب ضریب یکنواختی کریستیانسن و توزیع یکنواختی اندازه‌گیری شده در آبیاری‌های مورد آزمایش،  $CU_S$  و  $DU_S$  به ترتیب مقادیر  $CU$  و  $DU$  کل سیستم آبیاری،  $P_n$  حداقل فشار آبیاری در تمام مزرعه و  $P_a$  متوسط فشار آب در همه آبیاری‌های تحت کارکرد بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (۱۹):

$$P_a = \frac{2P_n + P_x}{3} \quad (۹)$$

که در آن،  $P_x$  حداکثر فشار آبیاری در تمام مزرعه می‌باشد.

هم‌چنین برای تبدیل مقادیر  $PELQ$  و  $AELQ$  اندازه‌گیری شده در آبیاری‌های مورد آزمایش به مقادیر  $PELQ$  و  $AELQ$  کل سیستم از رابطه‌های ۱۰ و ۱۱ استفاده شد (۱۹):

$$PELQ = \frac{d_q}{d_r} \times 100 \quad (۴)$$

که در آن،  $PELQ$  راندمان پتانسیل ربع پایین (%)،  $d_q$  متوسط عمق آب پخش شده در یک‌چهارم شبکه اندازه‌گیری که کم‌ترین آب را دریافت نموده‌اند (mm) و  $d_r$  متوسط عمق آب آبیاری (اندازه‌گیری شده از سر نازل‌ها) (mm) می‌باشد.

راندمان واقعی ربع پایین ( $AELQ$ ): راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین در واقع بیانگر راندمان حقیقی کل سیستم بوده و بهتر می‌تواند مشکلات سیستم را بیان نماید. راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین عبارت است از:

$$\begin{cases} AELQ = \frac{d_q}{d_r} \times 100 & , \quad d_q < SMD \\ AELQ = \frac{SMD}{d_r} \times 100 & , \quad d_q > SMD \end{cases} \quad (۵)$$

که در آن،  $AELQ$  راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین (%).  $SMD$  کمبود رطوبتی خاک است.

مقادیر  $PELQ$  و  $AELQ$  مقادیر راندمان پتانسیل و واقعی ربع پایین برای آبیاری‌های مورد آزمایش می‌باشند. برای محاسبه مقادیر راندمان پتانسیل و واقعی کل سیستم می‌توان مقادیر به دست آمده از رابطه‌های ۴ و ۵ را در ضرایب اصلاحی (که وابسته به حداقل، متوسط و حداکثر فشار کارکرد آبیاری‌ها در کل سیستم می‌باشند) ضرب نمود (۱۹).

راندمان کاربرد آب<sup>۱</sup> ( $AE$ ): در یک مزرعه حجم آبی که در ناحیه ریشه ذخیره می‌شود، همواره کمتر از مقدار آبی است که به مزرعه داده می‌شود. نسبت این دو مقدار راندمان کاربرد آب می‌باشد که رابطه آن به صورت زیر است:

که در آن‌ها،  $N$  تعداد نمونه،  $P_i$  مقادير پيش‌بيني شده توسط مدل،  $Q_i$  مقادير واقعي،  $\bar{P}$  ميانگين مقادير.

### نتايج و بحث

**الف- ارزيابي عملکرد سامانه:** در سامانه عقربه‌اي براي به‌دست آوردن پارامترهاي ارزيابي دو سرعت باد موردبررسي قرار گرفت که نتايج در جدول‌هاي ۲ و ۳ ارائه شده است. هم‌چنين الگوي توزيع آب به شکل منحنی هم‌عمق آب براي تيمار اول در سه تکرار در شکل‌هاي ۲ و ۳ نشان داده شده است. علت بالا بودن ضريب يکنواختی و يکنواختی توزيع آب، سرعت باد کم در زمان آزمايش بود؛ که اين موضوع در شکل ۲ نیز قابل مشاهده است. همان‌طور که نتايج نشان داد، ميانگين ضريب يکنواختی و يکنواختی توزيع آب در سامانه در سرعت‌هاي ۳ تا ۶ متر بر ثانيه نسبت به سرعت ۰ تا ۳ متر بر ثانيه به‌ترتيب ۶ و ۸ درصد کاهش نشان داد. علاوه بر يکنواختی توزيع بالا، در اين شرايط، همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، سامانه در اين حالت از راندمان پتانسيل بالايی برخوردار بود به‌طوري که متوسط راندمان پتانسيل و واقعي سامانه در سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانيه در سه تکرار به‌ترتيب برابر ۶۲/۹ و ۴۹ درصد گرديد؛ و اين نشان می‌دهد که بیش از ۵۰ درصد آب موردنياز در مکان‌هايی که کم‌ترين آب را دريافت کرده است، برای گیاه تأمين شده است. با افزايش سرعت باد به ۳ تا ۶ متر بر ثانيه، متوسط راندمان پتانسيل و واقعي سامانه به‌ترتيب برابر ۵۴/۶۳ و ۴۴/۱۵ درصد محاسبه گرديد که نسبت به سرعت ۰ تا ۳ متر بر ثانيه، به‌ترتيب ۱۳ و ۱۰ درصد کاهش نشان داد که مقدار قابل‌توجهی می‌باشد. در اين آزمايش متوسط تلفات نفوذ عمقی در سرعت کم‌تر از ۳ متر بر ثانيه، ۱۴/۵ درصد محاسبه گرديد که تقريباً ۴۰ درصد بیش از مقادير تلفات نفوذ در سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانيه می‌باشد. نتايج نشان داد

$$PELQ_S = PELQ \times (1 - ER) \quad (10)$$

$$AELQ_S = AELQ \times (1 - ER) \quad (11)$$

که در آن،  $ER$  ضريب کاهش راندمان بوده و از رابطه ۱۲ محاسبه می‌گردد:

$$ER = \frac{0.2(P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \quad (12)$$

که در آن،  $P_{max}$  حداکثر فشار کارکرد سيستم (بار)،  $P_{min}$  حداقل فشار کارکرد سيستم (بار) و  $P_{mean}$  متوسط فشار کارکرد سيستم (بار) می‌باشند.

**ج- ارزيابي عملکرد مدل‌هاي برآورد تلفات تبخير و بادبردگی:** براي ارزيابي عملکرد مدل‌ها از پارامترهاي مجذور ميانگين مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی ( $\varepsilon$ )، ميانگين خطای مطلق (MAE) و ضريب تبیین ( $R^2$ ) و ضريب باقیمانده جرم (CRM) و کارایی مدل (EF) استفاده شد. بهترین پيش‌بيني‌ها زمانی رخ می‌دهد که RMSE، CRM،  $\varepsilon$  و MAE به صفر ميل کند، هم‌چنين EF و  $R^2$  به یک ميل نمايند. رابطه‌هاي ۱۳ الی ۱۸ روابط مذکور را نشان می‌دهند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_i - P_i)^2} \quad (13)$$

$$\varepsilon = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{Q_i - P_i}{Q_i} \right| \quad (14)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_i - P_i| \quad (15)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q})]^2}{\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (16)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i - \sum_{i=1}^N P_i}{\sum_{i=1}^N Q_i} \quad (17)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (18)$$

عمق آب نفوذ کرده در سرعت‌های ۰ تا ۳ متر بر ثانیه نسبت به تیمار ۳ تا ۶ متر بر ثانیه کاهش می‌یابد و در واقع تأثیر سرعت باد بر پارامترهای طراحی، در نقاط نزدیک به مرکز دستگاه بیش‌تر است افزایش نسبی عمق آب نفوذ کرده با فاصله گرفتن از مرکز دستگاه در پژوهش‌های حمدی احمدآبادی و همکاران (۲۰۱۶) نیز گزارش شده است (۱۳).

که تلفات تبخیر و باد تقریباً ۶۰ درصد با افزایش سرعت باد به میزان ۳ تا ۶ متر بر ثانیه، افزایش می‌یابد، اگرچه به نظر می‌رسد که برهم‌کنش این دو عامل در این تیمار تقریباً معادل ۲۵ درصد است و با هم برابری می‌کند، ولی کاهش قابل‌توجه سایر شاخص‌های ارزیابی، تأثیر منفی و قابل‌توجه سرعت باد را بر کارایی سامانه نشان داد. مقایسه شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن از مرکز دستگاه اختلاف

جدول ۲- نتایج ارزیابی سامانه دوار مرکزی برای سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه.

Table 2. Centerpivot system evaluation results for wind speeds between 0 to 3 m s<sup>-1</sup>.

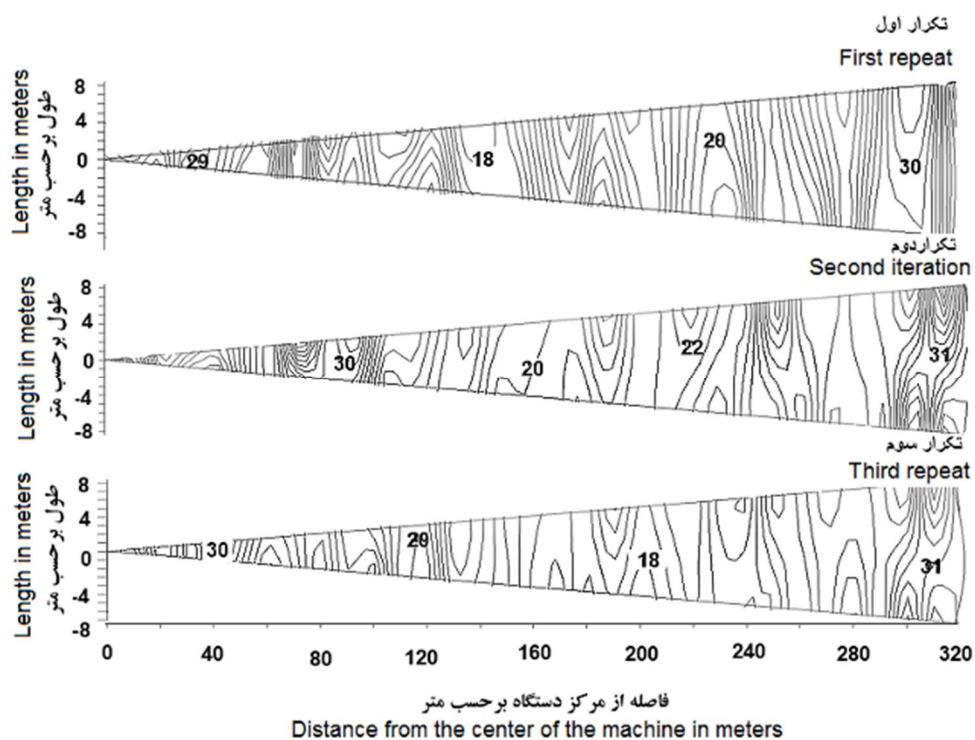
نتایج مربوط به بلوک Block results								
%AE	AELQ%	PELQ%	DU%	CU%	I(mm hr <sup>-1</sup> )	dq(mm)	$\bar{d}$ (mm)	تیمار اول First Treatment
90.16	50.46	65.4	72.76	83	56.53	16.78	23.06	میانگین Mean
نتایج مربوط به سامانه System results								
تلفات نفوذ % Infiltration losses	تلفات تبخیر و بادبردگی % Evaporation and Wind Loss	AELQS%	PELQS%	DUS%	%CUS	ER	تیمار اول First Treatment	
14.53	9.07	49.09	62.96	71.48	82	0.027	میانگین Mean	

جدول ۳- نتایج ارزیابی سامانه دوار مرکزی برای سرعت باد ۳ تا ۶ متر بر ثانیه.

Table 3. Center pivot system evaluation results for wind speeds between 3 to 6 m s<sup>-1</sup>.

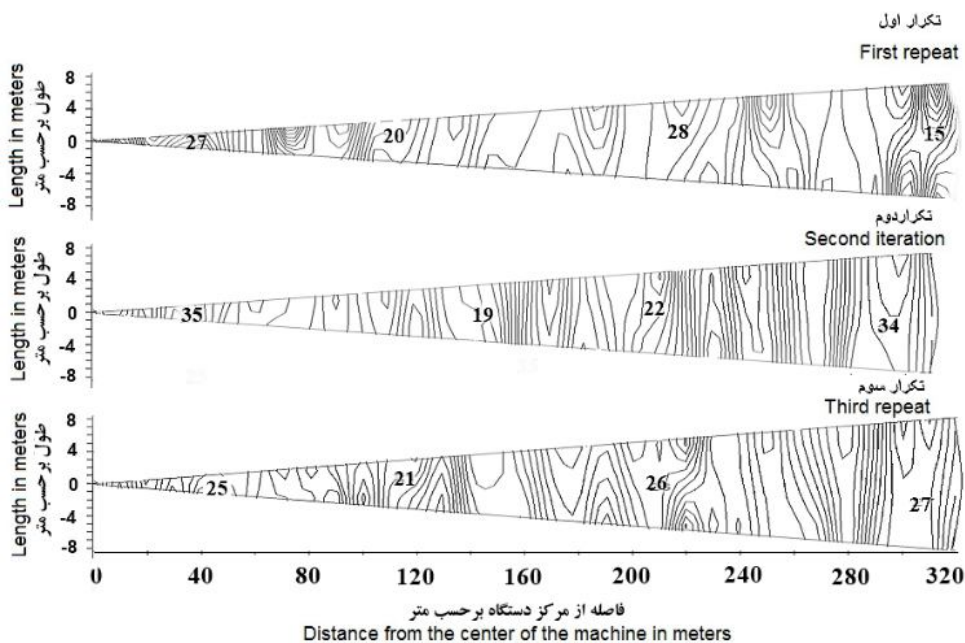
نتایج مربوط به بلوک Block results								
AE%	AELQ%	PELQ%	DU%	CU%	I(mmhr <sup>-1</sup> )	dq(mm)	$\bar{d}$ (mm)	تیمار اول First treatment
84.33	45.15	55.86	66.27	77.4	52.9	14.33	21.59	میانگین Mean
نتایج مربوط به سامانه System results								
تلفات نفوذ % Infiltration losses	تلفات تبخیر و بادبردگی % Evaporation and Wind Loss	AELQS	PELQS	DUS	CUS	ER	تیمار اول First treatment	
10.41	15.79	44.15	54.63	65.81	76.81	0.022	میانگین Mean	





شکل ۲- الگوی سه‌بعدی توزیع آب تیمار اول در سه تکرار و سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه.

Figure 2. 3D pattern of water distribution of the first treatment in three replications in 0 to 3 ms<sup>-1</sup> wind speed.



شکل ۳- الگوی سه‌بعدی توزیع آب تیمار اول در سه تکرار و سرعت باد ۳ تا ۶ متر بر ثانیه.

Figure 3. 3D pattern of water distribution of the first treatment in three replications in 3 to 6 ms<sup>-1</sup> wind speed.

اهواز انجام شد نیز عامل باد به‌عنوان مهم‌ترین عامل بیان گردید در این پژوهش، تلفات تبخیر و بادبردگی  $1/4$  تا  $12/8$  درصد برآورد شد و هرگاه سرعت وزش باد از  $3/3$  متر بر ثانیه افزایش یافت، تلفات تبخیر و بادبردگی، از  $10$  درصد تجاوز نمود که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد (۲۵). همچنین میانگین تلفات نفوذ در سرعت‌های  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه،  $8/33$  درصد به‌دست آمد که نسبت به سرعت‌های  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه که  $11/03$  درصد بود روند کاهشی را نشان می‌دهد. میانگین راندمان کاربرد سامانه در سرعت  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه، برابر  $83/1$  درصد برآورد گردید که نسبت به تیمار با سرعت باد  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه که  $89/4$  درصد محاسبه شد، کاهش  $7$  درصدی نشان داد. در تیمار سوم، میانگین نتایج ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع برای سرعت باد کم‌تر از  $3$  متر بر ثانیه، به‌ترتیب  $83/8$  و  $71/63$  درصد برای سامانه برآورد گردید و برای سرعت باد  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه، میانگین نتایج ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع، به‌ترتیب  $73/23$  و  $66/91$  درصد برای سامانه برآورد گردید که روند نزولی ضریب یکنواختی و توزیع را با افزایش سرعت باد، در سامانه نشان می‌دهد. این موضوع با پژوهش نجاتی و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد (۲۲). در پژوهش ایشان فشار کارکرد پایین آبپاش‌ها و سرعت باد زیاد از عوامل مهم در کاهش یکنواختی پخش در سامانه بیان شده است. میانگین مقادیر راندمان پتانسیل و راندمان واقعی ربع پایین در سرعت  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه، برابر  $57/73$  و  $43$  درصد برای سامانه برآورد گردید که این نتایج کاهش  $10$  درصدی راندمان پتانسیل و واقعی را نسبت به سرعت باد  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه نشان می‌دهد. به‌نظر می‌رسد در سامانه‌های عقربه‌ای، استفاده از نازل‌هایی که بتواند در فشار کاری پایین کار کرده و قادر به تولید قطراتی با قطر بیشتر و شعاع پاشش یکسان باشد، در درجه اول سبب نزدیکی پتانسیل‌های بلوک

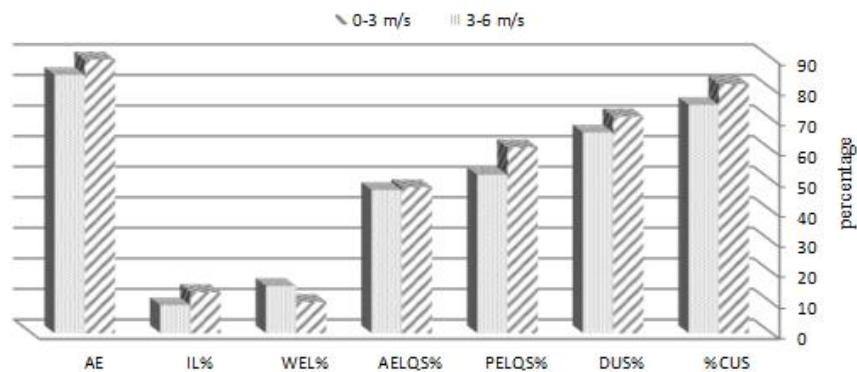
میانگین ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در تیمار دوم و در سرعت باد  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه به‌ترتیب  $79/37$  و  $70/76$  درصد برای بلوک آزمایشی به‌دست آمد؛ که در محدوده استاندارد  $65$  تا  $85$  درصد قرار داشت (۲۱). اختلاف مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع می‌تواند ناشی از اختلاف فشار در طول سامانه باشد که نشان‌دهنده تأثیر زیاد مؤلفه فشار در سامانه‌های بارانی و تأثیر به‌سزایی این شاخص بر پارامترهای یکنواختی و درنهایت راندمان سامانه باشد. در تیمار دوم، میانگین راندمان پتانسیل ربع پایین و راندمان واقعی ربع پایین به‌ترتیب  $61/74$  و  $51/06$  درصد برای سامانه محاسبه گردید. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، میانگین ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع آب در سامانه در سرعت‌های  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه نسبت به سرعت  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه در تیمار دوم به‌ترتیب  $7$  و  $9$  درصد کاهش نشان می‌دهد که روند کاهشی آن تقریباً مشابه تیمار اول است. در تیمار دوم و در سرعت باد  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه، میانگین راندمان پتانسیل ربع پایین و راندمان واقعی ربع پایین به‌ترتیب  $41/29$  و  $45$  درصد برای سامانه محاسبه گردید که به‌ترتیب کاهش  $33$  و  $12$  درصدی را نسبت به سرعت  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه، نشان می‌دهد. همچنین افزایش  $1/5$  برابری تلفات تبخیر و بادبردگی در سرعت  $3$  تا  $6$  متر بر ثانیه نسبت به سرعت  $0$  تا  $3$  متر بر ثانیه، در تیمار اول نیز مشاهده می‌شود. میزان تلفات تبخیر و بادبردگی در سرعت‌های مورد پژوهش تقریباً  $2$  تا  $3$  برابر نتایج حاصل از پژوهش حمدی احمدآبادی و همکاران (۲۰۱۶) است (۱۳). این مقدار نشان داد که افزایش سرعت باد می‌تواند در نقاطی از مزرعه که کم‌ترین آب را دریافت نموده‌اند با توجه به دور آبیاری طراحی شده برای سامانه، علی‌رغم راندمان بالای سامانه، گیاه را با تنش رطوبتی مواجه نماید. در پژوهشی که توسط رحمت‌آبادی و همکاران (۲۰۱۲) در رابطه با عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی در

تبخير و بادبردگي در شب نسبت به ترتيب از ۲۴ به ۷ درصد کاهش و يکنواختي آبياري از ۵۰ درصد در روز به ۶۴ درصد در شب افزايش مي يابد (۳۶). هم چنين شيخ اسماعيلي (۲۰۰۹) در پژوهش خود نشان داد که با آبياري شبانه مي توان تلفات تبخير و بادبردگي را در جنوب خوزستان از ۲۶/۸ درصد به ۲ درصد کاهش داد (۳۱). بنا بر اين با توجه به پژوهش هاي انجام شده مي توان آبياري شبانه را در شرايط سرعت بالاي باد در منطقه پيشنهاده داد. شکل ۴ ميانيگين شاخص هاي ارزيابي سامانه را در تيمارها و سرعت هاي مختلف نشان مي دهد. ميزان ضريب يکنواختي و توزيع، راندمان پتانسيل و واقعي سامانه و هم چنين تلفات نفوذ در سرعت باد ۳ تا ۶ متر بر ثانيه، نسبت به سرعت باد کم تر از ۳ متر بر ثانيه، ۸، ۷، ۱۵، ۲ و ۳۲ درصد کاهش داشته و ميزان تلفات تبخير و باد بردگي ۵۰ درصد افزايش نشان داد.

آزمائشي به کل سامانه شده و از سوي ديگر، تلفات تبخير و بادبردگي را کاهش داده و يکنواختي را در سامانه افزايش دهد. هم چنين نتايج نشان مي دهد براي کاهش فشار کارکرد سامانه در مناطق بادخيز و در شرايطي که امکان تغيير نازل ها وجود نداشته باشد، کاهش تعداد اسپم هاي دستگاه مي تواند مفيد باشد. کاهش تلفات تبخير و بادبردگي در پژوهش مول و همکاران (۲۰۱۲) نیز گزارش شده است (۲۱). ميانيگين تلفات تبخير و بادبردگي در سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانيه برابر ۱۴ درصد برآورد گرديد که افزايش ۲۲ درصدی را نسبت به سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانيه نشان مي دهد. هم چنين ميانيگين راندمان کاربرد در سرعت ۳ تا ۶ متر بر ثانيه ۸۶ درصد برآورد گرديد که مجدداً کاهش ۳/۲ درصدی را نسبت به سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانيه نشان داد. همان طور نتايج پژوهش يعقوبي و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده است، تلفات

ضريب يکنواختي سامانه %CU، يکنواختي توزيع سامانه %DU، راندمان واقعي ربع پايين سامانه %AELQ، راندمان پتانسيل ربع پايين سامانه %PELQ، تلفات تبخير و باد بردگي %WEL، تلفات نفوذ %IL، راندمان کاربرد %AE

System Uniformity Coefficient (CUS), System Distribution Uniformity (DUS), Actually Low Quarter System Efficiency (AELQS), Low Quarter System Potential Efficiency (PELQS), Evaporation and Wind drift Losses (WEL), Infiltration Losses (IL), Application Efficiency (AE)



شکل ۴- مقایسه پارامترهای ارزیابی در سرعت های مختلف باد.

Figure 4. Comparison of evaluation parameters at different wind speeds.

استفاده از قابلیت سالور برنامه اکسل، رابطه تلفات تبخير و بادبردگي برای منطقه مورد مطالعه برآورد گرديد که طبق رابطه ۷ است. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، دارکو و همکاران (۲۰۱۷) بيان

ب- مدل سازی تلفات تبخير و بادبردگي: در جدول ۴ و شکل ۵، ميزان دقت مدل های برآورد تلفات تبخير و بادبردگي با در نظر گرفتن خط يک و يک نشان داده شده است. با انجام رگرسيون چندمتغيره و

داشتند که جهت مدیریت بهینه آب در سامانه‌های تحت فشار باید سرعت باد را در محاسبات لحاظ نمود (۶). همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها در سطح اعتماد یک درصد نشان داد که نتایج مدل تجربی ارائه شده و مشاهداتی در سطح اعتماد یک درصد معنی دار نبوده و این نشان‌دهنده دقت بالای مدل به دست آمده، در تعیین تلفات تبخیر و بادبردگی در منطقه می‌باشد.

$$L_s = 10.8 a^{-0.14} + 0.1(e_s - e_a)^{-3.18} + 1.24w^{0.98} \quad (20)$$

که در آن،  $L_s$  تلفات تبخیر و بادبردگی،  $d$  قطر نازل بر حسب mm،  $(e_s - e_a)$  کمبود فشار بخار اشباع بر حسب kpa و  $w$  سرعت باد بر حسب m/s می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری تلفات تبخیر و بادبردگی و نتایج حاصل از مدل‌های تجربی ارائه شده در جدول ۴ نشان می‌دهد که پس از مدل رگرسیونی ارائه شده در منطقه، مدل‌های فیزی و همکاران (۲۰۰۱)، تارجولو و همکاران (۲۰۰۰)، تراپمر (۱۹۸۷)، پلایان و همکاران (۲۰۰۴) و دجمی و همکاران (۲۰۰۳) به ترتیب در مراتب بعدی قرار می‌گیرند (۸، ۹، ۲۴، ۳۴ و ۳۵). در پژوهشی که توسط دلیر حسن‌نیا و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد و مدل‌های تعیین تلفات تبخیر و بادبردگی مورد مطالعه قرار گرفت نیز نتایج نشان داد هیچ‌کدام از روش‌ها از دقت لازم برای پیش‌بینی میزان تلفات در اسپری نازل‌های مورد آزمایش را برخوردار نبوده و میزان تلفات را بسیار کم‌تر از مقدار واقعی آن محاسبه می‌نمایند (۷). ولی در پژوهش ایشان روش پلایان و همکاران (۲۰۰۴) دارای نزدیک‌ترین برآوردها و روش کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) دارای کم‌ترین دقت در برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی بود که با نتایج این پژوهش مغایرت دارد زیرا اگرچه سرعت باد مهم‌ترین پارامتر در تلفات تبخیر و بادبردگی محسوب می‌شود (۱۵ و ۲۴)، ولی در روش فیزی و همکاران (۲۰۰۱) که ترکیبی از پارامترهای قطر نازل، سرعت

باد و دما می‌باشد، نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید (۹). مقایسه محاسبات و مشاهدات نشان می‌دهد، غیر مدل تجربی ارائه شده، سایر معادلات این پژوهش با وجود در نظر گرفتن مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بادبردگی و تبخیر، از دقت بالایی در پیش‌بینی این تلفات برخوردار نمی‌باشند. اگرچه پژوهش‌های زیادی عامل باد را مهم‌ترین عامل تلفات تبخیر و بادبردگی بیان نموده‌اند به‌طور مثال اکبری و رحیم‌زادگان (۱۹۹۶) اثر باد را بر یکنواختی توزیع آب آبیاری بررسی کرده و نشان دادند که با افزایش سرعت باد یکنواختی توزیع به سرعت کاهش می‌یابد (۲). در همین رابطه پلایان و همکاران (۲۰۰۵) گزارش نمودند که باد مهم‌ترین عامل محیطی مؤثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی می‌باشد و از کاهش شدید یکنواختی آبیاری به‌عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد نام بردند (۲۴). ولی همان‌طور که نتایج این پژوهش نشان می‌دهد ترکیب عوامل مؤثر نتایج دقیق‌تری در برداشته و می‌تواند در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده تلفات تبخیر و بادگردی نزدیک‌تر گردد. در رابطه با مدل دجمی و همکاران (۲۰۰۳) که با توجه به نتایج به دست آمده دارای کم‌ترین دقت در برآورد تلفات در منطقه می‌باشد (۸). به‌طورکلی نتایج نشان می‌دهد عامل باد در اقلیم‌های مختلف تأثیر یکسانی در تلفات بادبردگی در سامانه‌های بارانی نداشته و در نظر گرفتن سایر پارامترها باعث تعدیل و تصحیح عامل باد در محاسبه تلفات می‌گردد. به نظر می‌رسد در اقلیم ایران براساس مطالعات صورت گرفته (۲۷، ۱۲ و ۴) عوامل سرعت باد، کمبود فشار بخار اشباع، فشار و قطر نازل از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار می‌باشند. شکل ۶ نتایج آزمون مقایسه میانگین‌های روش‌های مختلف را با در نظر گرفتن مقادیر تلفات تبخیر و بادبردگی به‌صورت تیمار کنترل در سطح یک درصد نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است. نتایج

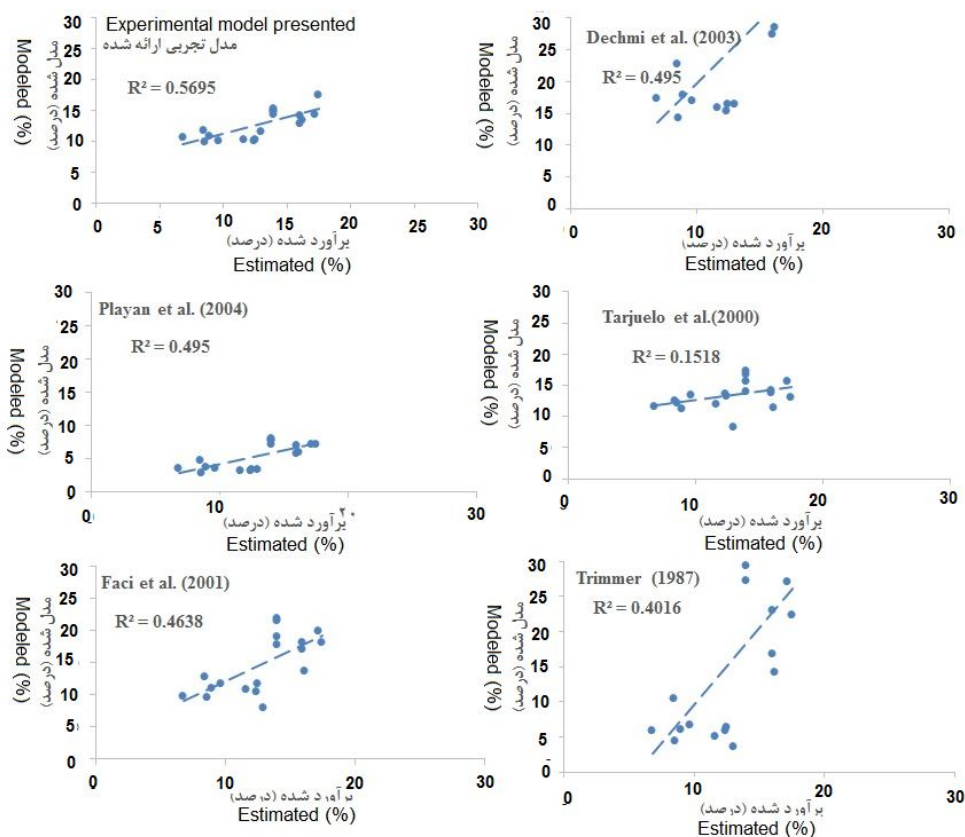
همکاران (۲۰۰۴) و دجمی و همکاران (۲۰۰۳) نتایج متفاوتی ارائه دادند، به طوری که روش پلایان و همکاران (۲۰۰۴) مقادیر تلفات را کم تر و روش دجمی و همکاران (۲۰۰۳) میزان تلفات را بیش تر از مقادیر واقعی برآورد نمودند (۸ و ۲۴).

مدل ارائه شده در پژوهش به همراه روش های تریمر (۱۹۸۷)، فیسی و همکاران (۲۰۰۱) و تارجولو و همکاران (۲۰۰۰) با نتایج تیمار کنترل در یک گروه قرار گرفتند و اختلاف نتایج آن ها در سطح یک درصد معنی دار نبود (۳۵، ۹، ۳۴). ولی نتایج پلایان و

جدول ۴- شاخص های عملکردی مدل ها.

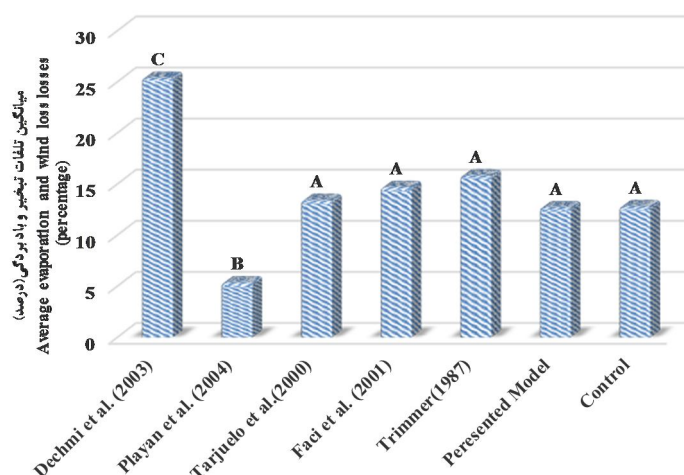
Table 4. Models Performance Indicators.

R <sup>2</sup>	ε	MAE(%)	RMSE(%)	CRM	EF	مدل Model
0.56	15.92	0.16	2.07	0.008	0.99	مدل تجربی تحقیق Experimental Model
0.6	45.26	0.45	6.32	-0.02	0.93	Trimmer (1987)
0.62	16.78	0.17	2.64	-0.06	0.99	Faci et al. (2001)
0.19	22.03	0.22	2.89	-0.02	0.99	Tarjuelo et al. (2000)
0.68	61.75	0.62	8.14	1.6	0.88	Playan et al. (2005)
0.49	98.86	0.99	14.35	-0.49	0.66	Dechmi et al. (2003)



شکل ۵- مقایسه دقت مدل های تجربی تلفات تبخیر و بادبردگی با نتایج حاصل از مدل ارائه شده در منطقه.

Figure 5. Comparison accuracy of experimental evaporation and wind losses with the results of the model presented in the region.



شکل ۶- آزمون مقایسه میانگین‌های روش‌های مختلف در سطح یک درصد (حروف مشترک نشان‌دهنده نتایج یکسان در سطح اعتماد یک درصد است).

Figure 6. ANOVA test of different methods at the level of 1% (Common letters indicate the same results at the level of 1%).

راندمان ربع پایین به شدت کاهش می‌یابد و این می‌تواند سبب مواجهه گیاه با تنش رطوبتی شده و موجب کاهش محصول در آن مناطق گردد. بنابراین به نظر می‌رسد برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی در منطقه مغان استفاده از نازل‌های با قطر روزنه بیش‌تر می‌تواند مفید باشد هم‌چنین در صورت لزوم می‌توان یا بازیینی در تعداد اسپم‌های دستگاه و کاهش آن‌ها جهت کاهش فشار کلی سیستم و افزایش شاخص اندازه ذرات آب، میزان تلفات تبخیر و بادبردگی را کاهش داد. هم‌چنین استفاده از لوله‌های عسایی برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی می‌تواند مفید باشد. حساسیت راندمان سامانه عقربه‌ای به سرعت باد در منطقه نشان می‌دهد جهت کارکرد مناسب سامانه بررسی دوره‌ای سامانه از نظر کارکرد صحیح آبپاش‌ها و تعیین بهترین و کم‌ترین فشار کارکرد آبپاش‌ها امری مهم و ضروری است.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش با ارزیابی سامانه عقربه‌ای در منطقه مغان و بررسی میزان تلفات تبخیر و بادبردگی، مدلی برای برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی در منطقه ارائه گردید. نتایج ارتباط مستقیم شاخص‌های ارزیابی سامانه را با سرعت باد در منطقه نشان می‌دهد. به‌طوری‌که 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 گرفته و در سرعت‌های متوسط و زیاد باد، پارامترهای ارزیابی آن در محدوده مطلوبی قرار نمی‌گیرد و این نشان‌دهنده اهمیت طراحی سامانه عقربه‌ای در مناطق بادخیز می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد در این مناطق باید محدوده تغییرات فشار مجاز را تابعی از شرایط اقلیمی و سرعت باد منطقه در نظر گرفت و اگرچه ممکن است در این شرایط بار اقتصادی مضاعفی بر طرح تحمیل گردد، ولی با بالا رفتن راندمان شبکه و افزایش محصول جبران خواهد شد زیرا نتایج نشان داد در سرعت‌های بالای باد،

کشت و صنعت دامپروری مغان در استان اردبیل بوده و داده برداری در فصل زراعی ۹۴-۹۵ انجام شده است.

### تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

### تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه محقق اردبیلی، تهیه شده است و از ایشان تشکر و قدردانی می‌گردد.

### داده‌ها و اطلاعات

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در رشته مهندسی علوم آب بوده و محل اجرای طرح در

### منابع

1. Ahmadaali, K., Ramezani, E., Hosseini Pazhouh, H., Hosseini Pazhouh, N. 2017. Assessment of modern irrigation systems in Qom province. Iran. J. Irrig. Amp. Drain. 11: 5. 736-749. (In Persian)
2. Akbari, M., and Rahimzadegan, R. 1996. Effects of Wind and Hydraulic Characteristics of Sprinkler Irrigation System on Water Distribution Uniformity. Report of the Second Congress of Water and Soil Issues. Agricultural Technical and Engineering Research Institute. Pp: 197-205. (In Persian)
3. Alizadeh, A. 2011. Design of pressure irrigation systems. Fifth Edition. Astan Ghods Razavi Publications. Pp: 197-205. 820p. (In Persian)
4. Bagheri, H., Ansari, H., and Hasheminia., SM. 2016. Modeling the Evaporation and Wind Loss of Spray Sprinklers Used in Urban Green Areas. Iran. J. Irrig. Drain. 1: 11. 83-92. (In Persian)
5. Bavi, A., Kashkuli, H.A., Boroomand, S., Naseri, A., and Albaji, M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation system under various operating conditions. J. Appl. Sci. 9: 3. 597-600.
6. Darko, R.O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Y., and Xingye, Zh. 2017. Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. J. Agric. Biol. Eng. 10: 2. 1-15.
7. Dalir Hasannia, R., Nazemi, A.H., Ashraf Sadrodini, A., and Farsadizadeh, D. 2011. Model for Wind and Evaporation Loss in Centerpivot Irrigation System. J. Soil Water Sci. 21: 1. 1-14. (In Persian)
8. Dechmi, F., Playan, E., Cavero, J., Faci, J.M., and Martinez-Cob, A. 2003. Wind effects on solid set sprinkler irrigation depth and corn yield. Irrig. Sci. 22: 2. 67-77.
9. Faci, J.M., Salvador, R., Playan, E., and Sourell, H. 2001. A comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 127: 4. 224-233.
10. Frost, K.R., and Schwalen, H.C. 1955. Sprinkler evaporation losses, J. Agric. Engin. 36: 8. 526-528.
11. Ghaemi, A.A. 2004. Hydraulic evaluation of centrpivot irrigation system made in Iran and its technical problems. J. Agric. Engin. Res. 5: 19. 27-48. (In Persian)
12. Ghanbari, S., and Nazari, B. 2016. Wind and evaporation losses in fixed classical sprinkler irrigation with movable sprinkler. International Conference on Water, Environment and Sustainable Development. Ardebil University of Mohaghegh Ardabil. Pp: 165-173. (In Persian)
13. Hamdi Ahmadabad, Y., Liaghat, AM., Sohrabi, T., Rasulzadeh, A., and Liaghat, A. 2016. Performance Evaluation of Centrpivott Irrigation Systems in Moghan Agriculture and industrial. Iran. J. Soil Water Res. 4: 723-729. (In Persian)
14. Jacovides, C.P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration models. Agr. Water Manage. 3: 95-97.

15. Keller, J., and Bliesner, RD. 1990. Sprinkle and Trickle Irrigation. Van Nostrand Reinhold. New York Press. 566p.
16. Kiani, A.R., Shaker, M., and Tabarsa, R. 2018. Assessment of implemented sprinkler irrigation systems in Golestan province. *J. Water Soil Cons.* 24: 6. 257-270. (In Persian)
17. Kincaid, D.C., Soloon, K.H., and Olihant, J.C. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinkler. *Trans. ASAE.* 39: 839-845.
18. Lorenzini, G., and De Wrachien, D. 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems: A new indicator for spray evaporation losses. *In Irrig. and Drain.* 54: 295-305.
19. Markley, P., and Allen, G. 2004. Sprinkle and trickle irrigation lecture notes. 1<sup>th</sup> Ed. Utah state university, Utah, 279p.
20. Merriam, J.L., and Keller, J. 1978. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Utah State University, Logan, Utah press. 271p.
21. Molle, B., Tomas, S., Hendawi, M., and Granier, J. 2012. Evaporation and Wind Drift Losses During Sprinkler Irrigation Influenced by Droplet Size Distribution, *Irrig. Drain.* 61: 2. 240-250.
22. Nejati, D.B., Dinka, M.O., and Hordofa, T. 2015. Effects of Operating Pressure, Nozzle Diameter and Wind Speed on the Performance of Sprinkler in Irrigation System during Water Application. *ABC J. Adv. Res.* 6: 2. 149-160.
23. Ouazaa, S., Latorre, B., Burguete, J., Serreta, A., Playan, E., Salvador, R., Paniagua, P., and Zapata, N. 2015. Effect of the start – stop cycle of center-pivot towers on irrigation performance: Experiments and simulations. *J. Agric. Water Manage.* 147: 163-174.
24. Playan, E., Salvador, R., Faci, JM., Zapata, N., Martinez-Cob, A., and Sa'nchez, I. 2005. Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. *J. Agric. Water Manage.* 76: 139-159.
25. Rahmat Abadi, V., Boroomand Nasab, S., Sakhaierad, H., and Bavi, A. 2012. Evaporation and wind losses of two and three nozele in Classical Fixed Irrigation with Movable Sprinkler System in Ahwaz climate. *Iran. J. Irrig. Drain.* 4: 6. 265-272. (In Persian)
26. Ranjbar, A., Ashraf Sadrodini, A., Nazemi, A.H., Dalirehasannia, R., Fakheriefard, A. 2019. Investigation of wind and Evaporation Loss Equations in Centerpivot Irrigation System. The First International Congress and the Fourth National Congress of Irrigation and Drainage of Iran. Urmia Lake Studies Research Institute. Urmia University. Pp: 163-170. (In Persian)
27. Rostami, F. 2016. Implementation of Trimmer Model in Basht-Gachsaran Area for Classical Fixed Irrigation with Movable Sprinkler System. Master thesis. Islamic Azad University of Marvdasht. Faculty of Agriculture and Natural Resources. 120p. (In Persian)
28. Salemi, H.R., and Rezvani, S.M. 2016. Technical evaluation of sprinkler irrigation system on farm (Isfahan and Hamadan Provinces). *J. Water Soil Cons.* 24: 3. 345-350. (In Persian)
29. Sanaei, A., Eizad-Panah, Z., and Boroumand-Nasab, S. 2015. Technical evaluation center pivot systems performed in Bardsir and Rain citys in Kerman province. *Irrigation Sciences and Engineering.* 38: 2. 171-180. (In Persian)
30. Sarwar, A., Peters, R.T., and Mehanna, H. 2019. Evaluating Water Application Efficiency of Low and Mid Elevation Spray Application under Changing Weather Conditions. *Agric. Water Manage.* 221: 84-91.
31. Shaikh Esmaeili, A. 2009. Estimation of Equation for Evaporation and Wind Losses in Classical Fixed Irrigation with Movable Sprinkler System. *Iranian Water Resources Research.* 5: 1. 79-81. (In Persian)
32. Sohrabi, T., and Asilmanesh, R. 1998. Performance Evaluation of centrpivot Irrigation System in Karaj. *J. Soil Water Sci.* 2: 2. 1-15. (In Persian)



33. Spurgeon, W.E., Thompson, T.L., and Gilley, J.R. 1983. Irrigation management using hourly spray evaporation loss estimates. *ASAE*. 83: 2591-2598.
34. Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F., and Montero, J. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid condition *Agric. Water Manage.* 43: 263-284.
35. Trimmer, W.L. 1987. Sprinkler evaporation losses equation. *ASCE. J. Irrig. Drain. Engin.* 113: 4. 616-620.
36. Yacoubi, S., Zayani, K., Zapata, N., Zairi, A., Slatni, A., Salvador, R., and Playan, E. 2010. Day and night time sprinkler irrigated tomato: Irrigation performance and crop yield. *Bio systems Engineering*, 10: 7. 25-35.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation*, Vol. 27(5), 2021

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17532.3302

Research Full Paper

## Evaluation and Modeling Wind drift and Evaporation Losses of the Center Pivot Irrigation System in Moghan Region

\*Y. Hoseini<sup>1</sup>, M. Raof<sup>2</sup> and F. Nazari-Gigloo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Prof., Dept. of Agricultural Engineering and Technology, University of Mohaghegh Ardabili,

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, University of Mohaghegh Ardabili,

<sup>3</sup>M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, University of Mohaghegh Ardabili

Received: 01.03.2020; Accepted: 10.03.2020

### Abstract

**Background and Objectives:** Evaluation of any irrigation system and measurable performance analysis of that device in real conditions, is a management tool that allows the system users to make the best use of the irrigation systems. Since various regions in Iran have arid and semi-arid climates, obtaining the actual wind drift and evaporation losses and also making optimized use of water towards sustainable water resources management has a great importance. Since estimation of evaporation and wind losses that has been presented in different climatic conditions has different results, and it is not possible to present a reference model, so the purpose of this study is to investigate the effective climatic parameters on evaporation and wind losses of the Center Pivot system and to present an optimal model using multivariate regression in the study area.

**Materials and Methods:** This research has been carried out in the city of Pars-Abad in Ardabil province. The study was conducted in Part of the Moghan Agro-Industrial Complex, at wind speeds of 0-3 and 3-6 meters per second with three replications. Experiments were performed on two Center Pivot Irrigation System in sections 5 and 6 of Moghan Agro-Industrial Complex (1-4-6 and 1-8-6), which included two treatments. The average altitude of this area is 32 meters above the sea. To perform the experiment, two rows of cans at an angle of 3° were positioned 10 m apart radially along the center of the centerpivot system. The sprayer used in this study was F33AS 11/64" with 26 m of spraying diameter and operating pressure of the sprinklers about 4.45 bars.

**Results:** Results indicated that the efficiencies of the system at wind speeds of 0-3, 3-6 meters per second were 89.47, 84.47 percent, respectively, and wind speed, temperature, relative humidity, nozzle diameter, and vapor pressure deficit (saturation deficit) were among the factors that influenced wind drift and evaporation losses. Base on the results, the wind factor had the most and vapor pressure deficit had the least effect on wind drift and evaporation losses. Also, the equation of wind drift and evaporation losses was also obtained with the atmospheric conditions of the region, which had the best fit with the measured values. Results showed that the difference between results of the model and observed data was not significant at 1% level of confidence. Moreover, the measured and the modeled percentages obtained for wind drift and evaporation losses varied from 7 to 18 and from 10 to 18 percent, respectively.

---

\* Corresponding Author; Email: [y\\_hoseini@uma.ac.ir](mailto:y_hoseini@uma.ac.ir)

**Conclusion:** The results showed a direct relationship between the evaporation and wind losses with wind speed in the region. So that at wind speeds of less than 3 m/s the parameters of Coefficient of Uniformity, Distribution Uniformity and potential and Application Efficiency of the low quarter are in the appropriate range, and at medium and high wind speeds, evaluation parameters are not in the desired range, it is indicating the importance of center pivot system design in windy regions.

**Keywords:** Efficiency, Multivariate Regression, Wind Drift and Evaporation Losses, Wind Speed

