

## ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک و مدل سازی تلفات تبخیر و باد بردگی در آبیاری مدل ADF 25<sup>۱</sup> در منطقه مغان<sup>۲</sup>

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

(۱) دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(۲)\* دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی مغان اردبیل، ایران

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

(۳) کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

### چکیده:

مدیریت و استفاده بهینه از هر سیستمی نیازمند دانستن شرایط کاری سیستم بوده و استفاده بهینه با ارزیابی نحوه عملکرد آن سیستم میسر می‌گردد. از آنجا که نواحی مختلف ایران دارای آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک می‌باشد، به دست آوردن میزان واقعی تلفات تبخیر و باد بردگی و همچنین استفاده بهینه از آب، از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. هدف از این تحقیق ارزیابی سیستم آبیاری کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک و اندازه‌گیری تلفات تبخیر و باد بردگی در منطقه و ارائه مدلی بهینه با استفاده از رگرسیون چند متغیره در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این تحقیق در استان اردبیل و در بخش پنج کشت و صنعت مغان، در سرعت‌های باد ۰-۳، ۳-۶ و بیش از ۶ متر بر ثانیه در سه تکرار انجام شد. نتایج نشان داد، راندمان سیستم در سرعت باد ۰ تا ۳ و ۳ تا ۶ و ۶ متر بر ثانیه به بالا به ترتیب برابر ۸۲ و ۶۶ و ۴۳ درصد بوده و عوامل موثر در تلفات تبخیر و باد بردگی، شامل سرعت باد، درجه حرارت، رطوبت نسبی، قطر نازل و کمبود فشار بخار اشباع می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده در آبیاری مدل ADF 25 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 جوی منطقه طبق رابطه به دست آمد، که بهترین برازش را با مقدار اندازه‌گیری شده نشان داد. و اختلاف میانگین مقادیر مدل شده و مشاهداتی در سطح اعتماد یک درصد معنی‌دار نگردید. همچنین میزان تلفات تبخیر و باد بردگی اندازه‌گیری شده بین ۶ تا ۳۴ درصد و مدل سازی شده بین ۱۱ تا ۳۵ درصد متغیر بود.

**کلید واژه‌ها:** تلفات تبخیر و باد بردگی؛ راندمان؛ سرعت باد؛ رگرسیون چند متغیره

### مقدمه

باید توجه داشت در صورتی که سیستم به صورت نامناسب اجرا گردد، اثرات سوء و ترویج بد روش‌های جدید را به دنبال خواهد داشت. ارزیابی عملکرد، مفهومی است که در دستگاه‌های آبیاری امروزه نقش مهمی داشته و این نقش روز به روز آشکارتر می‌شود (Lorenzini and Wrachien, 2005). فاریابی و همکاران (۱۳۸۹) سیستم‌های آبیاری

هرچند که سیستم‌های آبیاری تحت فشار راندمان بالایی داشته و هدف از این سرمایه‌گذاری نیز جلوگیری از هدر رفت آب و افزایش بهره‌وری از آن می‌باشد، اما

تلفات تبخیر و باد بردگی و نفوذ عمقی در این سامانه به ترتیب ۱۲/۲ و ۱۳/۴ درصد و مجموع تلفات ۲۵/۶ درصد به دست آمد و بیان نمودند که دلیل اصلی پایین بودن یکنواختی توزیع و بازده آبیاری در این سامانه‌ها سرعت باد می‌باشد. با توجه به مطالب بیان شده، به نظر می‌رسد موفقیت طراحی‌های صورت گرفته شدیداً وابسته به شرایط اقلیمی مناطق مختلف کشور دارد و اگرچه طراحی‌های انجام شده برای سیستم‌های آبیاری تحت فشار، با در نظر گرفتن روابط ارائه شده در کتاب‌های مرجع می‌باشد، لیکن ارائه روابطی که از آزمایشات صحرایی در نقاط مختلف آب و هوایی کشور به دست می‌آید، می‌تواند در طراحی این گونه سیستم‌ها کمک شایانی نماید. لذا درک صحیح از فاکتورهای مؤثر بر تلفات تبخیر و باد بردگی در آبیاری بارانی به منظور بالا بردن راندمان آبیاری بسیار مهم است. Bavi و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که در مناطق نیمه‌خشک مانند ایران، تلفات تبخیر و باد می‌تواند در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی مؤثر باشد. Kincaid و همکاران (۱۹۹۶) بیان نمودند که تلفات تبخیر و باد بردگی در آبیاری عمدتاً بستگی به رایزر و اندازه قطر نازل دارد. رحمت آبادی و همکاران (۱۳۹۱) بیان نمودند که تلفات تبخیر و باد در آبیاری بارانی عمدتاً بستگی به فاکتورهای اقلیمی مانند سرعت باد، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی و نیز فاکتورهای مربوط به سیستم آبیاری بارانی مانند فشار آب، ارتفاع رایزر و اندازه نازل دارد. میزان تلفات تبخیر و باد بردگی با درجه حرارت محیط رابطه مستقیم و با رطوبت نسبی رابطه عکس دارد. مطالعات انجام شده در این زمینه دامنه تغییرات تلفات تبخیر و باد بردگی را بسیار متفاوت گزارش نموده اند، Tajrueo و همکاران (۲۰۰۰) گزارش نمودند که میزان تلفات تبخیر و باد بردگی در تحقیقات مختلف در دامنه ۲ تا ۴۰ درصد متفاوت می‌باشد و از میان پارامترهای مؤثر، عامل باد می‌تواند نقش موثرتری در این زمینه داشته باشد. در تحقیقی که توسط Spurgeon و همکاران (۱۹۸۳)

بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان را مورد بررسی و ارزیابی قراردادند. برای این منظور ۱۰ سیستم آبیاری کلاسیک ثابت به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت و پارامترهای ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ<sub>3</sub>) و راندمان واقعی در ربع پایین اراضی (AELQ<sub>4</sub>) را برای همه سیستم‌ها اندازه‌گیری شد که مقادیر متوسط این پارامترها برای ۱۰ مزرعه ارزیابی شده به ترتیب ۶۶، ۵۰/۶، ۴۴/۸ و ۴۳/۸ درصد به دست آمد و مشخص گردید کلیه سیستم‌ها دارای راندمان کاربرد پایین بوده و یکنواختی توزیع آب در آن‌ها نیز کمتر از مقادیر توصیه شده توسط Merriam and Keller (1978) می‌باشند. این موضوع نشان می‌دهد اگرچه سیستم‌های آبیاری براساس استانداردهای ارائه شده طراحی و اجرا می‌شوند لیکن برای پی‌بردن به میزان کارایی آنها نیاز به آزمایشات صحرایی در نقاط مختلف و در شرایط جوی و جغرافیایی متفاوت می‌باشد. این موضوع در تحقیق سی‌وسه مرده و بایزیدی (۱۳۹۰) نیز مشاهده گردید، ایشان سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت شهرستان مهاباد را مورد ارزیابی قراردادند، برای این منظور سه سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت به‌طور کاملاً تصادفی انتخاب و در سه مرحله مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا فراسنجی‌هایی از قبیل ویژگی‌های هواشناسی، خاک، آب آبیاری، محصول و ... صورت گرفت و سپس شاخص‌های ارزیابی شامل ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین، بازده کاربرد و بازده ترکیبی با تجزیه و تحلیل داده‌های صحرایی محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میانگین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین سامانه به ترتیب ۶۶/۴، ۵۲/۲، ۴۵/۸، ۴۵/۸ درصد بوده که کمتر از مقادیر مورد انتظار برای سیستم‌های تحت فشار می‌باشد، همچنین میانگین

انجام شد نتایج نشان‌داد که وزش باد در مناطق گرم و خشک می‌تواند تلفات تبخیر و باد بردگی را حتی به ۳۰ درصد نیز برساند. Playan و همکاران (۲۰۰۵) تلفات تبخیر و باد بردگی را در شرایط اقلیمی گرم و خشک نظیر زاراگوزای اسپانیا در سیستم بارانی نیمه ثابت با لوله‌های فرعی متحرک ۸ و ۵ درصد به ترتیب در روز و شب گزارش نمودند. از آنجا که برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی ارائه‌شده توسط مدل‌های مختلف نتایج متفاوتی را در بردارد، لذا بومی‌سازی و ارائه مدل‌های بهینه‌شده در اقلیم‌های مختلف ایران می‌تواند با توجه به عوامل مهم و موثر بر تلفات تبخیر و باد در آن منطقه به بهبود انتخاب پارامترهای طراحی از جمله قطر نازل آبیاری و زمان آبیاری با توجه به سرعت باد و غیره کمک نماید. لذا هدف از این تحقیق برآورد راندمان کاربرد سیستم آبیاری کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک در منطقه مغان و تخمین صحیح و دقیق میزان تلفات تبخیر و باد بردگی و ارائه معادله‌ای بهینه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دشت مغان واقع در شهرستان پارس‌آباد استان اردبیل بوده که از لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۳۹ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی واقع شده و از سطح دریا به طور متوسط ۴۵ متر ارتفاع دارد. این آزمایش درکشت و صنعت و دامپروری مغان صورت گرفت، اقتصاد دشت مغان با مساحت نود هزار هکتار اراضی زیر کشت عموماً براساس کشاورزی، دامداری، صنایع کارخانه‌ای استوار گردیده و به دلیل مساعد بودن شرایط آب و هوایی و زمین حاصل‌خیز یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران بشمار می‌رود که حدود ۷۰۰۰ هکتار از اراضی شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان به انواع سیستم آبیاری تحت فشار مجهز شده است که در این زمینه می‌توان به اجرای ۶۰ دستگاه ستیریپوت به مساحت ۳ هزار هکتار،

آبیاری کلاسیک در سطح ۷۵۰ هکتار و آبیاری قطره‌ای در باغ‌های میوه به مساحت حدود ۲ هزار و ۵۲۵ هکتار اشاره نمود. کشت و صنعت مغان از ۹ بخش کشاورزی تشکیل شده است و محل آزمایش در بخش ۵ کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در قسمت جنوبی شهرستان پارس‌آباد واقع شده است. در این آزمایش از آبیاری مدل ADF 25° با چهار آبیاری در حال کار استفاده شد که این نوع آبیاری در سیستم کلاسیک منطقه استفاده شده است. به منظور بالا بردن دقت در اندازه‌گیری‌ها، با اندازه‌گیری‌های انجام شده در رابطه با دبی و فشار کارکرد آبیاری‌ها و همچنین مقایسه آن با کاتالوگ ارائه شده توسط کارخانه‌ی سازنده آبیاری مشخص گردید. توزیع فشار در سیستم مناسب بوده و مطابق محاسبات طراحی بوده و آبیاری به نحو صحیحی کار می‌کند. پارامترهای فنی سیستم از جمله فشار کارکرد آبیاری در هر آزمایش اندازه‌گیری شد و در برآورد میزان تلفات تبخیر و باد بردگی با استفاده از روش‌های مختلف بکار گرفته شد. لازم به ذکر است، طبق روش اقلیم‌نمای آمبرژه اقلیم منطقه مغان، نیمه مرطوب معتدل و طبق روش دومارتن دارای اقلیم نیمه خشک است که شامل بیشترین مساحت اقلیمی در ایران می‌باشد. همچنین رژیم رطوبتی خاک‌های منطقه، رژیم رطوبتی خشک‌تر<sup>۱</sup> از زیر شاخه‌های خشک<sup>۲</sup> و رژیم حرارتی آن‌ها ترمیک<sup>۳</sup> است. در این رژیم رطوبتی، بارندگی در اغلب ماه‌ها و بویژه در ماه‌های تابستان بسیار کم است، در عوض مقدار تعرق و تبخیر پتانسیل در فصل تابستان خیلی بالا بوده و در نتیجه مقدار ذخیره رطوبتی بسیار کم است که آن هم در اواخر تابستان یا اوایل بهار به سرعت مصرف گردیده و گیاه به مدت طولانی در دوران رشد با عدم وجود رطوبت در خاک مواجه می‌گردد. مصرف اصلی این گونه اراضی مرتع می‌باشد و در صورت کشاورزی حتماً باید با آبیاری توام باشد که بیشتر نقاط

1 - Weak Aridic  
2 - Aridic  
3 - Thermic

آن  $E_w$  مقدار تلفات تبخیر و باد بردگی  $d_w$ ، (%) متوسط عمق آبی که در هنگام کار آبیاری توسط باد یا به صورت تبخیر از محدوده مزرعه خارج می‌گردد  $d_i$ ، (mm) متوسط عمق آب خارج شده از آبیاریها (mm) و  $d_a$  متوسط عمق آب پخش شده در سطح زمین (mm) می‌باشند. در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی سعی بر آن است مقدار تلفات حداقل گردد.

#### ضریب یکنواختی کریستیان سن $(CU)^1$ :

یکی از پارامترهایی که می‌تواند یکنواختی توزیع آب در مزرعه را بیان نماید ضریب یکنواختی کریستیانسن است. این پارامتر به صورت زیر تعریف می‌گردد (علیزاده، ۱۳۸۸):

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

که در آن  $CU$  ضریب یکنواختی  $d_i$ ، (%) عمق آب پخش شده در قوطی شماره  $i$  ام  $\bar{d}$ ، (mm) میانگین عمق آب جمع‌آوری شده در  $n$  قوطی (mm) و  $n$  تعداد قوطی‌هایی می‌باشند.

#### یکنواختی توزیع $(DU)^2$ :

Keller and Bliesner (1990) بیان نمودند که ضریب یکنواختی کریستیانسن به طور کامل گویای مشکلات واقعی توزیع آب در مزرعه نمی‌باشد، زیرا در محاسبه آن از عمق آب پخش شده در تمام قوطی‌ها استفاده می‌گردد. آن‌ها جهت محاسبه یکنواختی توزیع آب معادله زیر را ارائه دادند:

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

که در آن  $DU$  یکنواختی توزیع  $d_q$ ، (%) متوسط عمق آب پخش شده در ۲۵ درصد از قوطی‌ها که کمترین آب را دریافت داشته‌اند (mm) و  $\bar{d}$  متوسط عمق آب جمع‌آوری شده در  $n$  قوطی (mm) می‌باشد. برای تعیین

کشور از این رژیم رطوبتی طبیعت می‌نمایند. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) و نحوه چینش قوطی‌ها در شکل (۲) نمایش داده شده است. برای انجام آزمایش، قوطی‌ها به فاصله  $3 \times 3$  متر از هم کار گذاشته شد و برای اینکه ظروف اندازه‌گیری به صورت عمودی قرار گیرند و ۱۵ سانتی‌متر از زمین فاصله داشته باشند، از یک قطعه چوب و سیم مفتول استفاده شد. قبل از شروع به کار آبیاریها، هر چهار آبیاری در شیر خودکار مورد نظر نصب گردید، سپس شیرفلکه‌های لترال‌ها به طور هم‌زمان باز شد. در این پژوهش برای بررسی کارایی سیستم و تعیین تلفات تبخیر و باد بردگی، با استفاده از پارامترهای جوی و هیدرولیکی سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاریهای متحرک از سه سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه، ۳ تا ۶ متر بر ثانیه و بیش از ۶ متر بر ثانیه و سه تکرار برای هر سرعت باد استفاده شد. مطابق جدول (۱) در تحقیقات صورت گرفته توسط محققین در شرایط مختلف جوی روابط تجربی مختلفی برای به دست آوردن میزان تلفات تبخیر ارائه شده‌اند. آبیاری بکاررفته در این تحقیق آبیاری مدل ADF 25° با قطر نازل ۹ میلی‌متر بود و فشار کارکرد آبیاریها در تکرارهای مختلف بین ۴/۳۵ تا ۴/۵۵ بار متفاوت بود و فاصله آبیاریها از هم ۲۵ متر در نظر گرفته شده بود.

#### شاخص‌های ارزیابی سیستم

در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی و اجرای آن‌ها چندین پارامتر ارزیابی مورد بررسی قرار می‌گیرند که شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق عبارت‌اند از:

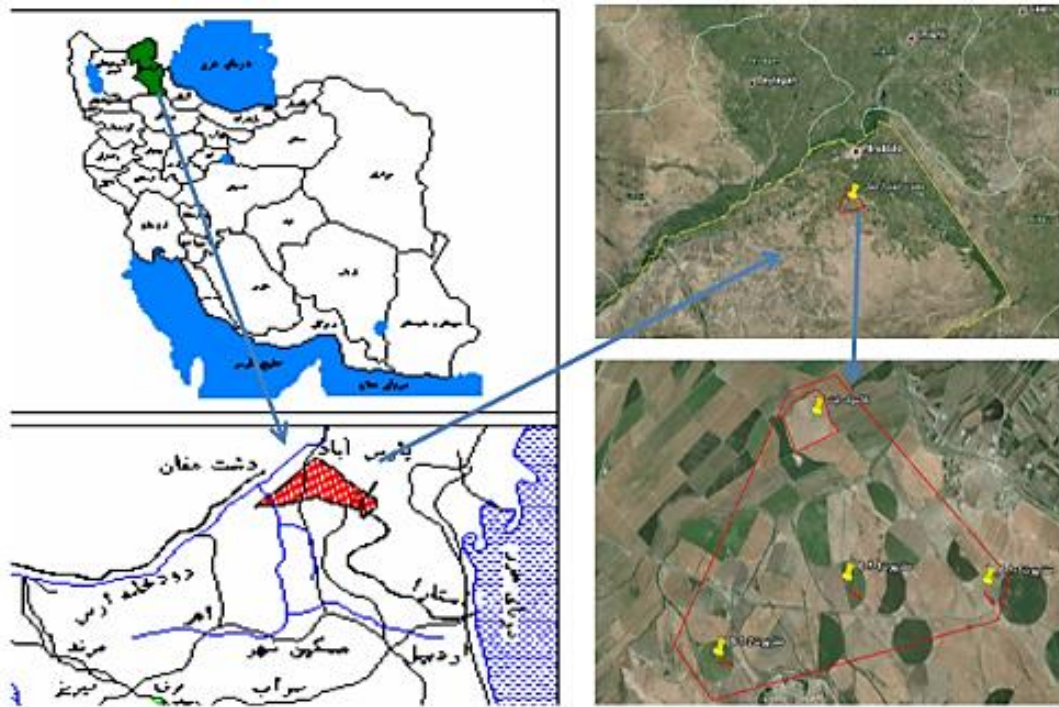
#### تلفات تبخیر و باد بردگی $(E_w)$

این پارامتر بیان می‌کند که چند درصد از آب خارج شده از آبیاریها از محدوده اراضی مورد نظر خارج می‌گردند و طبق رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

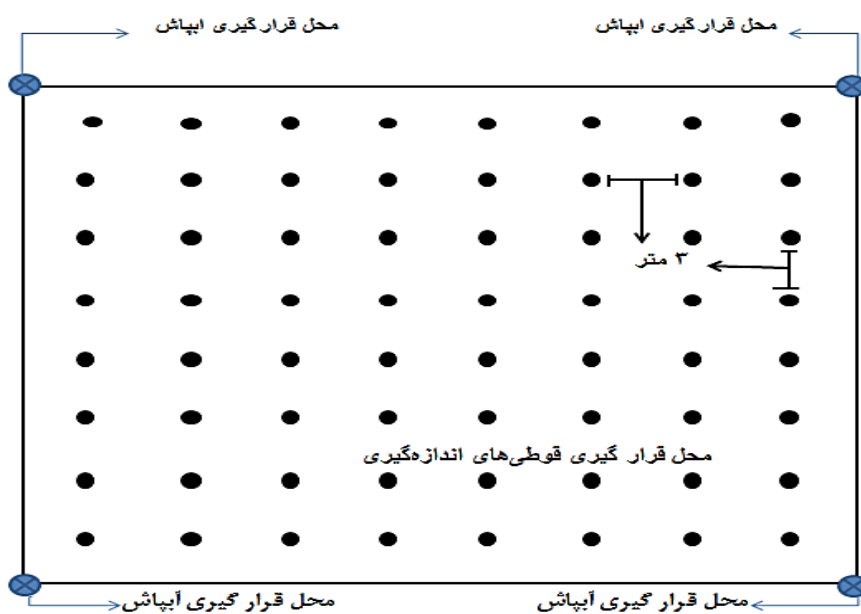
$$E_w = \frac{d_w}{d_i} \times 100 = \left(1 - \frac{d_a}{d_i}\right) \times 100 \quad (1)$$

و یکنواختی توزیع بیانگر وضعیت سیستم در پخش یکنواخت آب در مزرعه می‌باشد. در طراحی سامانه‌های آبیاری بارانی سعی می‌گردد که این دو پارامتر ذکر شده حتی‌الامکان بیشینه باشد.

CU و DU کل یک سیستم بایستی مقادیر به‌دست‌آمده از روابط (۱) و (۲) و (۳) را در ضرایب اصلاحی (که وابسته به حداقل، متوسط و حداکثر فشار کاربرد آبیاش‌ها در کل سیستم می‌باشند) ضرب نمود (Merkley and Allen, 2004). دو پارامتر ضریب یکنواختی کریستیانسن



شکل ۱. موقعیت محل آزمایش



شکل ۲. شماتیکی از نحوه چینش قوطی بین چهار آبیاش

جدول ۱. فرمول‌های تجربی تلفات تبخیر و باد بردگی

فرمول تجربی	مدل
$L_s = (1.98D^{0.77} + 0.22(e_s - s_a)^{0.63} + 3.6 \times 10^{-4} P^{1.16} + 0.4W^{0.7})^{4.2}$	Trimmer(1987)
$LS = 0.007P + 7.38(e_s - e_a)0.5 + 0.844w$	Tajruelo et al. (2000)
$Ls = -0.74D + 2.58W + 0.47T$	Faci et al. (2001)
$Ls = 7.479 + 5.287W$	Dechmi et al (2003)
$Ls = 1.55 + 1.13W$	Playan et al. (2004)

$L_s$  = تلفات تبخیر و باد بردگی  $D$  = قطر نازل برحسب mm,  $(e_s - e_a)$  = کمبود فشار بخار اشباع برحسب kpa,  $w$  = سرعت باد برحسب m/s,  $ET$  = تبخیر و تعرق برحسب mm  $CI$  = شاخص درشتی,  $P$  = فشار کارکرد برحسب kpa,  $T$  = دمای هوا برحسب سانتی گراد

### راندمان پتانسیل ربع پایین (PELQ):

آپاش‌های مورد آزمایش می‌باشند. برای محاسبه مقادیر راندمان پتانسیل و واقعی کل سیستم می‌توان مقادیر به‌دست‌آمده از روابط (۴) و (۵) را در ضرایب اصلاحی (که وابسته به حداقل، متوسط و حداکثر فشار کارکرد آپاش‌ها در کل سیستم می‌باشند) ضرب نمود (Merkley and Allen, 2004).

مفهوم پتانسیل ربع پایین با این فرض به‌دست‌آمده است که در ۲۵ درصد از اراضی که کمترین آب را دریافت نموده‌اند متوسط عمق آب پخش‌شده برابر نیاز آبی گیاه می‌باشد. با این فرض تنها در ۱۲/۵ درصد از زمین محصول خسارت دیده و در اثر تنش آبی وارده کاهش محصول خواهیم داشت. راندمان پتانسیل ربع پایین به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

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

### راندمان کاربرد آب (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 به‌صورت زیر است:

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

$d$ : متوسط عمق آب نفوذ یافته و ذخیره‌شده در منطقه ریشه (mm)

که در آن PELQ راندمان پتانسیل ربع پایین  $(\%)$ ,  $d_q$  متوسط عمق آب پخش‌شده 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):

ضرایب اصلاحی  $CU$ ,  $DU$ ,  $PELQ$  و  $AELQ$  جهت تبدیل مقادیر  $CU$  و  $DU$  اندازه‌گیری شده در آپاش‌های مورد آزمایش به مقادیر  $CU$  و  $DU$  کل سیستم آبیاری می‌توان از روابط زیر استفاده کرد (Merkley and Allen, 2004):

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:

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

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

که در آن  $CU$  و  $DU$  به ترتیب ضریب یکنواختی کریستیانسن و توزیع یکنواختی اندازه‌گیری شده در

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

که در آن AELQ، راندمان واقعی کاربرد در ربع پایین  $(\%)$  و SMD، کمبود رطوبتی خاک می‌باشد. مقادیر PELQ و AELQ مقادیر راندمان پتانسیل و واقعی ربع پایین برای

نمایند. روابط ۱۳ الی ۱۸ معادلات مذکور را نشان می‌دهند.

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

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

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

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

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

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

در روابط فوق، N: تعداد نمونه، P<sub>i</sub>: مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل، Q<sub>i</sub>: مقادیر واقعی،  $\bar{P}$ : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل،  $\bar{Q}$ : میانگین مقادیر واقعی می‌باشد (Jacovides, 1997).

### نتایج و بحث

#### ارزیابی عملکرد سیستم

در سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش‌های متحرک برای به‌دست آوردن پارامترهای ارزیابی سه سرعت باد موردبررسی قرار گرفت که نتایج در جداول (۲) تا (۴) ارائه شده است. همچنین الگوی توزیع آب به شکل منحنی هم عمق آب برای تکرار اول در شکل (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج، ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع در تیمار اول و سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه در حد مطلوبی به‌دست آمده است، به‌طوری‌که ضریب یکنواختی و یکنواختی پخش در تکرار اول به ترتیب ۸۱ و ۷۹ درصد محاسبه شده‌اند. این مقادیر، در تکرار دوم به ترتیب ۸۴/۳ و ۷۵/۶۶ درصد محاسبه شده است و در تکرار سوم ۷۹/۱ و ۶۹/۴ درصد به دست آمد، که علت بالا بودن ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع آب

آبیاش‌های مورد آزمایش،  $CU_S$  و  $DU_S$  به ترتیب مقادیر CU و DU کل سیستم آبیاری،  $P_n$  حداقل فشار آبیاش در تمام مزرعه و  $P_a$  متوسط فشار آب در کلیه آبیاش‌های تحت کارکرد بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (Merkley and Allen, 2004):

$$P_a = \frac{2P_n + P_x}{3} \quad (9)$$

که در آن  $P_x$  حداکثر فشار آبیاش در تمام مزرعه می‌باشد.

همچنین برای تبدیل مقادیر PELQ و AELQ اندازه‌گیری شده در آبیاش‌های مورد آزمایش به مقادیر PELQ و AELQ کل سیستم از روابط زیر استفاده شد (Keller and Bliesner, 1990):

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

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

که در آن ER ضریب کاهش راندمان بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

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

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

#### ارزیابی عملکرد مدل‌های برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی

معیارهای مختلفی برای ارزیابی مدل‌ها وجود دارد که به‌طور عمده بر اساس اختلاف بین خروجی‌های پیش‌بینی شده و خروجی‌های مطلوب و واقعی استوارند. برای ارزیابی عملکرد مدل از پارامترهای مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، درصد خطای نسبی ( $\varepsilon$ )، میانگین خطای مطلق (MAE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) و ضریب باقیمانده جرم (CRM) و کارایی مدل (EF) استفاده شد. بهترین پیش‌بینی‌ها زمانی رخ می‌دهد که RMSE, CRM, MAE,  $\varepsilon$  به صفر میل کند، همچنین EF و  $R^2$  به یک میل

فشار در کل سیستم در حد مطلوبی بود که تأثیر ناچیزی بر روی عملکرد سیستم در نقاط مختلف طرح داشت. با توجه به استاندارد تغییر فشار در طول لترال که معادل ۲۰ درصد فشار کارکرد آبیاری می‌باشد و با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌ها، نشان داد که در این سیستم تغییرات فشار در تکرار اول ۱۰/۴۱ درصد و در تکرار دوم ۱۲/۲۴ درصد و در تکرار سوم ۱۲/۷۶ درصد به دست آمد که این مقادیر در کل سیستم قابل قبول بوده و نشان دهنده جبران بخشی از افت بوسیله شیب در سیستم می‌باشد که با توجه به اینکه در این آزمایش ۴ آبیاری مجاور برای انجام طرح انتخاب شده است، تأثیر این تغییرات بسیار ناچیز خواهد بود.

اختلاف مقادیر ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع ناشی از اختلاف فشار در سیستم است که نشان‌دهنده تأثیر زیاد مؤلفه فشار در سامانه‌های بارانی و تأثیر بسزای این شاخص بر پارامترهای یکنواختی و در نهایت راندمان سیستم است. لذا اگرچه تغییرات فشار در سیستم مورد مطالعه در حد مجاز طراحی می‌باشد، لیکن تأثیر تغییرات فشار در سیستم به‌وضوح بر یکنواختی توزیع آب در سیستم آبیاری مشاهده می‌گردد (شکل (۴)).

سرعت باد کم در زمان آزمایش می‌باشد. که این موضوع در شکل (۳) نیز قابل مشاهده است. لذا برای رسیدن به یکنواختی بالا در سیستم کلاسیک ثابت می‌بایست آبیاری مزارع با استفاده از سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در این منطقه، در مواقع وزش باد کم تا نسبتاً ملایم صورت گیرد تا عملکرد سیستم به مقدار قابل قبولی افزایش یابد و می‌توان گفت تأثیری که سرعت باد بر روی نحوه توزیع آب در مزرعه دارد بیش از عوامل محیطی موجود در منطقه است. علاوه بر یکنواختی توزیع بالا، در این شرایط، همان‌طور که در جدول (۲) نشان داده شده است، سیستم در این حالت از راندمان پتانسیل بالایی برخوردار می‌گردد به طوری که متوسط راندمان پتانسیل و واقعی سیستم در سه تکرار به ترتیب برابر ۶۵/۶ و ۵۹/۷ درصد می‌شود. و این نشان می‌دهد که بیش از ۶۰ درصد آب مورد نیاز در مکان‌هایی که کمترین آب را دریافت کرده است، طبق محاسبات طراحی، برای گیاه تأمین شده است. در این آزمایش متوسط تلفات نفوذ عمقی در سرعت کمتر از ۳ متر بر ثانیه، ۵/۷ درصد محاسبه گردید و همچنین متوسط راندمان کاربرد سیستم نیز ۹۰ درصد برآورد گردید.

در این طرح با توجه به اینکه سیستم پمپاژ در ارتقای بالاتر از محل پخش آب از آبیاری‌ها قرار داشت، تغییرات

جدول ۲. نتایج ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت آبیاری متحرک سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه

نتایج مربوط به بلوک آزمایشی								
تیمار اول	$\bar{d}$ (mm)	dq(mm)	I(mm/hr)	CU%	DU%	PELQ%	AELQ%	%AE
تکرار ۱	۳۴/۵	۲۷/۴	۸/۱۳	۸۸	۷۹	۷۴	۶۸	۹۳/۶۷
تکرار ۲	۳۶/۵۸	۲۸	۱۴/۶۳	۸۳/۴	۷۵/۶۶	۶۳/۵	۵۶/۸	۸۴
تکرار ۳	۳۴/۷۴	۲۴/۱۲	۱۳/۹	۷۹/۱	۶۹/۴	۶۴	۵۹/۶	۹۲/۴
نتایج مربوط به سیستم								
تیمار اول	ER	%CU <sub>s</sub>	DU <sub>s</sub> %	PELQ <sub>s</sub> %	AELQ <sub>s</sub> %	تلفات تبخیر و بادبردگی %	تلفات نفوذ %	
تکرار ۱	۰/۰۲۲	۸۷	۷۸	۷۳	۶۶	۶	۶/۳۵	
تکرار ۲	۰/۰۲۶	۸۲/۵	۷۴/۴	۶۱/۸۸	۵۵/۳	۱۶	۶/۵۵	
تکرار ۳	۰/۰۲۷	۷۸	۶۸	۶۲	۵۸	۷/۶	۴/۴	

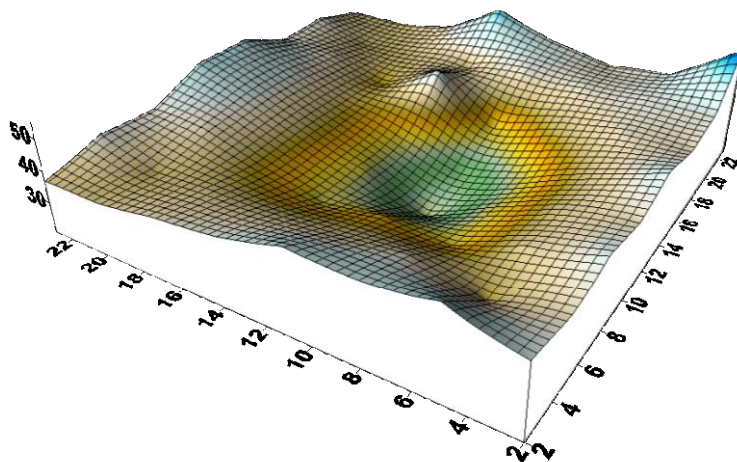


جدول ۳. نتایج ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت آبیاش متحرک سرعت باد ۳ تا ۶ متر بر ثانیه

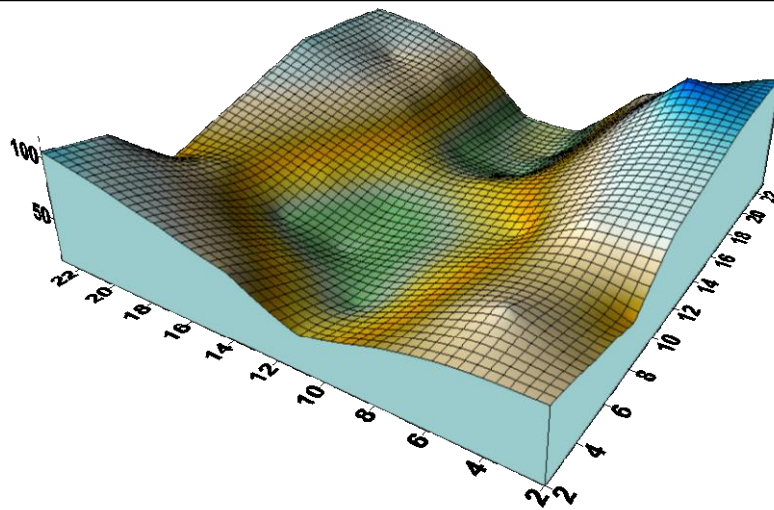
نتایج مربوط به بلوک آزمایشی								
تیمار دوم	$\bar{d}$ (mm)	dq(mm)	I(mm/hr)	CU%	DU%	PELQ%	AELQ%	AE%
تکرار ۱	۳۳/۳۸	۱۵/۷۲	۱۳/۳۵	۶۷/۰۲	۴۷	۳۷/۳	۳۴/۴۸	۷۹/۲۵
تکرار ۲	۳۲/۷	۱۵/۸۹	۱۳/۱	۶۲/۷	۴۸/۵	۳۸	۳۸	۷۸/۴
تکرار ۳	۳۴/۴۳	۱۲/۹۸	۱۳/۷۷	۶۸	۳۷/۷	۳۰/۱۸	۲۲/۹	۸۰
نتایج مربوط به سیستم								
تیمار دوم	ER	CU <sub>s</sub>	DU <sub>s</sub>	PELQ <sub>s</sub>	AELQ <sub>s</sub>	تلفات تبخیر و باد بردگی %	تلفات نفوذ %	
تکرار ۱	۰/۰۱۸	۶۷/۵	۴۶/۵	۳۶/۶	۳۴/۲	۲۰/۷	۲/۵	
تکرار ۲	۰/۰۲۸	۶۲	۴۷/۶	۳۶/۹	۳۶/۹	۲۱/۵	۰	
تکرار ۳	۰/۰۱۴	۶۷/۶	۳۷/۴	۲۹/۷	۲۲/۶	۱۹/۹	۷/۲۵	

جدول ۴. نتایج ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت آبیاش متحرک و سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه

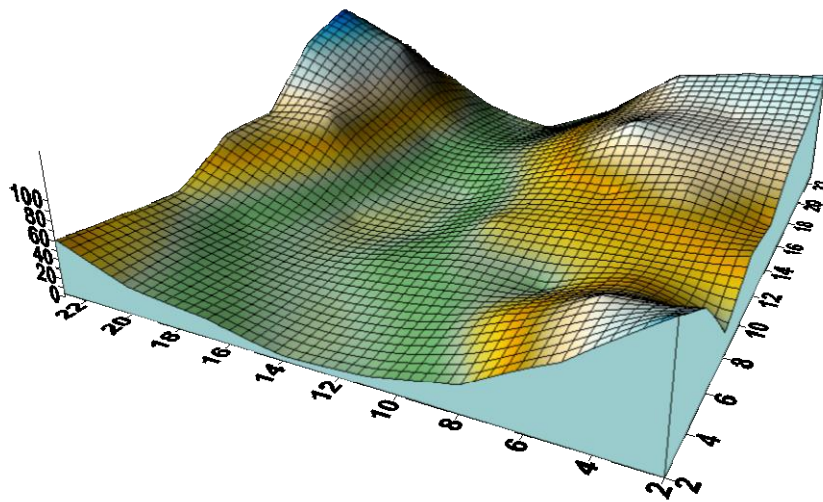
نتایج مربوط به بلوک آزمایشی								
تیمار سوم	$\bar{d}$ (mm)	dq(mm)	I(mm/hr)	CU%	DU%	PELQ%	AELQ%	AE%
تکرار ۱	۲۸/۸۸	۷/۶۷	۱۱/۵۵	۴۵/۱۲	۲۶/۵۶	۱۷/۴۶	۱۷/۴۶	۶۵/۷
تکرار ۲	۳۰	۸	۱۱/۹	۴۷/۴۸	۲۶/۸۵	۱۸/۶۱	۱۸/۶۱	۶۹/۴
تکرار ۳	۲۹/۴۵	۷/۱۲	۱۱/۷۸	۴۵/۹۵	۲۴/۱۶	۱۶/۸۲	۱۶/۸۲	۶۹/۶۳
نتایج مربوط به سیستم								
تیمار سوم	ER	%CU <sub>s</sub>	DU <sub>s</sub> %	%PELQ <sub>s</sub>	AELQ <sub>s</sub> %	تلفات تبخیر و باد بردگی %	تلفات نفوذ %	
تکرار ۱	۰/۲۲	۴۴/۶۸	۲۶/۱۷	۱۷	۱۷	۳۴	۰	
تکرار ۲	۰/۰۱۹	۴۷	۲۶/۵	۱۸/۳	۱۸/۳	۳۰/۵	۰	
تکرار ۳	۰/۰۳۱	۴۵/۳۲	۲۳/۶۲	۱۶/۲۹	۱۶/۲۹	۳۰/۵	۰	



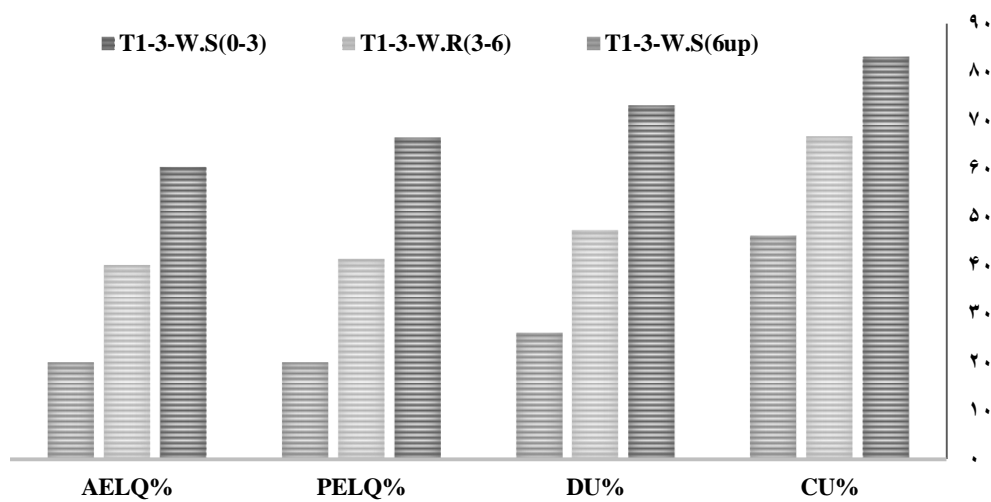
شکل ۳. الگوی سه‌بعدی توزیع آب در تکرار اول و سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه



شکل ۴. الگوی سه‌بعدی توزیع آب در تکرار اول و سرعت باد ۳ تا ۶ متر بر ثانیه



شکل ۵. الگوی سه‌بعدی توزیع آب در تکرار اول و سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه



شکل ۶. مقایسه پارامترهای ارزیابی در سرعت بادهای مختلف

در این تیمار، میانگین راندمان پتانسیل ربع پایین و راندمان واقعی ربع پایین به ترتیب برابر ۳۵/۱۶ و ۳۱/۷ درصد برای بلوک و ۳۴/۴ و ۳۱/۲ محاسبه گردید. که این مقدار نشان می‌دهد که افزایش سرعت باد می‌تواند در نقاطی از مزرعه که کمترین آب را دریافت نموده‌اند با توجه به دور آبیاری طراحی شده برای سیستم، علی‌رغم راندمان بالای سیستم، گیاه را با تنش رطوبتی مواجه نماید. بنابراین به نظر می‌رسد می‌بایست در نقاط بادخیز برای کاهش اختلاف ناشی از پارامترهای ارزیابی سیستم و بلوک آزمایشی و بالا بردن راندمان واقعی سیستم، اختلاف فشار مجاز در سیستم کاهش یافته و اختلاف فشار مجاز، تابعی از سرعت باد منطقه باشد. در این تیمار، میانگین تلفات تبخیر و باد بردگی ۲۰/۷ درصد محاسبه گردید که نسبت به تیمار اول تقریباً دو برابر شده است که ارتباط مستقیم تلفات تبخیر و باد بردگی را با سرعت باد نشان می‌دهد. در تحقیقی که توسط رحمت‌آبادی و همکاران (۱۳۹۱) در رابطه با عوامل مؤثر بر تلفات تبخیر و باد بردگی در اهواز انجام شد و عواملی چون فشار کارکرد آبیاش، سرعت باد، درجه حرارت محیط، رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار اشباع محیط مورد بررسی قرار گرفتند نیز عامل باد به‌عنوان مهم‌ترین عامل بیان گردید در تحقیق ایشان تلفات تبخیر و باد بردگی ۱/۴ تا ۱۲/۸ درصد برآورد شد و هرگاه سرعت وزش باد از ۱۲ کیلومتر در ساعت (۳/۳ متر بر ثانیه) افزایش یافت، تلفات تبخیر و باد بردگی، از ۱۰ درصد تجاوز نمود که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. همچنین میانگین تلفات نفوذ در این تیمار ۳/۲۵ در صد به‌دست آمد که نسبت به تیمار اول که ۵/۷۶ درصد بود کاهش ۴۰ درصدی را نشان می‌دهد. لذا با افزایش سرعت باد در سیستم تلفات نفوذ کاهش می‌یابد. البته باید توجه داشت که تلفات نفوذ به‌طور کامل از دسترس گیاه خارج نشده و گیاه می‌تواند بخشی از آن را مورد استفاده قرار دهد و به‌طور کلی تلفات نفوذ در مقادیر کم، ضعف سیستم محسوب نمی‌گردد. میانگین راندمان

کاربرد سیستم در این تیمار برابر ۷۹/۲ درصد برآورد گردید که نسبت به تیمار اول با سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه که ۹۰ درصد محاسبه شد، کاهش ۱۰/۸ درصدی نشان داد. کاهش خطی پارامترهای ارزیابی با افزایش سرعت باد، در شکل ۵ نیز نشان داده شده است. در تیمار سوم، سرعت باد از عوامل بسیار مؤثر بر یکنواختی پخش آب در سیستم آبیاری بارانی بود و نشان‌دار که می‌توان آن را به‌عنوان مؤثرترین پارامتر در بین تمام پارامترهای در نظر گرفت. بر این اساس با توجه به سرعت باد شدید در این مرحله از آزمایش، میانگین نتایج ضریب یکنواختی و یکنواختی توزیع ۴۶/۱ و ۲۵/۸۴ درصد برای بلوک و ۴۵/۶ و ۲۵/۴۳ درصد برای سیستم برآورد گردید که روند نزولی یکنواختی و توزیع در سیستم را نشان می‌دهد که این موضوع با تحقیق Nigatie و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد.

در تحقیق ایشان فشار کارکرد پایین آبیاش‌ها و سرعت باد زیاد از عوامل مهم در کاهش یکنواختی پخش در سیستم بیان شده است. البته باید در نظر داشت شیب کاهش ضریب یکنواختی از تیمار اول به دوم و از تیمار دوم به سوم، کاهش فراوانی داشته است و تأثیر عامل باد در منطقه به دلیل توپوگرافی مسطح دشت مغان در کنار اختلاف فشار در سیستم ناشی از مساحت مزرعه می‌تواند یکنواختی سیستم را، حتی در سرعت‌های متوسط باد، به میزان فراوانی کاهش دهد (شکل ۵).

میانگین مقادیر راندمان پتانسیل و راندمان واقعی ربع پایین در این تیمار ۱۷/۶۳ درصد برای بلوک و ۱۷/۱ درصد برای سیستم برآورد گردید که در این تیمار برابر بودن راندمان پتانسیل و واقعی در بلوک و سیستم نشان‌دهنده آن است که کمتر از یک‌چهارم قوطی‌های مورد آزمایش در این تیمار کمتر از میانگین آب دریافت کرده‌اند. این نتایج کاهش ۵۰ درصدی راندمان پتانسیل و واقعی را نسبت به تیمار دوم (سرعت باد ۰ تا ۳ متر بر ثانیه) نشان می‌دهد. فاریابی و همکاران (۱۳۸۹) میزان

ارتفاعی باشد که می‌توان علت بالا بودن راندمان‌های واقعی و پتانسیل ربع پایین در شرایط برابری ضرایب یکنواختی را به همین موضوع نسبت داد و آبیاری شبانه را در شرایط سرعت بالای باد پیشنهاد داد. همان‌طور نتایج تحقیق Yacoubi و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده است، تلفات تبخیر و باد بردگی در شب نسبت به روز به ترتیب از ۲۴ به ۷ درصد کاهش و یکنواختی آبیاری از ۵۰ درصد در روز به ۶۴ درصد در شب افزایش می‌یابد. همچنین شیخ اسماعیلی در تحقیق خود نشان داد که با آبیاری شبانه می‌توان تلفات تبخیر و باد بردگی را در جنوب خوزستان از ۲۶/۸ درصد به ۲ درصد کاهش داد.

#### مدل‌سازی تلفات تبخیر و بادبردگی

در جدول (۵) و شکل (۷)، میزان دقت مدل‌های برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی با در نظر گرفتن خط یک و یک نشان داده شده است.

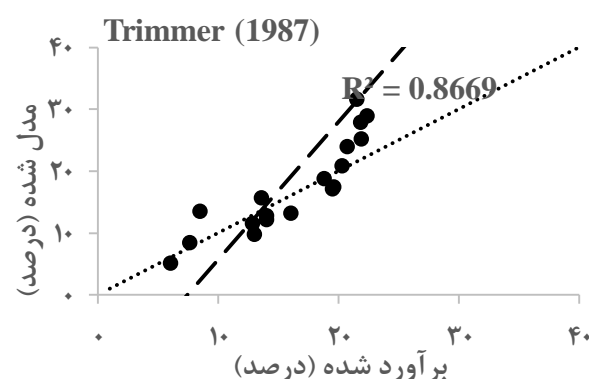
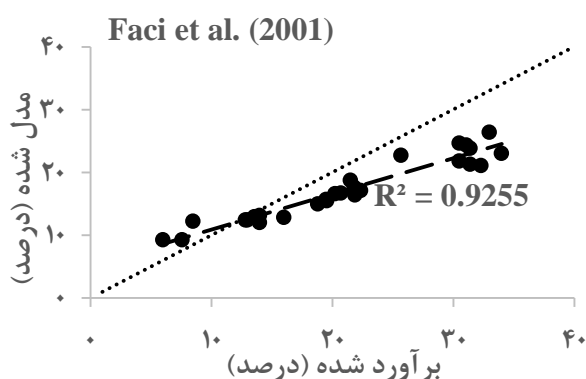
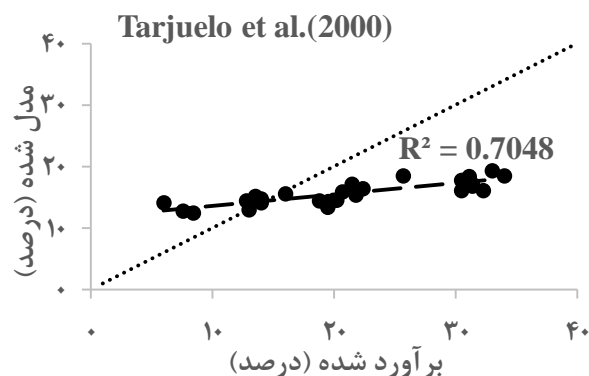
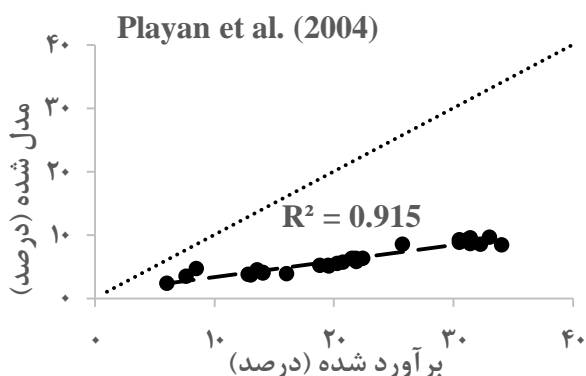
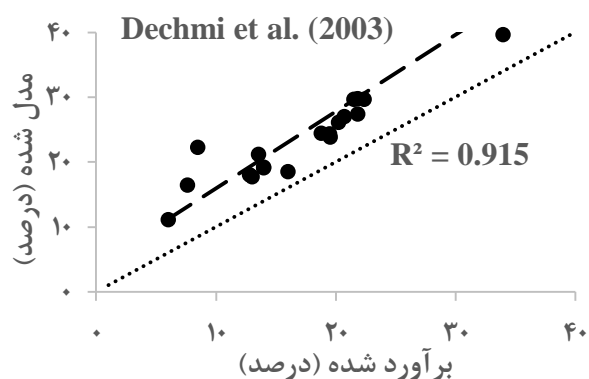
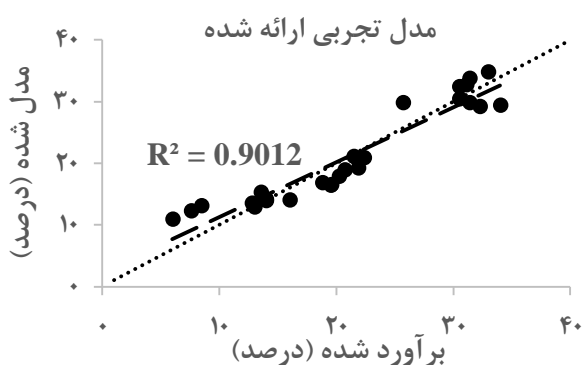
با انجام رگرسیون چند متغیره و استفاده از قابلیت سالور<sup>۱</sup> برنامه اکسل، رابطه تلفات تبخیر و باد بردگی برای منطقه مورد مطالعه برآورد گردید که طبق رابطه (۱۹) می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است، با افزایش سرعت باد، بر مقدار تلفات تبخیر و باد بردگی به‌طور چشم‌گیری افزوده می‌شود و پارامترهای ارزیابی سیستم به شدت کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه در تابستان دارای درصد رطوبت بالا و نوسانات دمایی کم است، مقادیر کمبود فشار بخار اشباع به مقدار اندکی تغییر می‌یابد، لذا در بین پارامترهای تأثیرگذار بر تلفات تبخیر و باد بردگی (رابطه (۱۹)) با توجه به ضرایب به‌دست‌آمده از رگرسیون چند متغیره، سرعت باد بیشترین تأثیر را بر تلفات تبخیر و باد بردگی داشته است. Darko و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که جهت مدیریت بهینه آب در سامانه‌های کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک می‌بایست سرعت باد را در محاسبات

شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU)، یکنواختی توزیع (DU)، راندمان پتانسیل کاربرد در ربع پایین (PELQ<sub>3</sub>) و راندمان واقعی در ربع پایین (AELQ<sub>4</sub>) اراضی را در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان اندازه‌گیری کردند که مقادیر متوسط این پارامترها به ترتیب ۶۶، ۵۰/۶، ۴۴/۸ و ۴۳/۸ درصد به دست آمد که این مقادیر کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده برای تیمار اول (سرعت باد ۳-۰ متر بر ثانیه) و بیش از شاخص‌های ارزیابی تیمار دوم (سرعت باد ۳-۶ متر بر ثانیه) و سوم (سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه) می‌باشد. میانگین تلفات تبخیر و باد بردگی در این تیمار برابر ۳۱/۶ درصد برآورد گردید که افزایش ۵۲ درصدی را نسبت به تیمار دوم نشان می‌دهد و این نشان می‌دهد شیب افزایش تلفات تبخیر و باد بردگی کاهش داشته است. همچنین میانگین راندمان کاربرد در این تیمار ۶۸/۲ درصد برآورد گردید که مجدداً کاهش ۱۱ درصدی را نسبت به تیمار دوم نشان داد. لیکن تأثیر آن بر راندمان کاربرد کمتر می‌باشد به‌طوری‌که راندمان کاربرد در حالت سرعت بالای ۶ متر بر ثانیه به راندمان کاربرد سرعت‌های کمتر از ۳ متر بر ثانیه تقریباً ۲۴ درصد کاهش نشان می‌دهد. سی‌وسه مرده و بایزیدی (۱۳۹۰) در سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت شهرستان مهاباد، میانگین مقادیر ضریب یکنواختی کریستیانسن، یکنواختی توزیع، بازده کاربرد واقعی ربع پایین، بازده بالقوه ربع پایین را به ترتیب ۶۶/۴، ۵۲/۲، ۴۵/۸، ۴۵/۸ درصد و میانگین تلفات تبخیر و باد بردگی و نفوذ عمقی را به ترتیب ۱۲/۲ و ۱۳/۴ درصد برآورد نمودند که پارامترهای ارزیابی به‌دست‌آمده، کمتر از تیمار اول و بیشتر از تیمار دوم این تحقیق برآورد شده است لیکن تلفات تبخیر و باد بردگی در حدود تیمار اول و نفوذ عمقی آن تقریباً دو برابر تیمار اول که بیش‌ترین میزان نفوذ عمقی را در برداشت، برآورد شده است که علت آن می‌تواند به دلیل شرایط توپوگرافی و جبران بخشی از تغییرات فشار به‌وسیله تغییرات هد

فاصله آبیاش‌ها و طراحی لحاظ نمود. نتایج به دست آمده از رگرسیون چند متغیره طبق رابطه زیر برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

$$L_s = 5.22 d^{-0.1} + 5.11(es - ea)^{0.25} + 1.18w^{1.54} \quad (19)$$

همان‌طور که در جدول (۵) نشان داده شده است، تفاوت میانگین بین نتایج مدل تجربی ارائه شده و مشاهداتی در سطح اعتماد یک درصد معنی‌دار نبوده و این نشان دهنده دقت بالای مدل در تعیین تلفات تبخیر و باد بردگی در منطقه می‌باشد.



شکل ۷. مقایسه دقت مدل‌های تجربی تلفات تبخیر و باد بردگی با نتایج حاصل از مدل ارائه شده در منطقه

نتایج حاصل از اندازه‌گیری تلفات تبخیر و باد بردگی و نتایج حاصل از مدل‌های تجربی ارائه‌شده در جدول (۶) نشان می‌دهد که پس از مدل رگرسیونی ارائه‌شده در منطقه، مدل‌های Faci و همکاران (۲۰۰۱)، Trimmer و Tarjuelo (۱۹۸۷) و همکاران (۲۰۰۰)، Dechmi و همکاران (۲۰۰۳)، Playan و همکاران (۲۰۰۴) به ترتیب در مراتب بعدی قرار می‌گیرند.

در تحقیقی که توسط دلیر حسن نیا و همکاران (۱۳۹۰) انجام شد و مدل‌های تعیین تلفات تبخیر و باد بردگی 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. لیکن در تحقیق ایشان روش Playan و همکاران (۲۰۰۴) دارای نزدیک‌ترین برآوردها و روش Keller and Bliesner (1990) دارای کمترین دقت در برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی بود که با نتایج این تحقیق مغایرت دارد زیرا اگرچه سرعت باد مهم‌ترین پارامتر در تلفات تبخیر و باد بردگی محسوب می‌شود، لیکن در روش Faci و همکاران (۲۰۰۱) که ترکیبی از پارامترهای قطر نازل، سرعت باد و دما می‌باشد، نتایج دقیق‌تری نسبت به سایر مدل‌ها به دست می‌آید. مقایسه محاسبات و مشاهدات نشان می‌دهد، معادلات پیشنهادی این تحقیق به دلیل در نظر گرفتن مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر بادبردگی و تبخیر، از دقت بالایی در پیش‌بینی این تلفات برخوردارند.

اگر چه تحقیقات زیادی عامل باد را مهم‌ترین عامل تلفات تبخیر و باد بردگی بیان نموده‌اند به طور مثال اکبری و رحیم‌زادگان (۱۳۷۵) اثر باد را بر یکنواختی توزیع آب آبیاش‌ها بررسی کرده، و نشان دادند که با افزایش سرعت باد یکنواخت توزیع به سرعت کاهش می‌یابد. در همین رابطه Playan و همکاران (۲۰۰۵) و Zapata و همکاران (۲۰۰۷) گزارش نمودند که باد مهم‌ترین عامل

محیطی مؤثر بر عملکرد سامانه‌های آبیاری بارانی می‌باشد و از کاهش شدید یکنواختی آبیاری به عنوان یکی از اثرات زیان‌آور باد نام بردند. لیکن همان‌طور که نتایج این تحقیق نشان می‌دهد ترکیب عوامل مؤثر نتایج دقیق‌تری در برداشته و می‌تواند در اقلیم‌های مختلف به مقادیر اندازه‌گیری شده تلفات تبخیر و بادگردی نزدیک گردد. در رابطه با مدل Dechmi و همکاران (۲۰۰۳)، که با توجه به نتایج به دست آمده، دارای کمترین دقت در برآورد تلفات در منطقه می‌باشد، با توجه به شیب تقریباً یک به یک به دست آمده و بیش برآزش صورت گرفته در این روش که به نظر می‌رسد علت آن ضریب ۵/۲۸ عامل باد باشد، تصحیح عامل عرض از مبدا در این روش که ۷/۴۷ می‌باشد و کاهش آن و یا کاهش ضریب عامل باد در این روش، نتایج آن را به مقدار قابل ملاحظه‌ای دقیق‌تر خواهد نمود. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد عامل باد در اقلیم‌های مختلف تاثیر یکسانی در تلفات باد بردگی در سیستم‌های 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 (رستمی (۱۳۹۵)، قنبری و نظری (۱۳۹۵)، باقری و همکاران (۱۳۹۲)) عوامل سرعت باد، کمبود فشار بخار اشباع، فشار و قطر نازل از مهمترین پارامترهای تاثیر گذار می‌باشند و فرمول محاسبه تلفات در اقلیم ایران بهتر است از ترکیب عوامل فوق استفاده نماید تا نتایج دقیق‌تری را ارائه دهد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است به‌جز مدل Dechmi و همکاران (۲۰۰۳) و Trimmer (۱۹۸۷)، که تلفات تبخیر و باد بردگی را بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد، سایر مدل‌ها برآوردی کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده داشته‌اند. در تحقیق شیخ اسماعیلی (۱۳۸۸) نیز مدل Frost and Schwalen (۱۹۹۵) تلفات را کمتر از مقادیر واقعی نشان داد.

جدول ۵. نتایج آزمون تفاوت واریانس و میانگین بین مدل تجربی ارائه شده و مقادیر مشاهداتی در سطح یک درصد

شاخص آماری	مشاهداتی	مدل ارائه شده
متوسط	۲۱/۱۷	۲۱/۱۶
واریانس	۷۰/۹	۶۲/۳۲
تعداد داده	۲۷	۲۷
درجه آزادی	۲۶	
F محاسباتی	۱/۱۳۸	
P(F<=f)	۰/۳۷۲	
F آستانه	۲/۵۵	
آزمون T با فرض برابری واریانس های دو نمونه		
واریانس اشتراکی	۶۶/۶۳	
فرض تفاوت میانگین	۰	
درجه آزادی	۵۲	
t محاسباتی	۰/۰۰۲۳	
P(T<=t)	۰/۴۹۹	
T آستانه	۲/۴	
P(T<=t)	۰/۹۹	
t آستانه (مشاهدات جفت شده)	۲/۶۷	

جدول ۶. شاخص های عملکردی مدل ها

مدل	EF	CRM	RMSE(%)	MAE(%)	ε	R <sup>2</sup>
مدل تجربی تحقیق	۰/۹۸	۰/۰۰۰۰۰۱	۲/۶	۰/۱۴	۱۴/۳۶	۰/۹
Trimmer(1987)	۰/۳۴	-۰/۳۱	۱۵/۵۴	۰/۴	۳۹/۹۹	۰/۸۶
Faci et al. (2001)	۰/۹۲	۰/۲۳	۵/۴۷	۰/۲۱	۲۱/۲۳	۰/۹۲
Tarjuelo et al. (2000)	۰/۷۹	۰/۳۵	۸/۷۲	۰/۳۴	۳۳/۵۹	۰/۷
Playan et al. (2004)	۰/۲۸	۲/۴۳	۱۶/۲۲	۰/۶۹	۶۹/۴۹	۰/۹۱
Dechmi et al. (2003)	۰/۷۸	-۰/۲۷	۸/۶۵	۰/۴۴	۴۴/۰۷	۰/۹۱

### نتیجه گیری

در این تحقیق با ارزیابی سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در منطقه مغان و بررسی میزان تلفات تبخیر و باد بردگی، مدلی برای برآورد تلفات تبخیر و باد بردگی در منطقه ارائه گردید. نتایج ارتباط مستقیم پارامترهای ارزیابی سیستم را با سرعت باد در منطقه نشان می دهد. به طوری که در سرعت باد کمتر از ۳ متر بر ثانیه پارامترهای ضریب یکنواختی، یکنواختی توزیع و راندمان های پتانسیل و واقعی ربع پایین در محدوده مناسبی قرار گرفته و در سرعت های متوسط و زیاد باد،

با وجود تغییرات فشار مجاز در سیستم و طراحی مطابق معیارهای استاندارد، لیکن پارامترهای ارزیابی آن در محدوده مطلوبی قرار نمی گیرد و این نشان دهنده اهمیت طراحی سیستم کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک در مناطق باد خیر می باشد و در این مناطق می بایست 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، لیکن با بالا رفتن راندمان شبکه و افزایش محصول جبران خواهد شد زیرا نتایج نشان داد در سرعت های بالای باد،

حدی باشد که راندمان سیستم را به شکل فراوانی کاهش ندهد. البته با بررسی گلباد منطقه مغان مشخص می‌شود که باد غالب منطقه از جانب غرب به شرق بوده و سرعت باد در ماه‌های پیک مصرف یعنی اواخر بهار و فصل تابستان مقادیر بیش‌تری دارد و مضافاً براینکه در این ایام سال، کمبود فشار بخار اشباع نیز افزایش می‌یابد که خود باعث افزایش تلفات تبخیر و بادبردگی خواهد شد. این عوامل سبب محدودیت زمانی برای شیفت ساعات آبیاری در ماه‌های پیک شده و لذا در نظر گرفتن پارامترهای طراحی از جمله قطر نازل و فشار کارکرد مناسب آبیاری برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی امکان‌پذیرتر خواهد بود.

راندمان ربع پایین به شدت کاهش می‌یابد و این می‌تواند سبب مواجه گیاه با تنش رطوبتی شده و موجب کاهش محصول در آن مناطق گردد. نتایج پژوهش نشان داد با در نظر گرفتن سه عامل سرعت باد، کمبود فشار بخار اشباع و قطر نازل می‌توان تلفات تبخیر و باد بردگی در منطقه را به خوبی برآورد نمود. همچنین اکثر مدل‌های برآورد تبخیر و باد بردگی برآورد دقیقی از میزان تلفات نداشته و می‌بایست جهت طراحی بهینه و محاسبات دقیق سیستم، مدل تلفات تبخیر و باد بردگی در مناطق مختلف جوی به‌دست آید. نتایج نشان داد برای افزایش راندمان سیستم کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک، علاوه بر تغییر در پارامترهای طراحی برای به حداقل رساندن تغییرات فشار در سیستم، آبیاری در زمانی صورت گیرد که سرعت باد در

#### منابع مورد استفاده

- اکبری، م. و رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۵. اثرات باد و خصوصیات هیدرولیکی سامانه آبیاری بارانی بر یکنواختی توزیع آب. گزارش دومین کنگره مسائل آب و خاک کشور. ۲۷ تا ۳۰ بهمن ماه، تهران.
- باقری، ح.، انصاری، ح. و هاشمی نیا، س. م. ۱۳۹۵. مدلسازی تلفات تبخیر و بادبردگی آبیاری‌های اسپری مورد استفاده در فضاهای سبز شهری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۷): ۹۲-۸۳.
- دلیرحسین نیا، ر.، ناظمی، ا. ح.، اشرف صدرالدینی، ع. و فرسادی زاده، د. ۱۳۹۰. مدل تعیین تلفات بادبردگی و تبخیر در اسپری نازل‌های سامانه آبیاری سنتریپوت. مجله دانش آب و خاک. ۲۱(۱): ۱۴-۱.
- سی‌وسه مرده، م. و بایزیدی، م. ۱۳۹۰. ارزیابی فنی سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در مطالعه موردی استان آذربایجان غربی - مهاباد. مجله علمی پژوهشی مهندسی آب. ۴(۸): ۶۳-۷۵.
- شیخ اسماعیلی، ا. ۱۳۸۸. ارائه معادله برآورد تلفات تبخیر و بادبردگی در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک، تحقیقات منابع آب ایران. ۱(۱۵): ۷۹-۸۱.
- رستمی، ف. ۱۳۹۵. پیاده‌سازی مدل تریمر در منطقه باشت - گچساران برای سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی. ص ۱۲۰
- رحمت آبادی، و.، برومندنسب، س.، سخایی راد، ح. و باوی، ع. ۱۳۹۱. تلفات تبخیر و باد دو نوع آبیاری تک نازله و سه نازله در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاری متحرک در شرایط اقلیمی اهواز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۶): ۲۶۵-۲۷۲.
- علیزاده، ا. طراحی سیستم‌های آبیاری تحت فشار. چاپ پنجم. ۱۳۹۰. انتشارات آستان قدس رضوی. ص ۴۵۰
- فاریابی، ا.، معروف‌پور، ع. و قمرنیا، ه. ۱۳۸۹. بررسی و ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت دشت دهگلان کردستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۴(۵۴): ۱۵-۱.



قنبری، ص. و نظری، ب. ۱۳۹۵. تلفات بادبردگی و تبخیر در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک. کنفرانس بین‌المللی آب، محیط زیست و توسعه پایدار. اردبیل، دانشگاه محقق اردبیلی.

- Bavi, A., Kashkuli, H.A., Boroomand, S., Naseri, A. and Albaji, M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation system under various operating conditions. *Journal of Applied Sciences* 9(3): 597-600.
- Darko, R. O., Shouqi, Y., Junping, L., Haofang, Yan. and Xingye, Zh. 2017. Overview of advances in improving uniformity and water use efficiency of sprinkler irrigation. *Agricultural and Biological Engineering*. 10 (2):1-15.
- 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. *Irrigation Science*. 22 (2): 67-77.
- Faci, J.M., Salvador, R., Playan, E. and Sourell, H. 2001. A comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 127 (4): 224-233.
- Frost, K.R. and Schwalen, H.C. 1955. Sprinkler evaporation losses, *Journal of Agricultural Engineering*, 36(8): 526-528.
- Jacovides, C. P. 1997. Reply to comment on Statistical procedures for the evaluation of vapotranspiration models. *Agricultural Water Manage*. 3: 95-97.
- Keller, J. and Bliesner, R. D. 1990. "Sprinkle and Trickle Irrigation". Van Nostrand Reinhold. New York. p 652.
- Kincaid, D.C., Soloon, K.H. and Olihant, J.C. 1996. Drop size distributions for irrigation sprinkler. *Trans. ASAE*. 39: 839-845.
- 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
- Merriam, J.L. and Keller, J. 1978. *Farm irrigation system evaluation: a guide for management*. Utah State University, Logan, Utah.
- Merkley, G.P. and Allen, R.G. 2004. *Sprinkle and trickle irrigation lecture notes*, Utah State University, USA.
- Nigatie, 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 Journal of Advanced Research*, 6(2): 149-160.
- Playan, E., Salvador, R., Faci, J.M., 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. *Journal of Agriculture Water Management*, 76: 139-159.
- Spurgeon, W.E., Thompson, T.L. and Gilley, J.R. 1983. Irrigation management using hourly spray evaporation loss estimates. *ASAE*.
- 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.
- Trimmer, W.L. 1987. Sprinkler evaporation losses equation. *ASCE. Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 113(4): 616\_620.
- 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.
- Zapata, N., Playa'n, E., Martinez-Cob, A., Sanchez, I., Faci, J. M. and Lecina, S. 2007. From on farm solid-set sprinkler irrigation design to collective irrigation network design in windy areas. *Agric. Water Manage*. 87: 187-199.



ISSN 2251-7480

## Evaluation of classic semi-permanent sprinkler system and modeling evaporation losses and wind drift in ADF 25° nozzle sprinkler model in Moghan region

Majid Raouf<sup>1</sup>, Yaser Hoseini<sup>2</sup> and Fardin Nazari-Gigloo<sup>3</sup>

1) Associate Professor, Faculty of Agricultural Technology and Natural Resources, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

2\*) Associate Professor of Moghan College of Agriculture and Natural resources, University of Mohagheh Ardabili Ardabil, Iran

\*Corresponding author email: y\_hoseini@uma.ac.ir

3) Graduated Master of Science (MSc), Water Engineering, University of Mohagheh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 11-09-2017

Accepted: 20-06-2018

### Abstract

Optimized management and utilization of any system requires knowing the working conditions of the system, and optimized utilization becomes possible by evaluating the way the system works. 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 has a great importance. The present research intended to evaluate a classic semi-permanent sprinkler, to measure wind drift and evaporation losses, and to introduce an optimized model by using multivariate regression for the study region. The study was conducted in Part of the Moghan agro-industrial complex in Ardabil province at wind speeds of 0-3 and 3-6 and higher than 6 meters per second with three replications. Results in ADF 25° nozzle sprinkler model indicated that the efficiencies of the system at wind speeds of 0-3, 3-6, and higher than 6 meters per second were 82, 66, and 43 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. The wind factor had the most and vapor pressure deficit the least effect on wind drift and evaporation losses. Furthermore, the equation of the best fit line to the measured values for wind drift and evaporation losses under the prevailing atmospheric conditions in the region was as follows and the difference between results of the model and observed data was not significant in 1% level of confidence. Moreover, the measured and the modeled percentages obtained for wind drift and evaporation losses varied from 6 to 34 and from 11 to 35 percent, respectively.

**Keywords:** efficiency; multivariate regression; wind drift and evaporation losses; wind speed