مدیریت آب و آبیاری
دوره ۴ ■ شماره ۲ ■ پاییز و زمستان ۱۳۹۳
صفحه‌های۲۰۲-۱۹۱

# بررسی بازده آبیاری سیستم‌های آبیاری بارانی در منطقهٔ خرم‌آباد

زینب میخک بیرانوند [۱]*، سعید برومند نسب[۲]، زهرا ایزدپناه[۳] و عباس ملکی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکدهٔ مهندسی علوم آب، ایران
۲. استاد دانشکدهٔ مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۳. استادیار دانشکدهٔ مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۴. استادیار دانشکدهٔ مهندسی کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۲/۱۱/۲۸ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۴/۲۳

## چکیده

موضوع بهره‌وری و بازده آبیاری، کانون توجه بیشترین موضوعات مرتبط با آب است. استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی، علاوه بر آسان‌تر کردن آبیاری و خودکار کردن آن، روشی است برای بهبود یکنواختی و بازده کاربرد آب که در نهایت سبب صرفه‌جویی در مصرف آب و افزایش تولید محصول خواهد شد. در این تحقیق چهار سیستم آبیاری بارانی (کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک) در شهرستان خرم‌آباد به‌عنوان نمونه انتخاب و ارزیابی شد. مقادیر بازده کاربرد، بازده ترکیبی، بازده پتانسیل کاربرد، بازده واقعی کاربرد آب و کفایت آبیاری در سیستم‌های کلاسیک ثابت به‌ترتیب ۵۶/۸۲، ۵۹/۸۶، ۴۷/۲۱، ۴۵/۷۱ و ۸۱/۶۴ درصد محاسبه شد. متوسط تلفات پاششی و نفوذ عمقی به‌ترتیب در سیستم‌های کلاسیک ثابت ۱۳/۲ و ۳۰/۰۹ درصد به‌دست آمد. پارامترهای محاسبه‌شده کمتر از حد انتظار بود. همهٔ سیستم‌ها دارای بازده کاربرد و ترکیبی اندک بودند. زیاد بودن تلفات، سبب کاهش بازده کاربرد و بازده ترکیبی شد. در یک سیستم، آبیاری کامل صورت گرفت و در بقیهٔ مزارع به‌علت وقوع پدیدهٔ کم‌آبیاری، بازده واقعی و بازده پتانسیل کاربرد برابر شد.

**کلیدواژه‌ها:** بازده پتانسیل کاربرد، بازده ترکیبی، بازده کاربرد، بازده واقعی کاربرد، کفایت آبیاری.

* نویسنده مسئول Email: z.mikhak@gmail.com

## ۱. مقدمه

علم کشاورزی به‌جهت صرفه‌جویی در مصرف آب، بهبود بازده آبیاری و همچنین از بین بردن تلفات آب ناشی از نفوذ و تبخیر، به سیستم‌های آبیاری تحت فشار روی آورده است (۳). بازده کاربرد آب در سیستم‌های آبیاری بارانی قبل از هر چیز به مقدار تلفات تبخیر و باد وابسته است و سرعت باد و کمبود فشار بخار، مهم‌ترین عوامل مؤثر بر درصد تلفات تبخیر و بادبردگی است (۴). عوامل مؤثر بر بازده کاربرد سیستم‌های آبیاری بارانی عبارت است از: فشار آبپاش، تغییرات فشار در سیستم، دبی، قطر خیس‌شده و فاصلهٔ آبپاش‌ها، الگوی توزیع آب آبپاش، زاویهٔ جت خروجی، سرعت و جهت باد، خصوصیات نفوذپذیری خاک، شدت پخش آبپاش و عوامل مدیریتی نظیر زمان آبیاری، کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری و نگهداری سیستم (۱۰). آبیاری در شب و استفاده از ماشین‌های آبیاری نظیر سیستم دورانی به‌جای سیستم‌های ثابت موجب کاهش تلفات تبخیر و باد به حدود نصف یا دوسوم می‌شود (۱۱).

در تحقیقی در خصوص تلفات تبخیر و بادبردگی در وضعیت اقلیمی نیمه‌خشک (ساراگوسای اسپانیا)، متوسط تلفات تبخیر و باد برای مجموعهٔ ثابت در طی آبیاری روز و شب به‌ترتیب ۱۵/۴ و ۸/۵ درصد، و متوسط تلفات تبخیر و باد برای لاترال‌های متحرک ۹/۸ درصد در روز و ۵ درصد در شب بود و قطر نازل و قطر قطره‌ها، مهم‌ترین متغیرهای سیستم آبیاری مؤثر بر درصد تلفات تبخیر و باد گزارش شد (۱۲).

در پژوهشی دیگر، مهم‌ترین متغیرهای اقلیمی مؤثر بر درصد تلفات تبخیر و باد را، سرعت باد، درجهٔ حرارت هوا، رطوبت نسبی و کمبود فشار بخار گزارش کرده‌اند (۱۳). تلفات تبخیر و باد کمتر از ۲۰ درصد، حالت استاندارد به‌شمار رفته است (۱۵). در پژوهشی اثر درجهٔ حرارت هوا بر مقدار تبخیر آب پاششی در سیستم‌های آبیاری بارانی بررسی شد. در این تحقیق با ثابت نگه داشتن سایر شاخص‌های مؤثر بر تبخیر، نشان داده شد که تبخیر از آب آبپاش‌ها به‌صورت تابعی لگاریتمی وابسته به درجهٔ حرارت هوا است. این وابستگی به‌گونه‌ای است که با افزایش دمای هوا از ۲۱ به ۲۷ درجهٔ سانتی‌گراد، تبخیر از ۴/۱۵ به ۷/۷۳ درصد افزایش یافت (۷).

در آبیاری بارانی، ارزیابی تلفات جت‌آب به‌دلیل وضعیت محیطی، شاخص مهمی از عملکرد سیستم در نظر گرفته می‌شود (۸). در تحقیقی، سرعت باد و رطوبت نسبی از متغیرهای مهم مؤثر بر تلفات تبخیر و بادبردگی بیان شد (۱۴).

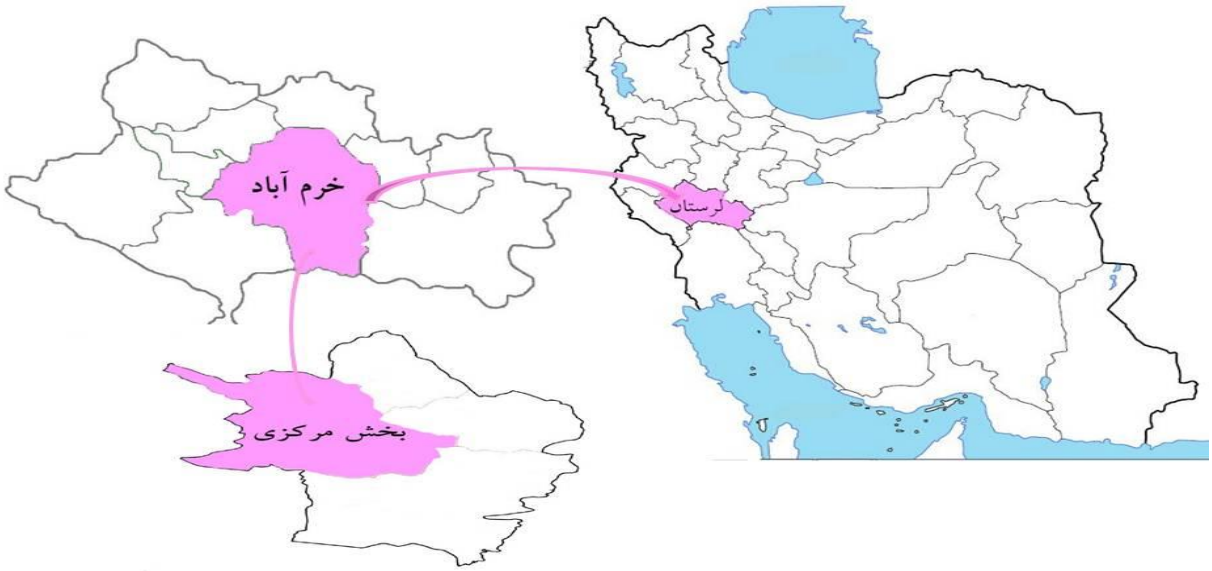
با ارزیابی سیستم‌های آبیاری بارانی اجراشده می‌توان سطح موفقیت این سیستم‌ها را تعیین کرد و راهکارهای عملی برای بهبود بازده آبیاری این سیستم‌ها و پیشنهادهایی برای سیستم‌های آتی بیان کرد. هدف از مطالعهٔ حاضر، ارزیابی و بررسی بازده آبیاری سیستم‌های بارانی کلاسیک ثابت اجراشده در شهرستان خرم‌آباد و معرفی راهکارهای عملی برای بهبود بازده آبیاری این سیستم‌ها است.

## ۲. مواد و روش‌ها

شهرستان خرم‌آباد مرکز استان لرستان و بزرگ‌ترین شهرستان استان هم به‌لحاظ جمعیت و هم از نظر مساحت است که بین مدارهای ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقهٔ طول شرقی و ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۱ دقیقهٔ عرض شمالی قرار دارد. شهرستان خرم‌آباد با وسعت ۴۹۳۵ کیلومتر مربع از شمال به شهرستان‌های دلفان و سلسله، از جنوب به شهرستان اندیمشک از توابع استان خوزستان و شهرستان پلدختر، از غرب به شهرستان کوهدشت و از شرق به شهرستان‌های بروجرد، دورود و الیگودرز محدود است. مرکز آن شهر خرم‌آباد است؛ شهری

که در میان کوه‌های فرعی زاگرس محصور شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۷۱ متر است. در شکل ۱ محدودهٔ جغرافیایی خرم‌آباد نشان داده شده است.

در این تحقیق چهار سیستم آبیاری بارانی در بخش مرکزی خرم‌آباد ارزیابی شد. مزرعه‌های بررسی‌شده در بخش مرکزی خرم‌آباد واقع شده‌اند. مشخصات سیستم‌های آبیاری مطالعه‌شده در جدول ۱ ارائه شده است.

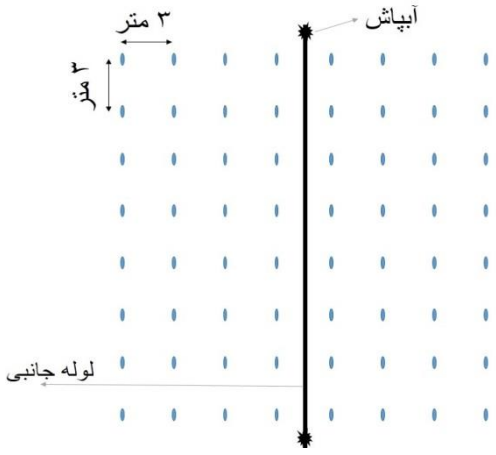



**شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان خرم‌آباد و محدودهٔ تحقیق**

**جدول ۱. مشخصات سیستم‌های آبیاری بارانی مورد مطالعه**

| کد سیستم | منطقه | نوع سیستم | محصول | مساحت (هکتار) | منبع آب | تعداد لوله‌های جانبی یا آبپاش درحال کار | فواصل آبپاش‌ها (متر×متر) | مدل آبپاش‌ها |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $AW_1$ | سراب پرده | کلاسیک ثابت | گندم | ۳/۵ | چاه | ۴ | ۲۵×۲۵ | AMBOO |
| $AW_2$ | حسن‌آباد | کلاسیک ثابت | ذرت | ۹/۵ | چاه | ۵ | ۲۵×۲۵ | KOMET |
| $AW_3$ | قنات‌آباد | کلاسیک ثابت | یونجه | ۸ | چاه | ۴ | ۲۵×۲۵ | AMBOO |
| $AW_4$ | سراب پرده چاهی | کلاسیک ثابت | گندم | ۶ | چاه | ۵ | ۲۵×۲۵ | VYR |

در این پژوهش، ابتدا با توجه به توپوگرافی مزرعه، محلی برای اجرای آزمایش انتخاب شد که تا حد امکان فشار متوسط سیستم در آنجا اتفاق می‌افتاد. بنابراین سعی شد از لوله‌های جانبی که در وسط مزرعه وجود دارند انتخاب شود. سپس مکانی بر روی لوله‌های جانبی انتخاب شد که دارای فشار متوسط در طول لولهٔ جانبی باشد (۹). پس از تعیین محل مناسب اجرای آزمایش، مساحت بین دو آبپاش مورد نظر تا آبپاش‌های بعدی با استفاده از متر نواری و میخ‌های چوبی به فواصل ۳×۳ متری شبکه‌بندی شد (۶). در نهایت قوطی‌های جمع‌آوری هم‌اندازه و یکسان به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و قطر داخلی ۹/۶ سانتی‌متر در تمامی نقاط شبکه قرار داده شد. همهٔ قوطی‌ها بعد از قرار گرفتن در محل خود (شکل ۲)، قبل از به‌کار انداختن آبپاش‌ها، کنترل شدند تا کاملاً عمودی باشند و پوشش گیاهی اطراف مانع ورود آب به‌داخل آنها نشود. سپس آبپاش‌ها شروع به کار کردند و بعد از گذشت دست‌کم یک ساعت و بسته به شرایط تا دو ساعت (۹)، بلافاصله حجم آب داخل قوطی‌ها با استفاده از استوانهٔ مدرج اندازه‌گیری و یادداشت شد.




**شکل ۲. آرایش قوطی‌های جمع‌کننده در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت**

## ۳. شاخص‌های ارزیابی

بازده کاربرد ربع پایین[1] را به‌صورت زیر تعریف کرده‌اند:

$$AELQ = \frac{Z_{r,la}}{D} \times 100 \qquad (۱)$$

در این رابطه، $Z_{r,lq}$ : متوسط عمق آب در اراضی‌ای که کمترین آب را دریافت کرده‌اند (متوسط یک‌چهارم کمترین عمق‌های آب جمع‌آوری‌شده در قوطی‌ها در شبکهٔ محاسباتی)(میلی‌متر)؛ و $D$: متوسط عمق آب آبیاری (اندازه‌گیری‌شده از سر نازل آبپاش)(میلی‌متر) است. این فرمول زمانی استفاده می‌شود که $Z_{r,lq} \leq SMD$ باشد. در غیر این صورت $SMD$ به‌جای $Z_{r,lq}$ در صورت کسر فوق قرار می‌گیرد. مقدار آبی که باید به خاک داده شود تا رطوبت خاک به ظرفیت زراعی برسد کمبود رطوبت خاک $SMD$ نام دارد.

بازده پتانسیل ربع پایین[2] را به‌صورت رابطهٔ (۲) تعریف کرده‌اند.

$$PELQ = \frac{Z_{lqMAD}}{D_{MAD}} \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه، $Z_{lq,MAD}$: متوسط کمترین ربع عمق نفوذکرده است (متوسط یک‌چهارم کمترین عمق‌های آب جمع‌آوری‌شده در قوطی‌ها در شبکهٔ محاسباتی) (میلی‌متر) زمانی که برابر با MAD[3] باشد؛ و $D_{MAD}$: متوسط عمق آب به‌کاربرده‌شده (اندازه‌گیری‌شده از سر نازل آبپاش) (میلی‌متر) زمانی که SMD = MAD است (۹). MAD: کمبود رطوبت مجاز مدیریتی است که براساس گیاه و وضعیت محیطی انتخاب می‌شود (۱۳). محدودهٔ ۶۵ تا ۸۵ درصد در آبیاری بارانی برای بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین توصیه شده است (۹).

1. Application Efficiency in low Quarter
2. Potential Efficiency in low Quarter
3. Maximum or Management Allowable Deficit

به‌دلیل اختلاف فشار در هریک از سیستم‌ها، بازده پتانسیل کاربرد و بازده واقعی کاربرد مربوط به کل سیستم، کمتر از مقادیر آنها برای بلوک آزمایش است. ازاین‌رو از روابط زیر برای محاسبهٔ بازده پتانسیل کاربرد و بازده واقعی کاربرد مربوط به کل سیستم استفاده شد.

$$AELQ_s = (1 - ER) \times AELQ \qquad (3)$$

$$PELQ_s = (1 - ER) \times PELQ \qquad (4)$$

دراین رابطه، $PELQ_S$: بازده پتانسیل کاربرد در کل سیستم (درصد)؛ $AELQ_S$: بازده واقعی کاربرد در کل سیستم (درصد)؛ و $ER$: ضریب کاهش بازده است که از رابطهٔ ۵ به‌دست می‌آید.

$$ER = \frac{0/2 \times (P_{max} - P_{min})}{P_{mean}} \qquad (5)$$

در این رابطه $P_{mean}, P_{max}, P_{min}$: به‌ترتیب حداقل فشار، فشار متوسط و حداکثر فشار سیستم (اندازه‌گیری‌شده توسط فشارسنج و لولهٔ پیتو متصل به آن)(بار) است (۱).

کفایت ربع پایین[1] به‌صورت رابطهٔ (۶) تعریف شده است.

$$AD_{lq} = \frac{Z_{lq}}{Z_{req}} \times 100 \qquad (6)$$

در این رابطه، $Z_{lq}$: میانگین عمق کمترین ربع (متوسط یک‌چهارم کمترین عمق‌های آب جمع‌آوری‌شده در قوطی‌ها در شبکهٔ محاسباتی) (میلی‌متر) و $Z_{req}$ عمق آبیاری مورد نیاز (برابر با SMD) است. اگر $Z_{lq}$ معیار برنامه‌ریزی آبیاری باشد، مدت زمان آبیاری مناسب به کفایت ربع پایین برابر با ۱۰۰ درصد منجر می‌شود. در این حالت حدود یک‌هشتم مزرعه آب کمتری نسبت به میانگین کمترین ربع دریافت می‌کند (۵،۹). با این تعریف، کفایت ربع پایین کوچک‌تر از یک نشان‌دهندهٔ کم‌آبیاری و کفایت ربع پایین بزرگ‌تر از یک نشان‌دهندهٔ آبیاری بیش از حد است (۵).

در آبیاری بارانی، بخشی از آب تخلیه‌شده به‌وسیلهٔ سیستم آبیاری، به تاج‌پوشش گیاه نمی‌رسد که تلفات تبخیر و بادبردگی[2] نامیده می‌شود (۱۲). در آبیاری بارانی تلفات تبخیر و باد از اختلاف بین مقدار آب تخلیه‌شده از آبپاش‌ها و مقدار آب جمع‌شده در قوطی‌های اندازه‌گیری تخمین زده می‌شود (۱۳). تلفات تبخیر و باد نیز برای هر کدام از سیستم‌های مورد ارزیابی با استفاده از رابطهٔ (۷) بر حسب درصد محاسبه شد.

$$WDEL = \frac{D_r - \bar{D}}{D_r} \times 100 \qquad (7)$$

در این رابطه، WDEL: تلفات تبخیر و باد بر حسب درصد؛ $D_r$: عمق آبیاری (اندازه‌گیری‌شده از سر نازل آبپاش) (میلی‌متر)؛ و $\bar{D}$: متوسط عمق آبیاری جمع‌شده در قوطی‌ها در شبکهٔ محاسباتی)(میلی‌متر) است (۶). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که در وضعیت‌های اقلیمی و عملکردی متفاوت، تلفات تبخیر و باد از حداقل ممکن تا ۴۰ و حتی ۵۰ درصد متغیر بوده است (۱۳).

کفایت آبیاری ($AD_{irr}$)[3] و کفایت ربع پایین ($AD_{lq}$) با استفاده از دو فرمول زیر بر حسب درصد برای مزارع محاسبه شد.

$$AD_{irr} = \frac{N_1}{N} \times 100 \qquad (8)$$

در این رابطه، $N_1$: تعداد قوطی‌هایی مورد آزمایش که آب جمع‌شده در آنها بیشتر یا مساوی با SMD است؛ و N: تعداد کل قوطی‌های مورد آزمایش بوده است.

1. Adequacy irrigation in low Quarter

2. wind and evaporation losses

3. Adequacy irrigation

$$AD_{lq} = \frac{D_{lq}}{SMD} \times ۱۰۰ \qquad (۹)$$

تلفات نفوذ عمقی[1] (DP) نیز برای هر کدام از مزارع با استفاده از دو فرمول زیر برای دو حالت آبیاری کامل و آبیاری ناقص برحسب درصد محاسبه شد:

**الف) آبیاری کامل**

$$DP = \frac{\bar{D} - SMD}{D_r} \times 100 \qquad (۱۰)$$

**ب) آبیاری ناقص**

(۱۱)

$$DP = \frac{V_{Z1} - (SMD \times AD_{irr} \times S_l \times S_m)}{q \times T_{irr}} \times ۱۰۰$$

در این رابطه، q: دبی متوسط آبپاش (اندازه‌گیری توسط یک ظرف ۲۰ لیتری مدرج، کرونومتر و چند قطعه شیلنگ با قطرهای مختلف (متناسب با قطر نازل‌های آبپاش)(متر مکعب بر ثانیه)؛ $T_{irr}$: مدت زمان آبیاری (ثانیه)؛ $S_l$: فاصلهٔ آبپاش‌ها از یکدیگر روی لولهٔ فرعی (متر)، $S_m$: فاصلهٔ لوله‌های فرعی از یکدیگر روی لولهٔ اصلی (متر) و $V_{Z1}$ کل حجم آب نفوذکرده ($m^3$) در منطقه‌ای است که بیشتر یا مساوی با *SMD* آب خورده است و از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$V_{Z1} = \sum_{i=1}^{i:D_i \geq SMD} (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m \qquad (۱۲)$$

در این رابطه، $A_i$: درصد مساحتی است که توسط هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب پوشیده شده است ($\frac{1}{N} \times 100$)؛ و $D_i$: عمق آبیاری جمع‌شده در قوطی‌های مورد آزمایش است که بیشتر از مقدار *SMD* است. پس از محاسبهٔ تلفات تبخیر و باد و تلفات نفوذ عمقی، بازده ترکیبی ($E_C$)[2] با استفاده از فرمول زیر، بر حسب درصد محاسبه شد.

$$E_C = (۱ - DP) \times (۱ - WDEL) \times ۱۰۰ \qquad (۱۳)$$

بازده کاربرد (AE)[3] نیز برای هر کدام از مزارع با استفاده از دو فرمول زیر برای دو حالت آبیاری کامل و آبیاری ناقص بر حسب درصد محاسبه شد.

**الف) آبیاری کامل**

$$AE = \frac{\frac{S}{MD}}{D_r} \times ۱۰۰ \qquad (۱۴)$$

**ب) آبیاری ناقص**

(۱۵)

$$AE = \frac{(SMD \times AD_{irr} \times S_l \times S_m) + V_{Zi}}{q \times T_{irr}} \times ۱۰۰$$

در این رابطه، $V_{zi}$: کل حجم آب نفوذکرده (متر مکعب) در منطقه‌ای است که آبیاری ناکافی بوده است.

(۱۶)

$$V_{Zi} = \sum_{i\ D_i \leq SMD}^{N} (D_i \times A_i) \times S_l \times S_m$$

در این رابطه، $A_i$: درصد مساحتی است که توسط هر یک از قوطی‌های جمع‌آوری آب پوشیده شده است ($\frac{1}{N} \times 100$)؛ و $D_i$: عمق آبیاری جمع‌شده در قوطی‌هایی است که کمتر یا برابر از مقدار *SMD*) هستند (۲).

## ۴. نتایج و بحث

### ۴.۱. نتایج و بحث مربوط به سیستم آزمایشی $AW_1$

چنانکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، تلفات آبیاری در این سیستم زیاد و حدود ۴۳ درصد بوده است که حدود

1. deep percolation losses

2. Combination fficiency
3. Application Efficiency

۳۰/۰۸ درصد آن، تلفات نفوذ عمقی و ۱۲/۹ درصد تلفات تبخیر و بادبردگی است. همچنین از آنجا که بازده ترکیبی، بیانگر اثر ترکیبی تلفات تبخیر و باد و نفوذ عمقی در آبیاری بارانی است، این سیستم بازده ترکیبی اندکی داشته است.

بازده کاربرد آب نیز که نشان‌دهندهٔ درصد ذخیره شدن آب کاربردی برای استفادهٔ گیاه در ناحیهٔ ریشهٔ آن است، به‌دلیل زیاد بودن تلفات آبیاری مقدار کمی داشته است (شکل ۳). شکل ۶ نشان می‌دهد که در این مزرعه، آبیاری به‌صورت کامل صورت گرفته و کفایت آبیاری مناسب و حدود ۹۷ درصد است. در بیشتر نقاط مزرعه، عمق آب آبیاری بیش از کمبود رطوبت خاک در زمان آبیاری بوده است

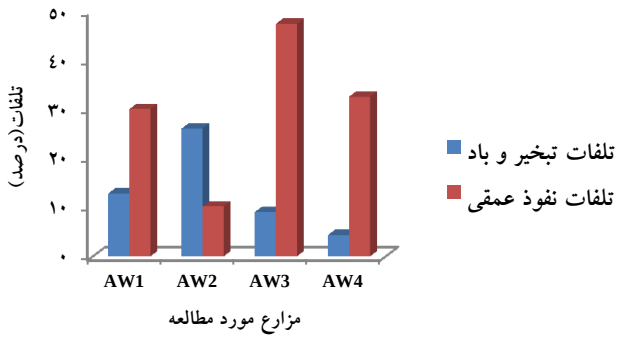
باید توجه داشت که مریام و کلر (۱۹۷۸) محدودهٔ ۶۵ تا ۸۵ درصد را در آبیاری بارانی برای بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین توصیه کرده‌اند. چنانچه مقدار PELQ در مزرعه‌ای کم باشد احتمالاً دو مشکل وجود دارد: ۱. نادرستی طراحی و اجرا؛ ۲. ناقص بودن مدیریت بهره-برداری سیستم، که در این صورت می‌توان سیستم را اصلاح کرد. در این سیستم مقادیر AELQ و PELQ کمتر از مقادیر پیشنهادی کلر و مریام است (شکل۴) که نشان‌دهندهٔ مشکلات طراحی و اجرای ناصحیح است. همچنین شکل ۵ نشان می‌دهد که کفایت ربع پایین بیش از ۱۰۰ درصد است. که نشان‌دهندهٔ آبیاری بیش از حد است. بیشتر بودن این عدد از ۱۰۰ نمایانگر تلفات عمقی در سیستم است که حدود ۳۰ درصد بوده است.

### ۴ .۱ .۱. راهکارهای اصلاح سیستم $AW_1$

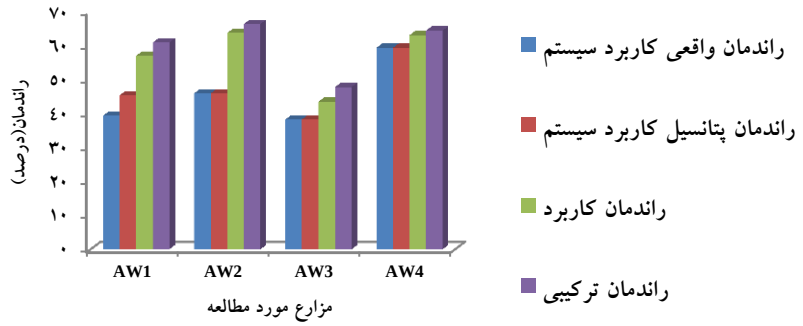
بازده کاربرد و بازده ترکیبی، اندک بوده که علت آن، زیاد بودن تلفات نفوذ عمقی در این سیستم است. کم بودن بازده کاربرد و بازده ترکیبی در این سیستم با افزایش کفایت ربع پایین همراه بوده است و بنابراین برای اصلاح سیستم باید تلفات را کاهش داد تا بتوان به بازده بیشتری دست یافت. با انتخاب زمان و دور آبیاری مناسب و آبیاری کافی، می‌توان بازده واقعی کاربرد را تا حد بازده پتانسیل ارتقا بخشید. بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین این سیستم، خیلی کم بوده و پذیرفتنی نیست که نشان‌دهندهٔ مشکلات طراحی است. فشار نامناسب و تغییرات بیش از حد مجاز آن نمونه‌ای از این مشکلات است. اتصالات لوله‌ها در مواردی آب‌بندی نبود و نشتی آب از اتصالات در بازدیدها مشاهده شد، که علت آن، به‌طور کلی کهنگی و فرسودگی اتصالات و نصب نامطلوب آنها بوده است که در صورت خرابی، باید تعمیر یا تعویض شوند.

### ۴ .۲. نتایج و بحث مربوط به سیستم آزمایشی $AW_2$

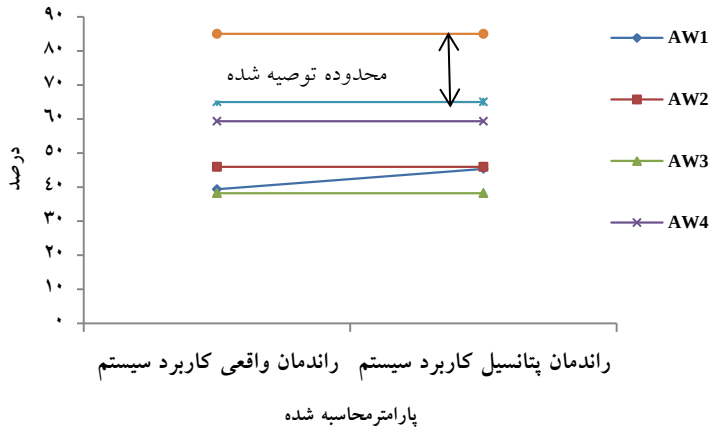
چنانکه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، حدود ۳۶ درصد از آب به‌کاررفته در این سیستم، صرف تلفات آبیاری شده که کمتر از بقیهٔ سیستم‌ها است. به‌دلیل کم بودن تلفات آبیاری در این سیستم، بازده ترکیبی و بازده کاربرد، مقادیر به‌نسبت خوبی را در مقایسه با سایر سیستم‌ها به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴). تلفات نفوذ عمقی علی‌رغم کم‌آبیاری در این سیستم، کم و تلفات رواناب ۲۶/۱۲ درصد بود. همچنین شدت خروجی آبپاش‌ها بیش از سرعت نفوذ خاک بود که سبب ایجاد رواناب می‌شود و باید نوع آبپاش تغییر کند و فشار کارکرد آبپاش کم شود. در شکل ۶ نیز منحنی کفایت آبیاری سیستم رسم شده است. این شکل نشان می‌دهد که در این سیستم آبیاری نیز به‌صورت کامل صورت نگرفته و کفایت آبیاری ۵۶ درصد است.



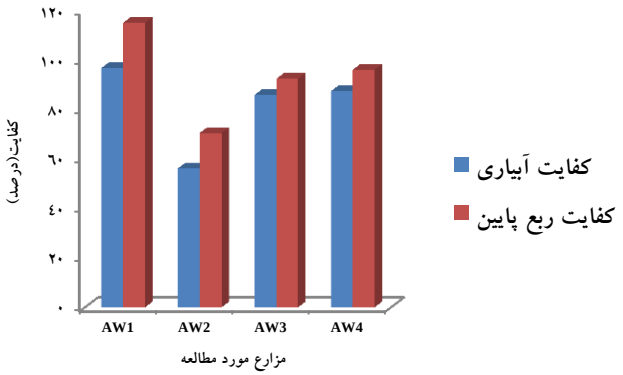

شکل ۳. نمودار تلفات آبیاری در سیستم‌های بررسی‌شده




شکل ۴. نمودار بازده در سیستم‌های بررسی‌شده




شکل۵. شاخص‌های محاسبه‌شده به‌همراه مقادیر توصیه‌شدهٔ آنها




**شکل ۶. نمودار کفایت آبیاری مزارع بررسی‌شده**

در این سیستم کفایت ربع پایین حدود ۷۰/۶ درصد بود و اختلاف این عدد از ۱۰۰ نشان‌دهندهٔ میزان کم‌آبیاری در این مزرعه است. ازاین‌رو به‌علت پدیدهٔ کم‌آبیاری، بازده کاربرد آب در ربع پایین، برابر با مقدار پتانسیل آن است (شکل ۴). بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین این سیستم خیلی کم بوده و پذیرفتنی نیست.

### ۴ .۲ .۱. راهکارهای اصلاح سیستم $AW_2$

کم بودن بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین به‌علت مشکلات طراحی و اجرا است، اما با توجه به بازدیدهای به‌عمل‌آمده می‌توان گفت در این سیستم، سهم مشکلات مدیریتی و بهره‌برداری در کم بودن PELQ بیشتر از مشکلات طراحی و اجرایی بوده است. از مشکلاتی که در بازدید از این سیستم ملاحظه شد می‌توان به مدیریت نامناسب در مزرعه و نداشتن دانش کافی دربارهٔ نیاز آبی و عدم استقرار به‌موقع آبپاش‌ها در مکان مناسب، استفاده از تعداد آبپاش‌هایی بیش از ظرفیت سیستم و عمود نبودن پایهٔ آبپاش‌ها اشاره کرد. برای افزایش کفایت آبیاری در سیستم می‌توان دور آبیاری را کاهش داد و پس از آن مدت زمان استقرار آبپاش‌ها را نیز اصلاح کرد تا به کفایت و بازده بیشتری دست یافت.

## ۴ .۳. نتایج و بحث مربوط به سیستم آزمایشی $AW_3$

تلفات در این سیستم حدود ۵۶ درصد است که متوسط تلفات نفوذ عمقی حدود ۴۷ درصد را شامل می‌شود و ۹ درصد دیگر آن را تلفات تبخیر و بادبردگی تشکیل می‌دهد (شکل ۳). در این سیستم بازده کاربرد و بازده ترکیبی بسیار کم است (شکل ۶). به‌علت عدم طراحی یا اجرای صحیح، بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین نیز بسیار کم است و پذیرفتنی نیست (شکل ۴). منحنی کفایت آبیاری این سیستم که در شکل ۹ رسم شده است نشان می‌دهد که آبیاری به‌صورت کامل صورت نگرفته، اما کفایت آبیاری مناسب و حدود ۸۶ درصد است.

### ۴ .۳ .۱. راهکارهای اصلاح سیستم آزمایشی $AW_3$

بازده پتانسیل در این سیستم کم بوده است که دلیل آن طراحی و اجرای نامناسب و کم بودن فشار کارکرد سیستم است. دلیل کم بودن بازده کاربرد و بازده ترکیبی در این سیستم، وجود تلفات در سیستم است. اختلاف فشار در کل سیستم نیز زیاد بود و علاوه بر آن، به‌دلیل استهلاک سیستم و قدیمی بودن آن، تلفات آب در مسیر لوله، به‌ویژه در محل اتصالات، برای مثال در محل اتصال پایهٔ آبپاش وجود داشت و این مسئله نیز سبب اختلاف فشار در طول

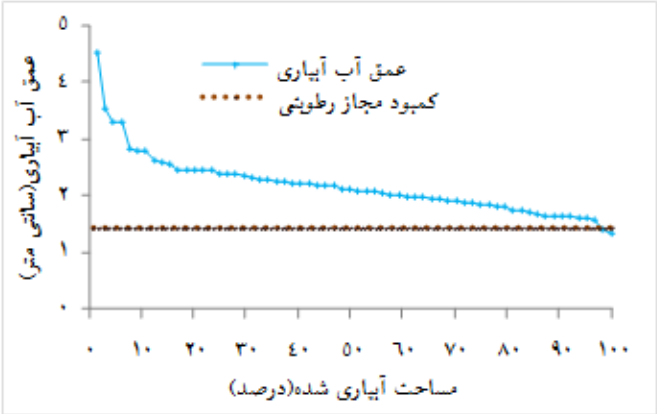
لولهٔ جانبی شد. با کاهش تلفات، جلوگیری از تغییرات فشار و تنظیم فشار در سیستم می‌توان بازده پتانسیل و کاربرد بهتری را انتظار داشت.

### ۴.۴. نتایج و بحث مربوط به سیستم آزمایشی $AW_4$

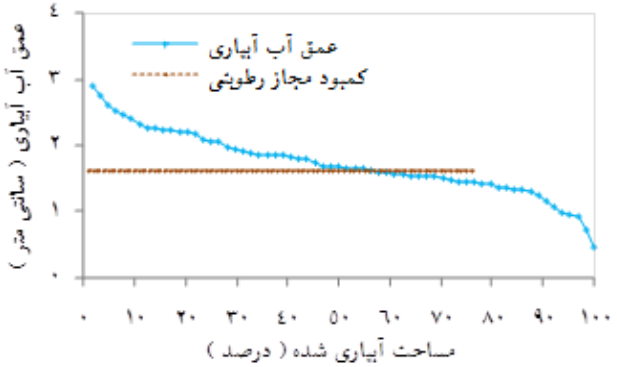
چنانکه در شکل۳ مشاهده می‌شود تلفات آبیاری در این سیستم حدود ۳۷ درصد بوده است. سهم زیادی از این مقدار به نفوذ عمقی آب تعلق دارد (۳۳ درصد). همچنین به‌دلیل زیاد بودن تلفات آبیاری در این سیستم، بازده ترکیبی و بازده کاربرد مقدار کمی را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۴). در این سیستم آبیاری کمتر از نیاز صورت می‌گرفت، بنابراین بازده واقعی با بازده پتانسیل کاربرد ربع پایین بلوک آزمایش برابر بوده و ۵۹/۳۳ درصد محاسبه شده است. برای ارائهٔ نحوهٔ مدیریت آبیاری به غیر از شاخص‌های بازده پتانسیل و بازده واقعی کاربرد، منحنی کفایت آبیاری نیز ترسیم شد. چنانکه منحنی کفایت آبیاری در شکل ۱۰ نشان می‌دهد، در مزرعه آبیاری کمتر از نیاز صورت گرفت و تلفات نفوذ عمقی در سیستم ۳۲/۶ درصد محاسبه شد.

#### ۴.۴.۱. راهکارهای اصلاح سیستم آزمایشی $AW_4$

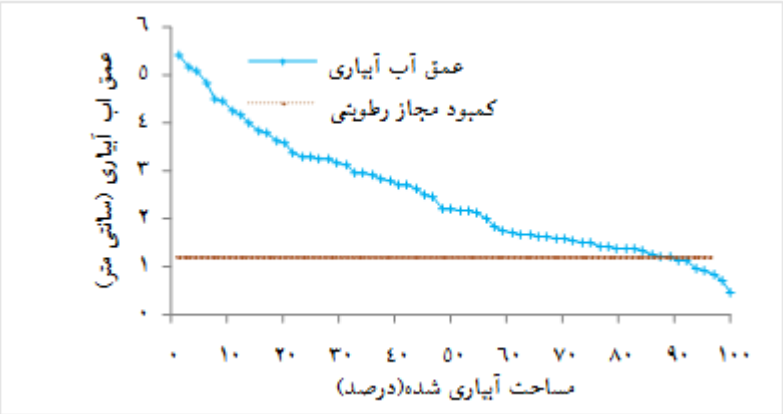
با کاهش تلفات نفوذ عمقی در این سیستم می‌توان به بازده کاربرد و بازده ترکیبی بهتری رسید، اما باید توجه داشت که کاهش تلفات نفوذ عمقی باید همزمان با افزایش یکنواختی توزیع آب در مزرعه صورت پذیرد تا کفایت آبیاری افزایش یابد.



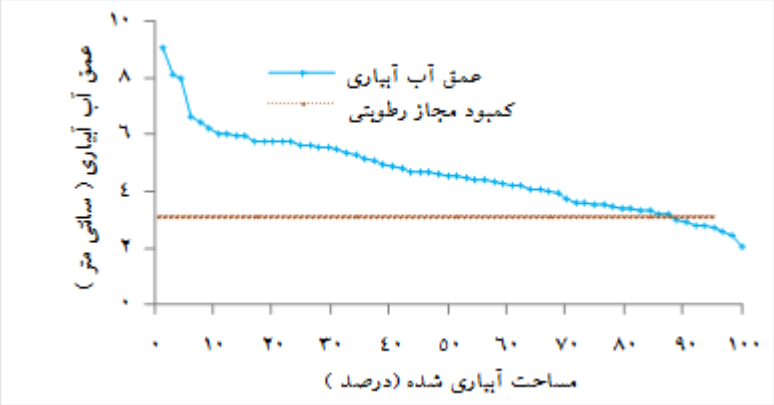

شکل ۷. منحنی کفایت آبیاری سیستم $AW_1$




شکل ۸. منحنی کفایت آبیاری سیستم $AW_2$




**شکل ۹. منحنی کفایت آبیاری سیستم $AW_3$**




**شکل ۱۰. منحنی کفایت آبیاری سیستم $AW_4$**

## ۵. نتیجه‌گیری

شکل ۵ بازده کاربرد آب در ربع پایین (*PELQ* و *AELQ*) برای سیستم‌های بررسی‌شده را به‌همراه مقادیر توصیه‌شدهٔ آنها نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت خرم‌آباد دارای بازده کاربرد آب در ربع پایین کمتر از مقادیر توصیه‌شدهٔ کلر و مریام است. مقدار کفایت آبیاری در سه سیستم، بیش از ۸۵ درصد محاسبه و در یک سیستم کمتر از ۵۷ درصد برآورد شد.

به‌طور کلی، عملیات مزرعه‌ای و آزمایشگاهی و همچنین بررسی‌ها و بازدیدهای انجام‌گرفته در این پژوهش نشان داد که مشکل اصلی سیستم‌های بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک در شهرستان خرم‌آباد، بی‌دقتی در طراحی و اجرا است که از آن جمله می‌توان به طول نامناسب لوله‌های جانبی که موجب توزیع غیریکنواخت فشار در سیستم می‌شود، به‌کار بردن وسایل بی‌کیفیت، و مشکل در مدیریت و بهره‌برداری از سیستم اشاره کرد که سبب شده در برخی موارد آبیاری بیش از نیاز انجام گیرد که ضمن کاهش بازده واقعی کاربرد، تلفات نفوذ عمقی افزایش یافته است.

## منابع


۱. قاسم‌زاده مجاوری ف (۱۳۶۹) ارزیابی سیستم‌های آبیاری مزارع. چاپ اول، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۳۲۸ صفحه.

۲. مولایی ز (۱۳۹۰) بررسی و ارزیابی فنی سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک اجراشده در دشت کوهدشت. دانشگاه کردستان. پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد.

۳. نجفی پور ف (۱۳۸۵) استفاده از سیستم جدید آبیاری تحت فشار (نافع) برای شبکه‌های آبیاری در مقایسه با روش آبیاری قطره‌ای. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، ایران.

4. Bavi A, Kashkuli H A, Boroomand S, Naseri A and Albaji M (2009) Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. Applied Sciences. 9(3): 597-600.

5. Burt C M, Clemmens A J, Strelkoff T S, Solomon K H, Bliesner R D, Hardy L A, Howell T A and Eisenhauer D E(1997) Irrigation performance measures: efficiency and uniformity. Irrigation and Drainage Engineering. 123(6): 423–442.

6. Dechmi F, Playa´n E, Cavero J, Faci J M and Martinez, A (2003) Wind effect on solid set sprinkler irrigation depth and yield of maize (Zea mays). Irrigation science. 22 (2): 67-77.

7. Lorenzini G (2002) Air temperature effect on spray evaporation in sprinkler irrigation. Irrigation and Drainage. 51 (4): 301–309.

8. Lorenzini G and De Wrachien, D (2005) Performance assessment of sprinkler irrigation systems: A new indicator for spray evaporation losses. Irrigation and Drainage. 54 (3): 295–305.

9. Merriam J L and Keller J (1978) Farm irrigation system evaluation: A guide for management. Department of Agricultural and Irrigation Engineering, United States University, Logan, United States. 285P.

10. Pereira L S, Oweis T and Zairi A (2002) Irrigation management under water scarcity. Agricultural Water Management. 57 (3): 175-206.

11. Playa´n E and Mateos L (2006) Modernization and optimization of irrigation systems to increase water productivity. Agricultural Water Management. 80 (1-3): 100-116.

12. Playa´n E, Salvador R, Faci J M, Zapata N, Martinez-Cob A and Sanchez I (2005) Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals. Agricultural Water Management. 76 (3): 139-159.

13. Tarjuelo J M, Ortega J F, Montero J and De Juan J A (2000) Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. Agricultural Water Management. 43 (3): 263–284.

14. Yacoubi S, Zayani K, Slatni A and Playan E (2012) Assessing sprinkler irrigation Performance using field evaluations at the Medjerda lower valley of Tunisia. Engineering. 4 (10): 682-691.

15. 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. Agricultural Water Management. 87(2): 187-199.