

بررسی دقت برخی از مدل‌های برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت

نسیبه آذربو^۱، عیسی معروف‌پور^{۲*}، فروغ فرزنان‌کیا^۳ و بهاره رستمیان^۴

چکیده

به دلیل گسترش روزافزون استفاده از سیستم‌های آبیاری بارانی، تهیه مدلی با دقت بالا برای تعیین میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد ضروری است. هدف از این پژوهش، ارزیابی برخی از معادلات ارائه شده از سوی مونتر و همکاران، تریمر، فراست-شوالن و کلر-بلیسنر برای محاسبه تلفات ناشی از تبخیر و باد در شهرستان سنندج است. این پژوهش براساس استاندارد ISO 7749-1 (1995) و استاندارد ISIRI 8995-3 مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، به روش آبپاش منفرد، برای سه آبپاش مختلف AMBO, ZM22 و ZK30 انجام شد. برای بررسی اثر شدت‌های مختلف باد و فشار بر میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در آبیاری بارانی، طرحی با استفاده از ۲ طیف شدت باد آرام و متوسط در ۴ فشار کارکرد مختلف آبپاش شامل ۳، ۳/۵، ۴ و ۴/۵ بار اجرا شد. بر اساس شاخص درصد جذر میانگین مربعات خطا نتایج نشان داد، برای برآورد میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد هیچ‌کدام از مدل‌های مذکور در منطقه مورد بررسی دقت کافی و لازم را ندارند، هر چند که نتایج روش تریمر نسبت به سه روش دیگر، دقت بیشتری را داشت. همچنین بر اساس شاخص مذکور رابطه‌های ارائه شده در این پژوهش دقت خوبی برای تخمین میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد منطقه مورد نظر دارند.

واژه‌های کلیدی: آبپاش، راندمان کاربرد، سرعت باد، شهرستان سنندج، فشارکارکرد آبپاش.

ارجاع: آذربو ن. معروف‌پور ع. فرزنان‌کیا ف. و رستمیان ب. ۱۳۹۵. بررسی دقت برخی از مدل‌های برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت. مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۴۷-۵۴.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

۴- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان.

* نویسنده مسئول: isamarofpoor@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۴

مقدمه

در سیستم‌های آبیاری بارانی، به دلیل تأثیر متغیرهای اقلیمی بر قطرات پخش شده در هوا، قسمت عمده هدررفت را جزء سوم، یعنی به صورت تلفات ناشی از تبخیر و باد از هنگام خارج شدن آب از آبیاش تا رسیدن به خاک در ناحیه ریشه تشکیل می‌دهد (عرفانیان و همکاران، ۱۳۸۷). پارامترها و عوامل زیادی بر میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد مؤثرند. به طور کلی می‌توان این عوامل را به دو دسته پارامترهای اقلیمی و سیستمی تقسیم‌بندی کرد (مکلین و همکاران، ۲۰۰۰). اُرنزینی و رچی‌ین (۲۰۰۵) گزارش کردند که در آبیاری بارانی، ارزیابی تلفات جت آب به دلیل شرایط محیطی را می‌توان به عنوان شاخص مهمی از عملکرد سیستم در نظر گرفت. باوی و همکاران (۲۰۰۹) برای تعیین تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی تحت شرایط آب و هوایی و فشار کارکرد متفاوت، به انجام پژوهشی در اهواز پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که سرعت باد و کمبود فشار بخار اشباع مهم‌ترین عوامل مؤثر بر میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی هستند. بررسی میزان دقت مدل‌های برآورد میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی به دلیل گسترش روزافزون استفاده از این سیستم‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. در این پژوهش ضمن بررسی دقت معادلات برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد برای منطقه شهرستان سنندج، معادلاتی به فرم معادله جهانی تریمر نیز ارائه خواهد شد. در پژوهش حاضر، مقدار تلفات به دست آمده از معادله نظیر مونتر و همکاران (۲۰۰۰)، تریمر (۱۹۸۷)، فراست و شوالن (۱۹۵۵) و کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) با مقادیر واقعی تلفات اندازه‌گیری شده در این پژوهش، مورد مقایسه شدند. فرم ریاضی معادلات ارائه شده از سوی این پژوهش‌گران به شرح زیر است:

الف) رابطه مونتر و همکاران

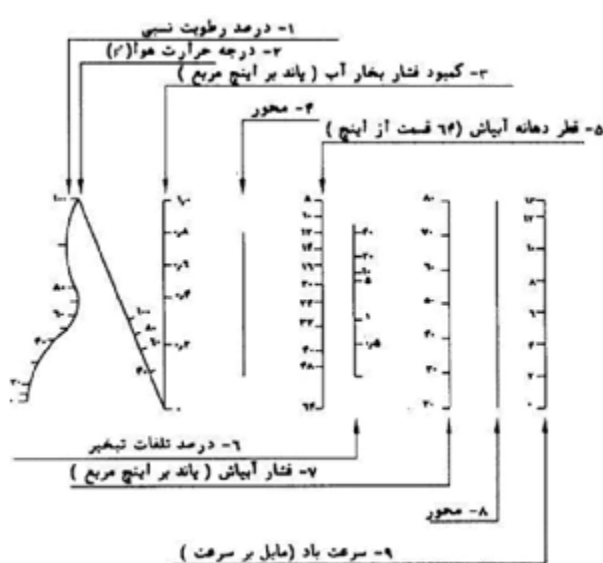
مونتر و همکاران (۲۰۰۰) برای آبیاش دو نازل اگروس ۳۵ با نازل‌های به قطر (۲/۴+ ۴/۴) میلی‌متر، به روش استقرار آبیاش منفرد و با در نظر گرفتن تیمارهای مختلف به معادله زیر دست یافتند:

$$M = 18.1(E_s - E_a)^{0.5} + 1.4W - 3.43 \quad (1)$$

که در آن، M نسبت دبی تلفات ناشی از تبخیر و باد به دبی آبیاش (اعشار)، E_s فشار بخار اشباع (KPa)، E_a فشار بخار هوا (KPa)، w سرعت باد (m/s) است.

ب) نمودار فراست و شوالن

فراست و شوالن (۱۹۵۵) نموداری (شکل ۱) را با استفاده از تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از ۷۰۰ آبیاش مورد آزمایش برای تخمین تلفات ناشی از تبخیر و باد به دست آوردند. نحوه استفاده از آن در منبع مذکور و یا سایر منابع مرتبط ذکر شده است.



شکل ۱- نمودار فراست و شوالن برای تعیین تلفات تبخیر و باد (برگرفته از علیزاده ۱۳۸۵)

ج) رابطه تریمر (۱۹۸۷)

شکل ۱ را به صورت معادله زیر ارائه کرد:

$$L_s = [1.98(D)^{-0.72} + 0.22(E_s - E_a)^{0.63} + 3.6 \times 10^{-4}(P)^{1.16} + 0.14(W)^{0.7}]^{1.42} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، L_s تلفات ناشی از تبخیر و باد (درصد)، D قطر دهانه (میلی‌متر)، P فشار آب در دهانه (KPa) و W سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m/s) است. سایر پارامترها نیز از قبل تعریف شده‌اند.

د) رابطه کلر و بلیسنر

کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) اندازه ذرات آب را یکی از عوامل مؤثر در میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد دانسته‌اند. آن‌ها برای تعریف شاخصی برای اندازه ذرات آب دو عامل قطر

شد. ارتفاع پایه آبپاش در این پژوهش براساس استاندارد، ۱۶۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در ابتدا و انتهای لوله آبرسان دو دستگاه فشارسنج برای کنترل فشار تعبیه شد. فشار متوسط سر آبپاش در نقطه‌ای از پایه آبپاش که حداقل به اندازه ۱۰ برابر قطر لوله از نقطه‌ای که در آن تغییر جهت یا تغییر مقطع در پایه آبپاش وجود داشته باشد، اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری میزان دبی آبپاش از کنتور حجمی استفاده شد. با توجه به قدرت و آبدهی پمپ، شرایط برای انجام آزمایش در فشارهای مختلف و دبی‌های مختلف مورد نیاز فراهم شد. در محل آزمایش سرعت باد با دستگاه بادسنج دستی در ارتفاع حدود ۲ متر و دما و رطوبت نسبی با دستگاه TESTO 615 اندازه‌گیری شدند و جهت اطمینان از صحت آن‌ها با آمار ایستگاه هواشناسی فرودگاه سنندج تطبیق داده شد. بعد از آماده کردن زمین و پیاده کردن مدل، با متر و میخ چوبی محدوده آزمایش به مساحت ۶۰×۶۰ مترمربع شبکه‌بندی و ظروف جمع‌آوری آب با قطر ۸۰ میلی‌متر و ارتفاع ۹۰ میلی‌متر چیده شدند. شبکه‌بندی مربعی ۳×۳ متری برای ظروف جمع‌آوری استفاده شد. حداقل زمان آزمایش یک ساعت در نظر گرفته شد. برای بررسی اثر شدت‌های مختلف باد و فشار بر میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در آبیاری بارانی، طرحی با استفاده از ۲ طیف شدت باد (۱/۸-۰، باد آرام، ۴/۴-۱/۸ باد متوسط) و چهار فشار (۴۵-۴۰-۳۵-۳۰) متر در محدوده‌های معمول فشار آب و با توجه به اطلاعات ارائه شده از سوی کارخانه سازنده آبپاش‌ها اجرا شد و تلفات ناشی از تبخیر و باد با استفاده از معادله (۵) اندازه‌گیری شد.

$$Ls = \frac{\text{مساحت آبیاری شده اطراف یک ظرف*مجموع عمق آب کل ظرف ها}}{\text{حجم آب خارج شده از آبپاش}} \quad (۵)$$

برای بررسی و ارزیابی دقت مقادیر محاسباتی تلفات ناشی از تبخیر و باد به دست آمده از رابطه‌های ذکر شده و مقایسه آن با مقادیر اندازه‌گیری شده از شاخص‌های متفاوتی استفاده شد.

ابتدا از آماره جذر میانگین مربعات خطای نسبی نرمال به صورت درصد (NRMSE) استفاده شد:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{O} \quad (۶)$$

که در آن، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، S_i مقادیر محاسبه شده، n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین داده‌های مشاهده

نازل و فشار کارکرد آبپاش را در نظر گرفته و شاخص درشتی ذرات را با معادله (۳) حساب کردند.

$$CI = K \frac{P^{1.3}}{D} \quad (۳)$$

که در آن، P فشار کارکرد آبپاش (کیلوپاسکال)، D قطر نازل (میلی‌متر)، CI شاخص درشتی و K برابر با ۰/۰۳۲ است. سپس برای محاسبه تلفات بادبردگی و تبخیر معادله زیر را پیشنهاد دادند.

$$Ls = [1 - (0.976 + 0.005 E - 0.00017 E^2 + 0.0012 W - CI (0.00043 E + 0.00018 W + 0.000016 EW))] \times 100 \quad (۴)$$

که در آن، Ls میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد (درصد)، E شدت تبخیر و تعرق (میلی‌متر بر روز)، W سرعت باد بر حسب (کیلومتر بر ساعت) است.

اگر مقدار شاخص درشتی کوچک‌تر از ۷ باشد در معادله (۴) مقدار آن برابر با ۷ و اگر بزرگ‌تر از ۱۷ است برابر با ۱۷ قرار داده می‌شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان در روستای دوشان شهرستان سنندج انجام شد. آزمایش‌های مربوطه در فصل تابستان و پاییز سال ۱۳۹۰ در ساعت‌های مختلف روز، انجام شد. این پژوهش بر اساس استاندارد (1995) ISO 7749-1 و استاندارد ISIRI 8995-3 مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، به روش آبپاش منفرد، برای سه آبپاش مختلف AMBO، ZM22 و ZK30 انجام شد. قطر نازل آبپاش ZM22 (۱۰، ۳/۵)، آبپاش AMBO (۱۰، ۷) و آبپاش ZK30 (۸، ۳/۵) میلی‌متر بود. برای تأمین فشار کارکرد آبپاش، از یک دستگاه الکتروپمپ افقی خشک WKL 80/4 با دور موتور ۱۴۵۰ دور در دقیقه، با لوله رانش پلی‌اتیلنی با قطر ۱۶۰ میلی‌متر استفاده شد. با کارگذاری یک لوله کنارگذر، بر لوله رانش پمپ، با قطر ۱۱۰ میلی‌متر، امکان تغییر نقطه کار پمپ (تغییر فشار و دبی) متناسب با شرایط آزمایش فراهم شد. برای تنظیم فشار در مدل، از شیر پروانه‌ای بر لوله کنارگذر استفاده شد. لوله آبرسان که یک لوله پلی‌اتیلن با قطر ۵۰ میلی‌متر و طول تقریبی ۱۲۰ متر بود وظیفه انتقال آب به محل اجرای طرح را داشت. یک دستگاه شیر خودکار در ۳ متری انتهای لوله آبرسان نصب

از مبدأ و شیب خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری وجود نداشته باشد کارکرد مدل مورد نظر، مورد تأیید قرار می‌گیرد.

نتایج و بحث

نتایج آماری حاصل از مقایسه مقدار محاسباتی مدل‌ها و مقدار واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد آبپاش‌های مورد بررسی در تمامی فشارها و شرایط‌های جوی آزمایش شده، در جدول ۱ ذکر شده است. نتایج روش رگرسیون خطی نشان می‌دهد که مقدار داده‌های محاسباتی دو روش مونتر و همکاران (۲۰۰۰) و کلر-بلیسنر (۱۹۹۰) در هر ۳ آبپاش AMBO, ZM22 و ZK30 اختلاف معنی‌داری با میزان واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد دارند. همچنین مقادیر محاسباتی روش فراست و شوالن با مقدار واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد در ۲ آبپاش AMBO و ZK30 به ترتیب در سطح‌های احتمال ۵٪ و ۱٪ اختلاف معنی‌دار و در آبپاش ZM22 اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهد.

شده است. NRMSE که اختلاف نسبی بین نتایج رابطه‌ها و مشاهدات را نشان می‌دهد، توصیف خوبی از قابلیت مدل دارد. در این شاخص چنانچه مقدار NRMSE کمتر از ۱۰٪ است شبیه‌سازی عالی، بین ۱۰ تا ۲۰٪ خوب، بین ۲۰ تا ۳۰٪ متوسط و بیشتر از ۳۰٪ ضعیف ارزیابی خواهد شد (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۸۷). برای نتیجه‌گیری دقیق‌تر، علاوه بر شاخص NRMSE، آنالیز رگرسیون خطی بین داده‌های واقعی و محاسباتی در نرم‌افزار Minitab V.16 انجام شد. مقدار عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون حاصله به همراه مقادیر انحراف معیار مرتبط با آن‌ها مشخص شد. سپس با استفاده از آزمون T-Student بین عرض از مبدأ و شیب خط حاصله با عرض از مبدأ و شیب خط ۱:۱ مقایسه آماری انجام شد. در این روش که به روش برازش رگرسیون خطی نیز معروف است، چنانچه بین عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون با عرض

جدول ۱- نتایج آماری حاصل از مقایسه مقادیر محاسباتی مدل‌ها و مقادیر واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد آبپاش‌های مورد بررسی

نوع آبپاش	مدل	تعداد مشاهدات	عرض از مبدأ منحنی	شیب منحنی	خطای معیار عرض از مبدأ	خطای معیار شیب منحنی	مقدار t	RMSE (%)
AMBO	مونتر و همکاران (۲۰۰۰)	۴۴	۲۰/۷۶	۰/۶۱	۲/۴۳	۰/۱۰	۳/۸۲**	۵۶/۰۷
ZM22		۴۲	۱۹/۷۳	۰/۶۶	۲/۹۳	۰/۱۲	۲/۳۵ ^x	۶۶/۶۶
ZK30		۳۶	۱۸/۳۶	۰/۶۲	۲/۶۷	۰/۰۹	۳/۸۲**	۳۷/۵۳
AMBO	تریمر (۱۹۸۷)	۴۴	۱/۸۹	۰/۴۳	۲/۵۴	۰/۱۱	۵/۱۸**	۵۳/۵۹
ZM22		۴۲	-۳/۳۹	۱/۱۴	۴/۴۴	۰/۱۹	۰/۴۷ ^{ns}	۳۹/۱۳
ZK30		۳۶	۱/۵۰	۰/۷۸	۳/۸۳	۰/۱۴	۱/۵ ^{ns}	۲۷/۹۹
AMBO	فراست و شوالن (۱۹۵۵)	۴۴	۱/۷۲	۰/۳۹	۲/۲۶	۰/۰۹	۶/۴۲**	۵۸/۱
ZM22		۴۲	-۳/۰۸	۱/۰۲	۳/۹۷	۰/۱۷	۰/۱۲ ^{ns}	۳۶/۷۳
ZK30		۳۶	۱/۵۰	۰/۷۱	۳/۴۷	۰/۱۲	۲/۳۰*	۳۱/۸۲
AMBO	کلر و بلیسنر (۱۹۹۰)	۴۴	۳/۹۵	۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۰۳	۲۷/۰**	۷۸/۷۷
ZM22		۴۲	۴/۷۶	۰/۲۴	۱/۰۴	۰/۰۴	۱۶/۴۶**	۵۹/۶۸
ZK30		۳۶	۶/۲۸	۰/۱۴	۱/۳۴	۰/۰۴	۱۷/۳**	۶۶/۷

*، **، ns در جدول بالا، به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪، اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ و عدم اختلاف معنی‌دار هستند.

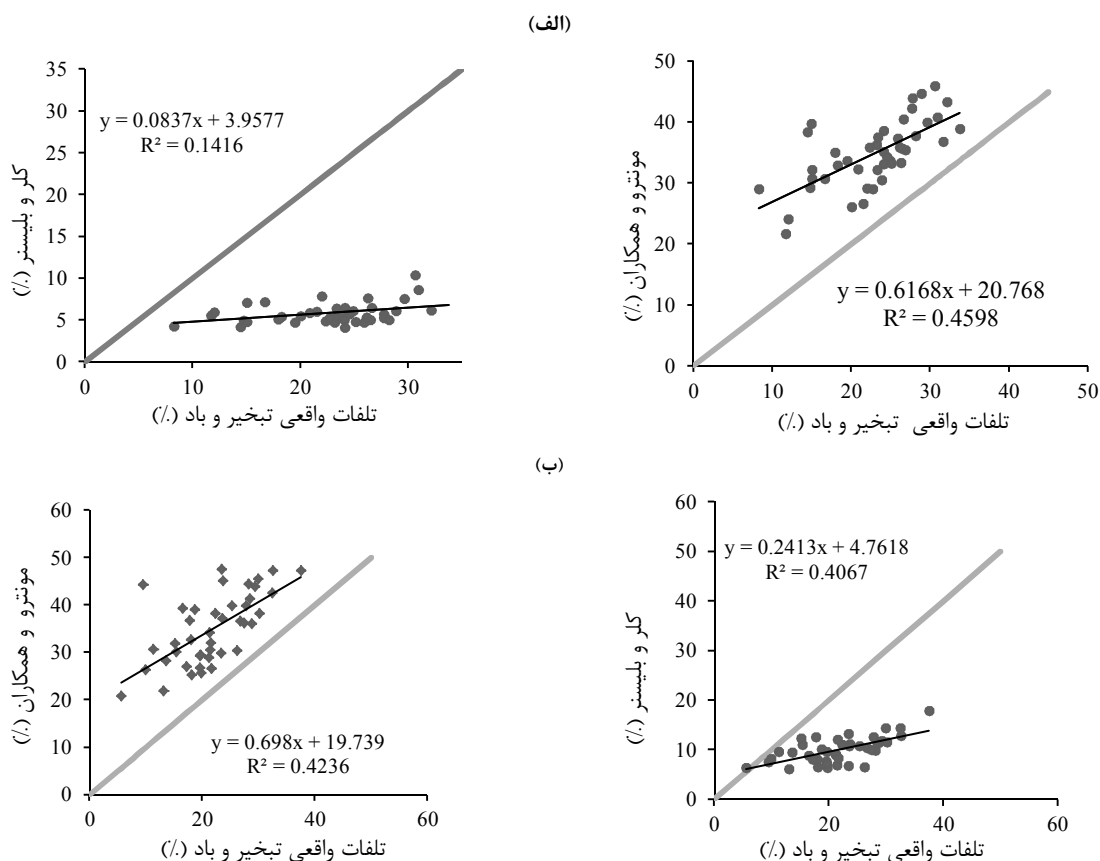
محاسباتی تریمر (۱۹۹۰) در حدود ۱۰ درصد از نمودار فراست و شوالن (۱۹۵۵) انحراف دارد (کلر و بلیسنر، ۱۹۹۰). بنابراین تفاوت در نتایج میزان دقت دو مدل به دلیل عدم هماهنگی کامل مقادیر محاسباتی دو روش

در ۲ آبپاش ZM22 و ZK30 مقادیر محاسباتی روش تریمر (۱۹۹۰) با مقادیر واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد اختلاف معنی‌داری ندارد، ولی در آبپاش AMBO نیز در سطح احتمال ۱٪ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. مقادیر

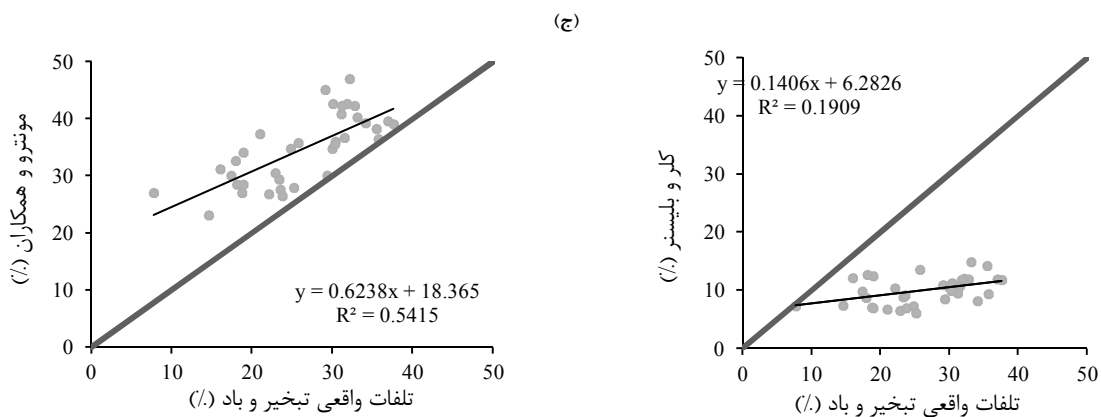
از روش تریمر (۱۹۸۷) در آبیاش ZK30 در مرز متوسط تا ضعیف بود.

به طور کلی نتایج هر دو روش بررسی میزان دقت مدل‌ها بیانگر این مطلب است، که مدل‌های مذکور در برآورد میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد آبیاش‌های مورد بررسی در شهرستان سنندج موفق نبوده و تأیید نمی‌شوند. عدم جامع بودن مدل‌های مذکور از نظر متغیرهای اقلیمی، سیستمی و هیدرولیکی از دلایل مهم عدم موفقیت آن‌ها در برآورد میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در منطقه مورد بررسی است. معادله مونتر و همکاران بر اساس بررسی‌های انجام شده روی یک آبیاش با قطرهای ثابت (آبیاش آگروس ۳۵) استخراج شده است. در نمودار فراست و شوالن و یا مدل تریمر فقط امکان انتخاب یک قطر نازل وجود دارد و مدل کلر و بلیسنر بر اساس تعریف شاخص جدیدی با عنوان شاخص درشتی، تلفات ناشی از تبخیر و باد را برآورد می‌کند. پس پیشنهاد می‌شود، در طرح‌های آبیاری بارانی که از مدل‌های مذکور برای برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد استفاده می‌شود، از میزان دقت آن‌ها در منطقه مورد بررسی مطمئن شد.

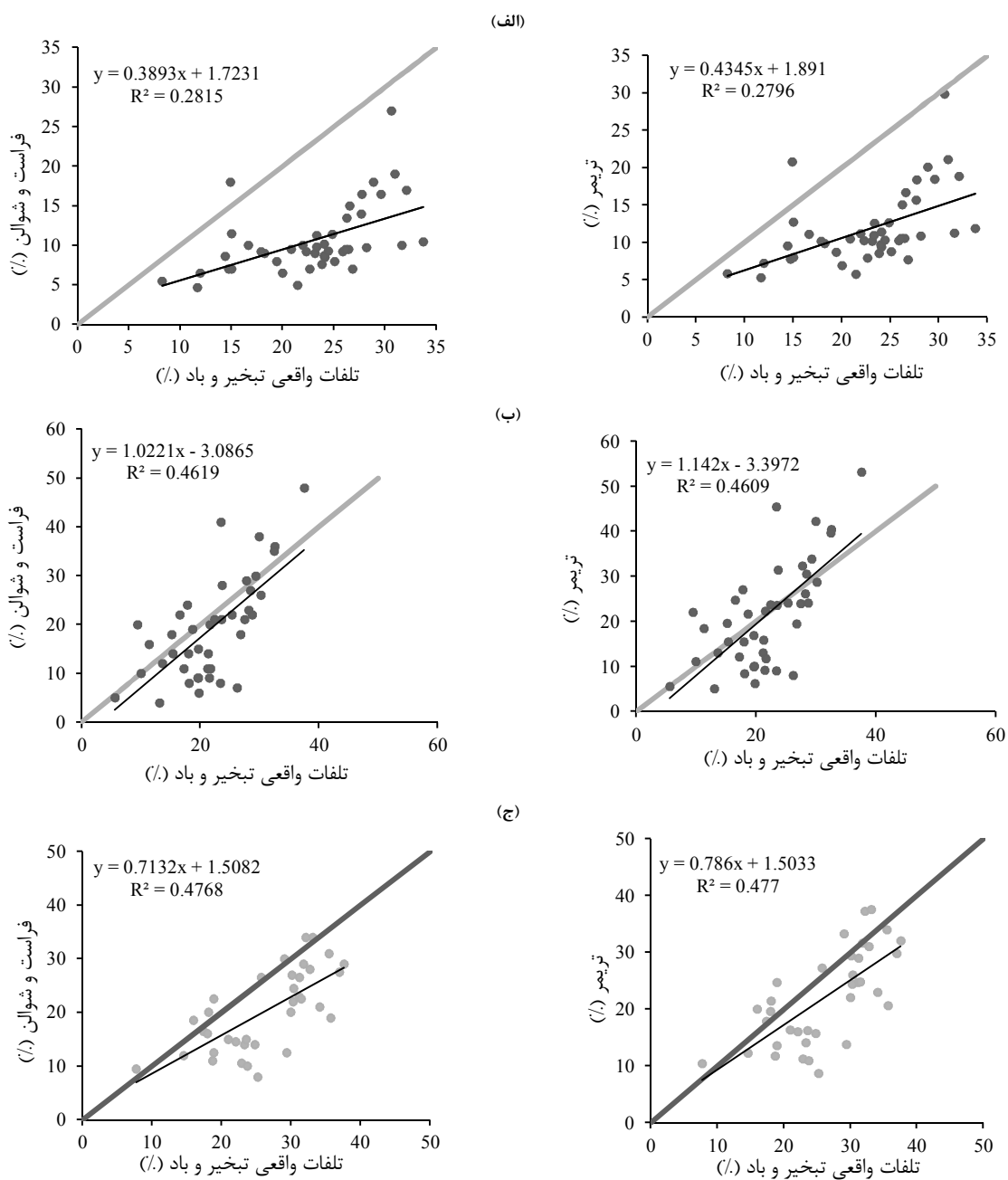
است. نمودار برازش رگرسیون خطی روش‌های مونتر و همکاران (۲۰۰۰) و کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) در شکل ۲ و روش‌های فراست و شوالن (۱۹۵۵) و تریمر (۱۹۸۷) در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در هر سه آبیاش مورد مطالعه معادله مونتر و همکاران (۲۰۰۰) مقدار تلفات ناشی از تبخیر و باد را بیشتر از میزان واقعی و معادله کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) مقادیر تلفات را کمتر از مقادیر واقعی محاسبه می‌کند. همچنین نتایج شکل فراست و شوالن (۱۹۵۵) نیز در دو آبیاش AMBO و ZK30 و مدل تریمر نیز در آبیاش AMBO کمتر از مقادیر واقعی تلفات ناشی از تبخیر و باد بود. در شکل ۳ دیده می‌شود، که در هر سه آبیاش مورد بررسی، مقادیر محاسباتی معادله تریمر (۱۹۸۷) بیشتر از مقدار شکل فراست و شوالن (۱۹۵۵) بوده که این افزایش به طور متوسط در محدوده ۰/۲٪ تا ۵/۲٪ درصد است. همچنین براساس آماره RMSE (٪) و با توجه به طبقه‌بندی ذکر شده برای این شاخص، میزان دقت تمامی مدل‌ها در برآورد تلفات ناشی از تبخیر و باد در هر سه آبیاش مورد مطالعه ضعیف ارزیابی می‌شود. دقت نتایج به دست آمده



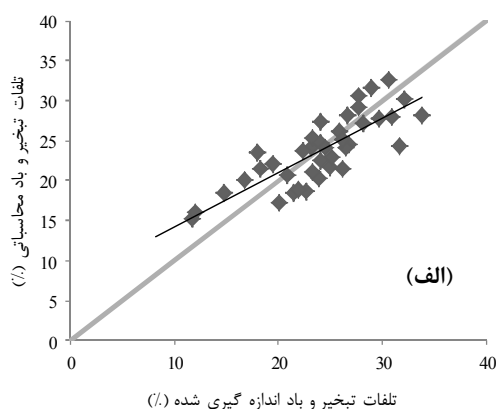
شکل ۲- مقایسه نتایج روش‌های مونتر و همکاران، کلر و بلیسنر: (الف) آبیاش AMBO، (ب) آبیاش ZM22 و (ج) آبیاش ZK30



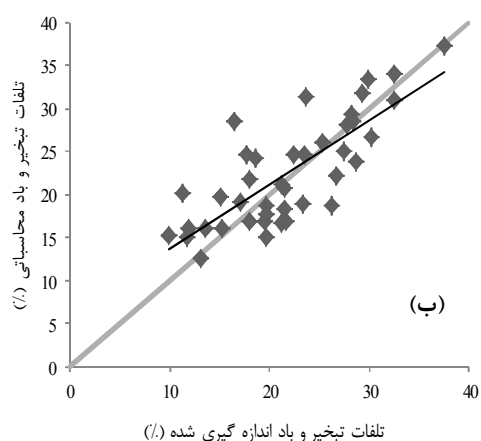
ادامه شکل ۲-



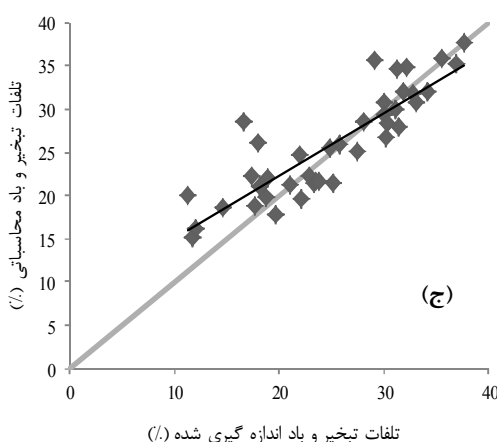
شکل ۳- مقایسه نتایج روش‌های فراس‌ت و شوالن، تریمر (الف) آبپاش AMBO، (ب) آبپاش ZK30 و (ج) آبپاش ZK30



تلفات تبخیر و باد اندازه گیری شده (%)



تلفات تبخیر و باد اندازه گیری شده (%)



تلفات تبخیر و باد اندازه گیری شده (%)

شکل ۴- مقایسه مقادیر تلفات ناشی از تبخیر و باد
اندازه‌گیری شده و محاسباتی مربوط به (الف) معادله (۷) (ب)
معادله (۸) و (ج) معادله (۹)

نتیجه‌گیری

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت هیچ‌کدام از روش‌های مونتر و همکاران، تریمر، فراست و شوالن، کلر و بلیسنر دقت کافی برای پیش‌بینی میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد در سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت در شهرستان سنندج و در محدوده آزمایش‌های انجام شده را

بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه بین پارامترهای هواشناسی و میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد، معادلات رگرسیونی زیر برای منطقه مورد بررسی به دست آمد. (تمامی پارامترها مشابه معادله تریمر است).

معادله به دست آمده از آپاش AMBO

$$Ls = 3.4 \times (E_s - E_a)^{1.05} + 0.262 \times P^{0.263} + 0.1 \times W^{2.273} + 7.3, R^2 = 0.64 \quad (7)$$

معادله به دست آمده از آپاش ZM22

$$Ls = 4.03 \times (E_s - E_a)^{0.988} + 0.14 \times W^{1.98} + 0.003 \times P^{1.283} + 1.2, R^2 = 0.75 \quad (8)$$

معادله به دست آمده از آپاش ZK30

$$Ls = 4.6 \times (E_s - E_a)^{0.978} + 0.27 \times W^{1.245} + 0.15 \times P^{0.669} + 0.1, R^2 = 0.58 \quad (9)$$

برای بررسی دقت روابط (۷)، (۸) و (۹) مقایسه‌ای بین کلیه مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های صحرائی با مقادیر محاسباتی به دست آمده از معادلات (۷) تا (۹) انجام شد. بر اساس شکل ۴ خطوط برازش داده شده دارای همبستگی خوبی است و زاویه کمی نسبت به خط ۴۵ درجه (۱:۱) دارند. همچنین برای بررسی میزان دقت رابطه‌های مذکور از شاخص NRMSE استفاده شد، که میزان این شاخص برای معادله (۷) مربوط به آپاش AMBO، ۱۴/۱۸ درصد، برای معادله (۸) مربوط به آپاش ZM22، ۱۸/۸۳ درصد و برای معادله (۹) مربوط به آپاش ZK30، ۱۵/۸۸ درصد به دست آمد. براساس طبقه‌بندی این شاخص، دقت این مدل‌ها خوب ارزیابی می‌شود.

دلیرحسین‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) در بررسی‌های خود روی سیستم سنتریپوت، نتایج تلفات ناشی از تبخیر و باد را با نتایج معادله‌های ارائه شده فراست و شوالن (۱۹۵۵)، کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) و پلایان و همکاران (۲۰۰۵) مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد هیچ‌کدام از روش‌ها دقت لازم برای پیش‌بینی میزان تلفات در اسپری نازل‌های سنتریپوت مورد آزمایش، را ندارند و میزان تلفات را بسیار کمتر از مقدار واقعی آن محاسبه کرده‌اند. بنابراین کاربرد آن‌ها را توصیه نکردند. روش پلایان و همکاران (۲۰۰۵) نزدیک‌ترین برآوردها و روش کلر و بلیسنر (۱۹۹۰) دورترین نتایج نسبت به مقادیر مشاهداتی را داشته‌اند.

ندارند. روش تریمر نسبت به ۳ روش دیگر، نتایجی با دقت بیشتر را نشان داده است. همچنین معادله‌های ارائه شده در این پژوهش برای منطقه مورد نظر، دقت خوبی برای تخمین میزان تلفات ناشی از تبخیر و باد دارند.

منابع

۱. عرفانیان م.، علیزاده ا.، موسوی بایگی م.، انصاری ح. و باغانی ج. ۱۳۸۷. مطالعه پتانسیل اثرات تبخیر و باد بردگی بر کارایی سیستم‌های آبیاری بارانی در دشت‌های کشاورزی استانهای خراسان رضوی، شمالی و جنوبی. مجله علوم و صنایع کشاورزی. ویژه آب و خاک. ۲۲(۱): ۱۶۱-۱۷۲.
۲. کوچکی ع. و خواجه‌حسینی م. ۱۳۸۷. زراعت نوین. چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۷۰۴ص.
۳. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران. ISIRI 3-8995. ماشین‌های کشاورزی. تجهیزات آبیاری. آبپاش‌ها. قسمت سوم: مشخصه‌های توزیع و روش‌های آزمون. ۲۳ ص.
4. Bavi A. Kashkuli H. A. Broomand S. Naseri A. and Albaji M. 2009. Evaporation losses from sprinkler irrigation systems under various operating conditions. Journal of Applied Sciences. 9(3): 597-600.
5. Frost K. R. and Schwalon H. C. 1955. Sprinkler evaporation losses. Agricultural engineering. 36(8): 526-528.
6. ISO. 1995. Agricultural irrigation equipment-rotating sprinklers. part 1: Design and operational requirement. 20 p.
7. Keller J. and Bliesner D. 1990. Sprinkler and Trickle irrigation. Van Nostrand Reinhold. New York, N. Y. 652 p.
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. McLean R. K. Sri Ranjan R. and Klassen G. 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. Canadian Agricultural Engineering. 42(1): 1-8.
10. Montero J. Tarjuelo J. M. Ortega J. F. and De Juan J. A. 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semiarid conditions. Agricultural water management. 43(3): 263-284.
11. Trimmer W. L. 1987. Sprinkler Evaporation Losses Equation. American Society of Civil Engineers. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 113(4): 616-620.