

## مدل تعیین تلفات بادبردگی و تبخیر در اسپری نازل‌های سامانه آبیاری سنتریوت

رضا دلیر حسن نیا<sup>1</sup>، امیرحسین ناظمی<sup>2\*</sup>، علی اشرف صدرالدینی<sup>3</sup> و داود فرسادی زاده<sup>3</sup>

تاریخ دریافت: 87/10/17 تاریخ پذیرش: 88/6/22

۱- دانشجوی سابق دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲-3- استاد و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبه E-mail: [ahnazemi@yahoo.com](mailto:ahnazemi@yahoo.com)

### چکیده

بادبردگی و تبخیر از منابع اصلی تلفات آب در سامانه‌های آبیاری بارانی است. شناسایی عوامل تاثیرگذار و برآورد دقیق تلفات می‌تواند در کاهش هدررفت آب و بهبود راندمان آبیاری مفید باشد. به دلیل گسترش روز افزون استفاده از سیستم آبیاری سنتریوت تهیه مدلی برای تعیین این تلفات در اسپری نازل‌های سنتریوت ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق با در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار بر تلفات بادبردگی و تبخیر، مدلی برای اسپری نازل‌های سنتریوت تهیه گردید. شبکه‌ای از ظروف جمع آوری آب به ابعاد 25×25 متر و با فاصله ظروف 1/25 متر ایجاد شد. اسپری نازل‌های متداول نلسون R3000، سنینگر LDN و نلسون D3000 با نازل‌های مختلف و در فشار کارکردها و ارتفاع استقرارهای متفاوت در مرکز این شبکه قرار گرفت. آزمایش‌ها در شرایط مختلف انجام و داده‌های هواشناسی مورد نیاز به صورت همزمان ثبت گردید. میزان تلفات آب از تفاضل آب پخش شده از اسپری نازل و رسیده به سطح زمین به دست آمد. با استفاده از تحلیل‌های آماری معادلاتی بین مقادیر تلفات و عوامل تاثیرگذار بر تلفات بادبردگی و تبخیر استخراج شد. از میان روش‌های موجود روش‌های فراست-شوالن، کلر-بلیسنر و پلایان و همکاران نیز انتخاب و دقت برآورد آنها با مقادیر حاصل از آزمایش‌ها مقایسه گردید. نتایج نشان داد دقت معادلات جدید پیشنهاد شده در این تحقیق رضایت بخش بوده و مقادیر تلفات بادبردگی و تبخیر را دقیق‌تر از روش‌های ذکر شده محاسبه می‌کنند.

واژه های کلیدی: اسپری نازل، بادبردگی، تبخیر، تلفات، سنتریوت، مدل

## Wind Drift and Evaporation Losses Model in Spray Nozzles of Center Pivot Irrigation system

R Delirhasannia<sup>1</sup>, AH Nazemi<sup>2\*</sup>, AA Sadraddini<sup>3</sup> and D Farsadizadeh<sup>3</sup>

Received: 6 January 2009 Accepted: 13 September 2009

<sup>1</sup>Former PhD Student, Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran

<sup>2,3</sup>Prof. and Assoc. Prof., Department of Water Engineering, University of Tabriz, Iran

\* Corresponded author, E-mail: [ahnazemi@yahoo.com](mailto:ahnazemi@yahoo.com)

### Abstract

Wind drift and evaporation are the main sources of water losses in sprinkler irrigation systems. A proper understanding of factors affecting these losses and estimating their amounts can be useful for reducing water losses and improving irrigation efficiency. It seems necessary to develop a model to estimate these losses in order to increase application efficiency of widely used center pivot irrigation systems. In this research a 25×25 m<sup>2</sup> network of catch cans at 1.25 m spacing was prepared in the field. Commonly used Nelson R3000, Senninger LDN and Nelson D3000 spray sprinklers with various nozzle sizes, pressures and elevations were installed at the center of the network. Experiments were conducted at the various weather conditions and the needed climatologic data were measured simultaneously. Water losses were computed in terms of volumetric difference between the emitted water from spray nozzles and the received water on the soil surface. Using statistical analyses several equations which enable to estimate wind drift and evaporation losses were derived. From conventional methods, Frost-Schowalen, Keller-Bliesner and Playan et al. methods were considered and their accuracies were investigated in comparison with the experimental data. Results showed that the proposed new equations estimated water losses satisfactorily and they calculated wind drift and evaporation losses more accurately than the mentioned methods.

**Key words:** Center pivot, Evaporation, Losses, Model, Spray nozzle, Wind drift

### مقدمه

بخشی از آب پخش شده توسط آبیاش‌ها تحت تاثیر عوامل محیطی نیز از دسترس گیاه خارج می‌شود. این بخش تحت عنوان تلفات بادردهگی و تبخیر<sup>1</sup> (WDEL) شناخته می‌شود (پلایان و همکاران 2005). تلفات تبخیر

راندمان آبیاری پارامتر مهمی برای ارزیابی عملکرد یک سیستم آبیاری است. ایده‌آل‌ترین حالت این است که آب آبیاری مستقیماً در اختیار گیاه قرار گرفته و در تولید محصول مصرف شود (تامسون و همکاران 1997). اما در آبیاری بارانی به همراه سایر تلفات آبی،

<sup>1</sup> Wind drift evaporation losses

تریمر (1987) با استفاده از همین نمودار معادله زیر را معرفی نمود.

$$EA = [1.98D^{-0.72} + 0.22(\Delta e)^{0.63} + 3.6 \times 10^{-4} Ps^{1.16} + 0.14U^{0.7}]^{4.2} \quad [1]$$

در این رابطه EA تلفات آبی بر اثر تبخیر و بادبردگی (درصد)، D قطر نازل (میلی متر)، Ps فشار کارکرد آبیاش (کیلوپاسکال)، U سرعت باد (متر بر ثانیه) و  $\Delta e$  کمبود بخار اشباع هوا (کیلوپاسکال) می‌باشد که با رابطه مورای (1967) محاسبه می‌شود.

$$\Delta e = 0.611e^{\left(\frac{17.27T_a}{237.3+T_a}\right)} \left(1 - \frac{H}{100}\right) \quad [2]$$

در رابطه فوق  $T_a$  دمای هوا (درجه سانتی گراد) و H رطوبت نسبی هوا (درصد) و e عدد نپر می‌باشد. یازار (1984) به منظور بیان رابطه‌ای بین عوامل محیطی و تلفات تبخیر معادله زیر را پیشنهاد داد.

$$E = 0.389 \exp(0.18U) (e_s - e_a)^{0.7} \quad [3]$$

در این رابطه E بخشی از آب پخش شده است که در اثر تبخیر تلف می‌شود (درصد)،  $e_s$  فشار بخار اشباع،  $e_a$  فشار بخار واقعی هوا می‌باشد. فشار بخار اشباع را نیز می‌توان با استفاده از رابطه رایت (1982) محاسبه نمود.

$$e_s = 6.15 + 4.44 \cdot 10^{-1} T_a + 1.43 \cdot 10^{-2} T_a^2 + 2.62 \cdot 10^{-4} T_a^3 + 2.95 \cdot 10^{-6} T_a^4 + 2.56 \cdot 10^{-8} T_a^5 \quad [4]$$

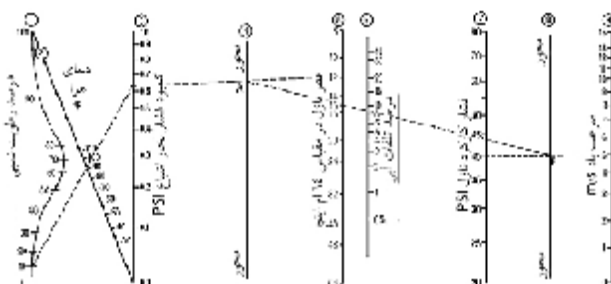
همچنین یازار (1984) با در نظر گرفتن باد به عنوان تنها عامل تعیین تلفات تبخیر، با انجام آزمایش‌هایی بر روی یک لوله لترال آبیاری بارانی متشکل از چندین آبیاش معادله زیر را پیشنهاد داد.

$$E = 1.68e^{0.29U} \quad [5]$$

و بادبردگی در آبیاری بارانی به ترتیب به آن قسمت از آب پخش شده گفته می‌شود که در مسیر حرکت در هوا تبخیر شده و یا توسط باد به مکانی خارج از محل تحت آبیاری منتقل می‌شود. در هر دو حالت آب در اختیار گیاه تحت آبیاری قرار نگرفته و جزو تلفات به شمار می‌آید (سگینر و همکاران 1991). شناسایی عوامل تاثیرگذار و تعیین مقدار این تلفات می‌تواند در کاهش تلفات و بهبود راندمان آبیاری مفید باشد (تارجلو و همکاران 2000).

تا کنون تحقیقات زیادی در زمینه تعیین تلفات بادبردگی و تبخیر در هنگام پخش آب در آبیاری بارانی بر اساس روش‌های مزرعه‌ای، آزمایشگاهی و تحلیلی انجام گرفته است. به دلیل اینکه این مطالعات به بررسی عوامل مشترک نپرداخته‌اند، معادلاتی مختلف با دقت متفاوت حاصل شده است (تارجلو و همکاران 2000). میزان این تلفات نیز از 2 تا 40 درصد گزارش شده است (یازار 1984، کول و همکاران 1987، کین کید 1996، کین کید و همکاران 1996).

اولین تحقیق در این زمینه در سال 1955 و ادامه آن در سال 1960 توسط فراست و شوالن انجام گرفت. این دو محقق نتایج 700 آزمایش خود را که در شرایط مختلف اقلیمی انجام یافته بود به صورت یک نمودار ارائه دادند (شکل 1).



شکل 1- نمودار فراست و شوالن برای تعیین تلفات آبی

با استفاده از این نمودار درصد تلفات آب به عنوان تابعی از مشخصات آبیاش، فشار کارکرد و برخی از خصوصیات آب و هوایی محیط برآورد می‌شود.

بادبردگی،  $Q_s$  دبی آبیاش و همگی بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $T_a$  دمای خشک (درجه سانتی گراد) و  $T_w$  دمای تر (درجه سانتی گراد) هوا می‌باشد. تارجلو و همکاران (2000) با موثر دانستن عوامل فشار کارکرد آبیاش، رطوبت هوا و سرعت باد، رابطه زیر را برای محاسبه تلفات بادبردگی و تبخیر پیشنهاد دادند.

$$WDEL = 0.007P + 7.38(e_s - e_a)^{0.5} + 0.844U \quad [10]$$

پلایان و همکاران (2004) با در نظر گرفتن سرعت باد به عنوان عامل تلفات تبخیر و بادبردگی رابطه زیر را برای دو نوع از اسپری نازل‌های سنتریپوت ارائه دادند.

$$WDEL = 1.55 + 1.13U \quad [11]$$

آنان پس از مقایسه نتایج محاسبات حاصل از رابطه فوق و آزمایش‌های صحرایی میزان همبستگی را 0/57 گزارش نمودند.

در تحقیق حاضر مقادیر تلفات تبخیر و بادبردگی با سه روش متداول فراست-شوالن، کلر-بلیسنر و پلایان و همکاران محاسبه و نتایج با مقادیر واقعی مقایسه شده است. به دلیل گسترش روز افزون استفاده از سیستم‌های آبیاری سنتریپوت تهیه مدلی با دقت بالاتر برای تعیین تلفات بادبردگی و تبخیر در اسپری نازل‌های سنتریپوت ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس پژوهش حاضر با اهداف زیر انجام گرفت:

- 1- تعیین تلفات بادبردگی و تبخیر در تعدادی از اسپری نازل‌های متداول در سیستم آبیاری سنتریپوت.
- 2- ارزیابی دقت برآورد سه روش متداول ذکر شده در محاسبه این تلفات و مقایسه نتایج حاصل از آنها با مقادیر واقعی.
- 3- استخراج و معرفی مدلی جدید برای محاسبه تلفات بادبردگی و تبخیر در اسپری نازل‌های سنتریپوت.

پارامترهای  $E$  و  $U$  و  $e$  پیش‌تر معرفی شده‌اند. با همین روش یازار (1984) معادله زیر را برای محاسبه تلفات بادبردگی معرفی نمود.

$$D_r = 0.25 U^{2.15} \quad [6]$$

که  $D_r$  تلفات بادبردگی است و به صورت درصدی از کل آب پخش شده از آبیاش محاسبه می‌شود. کلر و بلیسنر (1990) اندازه ذرات آب را یکی از عوامل موثر در میزان تلفات بادبردگی و تبخیر دانسته‌اند. آنان به منظور تعریف شاخصی برای اندازه ذرات آب دو عامل قطر نازل و فشار کار آبیاش را در نظر گرفته و شاخص درشتی ذرات را با رابطه زیر حساب نمودند.

$$CI = K \frac{P^{1.3}}{D} \quad [7]$$

که  $P$  فشار کارکرد آبیاش (کیلوپاسکال) و  $K$  ضریب و برابر 0/032 می‌باشد. سپس برای محاسبه تلفات بادبردگی و تبخیر رابطه زیر را پیشنهاد دادند.

$$WDEL = [1 - (0.976 + 0.005E - 0.00017E^2 + 0.0012U - CI(0.00043E + 0.00018U + 0.000016EU))]100 \quad [8]$$

که  $E$  شدت تبخیر یا تبخیر و تعرق (میلی متر بر روز) و  $U$  بر حسب کیلومتر بر ساعت می‌باشد. اگر مقدار شاخص درشتی ( $CI$ ) کوچکتر از 7 باشد در این رابطه برابر 7 و اگر بزرگتر از 17 باشد برابر 17 قرار داده می‌شود.

سگینر و همکاران (1991) با آزمایش بر روی آبیاش‌های منفرد در شرایط نیمه خشک رابطه زیر را به دست آوردند.

$$M = (Q_e + Q_d) / Q_s = 0.0322 e^{0.075U} (T_a - T_w)^{0.69} \quad [9]$$

در این رابطه تلفات  $M$  به صورت نسبت  $Q_e + Q_d$  بر  $Q_s$  تعریف شده است.  $Q_e$  شدت تبخیر،  $Q_d$  شدت

## مواد و روش‌ها

توسعه مدل

می‌یابد. همچنین ارتفاع استقرار آبپاش بر قطر پخش آب و در نتیجه فرصت تبخیر تاثیرگذار است (ابوغبار 1994). بنابراین وارد نمودن شعاع پخش آب آبپاش در معادله باعث می‌شود عوامل فرصت تبخیر و ارتفاع استقرار نازل نیز در نظر گرفته شوند.

$$E_L \propto R \quad [15]$$

تبخیر به مساحت رویه ذرات آب (سطح تبخیر) نیز بستگی دارد. مساحت ذرات به نوبه خود به قطر ذرات بستگی دارد. هرچه قطرات آب ریزتر باشند میزان تبخیر افزایش خواهد یافت. زیرا حجم ثابت آب به ذرات بیشتری تقسیم شده و مساحت سطوح واقع در معرض هوا افزایش می‌یابد. به عنوان مثال برای حجم ثابتی از آب با نصف شدن قطر ذرات آب سطح تبخیر دو برابر می‌شود.

به منظور سنجش درشتی و ریزی قطرات آب خارج شده از نازل می‌توان از شاخص درشتی (CI) معرفی شده توسط کالر و بلیسنز (1990) که قبلاً اشاره شد استفاده نمود. در نتیجه می‌توان نوشت.

$$E_L \propto CI \quad [16]$$

در این صورت عوامل قطر نازل و فشار کارکرد آبپاش نیز در نظر گرفته می‌شوند. هرچه مقدار CI بزرگتر باشد ذرات آب ریزتر و تلفات تبخیر بیشتر خواهد بود

و برعکس. همچنین می‌توان از نسبت  $\frac{P}{D}$  نیز به عنوان یک پارامتر مفید برای توصیف اندازه ذرات استفاده نمود (کین کید 1996). P فشار کارکرد آبپاش (متر) و D قطر نازل (میلی متر) می‌باشد. بنابراین:

$$E_L \propto \left( \frac{P}{D} \right) \quad [17]$$

تلفات بادبردگی

تلفات بادبردگی متاثر از عوامل زیادی است که مهم‌ترین آنها سرعت باد و اندازه ذرات می‌باشد. هنگام وزش باد توده‌های هوا با برخورد به قطرات آب باعث حمل یا انحراف مسیر آنها می‌گردند. در حقیقت انرژی

تلفات حاصل از بادبردگی و تلفات حاصل از تبخیر دو بخش اصلی تلفات آبی مورد بحث در این تحقیق را تشکیل می‌دهند.

$$WDEL = W_d + E_L \quad [12]$$

جمله اول عوامل مربوط به تلفات بادبردگی و جمله دوم عوامل مربوط به تلفات تبخیر را شامل می‌شود. شناسایی عوامل موثر در هر بخش و انتخاب مهم‌ترین آنها اولین گام در جهت تهیه مدل می‌باشد. پلایان و همکاران (2005) عوامل بکار گرفته شده در برخی از مهم‌ترین مدل‌های پیشنهادی محققان مختلف را به صورت جدول 1 ارائه نمودند.

## تلفات تبخیر

تبخیر به عواملی نظیر شرایط محیطی از جمله دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی (ظرفیت هوا برای نگهداری رطوبت) و تابش خورشیدی بستگی دارد (بارت و همکاران 2005). کلیه عوامل فوق را می‌توان با وارد نمودن میزان تبخیر در شبانه روز (E) در معادله مد نظر قرار داد.

$$E_L \propto E \quad [13]$$

که در این رابطه  $E_L$  تلفات تبخیر می‌باشد. در صورتی که آبیاری در روز انجام شود، می‌توان از میزان تبخیر در روز ( $E_d$ ) به جای تبخیر در شبانه روز در معادله استفاده نمود.

$$E_L \propto E_d \quad [14]$$

میزان تبخیر به فرصت زمانی موجود برای تبخیر در حین حرکت ذرات آب نیز وابسته است. با وارد نمودن شعاع پخش آب آبپاش در مدل، طول پیمایش ذرات آب و در نتیجه فرصت تبخیر در نظر گرفته می‌شود. زیرا هرچه شعاع پخش آب بیشتر باشد مسیر حرکت ذرات آب طولانی‌تر شده و فرصت تبخیر افزایش

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت حمل ذرات و تلفات بادبردگی ( $W_d$ ) با توان دوم سرعت باد متناسب است.

$$W_d \propto V^2 \quad [19]$$

باد باعث ایجاد تغییراتی در حرکت ذرات آب می‌شود. رابطه بین انرژی و سرعت باد به صورت زیر است:

$$E_k = \frac{1}{2} m V^2 \quad [18]$$

$E_k$  انرژی،  $m$  جرم و  $V$  سرعت ماده می‌باشد، انرژی با توان دوم سرعت باد رابطه مستقیم دارد.

جدول 1- عوامل موثر در تلفات بادبرگی و تبخیر از نظر محققین مختلف (پلایان و همکاران 2005)

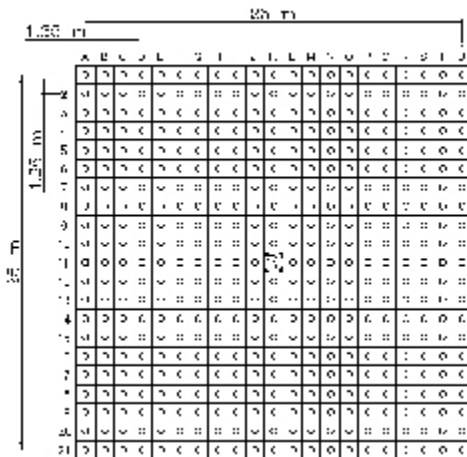
متغیرهای سیستم آبیاری				متغیرهای هواشناسی						نام محققان
$D_{nozzle}$	$D_{drop}$	$h$	$P$	$U$	$T$	$RH$	$e_s - e_0$	$R$	$ET_0$	
-			+	+	+	-	+			فراست و شوالن (1955)
				+	+	-		+		سگینر (1971)
		+		+	+	-				هرمسمایر (1973)
			+	+	+		+			یازار (1984)
	-	+		+						ادلینگ (1985)
-			+	+			+			تریمر (1987)
-			+	+					+	کلر و بلیسنر (1990)
				+						فاسی و برکرو <sup>1</sup>
	-			+	+	-				تارجلو (1995)
	-			+	+	-				سیلوا و جیمز (1988)
			+	+			+			مونترو <sup>2</sup>
-	-	+	+	+			+			تارجلو و همکاران (2000)
-				+	+					فاسی و همکاران (2001)
				+						پلایان و همکاران (2004)

در این جدول  $D_{nozzle}$  قطر نازل،  $D_{drop}$  قطر ذرات آب،  $h$  ارتفاع استقرار نازل،  $P$  فشار کارکرد آبیاری،  $U$  سرعت باد،  $T$  دمای هوا،  $RH$  رطوبت نسبی،  $e_s - e_0$  کمبود فشار بخار اشباع،  $R$  تشعشع خورشید و  $ET_0$  تبخیر و تعرق یا تبخیر است. علامت + به معنی تاثیر مثبت و علامت - به معنی تاثیر منفی متغیر بر روزی میزان تلفات می‌باشد.

<sup>1</sup> Faci and Bercero (1991)

<sup>2</sup> Montero (1999)

مصنوعی به ابعاد تقریبی 50×50 متر از اراضی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تیریز انتخاب و شبکه‌ای از ظروف جمع‌آوری آب به ابعاد 25×25 متر و با فاصله ظروف 1/25×1/25 متر از همدیگر مطابق شکل 2 احداث گردید.



شکل 2- آرایش و ابعاد شبکه ظروف ظروف جمع‌آوری آب

سه نوع اسپری نازل نلسون<sup>1</sup> R3000 با صفحه چرخان، سنینگر<sup>2</sup> LDN و نلسون D3000 با صفحه ثابت برای انجام آزمایش‌های پژوهش حاضر انتخاب گردید. هر یک در حین آزمایش‌ها توسط چهارچوب فلزی مطابق شکل 3 و در مرکز این شبکه قرار گرفت. دو نوع نازل با قطرهای 4/56 و 4/76 میلی‌متر در اسپری نازل‌های نلسون R3000 و D3000 و یک نوع نازل با قطر 8/37 میلی‌متر در اسپری نازل سنینگر LDN بکار رفت. در هنگام آزمایش‌ها هر کدام از اسپری نازل‌ها به وسیله چهارچوب فلزی نصب شده در ارتفاع 180 و 225 سانتی‌متری از سطح زمین مستقر شد (شکل 3). برای اطمینان از ثابت و یکنواخت ماندن فشار کارکرد اسپری نازل‌ها از سه نوع تنظیم‌کننده فشار استاندارد 15، 20 و 25 پی‌اس‌آی استفاده شد. در مجموع هشتاد و هشت آزمایش در شرایط مختلف محیطی و با فشارهای کارکرد، قطرهای نازل، ارتفاع-های استقرار و مدت زمان‌های آزمایش متفاوت انجام و

اندازه ذرات آب نیز بر میزان تلفات بادبردگی تاثیر گذار است. هرچه ذره بزرگتر باشد اثر باد در حمل آن کمتر خواهد بود زیرا انرژی بیشتری برای انحراف از مسیر آن لازم است.

$$W_d \propto CI \text{ یا } W_d \propto \left(\frac{P}{D}\right) \quad [20]$$

هرچه مقدار CI یا  $\frac{P}{D}$  بزرگتر باشد ذرات آب ریزتر و تلفات بادبردگی بیشتر خواهد بود و برعکس. در نهایت با وارد کردن ضرایب  $a$  و  $b$  می‌توان رابطه عمومی بادبردگی و تبخیر را به چهار صورت زیر نوشت.

$$WDEL = a(CI)^a V^2 + bE^b (CI)^g R^l \quad [21-الف]$$

$$WDEL = a(CI)^a V^2 + bE_d^b (CI)^g R^l \quad [21-ب]$$

$$WDEL = a\left(\frac{P}{D}\right)^a V^2 + bE^b \left(\frac{P}{D}\right)^g R^l \quad [21-ج]$$

$$WDEL = a\left(\frac{P}{D}\right)^a V^2 + bE_d^b \left(\frac{P}{D}\right)^g R^l \quad [21-د]$$

در این معادلات ترکیب‌های احتمالی از عوامل تاثیرگذار در نظر گرفته شده است. توان پارامترها یا عوامل تاثیرگذار در معادلات فوق برابر 1 نبوده و غیر از توان عامل سرعت باد ( $V$ ) همه مجهول می‌باشند.

با انجام آزمایش در شرایط مختلف باد و تعیین مقادیر تبخیر، شاخص درشتی، فشار کارکرد آبیاش و شعاع پخش آب و با استفاده از تحلیل‌های آماری مناسب می‌توان مقادیر  $a$ ،  $b$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $a$ ،  $b$ ،  $a$  و  $g$  و  $l$  را تعیین نمود.

#### آزمایش‌ها

میزان تلفات تبخیر و بادبردگی از تفاضل حجم آب پخش شده از آبیاش و مقدار آب جمع شده در ظروف جمع‌آوری آب حساب می‌شود (تارجلو و همکاران 2000، لورنزی و دی ورنچین 2005، پلایان و همکاران 2005، دچی و همکاران 2003). در این پژوهش نیز قطعه زمینی دور از موانع طبیعی و

<sup>1</sup> Nelson

<sup>2</sup> Senninger

میزان آب جمع شده، میانگین حجم آب جمع شده در چهار ظرف مجاور به عنوان حجم آب تجمع یافته در ظروف مذکور در نظر گرفته شد. این روش در استاندارد *ASAE S330.1* (بی نام) نیز توصیه شده است. به منظور اندازه‌گیری و ثبت داده‌های هواشناسی یک ایستگاه هواشناسی سیار در کنار محل انجام آزمایشات نصب گردید (شکل 4). سرعت باد، جهت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی در فواصل زمانی 10 دقیقه‌ای اندازه‌گیری و ثبت شد.



شکل 4- ایستگاه هواشناسی نصب شده جهت اندازه‌گیری

#### داده‌های هواشناسی

برای تعیین شدت تبخیر سه ظرف استوانه‌ای حاوی آب به قطر دهانه 16/5 سانتی‌متر و ارتفاع 14 سانتی‌متر در نقاطی در اطراف محل انجام آزمایشات قرار داده شد. وزن ظروف حاوی آب در ابتدا و در ساعات مختلف توسط ترازوی دیجیتالی با دقت 0/01 گرم اندازه‌گیری و ثبت گردید. شدت تبخیر در روز و در شبانه روز از تفاضل جرم آب اولیه و باقیمانده در ظروف در تمامی روزهای انجام آزمایش تعیین گردید. به دلیل طولانی بودن دوره انجام آزمایشات (اردیبهشت تا مرداد ماه)، محدوده وسیعی از داده‌های هواشناسی شامل دمای هوا، سرعت باد، شدت تبخیر و جهت باد ثبت گردید. در آبیاش‌های ضربه‌ای با برخورد چکش عامل چرخش آبیاش مقداری از آب در زیر آبیاش

اطلاعات هواشناسی نیز همزمان اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای راه‌اندازی اسپری نازل‌ها از یک پمپ شناور مجهز به لوله کنار گذر<sup>1</sup> استفاده گردید. پمپ در داخل استخری در نزدیکی محل انجام آزمایش‌ها قرار گرفت و جریان آب توسط یک لوله پلی‌اتیلنی به اسپری نازل‌ها برقرار گردید.



شکل 3- نحوه قرارگیری اسپری نازل در مرکز شبکه

در آماده سازی تجهیزات و انجام آزمایش‌های ضوابط و معیارهای استاندارد *ASAE S330.1*<sup>2</sup> (بی نام) مد نظر قرار گرفت. مشخصات آزمایش‌های انجام یافته در جدول 2 ارائه شده است.

#### جدول 2- شرایط و مشخصات آزمایش‌های صحرایی

مدت آزمایش (ساعت)	ارتفاع (سانتی‌متر)	قطر نازل (میلی‌متر)	تنظیم کننده فشار (پی اس آی)	نوع اسپری نازل
1	180 و 225	4/76 و 4/56	15 و 20 و 25	نلسون R3000
1	180 و 225	8/37	15 و 20 و 25	سینگر LDN
1	180 و 225	4/76 و 4/56	15 و 20 و 25	نلسون D3000
1/5	180 و 225	4/76	15 و 20 و 25	نلسون R3000
1/5	180 و 225	8/37	15 و 20 و 25	سینگر LDN
1/5	180 و 225	4/56	15 و 20 و 25	نلسون D3000
2	180 و 225	4/76	15 و 20 و 25	نلسون R3000
2	180 و 225	8/37	15 و 20 و 25	سینگر LDN
2	180 و 225	4/56	15 و 20 و 25	نلسون D3000

برای دو ظرف جمع‌آوری واقع در پشت پایه‌های چهارچوب نگهدارنده آبیاش به دلیل تداخل پایه‌ها در

<sup>1</sup> Bypass

<sup>2</sup> American Society of Agriculture Engineering



شدند. کمترین مقدار هر دو شاخص به لحاظ نظری برابر صفر می‌باشد. خطای مطلق میانگین از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - P_i|}{n} \quad [23]$$

که در آن  $O_i$  مقادیر مشاهداتی،  $P_i$  مقادیر پیش بینی شده و  $n$  تعداد آزمایش‌ها انجام یافته می‌باشد. برای محاسبه خطای جذر میانگین مربعات نیز از رابطه 24 استفاده می‌شود.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad [24]$$

### نتایج و بحث

میزان تلفات بادبردگی و تبخیر در اسپری نازل‌های مورد آزمایش در این تحقیق نسبتاً زیاد و قابل توجه بود. متوسط تلفات 16/58 درصد، بیشترین مقدار 22/56 درصد، کمترین آن 10/40 درصد و ضریب تغییرات برابر 3/66 حاصل گردید.

به منظور ارزیابی دقت برآورد سه روش فراست-شوالن، کلر-بلیسنر و پلایان و همکاران، تلفات آبی با استفاده از اطلاعات آزمایشی ثبت شده و از روش‌های مذکور محاسبه و نتایج با مشاهدات مقایسه گردید. شکل 5 (الف تا ج) نتایج مقایسه را به ترتیب برای روش‌های فراست-شوالن، کلر-بلیسنر و پلایان و همکاران نشان می‌دهند.

سقوط می‌کند. در اسپری نازل‌های سنتریوت نیز به دلیل برخورد جت آب به صفحه مقداری از آب پخش شده در زیر اسپری نازل و به صورت نشت تخلیه می‌شود که در صورت عدم اندازه‌گیری، ممکن است جزو تلفات بادبردگی و تبخیر حساب شده و باعث ایجاد خطا گردد. بنابراین با هدف افزایش دقت محاسبات ظرف بزرگی در زیر اسپری نازل قرار گرفت و میزان این نشت در طول آزمایش‌ها اندازه گرفته شد. در محاسبات انجام یافته این آب جزو حجم آب رسیده به سطح زمین به حساب آمد. دبی اسپری نازل‌ها در فشارهای مختلف با نصب کنتور حجمی در مسیر لوله آبرسان و اندازه‌گیری حجم آب عبوری در زمان مشخص تعیین گردید. همچنین حجم آب رسیده به سطح زمین با اختصاص عمق آب جمع شده در ظروف به قطعات مربعی  $1/25 \times 1/25$  متری متناظر از شبکه ظروف و جمع آنها به دست آمد (سگینر و همکاران 1991، تارجلو و همکاران 2000، مک لین و همکاران 2000، پلایان و همکاران 2004، پلایان و همکاران 2005). بنابراین تلفات آب از رابطه زیر و براساس تفاضل حجم آب پخش شده و حجم آب رسیده به سطح زمین محاسبه شد.

$$WDEL = \left( \frac{q_s \times t - 1.56 \sum_{i=1}^{441} z_i}{q_s \times t} \right) \times 100 \quad [22]$$

که  $q_s$  دبی اسپری نازل (متر مکعب بر ثانیه)،  $t$  مدت زمان آزمایش (ثانیه)،  $1/56$  مترمربع مساحت قطعه زمینی است که هر ظرف نماینده آن است و  $z_i$  عمق آب جمع شده در هر کدام از ظرف‌ها (متر) می‌باشد.

شاخص‌های آماری میانگین خطای مطلق  $(MAE)^1$  و جذر میانگین مربعات خطا  $(RMSE)^2$  نیز برای مقایسه نتایج محاسبات با مشاهدات واقعی بکار برده

<sup>1</sup> Mean absolute error

<sup>2</sup> Root mean square error

با استفاده از نتایج آزمایش‌ها و انجام تحلیل رگرسیون غیر خطی بین پارامترها، مقادیر ضرایب  $a, b, g$  و  $I$  در معادلات پیشنهادی این پژوهش به شرح زیر به دست آمد.

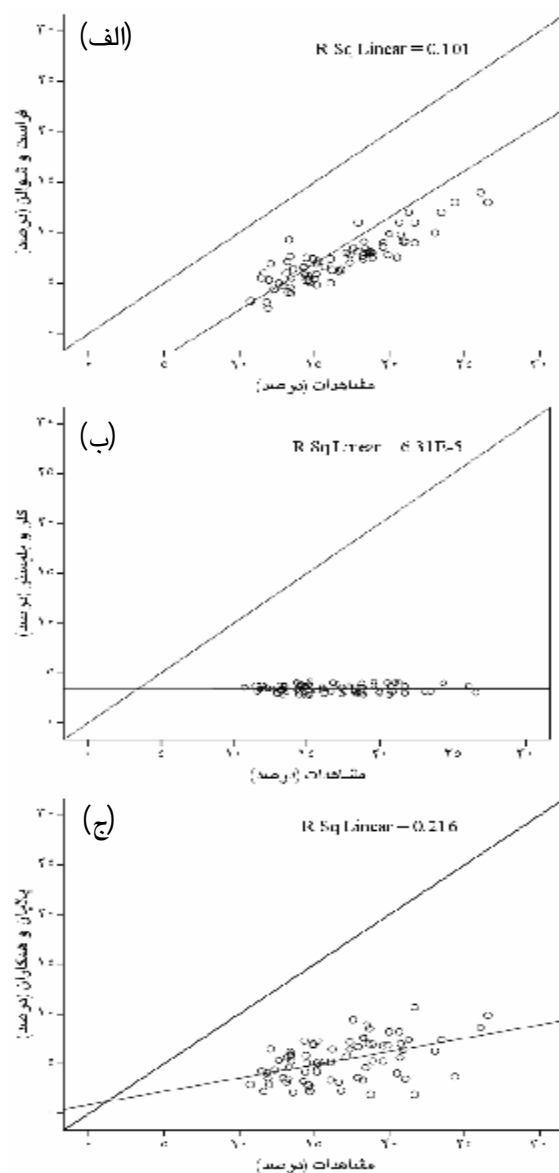
$$WDEL = 0.00214CI^{-0.69}W^2 + 0.00316E^{1.418}CI^{0.155}R^{0.716} \quad \text{[الف-25]}$$

$$WDEL = 0.00189CI^{-0.43}W^2 + 0.00114E_d^{1.33}CI^{-0.18}R^{1.667} \quad \text{[ب-25]}$$

$$WDEL = 0.002\left(\frac{P}{D}\right)^{-0.809}W^2 + 0.004E^{1.413}\left(\frac{P}{D}\right)^{0.203}R^{0.658} \quad \text{[ج-25]}$$

$$WDEL = 0.002\left(\frac{P}{D}\right)^{-0.517}W^2 + 0.003E_d^{1.278}\left(\frac{P}{D}\right)^{-0.006}R^{1.117} \quad \text{[د-25]}$$

با استفاده از نتایج 74 آزمایش، مقادیر تلفات آبی با هریک از معادلات فوق محاسبه و با مشاهدات واقعی مقایسه گردید. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر محاسبه شده و مشاهداتی در شکل 6 (الف-د) آورده شده است.



شکل 5 - مقایسه نتایج روش‌های فراسات و شوالن (الف)، کلر و بلیسستر (ب) و پلایان و همکاران (ج) با مشاهدات

نتایج نشان می‌دهد هیچ کدام از روش‌ها از دقت لازم برای پیش‌بینی میزان تلفات در اسپری نازل‌های سنتریپوت مورد آزمایش در این تحقیق برخوردار نبوده و میزان تلفات را بسیار کمتر از مقدار واقعی آن محاسبه می‌کنند. بنابراین کاربرد آنها برای این منظور توصیه نمی‌شود. در این میان روش پلایان و همکاران دارای نزدیک‌ترین برآوردها و روش کلر - بلیسستر دارای بدترین نتایج نسبت به مقادیر مشاهداتی بود.

این نتایج نشان می‌دهد که هر چهار معادله دارای همبستگی خوبی با مقادیر مشاهداتی بوده و مقادیر محاسبه شده به مقادیر واقعی نزدیک می‌باشند. با هدف سنجش دقت محاسبه معادلات پیشنهادی این پژوهش، اطلاعات 14 آزمایش انجام یافته در شرایط مختلف محیطی و ترکیب‌های متفاوت فشارکارکرد، قطر نازل و ارتفاع استقرار که در استخراج معادلات به کار نرفته بودند در معادلات مورد استفاده قرار گرفتند و نتایج محاسبات با مقادیر واقعی مقایسه گردید. شکل 7 نتیجه این مقایسه‌ها را نشان می‌دهد.

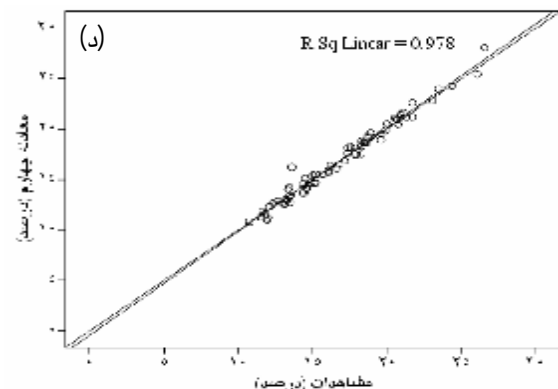
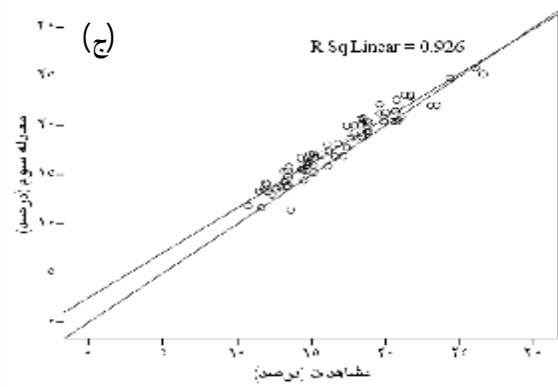
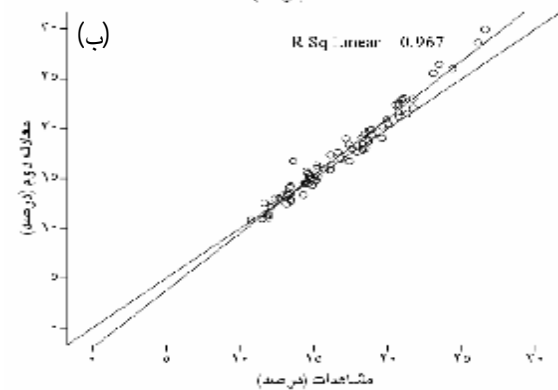
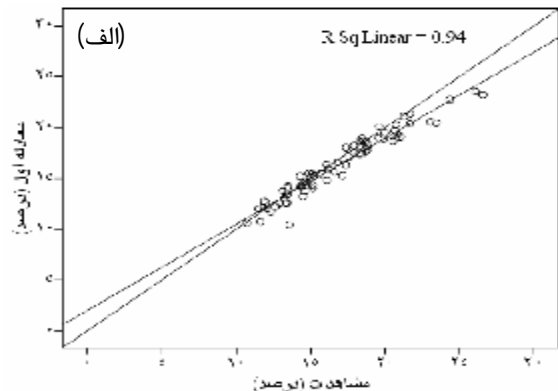
شکل بالا نشان دهنده دقت قابل قبول تمامی معادلات و قابلیت استفاده از آنها در زمینه محاسبه تلفات بادبردگی و تبخیر اسپری نازل‌های سنتریپوت می‌باشد.

نتایج محاسبه میانگین خطای مطلق و جذر میانگین مربعات خطا که برای مقایسه نتایج محاسبات با مشاهدات واقعی بکار برده شدند، در جدول 4 ارائه شده است.

چنانچه از شکل 7 و جدول 4 بر می‌آید، دقت

معادله 25-د که از  $\frac{P}{D}$  و  $E_d$  استفاده می‌کند با مقادیر  $RMSE=0/088$  و  $MAE=0/91$ ،  $r^2=0/917$  بیشتر از

سایر معادلات و دقت معادله 25-ج که از  $\frac{P}{D}$  و  $E$  استفاده می‌کند با مقادیر  $RMSE=0/11$  و  $MAE=1/45$ ،  $r^2=0/839$  کمتر از سایر معادلات می‌باشد. در نهایت به منظور ارائه تنها یک معادله به عنوان معادله پیشنهادی این پژوهش می‌توان معادله 25-د را معرفی نمود.



شکل 6- مقایسه نتایج محاسبات با معادلات 25-الف تا د با مشاهدات

جدول 4- مقادیر *MAE* و *RMSE* جهت مقایسه نتایج

محاسبات معادلات و مشاهدات حاصل از آزمایش‌ها

آماره		نتایج مورد مقایسه با مشاهدات
MAE	RMSE	
1/07	0/096	معادله اول [25-الف]
1/20	0/098	معادله دوم [25-ب]
1/45	0/11	معادله سوم [25-ج]
0/91	0/088	معادله چهارم [25-د]

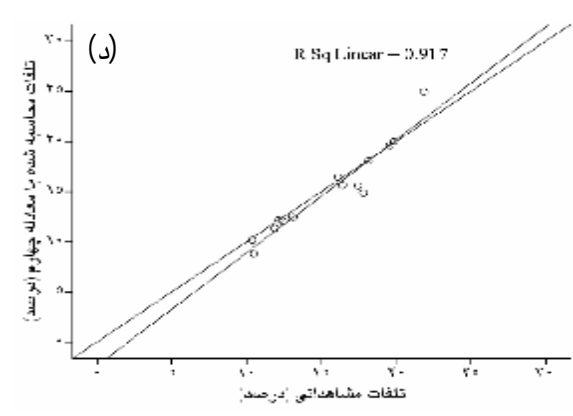
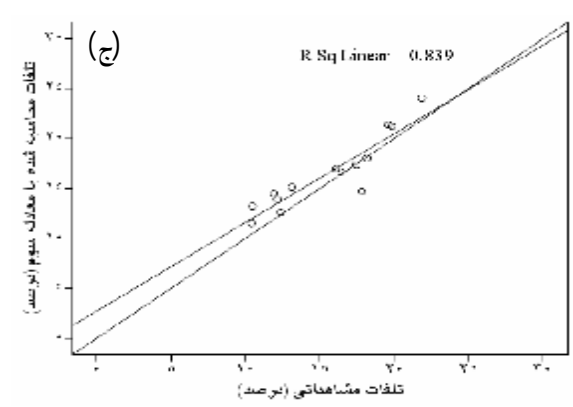
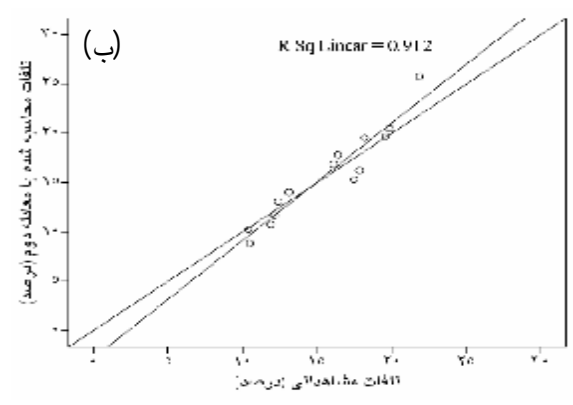
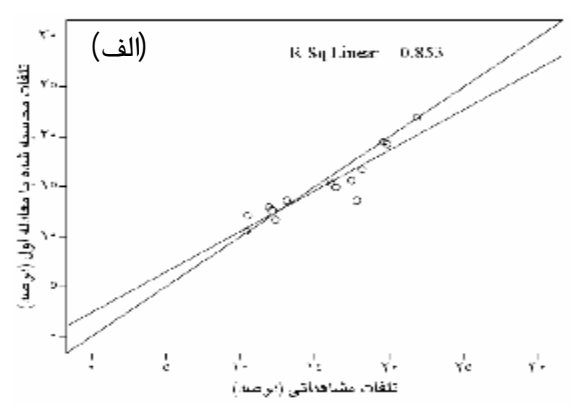
میزان تلفات بادرده‌گی و تبخیر در اسپری نازل‌های سنتزپیوت نسبتاً زیاد و قابل توجه می‌باشد. هیچ کدام از سه روش متداول فراست و شوالن، کلر و بلیسنر و پلایان و همکاران پیش‌بینی قابل قبولی از این تلفات را ارائه ندادند. دلایلی به شرح زیر می‌تواند علت این موضوع باشد:

1- روش‌های مذکور (بجز روش پلایان و همکاران) برای آبیاری‌های ضربه‌ای برازش و توسعه یافته‌اند و در آزمایش‌های انجام یافته برای استخراج معادله از اسپری نازل استفاده نشده است.

2- عوامل موثر را به خوبی و به طور کامل وارد معادله نکرده‌اند.

3- نحوه پخش آب در اسپری نازل‌ها متفاوت از آبیاری است. در آبیاری جت آب از نازل مستقیماً رها می‌شود یا برخورد چکش عامل چرخش باعث پخش آب می‌شود ولی در اسپری نازل‌ها جت آب با برخورد به صفحه پخش می‌شود.

مقایسه محاسبات و مشاهدات نشان داد معادلات پیشنهادی این تحقیق به دلیل در نظر گرفتن مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر بادرده‌گی و تبخیر، از دقت بالایی در پیش‌بینی این تلفات برخوردارند. مزیت روش پیشنهادی در تحقیق حاضر آن است که عوامل موثر در تلفات بادرده‌گی و تبخیر تفکیک گردیده‌اند. مزیت دیگر دسترسی آسان به آمار و اطلاعات تبخیر و تعرق در مقایسه با اطلاعات کمبود فشار بخار اشباع، فشار بخار واقعی هوا، دمای تر، رطوبت نسبی و رطوبت اشباع می‌باشد.



شکل 7- مقایسه نتایج پیش‌بینی‌های حاصل از معادلات استخراج شده با مشاهدات واقعی

پیشنهاد می‌شود همین روش در مورد آبیاری‌های ضربه‌ای نیز به کار گرفته شده و معادله‌ای با در نظر گرفتن همین عوامل برای آبیاری‌های ضربه‌ای نیز استخراج شود.

#### سپاسگزاری

این مقاله مستخرج از گزارش نهائی طرح پژوهشی شماره 27/1236/د مورخ 87/2/21 می‌باشد که از محل اعتبارات پژوهشی دانشگاه تبریز اجرا گردیده است. بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی می‌شود.

برای کاهش تلفات تبخیر و بادبردگی آنچه که در اختیار طراح است کاهش فشار کارکرد، افزایش قطر نازل یا انجام آبیاری در زمانی است که محیط پتانسیل کمی برای تبخیر دارد. اما در انتخاب شرایط بهره‌برداری از اسپری نازل‌ها لازم است از شرایط توصیه شده توسط تولید کنندگان پیروی نموده و در آن محدوده اقدام به تغییر فشار کارکرد یا قطر نازل نمود. در غیر این صورت توزیع نامناسب آب توسط آبیاری باعث کاهش یکنواختی پخش آب توسط سیستم آبیاری بارانی و کاهش راندمان آبیاری خواهد شد. پتانسیل تبخیر محیط معمولاً در ساعات ظهر که دما به حداکثر و رطوبت نسبی به حداقل مقدار خود می‌رسد، بیشترین مقدار بوده و یکی از روش‌های کاهش تلفات آبی آبیاری شبانه یا هنگام صبح می‌باشد.

#### منابع مورد استفاده

- Abo-Ghobar HM, 1994. The effect of riser height and nozzle size on evaporation and drift losses under arid conditions. *J King Saud Univ Aric Sci* 6(2): 191-202.
- Anonymous, ASAE standards, 2003. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. ANSI/ASAE S330.1, ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- Burt CM, Mutaziger AJ, Allen RG and Howell TA, 2005. Evaporation research: review and interpretation. *J Irrig Drain Eng*, ASCE 131(1): 37-58.
- Dechmi F, Playan E, Cavero J and Faci, JM, 2003. Wind effect on solid-set sprinkler irrigation depth and yield of maize (*Zea Mays*). *Irrig Sci* 22: 67-77.
- Edling RJ, 1985. Kinetic energy, evaporation and wind drift of droplet from low pressure irrigation nozzles. *Trans ASAE* 28: 1543- 1550.
- Faci JM, Salvador R, Playan E and Sourell H, 2001. A comparison of fixed and rotating spray plate sprinklers. *J Irrig Drain Eng.*, ASCE 127: 224-233.
- Frost KR and Schwalen HC, 1955. Sprinkler evaporation losses. *Agriculture Engineering* 36: 526-528.
- Frost KR and Schwalen HC, 1960. Evapotranspiration during sprinkler irrigation. *Trans ASAE* 3: 18-20.
- Hermesmeier LF, 1973. Evaporation during sprinkler application in a desert climate. ASAE paper No 73/216. ASAE St. Joseph, MI, USA.
- Keller J and Bliesner RD, 1990. *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostrand Reinhold. New york.

- Kincaid DC, 1996. Spray drop kinetic energy from irrigation sprinklers. *Trans ASAE* 39: 847-853.
- Kincaid DC, Solomon KH and Oliphant JC, 1996. Drop size distribution for irrigation sprinklers. *Trans ASAE* 39: 839-845.
- Kolh RD, Kolh RA and de Boer DW, 1987. Measurement of low pressure sprinkler evaporation loss. *Trans ASAE* 30: 1071-1074.
- Lorenzini G and De Wrachien D, 2005. Performance assessment of sprinkler irrigation systems, a new indicator for spray evaporation losses. *J Irrigation and Drainage* 54 (3): 295-305.
- Mc Lean RK, Sriranjn R and Klassen G, 2000. Spray evaporation losses from sprinkler irrigation systems. *Canadian Agriculture Engineering* 42(1) 1.1-1.15.
- Murray J, 1967. On the computation of saturated vapor pressure. *J Applied Meteorology* 6: 203-204.
- Playan E, Garrido S, Faci JM and Gallan A, 2004. Characterizing pivot sprinklers using an experimental irrigation machine. *Agricultural Water Management* 70: 177-199.
- Playan E, Salvador R, Faci JM, Zapata N, Martinez-cob A and Sanchez I, 2005. Day and night evaporation losses in solid-sets and moving laterals. *Agricultural Water Management* 76: 139-159.
- Seginer I, 1971. Water losses during sprinkling. *Trans ASAE* 14: 656- 659.
- Seginer I, Kantz D and Nir D, 1991. Distortion by wind of distribution patterns of sprinklers. *Agricultural Water Management* 19: 341-359.
- Silva WLC and James LG, 1988. Modeling evaporation and microclimate changes in sprinkler irrigation: II. Model assessment and applications. *Trans ASAE* 31: 1487- 1493.
- Tarjuelo JM, Ortega JF, Montero J and de Juan JA, 2000. Modeling evaporation and drift losses in irrigation with medium size impact sprinklers under semi-arid conditions. *Agricultural Water Management* 43: 263-284.
- Thompson AL, Martin DL, Norman JM, Tolk JA, Howell TA, Gilley JR and Schneider AD, 1997. Testing of a water loss distribution model for moving sprinkler systems. *Trans ASAE* 40(1): 81-88.
- Trimmer WL, 1987. Sprinkler evaporation loss equation. *J Irrig Drain Eng, ASCE* 113(4): 616-620.
- Wright C, 1982. New evaporation crop coefficients. *J Irrig Drain Eng, ASCE* 108: 57-74.
- Yazar A, 1984. Evaporation and wind drift losses from sprinkler irrigation system under various operating conditions. *Agricultural Water Management* 8: 439-449.