

## اندازه‌گیری تبخیر - تعرق استاندارد ذرت با روش بیلان آب و عمق متغیر ریشه در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک

شاهرخ زند پارسا\*<sup>۱</sup>، مائده محمودیان شوشتری<sup>۲</sup>، ابوالفضل مجنوننی هریس<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۴

<sup>۱</sup>دانشیار بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup>دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، بخش مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

<sup>۳</sup>استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: zandparsa@yahoo.com

### چکیده

در اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاهان با لایسیمتر ممکن است، شرایط آب و هوایی محل لایسیمتر، با شرایط مزارع زیر کشت متفاوت باشد یا در زمان محدودی نتوان با استفاده از یک لایسیمتر برای چند گیاه زراعی تبخیر- تعرق را اندازه‌گیری نمود. در این مقاله روش بیلان آب در خاک برای اندازه‌گیری مقدار تبخیر- تعرق استاندارد ذرت در شرایط مزرعه، از اندازه‌گیری رطوبت حجمی خاک منطقه ریشه در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ استفاده گردید. عمق ریشه نسبت به زمان تغییر می‌کند و برای کاهش خطا در محاسبه آب ذخیره شده در خاک، اندازه‌گیری رطوبت خاک تا قبل از رسیدن ریشه به بیشینه عمق خود (۱/۸ متر)، فقط در ناحیه ریشه صورت می‌گرفت. در این تحقیق، مقدار اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت با استفاده از معادله بیلان آب در مزرعه با نتایج حاصل از کاربرد معادله‌های پنمن- مانتیث، هارگریوز- سامانی و مدل MSM2 (Maize Simulation Model) مقایسه شد. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک در اعماق مختلف، در شرایط مزرعه و اندازه‌گیری تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت با این روش ساده و مطلوب بود. بررسی‌ها تأیید کرد که جهت برآورد تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت، می‌توان از مدل MSM2 و معادله‌های هارگریوز- سامانی با ضرایب اصلاح شده برای منطقه و پنمن- مانتیث به ترتیب با خطاهای ۲-، ۵ و ۲۵- درصد استفاده نمود. نتایج حاصل نشان داد که در شرایط وجود محدودیت داده‌ها و تنها با داشتن داده‌های کمینه و بیشینه دمای هوا، با استفاده از معادله هارگریوز- سامانی اصلاح شده و ضرایب گیاهی می‌توان تبخیر- تعرق استاندارد ذرت را به خوبی برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: بیلان آب، پنمن- مانتیث، تبخیر- تعرق، رطوبت خاک، مدل MSM2، هارگریوز- سامانی

## Measurements of Standard Maize Evapotranspiration Using Water Balance Method and Variable Root Depth in an Arid and Semi-Arid Region

Sh Zand-Parsa<sup>1\*</sup>, M Mahmoudian Shoostari<sup>2</sup>, A Majnooni-Heris<sup>3</sup>

Received: 22 December 2013 Accepted: 13 April 2015

1. Associ. Prof., Water Engin. Dept., Faculty of Agric., University of Shiraz, Iran

2. Former M.Sc. Student, Water Engin. Dept., Faculty of Agric., University of Shiraz, Iran

3. Assist. Prof., Water Engin. Dept., Faculty of Agric., University of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email address: zandparsa@yahoo.com

### Abstract

In measurements of crop evapotranspiration by lysimeter, climate of cultivated field may be different from lysimeter point, also a lysimeter cannot be utilized for measurements of several crops during a limited time. For measurements of the standard maize evapotranspiration by the water balance method, soil water content was measured in a field experiment under furrow irrigation system during 2003 and 2004. Maize root depth was varied in respect to time and for reducing the error of measured soil moisture and calculating the stored water in soil profile, soil water content was only measured in the root zone until the root reached to its maximum length (1.8 m). In this study, the measured standard evapotranspiration of maize via water balance equation in the field, was compared with the estimated values using the methods of Penman-Monteith, Hargreaves-Samani and MSM2 model (Maize Simulation Model). The results showed that applying the water balance method for measuring maize standard evapotranspiration was simple and favorable in field conditions. The investigations confirmed that by use of MSM2 model, modified Hargreaves and Penman-Monteith's equations, the standard maize evapotranspiration values could be estimated, with the errors of -2% , 5% and -25%, respectively. The results showed that with limited data condition, if only, the minimum and maximum air temperature were available, the maize standard evapotranspiration value could be estimated favorably, using the modified Hargreaves-Samani's equation and crop coefficient.

**Keywords:** Evapotranspiration, Hargreaves-Samani, MSM2model, Penman-Monteith, Water balance, Soil moisture

### مقدمه

فرآیندهای تبخیر و تعرق به طور همزمان صورت گرفته و روش ساده‌ای برای تفکیک این دو فرآیند وجود

اندازه‌گیری تبخیر- تعرق ( $ET$ )، یکی از مشکل‌ترین پدیده‌های چرخه هیدرولوژی است.

(۱۳۸۶الف)، زندپارسا و همکاران (۲۰۰۶) و مجنونی هریس و همکاران (۲۰۱۱) با کاربرد زیر برنامه تبخیر- تعرق و جریان آب خاک مدل MSM2 را مورد ارزیابی قرار دادند. در مدل MSM2، رشد گیاه ذرت بر اساس بیلان انرژی، آب و کود نیتروژن شبیه سازی می‌شود. این مدل دارای یک برنامه اصلی و ۹ زیر برنامه می‌باشد. جریان آب خاک به صورت عددی و بر پایه حل معادله ریچاردز نظر گرفته شده و برآورد تبخیر - تعرق از جمله زیربرنامه‌های مدل می‌باشد. در این زیر برنامه تبخیر- تعرق گیاه ذرت، بر اساس کاربرد مستقیم معادله پنمن - مانیتث (بدون استفاده از ضریب گیاهی) شبیه سازی می‌شود (مجنونی هریس و همکاران ۲۰۱۱، زندپارسا و همکاران ۲۰۰۶). مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۶الف) با توجه به مقادیر آب آبیاری لازم بر اساس تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی، مقادیر برآورد شده تبخیر- تعرق و مقایسه آن با سایر مقادیر گزارش شده در مناطق دیگر نتیجه گرفته‌اند که روش توصیه شده پنمن- مانیتث در نشریه فائو ۵۶ با اعمال ضریب گیاهی منفرد و دوگانه، تبخیر- تعرق استاندارد فصلی ذرت را در منطقه پژوهش به- ترتیب برابر ۲۶ و ۱۸ درصد کم‌تر برآورد می‌کند. صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی فرارفت در منطقه کرکج تبریز به این نتیجه رسیدند که فرارفت گرمایی باعث افزایش ۳۳ درصدی تبخیر- تعرق کلزا گشته که معادلات معمول تبخیر- تعرق توانایی انعکاس آنرا نداشتند. در تحقیق دیگری توسط مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۶ب)، زیر برنامه‌های برآورد تبخیر- تعرق گیاه، رطوبت خاک، ماده خشک تولیدی و عملکرد دانه مدل MSM2 با استفاده از داده‌های لایسیمتری برای منطقه کرکج تبریز ارزیابی گردید و مقایسه آماری داده‌های اندازه‌گیری شده با مقادیر پیش‌بینی شده نشان داد که مدل، تبخیر- تعرق گیاه ذرت و رطوبت خاک را برای منطقه مورد مطالعه با دقت خوبی برآورد کرده است.

ندارد. مقدار تبخیر- تعرق گیاه در سطح وسیع با شرایط بدون آفت و بیماری، کود کافی، رطوبت مناسب خاک و تحت شرایط مدیریت زراعی مطلوب را تبخیر- تعرق استاندارد ( $ET_c$ ) گویند. در هنگام کشت، جزء تبخیر نزدیک به ۱۰۰ درصد فرآیند تبخیر- تعرق را تشکیل می‌دهد اما با رشد گیاه و کامل شدن پوشش گیاهی، تعرق بیشتر از ۹۰ درصد این فرآیند می‌باشد. نیاز به برآورد تبخیر- تعرق گیاهان در مزرعه، باعث شده است که پژوهش‌گران زیادی روش‌های متعددی جهت برآورد آن ارائه دهند. کاربرد این روش-ها به دقت برآورد آن‌ها در شرایط اقلیمی مناطق مورد استفاده بستگی دارد. روش‌هایی که برای تعیین  $ET_c$  مورد استفاده قرار می‌گیرند در سه گروه اصلی شامل برآورد  $ET_c$  با برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع بر پایه روابط تجربی و داده‌های اندازه‌گیری شده تحت تبخیر و روش‌های مستقیم اندازه‌گیری  $ET_c$  قرار دارند. سازمان خواربار جهانی (FAO)، برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع، روش پنمن- مانیتث را به‌عنوان روشی استاندارد و همچنین استفاده از داده‌های تحت تبخیر کلاس A را برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) توصیه کرده است. زندپارسا و اشک‌تراب (۱۳۷۵) متوسط ماهانه تبخیر- تعرق گیاه مرجع به روش پنمن اصلاح شده فائو ۲۴ را محاسبه کرده و نشان دادند که بین  $ET_0$  محاسبه شده از این روش و دمای متوسط ماهانه در استان فارس همبستگی بالایی وجود دارد. روش هارگریوز- سامانی نیز به دلیل سادگی محاسبات برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع، به کار برده می‌شود (آلن و همکاران ۱۹۹۸). رزاقی و سپاسخواه (۲۰۱۰) این روش را با استفاده از داده‌های لایسیمتر وزنی و اسنجی و اعتبارسنجی نمودند.

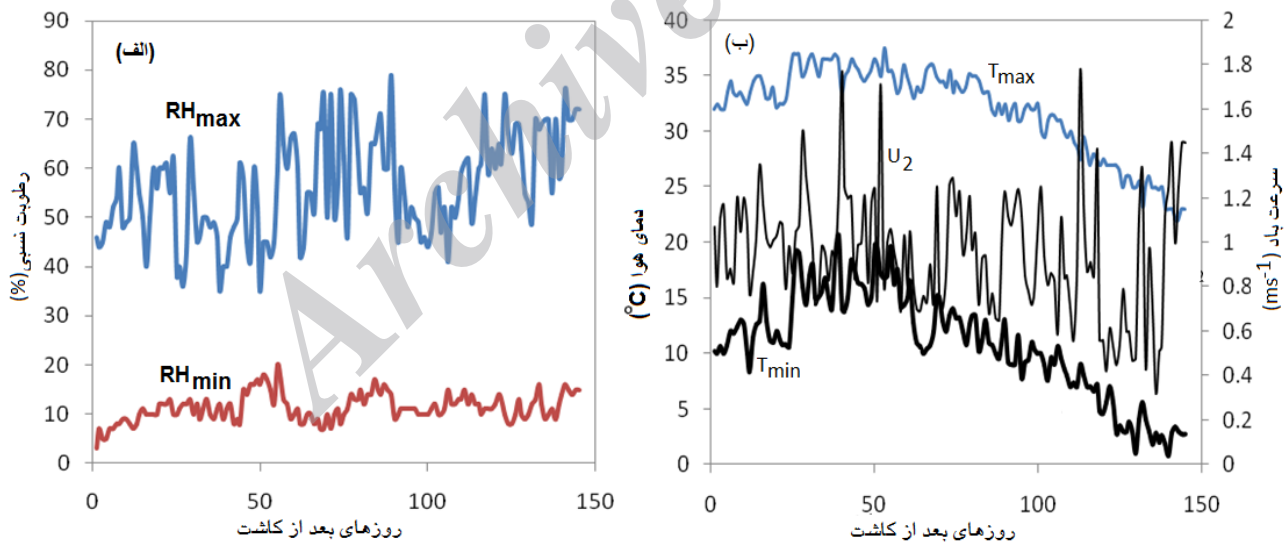
تالک و ایوت (۲۰۰۹) در تحقیقی، مطلوبیت اندازه‌گیری تبخیر- تعرق را از طریق روش اندازه‌گیری رطوبت خاک ارائه دادند. مجنونی هریس و همکاران

دیررس در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در تاریخ‌های ۲۰ خرداد ماه سال ۱۳۸۲ و ۱۵ خرداد ماه سال ۱۳۸۳ در سه تکرار کاشته شده و در اواخر مهرماه تا اوایل آبان‌ماه سال‌های مذکور برداشت گردید. در شکل ۱ مقادیر سرعت باد در ارتفاع دو متری و مقادیر بیشینه و کمینه دما و رطوبت نسبی هوا در زمان کشت ذرت در سال ۱۳۸۲ نشان داده شده است. مزرعه ذرت مورد مطالعه مطابق جدول ۱ از نظر شوری مشکلی نداشته، کود به مقدار کافی به مزرعه اضافه شده، آبیاری به اندازه کافی صورت گرفته (یک بار در هفته) و آب زیرزمینی در عمق زیادی قرار داشته است. طول و عرض جغرافیایی منطقه و ارتفاع آن از سطح دریا به ترتیب برابر  $52^{\circ}46'$  شرقی،  $29^{\circ}50'$  شمالی و ۱۸۱۰ متر بوده است. لازم به ذکر است که دوره رشد گیاه ذرت ۱۴۳ روز در سال ۱۳۸۲ و ۱۴۸ روز در سال ۱۳۸۳ در نظر گرفته شده است.

در تعیین تبخیر- تعرق در شرایط آب و هوایی محل مزارع زیر کشت، ممکن است نتوان از اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری در محل لایسیمتر استفاده کرد یا بعلت محدودیت زمانی نتوان با استفاده از یک لایسیمتر برای چند گیاه زراعی تبخیر- تعرق را اندازه‌گیری نمود. بعلت کاشت گیاه ذرت به‌عنوان کشت تابستانه در سطح وسیعی از اراضی کشاورزی ایران، هدف از این مقاله اندازه‌گیری تبخیر- تعرق استاندارد ذرت با روش بیلان آب در شرایط مزرعه و مقایسه آن با مقادیر برآورد شده از روش‌های پنمن - مانتیث، هارگریوز سامانی و مدل MSM2 می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

در این مقاله، جهت اندازه‌گیری تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت از روش بیلان آب خاک در مزرعه برای مدت دو سال استفاده شد. در هر سال آزمایش، رقم ذرت به‌کار رفته سینگل کراس ۷۰۴ از نوع هیبرید



شکل ۱- مقادیر بیشینه و کمینه رطوبت نسبی هوا (الف) و سرعت باد و بیشینه و کمینه دمای هوا (ب) از روز کاشت ذرت (۹۳/۳/۱۰).

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی.

درصد ذرات خاک (%)			pH*	EC*	عمق
رس	لای	شن	-	(dS m <sup>-1</sup> )	(cm)
۳۳/۲	۵۴/۹	۱۱/۹	۷/۹۵	۰/۴۵	۳۰-۰
۳۵/۸	۵۴/۳	۹/۹	۷/۹۵	۰/۲۹	۶۰-۳۰

\* عصاره اشباع

## روش بیلان آب در خاک

معمولی‌ترین روش مستقیم تعیین تبخیر- تعرق استاندارد گیاه استفاده از اصل بیلان رطوبتی در یک حجم کنترل شده از خاک است. بر اساس این اصل، جهت محاسبه تبخیر- تعرق استاندارد ذرت از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک مزرعه ذرت در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ توسط زندپارسا (۲۰۰۱) و مجنونی هریس (۱۳۸۴) در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در منطقه باجگاه، استفاده گردید. در این سال‌ها مقادیر اندازه‌گیری شده فصلی عمق آب آبیاری به‌ترتیب برابر ۹۰۸ و ۹۷۵ میلی‌متر بود. روش آبیاری اعمال شده در این پژوهش آبیاری جویچه‌ای بود. قبل از هر آبیاری رطوبت خاک در سال اول با نمونه‌برداری جرمی از ستون خاک و در سال دوم با استفاده از نوترون‌متر از نوع (CPN COR 503DR) در اعماق ۰/۱۵ تا ۱/۸ متر از سطح با فواصل ۰/۱۵ متری تعیین گردیده و سپس با توجه به کمبود رطوبت از حد ظرفیت زراعی، مقدار آب مورد نیاز محاسبه و با استفاده از یک کنتور به‌صورت حجمی به کرت‌ها داده شد. آب آبیاری براساس اختلاف رطوبت اندازه‌گیری شده خاک با رطوبت ظرفیت زراعی در دور هفت روز توزیع گردید و اضافه نمودن ۳۰٪ و ۷۰٪ کود نیتروژن به‌ترتیب در ۱۹ و ۵۰ روز بعد از کاشت در نظر گرفته شد. در این روش، اولین آبیاری در هر سال با هدف خیس کردن خاک مزرعه و ایجاد شرایط مناسب برای جوانه زدن بذرها انجام گرفت.

برای تعیین عمق آب آبیاری مورد نیاز، لازم است تا مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی اندازه‌گیری شود. برای برآورد مقدار رطوبت در حد ظرفیت زراعی یک کرت مربعی شکل  $2 \times 2 \text{ m}^2$  در محل مزرعه ایجاد گردیده و با افزودن آب، خاک کرت تا عمق یک متر تقریباً اشباع گردید. برای جلوگیری از تبخیر، سطح

خاک کرت با پلاستیک پوشانده شده و در زمان‌های مختلف تا ۱۰۰ ساعت بعد از خیس کردن، رطوبت خاک در اعماق ۰/۱۵، ۰/۳، ۰/۶ و ۰/۹ متر با استفاده از نمونه‌برداری با مته و به روش وزنی تعیین شده و در نهایت رطوبت در حالت ظرفیت زراعی در عمق‌های ذکر شده به‌دست آمد.

در هنگام کاشت ذرت، به‌علت ذخیره شدن بارندگی‌های زمستانه در اعماق پایین خاک مزرعه، رطوبت بالاتر از سطح خاک و در حد ظرفیت زراعی بود ولی به دلیل تبخیر از سطح خاک، لایه اول (به عمق حدود ۲۰ سانتی‌متر) دارای رطوبت خیلی کم بود. در بیشتر مواقع به‌دلیل خراب بودن نوترون‌متر، اندازه‌گیری رطوبت خاک با نمونه‌برداری و انتقال آن‌ها به آون صورت گرفت. به‌علت توقف آبیاری در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌ترتیب در ۱۰۷ و ۱۰۸ روز بعد از کاشت، در روز برداشت ذرت، رطوبت خاک بسیار کم بود. برداشت ذرت برای سال‌های مذکور به‌ترتیب در ۳۶ و ۴۰ روز بعد از قطع آبیاری انجام گرفت و گیاه در این مدت از رطوبت ذخیره شده در خاک استفاده کرد.

جهت برآورد مقدار تبخیر- تعرق در حد فاصل بین دو آبیاری، طبق روش بیلان آب در خاک، از معادله زیر استفاده شد (آلن و همکاران ۱۹۹۸ و تالک و ایوت ۲۰۰۹):

$$ET = (IR - (S_2 - S_1) - DB) \times 1000 \quad [1]$$

که در آن  $IR$  مقدار آب آبیاری (m)،  $S_2$  مقدار آب ذخیره شده در لایه‌های خاک قبل از آبیاری (m)،  $S_1$  مقدار آب ذخیره شده در لایه‌های خاک قبل از آبیاری قبلی (m) و  $DB$  عمق آب نفوذ یافته از انتهای لایه مورد نظر بعد از آبیاری (m) می‌باشد.

عمق ریشه نسبت به زمان تغییر می‌کند و برای جلوگیری از خطا در تعیین گه اندازه‌گیری رطوبت خاک تا قبل از رسیدن ریشه به عمق بیشینه خود، فقط در

داشتن عمق آب آبیاری ( $IR$ )، عمق آب نفوذ یافته از انتهای لایه مورد نظر بعد از آبیاری ( $DB$ ) قابل محاسبه است. در مواردی که مقدار  $DB$  کمتر از صفر محاسبه می‌شد به علت غیر واقعی بودن، مقدار آن برابر با صفر منظور شد. با به‌دست آوردن موارد ذکر شده، مقدار تبخیر-تعرق در حد فاصل بین دو آبیاری طبق معادله ۱ محاسبه گردید. در نهایت مقدار متوسط روزانه تبخیر-تعرق از تقسیم مقدار آن به تعداد روزهای بین دو آبیاری طبق معادله ۵ به‌دست آمد:

$$ET_c = \frac{ET}{t} \quad [5]$$

که در آن  $t$  تعداد روزهای بین دو آبیاری می‌باشد.

#### برآورد $ET_c$ با اعمال ضرایب گیاهی منفرد

در این تحقیق، جهت مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق استاندارد ذرت در محل آزمایش با استفاده از اطلاعات هواشناسی دو سال آزمایش، با روش‌های پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ محاسبه گردید. برای محاسبه تبخیر-تعرق استاندارد ذرت به روش ضریب گیاهی منفرد طبق نتایج آزمایش‌های انجام شده، طول دوره رشد ذرت دانه‌ای ۱۴۵ روز در نظر گرفته شده است. محدوده دوره‌های رشد شامل دوره ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی با توجه به اطلاعات مزرعه به ترتیب برابر ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۵ روز در نظر گرفته شد. طبق توصیه نشریه فائو ۵۶ مقدار ضریب گیاهی دوره ابتدایی ( $K_{Cini}$ ) بر اساس دور، مقدار آب آبیاری و بافت خاک و مقادیر ضریب گیاهی دوره میانی ( $K_{Cmid}$ ) و پایانی ( $K_{Cend}$ ) بر اساس ارتفاع گیاه، کمینه رطوبت نسبی هوا و سرعت متوسط باد باید اصلاح شوند. چون مطابق شکل ۱ در منطقه مورد مطالعه، کمینه رطوبت نسبی متفاوت از ۴۵ درصد و متوسط سرعت باد روزانه متفاوت از ۲ متر بر ثانیه بود، لذا اصلاحات فوق روی ضرایب گیاهی انجام گرفت. مقادیر اصلاح شده

عمق ریشه موجود مدنظر قرار گرفت. زیرا در این شرایط وقتی از تمامی ستون خاک برای اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده شود، خطای ناشی از اندازه‌گیری رطوبت خاک در اعماقی که جذب آب صورت نمی‌گیرد باعث به وجود آمدن خطا در تعیین مقدار  $S_1 - S_2$  و تبخیر-تعرق می‌گردد. در اوایل رشد که عمق ریشه کم است، این موضوع اثر بیشتری خواهد داشت. وقتی طبق روش متداول همه ستون خاک در محاسبات لحاظ می‌گردید اعداد غیر واقعی برای محاسبه تبخیر-تعرق به وجود می‌آمد. مطابق تحقیق بورگ و گریمز (۱۹۸۶) رشد ریشه تا زمان رسیدن به بیشینه عمق خطی در نظر گرفته می‌شود. برای این منظور، ابتدا مقدار آب ذخیره شده در لایه‌های خاک ( $S_2$ ) قبل از آبیاری مطابق با عمق ریشه محاسبه گردید. در هفته اول فرض شده که عمق ریشه ۰/۱۵ متر، در هفته دوم ۰/۳۰ متر و در روز ۸۴ (یعنی هفته دوازدهم) به ۱/۸ متر رسیده است. به‌طور مثال مقدار  $S_2$  در روزهای هفتم و چهاردهم مطابق روابط زیر محاسبه شده است:

$$S_2^7 = \theta_{0.15}^7 \times 0.15 \quad [2]$$

$$S_2^{14} = (\theta_{0.15}^{14} + \theta_{0.3}^{14}) \times 0.15 \quad [3]$$

که در آن  $\theta$  رطوبت حجمی، ۰/۱۵ متر عمق هر لایه ( $m$ )، بالانویس  $S_2$  و  $\theta$  مربوط به شماره روز بعد از کاشت و زیرنویس  $\theta$  مربوط به عمق اندازه‌گیری رطوبت می‌باشند. سپس مقدار آب ذخیره شده در لایه‌های خاک در زمان آبیاری قبلی ( $S_1$ ) محاسبه گردید. برای مثال  $S_1$  مربوط به روز چهاردهم مطابق رابطه ۴ محاسبه شده است:

$$S_1^{14} = (\theta_{0.15}^7 + \theta_{0.3}^7) \times 0.15 \quad [4]$$

که در اینجا نیز  $\theta$  رطوبت حجمی، ۰/۱۵ متر عمق هر لایه ( $m$ )، بالانویس  $S_1$  و  $\theta$  مربوط به روز بعد از کاشت و زیرنویس  $\theta$  مربوط به عمق اندازه‌گیری رطوبت می‌باشند. تا این مرحله تفاوت آب ذخیره شده در لایه‌های خاک قابل محاسبه است. پس از آن با



$$AE = \frac{|yt - xt|}{yt} \quad [6]$$

که در آن  $yt$  مقدار تبخیر- تعرق تجمعی فصلی اندازه‌گیری شده،  $xt$  مقدار تبخیر- تعرق تجمعی فصلی برآورد شده می‌باشد. هر چه مقدار  $AE$  کمتر باشد برآورد دقیق‌تر است.

### نتایج و بحث

مطابق جدول ۲، مقدار تجمعی تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت با استفاده از روش بیلان آب خاک در مزرعه در فصل رشد برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۸۸۳ و ۸۴۱ میلی‌متر در شرایط آبیاری کامل برآورد شد. خسروی (۱۳۷۰) و رضوی و همکاران (۱۳۷۵) نیز نیاز آبی ذرت را نزدیک به مقادیر اندازه‌گیری شده، برلبر ۹۰۰ میلی‌متر برای زرقان فارس و کهریز ارومیه به دست آوردند و زندپارسا (۲۰۰۱) مقدار تجمعی تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت را در فصل رشد با استفاده از مدل MSM برای سال ۱۳۷۸ برابر ۸۷۶ میلی‌متر برای منطقه باجگاه در شرایط آبیاری کامل برآورد کرد. همچنین شاهرخ‌نیا (۱۳۹۱) مقدار کل تبخیر- تعرق استاندارد ذرت را در فصل رشد با استفاده از لایسیمتر وزنی برای منطقه کوشک استان فارس در سال ۱۳۸۶ خیلی نزدیک به مقادیر گزارش شده، برابر ۸۴۰ میلی‌متر گزارش کردند. اسدی (۱۳۸۱) با استفاده از لایسیمتر بیلان آبی مقدار تبخیر- تعرق استاندارد ذرت را ۸۲۸ میلی‌متر برای منطقه کرکج تبریز به دست آورد.

ضریب گیاهی منفرد در دوره‌های فوق طبق نشریه فائو ۵۶ به ترتیب برابر ۰/۵۵، ۱/۲۴ و ۰/۳۵ منظور شده‌اند. جهت برآورد تبخیر- تعرق به روش پنمن - مانتیث، از نسخه ۳.۱ نرم‌افزار ETo Calculator که در ژانویه سال ۲۰۰۹ توسط بخش آب و خاک FAO با هدف محاسبه تبخیر- تعرق مرجع ( $ETo$ ) با استانداردهای FAO تهیه شده است، استفاده گردیده است. این نرم‌افزار با استفاده از داده‌های هواشناسی،  $ETo$  را توسط معادله فائو- پنمن- مانتیث محاسبه می‌کند. این روش توسط FAO به عنوان روش مرجع جهت محاسبه تبخیر- تعرق انتخاب شده است.

### برآورد $ETo$ به روش‌های پنمن - مانتیث FAO56 هارگریوز- سامانی و مدل MSM2

در بخش دیگری از این تحقیق جهت مقایسه و کاربرد نتایج به دست آمده از روش بیلان آب در خاک، تبخیر- تعرق استاندارد روزانه ذرت با استفاده از معادله پنمن- مانتیث FAO56 (آلن و همکاران ۱۹۹۸)، هارگریوز- سامانی با ضرایب اصلاح شده توسط رزاقی (۱۳۸۵) برای منطقه باجگاه، انجام شده است. مقادیر تبخیر- تعرق روزانه در این روش با استفاده از داده‌های بیشینه و کمینه دما در دو سال آزمایش از اطلاعات هواشناسی محل محاسبه گردید. همچنین با استفاده از مدل MSM2 برای سال‌های مورد آزمایش مقادیر تبخیر- تعرق محاسبه و برای مقایسه مورد استفاده قرار گرفت.

جهت ارزیابی سه روش فوق از شاخص آماری خطای فصلی ( $AE$ ) به شرح زیر استفاده شد:

جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق استاندارد ذرت با روش بیلان و مقادیر محاسبه شده و در صد خطای آنها با روش‌های مختلف.

روش	سال	عمق آب آبیاری (mm)	$ETo$ (mm)	خطا (%)
بیلان	۱۳۸۲	۹۰۸	۸۸۳	--

--	۸۴۱	۹۷۵	۱۳۸۳	
۰/۵	۸۸۷	۹۰۸	۱۳۸۲	هارگریوز- سامانی
۹/۵	۹۲۱	۹۷۵	۱۳۸۳	
-۳/۸	۸۶۳	۹۰۸	۱۳۸۲	MSM2
-۱/۱	۸۳۲	۹۷۵	۱۳۸۳	
-۲۷/۷	۶۳۹	۹۰۸	۱۳۸۲	پنمن- مانتیث
-۲۱/۳	۶۶۲	۹۷۵	۱۳۸۳	

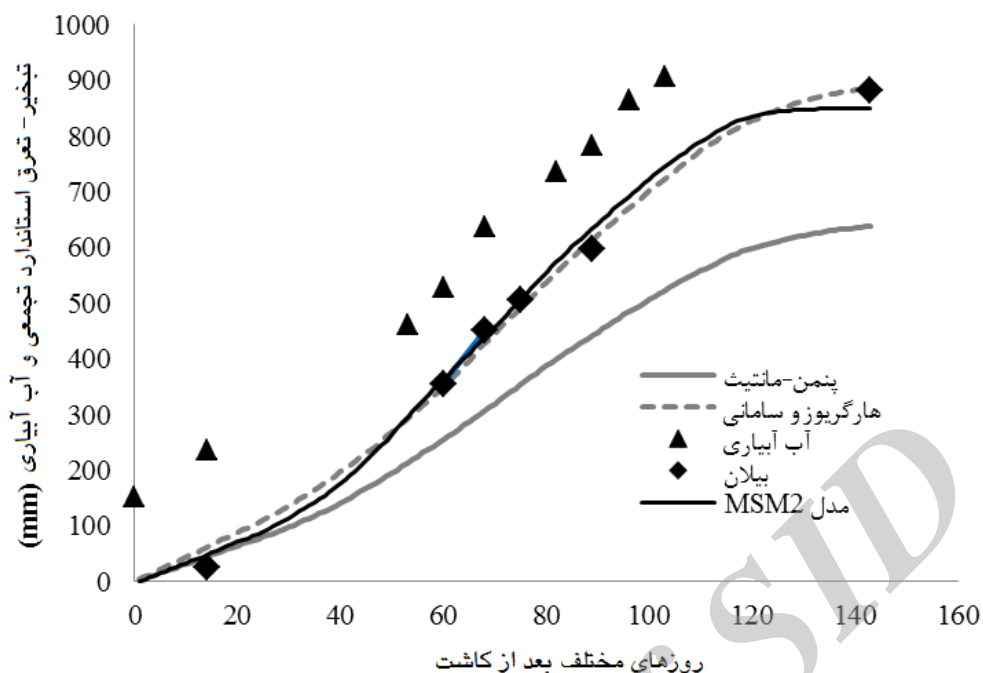
هارگریوز- سامانی برابر ۵ درصد و با روش پنمن- مانتیث برابر ۲۵- درصد نسبت به مقادیر حاصله با اندازه‌گیری رطوبت خاک در روش بیلان آب است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برآورد  $ET_c$  با مدل MSM2 حداقل خطا را دارد و روش اصلاح شده هارگریوز - سامانی نیز با خطای کمی در مقایسه با روش پنمن- مانتیث مقدار تبخیر- تعرق را برآورد کرده است. صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) و مجنونی هریس و همکاران (۱۳۹۲) کم برآورد شدن تبخیر- تعرق توسط معادله فائو پنمن - مانتیث را ۳۳ درصد برای فصل رشد گیاه کلزا در منطقه خشک و نیمه خشک تبریز گزارش کرده‌اند.

در شکل‌های ۲ تا ۳ تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد فصلی ذرت ( $ET$ ) برای روش‌های بیلان آب در خاک، پنمن- مانتیث، هارگریوز- سامانی اصلاح شده، مدل MSM2 و مقادیر آب آبیاری بکار رفته ( $IR$ ) به صورت تجمعی در طول فصل رشد برای شرایط آبیاری کامل، نشان داده شده است.

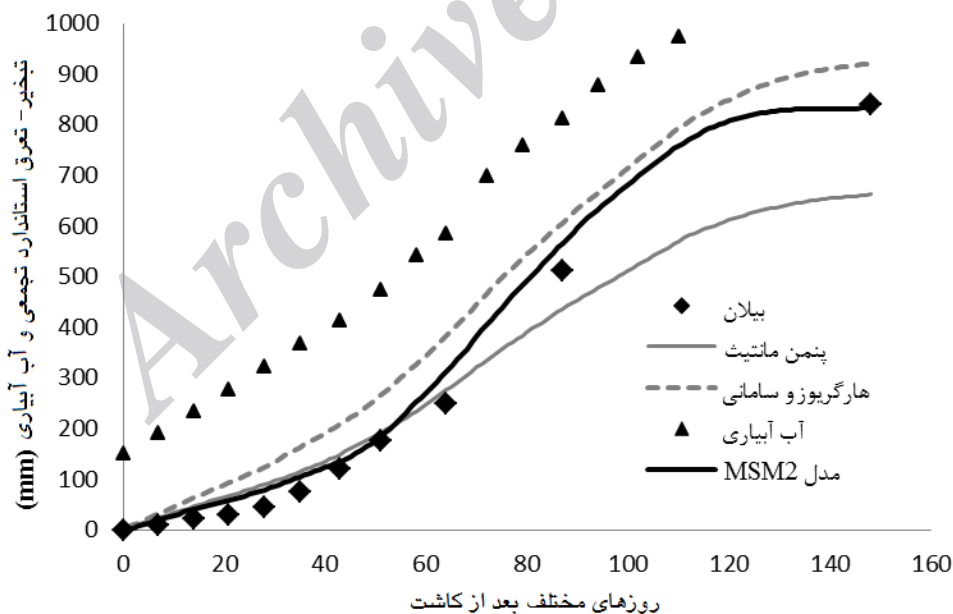
مقادیر تجمعی تبخیر- تعرق استاندارد فصلی ذرت در این منطقه بر اساس روش پنمن- مانتیث نشریه فائو ۵۶ با اعمال ضریب گیاهی منفرد برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۶۳۹ و ۶۶۲ میلی‌متر با خطای ۲۷/۷- و ۲۱/۳- درصد برآورد شدند. مجنونی هریس و همکاران (۱۳۸۶ الف) مقادیر برآورد شده تبخیر- تعرق استاندارد ذرت را با استفاده از روش ضریب گیاهی دوگانه برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، به ترتیب برابر ۶۹۳ و ۷۰۰ میلی‌متر برآورد کردند. در کل معادله فائو ۵۶ مقدار تبخیر- تعرق را در منطقه مورد مطالعه کم برآورد می‌کند. همچنین مقادیر تجمعی تبخیر- تعرق استاندارد فصلی ذرت در این منطقه بر اساس روش اصلاح شده هارگریوز- سامانی برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۸۸۷ و ۹۲۱ میلی‌متر با خطای ۰/۵ و ۹/۵ درصد برآورد شدند.

نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که متوسط اختلاف مقادیر برآورد شده  $ET_c$  ذرت در دو سال با مدل MSM2 برابر ۲- درصد، با روش اصلاح شده





شکل ۲- مقایسه تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد حاصله با روش بیلان آب در خاک با روش‌های پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی اصلاح شده، مدل MSM2 و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری در سال ۱۳۸۲.



شکل ۳- مقایسه تبخیر- تعرق تجمعی استاندارد حاصله با روش بیلان آب در خاک با روش‌های پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی اصلاح شده، مدل MSM2 و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری در سال ۱۳۸۳.

هارگریوز-سامانی اصلاح شده و مدل MSM2 در طول فصل رشد نشان داده شده است. مطابق شکل‌های ۴ و

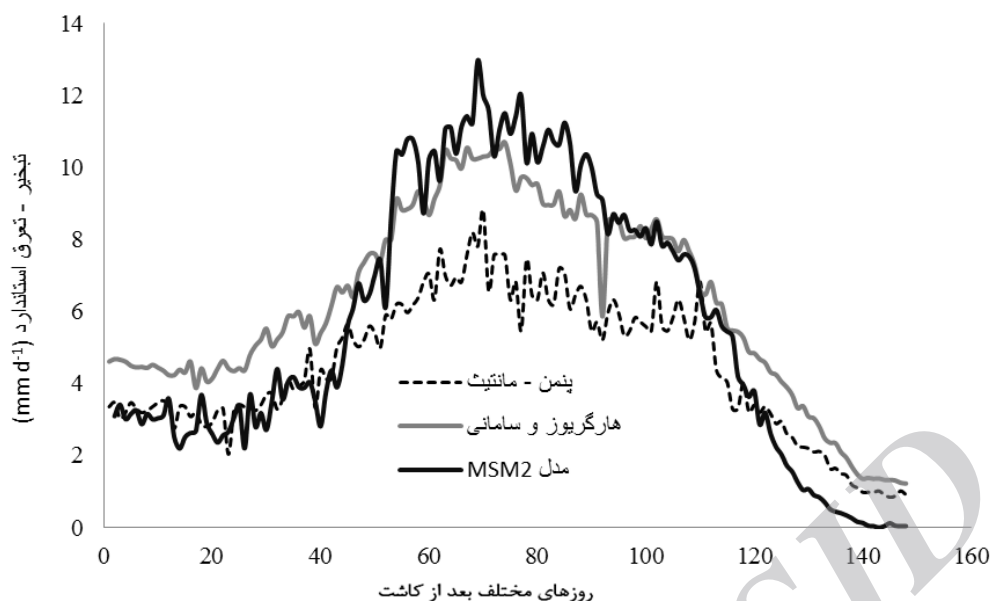
در شکل‌های ۴ و ۵ مقادیر شدت تبخیر- تعرق استاندارد ذرت (ET) برای روش‌های پنمن-مانتیت،

۱۲ میلی‌متر بر روز گزارش کردند. تفاوت در روز و مقدار شدت تبخیر- تعرق در روش‌های مختلف می‌تواند به دلیل تفاوت در مقدار آب آبیاری و مقدار رطوبت خاک باشد. افزایش یا کاهش جزئی شدت تبخیر- تعرق می‌تواند ناشی از کم یا زیاد شدن رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، دمای هوا و ساعات آفتابی در آن روز خاص باشد.

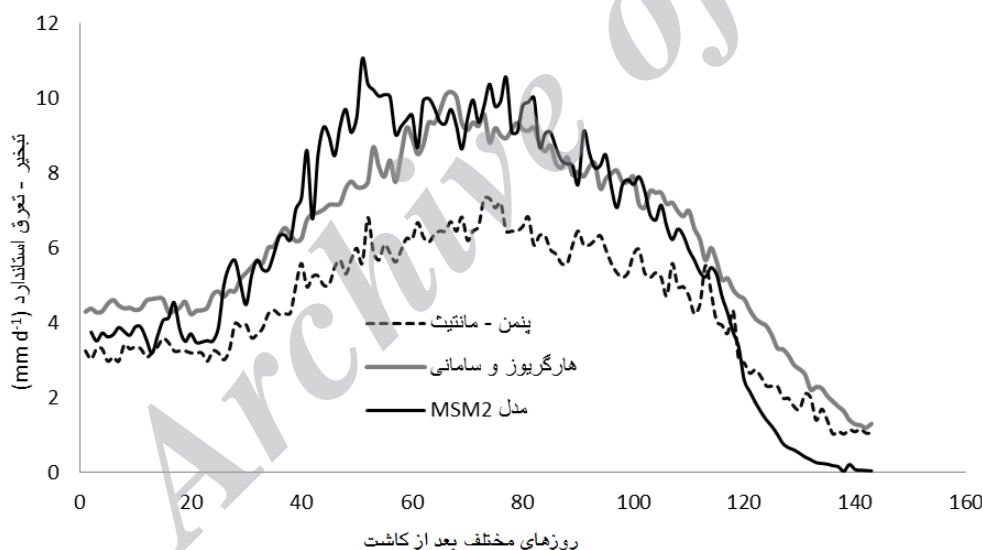
### نتیجه‌گیری کلی

نتایج بدست آمده از این تحقیق با نتایجی که برای گیاهان دیگر در منطقه باجگاه ارائه شده مطابقت دارد. بررسی نتایج تبخیر- تعرق نشان می‌دهد که رابطه پنمن-مانتیتش، مقدار تبخیر- تعرق را کمتر برآورد می‌کند که این به علت وجود فرارفت گرمایی در منطقه پژوهش است. با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده مقادیر جمعی تبخیر- تعرق استاندارد گیاه ذرت، می‌توان گفت که روش بیلان آب در خاک در شرایط مزرعه، بسیار مناسب است. این روش در مقایسه با سایر روش‌های عمق آب آبیاری به راحتی می‌توان تبخیر- تعرق را محاسبه نمود.

۵ در روش پنمن-مانتیتش بیشینه و کمینه تبخیر- تعرق به ترتیب در اواسط دوره رشد (اواخر مردادماه) و اواخر دوره رشد (اوایل آبان‌ماه) رخ داد. بیشینه مقدار شدت تبخیر- تعرق روزانه ذرت برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در ۷۳ و ۷۰ روز بعد از کاشت به ترتیب برابر ۷/۳۲ و ۸/۸۰ میلی‌متر بر روز به دست آمد. در روش هارگریوز- سامانی نیز بیشینه و کمینه تبخیر- تعرق به ترتیب در اواخر مردادماه و اوایل آبان‌ماه رخ داد. حداکثر مقدار شدت تبخیر- تعرق روزانه ذرت برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب در ۶۷ و ۷۴ روز بعد از کاشت برابر ۱۰/۱۷ و ۱۰/۶۹ میلی‌متر بر روز به دست آمد. مجنونی هریس (۱۳۸۴)، با استفاده از مدل MSM2 بیشینه شدت تبخیر- تعرق روزانه را برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب در ۵۱ و ۶۹ روز بعد از کاشت برابر ۱۱/۰۵ و ۱۲/۹۷ میلی‌متر بر روز برآورد کرد. زندپارسا (۲۰۰۱) با استفاده از مدل MSM بیشینه شدت تبخیر- تعرق ذرت را در یک تیمار با آب و کود کافی برابر ۱۰/۸۸ میلی‌متر بر روز بدست آورد. هاول و همکاران (۱۹۹۷) نیز بیشینه شدت تبخیر- تعرق ذرت را در کشت سال ۱۹۸۹ در منطقه بوشلند تگزاس نزدیک به اندازه‌گیری تبخیر- تعرق یک روش ساده، آسان، در دسترس و ارزان است. این روش نیازی به هزینه زیاد ندارد و با اندازه‌گیری رطوبت‌های حجمی خاک و



شکل ۴- مقایسه شدت تبخیر- تعرق استاندارد روزانه با روش‌های پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی اصلاح شده و مدل MSM2 در سال ۱۳۸۲.



شکل ۵- مقایسه شدت تبخیر- تعرق استاندارد روزانه با روش‌های پنمن-مانتیت، هارگریوز-سامانی اصلاح شده و مدل MSM2 در سال ۱۳۸۳.

تبخیر-تعرق نرت با روش پنمن-مانتیت و با اعمال ضرایب گیاهی نامناسب، با مدل MSM2 عالی و در شرایط وجود محدودیت داده‌ها و تنها با داشتن داده‌های کمینه و بیشینه دمای هوا، با استفاده از معادله هارگریوز-سامانی اصلاح شده و ضرایب گیاهی می

متوسط اختلاف مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق استاندارد نرت در دو سال با استفاده از مدل MSM2 برابر ۲- درصد و روش اصلاح شده هارگریوز-سامانی و روش پنمن-مانتیت به ترتیب برابر ۵ و ۲۵- درصد نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده با روش بیلان آب خاک در شرایط مزرعه می‌باشد. نتایج برآورد

توان تبخیر- تعرق استاندارد ذرت را به خوبی برآورد کرد.

### منابع مورد استفاده

اسدی ا، ۱۳۸۱. اندازه‌گیری میزان تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از لایسیمتر و مقایسه با مدل‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق در منطقه کرکج تبریز. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

خسروی ع، ۱۳۷۰. تعیین میزان آب مصرفی ذرت با روش گراویمتری. گزارش پژوهشی مرکز تحقیقات خاک و آب کشاورزی فارس.

رضوی ر، نیکم‌رام م، پورزارع ش، ۱۳۷۵. تعیین آب مصرفی ذرت با استفاده از لایسیمتر. گزارش پژوهشی مرکز تحقیقات خاک و آب کشاورزی آذربایجان غربی.

زندپارسا ش و اشک‌تراب ح، ۱۳۷۵. تعیین متوسط ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع. صفحه‌های ۳۳ تا ۳۸، هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱-۲ آبان ماه، تهران.

شاهرخ نیا م، ۱۳۹۱. بررسی اثر استفاده از ابزارهای برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد و مصرف آب ذرت در دو بافت خاک. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۴، جلد ۶، صفحه‌های ۳۳۱ تا ۳۴۱.

مجنونی هریس ا، ۱۳۸۴. ارزیابی مدل شبیه‌سازی رشد ذرت (MSM) در سطوح مختلف آب و نیتروژن در آبیاری جویچه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز.

مجنونی هریس ا، صدرالدینی ع، ناظمی اح، شکبیا م و نیشابوری م، ۱۳۹۲. تأثیر فرارفت بر توازن انرژی در فرایند تبخیر- تعرق گیاه کلزا در منطقه تبریز. دانش آب و خاک، جلد ۲۳، شماره ۱، صفحه‌های ۲۲۳ تا ۲۳۶.

مجنونی هریس الف، زندپارسا ش، سپاسخواه ع و کامگار حقیقی ع، ۱۳۸۶ (الف). ارزیابی مدل MSM جهت پیش‌بینی تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش پیشنهادی فائو ۵۶. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال ۱۱، شماره ۴۱، صفحه‌های ۲۹ تا ۴۱.

مجنونی هریس الف، زندپارسا ش، سپاسخواه ع، نیشابوری م و اسدی ا، ۱۳۸۶ (ب). ارزیابی مدل کامپیوتری MSM با استفاده از داده‌های لایسیمتر بیلان آبی در منطقه کرکج تبریز. صفحه‌های ۱۴۸ تا ۱۵۳، نهمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، بهمن ماه، کرمان.

Allen RG, Pereria LS, Raes D and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No, 56.

Borg H and Grimes DW, 1986. Depth development of roots with time – an empirical description. Trans. ASAE 29(1): 194-197.

Howell TA, Steiner AD, Schneider AD, Evett SR and Tolk JA, 1997. Seasonal and maximum daily evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum, and corn southern high plain. Trans. ASAE 40(3): 623-634.

Majnooni-Heris A, Zand-Parsa Sh, Sepaskhah AR, Kamgar-Haghighi AA and Yasrebi J, 2011. Modification and validation of maize simulation model (MSM) at different applied water and nitrogen levels under furrow irrigation. Archives of Agronomy and Soil Science 57: 401-420.

Razzaghi F and Sepaskhah AR, 2010. Assessment of nine different equations for ETo estimation using lysimeter data in semi-arid environment. Archives of Agronomy and Soil Science 56:1-12.

Sadraddini AA, Nazemi AH and Majnooni-Heris A, 2013. Quantifying the effects of advection phenomenon on canola evapotranspiration in East Azarbaijan Region, Iran. The journal of Ege University, Special Issue: 121-129.

- TolkJ A and Evett SR, 2009. Lysimetry versus neutron moisture meter for evapotranspiration determination in four soils. Soil Science Society of America Journal 73:1693-1698.
- Zand-Parsa Sh, 2001. A simulation model for prediction of water and nitrogen effects on corn Yield. Ph.D. Thesis. Irrigation Department, Shiraz University. 330pp.
- Zand-Parsa Sh, Sepaskhah AR and Ronaghi A, 2006. Development and evaluation of integrated water and nitrogen for maize. Agricultural Water Management 81:227-256.

Archive of SID