نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، صص.۱۲- ۱

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 3, No. 1, Spring &Summer 2015, pp. 1-12

مقایسه دقت برآورد تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با استفاده از داده‌های هواشناسی به‌هنگام و روش‌های مرسوم در اقلیم کرج

محمد سعید جعفری نجف‌آبادی[۱]، عبدالمجید لیاقت*[۲]، تیمور سهرابی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۵/۱۰

چکیده

تدقیق برآورد تبخیر-تعرق نقش مهمی در مدیریت بهینه و صرفه‌جویی آب در مزرعه دارد. هدف از انجام این تحقیق ارزیابی دقت استفاده از داده‌های هواشناسی به‌هنگام (کوتاه‌مدت سه روزه) در برآورد تبخیر-تعرق گیاه (ET_C) به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت در مقایسه با روش‌ها و داده‌های مرسوم است. در این پژوهش، تبخیر-تعرق مرجع به کمک نرم‌افزار FAO ET_o Calculator محاسبه و با اعمال ضریب گیاهی، ET_C محاسبه شد. دو گروه داده‌های هواشناسی جهت محاسبات استفاده شد. داده‌های پیش‌بینی سه روز آینده دما و میانگین‌های ۱۰ ساله عوامل هواشناسی در دوره فصل رشد. بر اساس روش بیلان آب خاک، به کمک حسگرهای واترمارک، تبخیر-تعرق واقعی گیاه ذرت طی تابستان ۹۳ در کرج به‌عنوان شاهد محاسبه گردید. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت در تابستان ۹۳، میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق گیاهی ذرت (سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۴ میلادی)، تبخیر-تعرق گیاهی حاصل از کاربرد داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه دما در تابستان ۹۳ و تبخیر-تعرق گیاهی ذرت از ترکیب دمای پیش‌بینی ۳ روزه در تابستان ۹۳ و میانگین ۱۰ ساله سایر متغیرهای هواشناسی، نشان داد که روش ترکیب داده‌های پیش‌بینی و بلندمدت هواشناسی با مقدار ۵۵۱/۶ میلی‌متر، کمترین اختلاف (۲ درصد) و تبخیر-تعرق گیاهی با استفاده از داده‌های به هنگام دما به میزان ۴۹۷/۲ میلی‌متر، بیش‌ترین اختلاف (۱۲ درصد) را با شاهد (۵۶۵/۶۴ میلی‌متر) دارد. در مجموع همه روش‌ها دارای مقادیر کم‌برآورد نسبت به شاهد هستند، که ضرورت تحقیقات بیشتر در این زمینه را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: داده‌های هواشناسی، حسگر واترمارک، بیلان آب خاک، تبخیر-تعرق، کرج

مقدمه

تبخیر-تعرق از اساسی‌ترین اجزای چرخه هیدرولوژی است که تعیین صحیح آن در طراحی و مدیریت سامانه‌های آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. تبخیر-تعرق به‌طور هم‌زمان صورت گرفته و روش ساده‌ای برای تفکیک این دو فرآیند وجود ندارد. در آغازِ رشد گیاه، آب به‌طور عمده، به‌صورت تبخیر از خاک تلف می‌شود. لیکن، با کامل شدن پوشش گیاهی، تعرق جزء اصلی فرآیند اتلاف آب است (آلن[۳] و همکاران، ۱۹۹۸). برای برآورد تبخیر-تعرق روش‌های مستقیم و غیرمستقیم (محاسبه‌ای) وجود دارند. بهترین روش برای برآورد مستقیم تبخیر-تعرق، روش بیلان آب خاک و اندازه‌گیری اجزای متفاوت رابطه بیلان آبِ خاک است. ذرت از جمله گیاهانی است که به‌دلیل مصارف گوناگون در بخش‌های صنعتی و کشاورزی مورد توجه محققان می‌باشد. محققان تلاش می‌کنند تا با تعیین درست تبخیر-تعرق ذرت و برنامه‌ریزی آبیاری بهتر به عملکرد بالاتری دست یابند. تحقیقات بسیاری برای تعیین تبخیر-تعرق گیاه ذرت به کمک روش بیلان آب خاک صورت گرفته

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
[۲] استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(* نویسنده مسئول: aliaghat@ut.ac.ir)

[3] Allen

است. قیصری و همکاران (۱۳۸۵) برای تعیین ضریب گیاهی ذرت در منطقه ورامین در مراحل مختلف رشد و تبخیر-تعرق آن به‌صورت روزانه از سنجش رطوبت حجمی خاک به کمک نوترون‌متر و بیلان آب خاک بهره گرفتند. همچنین محمودیان شوشتری و زند پارسا (۱۳۹۲) با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت حجمی خاک مزارع ذرت واقع در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، تبخیر-تعرق استاندارد ذرت را به روش بیلان آب در خاک، محاسبه کرده و این روش را روشی مناسب و کارآمد گزارش کردند. با توجه به دشواری اندازه‌گیری دقیق اجزای متفاوت رابطه بیلان آبِ خاک در مزرعه، تبخیر-تعرق، به‌صورت غیرمستقیم و به طور معمول، با استفاده از داده‌های هواشناسی محاسبه می‌شود. اکبری و همکاران (۱۳۹۲) با مقایسه تبخیر-تعرق بالقوه یونجه به روش لایسیمتری با روش‌های غیرمستقیم تخمین تبخیر-تعرق یونجه طی ۴ سال، گزارش کردند روش‌های غیرمستقیم همبستگی خوبی با مقادیر حاصل از روش مستقیم (لایسیمتر) دارند. در این روش با استفاده از روابط ارائه‌شده و داده‌های هواشناسی، تبخیر-تعرق گیاه مرجع، که یک نمایه اقلیمی و بیان‌گر تقاضای تبخیر در اتمسفر است، محاسبه می‌شود. سپس با اعمال ضریب گیاهی با توجه به گیاه مورد نظر، تبخیر-تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد به‌دست می‌آید. تبخیر-تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد، به تبخیر-تعرق سطوح کشت وسیع، تحت مدیریت زراعی بسیار مطلوب و آبیاری کافی اشاره دارد که بیشترین عملکرد محصول را تحت شرایط اقلیمی مشخص تولید می‌کنند. در سال ۱۹۹۰ از سوی سازمان خوار و بار جهانی (FAO) روش فائو پنمن- مانتیث به‌عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه ET_o پیشنهاد گردید (هارگریوز[1]، ۱۹۹۴). صارمی و همکاران (۱۳۹۲) طی سال‌های ۹۰ و ۹۱ به کمک ۴ میکرولایسیمتر زهکش‌دار، تبخیر-تعرق مرجع را تعیین کردند. سپس به کمک نرم‌افزار REF-ET و داده‌های هواشناسی منطقه، تبخیر-تعرق مرجع به ۸ روش تعیین شد که روش پنمن- مانتیث از سایر روش‌ها دقت بالاتری را نشان داد. همچنین ذوالفقاری و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی سه روش بلانی-کریدل، تورنت وایت و پنمن-مانتیث به این نتیجه رسیدند که روش پنمن-مانتیث از بقیه روش‌ها کارآمدتر می‌باشد. عابدی و همکاران (۱۳۸۷) نیز با مقایسه مقادیر پتانسیل مرجع حاصل از میکرولایسیمتر و معادله‌های فائو پنمن- مانتیث، تورک، هارگریوز و تشت تبخیر، معادله فائو پنمن-مانتیث را دقیق‌تر دانستند. داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع، اغلب شامل حداقل و حداکثر دما، حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، ساعات آفتابی و سرعت باد می‌باشد. به طور معمول از داده‌های هواشناسی سال‌های گذشته برای تخمین تبخیر-تعرق مرجع و گیاه مورد نظر استفاده می‌شود. سلطانی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی دقت معادله فائو پنمن- مانتیث برای برآورد تبخیر-تعرق مرجع در اقلیم‌های مختلف و در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی به این نتیجه رسیدند که حداقل داده لازم، داده‌های حداقل و حداکثر دما و سرعت باد می‌باشد. تصمیم‌گیری کشاورزان و آبیاران برای آبیاریِ به‌روز، بر اساس فاکتورهایی مثل نیاز آبی گیاه و پیش‌بینی کوتاه‌مدت هواشناسی در مورد دما و میزان بارندگی صورت می‌گیرد. توانایی پیش‌بینی تبخیر-تعرق می‌تواند توان مدیریت در سامانه‌های آبیاری با دور آبیاری بالا و همچنین گیاهان با ریشه‌های کم‌عمق را افزایش دهد. پررا[2] و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهشی در استرالیا نشان دادند، برای دوره زمانی ۱ تا ۶ روز، پیش‌بینی روزانه تبخیر-تعرق مرجع از میانگین بلندمدت تبخیر-تعرق مرجع، بهتر است و برای دوره زمانی بیش از ۶ روز میانگین بلندمدت نتایج بهتری دارد. دوچه[3] و همکاران (۲۰۰۰) با مقایسه پیش‌بینی ساعتی تبخیر-تعرق برای ۶ نقطه در کالیفرنیا با تبخیر-تعرق محاسبه‌شده توسط داده‌های رخداد هواشناسی نشان دادند تبخیر-تعرق پیش‌بینی‌شده بین ۲ تا ۱۰ درصد نسبت به تبخیر-تعرق مشاهده‌شده کم‌برآورد دارد. با توجه به کمبود منابع آب در ایران، ضروری است تا با تعیین درست نیاز آبی گیاهان زراعی و برنامه‌ریزی آبیاری مناسب، استفاده بهینه از این منابع ارزشمند برای داشتن حداکثر عملکرد ممکن میسر شود. در راستای این ضرورت، در این

[1] Hargreaves

[2] Perera
[3] Duce

پژوهش سعی شد به کمک داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه‌ی دما و رابطه فائو پنمن- مانتیث روشی سریع و آسان برای پیش‌بینی درست تبخیر-تعرق گیاه ذرت در منطقه کرج ارائه شود. درنهایت با مقایسه نتایج حاصل از سناریوهای مختلفِ پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاه ذرت با تبخیر-تعرق گیاه ذرت حاصل از روش بیلان آب خاک به‌عنوان شاهد، بهترین سناریو معرفی شد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از گیاه ذرت علوفه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴) استفاده شد. هدف از انجام این پژوهش ارائه روشی ساده و در دسترس برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تبخیر- تعرق گیاهی به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح آبیاری است. بنابراین از معادله فائو پنمن- مانتیث و ترکیب مختلف داده‌های هواشناسی برای پیش‌بینی و تخمین تبخیر-تعرق استفاده شد تا ترکیبی مناسب برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت تبخیر- تعرق گیاهی به‌دست آید. به‌عنوان شاهد، از روش بیلان آب خاک استفاده شد. فائو در نشریه شماره ۵۶ خود به‌تفصیل در مورد محاسبه نیاز آبی گیاهان توضیح داده است. در این روش، توسط معادله فائو پنمن- مانتیث، تبخیر-تعرق مرجع محاسبه می‌شود و با ضرب کردن آن در ضریب گیاهی (K_c) می‌توان نیاز آبی گیاه مورد نظر را محاسبه کرد. در این پژوهش نیز برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع، از نرم‌افزار FAO ET_o Calculator استفاده شد که تبخیر-تعرق مرجع را به روش فائو پنمن- مانتیث محاسبه می‌کند (ریس[1]، ۲۰۱۲).

تبخیر-تعرق واقعی گیاه ذرت به روش بیلان آب خاک (شاهد)

مشخصات محل

در تابستان ۱۳۹۳ در مزرعه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران ذرت علوفه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴) برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی ذرت کشت شد. خاک مزرعه از نوع لوم رسی و رطوبت حجمی آن در نقطه ظرفیت زراعی برابر ۳۴ درصد بود.

[1] Raes

بیلان آب خاک به کمک حسگر[2] واترمارک[3]

برای محاسبه نیاز آبی از روش بیلان آب خاک، نیاز به استفاده از لایسیمتر یا اندازه‌گیری و ثبت رطوبت خاک در یک محدوده مشخص توسط حسگرهای رطوبت‌سنج است. ساخت لایسیمترها مشکل و پرهزینه بوده و بهره‌برداری و نگهداری آن‌ها نیازمند دقت ویژه‌ای است بنابراین در این پژوهش از حسگرهای رطوبت‌سنج استفاده شد. برای این کار یک محدوده فرضی درون خاک در نظر گرفته شد. طول این محدوده برابر با طول ردیف کاشت، ۱۸ متر و عرض آن برابر با عرض نوار خیس شده پس از آبیاری توسط تیپ، برابر با ۲۵ سانتی‌متر (۱۲/۵ سانتی‌متر از هر طرف) بود. عمق این محدوده متناسب با رشد ریشه در ۳۰ روز ابتدایی رشد (دوره رشد اولیه) برابر با ۲۰ سانتی‌متر و پس از آن برابر با ۴۰ سانتی‌متر فرض شد. برای اندازه‌گیری و ثبت تغییرات رطوبتی و محاسبه میزان تبخیر-تعرق، از ۸ حسگر واترمارک استفاده شد که به‌صورت جفت در ۴ نقطه متفاوت به‌گونه‌ای که بتوانند برآورد دقیقی از تغییرات رطوبت در محدوده فرضی ارائه دهند، جانمایی شدند. در هر نقطه یک حسگر در عمق ۱۰ سانتی‌متری و حسگر دیگر در عمق ۳۰ سانتی‌متری کارگذاری شد. حسگرها با فاصله عرضی اندک از تیپ، زیر آن قرار گرفتند (شکل ۱). حسگر ۱۰ سانتی‌متری، معرف تغییرات رطوبت عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری و حسگر ۳۰ سانتی‌متری، معرف تغییرات رطوبت عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری می‌باشد. دو علت برای انتخاب حداکثر عمق آبیاری ۴۰ سانتی‌متر قابل‌ذکر است:

۱. به دلیل جنس خاک و بر اساس مشاهدات عینی، به دلیل سخت بودن خاک در اعماق بیش از ۴۰ سانتی‌متر، ریشه ذرت نمی‌تواند بیش از ۶۰ تا ۸۰ سانتی‌متر عمیق شود.

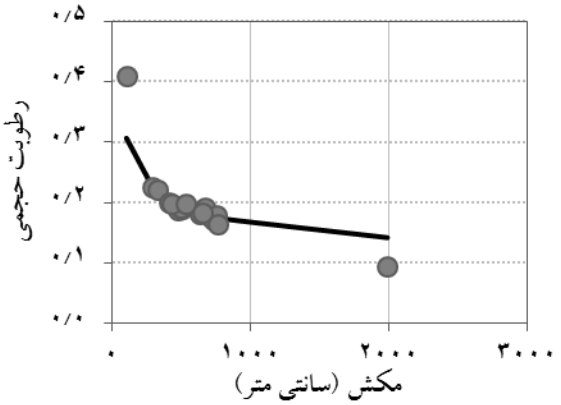
۲. با در نظر گرفتن این عمق، با توجه به اینکه قطعاً ریشه ذرت بیش از این نفوذ خواهد کرد، درصورتی‌که به دلیل طبیعت پیچیده خاک و حرکت آب در آن، آبِ داده‌شده به خاک به اعماق پایین‌تر هم نفوذ کند قطعاً به مصرف گیاه می‌رسد و به‌صورت نفوذ عمقی تلف نخواهد شد، همچنین در این عمق بحث تلفات تبخیر نیز منتفی است.

[2] Sensor
[3] Watermark

شکل ۱- نمایی از نحوه جانمایی حسگرها

آشنایی با حسگر واترمارک

حسگرهای واترمارک ساخت شرکت IRROMETER و از نوع حسگرهای مقاومت الکتریکی هستند که مکش آب خاک را اندازه‌گیری می‌کنند. از آنجا که تغییر رطوبت خاک باعث تغییر در مقاومت الکتریکی آن می‌شود، این حسگرها به‌خوبی می‌توانند نشانگر وضعیت مکش آب خاک و رطوبت آن باشند. این حسگرها شامل یک جفت الکترود مقاوم در برابر خوردگی هستند و به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که بتوان آن‌ها را به‌طور دائمی در خاک قرارداد و هر زمان لازم بود اقدام به قرائت آن‌ها نمود. حسگرهای واترمارک دارای قرائت کننده مخصوص هستند که مکش محیط اطراف سلول را برحسب سانتی‌بار یا کیلو پاسکال قرائت می‌کند. از آنجایی‌که برای بیلان آب خاک، تغییرات حجمی رطوبت محیط خاک نیاز است، کالیبره کردن و واسنجی حسگرها برای خاک مزرعه ضروری می‌باشد. برای کالیبره کردن و واسنجی حسگرها طی ۷ روز (۲ بار آبیاری)، هرروز، پس از قرائت حسگرها، از فاصله ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری حسگرها، در امتداد تیپ، به کمک آگر، نمونه وزنی گرفته شد. پس از وزن کردن نمونه‌های تر، وزن خشک نمونه‌ها با قرار دادن در آون با دمای ۱۱۰ درجه سانتی‌گراد برای محاسبه رطوبت وزنی به‌دست آمد. رطوبت وزنی به کمک چگالی ظاهری خاک مزرعه که با نمونه دست‌نخورده به‌دست آمد و برابر ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود به رطوبت حجمی تبدیل شد. سپس منحنی ون گنوختن به روش حداقل مربعات غیرخطی[1] به کمک نرم‌افزار اکسل به نقاط مکش و رطوبت حجمی برازش داده شد (شکل ۲).



شکل ۲- برازش منحنی ون گنوختن به نقاط مکش و رطوبت حجمی

رابطه به‌دست‌آمده به شکل معادله ۱ است که h برحسب سانتی‌متر و θ رطوبت حجمی می‌باشد.

$$\theta = ۰/۰۹۵ + \left(\frac{۰/۳۱۵}{(۱ + (۰/۰۱۶ * h)^{۱/۵۵})^{(۱-(\frac{۱}{۱/۵۵}))}}\right) \qquad (۱)$$

نحوه نصب حسگرهای واترمارک[2]

برای نصب و بهره‌برداری آسان‌تر حسگرهای واترمارک، از لوله‌های PVC با قطر مناسب استفاده شد. پس از رد کردن سیم حسگر از داخل لوله، برآمدگی بالای حسگر به کمک نوارتفلون در لوله آب‌بندی و محکم شد (شکل ۳). در سمت دیگر با استفاده از یک زانویی PVC، علاوه بر مهار کردن سیم، از ورود احتمالی آب به داخل لوله جلوگیری شد. برای نصب حسگرها، ترانشه‌هایی حفر شد و پس از آن با آگر حفره لازم در عمق مورد نظر ایجاد و حسگرها نصب شد، سپس با خاک همان محل، حفره و ترانشه پر شد تا در حد امکان خاک دست‌نخورده باقی بماند. پس از اتمام نصب، واشرهایی دور لوله روی سطح زمین قرار گرفت تا از نفوذ جریان آب به خاک به‌واسطه دیواره لوله جلوگیری شود زیرا این مسئله می‌تواند باعث ایجاد خطا شود.

[1] Non-linear least squares
[2] Watermark

سامانه آبیاری

سامانه آبیاری شامل ۴ مخزن ذخیره آب با ظرفیت ۶۰۰۰ لیتر (هر مخزن)، پمپ شناور با دبی و فشار مناسب و فیلتر دیسکی (با توجه به مناسب بودن کیفیت آب مورد استفاده کفایت می‌کرد) بود. در این کشت از روش آبیاری قطره‌ای توسط تیپ‌های درزدار استفاده شد. تیپ‌ها دارای درزهایی به فاصله ۲۰ سانتی‌متر بودند که دبی یکنواخت ۱ لیتر بر ساعت را تأمین می‌کردند. فشار کارکرد روزنه‌های تیپ بر اساس کاتالوگ بین ۰/۶ تا ۱ بار است.

نحوه کاشت و مدیریت زراعی

دانه‌های ذرت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم مطابق با خروجی تیپ کاشته شدند. برای اطمینان از سبز شدن صد در صد دانه‌ها تعداد ۲ عدد دانه در هر ۲۰ سانتی‌متر کاشته شد و پس از سبز شدن دانه‌ها با تنک کردن، تنها یک گیاه نگه‌داشته شد. فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر و طول آن‌ها ۱۸ متر در نظر گرفته شد و مجموع ۸ ردیف کشت صورت گرفت (شکل ۴).

شکل ۳- نحوه نصب حسگرهای واترمارک

در یک نوبت در مرحله ۵ برگیِ ذرت، عملیات سم‌پاشی علف‌های هرز پهن‌برگ و سوزنی‌برگ توسط سم انتخابی[1] مخصوص ذرت انجام شد. کود دهی به‌گونه‌ای انجام شد که از وجود عناصر غذایی گیاه در خاک برای رشد حداکثر آن اطمینان حاصل شود. کود دهی به‌صورت کودآبیاری و توسط کود اوره گرانول ۴۶٪ ازت و کود مستر ۲۰-۲۰-۲۰ (کود NPK-CE) در ۴ نوبت انجام شد که مجموع ۲/۷ کیلوگرم کود اوره و ۱ کیلوگرم کود مستر ۲۰-۲۰-۲۰ استفاده شد. آبیاری در دوره رشد اولیه به‌دلیل مصرف کمتر هر ۳ روز یک‌بار صورت گرفت اما با رشد گیاه و گرم‌تر شدن هوا به ۲ روز یک‌بار تغییر کرد. قرائت حسگرها قبل از هر آبیاری برای محاسبه حجم آب موردنیاز صورت گرفت. رطوبت عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری از میانگین رطوبت ۴ حسگر نصب‌شده در عمق ۱۰ سانتی‌متری و به‌همین ترتیب رطوبت عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری از میانگین رطوبت ۴ حسگر نصب‌شده در عمق ۳۰ سانتی‌متری محاسبه شد. در هر آبیاری برای رساندن رطوبت محدوده فرضی به نقطه FC، اختلاف رطوبت میانگین به‌دست آمده برای هر عمق، با رطوبت حجمی نقطه FC مزرعه، محاسبه و با ضرب کردن در مساحت خیس شده هر ردیف که برابر ۱۸ متر طول در ۰/۲۵ متر عرض بود، حجم آب موردنیاز برای رساندن ناحیه مورد نظر به نقطه FC محاسبه شد. این کار برای هر ردیف یک‌بار برای عمق ۰ تا ۲۰ و یک‌بار برای عمق ۲۰ تا ۴۰ صورت گرفته و از مجموع آن‌ها حجم آب موردنیاز برای هر ردیف به‌دست آمد. کنترل حجم آب‌داده شده به ۸ ردیف توسط کنتور حجمی صورت گرفت و طبق محاسبات حجم آب موردنیاز برای رساندن محدوده فرضی به رطوبت نقطه FC تأمین گشت. با تقسیم حجم آبیاری در هر نوبت، بر مساحت زمین و تعداد روزهایی که آن آبیاری برای تأمین کمبود رطوبتی حاصل از آن‌ها صورت گرفته بود، مقدار تبخیر-تعرق روزانه (شاهد) بر حسب میلی‌متر در روز ($mm\ d^{-1}$) محاسبه شد.

[1] selective

شکل ۴- نمایی از مزرعه - کاشت ردیفی ذرت

تبخیر-تعرق مرجع

به کمک پارامترهای حداکثر و حداقل دما، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و ساعات آفتابی مقدار تبخیر-تعرق مرجع برای دوره زمانی تابستان ۹۳ محاسبه شد.

ضریب گیاهی روزانه (K_c)

با تقسیم کردن تبخیر-تعرق واقعی ذرت (شاهد) بر تبخیر-تعرق مرجع (طی تابستان ۹۳)، ضریب گیاهی ذرت به‌صورت روزانه به‌دست آمد تا به‌این‌ترتیب در ادامه به کمک آن، تبخیر-تعرق مرجع به دست‌آمده از روش‌های مختلف به تبخیر-تعرق گیاهی ذرت تبدیل شود. این موضوع باعث شد در مقایسه‌ها، به‌نوعی اثر گیاهی برای همه یکسان باشد و تنها یک عامل (داده‌های هواشناسی و ترکیب آن‌ها) روی نتایج مؤثر باشد.

میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق مرجع و گیاهی ذرت

برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ مقدار تبخیر-تعرق مرجع، به کمک داده‌های هواشناسی شامل حداکثر و حداقل دما، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و ساعات آفتابی محاسبه شد. سپس برای بازه زمانی تابستان، میانگین تبخیر-تعرق مرجع در این ۱۰ سال استخراج شد. در ادامه با اعمال ضریب گیاهی به‌دست‌آمده از مرحله قبل، تبخیر-تعرق گیاهی ذرت نیز به‌دست آمد.

تبخیر-تعرق مرجع و گیاهی ذرت از داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه دما

پیش بینی کمیت‌های حداقل و حداکثر دما در فواصل زمانی یک تا ۵ روزه انجام می‌شود که در این تحقیق از داده‌های سه روز بعد استفاده شد. به کمک این دو پارامتر، برای تمام بازه‌ها، بر اساس پیش‌بینی ۳ روزه دما در روز ابتدایی بازه، تبخیر-تعرق مرجع برای روزهای آن بازه محاسبه شد. برای مثال داده‌های پیش‌بینی دما در روز ۱۲ تیر برای روزهای ۱۲، ۱۳ و ۱۴ تیر دریافت شد و محاسبات بر اساس آن‌ها صورت گرفت. به همین ترتیب در هر آبیاری تبخیر-تعرق روزانه آن دور آبیاری محاسبه شد. تبخیر-تعرق گیاهی ذرت نیز به روش گفته شده محاسبه شد.

تبخیر-تعرق مرجع و گیاهی ذرت از ترکیب پیش‌بینی ۳ روزه دما و میانگین ۱۰ ساله سایر پارامترها

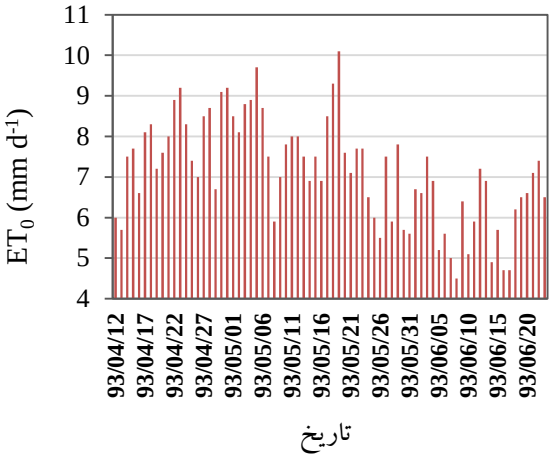
در این سناریو، ترکیبی از داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه دما و داده‌های رخداد تاریخی ۱۰ سال استفاده شد. درواقع، برای حداقل و حداکثر دما، از داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه دما و برای حداقل و حداکثر رطوبت نسبی، دمای نقطه شبنم، سرعت باد و ساعات آفتابی، از میانگین ۱۰ ساله این پارامترها استفاده شد.

نتایج و بحث

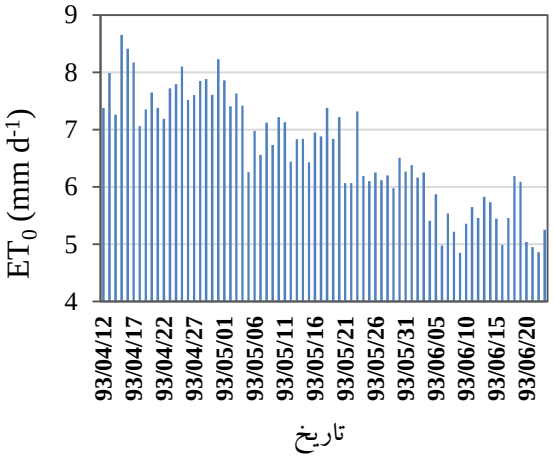
در شکل‌های ۵ تا ۸، مقادیر تبخیر-تعرق مرجع روزانه نشان داده‌شده است. بیشترین و کمترین مقدار برای میانگین تبخیر-تعرق مرجع ۱۰ ساله و تبخیر-تعرق مرجع تابستان ۹۳، به‌ترتیب، ۸/۶۵ و ۴/۸۵ میلی‌متر بر روز و ۱۰/۱ و ۴/۵ میلی‌متر بر روز به دست آمد. همین مقادیر برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق با پیش‌بینی ۳ روزه دما و پیش‌بینی تبخیر-تعرق با ترکیب پیش‌بینی ۳ روزه دما و میانگین ۱۰ ساله سایر پارامترها ، به‌ترتیب، ۷/۶ و ۴/۳ میلی‌متر بر روز و ۸/۸ و ۵/۱ میلی‌متر بر روز به دست آمد. با در نظر گرفتن تبخیر-تعرق مرجع رخداد تابستان ۹۳ به‌عنوان مبنای مقایسه، شاخص‌های مقایسه آماری به شرح جدول ۱ می‌باشند.

جدول ۱- مقایسه مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق مرجع با تبخیر-تعرق مرجع تابستان ۹۳ به کمک شاخص‌های آماری

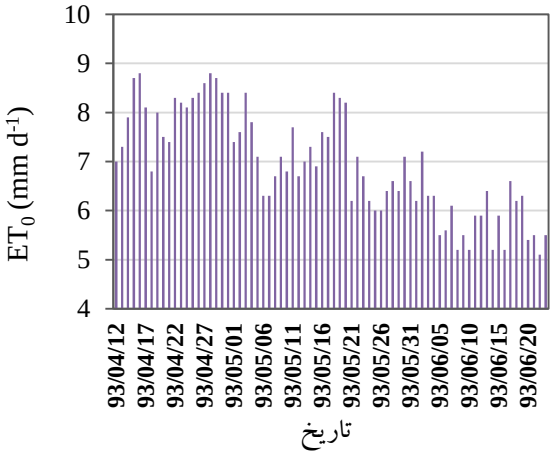
شاخص مقایسه آماری	تبخیر-تعرق مرجع میانگین ۱۰ ساله تابستان	تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده با داده‌های ترکیبی	تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده با پیش‌بینی ۳ روزه دما
R^2	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۲۸
RMSE	۱/۲۲	۱/۰۴	۱/۵



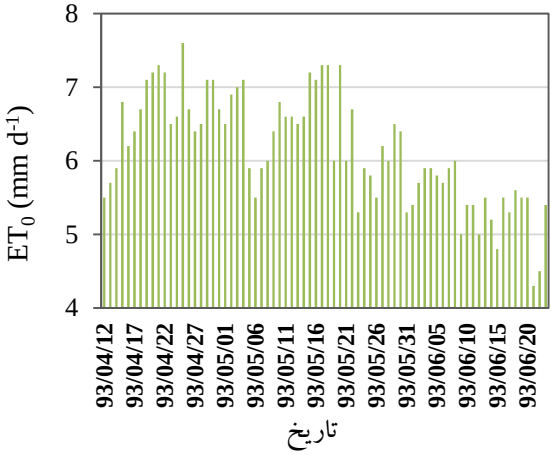
شکل ۵- تبخیر-تعرق مرجع رخداد تابستان ۹۳



شکل ۶- میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق مرجع در تابستان

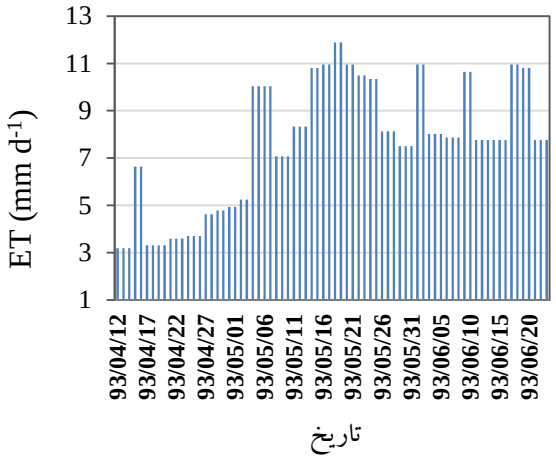


شکل ۷- تبخیر-تعرق مرجع دادهای ترکیبی

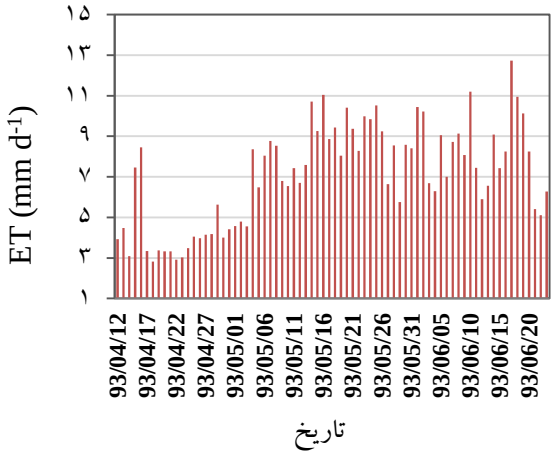


شکل ۸- تبخیر-تعرق مرجع پیش‌بینی ۳روزه دما

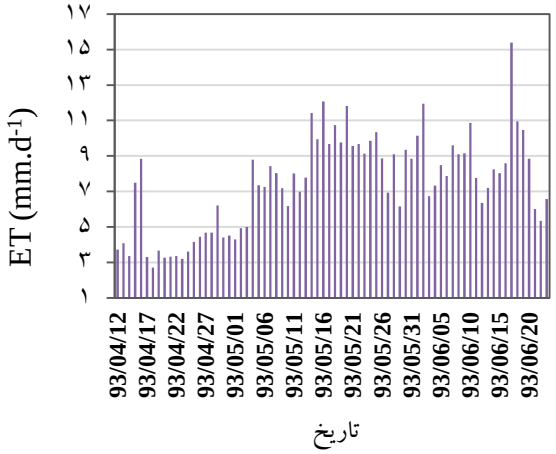
در شکل‌های ۹ تا ۱۲، مقادیر تبخیر-تعرق گیاهی روزانه ذرت، نشان داده‌شده است. بیشترین و کمترین مقدار برای تبخیر-تعرق گیاهی شاهد ذرت و میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق ذرت، به‌ترتیب، ۱۱/۸۸ و ۳/۱۹ میلی‌متر بر روز و ۱۲/۷۳ و ۲/۸۲ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. همین مقادیر برای پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با پیش‌بینی ۳ روزه دما و پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با ترکیب پیش‌بینی ۳ روزه دما و میانگین ۱۰ ساله سایر پارامترها، به ترتیب، ۱۲/۳۶ و ۲/۵۱ میلی‌متر بر روز و ۱۵/۳۹ و ۲/۷۱ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد.



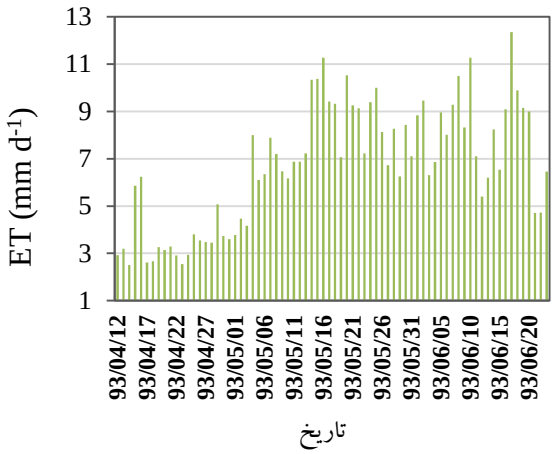
شکل ۹- تبخیر-تعرق گیاهی ذرت در تابستان ۹۳ (شاهد)



شکل ۱۰- میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق گیاهی ذرت



شکل ۱۱- تبخیر-تعرق گیاهی ذرت از داده‌های ترکیبی



شکل ۱۲- تبخیر-تعرق گیاهی ذرت از دما پیش‌بینی ۳ روزه دما

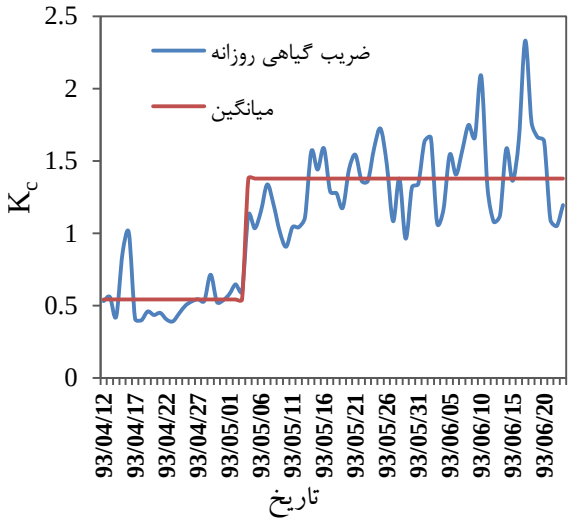
دقت در این نمودارها نشان داد، مقادیر تبخیر-تعرق گیاهی ذرت در ابتدا فصل رشد (رشد اولیه)، که از ۴ تیر تا ۳ مرداد ادامه داشت، به‌طور متوسط کمتر از ۶ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد اما با ورود به دوره رشد سریع، مصرف گیاه به‌طور متوسط به بیش از ۸ میلی‌متر بر روز رسید. با در نظر گرفتن تبخیر- تعرق گیاهی ذرت در تابستان ۹۳ (شاهد) به‌عنوان مبنا مقایسه، شاخص‌های مقایسه آماری به شرح جدول ۲ می‌باشند. در شکل ۱۳، مقادیر ضریب گیاهی روزانه ذرت، به‌دست‌آمده از تقسیم تبخیر-تعرق گیاهی شاهد ذرت و تبخیر-تعرق مرجع تابستان ۹۳، آورده شده است. بیشترین و کمترین مقدار ضریب گیاهی ذرت به ترتیب، ۲/۳۳ و ۰/۳۹ به دست آمد.

جدول ۲- مقایسه مقادیر برآورد شده تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با شاهد به کمک شاخص‌های آماری

شاخص مقایسه آماری	میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق ذرت در تابستان	تبخیر-تعرق ذرت برآورد شده با داده‌های ترکیبی	تبخیر-تعرق ذرت برآورد شده با پیش‌بینی ۳ روزه دما
R^2	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۷۹
RMSE	۱/۳۴	۱/۲۱	۱/۵۷

شکل ۱۳ نشان داد در روزهای ابتدایی کاشت (دوره رشد اولیه) به‌دلیل مصرف کمتر گیاه، ضریب گیاهی کمتر از ۱

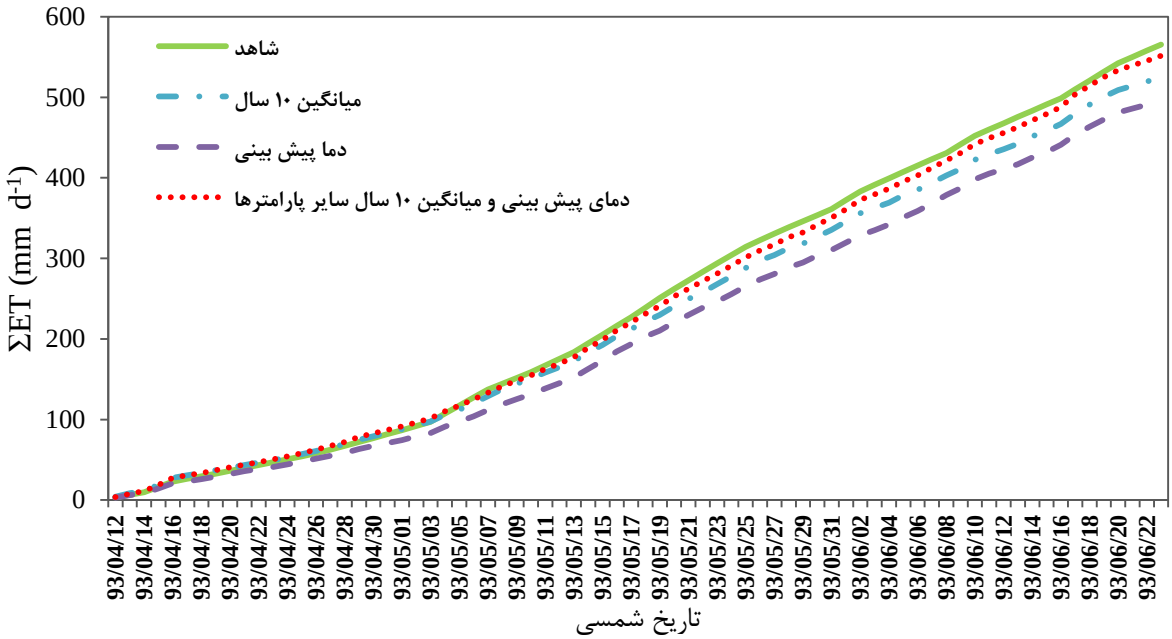
بود، اما با رسیدن به دوره رشد سریع و مصرف بیشتر گیاه، مقدار این ضریب بیشتر از ۱ شد. ازآنجا که تاریخ کشت ۴ تیرماه بود، با توجه به جدول ۳، تا تاریخ ۳ مرداد (مرحله رشد اولیه) گیاه ضریب گیاهی کمتر از ۱ داشت اما پس از آن رشد سریع آغاز شد.



شکل ۱۳- مقادیر روزانه K_c برای گیاه ذرت

نتیجه‌گیری

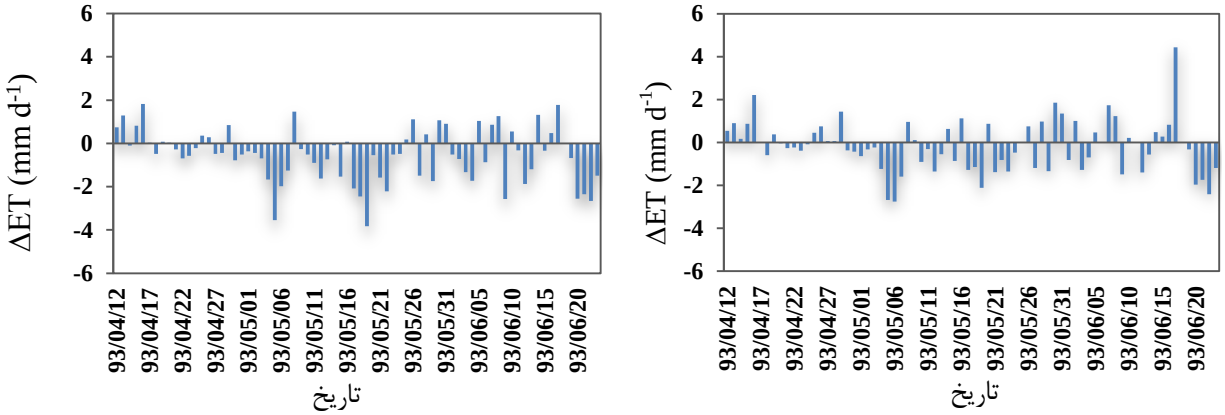
شکل ۱۴، تبخیر-تعرق گیاهی ذرت را به‌صورت تجمعی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، استفاده از ترکیب داده‌های پیش‌بینی ۳ روزه دما و میانگین ۱۰ ساله سایر پارامترها، بهترین نتیجه را نسبت به سایرین داشت و به نمودار شاهد نزدیک‌تر شد. بعد از آن میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق گیاهی ذرت قرار دارد که نتیجه تقریباً قابل قبولی است. استفاده از پیش‌بینی ۳ روزه دما، باعث کم برآورد معنی‌داری شد و نمودار آن با اختلاف قابل‌توجهی پایین‌تر از نمودار شاهد قرار گرفت. با دقت در روند افزایشی در شکل ۱۴، در ابتدای فصل، اغلب روش‌ها به‌خوبی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت را پیش‌بینی کردند، اما در ادامه با فاصله گرفتن از زمان کاشت، مقادیر تبخیر-تعرق تجمعی روش‌های غیرمستقیم شروع به فاصله گرفتن از مقادیر تجمعی تبخیر-تعرق شاهد کردند و تفاوت خود را نشان دادند.



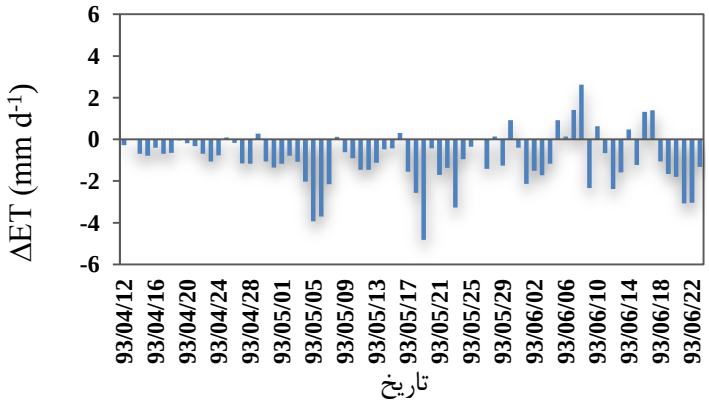
شکل ۱۴- تبخیر-تعرق تجمعی ذرت از روش‌های مختلف

توجه به این نکته ضروری است که تفاوت‌ها در دوره‌ای از رشد گیاه دیده شد که تأثیر به‌سزایی روی عملکرد گیاه خواهند داشت. درواقع، در دوره ابتدایی رشد، به دلیل غالب بودن فرآیند تبخیر در تبخیر-تعرق (به‌دلیل سایه‌اندازی کم گیاه)، از آنجاکه مبنای محاسبات داده‌های هواشناسی بود، برآورد تبخیر-تعرق رضایت‌بخش بود، اما از زمانی که فرآیند

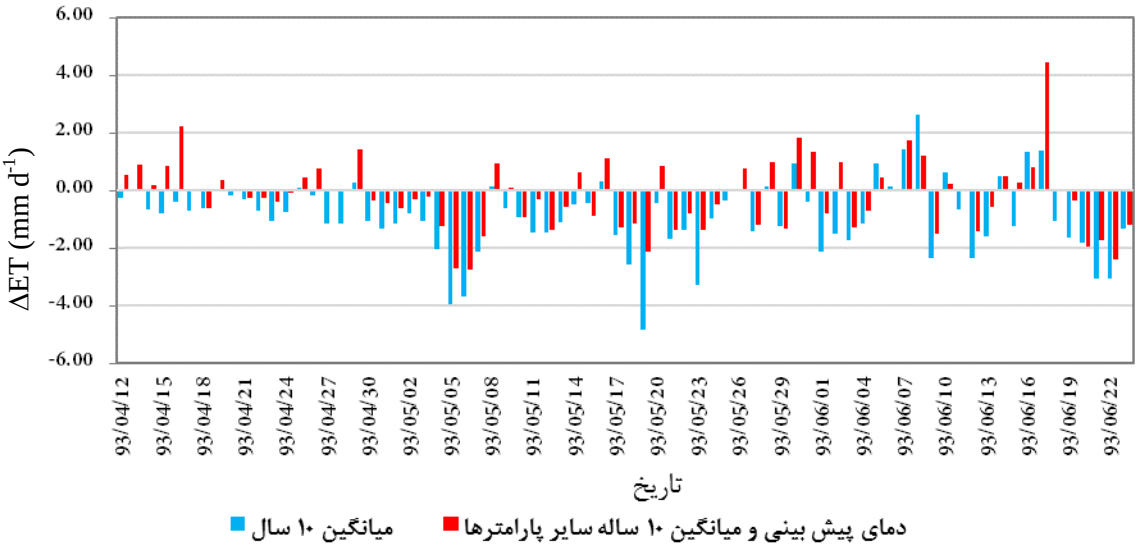
تعرق نقش تعیین‌کننده‌ای در اندازه تبخیر-تعرق ایفا کرد (۳ مرداد به بعد) برآورد تبخیر-تعرق دچار تزلزل شد. مجموع آبیاری درروش شاهد برابر ۵۶۵/۶۴ میلی‌متر، درروش پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با پیش‌بینی ۳ روزه دما، ۴۹۷/۲ میلی‌متر، درروش میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق ذرت، ۵۲۵/۷۴ و در روش پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با داده‌های ترکیبی، ۵۵۱/۶ میلی‌متر به دست آمد. بنابراین در روش‌های پیش‌بینی تبخیر- تعرق گیاهی ذرت با پیش‌بینی ۳ روزه دما، میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق گیاهی ذرت و پیش‌بینی تبخیر-تعرق گیاهی ذرت با داده‌های ترکیبی، به ترتیب، ۱۲/۱، ۷/۰۵ و ۲/۴۸ درصد، کم‌برآورد نسبت به شاهد وجود داشت. شکل‌های ۱۵ و ۱۶ به‌خوبی نشان داد درروشِ ترکیبِ پیش‌بینی ۳ روزه دما و میانگین ۱۰ ساله سایر پارامترها، کم‌برآورد کمتری نسبت به سایر روش‌ها صورت گرفت، درحالی‌که روش پیش‌بینی تبخیر-تعرق با پیش‌بینی ۳ روزه دما، بیشترین کم برآورد را داشت. در شکل ۱۷ نیز اختلاف میانگین ۱۰ ساله تبخیر- تعرق گیاهی ذرت و پیش‌بینی تبخیر-تعرق ذرت با داده‌های ترکیبی با شاهد برای مقایسه بهتر آورده شده است. توجه به این نکته لازم است که در این پژوهش به‌دلیل استفاده از ضریب گیاهی محاسبه‌شده توسط داده‌های واقعی گیاه ذرت (به‌دست‌آمده از بیلان آب خاک در تابستان ۹۳)، تبخیر-تعرق گیاهی به‌دست‌آمده از روش‌های مختلف تنها تحت تأثیر روش محاسبه تبخیر-تعرق مرجع می‌باشد. درصورتی‌که ما بخواهیم از ضریب گیاهی که در کتب مرجع ارائه می‌شود استفاده کنیم، ازآنجا که حداکثر ۳ ضریب گیاهی برای دوره‌های رشد مختلف ارائه می‌شود، نتایج کار اعتبار کمتری خواهند داشت و البته ممکن است اختلاف بین روش‌ها ملموس‌تر شود.



شکل ۱۵- اختلاف پیش‌بینی تبخیر-تعرق ذرت با داده‌های ترکیبی با شاهد (سمت راست) اختلاف میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق ذرت با شاهد (سمت چپ)



شکل ۱۶- اختلاف تبخیر-تعرق پیش‌بینی ۳ روزه دما با شاهد



شکل ۱۷- اختلافِ پیش‌بینی تبخیر-تعرق ذرت (داده‌های ترکیبی) و میانگین ۱۰ ساله تبخیر-تعرق ذرت با شاهد

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران انجام شده است که به این وسیله تشکر می‌شود.

منابع

اکبری، م.، محسنی موحد، س. ا.، داد پور، م.، خودشناس، م. ۱۳۹۲. تعیین تبخیر-تعرق بالقوه یونجه به روش لایسیمتری و مقایسه آن با روش‌های غیرمستقیم. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ۱۸-۱۹ اردیبهشت، کرمان

ذوالفقاری، م.، رضایی، ع.، سلاجقه، ع. ۱۳۹۲. مقایسه سه روش برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در آب و هوای مرطوب. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ۱۸-۱۹ اردیبهشت، کرمان.

سلطانی، ا.، میر لطیفی، س. م.، دهقانی سانیچ، ح. ۱۳۹۱. برآورد تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶ (۱): ۱۳۹-۱۴۹.

صارمی، م.، فرهادی، ب.، ملکی، ع.، فراستی، م. ۱۳۹۲. تعیین فرمول مناسب برآورد ET_o با استفاده از نرم‌افزار REF-ET در خرم‌آباد. اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار، ۱۰ بهمن، تهران.

عابدی کوپایی، ج.، اسلامیان، س. س.، امیری، م. ج. ۱۳۸۷. مقایسه چهار روش تخمین تبخیر-تعرق سطح مرجع با داده‌های میکرولایسیمتری در اصفهان. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، ۸-۱۰ بهمن، اهواز.

قیصری، م.، میر لطیفی، س. م.، همایی، م.، اسدی، م. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. نشریه تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۷ (۲۶): ۱۲۵-۱۴۲.

محمودیان شوشتری، م.، زند پارسا، ش. ۱۳۹۲. اندازه‌گیری تبخیر-تعرق با روش بیلان آب در مزرعه و مقایسه آن با برخی از روش‌های تجربی در منطقه باجگاه شیراز. دومین کنفرانس بین‌المللی مدل‌سازی گیاه، آب، خاک و هوا، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، ۱۸-۱۹ اردیبهشت، کرمان.

Allen, G. R., Pereira, S. L., Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. Rome, FAO Irrig. & Drain. Paper No. 56.

Duce, P., Snyder, R. L., Spano, D. 2000. Forecasting Reference Evapotranspiration. 3rd International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, vol. 2.

Hargreaves, G. H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. J. Irrig. Drain. E. ASCE, 120(6): 1132-1139.

Perera, K., Western, A., Nawarathna, B., George, B. 2013. Forecasting daily reference evapotranspiration for Shepparton, Victoria, Australia using numerical weather prediction outputs. 20th International Congress on Modelling and Simulation, Adelaide, Australia

Raes, D. 2012. The ETo calculator reference manual, food and agriculture organization of the United Nations, FAO.

Journal of Agricultural Meteorology
Vol. 3, No. 1, Spring &Summer 2015, pp. 1-12

نشریه هواشناسی کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، صص. ۱۲-۱

Comparison the accuracy of predicted maize evapotranspiration using real time meteorological data and conventional methods in Karaj climate

M. S. Jafari[1], A. M. Liaghat[*2], T. Sohrabi[2]

Received: 05/05/2015
Accepted: 01/08/2015

Abstract

Accurate estimation of crop evapotranspiration has a major role in optimum agricultural water management. The aim of this study was to evaluate the accuracy of using real time (3days in-advance forecasts) temperature data for estimation of maize evapotranspiration comparing to conventional methods in Karaj, Iran. To achieve this goal, the crop evapotranspiration (ET_c) was calculated using FAO ET_o Calculator software .Two climatic data set were deployed for comparisons i.e. 10 years (2004-2014) mean values of meteorological data of maize growing season and real-time 3-days forecast of temperature. Actual values of evapotranspiration based on a water balance approach were measured using watermark sensors during the summer 2014 as a control treatment. Comparison of ET_c measurements with estimations obtained by using different climatic data and also a combined set of data (real time and long term means) revealed that estimated values of ET_c using combined weather dataset for amount of 551.6 mm/season and ET_c values estimated using 3 days forecasts of air temperature (497.2 mm) had maximum (12%) and minimum (2%) difference with actual ET_c values obtained by water balance method i.e.565.64 mm, respectively. Both proposed methods showed underestimation. Further studies are recommended for more scrutiny.

Keywords: Evapotranspiration, Karaj, Soil water Balance, Real time data, Watermark sensor

[1] M. Sc. student of Irrigation and Drainage engineering, Faculty of Agricultural, University of Tehran, Karaj, Iran
[2] Professor of Water Engineering Dep., Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran
(*Corresponding author email address: aliaghat@ut.ac.ir)