ارزیابی مدل MSM جهت پیش‌بینی تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش‌های پیشنهادی فائو ۵۶

ابوالفضل مجنونی هریس، شاهرخ زندپارسا، علیرضا سپاسخواه و علی اکبر کامگار حقیقی[۱]

چکیده

برای استفاده بهینه از آب در مزرعه، لازم است تا نیاز آبی گیاه پیش بینی شود. در این پژوهش ابتدا با استفاده از داده‌های حاصله از کشت ذرت دانه‌ای در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز(باجگاه)، زیر برنامه تبخیر- تعرق و جریان آب خاک مدل MSM (تهیه شده در بخش آبیاری دانشگاه شیراز) ارزیابی و سنجش اعتبار گردید. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده رطوبت خاک توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده آن در اعماق مختلف خاک توأم با مقادیر مختلف آب آبیاری نشان دادند که در این قسمت، مدل MSM نیاز به واسنجی ندارد و اعتبار آن در پیش‌بینی تبخیر- تعرق ذرت تأیید گردید. در مرحله بعدی، تبخیر - تعرق گیاه ذرت با استفاده از رابطه پنمن- مانتیث با اعمال ضرایب گیاهی منفرد (Single crop coefficient) و دوگانه (Dual crop coefficient) برای دو سال آزمایش، به‌صورت روزانه محاسبه شدند. نتایج نشان داد که مدل MSM مقادیر فصلی تبخیر- تعرق و تعرق بالقوه گیاه و تبخیر از سطح خاک را به‌ترتیب برای سال اول برابر ۸۶۳ ، ۵۳۶ و ۳۲۹ میلی‌متر و برای سال دوم برابر ۸۳۲، ۵۱۸ و ۳۱۴ میلی‌متر تخمین زد. مقادیر تبخیر- تعرق و تعرق بالقوه گیاه ذرت و تبخیر از سطح خاک با استفاده از روش ضریب گیاهی دوگانه به‌ترتیب در سال اول برابر۶۹۳، ۴۸۹ و ۲۰۵ میلی‌متر و در سال دوم برابر ۷۰۰، ۴۸۷ و ۲۱۳ میلی‌متر تخمین زده شدند. قابل ذکر است که مقدار تبخیر - تعرق بالقوه فصلی ذرت در این منطقه براساس روش پنمن- مانتیث نشریه فائو۵۶ با اعمال ضریب گیاهی منفرد برای سال اول و دوم به‌ترتیب برابر ۶۱۵ و ۶۳۲ میلی‌متر به‌دست آمد. با توجه به مقادیر آب آبیاری لازم بر اساس تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی در این آزمایش و مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر- تعرق و مقایسه آن با سایر مقادیر گزارش شده در مناطق دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که روش توصیه شده پنمن- مانتیث در نشریه فائو ۵۶ با اعمال ضریب گیاهی منفرد و دوگانه، مقدار تبخیر- تعرق بالقوه فصلی گیاه ذرت را در منطقه پژوهش، به‌ترتیب ۲۶ و ۱۸ درصد کم برآورد می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: مدل MSM، ارزیابی، تبخیر- تعرق بالقوه ، ضریب گیاهی، رطوبت

مقدمه

بی‌شک کمبود آب در مناطق خشک و نیمه خشک، محدود کننده عمده تولیدات کشاورزی است. آب تشکیل دهنده اصلی محصولات و عمده‌ترین نیاز برای تولید است، با این حال انتقال دهنده مهم مواد شیمیایی و آلاینده‌ها به آب‌های زیر زمینی و ایجاد آلودگی آنها نیز هست.

۱. به‌ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، استادیار، استاد و دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

برای استفاده بهینه از آب در مزرعه یک برنامه‌بندی دقیق آبیاری لازم است. تردیدی نیست که پایه و اساس یک برنامه‌بندی آبیاری را تعیین نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد. عدم اطلاع از نیاز آبی گیاهان مورد کشت، باعث آبیاری بیشتر یا کمتر از حد مورد نیاز می‌گردد که آبیاری بیش از حد، عوارضی همچون عدم وجود هوای کافی برای رشد ریشه، هدر رفت آب و شستشوی مواد غذایی خاک را در پی دارد و آبیاری کمتر از حد نیاز، رشد گیاه را کاهش خواهد داد.

نیاز به تخمین تبخیر- تعرق گیاهان در مزرعه، باعث شده است که پژوهشگران زیادی روش‌های متعددی را جهت تخمین آن ارائه دهند. اما کاربرد این روش‌ها به دقت برآورد آنها در شرایط اقلیمی مناطق مورد استفاده بستگی دارد. در مجموع روش‌هایی که برای تخمین تبخیر- تعرق استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرند در سه گروه اصلی روش‌های مستقیم اندازه‌گیری، روش‌های تخمین تبخیر- تعرق استاندارد از طریق روابط تجربی و برآورد تبخیر- تعرق استاندارد با استفاده از داده‌های تشت تبخیر قرار دارند.

در تمام روش‌های تخمین تبخیر- تعرق با استفاده از روابط تجربی، ابتدا تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع تخمین زده می‌شود. سپس، نتیجه حاصله در یک ضریب گیاهی که نشان دهنده خصوصیات گیاه مورد نظر است، ضرب می‌شود و مقدار تبخیر- تعرق استاندارد آن تخمین زده می‌شود (۷). معادلات ارائه شده جهت تخمین تبخیر- تعرق مرجع در سه گروه زیر قرار می‌گیرند:

الف) مدل‌های دمایی مانند روش‌های بلانی- کریدل(۶) و هارگریوز- سامانی(۸).

ب) مدل‌های تابشی از قبیل روش جنسن- هیز (۱۵) و پرستیلی- تیلور(۱۴).

ج) مدل‌های ترکیبی از قبیل معادله پنمن، پنمن- مانتیث و پنمن مانتیث فائو (۷).

در بین مدل‌های فوق انتظار می‌رود مدل‌های ترکیبی تخمین بهتری در شرایط مختلف داشته باشند زیرا این مدل‌ها میزان تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع را با در نظر گرفتن دو فرایند توازن انرژی و اثر جریان آئرودینامیک با منظور نمودن کمبود فشار بخار اتمسفر محاسبه می‌کنند و بسیاری از عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق در محاسبات دخالت داده می‌شوند.

در سال ۱۹۴۸ پنمن دانشمند انگلیسی از ترکیب روش‌های آئرودینامیک و توازن انرژی، روشی را برای محاسبه تبخیر- تعرق ارائه داد. رابطه پنمن در شرایط جوی که سرعت باد در روز دو برابر سرعت آن در شب بود و در شرایطی که میزان تابش و حداکثر رطوبت نسبی از حد متوسط تا زیاد تغییر می‌کرد، بهتر جواب می‌داد. به این علت دورنباس و پروت (۹)، با اضافه کردن یک عامل اصلاحی آن را تغییر داده و روش پنمن اصلاح شده فائو ۲۴ را ارائه کردند. مانتیث (۱۷) با وارد کردن اثر مقاومت روزنه‌های برگ و مقاومت آئرودینامیک معادله زیر را ارائه کرد:

$$\lambda ET_p = \frac{\Delta(R_n - G) + ۳۶۰۰\rho_a C_p (\frac{e_s - e_a}{r_a})}{\Delta + \gamma(۱ + \frac{r_s}{r_a})} \qquad [۱]$$

که در آن ET_p تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن) ($mm\ h^{-1}$)، λ گرمای نهان تبخیر($MJ\ kg^{-1}$)، R_n تابش خالص ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$)، G جریان گرمایی خاک ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$)، ρ_a چگالی هوا ($kg\ m^{-3}$)، C_p گرمای ویژه‌ی هوا در فشارثابت ($MJkg^{-1}\ ºC^{-1}$)، (e_s-e_a)کمبود فشار بخار (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع- دما ($kPa\ ºC^{-1}$) و γ ضریب ثابت سایکرومتری ($kPa\ ºC^{-1}$) می‌باشند. r_s مقاومت پوشش سبزگیاه ($s\ m^{-1}$) می‌باشد و r_a مقاومت آئرودینامیکی هوا ($s\ m^{-1}$) است که برای گیاه چمن به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد (۷):

$$r_a = \frac{۲۰۸}{U_۲} \qquad [۲]$$

که در آن $U_۲$ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری سطح زمین می‌باشد.

هاول و همکاران(۱۳) اعلام داشتند که روش پنمن- مانتیث مطابق با فائو۵۶ مقدار تبخیر— تعرق ذرت را خیلی کمتر از واقعیت نشان می‌دهد و رابطه زیر را برای مقاومت

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

آئرودینامیکی گیاه ذرت ارائه نمودند:

$$r_a = \frac{1}{0/00872 + 0/0107U_2} \quad [3]$$

آلن و همکاران (۷) در فائو ۵۶ با در نظر گرفتن پوشش گیاهی چمن استاندارد به ارتفاع ۰/۱۲ متر، ضریب بازتاب ۰/۲۳ و مقاومت r_s برابر ۷۰ ثانیه بر متر، معادله پنمن- مانتیث را برای گیاه مرجع چمن به شکل زیر ارائه دادند:

$$ET_o = \frac{0/408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0/34U_2)} \quad [4]$$

که در آن مقادیر R_n و G حسب $(MJ\ m^{-2}\ d^{-1})$، ET_o تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع $(mm\ d^{-1})$ و U_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری سطح زمین $(m\ s^{-1})$ می‌باشد.

تبخیر - تعرق گیاهان مختلف از ضرب کردن تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع (ET_o) در ضریب گیاهی آن گیاه (Kc) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید (۷):

$$ETp = Kc \times ET_o \quad [5]$$

مقدار ضریب گیاهی نشان دهنده خصوصیات گیاه مورد نظر می‌باشد و مطابق توصیه فائو ۵۶ مقادیر آن برای دوره‌های ابتدایی(Kc_{ini})، میانی(Kc_{mid}) و انتهایی(Kc_{end}) رشد گیاه تعیین می‌شود. در نشریه فائو ۵۶ (۷) ضرایب Kc_{ini}، Kc_{mid} و Kc_{end} برای ذرت دانه‌ای به‌ترتیب برابر ۰/۶۸، ۱/۲ و ۰/۳۵ پیشنهاد شده است. مقادیر ضرایب Kc_{mid} و Kc_{end} ممکن است بر اساس ارتفاع گیاه، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و رطوبت نسبی هوا نیازمند اصلاح باشند.

در نشریه فائو ۵۶ روش دیگری با عنوان ضریب گیاهی دوگانه برای محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان مختلف ارائه شده است که در این ضریب اثرات تعرق گیاه و تبخیرخاک جداگانه به‌صورت زیر در نظرگرفته می‌شود:

$$Kc = Kcb + Ke \quad [6]$$

که در آن Kcb ضریب پایه گیاهی و Ke ضریب تبخیر از خاک می‌باشد. در نشریه فائو ۵۶ ضرایب Kcb_{ini}، Kcb_{mid} و Kcb_{end} به‌ترتیب برابر ۰/۱۵، ۱/۱۵ و ۰/۱۵ برای ذرت پیشنهاد شده است. مقادیر Kcb_{mid} و Kcb_{end} ممکن است، بر اساس ارتفاع گیاه، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری و رطوبت نسبی هوا نیازمند اصلاح باشند.

زندپارسا و همکاران(۲۶) مدل MSM را برای پیش‌بینی رشد گیاه ذرت ارائه کردند. در زیر برنامه تخمین تبخیر- تعرق این مدل با استفاده از رابطه پنمن- مانتیث، بدون در نظر گرفتن گیاه مرجع و ضریب گیاهی، تبخیر- تعرق ساعتی ذرت، مستقیماً محاسبه گردید. تعرق واقعی بر اساس توزیع ریشه در لایه‌های مختلف خاک تعیین شد. تبخیر واقعی از سطح خاک بر اساس تابش رسیده به سطح خاک، رطوبت لایه سطحی خاک و توزیع دما در ستون خاک شبیه‌سازی گردید. در مطالعات مربوط به نیاز آبی گیاهان در کشور، از روش‌های آورده شده در فائو ۵۶ استفاده زیادی می‌شود که تبخیر- تعرق گیاهان کمتر از واقعیت تخمین زده می‌شود(۲ و ۴).

اهداف این پژوهش عبارت‌اند از: الف) ارزیابی و سنجش اعتبار مدل MSM در پیش‌بینی تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت ب) مقایسه مجموع تبخیر- تعرق بالقوه ساعتی پیش‌بینی شده ذرت در شبانه روز (مقدار روزانه تبخیر- تعرق) توسط مدل MSM با مقادیر روزانه پیش‌بینی شده آن بر اساس روش فائو ۵۶ با اعمال ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل MSM در پیش‌بینی تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت (Zea mays L.) رقم سینگل کراس ۷۰۴ از نوع هیبرید دیر رس، در جویچه‌هایی به‌عرض ۰/۷۵ متر و در عمق ۰/۰۷ متر از سطح خاک در کرت‌هایی به‌طول ۱۰ متر، شامل ۵ ردیف ذرت با تعداد ۶۷۰۰۰ بوته در هکتار در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز در تاریخ‌های ۲۰ خرداد ۱۳۸۲ و ۱۵ خرداد سال ۱۳۸۳ در سه تکرار کاشته شد و در تاریخ ۸ آبان سال‌های مذکور برداشت گردید. طول و عرض جغرافیایی منطقه و ارتفاع آن از سطح دریا به‌ترتیب برابر'۵۲°۴۶ شرقی، '۲۹°۵۰ شمالی و ۱۸۱۰ متر از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

سطح دریا می‌باشد. در هر دو سال زراعی کود سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت به مقدار ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار و کود نیتروژن در دو نوبت به‌صورت سرک به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم بر هکتار (۷۰ در صد کود نیتروژن در کشت سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌ترتیب در ۲۰ و ۱۹ روز بعد از کاشت و ۳۰ در صد آن به‌ترتیب در ۶۸ و ۷۶ روز بعد از کاشت) به مزرعه داده شد. قبل از هر آبیاری با استفاده از نوترون متر رطوبت در اعماق ۰/۱۵ تا ۱/۸ متری خاک تعیین و سپس با توجه به کمبود رطوبت از حد ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار آب آبیاری با استفاده از یک کنتور به‌صورت حجمی به کرت‌ها داده شد. در این آزمایش دور آبیاری ۷ روز در نظر گرفته شد. مطابق آزمایش‌های گذشته در این منطقه (۳ و ۲۵) در دور آبیاری هفت روزه نیاز بالقوه گیاه ذرت تأمین شد. برای اجرای مدل، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، عوامل α_v و n_v (۲۳) به‌ترتیب برابر $m\ s^{-1}$ ۲/۴×۱۰$^{-۶}$، m^{-1} ۰/۷۹ و ۱/۳۵ در نظر گرفته شدند (۵). درصد لای، رس و شن خاک در عمق ۰-۰/۳۰ متری به‌ترتیب برابر ۵۴/۳، ۳۵/۸ و ۹/۹ تعیین شدند. هم‌چنین متوسط چگالی ظاهری، رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در عمق یک متری خاک به‌ترتیب برابر $kg\ m^{-3}$ ۱۵۶۰، ۳۴ و ۱۴ در صد حجمی می‌باشند.

مبانی نظری زیر برنامه تبخیر- تعرق بالقوه مدل MSM

در این زیر برنامه تبخیر- تعرق بالقوه ذرت (ET_p) با استفاده از رابطه پنمن- مانتیث (معادله ۱)، مستقیماً و بدون تعیین تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع و ضریب گیاهی به‌صورت ساعتی پیش‌بینی می‌شود. در محاسبه تبخیر- تعرق بالقوه گیاه، مدل با برقراری ساعتی بیلان انرژی در سطح خاک، جریان‌گرمایی(G) خاک را ساعت به ساعت تخمین می‌زند. در محاسبه بیلان انرژی، ضریب بازتاب خاک با استفاده از رطوبت لایه سطحی آن به‌صورت زیر تخمین زده می‌شود (۲۲):

$$\begin{array}{lll} \alpha = ۰/۳۵ - \theta & \text{if} & ۰/۱ \le \theta < ۰/۲۵ \\ \alpha = ۰/۱ & \text{if} & ۰/۲۵ \le \theta \\ \alpha = ۰/۲۵ & \text{if} & \theta < ۰/۱ \end{array} \qquad [۷]$$

که در آنها α ضریب بازتاب خاک و θ مقدار رطوبت حجمی خاک می‌باشد.

ضریب بازتاب برگ‌های ذرت برابر ۰/۱۶۵ در نظر گرفته شد (۱۲). داده‌های ورودی این زیربرنامه شامل دمای حداکثر و حداقل روزانه هوا، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل روزانه، سرعت متوسط باد در روز، ساعات آفتابی، مقدار و زمان آبیاری قبلی، مقدار و زمان بارندگی بعد از آبیاری قبلی و رطوبت خاک در قبل از آبیاری می‌باشند.

در این مدل، برای تخمین تبخیر بالقوه از معادله زیر استفاده شده است (۲۶):

$$F(t) = \frac{E_{p'}(t)}{ET_p(t)} \qquad [۸]$$

که در آن ET_p (t) تبخیر- تعرق بالقوه گیاه در زمان‌های مختلف، E_p(t) تبخیر بالقوه از سطح خاک در زمان‌های مختلف و F(t) بخشی از تابش تابیده شده به سطح خاک گیاه است، که از رابطه زیر تخمین زده می‌شود (۱۰):

$$F(t) = e^{(-LAI\frac{SH}{\sin\alpha_s})} \qquad [۹]$$

که در آن SH تابع تخمین سایه [برای ذرت ۰/۵ گزارش شده است، (۲۰)] و α_s زاویه ارتفاع خورشیدی(solar elevation) و LAI شاخص سطح برگ می‌باشند. در این زیر برنامه شاخص سطح برگ با استفاده از ماده خشک تولیدی در قسمت‌های هوایی گیاه به‌صورت ساعتی پیش‌بینی می‌گردد. ماده خشک نیز با استفاده از نیتروژن جذب شده توسط ریشه و تابش تابیده شده به برگ و اصلاح شده با دما تخمین زده می‌شود (۲۶).

مدل حاضر برای تخمین تبخیر واقعی از سطح خاک رابطه زیر را به‌کار می‌برد (۲۱):

$$\frac{E_a(t)}{E_p(t)} = \frac{h_s - h_a}{۱ - h_a} \qquad [۱۰]$$

$$h_a = \frac{e_a}{e_s} \qquad [۱۱]$$

$$h_s = \exp[\frac{h}{(۴۶/۹۷(T_s + ۲۷۳/۱۶))}] \qquad [۱۲]$$

که در آنها E_a(t) تبخیر واقعی از سطح خاک در زمان‌های مختلف ($mm\ h^{-1}$)، h_s رطوبت نسبی سطح خاک(بدون بعد)، h_a

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

رطوبت نسبی هوا (بدون بعد)، e_a فشار بخار واقعی هوا (kPa)، e_s فشار بخار اشباع (kPa)، h ارتفاع فشاری آب خاک در لایه سطحی (m) و T_s دمای سطح خاک (°C) می‌باشند. مقادیر h و T_s به‌ترتیب بر اساس جریان آب در خاک (حل مداوم معادله ریچاردز) و بیلان انرژی در سطح خاک در هر ساعت تخمین زده می‌شوند (۲۵ و ۲۶).

زیر برنامه جریان آب در خاک

شبیه سازی مقادیر رطوبت خاک در اعماق مختلف در طول رشد گیاه از خصوصیات مهم یک مدل پیش‌بینی کننده رشد محسوب می‌شود. در این مدل جریان آب خاک با استفاده از معادله ریچاردز که عامل جذب ریشه نیز در آن منظور شده، به‌صورت زیر شبیه‌سازی می‌گردد:

$$\frac{\partial\theta}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial z}[K(\theta)(\frac{\partial h}{\partial z}+1)]-A(z,t) \qquad [13]$$

که در آن θ مقدار حجمی رطوبت خاک (m^3m^{-3})، t زمان (s)، z مختصات عمودی خاک (سطح خاک به‌عنوان سطح مبنا بوده و به‌طرف بالا مثبت است.)، K(θ) هدایت هیدرولیکی غیر اشباع خاک ($m\ s^{-1}$)، h ارتفاع فشاری آب خاک (m) و A(z,t) شدت جذب آب توسط ریشه در واحد عمق خاک (s^{-1}) می‌باشد. برای تعیین روابط بین h-θ و K-θ جهت حل معادله ریچاردز از معادله ون‌گنوختن (۲۳) استفاده شده است.

در این مدل شدت جذب آب توسط ریشه در واحد عمق خاک[A(z,t)] به‌صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$A(z,t)=T_p(t)\Gamma(z,t) \qquad [14]$$

که در آن $T_p(t)$ شدت تعرق بالقوه در زمان‌های مختلف ($mm\ h^{-1}$) و Γ(z,t) عامل توزیع ریشه می‌باشد. تعرق بالقوه زمانی رخ می‌دهد که گیاه تحت هیچ تنشی نباشد. برای محاسبه تعرق بالقوه رابطه زیر به کار رفته است:

$$T_p(t)=ET_p(t)-E_p(t) \qquad [15]$$

که در آن ET_p (t) تبخیر- تعرق بالقوه در زمان‌های مختلف و (t) E_p تبخیر بالقوه ازسطح خاک در زمان‌های مختلف ($mm\ h^{-1}$) می‌باشند.

عامل توزیع ریشه که در A(z,t) به‌کار رفته است، از معادله زیر حاصل می‌گردد (۱۶):

$$\Gamma(z,t)=\frac{2}{z_r}\alpha_r(h)(1-\frac{z}{z_r}) \qquad [16]$$

که در آن z فاصله از سطح خاک (m)، z_r عمق ریشه (m) و $\alpha_r(h)$ عامل کاهش جذب آب توسط ریشه است. مقادیر $\alpha_r(h)$ به‌صورت زیر تعریف می‌شود (۱۱):

$$\alpha_r(h)=0 \quad \text{for} \quad h\le h_4 \qquad [17]$$

$$\alpha_r(h)=\frac{h-h_4}{h_3-h_4} \quad \text{for} \quad h_4<h\le h3 \qquad [18]$$

$$\alpha_r(h)=1 \quad \text{for} \quad h_3<h\le h2 \qquad [19]$$

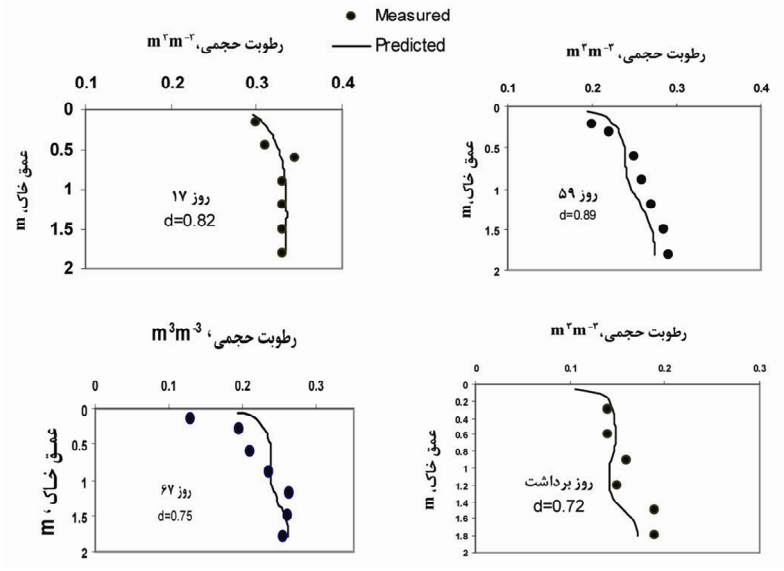
$$\alpha_v(h)=\frac{h_1-h}{h_1-h_2} \quad \text{for} \quad h_2<h\le h_1 \qquad [20]$$

$$\alpha_r(h)=0 \quad \text{for} \quad h_1<h \qquad [21]$$

که در آنها h_1 ارتفاع فشاری آب در شرایطی است که کمبود اکسیژن در خاک وجود ندارد، h_2 ارتفاع فشاری آب خاک در شرایطی که تبخیر- تعرق بالقوه گیاه شروع می‌گردد، h_3 ارتفاع فشاری آب در خاک در شروع تنش و h_4 ارتفاع فشاری آب در شرایط نقطه پژمردگی می‌باشد. تعرق بالقوه بین ارتفاع‌های فشاری h_2 و h_3 اتفاق می‌افتد که در آن ضریب $\alpha_r(h)$ برابر یک می‌باشد و جذب آب توسط ریشه بدون هیچ کاهشی صورت می‌گیرد. مقادیر h_1، h_2، h_3 ، h_4 با استفاده از معادله ون گنوختن (۲۳) به‌ترتیب در رطوبت‌های نزدیک اشباع (۹۵ درصد رطوبت اشباع)، ظرفیت زراعی، رطوبت در انتهای مرحله اتمام آب سهل الوصول و رطوبت در حد نقطه پژمردگی به‌دست می‌آیند (۲۵). به‌طور خلاصه در این زیر برنامه، بعد از محاسبه ET_p (معادله ۱) مقدار جذب آب از هر لایه با توجه به رطوبت آن لایه و با استفاده از معادله ۱۵ و با اعمال ضریب کاهش جذب آب توسط ریشه (معادلات ۱۷ تا ۲۱) تخمین زده شده و در پایان جذب آب توسط گیاه از مجموع آب جذب شده از هر کدام از لایه‌ها شبیه سازی می‌شود. هم‌چنین تبخیر بالقوه و واقعی با استفاده از معادلات ۸ و ۱۰س تعیین می‌گردند. با حل معادله ریچادز در هر ساعت مقدار جریان عبوری از لایه آخر در عمق ۱/۸ متری به‌عنوان نفوذ عمقی در نظر گرفته می‌شود.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]



شکل ۱. مقایسه رطوبت های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده، در نیمرخ خاک و شاخص هم‌خوانی (d) در روزهای مختلف آزمایش در سال ۱۳۸۲

نتایج و بحث

ارزیابی مدل MSM

در این تحقیق اولین آبیاری در سال اول به مقدار ۱۵۰ میلی‌متر با هدف خیس کردن خاک مزرعه در تاریخ ۸۲/۳/۲۰ انجام گرفت. غیر از آبیاری اول، مقدار آب آبیاری متناسب با افزایش شاخص سطح برگ افزایش یافت. بنابراین در ۷۰ روز بعد از کاشت که بیشترین مقدار شاخص سطح برگ وجود داشت مقدار آب آبیاری برابر ۱۰۷ میلی‌متر شد. با کاهش شاخص سطح برگ، نیاز آبی ذرت نیز کاهش یافت و در آخرین آبیاری به ۴۲ میلی‌متر رسید. آخرین آبیاری در ۱۰۷روز بعد از کاشت انجام شد، زیرا در روزهای بعد، کاهش شدید در رطوبت خاک مزرعه مشاهده نگردید.

مدل MSM با در نظر گرفتن کود ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، مقادیر آب آبیاری داده شده در طول فصل رشد، پارامترهای هیدرولیکی خاک مزرعه، داده‌های هواشناسی لازم از قبیل حداقل و حداکثر روزانه دما و رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، ساعات آفتابی و مقدار بارندگی و سایر ورودی‌های لازم اجرا گردید.

در شکل ۱ مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت خاک در اعماق مختلف در برخی از روزهای قبل از آبیاری سال ۱۳۸۲ باهم مقایسه شده‌اند. مقایسه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده مقادیر رطوبت در اعماق مختلف خاک با شاخص همخوانی (۲۴) مطابق معادله (۲۲) نشان می‌دهد که مدل تخمین بسیار خوبی از رطوبت دارد.

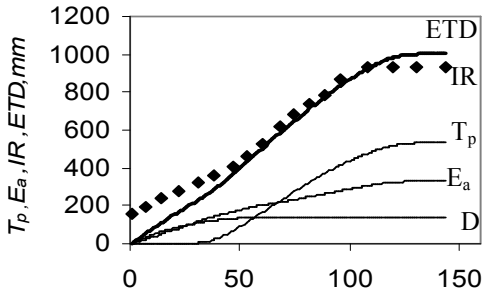
$$d = 1 - \frac{\sum_{1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{1}^{n}(|P_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2} \qquad 0 \le d \le 1 \quad [22]$$

که در آن d شاخص همخوانی مدل، n تعداد کل داده‌ها، i شماره داده، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده و $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشند. با توجه به شکل (۱) حداقل و حداکثر مقادیر d به‌ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۸۹ می‌باشد که نشان می‌دهد بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی وجود دارد. بنابراین این بخش از مدل نیازی به اصلاح ندارد.

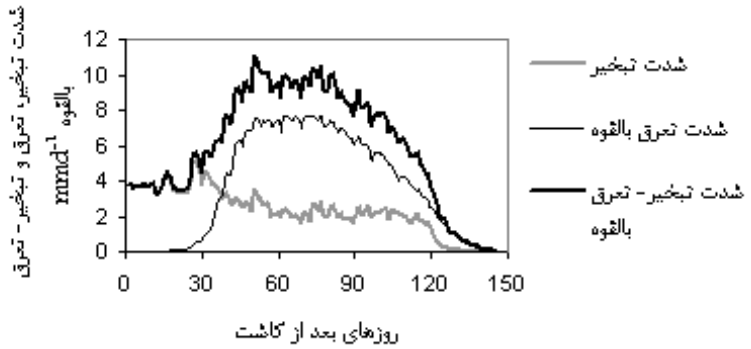
مقادیر تجمعی تبخیر- تعرق بالقوه ساعتی در شبانه روز (تبخیر- تعرق روزانه)، مقادیر روزانه تبخیر، تعرق بالقوه و نفوذ عمقی به‌سوسیله مدل پیش‌بینی گردید. مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر- تعرق بالقوه (ET_p)، تبخیر واقعی(E_a)، تعرق بالقوه

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]



شکل۲. مقادیر پیش‌بینی شده نفوذ عمقی (D)، تبخیر(E_a)، تعرق بالقوه (T_p)، مجموع تبخیر، تعرق بالقوه و نفوذ عمقی (ETD) توسط مدل MSM و مقادیر اندازه گیری شده آب آبیاری و بارندگی (IR) در سال ۱۳۸۲



شکل ۳ . شدت تبخیر، تعرق و تبخیر- تعرق بالقوه روزانه پیش‌بینی شده توسط مدل MSM در روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۸۲

(T_p)، نفوذ عمقی(D)، مجموع تبخیر- تعرق بالقوه و نفوذ عمقی(ETD) و مقدار آب آبیاری به‌کار رفته (IR) به‌صورت تجمعی در طول فصل رشد برای شرایط آبیاری کامل، در شکل (۲) نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود مقادیر (ETD) در شرایط آبیاری کامل با مقادیر تجمعی آب آبیاری به‌کار رفته هماهنگ می‌باشند. همان‌طوری که در شکل ۲ دیده می‌شود. مقدار تجمعی عمق آب آبیاری (IR) در انتهای فصل کمتر از مجموع ETD می‌باشد که نشان دهنده استفاده گیاه از رطوبت ذخیره شده در عمق ریشه در این مدت زمان می‌باشد.

در شکل (۳) مقادیر پیش‌بینی شده شدت تعرق بالقوه و شدت تبخیر از سطح خاک در طول فصل رشد در سال ۱۳۸۲ نشان داده شده است. بررسی نتایج شدت تبخیر و تعرق، نشان می‌دهد که حداکثر شدت تبخیر از سطح خاک برابر ۵/۱۱ میلی‌متر بر روز در ۲۷ روز بعد از کاشت اتفاق افتاده است. معمولاً در اوایل فصل رشد به دلیل پوشش گیاهی کم، میزان تبخیر از سطح خاک زیاد است. بررسی داده‌های هواشناسی نیز نشان داد که در اوایل فصل رشد، در ۲۷ روز بعد از کاشت حداکثر و حداقل دمای هوا به‌ترتیب ۳۷ و ۱۹ درجه سانتی‌گراد بوده که گرمتر از سایر روزهای قبلی می‌باشد. حداکثر شدت تعرق بالقوه در ۷۳ روز بعد از کاشت برابر ۷/۷ میلی‌متر بر روز اتفاق افتاده است. زندپارسا (۲۵) حداکثر شدت تعرق بالقوه ذرت در تیماری با آبیاری کامل را برابر ۸/۱۹ میلی‌متر بر روز در۶۷ روز بعد از کاشت گزارش کرده است. در این پژوهش حداکثر شدت مجموع تبخیر و تعرق روزانه در ۵۱ روز بعد از کاشت برابر ۱۱/۰۵ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. در گزارش

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

زندپارسا (۲۵) حداکثر شدت تبخیر- تعرق در یک تیمار با آب و کود کافی برابر۱۰/۸۸ میلی‌متر بر روز به‌دست آمده است. هاول و همکاران (۱۳) حداکثر شدت تبخیر- تعرق ذرت را درکشت سال ۱۹۸۹ در منطقه بوشلند تگزاس با آب هوای تقریباً شبیه محل آزمایش نزدیک به ۱۲ میلی‌متر بر روز گزارش کردند.

افزایش تبخیر از سطح خاک در بعد از هر آبیاری، ناشی از افزایش ناگهانی رطوبت خاک می‌باشد که با خشک شدن مجدد لایه سطحی خاک، مقدار تبخیر کاهش می‌یابد (شکل ۳). افزایش یا کاهش جزئی شدت تبخیر و تعرق می‌تواند ناشی از کم یا زیاد شدن رطوبت نسبی هوا، سرعت باد، دمای هوا و ساعات آفتابی در آن روز خاص باشد.

مطابق شکل ۲، مدل MSM مقدار تجمعی تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت را در فصل رشد سال ۱۳۸۲ در شرایط آبیاری کامل برابر ۸۶۳ میلی‌متر تخمین زده است. اسدی (۱) با استفاده از لایسیمتر بیلان آبی مقدار تبخیر- تعرق بالقوه ذرت را ۸۲۸ میلی‌متر برای منطقه کرکج تبریز به‌دست آورد. زندپارسا (۲۵)، سپاسخواه و خواجه‌عبدالهی (۱۹) و سپاسخواه و پرند (۱۸) مقدار تبخیر- تعرق بالقوه ذرت را برای منطقه باجگاه در سال‌های ۱۹۹۹، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۵ به‌ترتیب برابر۸۷۰، ۱۰۷۲ و ۱۰۲۳ میلی‌متر گزارش کرده‌اند.

با توجه به تخمین مناسب رطوبت خاک در روزهای قبل از آبیاری (شکل۱) و با توجه به توانایی پیش‌بینی تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت، می‌توان گفت که مدل MSM تخمین بسیار خوبی از تبخیر- تعرق بالقوه ارائه می‌دهد و در نتیجه زیر برنامه تبخیر- تعرق مدل نیازی به اصلاح ندارد.

سنجش اعتبار مدل

برای سنجش اعتبار مدل، آزمایشی مشابه سال ۱۳۸۲ در سال ۱۳۸۳ انجام شد. در شکل ۴ مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده رطوبت در عمق‌های مختلف خاک و در روزهای مختلف در سال ۱۳۸۳ باهم مقایسه شده‌اند. مقادیر d برای روزهای مختلف مورد مقایسه در سال دوم به‌ترتیب از ۰/۵۵ تا ۰/۹۰ تغییر می‌کند. رضایت بخش بودن مقادیر شاخص همخوانی مدل در اغلب موارد، اعتبار مدل MSM را در پیش‌بینی رطوبت خاک تأیید می‌کند.

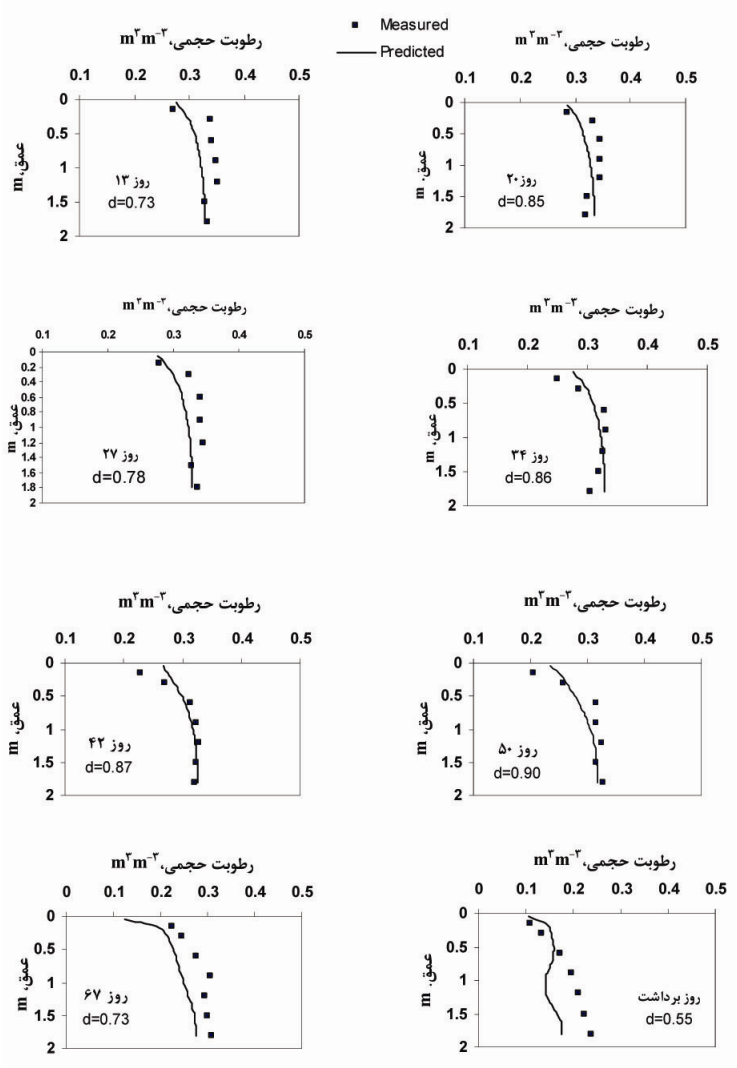
مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر از سطح خاک (E_a)، تعرق بالقوه (T_p)، نفوذ عمقی(D)، مجموع تبخیر، تعرق بالقوه و نفوذ عمقی (ETD) و مقادیر اندازه گیری شده آب آبیاری و بارندگی (IR) در سال ۱۳۸۳ در شکل ۵ نشان داده شده است. در اوایل فصل رشد مجموع آب آبیاری و بارندگی بیشتر از مجموع تبخیر، تعرق بالقوه و نفوذ عمقی بوده است. دلیل این امر می‌تواند ناشی از آبیاری اول باشد که به دلیل خیس کردن کامل خاک، آب زیادی در اختیار مزرعه قرار داده شد.

شکل ۵ نشان می‌دهد که به‌جز اوایل فصل رشد، در اغلب مواقع، تقریباً منحنی IR منطبق بر منحنی ETD می‌باشد. این مسأله دریافت آب به اندازه نیاز و نبود تنش در مزرعه را تأیید می‌نماید. پایین افتادن اندک منحنی IR از منحنی ETD در انتهای این فصل، احتمالاً به علت قطع آبیاری در ۱۰۸ روز بعد از کاشت بوده است. بعد از آبیاری آخر تا هنگام برداشت (بین ۱۰۸ تا ۱۴۴ روز بعد از کاشت) گیاه از رطوبت ذخیره شده در خاک استفاده کرده است. در سال ۱۳۸۳ مقدار آب آبیاری برابر ۹۷۷ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید و مقادیر پیش‌بینی شده تجمعی تبخیر- تعرق بالقوه، تعرق بالقوه و تبخیر از سطح خاک توسط مدل MSM به‌ترتیب برابر ۸۳۲، ۵۱۵، ۳۱۴ میلی‌متر پیش‌بینی شد.

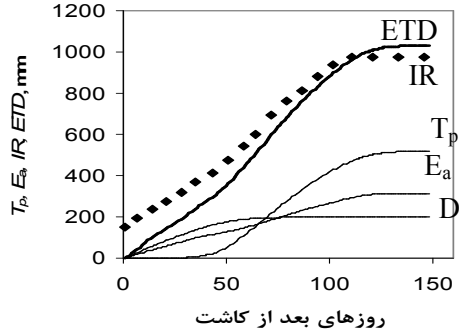
مقادیر پیش‌بینی شده شدت تبخیر- تعرق، تعرق بالقوه و تبخیر در شکل ۶ نشان داده شده است. بررسی نتایج شدت تبخیر- تعرق، تعرق بالقوه و تبخیر نشان داد که در سال ۱۳۸۳، حداکثر شدت تبخیر برابر ۳/۹۹ میلی‌متر بر روز است. حداکثر شدت تعرق بالقوه در ۶۹ روز بعد از کاشت برابر ۸/۹۸ میلی‌متر بر روز پیش‌بینی شده است. در سال ۱۳۸۳ حداکثر شدت تبخیر- تعرق بالقوه روزانه در ۶۹ روز بعد از کاشت برابر ۱۲/۹۶ میلی‌متر بر روز توسط مدلMSM پیش‌بینی شده است.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

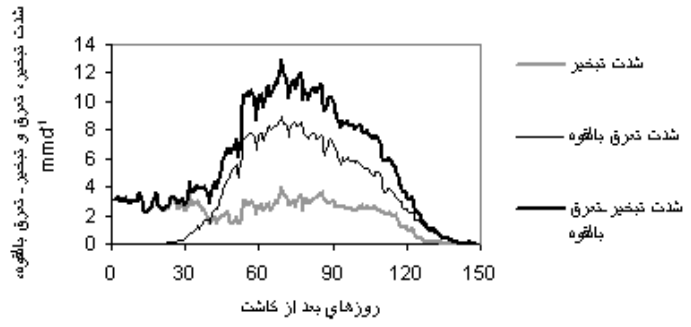
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]



شکل۴ . مقایسه رطوبت‌های اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده خاک در اعماق و روزهای مختلف بعد از کاشت به همراه شاخص هم‌خوانی (d) در سال ۱۳۸۳



شکل۵ . مقادیر پیش‌بینی شده نفوذ عمقی (D)، تبخیر از سطح خاک (Ea)، تعرق بالقوه (Tp)، مجموع تبخیر، تعرق و نفوذ عمقی (ETD) توسط مدل MSM و مقادیر اندازه‌گیری شده آب آبیاری و بارندگی (IR) در سال۱۳۸۳



شکل۶ . شدت تبخیر، تعرق و تبخیر- تعرق بالقوه روزانه پیش‌بینی شده توسط مدل MSM در روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۸۳

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

تخمین تبخیر- تعرق ذرت با استفاده از روش پنمن- مانتیث با اعمال ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه

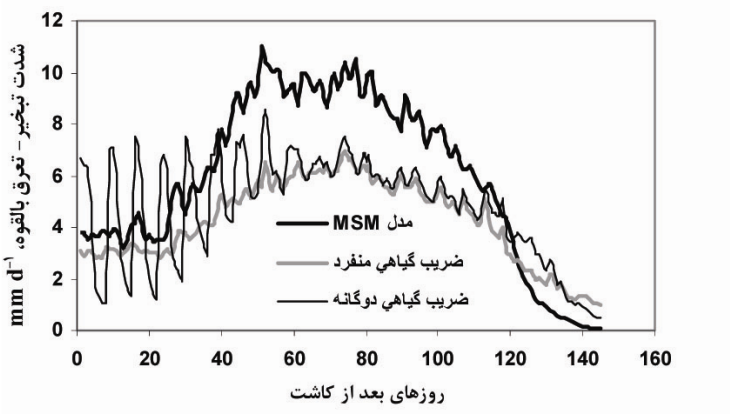
در این قسمت مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه فصلی ذرت در محل آزمایش با استفاده از اطلاعات هواشناسی دو سال آزمایش، با روش‌های پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ (۷) محاسبه گردید. برای محاسبه تبخیر- تعرق بالقوه ذرت بروش ضریب گیاهی دوگانه طبق توصیه نشریه فائو-۵۶ دوره رشد ذرت دانه‌ای ۱۴۰ روز در نظر گرفته شد. محدوده دوره‌های رشد شامل دوره ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی از روی جدول نشریه فائو ۵۶ به‌ترتیب برابر ۲۵، ۴۰، ۴۵ و ۳۰ در نظر گرفته شدند که با شرایط آزمایش نیز مطابقت داشت. طبق توصیه نشریه فائو ۵۶ مقدار Kc_{ini} بر اساس دور، مقدار آب آبیاری و بافت خاک و مقادیر Kc_{mid}، Kc_{end} و Kcb_{mid} بر اساس ارتفاع گیاه، حداقل رطوبت نسبی هوا و سرعت متوسط باد باید اصلاح شوند. چون در منطقه مورد مطالعه، حداقل رطوبت نسبی متفاوت از ۴۵ درصد و متوسط سرعت باد روزانه متفاوت از ۲ متر بر ثانیه می‌باشند. لذا اصلاحات فوق روی ضرایب گیاهی انجام گرفت. مقادیر اصلاح شده ضریب گیاهی منفرد در دوره‌های فوق طبق نشریه فائو ۵۶ به‌ترتیب برابر ۰/۵۵، ۱/۲۴ و ۰/۳۵ منظور شدند. ضرایب گیاهی پایه (Basal crop coefficient) اصلاح شده برای محاسبه تبخیر- تعرق بالقوه از روش ضریب گیاهی دوگانه برای دوره‌های اولیه، میانی و پایانی طبق توصیه نشریه فائو ۵۶ به‌ترتیب برابر ۰/۱۵، ۱/۱۹ و ۰/۱۵ در نظر گرفته شدند. در محاسبات مربوط به تعیین تبخیر- تعرق بالقوه با اعمال ضریب گیاهی دوگانه، نسبت سطح خیس شده خاک در هر آبیاری برابر ۰/۸ و ضخامت لایه تبخیر برابر ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شدند.

مقادیر تبخیر— تعرق بالقوه فصلی ذرت در این منطقه بر اساس روش پنمن- مانتیث نشریه فائو۵۶ (۷) با اعمال ضریب گیاهی منفرد برای سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌ترتیب برابر ۶۱۵ و ۶۳۲ میلی‌مترتخمین زده شدند. هم‌چنین مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه، تعرق بالقوه گیاه ذرت و تبخیر از سطح خاک با استفاده از روش ضریب گیاهی دوگانه به‌ترتیب در سال اول برابر۶۹۳، ۴۸۹ و ۲۰۵ میلی‌متر و در سال دوم برابر ۷۰۰، ۴۸۷ و ۲۱۳ میلی‌متر تخمین زده شدند. با توجه به مقادیر آب آبیاری لازم براساس تأمین رطوبت خاک تا حد ظرفیت زراعی، در این آزمایش و مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر- تعرق بالقوه و مقایسه آن با سایر مقادیر گزارش شده در مناطق دیگر، می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های توصیه شده پنمن- مانتیث در نشریه فائو ۵۶ با اعمال ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه، مقدار تبخیر- تعرق بالقوه گیاه ذرت را در منطقه پژوهش به‌ترتیب ۲۶ و ۱۸ درصد کمتر از مدل MSM برآورد می‌کنند. این نتیجه با نتایجی که برای گیاهان دیگر در منطقه باجگاه ارائه شده مطابقت دارد. سپاسخواه (۲) با بررسی تبخیر- تعرق گیاه لوبیا چشم بلبلی به این نتیجه رسید که رابطه پنمن- مانتیث مقدار تبخیر- تعرق را کمتر برآورد می‌کند. مالک و سپاسخواه (۴) نتیجه گرفتند که به علت وجود ادوکسیون در منطقه پژوهش مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه یونجه محاسبه شده با روش پنمن اصلاح شده فائو ۲۴ کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده با لایسیمتر بود. در شکل ۷ شدت تبخیر- تعرق بالقوه پیش‌بینی شده با مدل MSM، ضریب گیاهی دوگانه و منفرد در سال آزمایشی ۱۳۸۲ نشان داده شده است. همان‌طوری که از این شکل پیداست مدل MSM شدت تبخیر- تعرق را بالاتر از دو روش دیگر برآورد کرده است. یکی از علت‌های کمتر برآورد شدن تبخیر- تعرق پتانسیل ذرت توسط روش‌های توصیه شده در فائو ۵۶، می‌تواند وجود ادوکسیون در منطقه باشد. هرچه برگ‌های گیاه در ارتفاع بالاتری از سطح زمین قرار گیرند، اثر ادوکسیون بیشتر است. در مدل MSM، مستقیماً با استفاده از معادله پنمن مانتیث و بدون استفاده از تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع و ضریب گیاهی مقدار Et_p تخمین زده شده است.

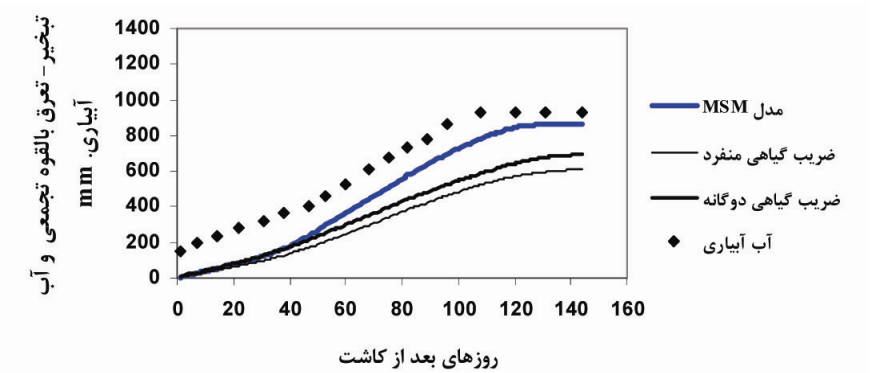
در شکل‌های ۸ و ۹ مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه تجمعی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل MSM، ضریب گیاهی دوگانه و منفرد برای دو سال آزمایش در مقایسه با مقادیر آب آبیاری به‌کار برده شده نشان داده شده است. مقایسه شکل‌های فوق

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

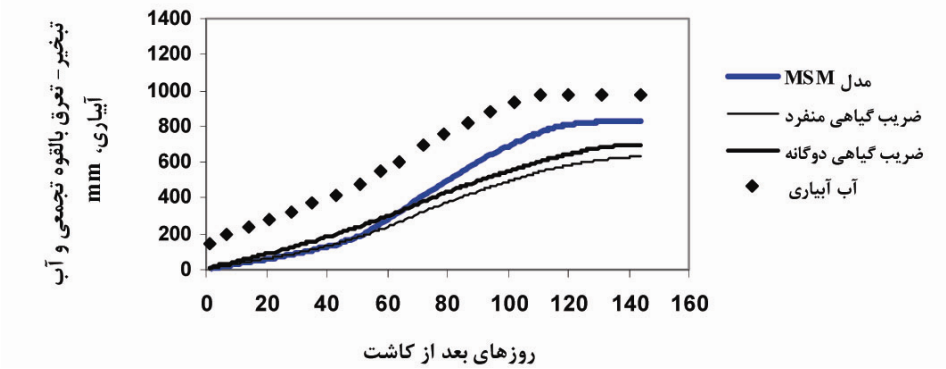
[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]



شکل۷ . مقایسه شدت تبخیر- تعرق پیش‌بینی شده با سه روش مدل MSM ، ضریب گیاهی دوگانه و منفرد برای سال۱۳۸۲



شکل۸ . مقایسه مقادیر تبخیر- تعرق بالقوه تجمعی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل MSM، ضرایب گیاهی دوگانه و منفرد پیشنهادی فائو ۵۶ با مقادیر آب آبیاری برای سال۱۳۸۲



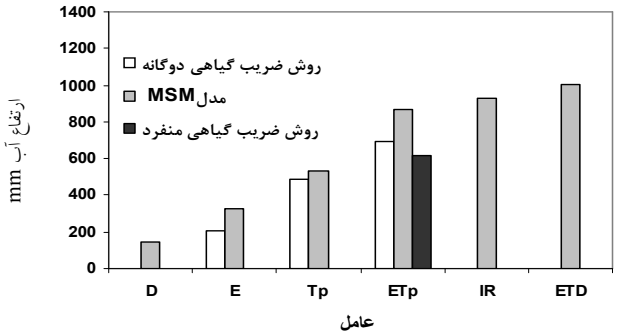
شکل ۹. مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق بالقوه تجمعی پیش‌بینی شده با استفاده از مدل MSM، ضرایب گیاهی دوگانه و منفرد پیشنهادی فائو ۵۶ با مقادیر آب آبیاری برای سال۱۳۸۳

نشان می‌دهد که مدل MSM شدت و مقدار تجمعی تبخیر- تعرق بالقوه را بالاتر از دو روش پیشنهادی نشریه فائو۵۶ پیش‌بینی می‌کند.

در شکل ۱۰ مقادیر تبخیر از سطح خاک (E_a)، تعرق بالقوه (T_p)، نفوذ عمقی(D) و مجموع تبخیر، تعرق و نفوذ عمقی(ETD) پیش‌بینی شده توسط مدل MSM، مجموع آب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]



شکل ۱۰ . مقایسه مقادیر فصلی تبخیر- تعرق پتانسیل بالقوه(ET_p)، تعرق بالقوه (T_p)، تبخیر از سطح خاک (E_a)، نفوذ عمقی (D) و مجموع تبخیر- تعرق بالقوه و نفوذ عمقی (ETD) محاسبه شده از روش‌های مختلف با مقادیر اندازه‌گیری شده عمق آب آبیاری IR در سال ۱۳۸۲

آبیاری و بارندگی (IR) به‌کار رفته، مقادیر پیش‌بینی شده تبخیر از سطح خاک، تبخیر- تعرق بالقوه و تعرق بالقوه پیش‌بینی شده توسط روش ضریب گیاهی دوگانه و تبخیر- تعرق بالقوه پیش‌بینی شده با اعمال ضریب گیاهی منفرد در سال ۱۳۸۲ باهم مقایسه شده‌اند. مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده ET_P با سه روش مورد بحث در هر دو شکل نشان می‌دهد که مقدار ET_P پیش‌بینی شده توسط روش ضریب گیاهی دوگانه به نتایج مدل MSM نزدیک‌تر است و روش ضریب گیاهی منفرد نسبت به دو روش مورد بررسی در این پژوهش، مقدار تبخیر- تعرق بالقوه را برای این منطقه کمتر برآورد می‌کند.

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج رطوبت خاک اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده توسط مدل MSM در اعماق و روزهای مختلف بعد از کاشت در سال ۱۳۸۲ نشان داد که زیر برنامه‌های تخمین رطوبت در اعماق مختلف خاک و در نتیجه تبخیر- تعرق بالقوه نیازی به اصلاح ندارد. مقایسه مقادیر فوق در سال دوم آزمایش نیز نشان داد که مقادیر رطوبت خاک در اعماق مختلف و تبخیر- تعرق بالقوه پیش‌بینی شده توسط مدل مورد تأیید می‌باشد. مدل MSM مقدار تبخیر- تعرق بالقوه ذرت در اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز را در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌ترتیب برابر ۸۶۳ و ۸۳۲ میلی‌متر برآورد کرد. مقایسه مقادیر ET_P پیش‌بینی شده با مدل MSM و روش‌های ضریب گیاهی دوگانه و منفرد فائو ۵۶ نشان داد که مدل MSM تخمین بهتری دارد. مقادیر تخمین زده شده تبخیر- تعرق بالقوه در روش فائو ۵۶ با روش ضریب گیاهی دوگانه برای سال‌های۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌ترتیب برابر ۶۹۳ و ۷۰۰ میلی‌متر و با روش ضریب گیاهی منفرد به‌ترتیب برابر ۶۱۵ و ۶۳۲ میلی‌متر تخمین زده شدند. در کل معادله فائو ۵۶ مقدار تبخیر- تعرق بالقوه را در منطقه مورد مطالعه کم برآورد می‌کند.

سپاسگزاری

این پژوهش بخشی از طرح تحقیقاتی شماره C۲۲۸ -۱۵۷۰- AG-۸۱ بوده و با حمایت مالی معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شیراز انجام شده است که بدین وسیله از آن معاونت تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. اسدی، ا. ۱۳۸۱. اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از لایسیمتر و مقایسه با مدل‌های مختلف بر آورد تبخیر و تعرق در منطقه کرکج تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]

۲. سپاسخواه، ع. ر. ۱۳۷۸. نگرشی دوباره بر روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق گیاهان زراعی. مجموعه مقالات هفتمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳. سپاسخواه، ع. ر.، ع. الف. کامگار حقیقی، م. ج. ناظم السادات و س. ایلام پور. ۱۳۷۲. رابطه بین تابع تولید محصول و تبخیر- تعرق و برنامه‌بندی آبیاری گندم، چغندر قند، لوبیا و ذرت. گزارش طرح پژوهشی، معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز.

۴. مالک، ا. و ع. ر. سپاسخواه. ۱۳۶۰. بررسی ادوکسیون در منطقه باجگاه. مجله علوم کشاورزی ایران ۱۲: ۲۹-۴۱.

۵. مجنونی هریس، الف.، ش. زندپارسا، ع. ر. سپاسخواه و ع. الف. کامگار حقیقی. ۱۳۸۴. پیش‌بینی خصوصیات هیدرولیکی خاک با روش معکوس در شرایط مزرعه‌ای. مجموعه مقالات نهمین کنگره علوم خاک ایران، جلد دوم، کرج.

6. Allen, R. G. and W. O. Pruitt. 1986. Rational use of the FAO Blaney Criddle formula. J. Irrig. and Drain. Eng. 112(2): 139-155.
7. Allen, R. G., L. S. Pereira D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration Guideline for computing crop water requirements. FAO irrigation and drainage paper, No. 56 Rome.
8. Amatya, D. M., R W. Skaggs and J. D. Gregory. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. J. Irrig. and Drain. Eng. 121(6): 427-435.
9. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO. Irrigation and drainage paper No. 24 Rome.
10. Duncan, W.G., R.S. Loomis, W.A. Williames and R. Hanau. 1967. A model for simulating in plant communities. Hilgardia 38(2): 181-205.
11. Feddes, R.A., P.J. Kowalik, K.K. Malink and H. Zaradny. 1976. Simulation of field water uptake by plant using a soil water dependent root extraction function. J. Hydrol. 31: 13-26.
12. Hanks, R.J. and G.L. Asheroft. 1980. Applied Soil Physics (Advanced Series in Agricultural Science). Springer-Velag, New York.
13. Howell, T.A., J.L. Steiner, A.D. Schneider, S.R. Evett and J.A. Tolk. 1997. Seasonal and maximum dialy evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum, and corn- southern high plains. Trans., ASAE 40(3):623-634.
14. Howell, T.A., J.L. Steiner, A.D. Sechneider, S.R. Evert and J.A. Tolk. 1990. Seasonal and maximum daily evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum, and corn southern high plain. Trans. ASAE 40(3): 623-634.
15. Jenson, M. E. and H. R. Haise. 1963. Estimating evapotranspiration from radiation. J. Irrig. and Drain. Div., ASAE. 89(IR4):15-41.
16. Mathur, S. and S. Rae 1999. Modeling water uptake by plant root. J. Irrig. Drain. 125:159-165.
17. Montith, J. L. 1965. Evaporation and Environment. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology, University Press, Cambridge 19: 205-234.
18. Sepaskhah, A. R. and A. R. Parand. 2006. Alternative furrow irrigation with supplemental every furrow irrigation at different growth for maize. Plant Prod. Sci. 9(4): 415-421.
19. Sepaskhah, A. R. and M. H. Khajehabdollahi. 2005. Alternative furrow irrigation with different irrigation intervals for maize (*Zea mays* L.). Plant Prod. Sci. (5): 592-600.
20. Sinclair, T.R. and T. Hoire 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. Crop Sci. 29:90-98.
21. Stockle, C. and G. Campbell. 1985. A simulation model for predicting effect of water stress on yield: An example using corn. Advance in Irrig. 3: 283-311.
22. van Bavel, C. H. M. and D. Hillel. 1976. Calculating potential and actual evaporation from a bare soil surface by simulation of concurrent flow of water and heat. Agric. Meteorol. 17:435-476.
23. van Genuchten, M.T.H. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892-898.
24. Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bull. Am. Meteorol. Soc. 63:1309-1313.
25. Zand-Parsa, SH. 2001. A simulation model for prediction of water and nitrogen effects on corn yield. Ph. D. Thesis, Irrigation Department, Shiraz University.
26. Zand-Parsa, Sh., A.R. Sepaskhah and A. Rownaghi. 2006. Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize. Agric. Water Manag. 81: 227-256.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-26]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1386.11.41.3.0]