تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۹، آذر ۱۴۰۰ (ص ۲۳۷۱-۲۳۵۹)
https://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2021.326814.669018 (علمی - پژوهشی)

Estimating Silage Maize Crop Coefficient and Water Stress Coefficient under Different Irrigation Levels using Soil Water Balance Method (Case Study: Varamin Region)

IMAN HAJIRAD[1], SEYED MAJID MIRLATIFI[1*], HOSSEIN DEHGHANISANIJ[2], SANAZ MOHAMMADI[1]
1. Water Management and Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
(Received: July. 5, 2021- Revised: Aug. 22, 2021- Accepted: Aug. 28, 2021)

ABSTRACT

The Crop coefficient (Kc) is one of the most important parameters in irrigation scheduling. The purpose of this study is to determine silage maize Kc under different irrigation levels using the soil water balance method and presenting the equations for estimating silage maize crop coefficients in terms of the days after sowing during the summer growing season in the Varamin region. The Kc was calculated from the division of actual evapotranspiration (ETa) to reference evapotranspiration (ETo). Soil water balance equation was used to determine silage maize ETa during the growing season. An experiment in the form of split-strip plots based on a randomized complete block design with three replications was conducted in 2019. The main factor included three levels of irrigation, supplying 100, 80, and 60% of maize water requirement (I1, I2, and I3, respectively) and the sub-main factor included two types of irrigation management: pulsed (P) and continuous (C). The value of ETa calculated from the soil water balance method for different treatments ranged from 319.6 to 242.5 mm. Also, the value of irrigation depth during the growing season for full and deficit irrigation treatments ranged from 325 to 195 mm. The mean values of silage maize crop coefficient for initial, middle and final growing stages of full irrigation treatments were 0.27, 1.04, and 0.89, respectively. The water stress coefficients were calculated for deficit irrigation treatments during the growing season. Statistical analysis between ETc calculated from Kc values obtained from the proposed equation in this study and Ks values and Eta obtained from the water balance method indicated that the proposed Kc equation and Ks values in this study have good accuracy in the research area. Therefore, the extracted Ks and proposed Kc equations can be used to estimate silage maize evapotranspiration in the studied region with good accuracy.

Keywords: Actual Evapotranspiration, Pulsed Drip Irrigation, FAO-Penman-Monteith, Irrigation Levels.

[*]Corresponding Author's Email: Mirlat_m@modares.ac.ir

برآورد ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری به روش بیلان آب خاک (مطالعه موردی: دشت ورامین)

ایمان حاجی‌راد[۱]، سید مجید میرلطیفی[۱*]، حسین دهقانی سانیج[۲]، ساناز محمدی[۱]

۱. گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۴- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۵/۳۱- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۶/۶)

چکیده

ضریب گیاهی (k_c) یکی از پارامترهای بسیار مهم و ضروری در تدوین برنامه‌ریزی آبیاری به‌شمار می‌آید. هدف از این پژوهش برآورد ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری به روش بیلان آب خاک و ارائه معادله برآورد ضریب گیاهی بر حسب روزهای پس از کاشت (DAS) برای دوره‌ی تابستانه در منطقه ورامین است. در این راستا ضریب گیاهی (k_c) از تقسیم تبخیر-تعرق واقعی (ET_a) به تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) محاسبه شد. برای تعیین تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ET_a) در طول دوره رشد از معادله بیلان آب خاک استفاده شد. آزمایش‌ها در قالب کرت‌های نواری خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در منطقه پیشوای ورامین اجرا شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (I_1، I_2 وI_3) و فاکتور فرعی شامل دو سطح مدیریت آبیاری پالسی(P) و پیوسته (C) بودند. مقادیر تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک برای سطوح مختلف آبیاری از ۲۴۲/۵ تا ۳۱۹/۶ متغیر بود. هم‌چنین میزان آب مصرفی در طول دوره رشد برای تیمار آبیاری کامل و تیمارهای کم‌آبیاری در محدوده ۳۲۵ و ۱۹۵ میلی‌متر بود. مقادیر میانگین ضرایب گیاهی مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد برای تیمارهای آزمایشی آبیاری کامل به‌ترتیب ۰/۲۷، ۱/۰۴ و ۰/۸۹ به‌دست آمد. برای تیمارهای کم‌آبیاری نیز مقادیر ضرایب تنش آبی در طی دوره رشد محاسبه گردید. بررسی آماری بین مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ارائه شده در پژوهش حاضر و ضرایب تنش آبی و مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب خاک حاکی از دقت قابل قبول معادله و ضرایب ارائه شده در منطقه مطالعاتی داشت. بنابراین برای برآورد هرچه دقیق‌تر تبخیر-تعرق گیاه ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد نظر می‌توان از معادله ضریب گیاهی ارائه شده در این پژوهش استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق واقعی، فائو- پنمن- مانتیث، آبیاری قطره‌ای پالسی، سطوح آبیاری.

مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین منابع مورد استفاده جامعه بشری بوده و موضوع چگونگی حفظ این منبع حیاتی و بهره‌برداری از آن، یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر است. کشور ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار دارد. کمبود آب از عوامل محدود کننده کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان محسوب می‌شود. در شرایط محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی اراضی قابل کشت، که شرایط حاکم بر اکثر مناطق ایران است، باید بر بالا بردن تولید به ازای واحد آب مصرفی و استفاده‌ی بهینه از این منابع متمرکز شد (Sepaskhah *et al.*, 2006). یکی از مؤلفه‌های مهم و ضروری در این راستا تخمین دقیق آب مورد نیاز گیاهان و اعمال مدیریت‌های مختلف در مزرعه به‌منظور افزایش بهره‌وری آب می‌باشد. یکی از روش‌های مدیریتی مورد استفاده در سیستم-های آبیاری قطره‌ای اعمال مدیریت پالسی می‌باشد. مدیریت آبیاری پالسی شامل یک سری چرخه‌های آبیاری است که هر چرخه شامل یک فاز آبیاری[۱] (وصل) و یک فاز استراحت[۲] (قطع) می‌باشد که سیکل آبیاری-استراحت تا زمانی که تمام آب مورد نیاز وارد مزرعه شود، تکرار می‌گردد (Eric *et al.*, 2004). اگر میـزان نیاز آبی گیاه کم‌برآورد شود، باعث اعمـال تنش در گیاهان و کاهش سوددهی مزارع می‌گردد و در صورت بیش‌برآورد منجر به کاهش راندمان کاربرد آب و افزایش تلفات آبیاری خواهد شد (Kerdabadi *et al.*, 2016). بدین منظور سازمان خوار و بار جهانی (فائو) برای برآورد تبخیر - تعرق گیاهان مختلف، ضرایب گیاهی (k_c) را پیشنهاد نموده است. با توجه به این که تعیین تبخیر-

* نویسنده مسئول: Mirlat_m@modares.ac.ir

تعرق گیاهان به روش مستقیم نیاز به صرف وقت و هزینه بالا دارد، در برآورد تبخیر- تعرق گیاهان اغلب از این ضرایب استفاده می‌شود. این ضریب به‌منظور برنامه‌ریزی، طراحی سیستم‌های آبیاری، مدیریت صحیح آبیاری و زمان مناسب آبیاری حائز اهمیت است. ضریب گیاهی، نسبت تبخیر-تعرق واقعی گیاه (ET_a[1]) به تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o[2]) است (Allen *et al.*, 1998; Doorenbos and Kassam, 1977). معمولاً برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع از معادله فائو-پنمن-مانتیث که توسط فائو توصیه شده است استفاده می‌شود (Allen *et al.*, 1998) و برای محاسبه تبخیر- تعرق واقعی گیاه معمولاً از لایسیمتر نصب شده در مزرعه استفاده می‌شود (Benli *et al.*, 2006; Miranda *et al.*, 2006; Williams and Ayars, 2005) و زمانی که دسترسی به لایسیمتر در مزرعه مشکل باشد از روش بیلان آب خاک[3] (WB) استفاده خواهد شد (Azizi-Zohan *et al.*, 2008; Kar *et al.*,2007). ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد متفاوت می‌باشد. مقدار ضریب گیاهی به عوامل مختلفی هم‌چون نوع گیاه، ویژگی‌های خاک، مراحل رشد، وضعیت رطوبتی خاک، شرایط آب و هوایی، مدیریت آب و گیاه بستگی دارد و در طول دوره رشد متغیر است (Allen *et al.*, 1998; Payero *et al.*, 2011). Rasool *et al.*, (2020) در پژوهشی اثر دو روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری فارو را بر رشد، عملکرد و بهره‌وری آب ذرت تحت سطوح مختلف آبیاری در منطقه واقع در فیصل‌آباد پاکستان مورد بررسی قرار دادند. تیمارهای این پژوهش شامل چهار سطح آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۹۰، ۷۵ و ۶۰ درصد نیاز آبی کامل) بودند. آن‌ها میزان آب مصرفی برای یک فصل رشد تحت سیستم آبیاری قطره‌ای را بین ۴۰۷ تا ۲۷۵ برای سطوح مختلف آبیاری گزارش کردند. هم‌چنین ضرایب گیاهی استفاده شده در این پژوهش در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲۰ و ۰/۷ بودند. Bafkar *et al.*, (2013) مطالعه‌ای را تحت عنوان برآورد ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای با استفاده از خصوصیات فیزیولوژیکی گیاه در طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در ایستگاه لایسیمتری مرکز تحقیقات جهاد کشاورزی استان کرمانشاه به انجام رساندند. تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از داده‌های لایسیمتری اندازه‌گیری شد. میزان متوسط تبخیر-تعرق گیاه مرجع و تبخیر-تعرق واقعی گیاه ذرت در طول فصول کشت به ترتیب برابر ۹۱۳ و ۷۴۳ میلی-متر گزارش شد. هم‌چنین در این پژوهش در مراحل مختلف رشد گیاه ذرت یعنی مراحل ابتدایی، میانی و نهایی، ضریب گیاهی در طی دو سال به‌طور متوسط به ترتیب برابر ۰/۵، ۱/۲۲ و ۰/۸۹ گزارش شد. Piccinni *et al.* (2009) پژوهشی را با هدف تعیین میزان آب مصرفی و ضرایب گیاهی در مراحل مختلف فنولوژی گیاه ذرت تحت سیستم آبیاری بارانی لپا در ایستگاه لایسیمتری منطقه وینگیت تگزاس انجام دادند. نتایج نشان داد که محدوده ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد بین ۰/۲ تا ۱/۲ متغیر بود. هم‌چنین در این پژوهش میزان آب مصرفی تجمعی برای ذرت بین ۴۴۱ و ۶۴۱ میلی‌متر برای یک فصل زراعی گزارش شد. Azari *et al.*, (2007) پژوهشی را تحت عنوان بررسی عملکرد گیاه ذرت در روش آبیاری قطره‌ای نواری مورد ارزیابی قرار دادند. تیمارهای این پژوهش شامل سطوح آبیاری تأمین ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ نیاز آبی گیاه بودند. آن‌ها ضرایب گیاهی را برای مراحل اولیه، میانی و نهایی به‌ترتیب ۰/۵، ۱/۱۵ و ۰/۶ گزارش کردند. Alijan *et al.*, (2011) نیز ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای را با استفاده از روش بیلان آبی در مرحله ابتدائی، میانی و نهایی رشد به‌ترتیب برابر ۰/۵، ۱/۲۲ و ۰/۸۹ گزارش کردند. Gao *et al.*, (2009) مقادیر ضریب گیاهی ذرت بهاره را برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی برای دو فصل زراعی تحت سیستم آبیاری سطحی در چین به‌ترتیب برابر ۰/۳۶ - ۰/۳۷، ۱/۱۸-۱/۱۹ و ۰/۲۲-۰/۲۸ گزارش کردند. Mohammadi *et al.*, (2021) مقادیر ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای را تحت مدیریت‌های مختلف پالسی برای دو دوره رشد بهاره و تابستانه برآورد کردند. نتایج نشان داد که مقادیر ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد در منطقه‌ای مشخص با تاریخ کاشت مختلف می‌تواند متفاوت باشد. درنتیجه استخراج ضریب گیاهی مختص هر منطقه برای شرایط اقلیمی و زمان‌های کاشت مختلف جهت محاسبه هرچه دقیق‌تر پارامتر تبخیر-تعرق گیاه ضروری است. باتوجه به این‌که در کشور ما پژوهشی در رابطه با اعمال مدیریت پالسی تحت سطوح آبیاری مختلف در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای انجام نشده است لذا هدف از انجام این پژوهش اندازه‌گیری تبخیر- تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (ET_a) و ضریب گیاهی آن به روش بیلان آب خاک در منطقه نیمه‌خشک ورامین می‌باشد. هم‌چنین جهت بررسی دقت مقادیر ضریب گیاهی محلی به‌دست آمده به‌روش بیلان آب خاک در این تحقیق، مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای با استفاده از ضرایب گیاهی محلی با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش

1. Actual Evapotranspiration
2. Reference Evapotranspiration
3. Soil Water Balance

بیلان آب خاک مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

پژوهش حاضر در تابستان ۱۳۹۸ در زمینی به مساحت ۱۳۰۰ مترمربع در مزرعه پژوهشی مجموعه دامپروری صفاری - صالحی واقع در منطقه پیشوای ورامین با طول و عرض جغرافیایی به‌ترتیب "۴۲/۸ ′ ۴۱ °۵۱ شرقی و "۵۱/۹ ′ ۱۹ °۳۵ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر انجام شد. میانگین مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه هواشناسی ورامین ۱۶۰ میلی‌متر، میانگین دمای بیشینه و کمینه روزانه به‌ترتیب ۴۳/۲ و ۷/۱- درجه سانتی‌گراد است. مقادیر برخی پارامترهای هواشناسی منطقه مطالعاتی در طی فصل رشد در جدول (۱) ارائه شده است. تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح آبیاری به صورت آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کم‌آبیاری (تأمین ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو سطح مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. بذر ذرت علوفه‌ای رقم ZP۶۰۶ در تاریخ ۲۸ تیرماه ۱۳۹۸ با استفاده از دستگاه بذرکار پنوماتیک در عمق ۵ سانتی‌متری خاک کشت و برداشت محصول نیز حدود ۹۵ روز بعد انجام شد. تراکم کشت حدود ۱۲/۴ بوته در هر مترمربع بود. هر تیمار شامل سه خط دو ردیفه کشت بود که دو خط کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و داده‌های مورد نیاز از خط میانی برداشت شد. فواصل خطوط دو ردیفه کشت از هم ۳۰ سانتی‌متر، طول خطوط کشت ۲۰ متر و فاصله بین کرت‌های آزمایشی حدود ۲ متر بود. خصوصیات فیزیکی خاک محل مورد مطالعه در جدول (۲) ارئه شده است.

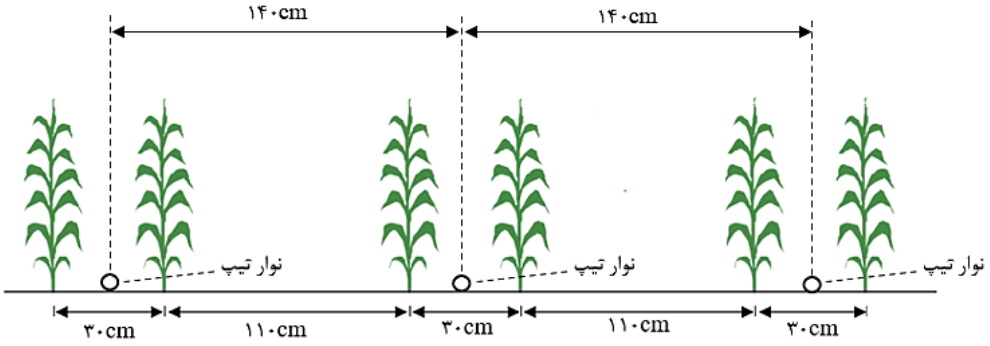
جدول ۱- مقادیر ماهیانه پارامترهای هواشناسی منطقه مطالعاتی در طول دوره رشد اخذ شده از ایستگاه هواشناسی ورامین

ماه‌های سال	حداکثر دمای هوا (°C)	حداقل دمای هوا (°C)	حداکثر رطوبت نسبی (٪)	حداقل رطوبت نسبی (٪)	متوسط سرعت باد (m/s)
تیر	۴۱/۹	۲۴/۱	۴۱/۲	۱۳/۲	۲/۶
مرداد	۴۰/۵	۲۲/۳	۴۰	۱۳/۹	۱/۸
شهریور	۳۶/۱	۱۸	۴۹/۲	۲۱/۴	۱/۶
مهر	۳۰/۷	۱۳/۶	۵۹/۴	۲۰/۳	۱/۳

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی خاک محل مورد مطالعه

عمق خاک (سانتی‌متر)	شن (٪)	سیلت(٪)	رس(٪)	بافت خاک	چگالی ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ظرفیت زراعی (حجمی، ٪)	نقطه پژمردگی (حجمی، ٪)
۰-۳۰	۳۸	۳۵	۲۷	لوم	۱/۴۹	۳۶	۱۳/۷
۳۰-۶۰	۳۶	۴۱	۲۳	لوم	۱/۵۱	۳۱	۱۷/۵
۶۰-۹۰	۳۵	۳۹	۲۶	لوم	۱/۵۱	۳۴	۱۵/۳

سیستم آبیاری مورد استفاده در این پژوهش شامل آبیاری قطره‌ای تیپ با دبی قطره‌چکان‌های ۰/۷ لیتر در ساعت و فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر بود. نوارهای تیپ در فاصله بین دو ردیف کشت (به‌فاصله ۳۰ سانتی‌متر) قرار گرفت (شکل ۱). دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت و دو روز یک بار بود. آبیاری‌ها تا زمان سبزشدن کامل مزرعه (مرحله شش‌برگی) برای تمامی تیمارها یکسان انجام شد و تیمارهای مورد بررسی پس از مرحله شش‌برگی اعمال گردید.



شکل ۱- نمایی از قرار گیری لاترال‌های آبیاری بین کشت دو ردیفه در یک پلات آزمایشی

محاسبه عمق آب آبیاری

به‌منظور تعیین عمق آب آبیاری از روش پایش رطوبت خاک استفاده شد. اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه پروفایل پروب[1] مدل PR۲/۶ که قبلاً در شرایط خاک مزرعه مطالعاتی واسنجی شده بود، انجام شد (Mohammadi *et al.*, 2019). لوله‌های دسترسی دستگاه پروفایل پروب در وسط ردیف کشت تیمار آبیاری کامل نصب شدند به‌طوری که در وسط هر پلات، یک لوله PVC تا عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک که انتهای آن مسدود و عایق‌بندی شده بود، نصب گردید. برای تعیین عمق آب آبیاری از داده‌های قرائت شده توسط دستگاه پروفایل پروب قبل از هر نوبت آبیاری استفاده شد. تعیین عمق آب آبیاری به‌صورت محاسبه کمبود رطوبتی خاک (SMD) تا حد ظرفیت زراعی به شرح رابطه (۱) انجام شد (Gupta *et al.*,2019):

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D \times f \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، SMD: کمبود رطوبتی خاک (میلی‌متر)، θ_{FC} و θ_i به‌ترتیب رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و رطوبت قبل از آبیاری (درصد حجمی) و D: عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) و f ضریب مربوط به اعمال سطوح مختلف آبیاری (ضریب f برای تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 به‌ترتیب برابر ۱، ۰/۸ و۰/۶ بود.) است. در آبیاری با مدیریت پیوسته، عمق آب آبیاری محاسبه شده در هر نوبت آبیاری به‌صورت مداوم در اختیار گیاه قرار گرفت. در تیمارهای مدیریت پالسی میزان آب مورد نیاز محاسبه شده برای هر تیمار در سه پالس با زمان روشن و خاموش بودن مساوی در اختیار گیاه قرار گرفت. به‌عبارتی اگر زمان آبیاری مورد نیاز برای تیماری سه ساعت بود، زمان‌بندی آبیاری در تیمارهای پالسی به‌صورت سه پالس یک ساعته با یک ساعت زمان استراحت بین پالس‌های آبیاری از طریق قطع و وصل شیرهای آبیاری اعمال گردید. آبیاری کلیه تیمارها هم‌زمان انجام شد. حجم آب کاربردی با استفاده از کنتورهای حجمی کالیبره شده که در مسیر جریان ورودی به هر تیمار آبیاری نصب شده بود، کنترل گردید. تیمارهای مختلف آبیاری در این پژوهش در جدول (۳) معرفی شده است. عمق آب کاربردی در هر دو مدیریت آبیاری پالسی[2] (P) و پیوسته[3] (C) یکسان بود. در طی مراحل انجام پژوهش بارندگی موثر رخ نداد.

مقدار رطوبت سهل الوصول[4] در طی فصل رشد از رابطه زیر محاسبه گردید (Djaman et al., 2013):

$$RAW = P \times D \times (\theta_{FC} - \theta_{pwp}) \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در این معادله P جزئی از کل رطوبت در دسترس خاک است که گیاه بدون هیچ‌گونه تنشی می‌تواند از خاک برداشت کند، D عمق ریشه گیاه (میلی‌متر) و θ_{FC} و θ_{pwp} به‌ترتیب رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی دائم می‌باشد (درصد حجمی).

جدول ۳- معرفی تیمارهای آبیاری پژوهش انجام‌شده

تیمارهای مورد بررسی	آبیاری کامل (۱۰۰٪)	کم‌آبیاری (۸۰٪)	کم‌آبیاری (۶۰٪)
مدیریت پالسی	PI_1	PI_2	PI_3
مدیریت پیوسته	CI_1	CI_2	CI_3

برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o)

به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیث از معادله زیر و نرم‌افزار Ref-ET استفاده شد:

(رابطه ۳)

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

در این معادله به ترتیب ET_o: تبخیر- تعرق گیاه مرجع ($mm\ day^{-1}$)، R_n: تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ($Mj\ m^{-2}\ day^{-1}$)، G: شار گرمایی به داخل خاک ($Mj\ m^{-2}\ day^{-1}$)، T: متوسط دمای هوا (°C)، u_2: سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ($m\ s^{-1}$)، $e_s - e_a$: کاهش فشار بخار اشباع (Kpa)، Δ: شیب منحنی فشار بخار ($Kpa\ °C^{-1}$) و γ: ضریب رطوبتی ($Kpa\ °C^{-1}$) می‌باشد (Allen et al., 1998). پارامترهای اقلیمی مورد نیاز از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مطالعاتی که فاصله هشت کیلومتری با محل اجرای طرح داشت، اخذ گردید. شکل ۲ روند تغییرات متوسط دمای هوا روزانه و میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن حاصل از معادله فائو-پنمن- مانتیث را نشان می‌دهد.

تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای (ET_c)

روش معمول برای محاسبه تبخیر- تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در شرایط آبیاری کامل استفاده از رابطه ارائه شده در نشریه فائو-۵۶ به‌صورت زیر می‌باشد (Allen *et al.*, 1998):

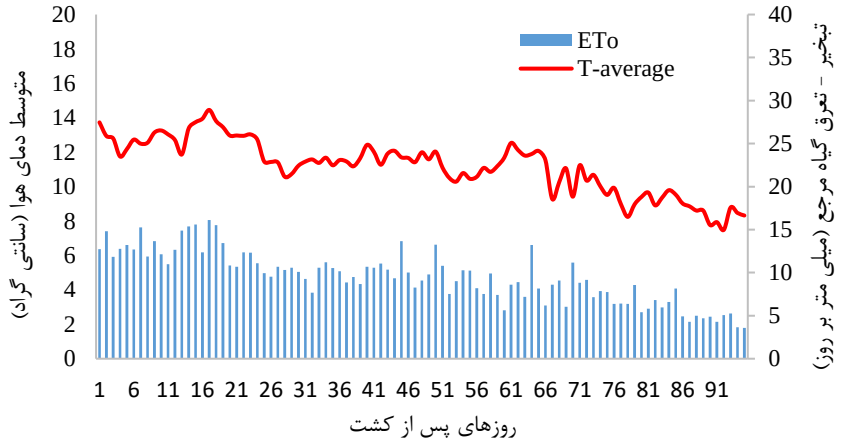
$$ET_c = ET_o \times K_c$$

در این معادله ET_c تبخیر- تعرق برآوردی گیاه ($mm.\ day^{-1}$)، ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) ($mm.\ day^{-1}$)) و K_c ضریب گیاهی (بدون بعد) می‌باشد. برای

4. Profile Probe
5. Pulsed
6. Continuous

مقادیر ضرایب گیاهی در این معادله می‌توان از مقادیر پیشنهادی در جدول ۱۲ نشریه فائو-۵۶ و یا در صورت دسترسی از مقادیر ضرایب گیاهی موجود در منطقه مطالعاتی (محلی)[1] استفاده کرد.

در این مطالعه مقادیر ضرایب گیاهی محلی به‌روش بیلان آب خاک محاسبه شده است که در ادامه توضیح داده می‌شود.



شکل ۲- روند تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع و میانگین دمای هوا

تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (ET_a)

به‌منظور محاسبه تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای در طول دوره رشد، از معادله بیلان آب خاک استفاده شد (Allen et al., 1998):

$$ET_a = I_{rrg} + P_e + CR - RO - DP \pm \Delta S \quad \text{(رابطه ۵)}$$

در معادله مذکور پارامترهای ET_a، I، P_e، DP، Ro، CR، ΔS به ترتیب بیانگر تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (mm)، عمق آبیاری (mm)، مقدار بارندگی مؤثر (mm)، نفوذعمقی (mm)، رواناب (mm)، صعود شعریه‌ای (mm) و ΔS تغییرات رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه (mm) می‌باشند. با توجه به این که در مزرعه مطالعاتی سطح ایستابی در عمق بیش از ۳۰ متری از سطح خاک قرار داشت بنابراین از پارامتر صعود موئینه در معادله بیلان آب خاک صرف‌نظر شد. باتوجه به نفوذپذیری مناسب خاک و دبی پایین قطره‌چکان‌ها در طی دوره کشت، رواناب سطحی در پلات‌های آزمایشی مشاهده نشد. همچنین اطلاعات ایستگاه هواشناسی و مشاهدات مزرعه‌ای در طی دوره کشت نشان‌داد که مقدار بارندگی مؤثر در منطقه مطالعاتی صفر میلی‌متر است. برای محاسبه تغییرات رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه از مقادیر رطوبت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه پروفایل پروب قبل از هر نوبت آبیاری استفاده شد. مقدار رطوبت منتقل‌شده به زیر منطقه توسعه ریشه (۶۰ سانتی‌متری خاک) که از دسترس گیاه خارج می‌شود، به‌عنوان نفوذعمقی در معادله لحاظ گردید.

ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب (K_c)

برای محاسبه مقادیر ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در منطقه مطالعاتی برای تیمار آبیاری کامل در دوره‌های مختلف رشد از نسبت تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب به تبخیر-تعرق گیاه مرجع حاصل از روش فائو-پنمن-مانتیث استفاده شد (gong *et al.*, 2020):

$$K_c = \frac{ET_a}{ET_o} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

در این معادله ET_a تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب ($mm.\,day^{-1}$) و ET_o تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن محاسبه شده به‌روش فائو-پنمن-مانتیث ($mm.\,day^{-1}$) به دست آمده از معادله ۲ است.

ضریب تنش آبی ذرت علوفه‌ای (K_s)

ضریب تنش آبی[2] ترکیب عوامل زراعی و خاکی است که باعث می‌گردد مصرف آب واقعی محصول در شرایط تنش آبی نسبت به شرایط آبیاری کامل متفاوت باشد و به‌شکل رابطه زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Igbadan and salim, 2011):

$$ET_{c-deficit} = K_s \times ET_c \quad \text{(رابطه ۷)}$$

در این معادله $ET_{c-deficit}$ تبخیر-تعرق گیاه در شرایط کم-آبیاری ($mm.\,day^{-1}$)، K_s ضریب تنش آبی (بدون بعد) و ET_c تبخیر-تعرق گیاه در شرایط آبیاری کامل می‌باشد. با جایگذاری مقدار تبخیر-تعرق برآوردی گیاه از معادله ۳ در معادله ۶ خواهیم داشت:

$$ET_{c-deficit} = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{(رابطه ۸)}$$

برای محاسبه مقدار ضریب تنش آبی تیمارهای کم‌آبیاری مورد بررسی در این پژوهش از مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت

7. Local Crop Coefficient

8. Water Stress Coefficient

علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب خاک در این تیمارها استفاده شد (Bandyopadhyay and Mallick, 2003):

$$K_s = \frac{ET_{a-deficit}}{K_c \times ET_o} \quad \text{(رابطه ۹)}$$

در این معادله $ET_{a-deficit}$ تبخیر-تعرق واقعی گیاه در شرایط کم‌آبیاری است که از روش بیلان آب خاک به‌دست آمده است ($mm.\,day^{-1}$) و بقیه پارامترها قبلا تعریف شده است.

تجزیه و تحلیل آماری

در این پژوهش به‌منظور مقایسه مقادیر برآوردی تبخیر-تعرق گیاه با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ارائه شده در این پژوهش با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب از آزمون تی- استیودنت در سطح معنی‌داری ۵ درصد در نرم افزای اکسل استفاده شد. هم‌چنین از معیارهای آماری متداول شامل جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای مطلق (MAE)، شاخص کارایی مدل (EF) نیز استفاده شد (Gong *et al.*, 2020):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2} \quad \text{(رابطه ۱۰)}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|P_i - O_i| \quad \text{(رابطه ۱۱)}$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad \text{(رابطه ۱۲)}$$

در این روابط P_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر مشاهده شده، $\bar{O}$ میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد داده‌هاست. یک مدل بهینه دارای کم‌ترین مقدار RMSE و MAE و بیش‌ترین مقدار EF می‌باشد.

نتایج و بحث

تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (ET_a)

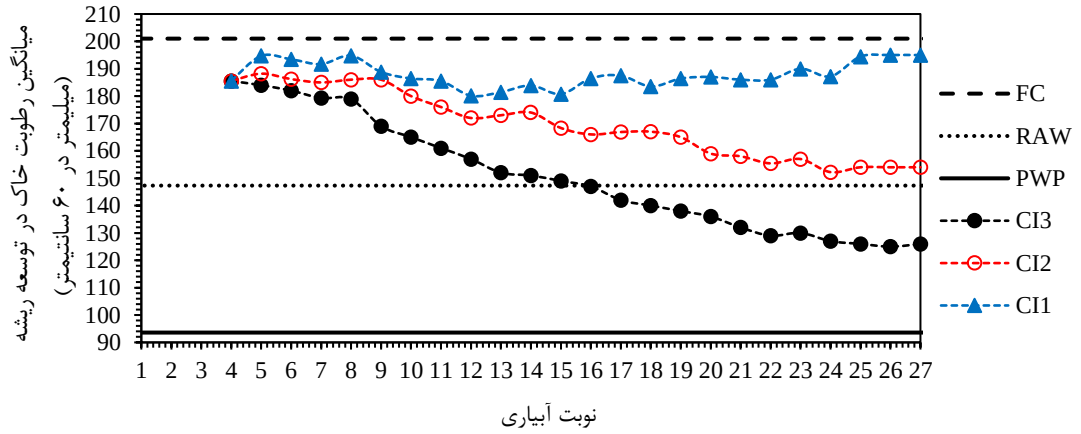
میزان تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده در طول کل دوره رشد به روش بیلان آب خاک برای سطوح مختلف آبیاری تحت دو مدیریت پالسی و پیوسته در جدول ۳ ارائه شده است. تمامی تیمارهای مورد بررسی تا روز ۲۰ام پس از کشت به‌طور یکسان آبیاری شدند و تیمارهای آبیاری پس از آن اعمال شد. در طی دوره ۲۰ روزه ابتدای رشد میزان تبخیر-تعرق واقعی با استفاده از روش بیلان آب برای همه تیمارهای مورد بررسی مقدار یکسان ۴۴ میلی‌متر به‌دست آمد. بیشترین مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه در طول کل فصل رشد در تیمار آبیاری کامل با مدیریت پالسی (PI_1) و کمترین مقدار آن در تیمار کم‌آبیاری در سطح ۶۰ درصد با مدیریت پالسی (PI_2) مشاهده شد. عمق آبیاری و مشخصات اجزای بیلان آب خاک برای کل فصل رشد در جدول ۴ ارائه شده است. در طی فصل رشد در تیمار آبیاری کامل با مدیریت پیوسته تقریباً به میزان ۱۹ میلی‌متر نفوذعمقی مشاهده شد. با توجه به اینکه سیستم آبیاری مورد استفاده قطره‌ای بود و در هر نوبت آبیاری کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی در محدوده توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) تأمین می‌گردید و آب اضافی در اختیار گیاه قرار نمی‌گرفت بنابراین انتظار می‌رود در تیمارهای کم‌آبیاری نفوذعمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه در طی فصل رشد وجود نداشته باشد که اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک در زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک نیز آن را تأیید کرد. مقدار متوسط تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای به‌روش بیلان آب خاک در طی فصل رشد تحت شرایط آبیاری کامل با مدیریت پالسی و پیوسته ۳۵۲ میلی‌متر به‌دست آمد. Dehghanisanij *et al.*, (2018) مقدار تبخیر-تعرق واقعی (ET_C) ذرت برآورد شده به روش بیلان آب خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی در منطقه کرج را ۳۷۷/۰۹ میلی‌متر برای کل دوره رشد گزارش کردند.

شرایط رطوبتی خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه

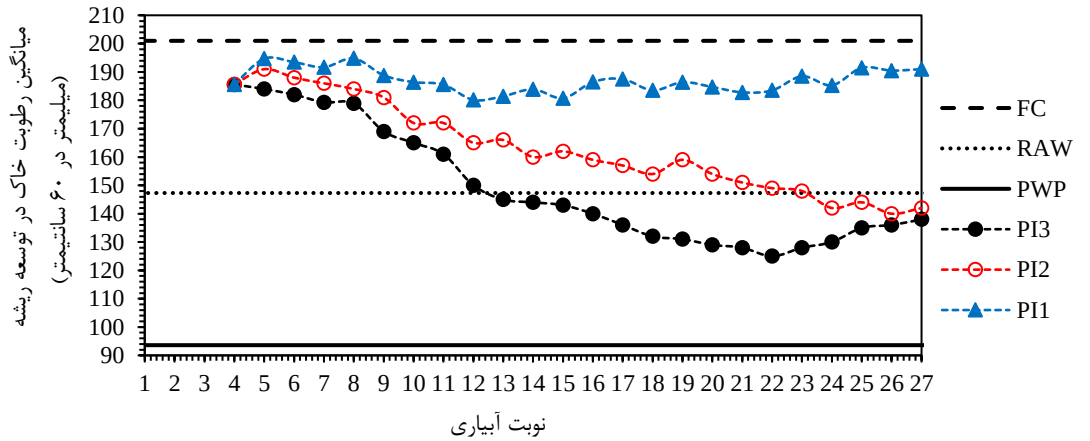
رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه طی دوره رشد قبل از هر نوبت آبیاری توسط دستگاه پرفایل پروب اندازه‌گیری شد که روند تغییرات آن در شکل (۳) و (۴) برای مدیریت‌های آبیاری پالسی و پیوسته ارائه شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که روند تغییرات رطوبت خاک برای تیمارهای CI_1 و CI_2 همواره بالای محدوده رطوبتی سهل‌الوصول (RAW) قرار داشته و گیاه در طی دوره رشد به هیچ عنوان تحت تنش آبی قرار نگرفته است. در حالی که در تیمار CI_2 از آبیاری ۱۶ام به بعد رطوبت خاک به پایین‌تر از حد رطوبتی سهل‌الوصول رسید و گیاه تحت تنش آبی قرار گرفت. همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود رطوبت خاک در تیمار PI_1 بین دو حد رطوبتی ظرفیت زراعی و رطوبت سهل‌الوصول قرار داشت و هیچ گونه تنش آبی در طول دوره رشد در این تیمار دیده نشد. در صورتی که در تیمارهای PI_2 و PI_3 رطوبت خاک از آبیاری ۲۳ام و ۱۳ام به بعد به پایین‌تر از حد رطوبتی سهل‌الوصول رسیده و گیاه دچار تنش آبی شده است. در طی فصل رشد متوسط رطوبت در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک همواره در زیر حد رطوبتی ظرفیت زراعی قرار داشته است و هم-چنین اندازه‌گیری رطوبت خاک در زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری نیز نشان داد که در تیمارهای کم‌آبیاری هیچ‌گونه تغییرات رطوبتی در طی فصل رشد در این محدوده صورت نگرفته است بنابراین میزان نفوذعمقی به زیر منطقه توسعه ریشه گیاه در طی فصل رشد ناچیز بوده است.

جدول ۴- عمق آبیاری و مشخصات اجزای بیلان آب ذرت علوفه‌ای تحت دو مدیریت آبیاری قطره‌ای پالسی و پیوسته

دوره رشد (روز)	تیمارها	سطح آبیاری	ET_a	I_{rrg}(mm)	P_e(mm)	CR(mm)	RO(mm)	DP(mm)	ΔS(mm)
۲۰-۹۵	CI_1	٪۱۰۰	۲۹۶/۸۲	۳۲۵	صفر	صفر	صفر	۱۸/۷۳	۹/۴۵
	CI_2	٪۸۰	۲۹۱/۵۰	۲۶۰	صفر	صفر	صفر	صفر	-۳۱/۵۰
	CI_3	٪۶۰	۲۵۴/۵۰	۱۹۵	صفر	صفر	صفر	صفر	-۵۹/۵۰
	PI_1	٪۱۰۰	۳۱۹/۵۵	۳۲۵	صفر	صفر	صفر	صفر	۵/۴۵
	PI_2	٪۸۰	۳۰۳/۵۵	۲۶۰	صفر	صفر	صفر	صفر	-۴۳/۵۵
	PI_3	٪۶۰	۲۴۲/۵۰	۱۹۵	صفر	صفر	صفر	صفر	-۴۷/۵۰



شکل ۳- میانگین رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) قبل از هر نوبت آبیاری در طول دوره رشد برای مدیریت پیوسته



شکل ۴- میانگین رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) قبل از هر نوبت آبیاری در طول دوره رشد برای مدیریت پالسی

ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی ذرت علوفه‌ای

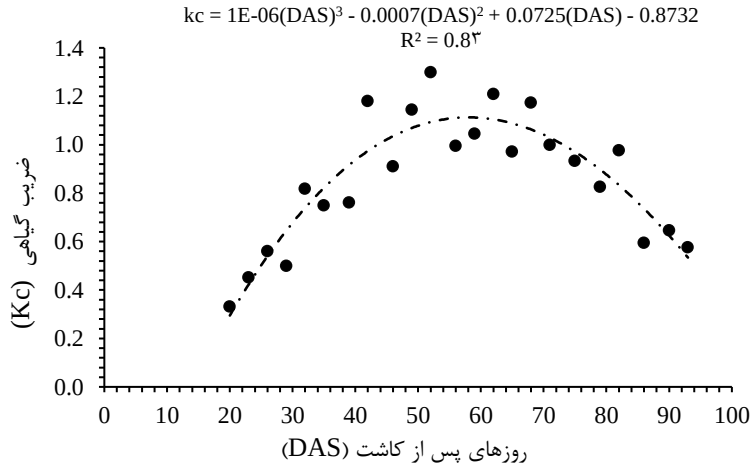
باتوجه به نتایج تغییرات رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه که نشان داد در تیمار آبیاری کامل رطوبت هیچ‌گاه در طی فصل رشد به زیر حد رطوبتی سهل‌الوصول نرسیده است و گیاه تحت تنش آبی قرار نگرفته است لذا مقدار ضریب گیاهی برای این تیمار در شرایط استاندارد با استفاده از روش بیلان آب خاک محاسبه گردید. مقدار ضریب گیاهی حاصل از روش بیلان آب خاک در مقابل روزهای پس از کاشت (DAS) برای این تیمار در شکل(۵) ارائه شده است. بین نقاط به‌دست آمده، معادلات مختلفی (اعم از خطی، درجه دو الی شش، لگاریتمی و نمایی) برازش داده شد و از بین آن‌ها معادله‌ای که بیشترین ضریب همبستگی را داشت و از نظر کاربرد ساده‌تر بود انتخاب شد. معادله درجه سوم تطبیق بیشتری با روند تغییرات ضریب گیاهی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک نسبت به زمان داشت و به شکل زیر ارائه گردید:

(رابطه ۱۳)

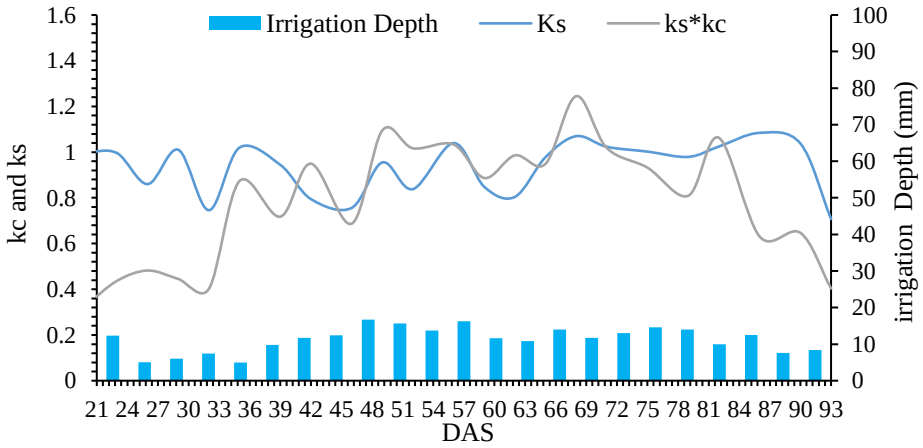
$$kc = 1E\text{-}06(DAS)^3 - 0.0007(DAS)^2 + 0.0725(DAS) - 0.8732$$

که در آن DAS روزهای پس از کشت و kc ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در طی فصل رشد است.

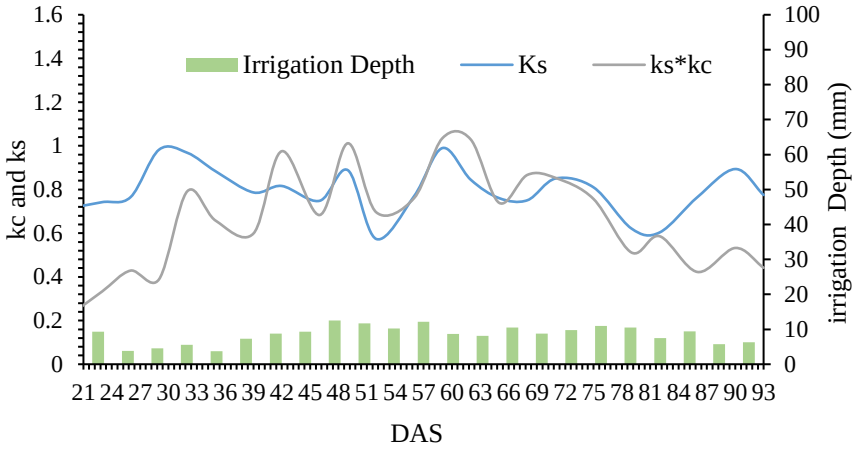
با استفاده از معادله ارائه شده در این پژوهش می‌توان ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای را بر حسب روزهای پس از کشت در تمام طول دوره رشد به‌دست آورد و سپس با استفاده از رابطه ۴ مقدار تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای را برآورد کرد. باید توجه داشت که مقادیر ضریب گیاهی حاصل از این معادله برای شرایط استاندارد که گیاه تحت هیچ‌گونه تنشی قرار ندارد قابل استفاده می‌باشد. در شرایطی که گیاه تحت تنش رطوبتی قرار داشته باشد پارامتر ضریب تنش آبی در محاسبات استفاده می‌شود. مقدار پارامتر ضریب تنش آبی (K_s) متأثر از ذخیره رطوبتی خاک می‌باشد. برای تیمارهای کم‌آبیاری مقدار K_s با استفاده از روش بیلان آب خاک از معادله ۹ محاسبه شد و روند تغییرات آن در شکل‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد مقدار پارامتر K_s بسته به شدت تنش آبی از روزی به روز دیگر متغیر است. در طی فصل رشد مقدار ذخیره رطوبتی در منطقه توسعه ریشه گیاه در نتیجه آبیاری افزایش می‌یابد که باعث کاهش شدت تنش آبی می‌گردد که درنتیجه آن مقدار K_s افزایش می‌یابد که در نمودارها مشخص است. بنابراین مقدار پارامتر K_s درنتیجه آبیاری افزایش یافته و سپس به علت کاهش ذخیره رطوبتی در منطقه توسعه ریشه درنتیجه تبخیر-تعرق گیاه افت می‌کند. در دوره توسعه و میانی رشد که مصادف با ماه‌های مرداد و شهریور بوده و نیاز آبی گیاه بیش‌تر می‌باشد تنش آبی شدیدتری به گیاه وارد شده و در این دوره‌ها مقدار ضریب تنش آبی در نمودارها نیز کم‌تر از دوره‌های دیگر رشد است.



شکل ۵- ضریب گیاهی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک در طی دوره رشد برای تیمار آبیاری کامل (I_1)



شکل ۶- روند تغییرات ضریب تنش آبی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک در طی دوره رشد برای تیمار $I_۲$



شکل ۷- روند تغییرات ضریب تنش آبی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک در طی دوره رشد برای تیمار $I_۲$

مقادیر متوسط ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی حاصل از روش بیلان آب خاک و مقادیر پیشنهادی نشریه فائو-۵۶ برای ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای برای تیمارهای مختلف آبیاری در جدول ۵ ارائه شده است. Dadkhah, (2017) نیز میانگین دو ساله ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ با دوره رشد ۹۰ روزه تحت سیستم آبیاری قطره‌ای را براساس معادله بیلان آب در مراحل اولیه، میانی و نهایی رشد به ترتیب ۰/۴۹، ۱/۱۲ و ۰/۸۲ گزارش کرد.

جدول ۵- مقادیر ضریب گیاهی و ضریب تنش آبی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده به روش بیلان آب خاک و روش پیشنهادی نشریه فائو برای سطوح مختلف آبیاری

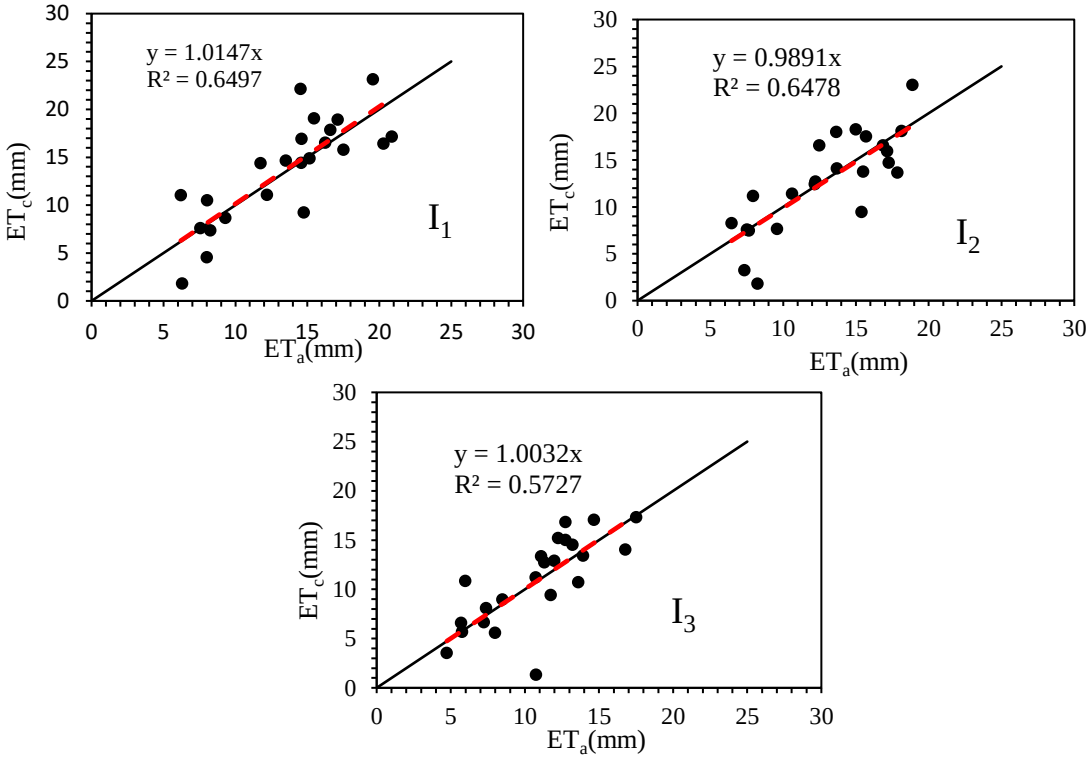
مراحل رشد	طول دوره (روز)	WB			(FAO)
		K_c	K_s		K_c
		$I_۱$	$I_۲$	$I_۳$	
ابتدایی	۱۵	۰/۲۷	۱	۱	۰/۳۵
توسعه	۳۵	۰/۵۰	۰/۹۵	۰/۸۵	-
میانی	۲۵	۱/۰۴	۰/۸۸	۰/۸	۱/۲
انتهایی	۲۰	۰/۸۹	۰/۹۸	۰/۷۷	۰/۶۸

جدول ۶- آنالیز آماری آزمون تی-استیودنت و پارامترهای آماری بین مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ۱۲ و ضرایب تنش آبی جدول (۴) و مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب خاک

تیمارهای مورد بررسی	درجه آزادی	$t_{computed}$	$t_{critical}$	P (0.05)	RMSE (mm)	MAE (mm)	EF
$I_۱$	۴۲	۰/۱۷	۱/۶۸	۰/۴۳	۳/۵	۲/۵	۰/۴۹
$I_۲$	۴۲	-۰/۱۴	۱/۶۸	۰/۴۴	۳/۰	۲/۳	۰/۴۲
$I_۳$	۴۲	۰/۰۷۴	۱/۶۸	۰/۴۷	۲/۸	۲/۱	۰/۳۲

به‌منظور بررسی دقت معادله برآورد ضریب گیاهی ارائه شده در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ۱۲ و ضرایب تنش ارائه شده در جدول (۵) با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در نمودارهای شکل (۸) مقایسه گردید. ضرایب تعیین رگرسیون بالا و انطباق خط رگرسیون بر خط یک به یک نشان می‌دهد که مقادیر تبخیر-تعرق حاصل از ضرایب گیاهی به‌دست آمده از معادله ۱۳ و ضرایب تنش ارائه شده در این پژوهش مطابقت خوبی با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب خاک داشته است. طبق نتایج آزمون آماری تی-استیودنت در جدول (۶) با توجه به اینکه در همه تیمارهای مورد بررسی مقدار پارامتر t محاسباتی از مقدار t بحرانی کم‌تر بوده و مقدار P-value بیش‌از ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت که بین مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ۱۳ و ضرایب تنش آبی جدول (۵) و مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب خاک در تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌دار (در سطح ۵ درصد) وجود ندارد. همچنین مقادیر پارامترهای آماری ارائه شده در جدول (۶) نیز بیان‌گر دقت قابل قبول معادله ۱۳ برای برآورد تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای می‌باشد. بنابراین در مناطقی با شرایط مدیریتی آب و گیاه مشابه با منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر، می‌توان با استفاده معادلات ارائه شده در پژوهش حاضر،

ضرایب گیاهی ذرت علوفه‌ای را در طی دوره رشد برای دوره‌های رشد مختلف محاسبه و مقدار تبخیر- تعرق گیاه در طول فصل رشد را به‌سادگی و با دقت قابل قبولی برآورد کرد.



شکل ۸- مقادیر تبخیر-تعرق برآوری ذرت علوفه‌ای با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ۱۲ و ضرایب تنش آبی ارائه شده در جدول (۴) و مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای حاصل از روش بیلان آب برای تیمارهای مختلف آبیاری

پژوهشگران در مطالعات زیادی مقدار ضریب گیاهی ذرت را در مراحل مختلف اندازه‌گیری کرده‌اند. به‌عنوان مثال Gao *et al.*, (2009) مقادیر ضریب گیاهی ذرت را برای مراحل ابتدایی، توسعه و انتهایی طی دو سال به‌ترتیب ۰/۳۶ - ۰/۳۷، ۱/۱۸ - ۱/۱۹ و ۰/۲۲ - ۰/۲۸ گزارش کردند. هم‌چنین Piccinni *et al.*, (2009) بیان کردند که مقدار ضریب گیاهی ذرت از ۰/۲ تا ۱/۲۰ متغییر است. Li *et al.*, (2003) مقدار ضریب گیاهی ذرت را در پژوهش خود برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۰/۵، ۱/۰۲، ۱/۲۶ و ۰/۵ به‌دست آوردند. مقادیر ضریب گیاهی گزارش شده در پژوهش‌های مختلف با یکدیگر و با مقادیر به‌دست آمده در پژوهش حاضر متفاوت می‌باشد که بیان‌گر لزوم تعیین ضریب گیاهی محلی به‌منظور برآورد هرچه دقیق‌تر نیاز آبی گیاه در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش برآورد ضریب گیاهی (K_c) و ضریب تنش آبی (K_s) ذرت علوفه‌ای تحت سطوح مختلف آبیاری به روش بیلان آب خاک و ارائه معادله ضریب گیاهی برای تیمار آبیاری کامل و ضریب تنش آبی برای تیمارهای کم‌آبیاری در مراحل مختلف رشد بود. نتایج پژوهش نشان داد که میانگین تبخیر-تعرق واقعی محاسبه شده از روش بیلان آب خاک برای تیماری‌های I_1، I_2 و I_3 به‌ترتیب ۳۰۸/۱۸، ۲۹۷/۵۲ و ۲۴۸/۵۰ میلی‌متر می‌باشد. میانگین ضریب گیاهی برای تیمار آبیاری کامل (I_1) در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب برابر ۰/۲۷، ۰/۵۰، ۱/۰۴ و ۰/۸۹ محاسبه شد. هم‌چنین مقادیر ضریب تنش آبی برای مراحل مختلف رشد برای تیمارهای I_2 و I_3 به‌ترتیب در محدوده ۱-۰/۹۸ و ۱-۰/۷۷ قرار داشت. هم‌چنین یک معادله درجه سه بر حسب روزهای پس از کشت جهت برآورد ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در طی دوره رشد برا منطقه مطالعاتی ارائه گردید. بررسی پارامترهای آماری نشان داد که مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی با استفاده از ضرایب گیاهی حاصل از معادله ارائه شده در این پژوهش و مقادیر ضریب تنش آبی به‌دست آمده به روش بیلان آب خاک با مقادیر تبخیر-تعرق واقعی حاصل از روش بیلان آب خاک اختلاف معنی دار (درسطح ۵ درصد) ندارد. نتایج این پژوهش می‌تواند به کشاورزان و تولیدکنندگان ذرت علوفه‌ای در منطقه ورامین یا مناطق دیگری که از نظر شرایط آب و هوایی،

مدیریت خاک و محصول مشابه این پژوهش می‌باشند، در انتخاب ضرایب گیاهی مناسب برای برآورد هرچه دقیق‌تر نیاز آبی ذرت علوفه‌ای جهت برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری فصلی کمک کند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Alijan, B., Karimi, A., Farhadi, B., and Broumandnasab, S. (2011). Determining Maize Water Requirement and Crop Coefficient using Water Balance Method. 4*th Iran Water Resources Management Conference*, Tehran, AmirKabir University. https://www.civilica.com/Paper-WRM04-WRM04_468.html. (In Farsi)

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation Drainage Paper No. 56, FAO. Rome, Italy. pp 1-326.

Azari, A., Broumandnasab, S., Behzad, M., and Moeiri, M. (2007). Assessing Mazie Yield under T-Tape Drip Irrigation System. *The Scientific Journal of Agriculture*, *30(2)*, 82-87.

Azizi-Zohan, A., A. A. Kamgar-Haghighi, and A. R. Sepaskhah. "Crop and pan coefficients for saffron in a semi-arid region of Iran." *Journal of Arid Environments* 72, no. 3 (2008): 270-278.

Bafkar, A., Farhadi, B., and Karimi, A. R. (2013). Estimation of crop coefficients (KC) of grain corn SC 704 using the physiological properties (Case study: Kermanshah-Mahidsht). (In Farsi)

Bandyopadhyay, P. K., and Mallick, S. (2003). Actual evapotranspiration and crop coefficients of wheat (Triticum aestivum) under varying moisture levels of humid tropical canal command area. *Agricultural water management*, *59*(1), 33-47.

Benli, B., Kodal, S., Ilbeyi, A., and Ustun, H. (2006). Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *Agricultural water management*, *81*(3), 358-370.

Doorenbos, J. (1977). Guidelines for predicting crop water requirements. *FAO irrigation and drainage paper*, *24*, 1-179.

Edalatnasab M. 2002. Fertilizer prices reduces the profits of wheat. Iranian Journal. 19th years. 5496: 24-25. (In Farsi)

Eric, S., David, S., and Robert, H. (2004). To pulse or not to pulse drip irrigation that is the question UF/IFAS. *Horticultural Sciences Department, Florida*.

Gao, Y., Duan, A., Sun, J., Li, F., Liu, Z., Liu, H., and Liu, Z. (2009). Crop coefficient and water-use efficiency of winter wheat/spring maize strip intercropping. *Field Crops Research*, *111*(1-2), 65-73.

Ghamarnia H., Jafari Zadeh M., Miri E., and Eghbal Ghobadi E. 2002. Coriandrum sativum L. crop coefficient determination in a semi-arid climate. Journal of Water and Irrigation Management. 1(2): 73-83. (in Persian with English abstract). (In Farsi)

Gong, X., Qiu, R., Sun, J., Ge, J., Li, Y., and Wang, S. (2020). Evapotranspiration and crop coefficient of tomato grown in a solar greenhouse under full and deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, *235*, 106154.

Gupta, A., Rao, K. V. R., Singh, S., Soni, K., and Sawant, C. (2019). Water productivity and yield of baby corn (Zea mays L.) as influenced by irrigation levels under subsurface drip irrigation. *Int. J. Chem. Stud*, *7*, 128-135.

Igbadun, H. E., and Salim, B. A. (2011). Field-based crop coefficients (Ke) for a maize crop under deficit irrigation scheduling. *Nigerian Journal of Technological Development*, *8*(2), 74-91.

Kar, G., Kumar, A., & Martha, M. (2007). Water use efficiency and crop coefficients of dry season oilseed crops. *Agricultural water management*, *87*(1), 73-82.

Kerdabadi, M. G., Noory, H., and Liaghat, A. M. (2016). Investigating the effect of soil texture and fertility on evapotranspiration and crop coefficient of maize forage. *Journal of Water and Soil*, *30*(2), 459-471. (In Farsi)

Li, Y. L., Cui, J. Y., Zhang, T. H., and Zhao, H. L. (2003). Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of north China. *Agricultural Water Management*, *61*(1), 1-12.

Miranda, F. D., Gondim, R. S., and Costa, C. A. G. (2006). Evapotranspiration and crop coefficients for tabasco pepper (Capsicum frutescens L.). *Agricultural Water Management*, *82*(1-2), 237-246.

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., and Hajirad, I. (2021). Determination of Silage Maize Crop Coefficient under Pulsed Drip Irrigation using Water Balance Method in Varamin. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *52*(5), 1223-1237. (In Farsi)

Mohammadi, S., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., Dehghanisanij, H., and Hajirad, I. (2019). The Conversion of Permittivity Measured by a PR2/6 into Volumetric Soil Moisture Content in a Loamy Soil under Field Calibration. *The 1st International and 4th National Congress on Iranian Irrigation and Drainage*, 13-14 Nov, 2019, Urmia University, Iran, pp, 1-9. (In Farsi)

Payero, J. O., Tarkalson, D. D., Irmak, S., Davison, D., and Petersen, J. L. (2008). Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semiarid climate. *Agricultural water management*, *95*(8), 895-908.

Piccinni, G., Ko, J., Marek, T., and Howell, T. (2009). Determination of growth-stage-specific crop coefficients (KC) of maize and

(2006). Principles and application of deficit irrigation. National Committee on Irrigation and Drainage of Iran, 288p. (In Farsi)

Williams, L. E., and Ayars, J. E. (2005). Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. *Agricultural and Forest Meteorology*, *132*(3-4), 201-211.

sorghum. *Agricultural water management*, *96*(12), 1698-1704.

Rasool, G., Guo, X., Wang, Z., Ullah, I., and Chen, S. (2020). Effect of two types of irrigation on growth, yield and water productivity of maize under different irrigation treatments in an arid environment. *Irrigation and Drainage*, *69*(4), 732-742.

Sepaskhah, A. R., Tavakoli, A. R., and Mousavi, S. F.