تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۷، مهر ۱۴۰۰ (ص ۱۸۸۰-۱۸۶۹)
DOI: 10.22059/ijswr.2021.322095.668940
(علمی – پژوهشی)

Determining Actual Evapotranspiration of Silage Maize using Soil Water Balance Method under Different Drip Irrigation Levels with Pulsed and Continuous Management (Case Study: Varamin Region)

IMAN HAJIRAD[1], SEYED MAJID MIRLATIFI[1*], HOSSEIN DEHGHANISANIJ[2], SANAZ MOHAMMADI[1]
1. Water Management and Engineering Department, Collage of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Alborz, Iran.
(Received: Apr. 15, 2021- Revised: June. 10, 2021- Accepted: June. 22, 2021)

ABSTRACT

The proper irrigation scheduling reduces deep percolation losses, saves water and increases crop yield and water productivity. For this purpose, the crop water requirement must be determined carefully. In the present study, the water requirement of silage maize (ZP 606 cultivar) was determined using soil moisture monitoring method in the field conditions. An experiment in the form of split-strip plots based on a randomized complete block design with three replications was conducted in 2019 in Varamin region. The main factor included three levels of irrigation, supplying 120, 100 and 80% of maize water requirement (I2, I1 and I3, respectively) and the sub-main factor included two types of irrigation management: pulsed (P) and continuous (C). The actual evapotranspiration of silage maize under pulsed and continuous management in full irrigation treatment was 364-341 mm, in deficit irrigation treatment was 348-336 mm and in over-irrigation treatment, was 383-352 mm, respectively. The estimated evapotranspiration of silage maize using FAO-56 method was 400 mm that was 13.5% higher than the average actual evapotranspiration for full irrigation treatment in pulsed and continuous management determined by water balance method, which indicated the importance of using local crop coefficient to estimate crop water requirement accurately. The results also showed that the amount of deep percolation in over-irrigation treatment under pulsed irrigation management had decreased by 30% compared to the over-irrigation treatment with continuous management. Therefore, it is suggested to use pulsed irrigation management in order to save water consumption and to reduce deep percolation under drip irrigation system in the study area.

Keywords: Crop Water Requirement, Pulsed Irrigation, Crop Coefficient, Deficit Irrigation, Over-Irrigation.

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

تعیین تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای به روش بیلان آب خاک تحت سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی و پیوسته (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: ۱۴۰۰/۱/۲۶- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۲۰- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۴/۱)

چکیده

برنامه‌ریزی صحیح آبیاری سبب کاهش تلفات نفوذعمقی، صرفه‌جویی در مصرف آب، افزایش تولید و بهره‌وری مصرف آب می‌گردد. بدین منظور ابتدا باید نیاز آبی گیاه زراعی تعیین گردد. در پژوهش حاضر به‌منظور تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای رقم ZP ۶۰۶ به روش پایش رطوبت خاک، آزمایشی 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 ۱۲۰، ۱۰۰ و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب I_2، I_1 وI_3) و فاکتور فرعی شامل دو سطح مدیریت آبیاری پالسی(P) و پیوسته (C) بودند. تبخیر- تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته با استفاده از روش بیلان آب در شرایط آبیاری کامل به‌ترتیب ۳۶۴ و ۳۴۱ میلی‌متر، در تیمار کم‌آبیاری ۳۴۸ و ۳۳۶ میلی‌متر و در تیمار بیش‌آبیاری ۳۸۳ و ۳۵۲ میلی‌متر محاسبه شد. مقدار تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای به‌روش نشریه فائو-۵۶ در طول دوره رشد ۴۰۰ میلی‌متر محاسبه شد و نسبت به متوسط تبخیر-تعرق واقعی تیمار آبیاری کامل با مدیریت پالسی و پیوسته حدود ۱۳/۵ درصد بیش‌برآورد دارد که لزوم استفاده از ضرایب گیاهی محلی برای برآورد دقیق نیاز آبی گیاه را نشان می‌دهد. هم‌چنین نتایج نشان داد که مقدار نفوذعمقی در تیمار بیش‌آبیاری با مدیریت پالسی حدود ۳۰ درصد نسبت به تیمار بیش‌آبیاری با مدیریت پیوسته کاهش یافته است. در نتیجه پیشنهاد می‌شود که به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش نفوذعمقی در منطقه مطالعاتی از مدیریت پالسی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نیاز آبی گیاه، آبیاری پالسی، ضریب گیاهی، کم‌آبیاری، بیش‌آبیاری.

مقدمه

افزایش روزافزون جمعیت، رقابت بخش‌های مختلف مصرف‌کننده آب برای دسترسی به منابع آب و هم‌چنین کاهش کیفیت منابع آب در دسترس باعث گردیده است که منابع آب قابل استفاده در بخش کشاورزی کاهش یابد. از طرفی تغییر اقلیم نیز بر میزان بارش‌ها و توزیع فصلی آن‌ها و درنتیجه بر شارژ مجدد منابع آب زیرزمینی و سطحی موثر است. به‌طوری که در برخی مناطق توزیع بارندگی در طول فصل رشد به‌گونه‌ای است که نقش چندانی در تأمین نیاز آبی گیاه ندارد. باتوجه به این‌که آب عامل اصلی محدودکننده در تولید محصول در مناطق خشک و نیمه-خشک محسوب می‌شود بنابراین برای دستیابی به حداکثر محصول، داشتن یک برنامه دقیق آبیاری و مدیریت کارا و آگاهانه ضروری است (Irmak *et al.*, 2012). در این زمینه اعمال مدیریت کم‌آبیاری به عنوان یک راه‌کار مدیریتی ارزشمند در مناطق خشک و نیمه‌خشک مورد توجه است. ذرت علوفه‌ای به‌طور متداول در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران پس از برداشت گندم و جو کشت می‌شود که مدیریت و برنامه‌ریزی برای افزایش تولید این گیاه زراعی ضروری می‌باشد. یکی از فاکتورهای مهم در تولید محصول زراعی پارامتر تبخیر-تعرق واقعی گیاه می‌باشد که اطلاع از آن برای مدیریت بهتر آبیاری در شرایط آبیاری کامل یا کم-آبیاری ضروری است. مقدار آب مصرفی ذرت تحت تأثیر عوامل زیادی همچون شرایط آب و هوایی متفاوت، نوع رقم گیاه، تاریخ کاشت، روش آبیاری و نوع مدیریت آبیاری است.

Gheysari *et al.* (2006) تحقیقی را تحت عنوان تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد تحت سیستم آبیاری بارانی در خاک لوم‌رسی انجام دادند. آن‌ها میزان تبخیر-تعرق تجمعی ذرت علوفه‌ای براساس روش بیلان آب خاک و تبخیر-تعرق تجمعی گیاه مرجع حاصل از معادله فائو-پنمن-مانتیث را در طول دوره رشد به‌ترتیب برابر ۶۹۵ و ۸۱۵

* نویسنده مسئول: Mirlat_m@modares.ac.ir

میلی‌متر گزارش کردند. تحقیقی دیگر توسط Dehghanisanij *et al.*, (2018) تحت عنوان ارزیابی تبخیر-تعرق ذرت و اجزای آن در سیستم آبیاری قطره‌ای به انجام رسید. نتایج نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق واقعی (ET_C) ذرت برآورد شده به روش بیلان آب خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی برابر ۳۷۷/۰۹ میلی-متر برای کل دوره رشد بود. در تحقیقی دیگر که توسط Dajman and Irmak , (2013) انجام شد، مقدار تبخیر-تعرق واقعی ذرت در طول دوره رشد تحت سیستم آبیاری عقربه‌ای برای تیمار آبیاری کامل در آمریکا طی سال‌های زراعی ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به-ترتیب ۶۲۰ و ۶۳۴ میلی‌متر گزارش شد. تیمارهای این پژوهش شامل تأمین ۵۰، ۶۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه ذرت درخاک لوم‌شنی بود. Bozkurt *et al.* (2011) اثر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت مورد بررسی قرار دادند. سطوح آبیاری این پژوهش شامل ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد تبخیر از تشتک کلاس A بود. تبخیر-تعرق واقعی ذرت در طی فصل رشد توسط معادله بیلان آب خاک محاسبه و مقادیر آن برای سطوح مختلف به‌ترتیب برابر با ۳۶۵، ۴۰۷، ۴۶۴، ۵۰۳، ۵۴۴ و ۵۸۴ میلی‌متر گزارش شد. در پژوهشی دیگر Simsek *et al.*, (2011) اثر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای (تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) را بر روی عملکرد و کیفیت ذرت علوفه‌ای تحت شرایط آب و هوای نیمه‌خشک در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ در بافت خاک شنی مورد بررسی قرار دادند. میانگین مقادیر تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده از معادله بیلان آب خاک در طی سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ برای تیمارهای مذکور به‌ترتیب ۴۵۱، ۶۵۲، ۷۸۵ و ۹۷۵ گزارش شد. Howell *et al.*, (2008) در پژوهشی دیگر در رابطه با برآورد تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای تحت سیستم آبیاری بارانی در بافت خاک لوم‌رسی در طی دو سال ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ میزان نیاز آبی ذرت علوفه‌ای را به‌ترتیب ۴۱۸ و ۶۷۱ میلی‌متر گزارش نمودند. Hao *et al.*, (2015) نیز مقدار تبخیر-تعرق ذرت را در دوره رشد ۱۴۰ روزه در منطقه تگزاس آمریکا طی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ به ترتیب برابر با ۶۵۵ و ۶۹۴ میلی‌متر گزارش کردند. Oktem *et al.*,(2003) تأثیرات تنش رطوبتی را در یک سیستم آبیاری قطره‌ای در منطقه نیمه‌خشک مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیشترین و کم‌ترین میزان آب مصرفی را به‌ترتیب ۸۷۶ و ۶۱۰ میلی‌متر گزارش دادند. Liu *et al.*, (2017) در تحقیقی اثر سطوح مختلف آبیاری (تأمین ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه ET_c) تحت آبیاری قطره‌ای با پوشش مالچ بر گیاه ذرت مورد بررسی قرار دادند. مقدار تبخیر-تعرق واقعی حاصل از معادله بیلان آب را در طی دو فصل کشت برای تیمارهای مورد بررسی ۲۰۰ تا ۴۳۰ میلی‌متر گزارش کردند که با افزایش عمق آب آبیاری به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. Irmak *et al.*, (2016) اثر سطوح مختلف و دور آبیاری را بر روی تبخیر-تعرق ذرت تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مقدار تبخیر-تعرق گیاه بیش‌تر تحت تأثیر عمق آب آبیاری بوده و دور آبیاری اثر کمی برآن دارد. مقدار تبخیر-تعرق واقعی ذرت از ۳۳۵ تا ۶۳۹ میلی‌متر در سال‌های مختلف برای تیمارهای مورد بررسی متغیر بود که با افزایش عمق آب آبیاری افزایش یافت.

باتوجه به این‌که تمامی پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای در شرایط مدیریت آبیاری پیوسته انجام شده است لذا پژوهش حاضر با هدف تعیین تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای به روش پایش رطوبت خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای با مدیریت پالسی و مقایسه آن با تبخیر-تعرق برآوردی حاصل از معادله فائو-پنمن-مانتیث انجام شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در تابستان ۱۳۹۸ در زمینی به مساحت ۱۳۰۰ مترمربع در مزرعه تحقیقاتی مجموعه دامپروری صفاری - صالحی واقع در منطقه پیشوای ورامین با طول و عرض جغرافیایی به-ترتیب "۴۲/۸ ′۴۱ °۵۱ شرقی و "۵۱/۹ ′۱۹ °۳۵ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه سطح مقدار آبیاری به صورت آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه)، کم‌آبیاری (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) و بیش‌آبیاری (تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) به‌عنوان فاکتور اصلی و دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته به‌عنوان فاکتور فرعی بودند. بذر ذرت علوفه‌ای رقم ZP606 در تاریخ ۲۸ تیرماه با استفاده از دستگاه بذرکارپنوماتیک در عمق ۵ سانتی‌متری 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 ازهم ۳۰ سانتی‌متر، طول خطوط کشت ۲۰ متر و فاصله بین کرت‌های آزمایشی حدود ۲ متر بود. خصوصیات فیزیکی خاک محل مورد مطالعه در جدول (۱) ارئه شده است.

سیستم آبیاری مورد استفاده شامل لوله‌های آبیاری قطره-ای تیپ با دبی قطره‌چکان‌های ۰/۷ لیتر در ساعت و فاصله قطره-چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر بود. نوارهای تیپ بین دو ردیف کشت قرار گرفت. دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت و دو روز بود. آبیاری تمامی تیمارها تا زمان سبزشدن کامل مزرعه (مرحله شش‌برگی) یکسان انجام شد و رژیم‌های آبیاری مورد بررسی پس از مرحله شش‌برگی اعمال گردید. اندازه‌گیری رطوبت خاک با استفاده از دستگاه پروفایل پروب[1] مدل PR2/6 که قبلاً در شرایط خاک مزرعه مطالعاتی واسنجی شده بود، انجام شد. لوله‌های دسترسی دستگاه پروفایل پروب در وسط ردیف کشت نصب شدند به‌طوری که در وسط هر پلات، یک لوله PVC تا عمق ۱۲۰ 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 استفاده شد. پایش رطوبت توسط دستگاه قبل از هر نوبت آبیاری صورت گرفت. عمق آب آبیاری به‌منظور رساندن رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه به حد ظرفیت زراعی (FC) با استفاده از رابطه (۱) محاسبه و اعمال گردید (Gheysari *et al.*, 2017).

$$D_{Irrg} = \sum_{i=1}^{n}((\theta_{(FC)_i} - \theta_i) \times D) \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه D_{Irrg} عمق خالص آبیاری برحسب میلی‌متر، θ_{FC} رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری (درصد)، D عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، n تعداد لایه‌ها در عمق توسعه ریشه و i شمارش‌گر تعداد لایه‌ها در عمق توسعه ریشه می‌باشد. سایر تیمارهای آبیاری درصدی از عمق آب آبیاری محاسبه شده برای تیمار آبیاری کامل را دریافت کردند. 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 (۲) 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. در آبیاری با مدیریت پیوسته، عمق آب آبیاری محاسبه شده در هر نوبت آبیاری به‌صورت مداوم در اختیار گیاه قرار گرفت. در مدیریت پالسی، عمق آبیاری محاسبه شده در هر نوبت آبیاری به سه بخش مساوی تقسیم گردید و در طی سه مرحله (با مدت زمان روشن و خاموش بودن یکسان سیستم آبیاری) در اختیار گیاه قرار گرفت. بدین‌صورت که اگر مدت زمان مورد نیاز آبیاری در یک نوبت سه ساعت محاسبه شده بود آبیاری در مدیریت پالسی به‌صورت سه پالس یک ساعته انجام گرفت (انجام چرخه‌ی یک ساعت آبیاری، یک ساعت استراحت تا زمان تکمیل سه ساعت آبیاری).

جدول ۱- 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

برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o)

به‌منظور برآورد تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش فائو-پنمن-مانتیث (۱) از معادله زیر و نرم‌افزار Ref-ET استفاده شد:

(رابطه ۲)

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

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 معادله فائو-پنمن-مانتیث از نزدیک-ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مطالعاتی که فاصله ۸ کیلومتری با محل اجرای طرح داشت، اخذ گردید. مقادیر برخی پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد منطقه مطالعاتی در جدول (۲) ارائه شده است.

1. Profile Probe
2. Pulsed
3. Continuous

جدول ۲- 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

ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای (k_c)

برای محاسبه ضریب گیاهی در طی مراحل مختلف رشد در پژوهش حاضر از معادلات ارائه شده در نشریه فائو-۵۶ استفاده شد (Allen *et al*., 1998)

(رابطه ۳)

$$K_{c\,ini} = K_{c\,ini\,(Tab,Fig)} \times f_w$$

(رابطه ۴)

$$K_{c\,mid} = K_{c\,mid\,(Table)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

(رابطه ۵)

$$K_{c\,end} = K_{c\,end\,(Table)} + [0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)]\left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

که در آن‌ها $K_{c\,ini}$ ضریب گیاهی دوره اولیه رشد، $K_{c\,ini\,(Tab,Fig)}$ ضریب گیاهی دوره اولیه رشد (جدول شماره ۱۲ یا شکل ۲۹ یا ۳۰ نشریه فائو-۵۶)، f_w جزئی از سطح خاک که در طی فرآیند آبیاری یا بارندگی مرطوب شده است و مقدار آن طبق توصیه نشریه فائو برای آبیاری قطره‌ای ۰/۳-۰/۴ می‌باشد، $K_{c\,mid}$ و $K_{c\,end}$ نیز به‌ترتیب ضریب گیاهی مرحله میانی و پایانی رشد، $K_{c\,mid\,(Table)}$ و $K_{c\,end\,(Table)}$ به‌ترتیب ضریب گیاهی مرحله میانی و پایانی رشد پیشنهادی نشریه فائو-۵۶، u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، RH_{min} حداقل رطوبت نسبی (٪) و h ارتفاع گیاه (متر) می‌باشد.

تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای (ET_c) در شرایط استاندارد

برای محاسبه تبخیر- تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در شرایط استاندارد (یعنی در طی دوره رشد گیاه هیچ‌گونه محدودیتی از نظر رشد گیاه، تبخیر از سطح خاک، تنش شوری، تراکم محصول، آفت و بیماری‌ها و آلودگی به علف‌های هرز وجود نداشته باشد.) از معادله زیر استفاده شد (Allen *et al*., 1998):

(رابطه ۶)

$$ET_c = k_c \times ET_o$$

که در این معادله، ET_c و ET_o به‌ترتیب تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای و تبخیر- تعرق گیاه مرجع هستند.

تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در شرایط تنش آبی ($ET_{c\,adj}$)

در شرایط تنش آبی ضریب تنش بین صفر و یک، و در شرایط بدون تنش آبی، این ضریب برابر یک می‌باشد ($k_s = ۱$). این ضریب اثر تنش آبی بر تعرق گیاه را توصیف می‌کند. باتوجه به وجود تیمارهای کم‌آبیاری در این پژوهش، برای تعیین تبخیر-تعرق ذرت علوفه‌ای در این تیمارها نیاز به محاسبه مقدار ضریب تنش بود که به صورت زیر تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای را تعدیل می‌نماید: (Allen *et al*., 1998)

(رابطه ۷)

$$ET_{c\,adj} = k_s \,.\, k_c \,.\, ET_o$$

در رابطه بالا $ET_{c\,adj}$، تبخیر-تعرق گیاه در شرایط تنش آبی بر حسب میلی‌متر در طول فصل رشد؛ k_s، ضریب تنش آب در خاک یا ضریب کاهش تعرق؛ k_c، ضریب گیاهی و ET_o بیانگر تبخیر-تعرق گیاه مرجع هستند. ضریب تنش آب در این پژوهش از معادله زیر محاسبه شد (Allen *et al*., 1998):

(رابطه ۸)

$$k_s = \frac{TAW - D_r}{TAW - RAW} = \frac{TAW - D_r}{(1 - P)TAW}$$

در معادله مذکور k_s، ضریب تنش آب در خاک یا ضریب کاهش تعرق؛ D_r، مقدار تخلیه رطوبت از محدوده توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)؛ TAW، کل آب قابل استفاده در محدوده توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر) و P، نسبتی از کل آب قابل استفاده که گیاه بدون تحمل تنش آبی از محدوده توسعه ریشه جذب می‌کند (درصد)، می‌باشد که طبق توصیه نشریه فائو مقدار آن برای گیاه ذرت در طول دوره رشد ۰/۵ لحاظ شد.

تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (ET_a)

به‌منظور محاسبه تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای در طول دوره رشد و مقایسه آن با مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی به‌روش فائو، از معادله بیلان آب استفاده شد (Bandyopadhyay et al., 2005):

(رابطه ۹)

$$ET_a = \int_{t_1}^{t_2} (I + P - DP - Ro + CR - [(\theta_f - \theta_b) \times D_{rz}])$$

در معادله مذکور پارامترهای ET_a، I، P، DP، Ro، CR، θ_b، θ_f، D_{rz}، t_1 و t_2 به ترتیب بیانگر تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای،

عمق آبیاری، مقدار بارندگی موثر، نفوذعمقی، رواناب، صعود شعریه‌ای برحسب میلی‌متر، رطوبت حجمی خاک ابتدای دوره رشد، رطوبت حجمی خاک در انتهای دوره رشد برحسب مترمکعب بر مترمکعب، عمق توسعه ریشه گیاه برحسب میلی‌متر و بازه زمانی محاسبات (ابتدا و انتهای دوره رشد) برحسب روز 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 مؤئینه 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 موثر در منطقه مطالعاتی صفر میلی‌متر است. برای محاسبه نفوذعمقی در ابتدای دوره رشد و انتهای دوره رشد با حفر پروفیل در عمق خاک میزان تغییرات رطوبتی خاک در زیر عمق توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) اندازه‌گیری و به‌عنوان نفوذعمقی در معادله لحاظ گردید.

برای محاسبه نفوذعمقی در منطقه مطالعاتی با استفاده از اندازه‌گیری رطوبت خاک توسط دستگاه پروفایل پروب مقدار آب نفوذ یافته به زیر عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک (زیر محدوده توسعه ریشه گیاه) در طی دوره رشد به‌عنوان نفوذعمقی در معادله مذکور لحاظ شد.

نتایج و بحث

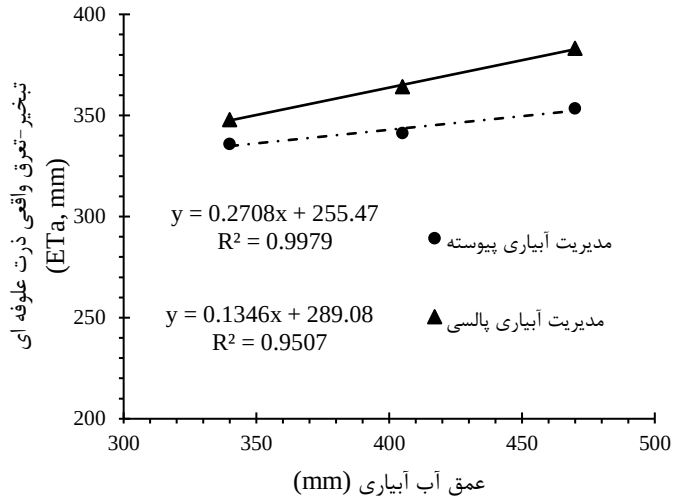
تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای (ET_a)

میزان تبخیر-تعرق واقعی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده در طول کل فصل رشد برای سطوح مختلف آبیاری تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته در جدول (۳) ارائه شده است. براساس این نتایج بیشترین مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه در تیمار بیش-آبیاری تحت مدیریت آبیاری پالسی ($PI_۲$) و کمترین مقدار در تیمار کم‌آبیاری در سطح ۸۰ درصد ($CI_۳$) مشاهده شد. میزان تبخیر-تعرق در تیمار بیش‌آبیاری حدود ۴/۵ درصد بیش‌تر از تیمار آبیاری کامل می‌باشد. باتوجه به‌این‌که محاسبات مربوط به عمق آب آبیاری با استفاده از قرائت‌های دستگاه پروفایل پروب انجام شده است و امکان ایجاد خطای اندک در اندازه‌گیری‌ها و قرائت‌های دستگاه وجود دارد، لذا احتمال دارد که عمق آبیاری محاسبه و اعمال شده در تیمار آبیاری کامل مقداری کم‌تر از نیاز واقعی گیاه بوده باشد و این موضوع را می‌توان دلیل افزایش ناچیز مقدار تبخیر-تعرق در تیمار بیش‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل بیان کرد.

جدول ۳- عمق آبیاری و تبخیر – تعرق واقعی گیاه تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته

تیمارها	سطح آبیاری	عمق آبیاری (میلی‌متر)	تبخیر – تعرق واقعی گیاه (میلی‌متر)
$CI_۱$	٪۱۰۰	۴۰۵	۳۴۱
$CI_۲$	٪۱۲۰	۴۷۰	۳۵۲
$CI_۳$	٪۸۰	۳۴۰	۳۳۶
$PI_۱$	٪۱۰۰	۴۰۵	۳۶۴
$PI_۲$	٪۱۲۰	۴۷۰	۳۸۳
$PI_۳$	٪۸۰	۳۴۰	۳۴۸

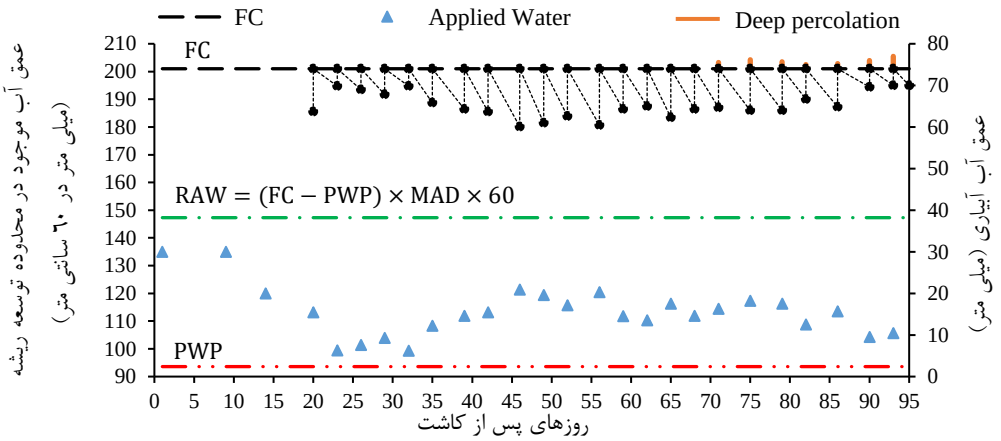
ضمن اینکه پژوهشگران دیگری نیز در مطالعات خود مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه را در تیمارهای تأمین ۱۲۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (ET_c) بیش از تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد ET_c) گزارش کردند و اظهار داشتند با افزایش عمق آب آبیاری مقدار تبخیر-تعرق به‌طور خطی افزایش می‌یابد (Irmak *et al.*, 2016 and Liu *et al.*, 2017). Simsek *et al.*,(2011) نیز در پژوهش خود میانگین تبخیر- تعرق را برای سطوح آبیاری کامل و کم-آبیاری در سطح ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی گیاه برای سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ به‌ترتیب برابر ۹۷۵ و ۷۸۵ میلی‌متر تحت سیستم آبیاری قطره‌ای گزارش نمودند. دلیل اختلاف تبخیر-تعرق ذرت گزارش شده توسط سایر پژوهشگران با پژوهش حاضر می‌تواند متفاوت بودن شرایط آب و هوایی، نوع رقم کشت شده و اعمال مدیریت‌های مختلف آب و گیاه در مزرعه باشد. شکل (۱) نشان می‌دهد که تبخیر-تعرق واقعی گیاه تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته برای سطوح مختلف آبیاری با افزایش عمق آبیاری به صورت خطی افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بارندگی توان تأمین نیاز آبی گیاه را ندارد، آبیاری یک منبع اصلی برای تأمین نیاز آبی گیاه و رشد آن می‌باشد و سهم عمده‌ای در تبخیر-تعرق محصول دارد. این ارتباط مثبت خطی بین تبخیر-تعرق واقعی گیاه و عمق آبیاری در مناطق خشک توسط دیگر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Liu *et al.*, 2012; Zheng *et al.*, 2013a, b; Irmak *et al.*, 2016 and Liu *et al.*, 2017).



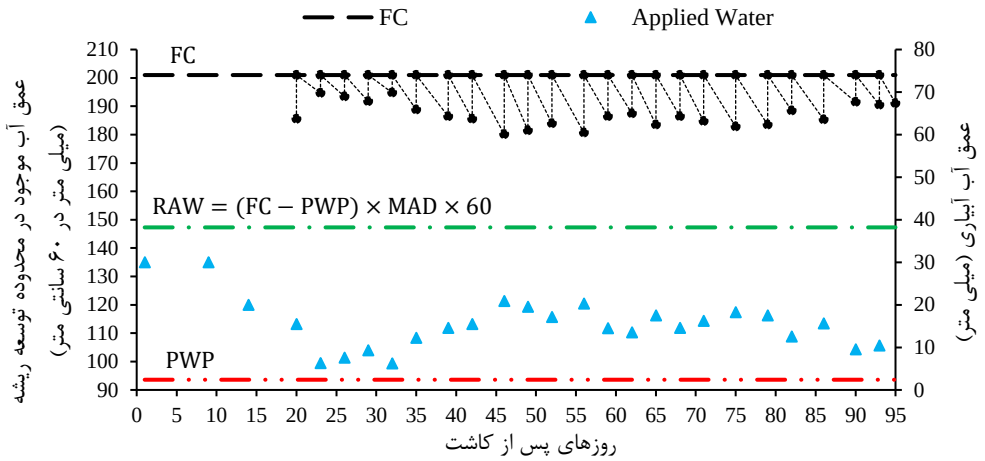
شکل ۱- رابطه بین عمق آب آبیاری و تبخیر-تعرق واقعی گیاه تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته

روند تغییرات عمق آب موجود در محدوده توسعه ریشه گیاه طی فصل رشد

روند تغییرات عمق آب موجود در محدوده توسعه ریشه گیاه در تیمارهای مختلف آبیاری در طول فصل رشد تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته در شکل‌های (۲ تا ۷) ارائه شده است. در تیمار آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) با مدیریت پیوسته حدود ۱۹ میلی‌متر نفوذعمقی اتفاق افتاده است (شکل ۲)، درحالی‌که در مدیریت پالسی نفوذعمقی در انتهای فصل مشاهده نشد (شکل ۳). باتوجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده توسط پژوهشگران و پروفیل رطوبتی حفر شده در خاک در انتهای فصل رشد می‌توان نتیجه گرفت که در مدیریت پیوسته حرکت آب در جهت عمودی بیشتر از جهت افقی بوده و درنتیجه مقداری از آب آبیاری به زیر منطقه توسعه ریشه هدایت و از دسترس گیاه خارج شده است. درحالی‌که در مدیریت پالسی حرکت افقی رطوبت در خاک نسبت به مدیریت پیوسته بیشتر بوده و همین امر باعث حذف نفوذعمقی در این مدیریت گشته است. با توجه به یکسان بودن عمق آب آبیاری در هر دو مدیریت پالسی و پیوسته در تیمار آبیاری کامل و تغییرات رطوبتی خاک در انتهای فصل که تقریباً مشابه بوده است، طبق معادله بیلان آب خاک با توجه به نبود نفوذعمقی در مدیریت پالسی میزان تبخیر-تعرق در این مدیریت در نتیجه فراهم شدن شرایط رطوبتی مطلوب برای رشد گیاه نسبت به مدیریت پیوسته هشت درصد افزایش یافته است.

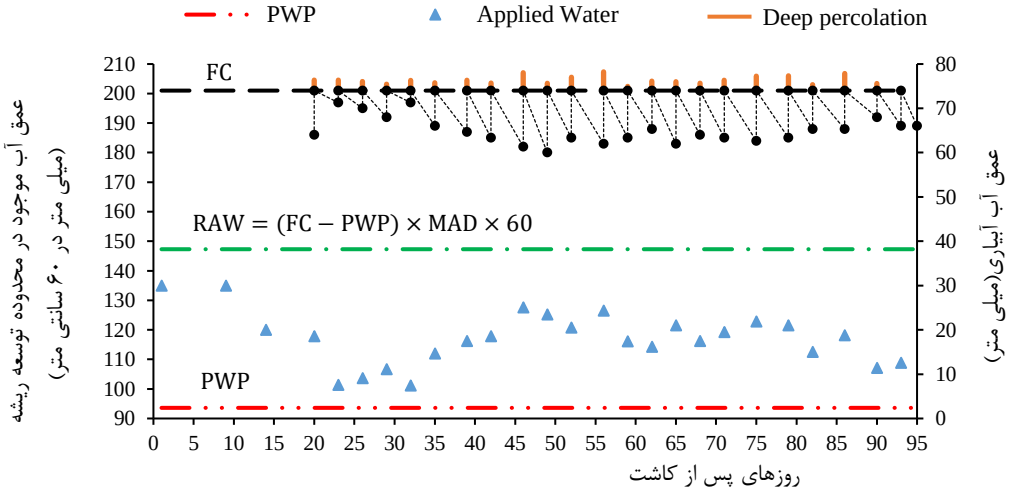


شکل ۲- روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار CI_1 در طی فصل رشد



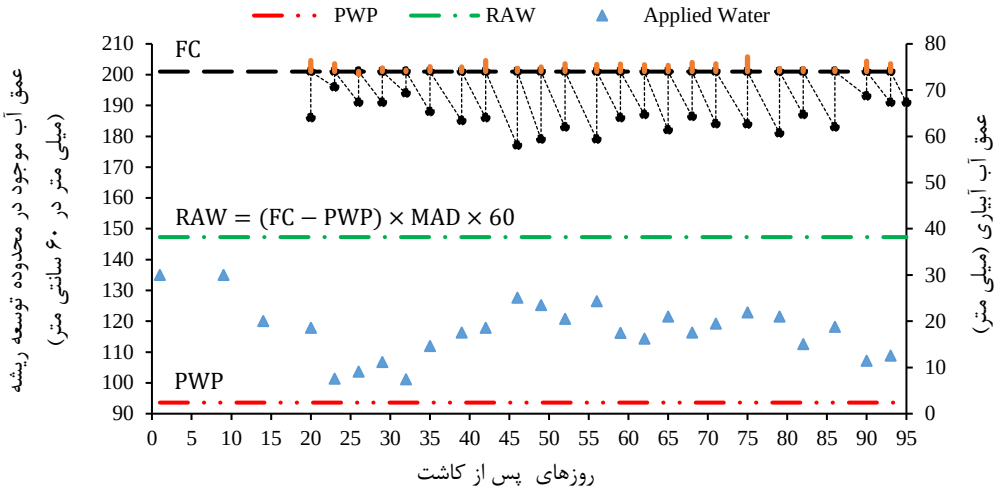
شکل ۳- روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار PI_1 در طی فصل رشد

همان‌طور که در شکل‌های (۲ و ۳) نیز مشاهده می‌شود که در هر دو مدیریت در تیمار آبیاری کامل، رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه در طی فصل رشد بالای حد رطوبت سهل-الوصول[1] برای گیاه بوده و درنتیجه هیچ‌گونه تنش رطوبتی به گیاه وارد نشده است. با توجه به شکل (۴ و ۵) در تیمار بیش‌آبیاری (تأمین ۱۲۰ درصد نیاز آبی گیاه) باتوجه به افزایش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری در مدیریت پیوسته حدود ۷۸ میلی‌متر و در مدیریت پالسی حدود ۴۸ میلی‌متر نفوذعمقی اتفاق افتاده است. اعمال مدیریت پالسی باعث توزیع بهتر رطوبت در منطقه توسعه ریشه گیاه و کاهش ۳۹ درصدی نفوذعمقی نسبت به مدیریت پیوسته در تیمار بیش‌آبیاری شد. در نتیجه شرایط رطوبتی بهتری برای رشد گیاه در خاک فراهم شده و تبخیر-تعرق گیاه و به‌تبع آن عملکرد محصول نیز نسبت به مدیریت پیوسته در این تیمار افزایش یافت. باتوجه به افزایش ۲۰ درصدی عمق آبیاری به‌نظر می‌رسد اعمال مدیریت پالسی علاوه بر کاهش هدررفت آب، فرصت کافی برای نفوذ آب در خاک و توزیع مناسب‌تر رطوبت در محدوده توسعه ریشه را فراهم کرده و از ایجاد شرایط ماندابی در محدوده توسعه ریشه که می‌تواند از نظر هوادهی برای ریشه گیاه مشکل ایجاد کند، جلوگیری کرده است.



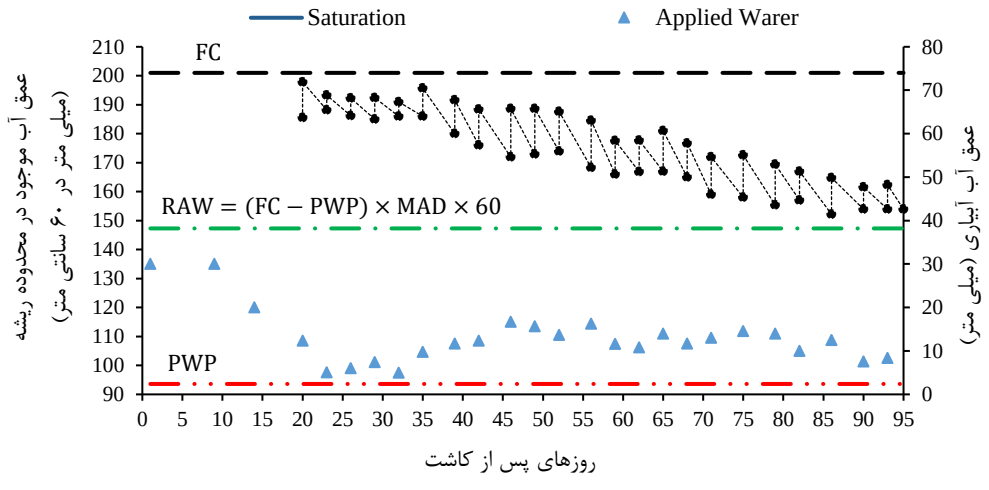
شکل ۴- نمودار آبیاری برای تیمارهای PI_1 در طی مراحل رشد

[1] -Readily available wate

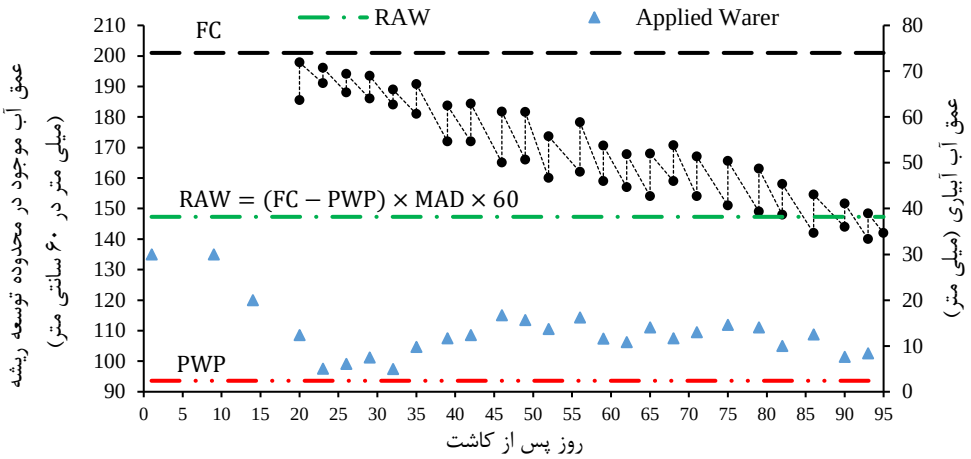


شکل ۵- روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار PI_2 در طی فصل رشد

بررسی نمودارهای تیمار کم‌آبیاری (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) نشان می‌دهد که در هر دو مدیریت پالسی و پیوسته در این تیمار، کاهش ۲۰ درصدی عمق آب آبیاری باعث کاهش مقدار رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه شده است چرا که گیاه برای جبران کمبود رطوبتی در طی فصل رشد از رطوبت موجود در خاک استفاده کرده است (شکل‌های ۶ و ۷). معادله بیلان آب نشان داد که میزان تبخیر- تعرق در مدیریت پالسی چهار درصد بیش‌تر از مدیریت پیوسته در این تیمار می‌باشد که باتوجه به شکل (۷) نیز مشاهده می‌گردد در انتهای فصل رشد مقدار رطوبت خاک در مدیریت پالسی به کم‌تر از حد رطوبتی سهل‌الوصول رسیده است و شیب کاهش رطوبت خاک بیش‌تر از مدیریت پیوسته می‌باشد که به‌دلیل افزایش تبخیر-تعرق در تیمار مدیریت پالسی کم‌آبیاری نسبت به مدیریت پیوسته کم‌آبیاری می‌باشد که گیاه علاوه بر مصرف آب آبیاری مقداری از رطوبت خاک را نیز برداشت کرده است. باتوجه به این‌که در طی فصل رشد مقدار رطوبت خاک در محدوده توسعه ریشه گیاه از حد رطوبتی سهل‌الوصول کم‌تر نبوده است بنابراین تیمار کم‌آبیاری (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه) تحت تنش رطوبتی قرار نگرفته و درنتیجه کاهش عملکرد محصول محسوسی نیز در این تیمار نباید انتظار داشت. عمق آب آبیاری استفاده شده در بیست روز ابتدایی دوره رشد برای تمام تیمارها به صورت یکسان اعمال شد که مقدار کل آن ۸۰ میلی‌متر بود. باتوجه به این که تیمارهای آبیاری از روز بیستم اعمال گردید، برای محاسبه مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه در این بازه زمانی از رطوبت خاک در ابتدای فصل کشت و رطوبت خاک در روز بیستم و معادله بیلان آب استفاده شد. مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه در این دوره بیست روزه ۴۴ میلی‌متر محاسبه گردید. مقدار محاسبه شده تبخیر-تعرق برآوردی ذرت به روش نشریه فائو ۵۶ برای دوره بیست روزه ابتدایی رشد طبق محاسبات انجام شده ۴۸ میلی‌متر بود.



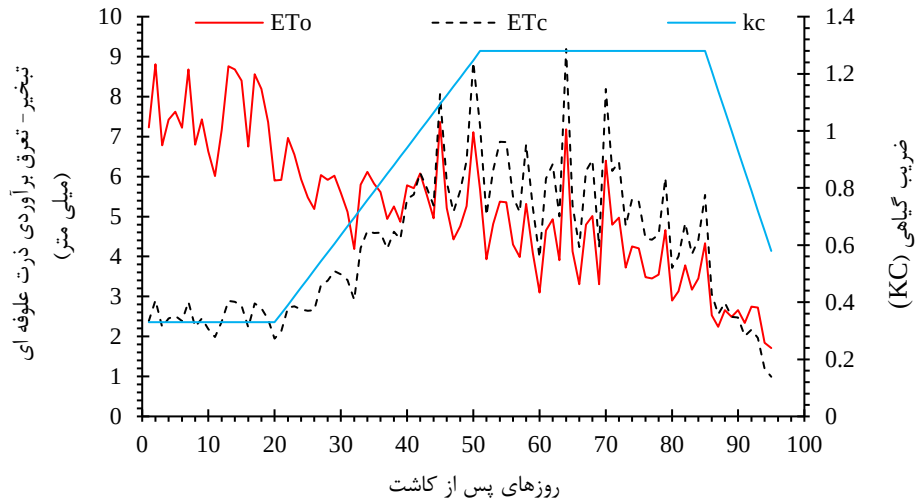
شکل ۶- روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار CI_2 در طی فصل رشد



شکل ۷- روند تغییرات رطوبت خاک در تیمار PI_3 در طی فصل رشد

محاسبه ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای

در پژوهش حاضر مقادیر ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در طی مراحل مختلف رشد با استفاده از معادلات ارائه شده در نشریه فائو ۵۶ بدست آمده است (Allen *et al.*, 1998). ضرایب گیاهی در مراحل اولیه، میانی و نهایی به ترتیب ۰/۳۳، ۱/۲۸ و ۰/۵۸ تعیین شد (شکل ۸). Azari *et al.*, (2007) تحقیقی 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 درصد 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 که با نتایج این بخش از نظر بررسی ضریب گیاهی در مدیریت آبیاری پیوسته هم‌خوانی دارد. مقدار ضریب گیاهی اغلب به دلیل تغییرات در زمان کاشت، تراکم کاشت، تأثیر شرایط اقلیمی و رقم کشت شده تغییر پیدا می‌کند (Pruitt *et al.*,1987). مقایسه نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با یافته‌های دیگر پژوهشگران نشان می‌دهد که تغییرات ضریب گیاهی در مناطق مختلف یا در منطقه‌ای مشخص با تاریخ کاشت مختلف می‌تواند متفاوت باشد. درنتیجه استخراج ضریب گیاهی مختص هر منطقه برای شرایط اقلیمی مختلف و زمان‌های کاشت مختلف جهت محاسبه هرچه دقیق‌تر پارامتر تبخیر-تعرق گیاه ضروری است.



شکل ۸- روند تغییرات تبخیر-تعرق گیاه مرجع، تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی به روش نشریه فائو

محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) و تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای (ET_c)

در پژوهش حاضر مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع محاسبه شده با استفاده از داده‌های هواشناسی و معادله فائو-پنمن-مانتیث

(معادله ۲) طی دوره رشد ۹۳ روزه گیاه ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه ۴۹۵ میلی‌متر بدست آمد (شکل ۸). برای محاسبه تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای، نیاز به ضریب گیاهی بود که به روش نشریه فائو ۵۶ محاسبه شد. تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای با استفاده از معادله (۶) در طی فصل رشد برابر ۴۰۰ میلی‌متر محاسبه شد. با توجه به نمودار آبیاری ارائه شده در شکل (۷) مشاهده می‌شود که از آبیاری ۸۶ ام به بعد در تیمار $PI_۲$ رطوبت موجود در خاک به کمتر از حد رطوبت سهل‌الوصول (حدRAW) رسیده است و گیاه تحت تنش قرار گرفته است. بنابراین برای تصحیح تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای (ET_c) در این تیمار از ضریب k_s ارائه شده در نشریه فائو ۵۶ استفاده گردید (معادله ۸). مقادیر تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای برای تمامی سطوح آبیاری تقریباً یکسان بود (جدول ۴). مقایسه نتایج تبخیر-تعرق برآوردی از روش فائو و مقادیر تبخیر-تعرق واقعی از روش بیلان آب خاک نشان می‌دهد که استفاده از معادله فائو-پنمن-مانتیث و ضرایب گیاهی پیشنهادی نشریه فائو باعث بیش‌برآورد تبخیر-تعرق در منطقه مطالعاتی شده است. بنابراین برای محاسبه دقیق‌تر تبخیر-تعرق گیاه نیاز به استفاده از ضرایب گیاهی محلی می‌باشد.

جدول ۴- عمق آبیاری و تبخیر - تعرق برآوردی گیاه ذرت علوفه‌ای تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته

تیمارها	سطح آبیاری	عمق آبیاری (میلی‌متر)	تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای (میلی‌متر)
$CI_۱$	٪۱۰۰	۴۰۵	۴۰۰
$CI_۲$	٪۱۲۰	۴۷۰	۴۰۰
$CI_۳$	٪۸۰	۳۴۰	۴۰۰
$PI_۱$	٪۱۰۰	۴۰۵	۴۰۰
$PI_۲$	٪۱۲۰	۴۷۰	۴۰۰
$PI_۳$	٪۸۰	۳۴۰	۳۹۹

برآورد نفوذعمقی در طی فصل رشد

برای رسم منحنی تغییرات عمق آب موجود در محدوده توسعه ریشه گیاه، عمق آب آبیاری محاسبه شده براساس تیمار آبیاری کامل به رطوبت قبل آبیاری در هر تیمار که توسط دستگاه پروفایل پروب قرائت شده بود اضافه گردید. مقدار نفوذعمقی نیز براساس اندازه‌گیری‌های رطوبت خاک در زیر منطقه توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) با استفاده از دستگاه پروفایل پروب محاسبه شد و به نمودار مذکور اضافه گردید. در این پژوهش در تیمارهای $CI_۲$، $CI_۱$ و $PI_۲$ نفوذعمقی مشاهده شد و مقدار آن به‌ترتیب برابر با ۷۸، ۱۹ و ۴۸ میلی‌متر در انتهای فصل رشد بود. هم‌چنین برای اطمینان از محاسبات در ابتدا و انتهای فصل رشد نیز پروفیل رطوبتی در خاک حفر و مقدار تغییرات رطوبت در زیر منطقه توسعه ریشه گیاه به‌عنوان نفوذعمقی اندازه‌گیری شد که مقدار آن با اندازه‌گیری‌های نفوذعمقی توسط دستگاه پروفایل پروب در طی دوره رشد تفاوت زیادی نداشت.

نتیجه‌گیری

مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه ذرت علوفه‌ای تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته با استفاده از روش بیلان آب خاک در شرایط آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) از ابتدای دوره رشد تا مرحله برداشت ۳۶۴-۳۴۱ میلی‌متر، در تیمار کم-آبیاری ۳۴۸-۳۳۶ میلی‌متر و در تیمار بیش‌آبیاری ۳۸۳-۳۵۲ میلی‌متر محاسبه شد. مقدار تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای به روش نشریه فائو ۵۶ در طول دوره رشد ۴۰۰ میلی‌متر محاسبه شد که حدود ۱۳/۵ درصد بیشتر از متوسط مقدار تبخیر- تعرق واقعی تیمار آبیاری کامل در مدیریت پالسی و پیوسته می‌باشد. علت این اختلاف می‌تواند مربوط به ضریب گیاهی استفاده شده در تبخیر-تعرق برآوردی به روش نشریه فائو باشد که پیشنهاد می‌شود برای افزایش دقت برآورد نیاز آبی گیاه از مقادیر ضریب گیاهی محلی که مربوط به منطقه مورد مطالعه است، استفاده گردد. هم‌چنین نتایج مربوط به نفوذعمقی در تیمار بیش‌آبیاری نشان داد که استفاده از مدیریت آبیاری پالسی باعث کاهش ۳۰ درصدی نفوذعمقی نسبت‌به تیمار بیش‌آبیاری تحت مدیریت آبیاری پیوسته می‌گردد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش نفوذعمقی در منطقه مورد مطالعه از مدیریت آبیاری پالسی استفاده شود.

"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.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). FAO Irrigation and drainage paper No. 56. *Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations*, *56*(97), e156.

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.

Bandyopadhyay, P. K., Mallick, S., and Rana, S. K. (2005). Water balance and crop coefficients of summer-grown peanut (Arachis hypogaea L.) in a humid tropical region of India. *Irrigation Science*, *23*(4), 161-169.

Bozkurt, S., and Yazar, A. (2011). Effects of different drip irrigation levels on yield and some agronomic characteristics of raised bed planted corn. *African Journal of Agricultural Research*, *6*(23), 5291-5300.

Dehghanisanij, H., Kanani, E., and Akhavan, S. (2018). Evaluation of corn evapotranspiration and its components and relationship between leaf area index and components in surface and subsurface drip irrigation systems. *Journal of Water and Soil*, *31*(6).

Gheysari , M. (2006). Effects of Maize fertigation via sprinkler irrigation on nitrate leaching under different levels of fertilizer and water application. Ph.D. dissertation, University of Tarbiat modares, Iran.

Gheysari, M., Mirlatifi, S. M., Homaee, M., and Asadi, M. E. (2006). Determination of crop water use and crop coefficient of corn silage based on crop growth stages. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *7*(26), 125-142.

Gheysari, M., Sadeghi, S. H., Loescher, H. W., Amiri, S., Zareian, M. J., Majidi, M. M., ... and Payero, J. O. (2017). Comparison of deficit irrigation management strategies on root, plant growth and biomass productivity of silage maize. *Agricultural Water Management*, *182*, 126-138.

Hao, B., Xue, Q., Marek, T. H., Jessup, K. E., Hou, X., Xu, W., ... and Bean, B. W. (2015). Soil water extraction, water use, and grain yield by drought-tolerant maize on the Texas High Plains. *Agricultural Water Management*, *155*, 11-21.

Howell, T. A., Evett, S. R., Tolk, J. A., Copeland, K. S., Colaizzi, P. D., and Gowda, P. H. (2008). Evapotranspiration of corn and forage sorghum for silage. In *World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'A* (pp. 1-14.

Irmak, S., Djaman, K., & Rudnick, D. R. (2016). Effect of full and limited irrigation amount and frequency on subsurface drip-irrigated maize evapotranspiration, yield, water use efficiency and yield response factors. *Irrigation Science*, *34*(4), 271-286.

Liu, H., Wang, X., Zhang, X., Zhang, L., Li, Y., & Huang, G. (2017). Evaluation on the responses of maize (Zea mays L.) growth, yield and water use efficiency to drip irrigation water under mulch condition in the Hetao irrigation District of China. *Agricultural Water Management*, *179*, 144-157.

Liu, H., Yang, H., Zheng, J., Jia, D., Wang, J., Li, Y., and Huang, G. (2012). Irrigation scheduling strategies based on soil matric potential on yield and fruit quality of mulched-drip irrigated chili pepper in Northwest China. *Agricultural water management*, *115*, 232-241.

Oktem, A., Simsek, M., & Oktem, A. G. (2003). Deficit irrigation effects on sweet corn (Zea mays saccharata Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region: I. Water-yield relationship. *Agricultural Water Management*, *61*(1), 63-74.

Pruitt WO, Fereres E, Kaita K, Snyder RL. (1987). *"Reference evapotranspiration (ETo) for California"* . Agriculture and Experiment Station Bulletin, University of California. 16 pp.

Simsek, M., Can, A., Denek, N., & Tonkaz, T. (2011). The effects of different irrigation regimes on yield and silage quality of corn under semi-arid conditions. *African Journal of Biotechnology*, *10*(31), 5869-5877.

Zheng, J., Huang, G., Jia, D., Wang, J., Mota, M., Pereira, L. S., Xu, X., and Liu, H. (2013). Responses of drip irrigated tomato (Solanum lycopersicum L.) yield, quality and water productivity to various soil matric potential thresholds in an arid region of Northwest China. *Agricultural Water Management*, *129*, 181-193.

Zheng, J., Huang, G., Wang, J., Huang, Q., Pereira, L. S., Xu, X., and Liu, H. (2013). Effects of water deficits on growth, yield and water productivity of drip-irrigated onion (Allium cepa L.) in an arid region of Northwest China. *Irrigation Science*, *31*(5), 995-1008.