تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۱۲، اسفند ماه ۱۳۹۹ (ص ۳۱۳۵-۳۱۴۵) DOI: 10.22059/ijswr.2020.309258.668726

Effect of Pulsed Management in Drip Irrigation on Yield, Yield Components and Water Productivity of Silage Maize

SANAZ MOHAMMADI[1], SEYED MAJID MIRLATIFI[1*], HOSSEIN DEHGHANISANIJ[2], MEHDI HOMAEE[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: Sep. 11, 2020- Revised: Oct. 28, 2020- Accepted: Oct. 31, 2020)

ABSTRACT

Water scarcity across the world has led researchers to develop a new irrigation technique called pulsed drip irrigation in order to improve soil moisture distribution as well as to increase water productivity. Pulsed drip irrigation refers to irrigating for a short period then waiting for another short period and repeating this On-Off cycle until the entire irrigation depth is applied. In this study, the combined effects of pulsed drip irrigation and its On-Off time duration on yield, yield components and water productivity of silage maize under two growing seasons (spring and summer) were evaluated. The selected experimental design was split-plot in completely randomized block design with three replicates. The treatments were consisted of four pulsed drip irrigations (P1, P2, P3, P4) and two Off-Time duration, 1 and 3 times of On-Time duration in a pulse (T1, T2). Results indicated that the interaction of the studied treatments on yield, yield components and water productivity of silage maize is significant. The maximum dry yield and water productivity was 25.86 (ton/ha) and 5.95 (kg/m^3) in (T2 P4) treatment (average of two growing seasons) which increased by about 17% compared to (T1 P1) treatment. Increasing the number of irrigation pulses to four times lead to 6% and 17% increase in the studied parameters, respectively, in T1 and T2 treatments. Consequently, based on the positive effect of increasing the Off-Time duration in applying pulsed drip irrigation with high flow rate, it is suggested that the ratio of Off-Time to On-Time duration should be increased.

Keywords: Irrigation Management; Off-Time Duration; Pulsed Drip Irrigation; Water Productivity; Yield.

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

تأثیر مدیریت پالسی در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای

ساناز محمدی[۱]، سید مجید میرلطیفی[۱*]، حسین دهقانی سانیج[۲]، مهدی همایی[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: ۱۳۹۹/۶/۲۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۷- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۸/۱۰)

چکیده

اخیرا فناوری نوینی با نام مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای با هدف بهبود توزیع رطوبت در خاک و افزایش بهره‌وری آب مورد توجه قرار گرفته است. مدیریت پالسی شامل استفاده از فازهای مختلف قطع و وصل جریان در فرآیند آبیاری می‌باشد به‌طوری‌که چرخه قطع و وصل جریان تا زمان اعمال کامل عمق آبیاری ادامه می‌یابد. در این پژوهش تأثیر آبیاری قطره‌ای پالسی و زمان‌بندی اعمال پالس‌ها بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای طی دو دوره رشد بهاره و تابستانه بررسی شد. آزمایش‌ها به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. چهار تیمار آبیاری پالسی شامل کاربرد عمق آب آبیاری در یک، دو، سه و چهار پالس (P1, P2, P3, P4) و دو تیمار زمان‌بندی مدت قطع جریان به‌صورت یک برابر و سه برابر مدت زمان وصل جریان در هر پالس (T1, T2) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب معنی‌دار (به‌ترتیب در سطح یک و ۵ درصد) است. بیشترین عملکرد خشک و بهره‌وری آب مربوط به تیمار T2 P4 برابر با ۲۵/۸۶ تن بر هکتار و ۵/۹۵ کیلوگرم بر مترمکعب (میانگین دو دوره رشد) بود که حدود ۱۷ درصد نسبت به تیمار T1 P1 بیش‌تر می‌باشد. افزایش چهار برابری تعداد پالس‌های آبیاری باعث افزایش شش و ۱۷ درصدی پارامترهای مورد بررسی به‌ترتیب در تیمارهای T1 و T2 شد. بنابراین با توجه به نتایج مثبت افزایش زمان قطع جریان در آبیاری قطره‌ای پالسی، پیشنهاد می‌شود در صورت استفاده از این فناوری نسبت زمان قطع به وصل جریان افزایش یابد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری قطره‌ای پالسی؛ بهره‌وری آب؛ زمان قطع جریان؛ عملکرد محصول؛ مدیریت آبیاری.

مقدمه

با توجه به کمبود منابع آب تجدیدپذیر در جهان و سهم بالای بخش کشاورزی در مصرف آب، افزایش بهره‌وری آب کشاورزی از اهمیتی فراوان برخوردار است. در این راستا استفاده از انواع روش‌های آبیاری تحت فشار به‌ویژه آبیاری قطره‌ای در کاشت غلاتی مانند ذرت بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای باید توجه داشت که عملیات آبیاری باید با زمان‌بندی دقیق و مطابق با نیاز گیاه صورت گیرد. بنابراین، مدیریت صحیح آبیاری در این سیستم‌ها یکی از عوامل موثر در جلوگیری از ایجاد تنش رطوبتی به گیاه در مراحل مختلف رشد است (Salokhe *et al.*, 2005). همه‌ی روش‌های آبیاری و از جمله روش آبیاری قطره‌ای تنها در صورتی‌که مطابق با شرایط خاک و گیاه به‌طور صحیح طراحی شده باشند امکان افزایش بهره‌وری آب را خواهند داشت. یکی از نکاتی که در طراحی صحیح یک سیستم آبیاری قطره‌ای باید مورد توجه قرار گیرد، مطابقت هرچه بیشتر الگوی توزیع آب اطراف قطره‌چکان‌ها با الگوی رشد ریشه در خاک است (Kandelous *et al.*, 2011). بدین‌منظور، برخی از پژوهشگران استفاده از مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای را پیشنهاد کرده‌اند. اصول آبیاری پالسی[۱] نخستین بار توسط Karmeli and Peri (1974) مطرح شد. تناوب یا پالس شامل یک سری چرخه‌های آبیاری است که هر چرخه شامل یک فاز آبیاری (وصل جریان[۲]) و یک فاز استراحت (قطع جریان[۳]) است. استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای پالسی می‌تواند توزیع رطوبت در خاک را بهبود بخشد، زیرا کاربرد متناوب آب اجازه توزیع مجدد رطوبت در خاک پیش از آغاز تناوب بعدی آبیاری را می‌دهد که می‌تواند باعث تسریع حرکت افقی و رو به بالای آب در خاک گردد Elnesr and Alazba, (2015). استفاده از مدیریت پالسی نسبت به مدیریت پیوسته می‌تواند باعث صرفه‌جویی در مصرف آب شود

* نویسنده مسئول: Mirlat_m@modares.ac.ir

1. Pulsed Irrigation
2. On-Time
3. Off-Time

زیرا محیط خاک، فرصت کافی برای خیس شدن از پالس نخست آبیاری را خواهد داشت، بنابراین پالس بعدی آبیاری به‌راحتی جذب خاک شده و به‌علت کاهش نفوذ عمقی حجم آب مورد نیاز آبیاری کاهش می‌یابد (Eid *et al.*, 2013; Almeida *et al.*, 2015). پژوهش‌ها نشان داده که با انجام مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای در صورت استفاده از قطره‌چکان‌هایی با دبی بالا، می‌توان پیاز رطوبتی مشابه با مدیریت آبیاری پیوسته در قطره‌چکان‌هایی با دبی پایین به‌دست آورد، ضمن اینکه مشکلات فنی مربوط به استفاده از قطره‌چکان با دبی کم مانند گرفتگی را نخواهد داشت (Zur, 1976). نتایج استفاده از آبیاری قطره‌ای پالسی (با زمان قطع و وصل ۵ دقیقه) بر شکل توزیع رطوبت در خاک و عملکرد ذرت طی دو سال زراعی نشان داد که اعمال مدیریت پالسی عملکرد محصول را نسبت به مدیریت پیوسته ۱۱/۸ درصد افزایش می‌دهد ضمن این‌که موجب کاهش دو درصدی کل حجم آب مصرفی می‌شود (Zin El-Abedin., 2006).

Bakeer *et al.* (2009) طی پژوهشی علت افزایش عملکرد محصول سیب‌زمینی به‌هنگام استفاده از مدیریت پالسی را افزایش راندمان کاربرد آب عنوان کردند که باعث سهولت دسترسی به مواد غذایی در محدوده گستره ریشه گیاه می‌گردد. آن‌ها هم‌چنین گزارش کرده‌اند که افزایش تعداد پالس‌ها باعث افزایش ۴۹ درصدی عملکرد محصول و افزایش ۴۸/۵ درصدی بهره‌وری آب گردید. Eid *et al.* (2013) اثر تعداد پالس‌های آبیاری در شرایط بدون مالچ و با مالچ را بر روی عملکرد سویا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد محصول و بهره‌وری آب مربوط به تیمار هشت پالسی با مالچ پلاستیکی مشکی بود. Madane *et al.* (2018) در تحقیقی تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای پالسی را بر پارامترهای رشد و عملکرد پیاز سفید مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین عملکرد محصول و بهره‌وری آب مربوط به تیمار آبیاری کامل با تعداد چهار پالس بود. Mohamed *et al.* (2012) نیز به این نتیجه رسیدند که با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری، پارامترهای رشد گیاه نخودفرنگی بهبود و عملکرد محصول و بهره‌وری آب افزایش یافت. هم‌چنین Almeida *et al.* (2018) اظهار داشتند که مدیریت پالسی اثر منفی شوری آب بر عملکرد نخودفرنگی را کاهش داده و باعث افزایش بهره‌وری آب گردید. بنابراین استفاده از آبیاری قطره‌ای پالسی به‌علت تأثیر مثبت آن در افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول، صرفه‌جویی در مصرف آب و کاهش گرفتگی قطره‌چکان‌ها مورد توجه قرار گرفته است (Eid *et al.*, 2013).

کمبود منابع آبی، حفر چاه‌های عمیق و برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی باعث افت سطح آب زیرزمینی در اغلب دشت‌های ایران از جمله دشت ورامین شده است. بنابراین افزون‌بر استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار، طراحی و مدیریت صحیح آبیاری در این سیستم‌ها به‌منظور افزایش بهره‌وری آب در این مناطق ضروری است. هدف از این پژوهش، بررسی اثر مدیریت پالسی و زمان‌بندی قطع جریان در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در منطقه ورامین بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ طی دو دوره رشد بهاره و تابستانه ذرت علوفه‌ای در بخشی از مزرعه مجموعه دامپروری صفاری به مساحت حدود۳۰۰ هکتار واقع در منطقه ورامین اجرا گردید. طول و عرض جغرافیایی محل اجرای آزمایش به‌ترتیب "۴۲/۸ ′ ۴۱ °۵۱ شرقی و "۵۱/۹ ′ ۱۹ °۳۵ شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۳۳ متر می‌باشد. تیرماه با میانگین دمای هوای ۴۱/۹ درجه سانتی‌گراد و فروردین با میانگین دمای هوای ۲۱/۴ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه سال طی دو دوره رشد بودند. به منظور تعیین بافت خاک به روش هیدرومتری، نمونه‌برداری تا عمق یک متری خاک در مزرعه مطالعاتی انجام شد (جدول ۱). رقم مورد استفاده در این پژوهش ذرت علوفه‌ای ZP606 بود. عملیات کشت بهاره در تاریخ ۲۵ فروردین و کشت تابستانه در تاریخ ۳۰ تیرماه با استفاده از دستگاه بذرکار پنوماتیک به‌صورت دو ردیفه انجام شد. تراکم کشت مورد استفاده در این پژوهش ۱۲ بوته در متربع بود. برداشت محصول در کشت بهاره در تاریخ ۲۵ تیرماه و در کشت تابستانه در تاریخ یک آبان ماه انجام شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه

عمق خاک (m)	شن (%)	رس (%)	سیلت (%)	بافت خاک	ماده آلی (%)	جرم ویژه ظاهری (gr/cm^3)	رطوبت ظرفیت زراعی (cm^3/cm^3)	رطوبت نقطه پژمردگی دائم (cm^3/cm^3)
۰-۰/۳	۳۸	۲۷	۳۵	لوم	۱/۱۹	۱/۴۹	۳۶	۱۳/۷
۰/۳-۰/۶	۳۶	۲۳	۴۱	لوم	۱/۱۹	۱/۵۱	۳۱	۱۷/۵
۰/۶-۱	۳۵	۲۶	۳۹	لوم	۱/۱۹	۱/۵۱	۳۴	۱۵/۳

طرح آزمایشی

آزمایش به‌صورت طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آبیاری پالسی در چهار سطح شامل کاربرد عمق آبیاری در یک، دو، سه و چهار پالس (P1, P2, P3, P4) و تیمار مدیریت زمان‌بندی قطع جریان در دو سطح یک و سه برابر زمان وصل جریان در هر پالس (T1, T2) اجرا گردید. نمونه‌ای از شیوه زمان‌بندی تیمارهای آبیاری پالسی هنگامی‌که مدت زمان مورد نیاز آبیاری سه ساعت در روز باشد، در جدول (۲) ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول (۲) مشاهده می‌شود، به‌عنوان مثال در تیمار سه پالسی (P3) که مدت زمان وصل جریان در هر پالس آبیاری برابر یک ساعت است، زمان‌بندی قطع جریان در حالت یک برابر زمان وصل جریان در هر پالس (T1) برابر با یک ساعت و در حالت سه برابر زمان وصل جریان در هر پالس (T2) برابر با سه ساعت می‌باشد. هر تیمار شامل چهار خط دو ردیفه کشت به‌طول ۱۰ متر بود. فاصله لوله-های آبیاری ۱۴۰ سانتی‌متر و فاصله دو ردیف کشت در اطراف لوله‌های آبیاری ۳۰ سانتی‌متر بود. دو خط کشت کناری به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند و داده‌های مورد نیاز طرح از دو ردیف کشت میانی برداشت شدند.

مشخصات سیستم آبیاری

در این پژوهش از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی استفاده شد. لوله‌های آبیاری قطره‌ای ساخت شرکت Geoflow با قطر ۲۲ میلی‌متر مجهز به قطره‌چکان‌های تنظیم‌کننده فشار با دبی ۳/۴ لیتر در ساعت و به فاصله ۵۰ سانتی‌متر بود. منبع تامین آب، چاه‌های اطراف مزرعه بود و آب از چاه‌های مذکور به درون استخر واقع در مجموعه پمپاژ و سپس با عبور از سیستم فیلتراسیون وارد شبکه توزیع آب در مزرعه می‌گردید. حجم آب ورودی به هر تکرار آزمایشی از طریق کنتورهای حجمی نصب شده در مسیر با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۰۱ مترمکعب کنترل می‌گردید. هم‌چنین در ابتدای هر لوله اصلی، یک شیر فلکه با سایز دو اینچ برای کنترل آب ورودی به هر تکرار و در ابتدای هر لترال نیز شیر قطع و وصل جریان برای مدیریت جریان پالسی نصب شد. کود نیتروژن به روش کود-آبیاری به مقدار ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار طی فصل رشد به‌صورت تقسیطی در چهار مرحله از طریق سیستم آبیاری به‌طور یکسان در اختیار همه‌ی تیمارهای آزمایشی قرار گرفت.

جدول ۲- نمونه‌ای از روش اعمال آبیاری پالسی در تیمارهای مختلف مورد بررسی در پژوهش

تیمارهای آبیاری پالسی	پالس اول		پالس دوم		پالس سوم		پالس چهارم	
	مدت زمان وصل جریان (ساعت)	مدت زمان قطع جریان (ساعت)	مدت زمان وصل جریان (ساعت)	مدت زمان قطع جریان (ساعت)	مدت زمان وصل جریان (ساعت)	مدت زمان قطع جریان (ساعت)	مدت زمان وصل جریان (ساعت)	مدت زمان قطع جریان (ساعت)
T1 P1	۳	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
T2 P1	۳	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
T1 P2	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
T2 P2	۱/۵	۴/۵	۱/۵	۴/۵	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
T1 P3	۱	۱	۱	۱	۱	۱	ـــــ	ـــــ
T2 P3	۱	۳	۱	۳	۱	۳	ـــــ	ـــــ
T1 P4	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵
T2 P4	۰/۷۵	۲/۲۵	۰/۷۵	۲/۲۵	۰/۷۵	۲/۲۵	۰/۷۵	۲/۲۵

مدیریت آبیاری

به‌منظور اطمینان از جوانه‌زنی گیاه نخستین آبیاری بی‌درنگ پس از کاشت انجام شد. همه‌ی تیمارهای آبیاری تا زمان سبز شدن کامل مزرعه به‌طور یکسان آبیاری شدند و تیمارهای آزمایشی از روز بیستم پس از کشت اعمال شدند. دور آبیاری برای همه‌ی تیمارها ثابت و دو روز انتخاب شد. برای تعیین عمق آب آبیاری، از روش پایش رطوبت خاک استفاده گردید. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک از دستگاه پروفایل پروب[1] مدل (Delta-T PR2/6 Devices, Cambridge, UK) که قبلا در خاک مزرعه واسنجی شده بود، استفاده شد. قبل از هرآبیاری لوله دسترسی دستگاه که در وسط دو ردیف کشت قرار داشت، قرائت گردید و عمق آبیاری با هدف جایگزین کردن کمبود رطوبتی خاک تا حد ظرفیت زراعی در محدوده توسعه ریشه گیاه (۶۰ سانتی‌متر) با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

(رابطه ۱)

$$I = \left(\sum_{i=1}^{n} (\theta_{(FC)_i} - \theta_{(pre-irrg)_i}) \times \left(\frac{\rho_{b_s}}{\rho_{b_w}} \right)_i \times D_i \right) / 100$$

1. Profile Probe

که در آن I عمق آب آبیاری (میلی‌متر)، θ_{FC} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، $\theta_{(pre-irrg)}$ رطوبت وزنی خاک پیش از آبیاری (درصد)، ρ_{b_s} جرم ویژه ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، ρ_{b_w} چگالی آب (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، D عمق توسعه ریشه گیاه (میلی‌متر)، n تعداد لایه‌های خاک در عمق توسعه ریشه گیاه و i شمارش‌گر تعداد لایه‌های خاک در عمق توسعه ریشه می‌باشد. تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای به‌منظور مقایسه نیاز آبی گیاه با مقدار آب مصرفی ذرت در مزرعه در شرایط استاندارد با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن ET_c تبخیر-تعرق برآوردی گیاه (میلی‌متر در روز)، ET_o تبخیر-تعرق مرجع چمن (میلی‌متر در روز) و K_c ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای می‌باشد. تبخیر-تعرق مرجع چمن با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی ورامین واقع در ۸ کیلومتری محل اجرای طرح به روش فائو-پنمن-مانتیث محاسبه شد.

ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای نیز به روش نشریه فائو-۵۶ محاسبه گردید (Allen *et al.*, 1998):

$$K_{c\,ini} = K_{c\,ini\,(Tab,Fig)} \times f_w \quad \text{(رابطه ۳)}$$

(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 از جدول شماره ۱۲ یا شکل ۲۹ یا ۳۰ نشریه فائو-۵۶، f_w جزئی از سطح خاک که طی فرآیند آبیاری یا بارندگی مرطوب شده است، $K_{c\,mid}$ 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 توصیه شده توسط نشریه فائو-۵۶، u_2 سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، RH_{min} حداقل رطوبت نسبی (٪) و h ارتفاع گیاه (متر) در مرحله‌های میانی و پایانی رشد می‌باشد. تقسیم‌بندی دوره‌های رشد ذرت علوفه‌ای در این پژوهش براساس درجه-روز-رشد[1] محاسبه شده‌ی منطقه مطالعاتی انجام شد و دمای پایه رشد ذرت ۱۰ درجه سانتی‌گراد لحاظ گردید. بهره‌وری آب گیاه یک اصطلاح کمّی برای بیان رابطه بین محصول تولیدی و مقدار آب مصرفی برای تولید آن محصول است که می‌تواند بر حسب تبخیر-تعرق گیاه یا عمق آب آبیاری بیان شود (Li *et al.*, 2020):

$$CWP_{Irrig} = \frac{Y}{D_i} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

$$CWP_{ET} = \frac{Y}{ET_c} \quad \text{(رابطه ۷)}$$

که در آن‌ها CWP_{Irrig} بهره‌وری آب بر اساس عمق آبیاری و CWP_{ET}، بهره‌وری آب بر اساس تبخیر-تعرق گیاه، Y عملکرد محصول ذرت، D_i عمق آب آبیاری و ET_c تبخیر-تعرق برآوردی ذرت می‌باشد. به منظور مقایسه عملکرد و اجزای عملکرد تیمارهای مختلف مورد بررسی، صفات گیاهی شامل ارتفاع گیاه، قطر ساقه، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد تر و خشک محصول به‌صورت اندازه‌گیری وزن کل اندام هوایی گیاه تعیین شد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای با استفاده از نرم‌افزار SAS تحلیل و مقایسه میانگین تیمارها در سطح معنی‌داری ۵ درصد با آزمون دانکن صورت گرفت.

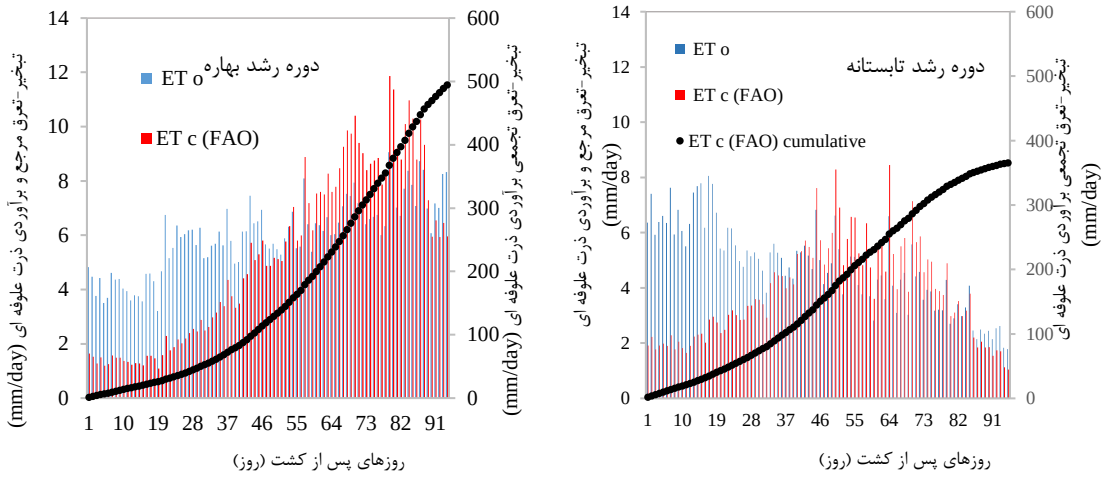
نتایج و بحث

تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای

روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع چمن و تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در دو دوره بهاره و تابستانه در شکل (۱) ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، تغییرات تبخیر-تعرق مرجع چمن محاسبه شده به‌روش فائو-پنمن-مانتیث در دوره رشد بهاره صعودی و در دوره رشد تابستانه با نزدیک شدن به فصل پاییز نزولی است. مجموع تبخیر-تعرق مرجع چمن در دوره رشد بهاره و تابستانه به‌ترتیب برابر با ۵۶۶ و ۴۵۲ میلی‌متر محاسبه شد. به‌منظور محاسبه مقادیر ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای، ابتدا دوره‌های رشد گیاه براساس درجه-روز-رشد برای منطقه مطالعاتی تعیین (جدول ۳) و سپس مقادیر ضریب گیاهی به‌روش نشریه فائو-۵۶ محاسبه گردید (شکل ۲). با توجه به شکل (۲) مرحله ابتدایی و توسعه رشد در دوره رشد بهاره طولانی‌تر از دوره رشد تابستانه بود. پایین بودن درجه حرارت هوا در این مراحل در دوره رشد بهاره نسبت به دوره رشد تابستانه و تامین نشدن درجه-روز-رشد مورد نیاز گیاه، باعث طولانی‌تر شدن این مراحل در دوره رشد بهاره شده است. هم‌چنین، مراحل میانی و انتهایی رشد به‌علت گرم بودن هوا در دوره رشد بهاره نسبت به زمان مشابه در دوره رشد تابستانه کوتاه‌تر می‌باشند. حداکثر مقدار ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای در مرحله میانی به‌روش نشریه فائو-۵۶ برای دوره رشد بهاره ۱/۳۱ و برای دوره رشد تابستانه ۱/۲۸ محاسبه‌گردید. با توجه به این‌که در مرحله میانی در دوره رشد بهاره متوسط رطوبت نسبی کم‌تر و

1. Growing Degree Days

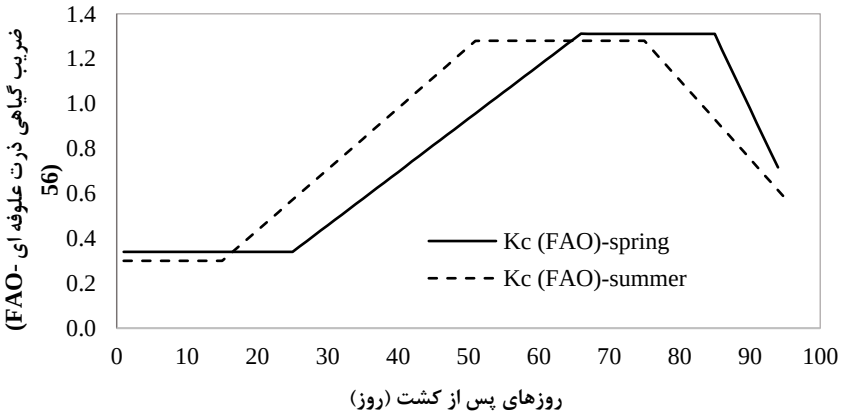
متوسط سرعت باد بیش‌تر از دوره رشد تابستانه بود، مقدار حداکثر ضریب گیاهی نیز با توجه به رابطه ۴ در دوره رشد بهاره بیش‌تر از دوره رشد تابستانه به‌دست آمد. مقدار تجمعی تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد بهاره و تابستانه به‌ترتیب برابر با ۴۹۵ و ۳۶۵/۷ میلی‌متر به‌دست آمد (شکل ۱). دلیل بیش-تر بودن مقدار تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد بهاره، مصادف شدن مرحله میانی و انتهایی رشد با گرم‌ترین ماه سال یعنی تیرماه بود. هم‌چنین حداکثر مقدار تبخیر-تعرق مرجع چمن و تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد بهاره به‌ترتیب برابر با ۹/۰۶ و ۱۱/۸۹ میلی‌متر در روز بود که ۷۹ روز پس از کاشت اتفاق افتاد. در دوره رشد تابستانه، حداکثر مقدار تبخیر-تعرق مرجع چمن برابر با ۸/۰۵ میلی‌متر در روز بود که ۱۷ روز پس از کشت رخ داده و حداکثر مقدار تبخیر-تعرق برآوردی ذرت نیز برابر با ۸/۴۵ میلی‌متر در روز بود که ۶۴ روز پس از کشت رخ داد. بنابراین در دوره رشد تابستانه حداکثر مقدار تبخیر-تعرق برآوردی ذرت حدود ۱۵ روز زودتر از دوره رشد بهاره رخ داد که به‌دلیل گرم‌تر بودن هوا در مراحل آغازین رشد در دوره رشد تابستانه می‌باشد که درجه-روز-رشد مناسب برای رشد ذرت سریع‌تر فراهم شده است.



شکل ۱- روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع چمن و تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد بهاره و تابستانه ۱۳۹۸

جدول ۳- دوره‌های رشد ذرت علوفه‌ای و مقادیر درجه-روز-رشد متناظر سال ۱۳۹۸

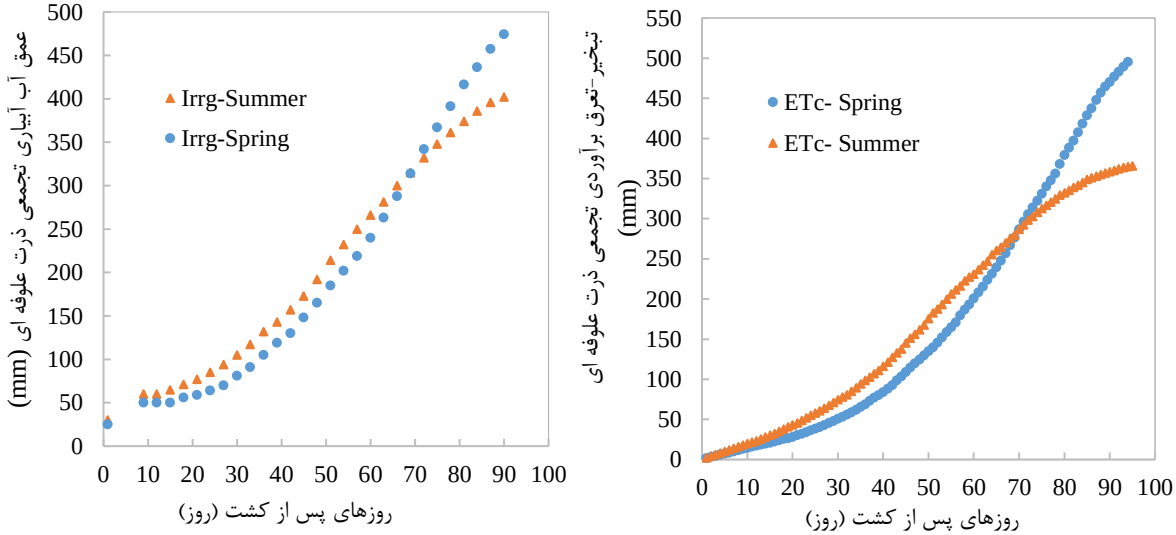
مراحل رشد ذرت	دوره رشد بهاره		دوره رشد تابستانه	
	طول دوره (روز)	درجه-روز-رشد (GDD)	طول دوره (روز)	درجه-روز-رشد (GDD)
ابتدایی	۲۵	۱۸۱/۸	۱۵	۲۰۱/۶
توسعه	۴۰	۶۴۰/۸	۳۵	۶۳۷/۹
میانی	۲۰	۹۰۴/۹	۲۵	۹۱۵/۹
انتهایی	۱	۱۰۳۲	۲۰	۱۰۷۸/۱



شکل ۲- ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده به روش نشریه فائو-۵۶ سال ۱۳۹۸

مدیریت آبیاری

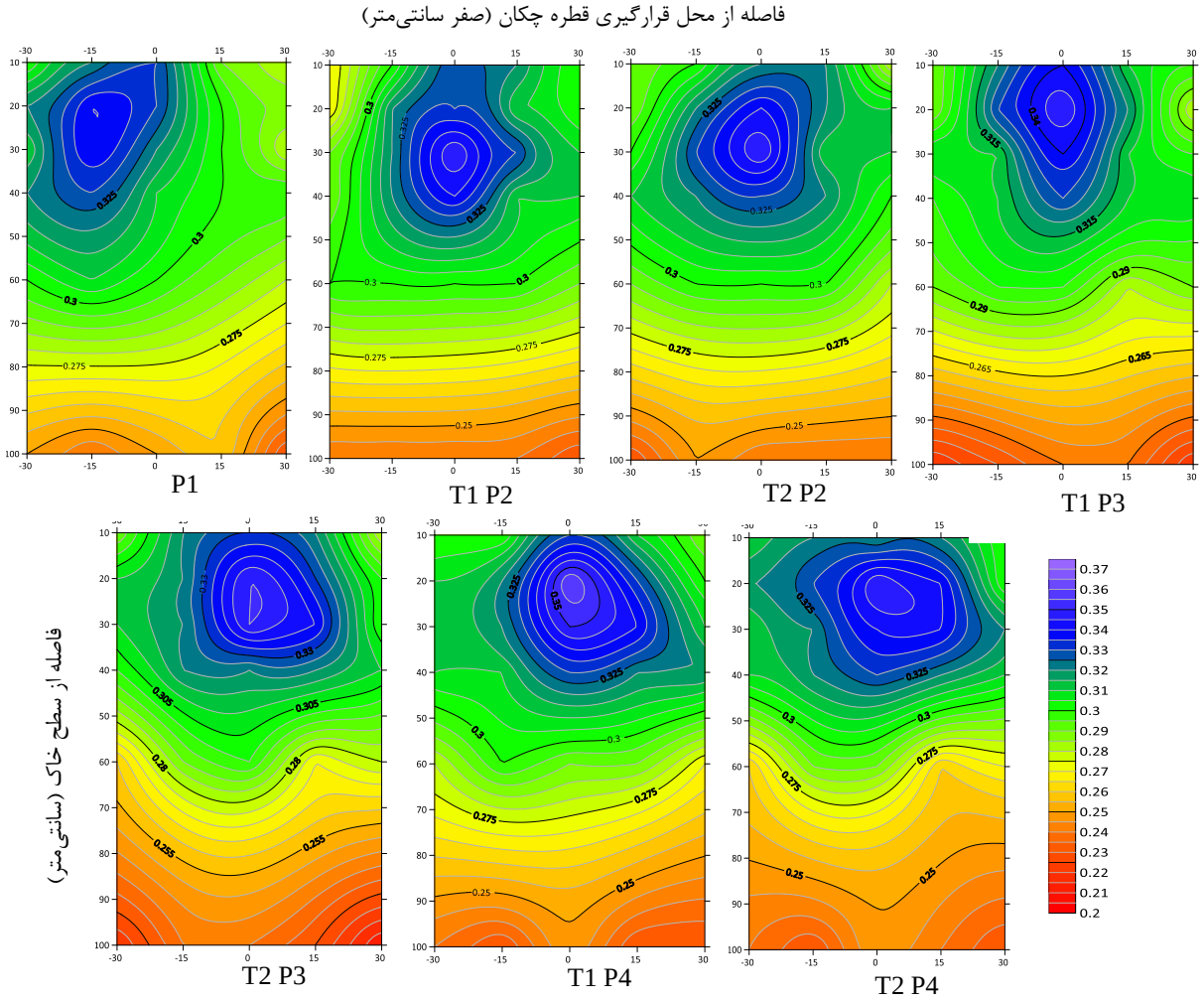
همان‌گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، مجموع عمق آب آبیاری ذرت علوفه‌ای محاسبه شده از رابطه ۱ در دوره رشد بهاره و تابستانه به‌ترتیب برابر با ۴۸۸ و ۴۰۲ میلی‌متر می‌باشد. باتوجه به شکل (۳) در انتهای دوره رشد بهاره مقدار تبخیر-تعرق برآوردی به روش فائو-پنمن-مانتیث و همچنین عمق آب آبیاری بیش از انتهای دوره رشد تابستانه می‌باشد که علت آن همان‌طور که قبلا هم اشاره شد مصادف شدن مرحله میانی و انتهایی دوره رشد بهاره با گرم‌ترین ماه سال در منطقه مطالعاتی یعنی تیرماه می‌باشد. آب مصرفی گیاه تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله شرایط اقلیمی، رقم مورد کشت، زمان کشت، روش آبیاری و مدیریت آبیاری می‌باشد. Ajirlou (2016) حجم آب آبیاری ذرت علوفه‌ای کشت دوم (رقم سینگل کراس ۷۰۴) تحت سیستم آبیاری قطره‌ای تیپ در منطقه کرج را ۴۴۸ میلی‌متر گزارش کرده است. Dadkhah (2017) عمق آبیاری ذرت علوفه‌ای تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در منطقه نجف آباد در فصل رشد را ۶۹۸ میلی‌متر گزارش کرده است. Yolcu and Cetin (2015) نیز عمق آبیاری ذرت علوفه‌ای تحت سیستم آبیاری قطره‌ای در منطقه آنوتولی ترکیه را ۴۳۵ میلی‌متر گزارش کرده‌اند. Ors *et al.* (2015) نیز عمق آبیاری قطره‌ای ذرت علوفه‌ای در منطقه ارزروم ترکیه برای تیمار آبیاری کامل با دور آبیاری ۴ روز را ۳۶۸/۵ میلی‌متر گزارش کرده‌اند.



شکل ۳- عمق آب آبیاری و تبخیر-تعرق برآوردی تجمعی ذرت علوفه‌ای در دوره رشد بهاره و تابستانه منطقه مطالعاتی سال ۱۳۹۸

رطوبت خاک

به‌منظور بررسی توزیع رطوبت خاک در تیمارهای مورد بررسی، شش ساعت پس از اتمام آبیاری با استفاده از آگر نمونه وزنی از اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در محل قطره‌چکان (صفر سانتی‌متر) و فواصل افقی ۱۵ (روی ردیف‌های کشت) و ۳۰ سانتی‌متری از محل قرارگیری قطره‌چکان تهیه شد. در شکل (۴) توزیع رطوبت اندازه‌گیری شده به‌روش وزنی برای تیمارهای مورد بررسی تا عمق یک متری نیم‌رخ خاک با استفاده از نرم‌افزار Surfer رسم و ارائه شده است. در تیمار مدیریت پیوسته (P1) توزیع رطوبت بین دو ردیف گیاهی مطلوب نبوده و عمده رطوبت در ردیف گیاهی سمت چپ تجمع یافته است. مشاهدات مزرعه‌ای نیز نشان داد که در تیمار پیوسته آبیاری مداوم باعث شد آب خروجی از قطره‌چکان به علت بالابودن دبی، فرصت کافی برای نفوذ به خاک نداشته باشد و در سطح خاک جاری شده و در کنار یکی از ردیف‌های کشت تجمع یابد، بنابراین توزیع مناسب رطوبت در محدوده گستره ریشه‌ی دو ردیف کشت صورت نگرفت. در تیمارهای مدیریت پالسی باتوجه به زمان قطع جریان بین پالس‌های آبیاری، فرصت کافی برای نفوذ آب به خاک و در نتیجه توزیع مناسب‌تر رطوبت در محدوده توسعه ریشه در خاک فراهم گردید. نتایج نشان داد با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و زمان قطع جریان افزون بر توزیع مناسب‌تر رطوبت اطراف لترال‌های آبیاری، حرکت افقی رطوبت نیز نسبت به تیمار پیوسته افزایش یافته است. با توجه به این‌که در گیاه ذرت بیش‌ترین حجم تراکم ریشه در اعماق سطحی‌تر خاک قرار دارد، بنابراین استفاده از آبیاری قطره‌ای پالسی در این مطالعه توانسته شرایط مطلوب‌تری برای رشد گیاه از نظر دسترسی به آب و مواد غذایی فراهم کند.



شکل ۴- توزیع رطوبت در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری خاک در تیمارهای مورد بررسی شش ساعت پس از اتمام آبیاری

اجزای عملکرد، ارتفاع گیاه، قطر ساقه و وزن هزار دانه

پس از اندازه‌گیری و تعیین اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای تجزیه واریانس بر روی صفات مذکور انجام شد (جدول ۴). اندازه‌گیری وزن هزاردانه حدود ۱۱۰ روز پس از کشت انجام شد. اثر متقابل تعداد پالس‌های آبیاری و زمان‌بندی قطع جریان در هر دو دوره رشد بر ارتفاع گیاه و قطر ساقه معنی‌دار نبود، حال آن‌که اثر متقابل آن‌ها بر وزن هزار دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. طبق جدول (۴) اثر زمان‌بندی قطع جریان بر ارتفاع گیاه معنی‌دار بود و نتایج مقایسه میانگین تیمارها در جدول (۵) نیز نشان می‌دهد که در هر دو دوره رشد بهاره و تابستانه، بیشترین ارتفاع گیاه مربوط به تیمار T2 P4 می‌باشد که اختلافی معنی‌دار با تیمار T1 P4 دارد. افزایش سه برابری زمان قطع جریان در تیمار چهار پالسی باعث افزایش ۶/۸۷ و ۶/۱۸ درصدی ارتفاع گیاه به‌ترتیب برای دوره رشد بهاره و تابستانه شد. افزایش تعداد پالس‌های آبیاری در دوره رشد بهاره اثری معنی‌دار بر ارتفاع گیاه نداشت، درحالی‌که در دوره رشد تابستانه باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع گیاه شد.اثر زمان‌بندی قطع جریان بر قطر ساقه در دوره رشد بهاره معنی‌دار نبود، لیکن در دوره رشد تابستانه در سطح ۵٪ معنی‌دار بود. مقایسه میانگین قطر ساقه نیز در دوره رشد تابستانه نشان‌دهنده‌ی افزایش ۸/۱ درصدی قطر ساقه در تیمار T2 P4 نسبت به تیمار T1 P4 بود. بیش‌ترین میانگین قطر ساقه در هردو دوره رشد مربوط به تیمار T2 P4 بود.

در تیمار T1 بیش‌ترین وزن هزار دانه مربوط به مدیریت چهار پالسی (P4) بود که در دوره رشد بهاره ۹/۴ درصد و در دوره رشد تابستانه ۸/۱۶ درصد نسبت به مدیریت یک پالسی (P1) افزایش داشت. در تیمارهایی با زمان قطع جریان سه برابر نیز بیش‌ترین وزن هزار دانه مربوط به تیمار P4 برابر با ۲۴۸/۶۳ و ۲۵۱/۸۱ گرم به‌ترتیب در دوره رشد بهاره و تابستانه بود.

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در سال ۱۳۹۸

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (SS)					
		دوره رشد بهاره			دوره رشد تابستانه		
		ارتفاع گیاه	قطر ساقه	وزن هزار دانه	ارتفاع گیاه	قطر ساقه	وزن هزار دانه
بلوک	۲	ns۴۲/۷۹	ns۰/۱۷	ns ۱۷/۴۷	*۶۳۴/۵۴۱	ns۹/۸۷	ns ۱۰۶/۶۶
زمان‌بندی قطع جریان (a)	۲	*۶۸۲/۶۶	*۱۲/۰۴	**۲۰۰۲/۰۲	**۸۰۵/۰۴	ns۶/۰۰	*۱۷۳۶/۷۲
تعداد پالس × بلوک (خطای اصلی)	۱	۲۲/۷۹	۰/۱۶	۱۰/۶۵	۷/۵۴	۳/۳۷	۲۹/۸۷
تعداد پالس (b)	۳	*۳۰۶/۲۲	**۴/۲۶	**۱۲۳۳/۷۱	ns۲۴۶/۳۷	*۴/۵۰	**۱۲۸۸/۳۲
a×b	۳	ns۱۲۳/۷۷	ns۲/۱۵	**۲۷۹/۸۸	ns۴۳/۰۴	ns۰/۵۵	**۲۵۱/۹۶
خطای فرعی	۱۲	۵۹/۱۲	۰/۶۶	۲۴/۴۱	۹۵/۸۷	۱/۲۴	۱۴/۶۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۶۶	۲/۷۶	۲/۲۴	۳/۴۵	۳/۸۷	۱/۷۵

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف آبیاری بر اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای در سال ۱۳۹۸

تیمار آبیاری	دوره رشد بهاره			دوره رشد تابستانه		
	ارتفاع گیاه (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن هزار دانه (gr)	ارتفاع گیاه (cm)	قطر ساقه (mm)	وزن هزار دانه (g)
T1 P1	۲۷۲/۷۲ c	۲۷/۲۸ b	۱۹۹/۸۴ e	۲۸۰/۳۱ c	۲۸/۶۵ d	۲۰۲/۸۳ f
T1 P2	۲۷۷ bc	۲۸/۷۳ ba	۲۰۵/۵۱ e	۲۸۳/۲۹ c	۲۸/۳۲ d	۲۰۷/۶۴ fe
T1 P3	۲۷۹/۶۹ bc	۲۸/۳۱ ba	۲۱۳/۳۷ d	۲۸۵/۶۷ c	۲۹ dc	۲۱۳/۲۹ de
T1 P4	۲۸۱/۲۹ bc	۲۸/۷۱ ba	۲۱۸/۶۷ dc	۲۸۶ c	۲۹/۳۱ dc	۲۲۰/۸۶ dc
T2 P1	۲۷۸/۳۱ bc	۲۷/۷ b	۱۹۹/۲۳ e	۲۷۹/۳۳ c	۲۸/۳۳ d	۲۰۲/۳۵ f
T2 P2	۲۸۵/۷۱ bac	۲۹/۳۳ ba	۲۲۲/۱۳ c	۲۹۱/۶۵ bc	۳۰/۳۱ ac	۲۲۵/۱۳ c
T2 P3	۲۹۴/۳۲ ba	۲۹/۶۹ ba	۲۳۵/۴۳ b	۳۰۱/۳۲ ba	۳۰/۶۶ a	۲۳۸/۴ b
T2 P4	۲۹۸/۶۸ a	۳۰/۲۹ a	۲۴۸/۶۳ a	۳۰۵/۶۴ a	۳۱/۶۸ a	۲۵۱/۸۱ a

عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای

نتایج تجزیه واریانس عملکرد تر و خشک ذرت علوفه‌ای و بهره‌وری آب بر اساس عمق آبیاری و براساس تبخیر-تعرق برآوردی ذرت علوفه‌ای در جدول (۶) ارائه شده است. اثر تعداد پالس‌های آبیاری و زمان‌بندی قطع جریان و هم‌چنین اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد تر و خشک و بهره‌وری آب در هر دو دوره رشد در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۷) نیز نشان می‌دهد که در هر دو دوره رشد، افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و افزایش زمان قطع جریان باعث افزایش عملکرد محصول شده است، به‌گونه‌ای‌که بیشترین عملکرد تر و خشک محصول و بهره‌وری آب در هردو دوره رشد مربوط به تیمار T2 P4 بود. افزایش تعداد پالس‌های آبیاری به‌ترتیب در دوره رشد بهاره و تابستانه، به‌طور میانگین باعث افزایش حدود ۶ درصدی پارامترهای عملکرد تر و خشک ذرت و بهره‌وری آب در تیمار T1 و افزایش حدود ۱۶/۵ درصدی این پارامترها در تیمار T2 گردید. نتایج مشابهی توسط برخی پژوهشگران در رابطه با اعمال مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای ارائه شده است (Eid *et al.*, 2013, Mohamed *et al.*, 2012, Madane *et al.*, 2018).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای ۱۳۹۸

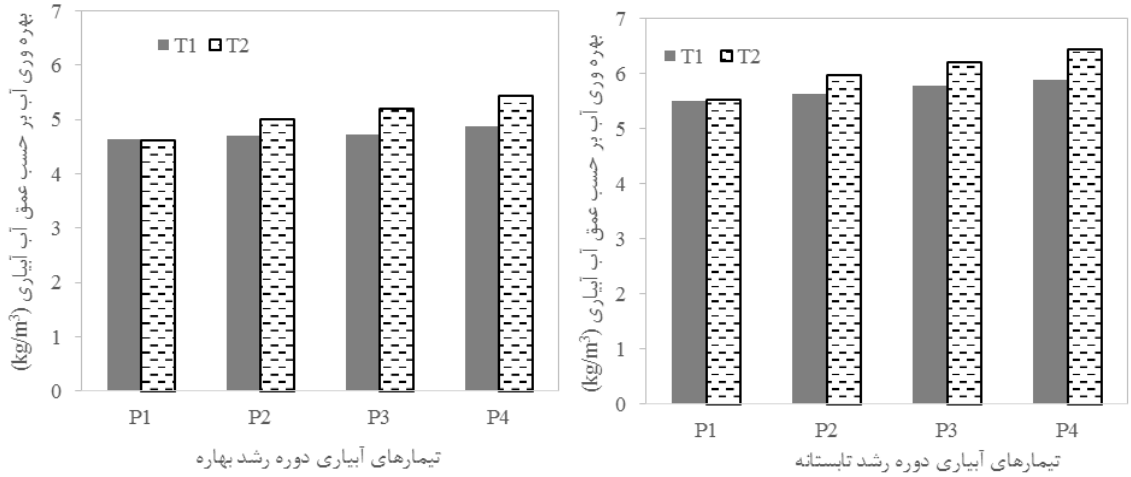
منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (SS)							
		عملکرد تر		عملکرد خشک		CWP_{Irrig}		CWP_{ET}	
		بهاره	تابستانه	بهاره	تابستانه	بهاره	تابستانه	بهاره	تابستانه
بلوک	۲	۱/۰۷ ns	۰/۸۲ ns	۰/۰۳ ns	۰/۲۶ *	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱*	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۲*
زمان‌بندی قطع جریان (a)	۲	۱۳۶/۱۳*	۱۲۲/۹۸**	۱۴/۹۳**	۱۱/۲۰**	۰/۶۳**	۰/۷۹**	۰/۶۱**	۰/۸۲**
تعداد پالس × بلوک (خطای اصلی)	۱	۱/۶۱	۰/۳۹	۰/۰۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰۶
تعداد پالس (b)	۳	۷۱/۱۸**	۸۲/۳۴**	۶/۶۰**	۷/۶۸**	۰/۲۷**	۰/۵۴**	۰/۲۶**	۰/۵۶**
a×b	۳	۲۰/۶۰**	۱۵/۰۰**	۲/۲۲**	۱/۲۷**	۰/۰۹**	۰/۰۹۱**	۰/۰۸**	۰/۰۹**
خطای فرعی	۱۲	۱/۶۷۲	۱/۸۷	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۶۷۴	۱/۶۹	۱/۴۷	۱/۱۸	۱/۴۵	۱/۱۹	۱/۴۸	۱/۱۶

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ و عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد.

مقادیر بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای بر اساس عمق آب آبیاری در شکل (۵) ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، افزایش زمان قطع جریان در تیمار چهار پالسی باعث افزایش حدودا ۱۱/۷ درصدی پارامترهای عملکرد تر، خشک و بهره‌وری آب در دوره رشد بهاره و افزایش حدودا ۷/۷۹ درصدی عملکرد تر و ۹/۵ درصدی عملکرد خشک و بهره‌وری آب در دوره رشد تابستانه شده است. باتوجه به توزیع رطوبت خاک (شکل ۴) و نتایج مربوط به عملکرد محصول می‌توان نتیجه گرفت که اعمال مدیریت پالسی در آبیاری قطره‌ای افزون بر این‌که منجربه نگهداشت رطوبت بیشتری (در حد ظرفیت زراعی یا بیش‌تر) در محدوده توسعه ریشه گیاه می‌شود، یکنواختی توزیع رطوبت در خاک را نیز بهبود می‌بخشد. بنابراین باعث سهولت دسترسی گیاه به آب و مواد غذایی در محدوده توسعه ریشه می‌شود که بهبود عملکرد محصول را در پی دارد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در رابطه با زمان‌بندی قطع جریان در مدیریت پالسی با افزایش سه برابری زمان قطع جریان، فرصت کافی در خاک برای جذب رطوبت حاصل از پالس بعدی آبیاری فراهم می‌شود که باعث توزیع بهتر رطوبت در عمق توسعه ریشه و درنتیجه بهبود عملکرد و افزایش بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای گردید.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای مختلف بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای ۱۳۹۸

	دوره رشد بهاره				دوره رشد تابستانه			
تیمار	عملکرد تر (ton/ha)	عملکرد خشک (ton/ha)	CWP_{Irrig} ($kg.m^{-3}$)	CWP_{ET} ($kg.m^{-3}$)	عملکرد تر (ton/ha)	عملکرد خشک (ton/ha)	CWP_{Irrig} ($kg.m^{-3}$)	CWP_{ET} ($kg.m^{-3}$)
T1 P1	۷۳/۰۱ f	۲۱/۹۹ e	۴/۶۳ e	۴/۴ e	۷۴/۰۸ d	۲۲/۱۲ f	۵/۵ f	۶/۰۲ f
T1 P2	۷۳/۹۲ ef	۲۲/۲۷ e	۴/۶۹ e	۴/۴۶ e	۷۵/۳۳ d	۲۲/۶۴ e	۵/۶۳ e	۶/۱۶ e
T1 P3	۷۵/۸ ed	۲۲/۴۳ e	۴/۷۳ e	۴/۴۹ e	۷۷/۸۶ c	۲۳/۲۹ d	۵/۷۹d	۶/۳۳ d
T1 P4	۷۶/۶۷ cd	۲۳/۱۱ d	۴/۸۷ d	۴/۶۳ d	۷۹/۴۹ c	۲۳/۶۶ dc	۵/۸۹dc	۶/۴۳ dc
T2 P1	۷۲/۸۹ f	۲۱/۹۱ e	۴/۶۲ e	۴/۳۹ e	۷۳/۸۸ d	۲۲/۲ fe	۵/۵۲ fe	۶/۰۴ fe
T2 P2	۷۸/۸۹ cb	۲۳/۷۳ c	۵ c	۴/۷۶ c	۸۱/۷۳ b	۲۴/۰۷ c	۵/۹۹c	۶/۵۵ c
T2 P3	۸۱/۱۲ b	۲۴/۶۸ b	۵/۲ b	۴/۹۵ b	۸۳/۵۸ ba	۲۴/۹۸ b	۶/۲۱ b	۶/۷۹ b
T2 P4	۸۵/۵۶ a	۲۵/۸ a	۵/۴۴ a	۵/۱۷ a	۸۵/۶۸ a	۲۵/۹۲ a	۶/۴۵ a	۷/۰۵ a



شکل ۵- بهره‌وری آب محاسبه شده بر اساس عمق آب آبیاری در دوره رشد بهاره و تابستانه سال ۱۳۹۸

نتیجه‌گیری

هدف از انجام این پژوهش بررسی تأثیر توامان تعداد پالس‌های آبیاری و زمان‌بندی قطع جریان در آبیاری قطره‌ای پالسی بر عملکرد، اجزای عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای بود. نتایج نشان داد که در هر دو دوره رشد اثر افزایش تعداد پالس‌های آبیاری و افزایش زمان قطع جریان بر اجزای عملکرد مورد بررسی و عملکرد تر و خشک و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای معنی‌دار است. اثر متقابل تیمارهای مورد بررسی نیز بر وزن هزار دانه، عملکرد تر و خشک و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در هردو دوره رشد معنی‌دار بود. به‌طور میانگین در هر دو دوره رشد در تیمار (T1) افزایش چهار برابری تعداد پالس‌های آبیاری باعث افزایش ۶ درصدی عملکرد تر و خشک و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای گردید.

هم‌چنین در تیمار (T2) افزایش چهار برابری تعداد پالس‌های آبیاری باعث افزایش حدود ۱۷ درصدی این پارامترها شد. بررسی توزیع رطوبت در پروفیل خاک نیز نشان داد که اعمال مدیریت پالسی و افزایش زمان قطع جریان، با بهبود دسترسی ریشه به آب و مواد غذایی باعث توزیع مناسب‌تر رطوبت در محدوده توسعه ریشه گیاه و درنتیجه افزایش عملکرد محصول و بهره‌روی آب می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش پیشنهاد می‌گردد در صورت استفاده از مدیریت پالسی در سیستم آبیاری قطره‌ای با دبی بالا مدت زمان قطع جریان افزایش یابد، تا نتیجه مطلوب‌تری از نظر توزیع رطوبت در خاک، عملکرد محصول و بهره‌وری آب حاصل گردد.

سپاس‌گزاری

پژوهش حا ضر با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوه شگران و فناوران کشـــور (Iran National Science Foundation: INSF) انجام شده ا ست. این پژوهش در مزرعه آزمای شی مجموعه ۳۰۰ هکتاری ذرت علوفه‌ای دام‌پروری صـــفاری واقع در روســـتای چالتاسیان شهرستان ورامین انجام شده است. نویسندگان مقاله از کمک‌های ارزنده و امکاناتی که اعضـــای مجموعه به‌ویژه آقای مهندس م صطفی نجفی کار شناس ار شد زراعت مجموعه جهت اجرای طرح در اختیار شان گذا شته‌اند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ajirlou, S. H. (2016). Determination of actual and potential status of irrigation efficiency and water productivity in forage corn in surface and micro irrigation systems in Karaj area. Master's Thesis. Imam Khomeini International University. (In Farsi)

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, *300*(9), D05109.

Almeida, W. F. D., Lima, L. A., and Pereira, G. M. (2015). Drip pulses and soil mulching effect on American crisphead lettuce yield. *Engenharia Agrícola*, *35*(6), 1009-1018.

Almeida, W. F. D., Paz, V. P. D. S., de Jesus, A. P., Silva, J. S. D., Gonçalves, K. S., and Oliveira, A. S. D. (2018). Yield of green beans subjected to continuous and pulse drip irrigation with saline water. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *22*(7), 476-481.

Bakeer, G. A. A., El-Ebabi, F. G., El-Saidi, M. T., and Abdelghany, A. R. E. (2009). Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. *Misr Journal of Agricultural Engineering*, *26*(2), 736-765.

Dadkhah, A. (2017). Determination of Actual Evapotranspiration and Crop Coefficient of Maize with Soil Water Balance Method Under Drip-tape Irrigation Management. Master's Thesis. Isfahan University of Technology. (In Farsi)

Eid, A. R., Bakry, B. A., and Taha, M. H. (2013). Effect of pulse drip irrigation and mulching systems on yield, quality traits and irrigation water use efficiency of soybean under sandy soil conditions.

El-Abedin, T. Z. (2006). Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil. *Misr J Ag Eng*, *23*.

Elnesr, M. N., and Alazba, A. A. (2015). The effects of three techniques that change the wetting patterns over subsurface drip-irrigated potatoes. *Spanish journal of agricultural research*, *13*(3), 20.

Kandelous, M. M., Šimůnek, J., Van Genuchten, M. T., and Malek, K. (2011). Soil water content distributions between two emitters of a subsurface drip irrigation system. *Soil Science Society of America Journal*, *75*(2), 488-497.

Karmeli, D., and Peri, G. (1974). Basic principles of pulse irrigation. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, *100*(3), 309-319.

Li, C., Xiong, Y., Cui, Z., Huang, Q., Xu, X., Han, W., and Huang, G. (2020). Effect of irrigation and fertilization regimes on grain yield, water and nitrogen productivity of mulching cultivated maize (Zea mays L.) in the Hetao Irrigation District of China. *Agricultural Water Management*, *232*, 106065.

Madane, D. A., Mane, M. S., Kadam, U. S., Thokal, R. T., Patil, S. T., Nandgude, S. B., and Dhekale, J. S. (2018). Effect of Pulse Irrigation (Drip) Influencing Different Irrigation Levels on Growth and Yield Parameters of White Onion (Allium cepa L.).

Mohamed, M. E., Mohamed, E. A., and Amal, L. A. (2012). Response of Green bean to pulse surface drip irrigation. *Journal of Horticultural Science and Ornamental plants*, *4*(3), 329-334.

Ors, S., Sahİn, U., and Kİzİloglu, F. M. (2015). Yield, quality and irrigation water use of drip-irrigated silage maize with different irrigation techniques. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *52*(3), 595-607.

Salokhe, V. M., Babel, M. S., and Tantau, H. J. (2005). Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. *Agricultural Water Management*, *71*(3), 225-242.

Yolcu, R., and Cetin, O. (2015). Nitrogen fertigation to improve nitrogen use efficiency and crude protein on silage corn. *Turkish Journal of Field Crops*, *20*(2), 233-241.

Zur, B. (1976). The pulsed irrigation principle for controlled soil wetting. *Soil Science*, *122*(5), 282-291.