

## بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در صورت استفاده از دو نوع مدیریت مختلف در سیستم آبیاری قطره‌ای

ایمان حاجی راد<sup>۱</sup>، سید مجید میرلطیفی<sup>۲\*</sup>، حسین دهقانی‌سانج<sup>۳</sup> و ساناز محمدی<sup>۴</sup>

### چکیده

با توجه به اینکه کمبود منابع آبی، عاملی محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌آید، برای دستیابی به عملکرد مطلوب و افزایش بهره‌وری آب، داشتن برنامه دقیق آبیاری و شیوه مدیریتی مناسب، امری ضروری است. به‌تازگی، به‌فناوری جدیدی به نام مدیریت آبیاری پالسی در زمینه آبیاری محصولات زراعی توجه شده است. مدیریت آبیاری پالسی، دربردارنده تعدادی چرخه‌های آبیاری متشکل از یک فاز قطع و یک فاز وصل جریان است؛ به‌گونه‌ای که چرخه‌های قطع و وصل تا زمانی ادامه می‌یابد که تمام آب مورد نیاز گیاه وارد مزرعه شود. برای بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای تحت مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته، آزمایشی در قالب کرت‌های نواری خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در منطقه ورامین اجرا شد. عامل اصلی، دربردارنده سه سطح آبیاری تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد (به ترتیب  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_3$ ) نیاز آبی گیاه و عامل فرعی، دربردارنده دو مدیریت آبیاری پالسی (P) و پیوسته (C) در سیستم آبیاری قطره‌ای بود. براساس نتایج، بیشترین عملکرد بیولوژیکی ذرت علوفه‌ای، مربوط به تیمار  $PW_1$  برابر با ۲۵ تن در هکتار و بیشترین بهره‌وری آب نیز در تیمار  $PW_2$  برابر  $6/72$  کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که نسبت به تیمار شاهد به ترتیب، ۲۵ درصد و ۳۵ درصد افزایش داشت. بیشترین ارتفاع گیاه، مربوط به تیمار  $PW_1$  برابر ۲۸۵ سانتی‌متر بود که نسبت به تیمار آبیاری کامل پیوسته، ۴/۵ درصد افزایش داشت و کمترین آن، متعلق به تیمار  $PW_3$  برابر ۱۷۲ سانتی‌متر برآورد شد. با توجه به نتایج مقایسه میانگین و مقادیر بهره‌وری آب به دست آمده در این پژوهش، در مناطقی با اقلیم مشابه، که با کمبود منابع آبی مواجه هستند، برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه با مدیریت پالسی در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری قطره‌ای، عمق آبیاری، عملکرد بیولوژیکی، ورامین.

**ارجاع:** حاجی راد، میرلطیفی س. م.، دهقانی‌سانج ح. و محمدی س. ۱۴۰۰. بررسی تأثیر کم آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در صورت استفاده از دو نوع مدیریت مختلف در سیستم آبیاری قطره‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۱۵-۲۳: ۴۲.

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.  
2- دانشیار گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.  
3- دانشیار مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.  
4- دانشجوی دکتری گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول: [mirlat\\_m@modares.ac.ir](mailto:mirlat_m@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۱۴

## مقدمه

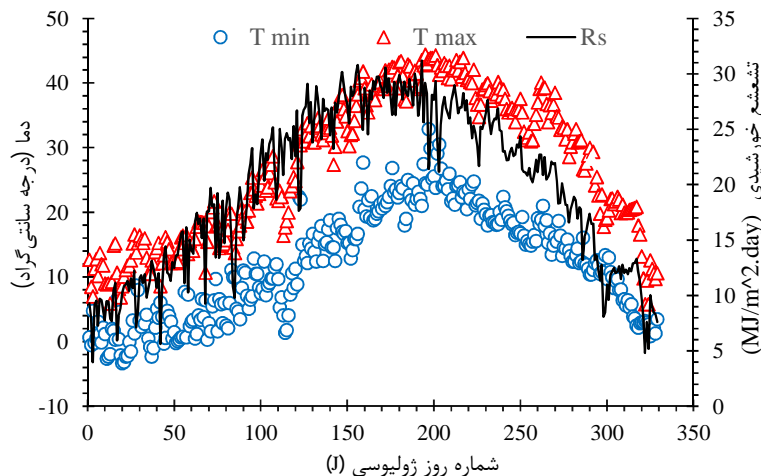
با توجه به گسترش سطح زیر کشت ذرت در ایران و کمبود منابع آب، باید به دنبال روش‌هایی برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آب آبیاری بود. بر این اساس، استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار، به‌ویژه آبیاری قطره‌ای برای محصولات زراعی در سال‌های اخیر افزایش یافته است. همچنین، به‌تازگی به استفاده از مدیریت پالسی در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای همسو با افزایش کارایی و مدیریت بهتر این سیستم‌ها توجه شده است. مدیریت پالسی شامل تعدادی چرخه‌های آبیاری است که هر چرخه، یک فاز وصل<sup>۱</sup> و یک فاز قطع<sup>۲</sup> دارد؛ به‌گونه‌ای که فازهای قطع و وصل جریان تا زمان تأمین شدن تمام عمق آب آبیاری تکرار می‌شود (اریک و همکاران، ۲۰۰۴). پژوهشگران در مطالعات خود گزارش کرده‌اند کاربرد روش آبیاری قطره‌ای پالسی گرفتگی قطره‌چکان‌ها، مصرف کود و مواد شیمیایی و نفوذ عمقی را کاهش و عملکرد محصول و بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد (النصر و همکاران، ۲۰۱۵).

النصر و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند استفاده از روش آبیاری پالسی در خاک لومرسی، توزیع رطوبت در خاک را بهبود می‌بخشد؛ زیرا کاربرد متناوب آب، اجازه توزیع مجدد رطوبت در خاک را پیش از شروع تناوب بعدی آبیاری می‌دهد که انتظار می‌رود باعث تسریع حرکت افقی و رو به بالای آب در خاک و درنهایت، کاهش نفوذ عمقی شود. کاسکو و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای با نام تأثیر سطوح مختلف آب کاربردی با روش آبیاری قطره‌ای بر تبخیر و تعرق ذرت، عملکرد، کارایی مصرف و بازده خالص در شرایط آب‌وهوای مرطوب انجام دادند. شش سطح آبیاری (۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰، ۲۵ و صفر درصد) به‌صورت مضربی از آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) در سه تکرار اعمال شد. نتایج نشان داد آبیاری کامل، بهترین انتخاب برای دست‌یافتن به عملکرد زیاد و درآمد خالص است. همچنین، نتایج آنها نشان داد روش کم‌آبیاری (۲۵ درصد) ممکن است راهکار مناسبی برای افزایش کارایی مصرف آب باشد. عید و همکاران (۲۰۱۳) اثر آبیاری قطره‌ای پالسی بر توزیع رطوبت در محدوده توسعه ریشه سویا و کارایی کاربرد آب آبیاری را در شرایط خاک شنی با دبی ۴

لیتر در ساعت بررسی کردند. تیمارهای مد نظر در این پژوهش، شامل مدیریت پیوسته و مدیریت پالسی در سه سطح با اعمال عمق آب آبیاری در ۴، ۸ و ۱۲ پالس و تیمارهای دارای پوشش (شامل پلاستیک سیاه، کاه و کلش و تیمار بدون مالچ به‌عنوان تیمار شاهد) بود. نتایج نشان داد روش آبیاری قطره‌ای پالسی باعث افزایش حرکت افقی آب در خاک نسبت به حرکت عمودی می‌شود؛ در نتیجه، توزیع رطوبت در خاک و حفظ رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه را در حد ظرفیت زراعی یا بیشتر بهبود می‌بخشد. عبدالرئوف و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی، اثر آبیاری پالسی را بر کارایی کاربرد و بهره‌وری مصرف آب سیب‌زمینی مطالعه کردند. نتایج نشان داد با افزایش تعداد پالس‌های آبیاری، کارایی کاربرد نیز افزایش یافت؛ زیرا افزایش تعداد پالس‌ها باعث افزایش رطوبت اولیه خاک و در نتیجه، کاهش حرکت رو به پایین آب در خاک می‌شود؛ به عبارت دیگر، مدیریت پالسی باعث افزایش حرکت افقی آب در خاک نسبت به حرکت عمودی می‌شود که درنهایت، به ذخیره بیشتر آب در محیط ریشه می‌انجامد؛ بنابراین، دسترسی به آب و مواد غذایی برای گیاه راحت‌تر است. همچنین، نتایج نشان داد با اعمال مدیریت پالسی، به میزان ۲۵ درصد از نیاز آبی محصول در فصل رشد را می‌توان صرفه‌جویی کرد. در پژوهشی دیگر، سیمسک و همکاران (۲۰۱۱) اثر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد و کیفیت ذرت علوفه‌ای در شرایط آب‌وهوای نیمه‌خشک در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ بررسی کردند. سطوح آبیاری در این پژوهش شامل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی کامل گیاه و بافت خاک محل مورد مطالعه، شنی بود. مقادیر عملکرد برای تیمارهای ۲۵، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی کامل گیاه به‌ترتیب، ۸/۱، ۱۳/۵، ۲۱/۴ و ۲۳/۶ تن در هکتار گزارش شد. جورونی و همکاران (۱۳۹۶) پژوهشی با نام تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت انجام دادند. پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تیمار ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی کامل ذرت و در چهار تکرار اجرا شد. نتایج نشان داد اعمال تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نسبت به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش عملکرد ماده خشک شد؛ در صورتی که تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی فقط با

سیستم‌های آبیاری قطره‌ای، بسیار اندک است؛ بنابراین، هدف پژوهش حاضر، بررسی تأثیر سطوح مختلف کم‌آبایی تحت مدیریت پالسی و پیوسته در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد بیولوژیک، ارتفاع گیاه و بهره‌وری آب آبیاری ذرت علوفه‌ای است.

کاهش پنج درصدی در عملکرد کل ماده خشک مواجه شد. بیشترین کارایی مصرف آب براساس عملکرد کل ماده خشک ( $4/80 \text{ kg/m}^3$ ) و دانه ( $2/06 \text{ kg/m}^3$ ) از تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی به دست آمد. با توجه به بررسی پژوهش‌های انجام‌شده، پژوهش‌های مزرعه‌ای درباره بررسی عملکرد مدیریت پالسی در



شکل ۱- تغییرات کمینه و بیشینه دمای روزانه هوا و تشعشع روزانه خورشیدی منطقه ورامین

که از ایستگاه هواشناسی ورامین اخذ شد، به صورت شکل ۱ است. مقادیر متوسط ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه مطالعاتی در جدول ۱ ارائه شده است. طول و عرض جغرافیایی محل اجرای آزمایش به ترتیب،  $35^{\circ}$  شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر است.

## مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۸ در یک فصل زراعی کشت در منطقه ورامین اجرا شد. منطقه ورامین جزء مناطق نیمه خشک کشور است. میانگین مقدار بارندگی سالانه در ایستگاه هواشناسی ورامین، ۱۶۰ میلی‌متر است. روند تغییرات دمای کمینه، بیشینه و تشعشع روزانه خورشیدی،

جدول ۱- مقادیر ماهیانه پارامترهای هواشناسی منطقه مطالعاتی

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

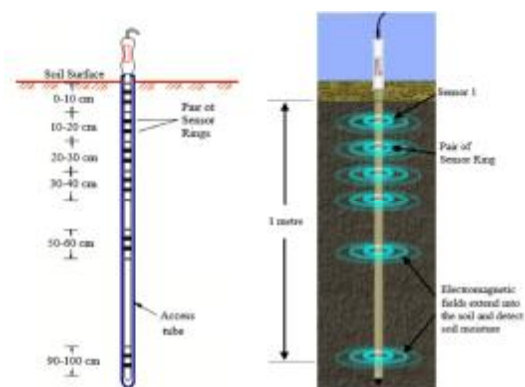
اختصاصی P و C به عنوان عامل فرعی بود. هر تیمار شامل سه خط دو ردیفی کشت بود که دو خط کناری به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد و داده‌های لازم از خط میانی برداشت شد. طول خطوط کشت، ۲۰ متر بود. مشخصات فیزیکی خاک مزرعه مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

پژوهش در قالب کرت‌های نواری خردشده برپایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل سه رژیم آبیاری به صورت تأمین ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی کامل گیاه به ترتیب با علامت اختصاری  $W_1$ ،  $W_2$  و  $W_3$  به عنوان عامل اصلی و دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته با علامت

## اندازه‌گیری رطوبت اولیه خاک با دستگاه پروفایل

## پروپ

برای محاسبه عمق آب آبیاری از روش پایش رطوبت خاک در منطقه توسعه ریشه گیاه پیش از هر آبیاری با استفاده از دستگاه پروفایل پروپ<sup>۱</sup> مدل PR2/6 استفاده شد (شکل ۳). لوله‌های دسترسی در وسط ردیف کشت نصب شد (شکل ۴). دستگاه پروفایل پروپ مدل PR2/6 میله‌ای از جنس پلی‌کربنات به طول ۱۳۵ سانتی‌متر و قطر ۲۵/۴ میلی‌متر است که حسگرهای الکترونیکی (به صورت جفت حلقه‌های استیل ضدزنگ در طول میله دیده می‌شود) با فاصله‌های ثابت در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از طول لوله قرار گرفته‌اند. هنگام قرائت، پروپ دستگاه داخل لوله‌های دسترسی<sup>۲</sup> نصب‌شده در عمق خاک قرار می‌گیرد و خروجی هر حسگر، که به صورت ولتاژ است، با دستگاه داده‌بردار HH2 ثبت می‌شود.



شکل ۳- دستگاه پروفایل پروپ مدل PR2/6



شکل ۴- نمایی از محل نصب لوله‌های دسترسی

## جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه

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

براساس نتایج آزمون خاک، نیاز نیتروژن ذرت در دوره رشد در این پژوهش، ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار برآورد شد. در این پژوهش، ذرت علوفه‌ای رقم ZP 606 به صورت دو ردیفی با فاصله بذرهای ۱۱ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر کشت شد (شکل ۲). سیستم آبیاری استفاده‌شده، شامل آبیاری قطره‌ای تیپ با دبی قطره‌چکان‌های ۰/۷ لیتر در ساعت و فاصله قطره‌چکان‌های ۲۰ سانتی‌متر بود (شکل ۲). نوارهای تیپ در فاصله بین دو ردیف کشت قرار گرفت. حجم آب کاربردی با استفاده از کنتورهای حجمی کالیبره‌شده‌ای کنترل شد که در مسیر جریان ورودی به هر تیمار آبیاری ( $W_1$  و  $W_2$ ،  $W_3$ ) نصب شده بود. دور آبیاری برای همه تیمارها ثابت و دو روز بود. آبیاری‌ها تا زمان سبزشدن کامل مزرعه (مرحله شش‌برگی) برای تمامی تیمارها یکسان انجام و تیمارهای مد نظر پس از مرحله شش‌برگی اعمال شد.



شکل ۲- نمایی از فاصله کشت دو ردیفی و فاصله قطره‌چکان‌ها از یکدیگر

1- Profile Probe  
2- Access tubes

دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شد. پس از پایان وقت مقرر، بدون فاصله، وزن خشک نمونه‌ها اندازه‌گیری و داده‌های به‌دست‌آمده از این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار SAS تجزیه و تحلیل آماری شد.

### نتایج و بحث

عمق آب آبیاری براساس جبران میزان تخلیه رطوبتی از نیم‌رخ خاک تا حد ظرفیت زراعی در محدوده توسعه ریشه گیاه برای تیمار آبیاری کامل محاسبه و اعمال شد (معادله (۱)). سایر تیمارهای آبیاری، نسبتی از عمق آب آبیاری محاسبه‌شده برای تیمار آبیاری کامل را دریافت کردند. آبیاری کلیه تیمارها هم‌زمان انجام شد. میزان عمق آب آبیاری به‌کاررفته در دوره رشد (برحسب میلی‌متر) با اعمال مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته برای تیمارهای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- عمق آب آبیاری برای سطوح مختلف آبیاری

تیمارها	سطوح آبیاری	عمق آب آبیاری (میلی‌متر)
CW <sub>۱</sub>	%۱۰۰	۴۰۵
PW <sub>۱</sub>		
CW <sub>۲</sub>	%۸۰	۳۴۰
PW <sub>۲</sub>		
CW <sub>۳</sub>	%۶۰	۲۷۵
PW <sub>۳</sub>		

با توجه به جدول ۲، عمق آب آبیاری در هر سطح برای دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته به‌صورت یکسان اعمال شد. شکل ۵، زمان و عمق آب آبیاری تیمار W<sub>۱</sub> (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) را در طول فصل رشد نشان می‌دهد.

در این پژوهش کود به‌صورت یکسان در اختیار تمام تیمارهای آبیاری در طول فصل رشد قرار گرفت. پس از پایان تزریق کود برای شست‌وشوی سیستم، حداقل ۳۰ دقیقه سیستم با آب چاه آبیاری شد.

### عملکرد بیولوژیکی

نتایج تجزیه واریانس عملکرد، ارتفاع گیاه و بهره‌وری آب ذرت علوفه‌ای در جدول ۴ ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود، اثر متقابل مدیریت آبیاری و سطوح مختلف آبیاری بر بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد و بر عملکرد بیولوژیک و ارتفاع گیاه در سطح یک‌درصد

### محاسبه عمق آب آبیاری

عمق آب آبیاری برای رساندن رطوبت منطقه توسعه ریشه گیاه به حد ظرفیت زراعی (FC) با استفاده از معادله (۱) محاسبه و اعمال شد.

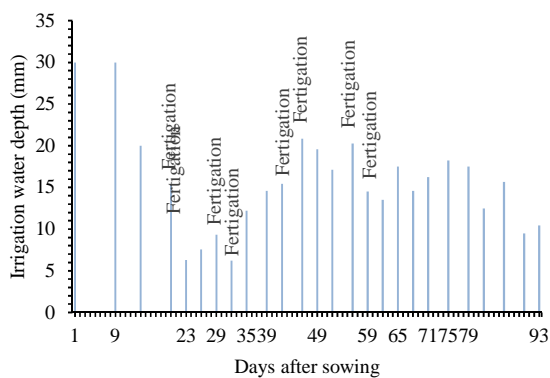
$$I_n = \left( \sum_{i=1}^n (\theta_{(FC)_i} - \theta_{(pre-irrig)_i}) \times D_i \right) / 100 \quad (1)$$

در معادله مذکور، I<sub>n</sub> عمق خالص آب آبیاری برحسب میلی‌متر، θ<sub>FC</sub> رطوبت حجمی خاک در حد ظرفیت زراعی (درصد)، θ<sub>(pre-irrig)</sub> رطوبت حجمی خاک پیش از آبیاری (درصد)، D<sub>i</sub> عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، n تعداد لایه‌ها در عمق توسعه ریشه و i شمارشگر تعداد لایه‌ها در عمق توسعه ریشه است (کاراندیش و همکاران، ۱۳۹۱). در آبیاری با مدیریت پیوسته، آب به‌صورت مداوم و در آبیاری با مدیریت پالسی، عمق آبیاری محاسبه‌شده به سه بخش مساوی تقسیم و در سه مرحله با مدت‌زمان روشن<sup>۱</sup> و خاموش<sup>۲</sup> بودن یکسان با قطع و وصل شیرهای آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت؛ به‌عنوان مثال، اگر عمق آب آبیاری محاسبه‌شده در یک نوبت آبیاری از معادله (۱) و به‌تبع آن، زمان آبیاری لازم سه ساعت به دست می‌آید، آبیاری در مدیریت پالسی به‌صورت سه پالس یک‌ساعته آبیاری با زمان خاموش‌بودن یکسان با زمان آبیاری بین پالس‌ها انجام می‌شود. همچنین، مقدار بهره‌وری آب در این پژوهش برای سطوح مختلف آبیاری تحت دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته از معادله ذیل محاسبه شد.

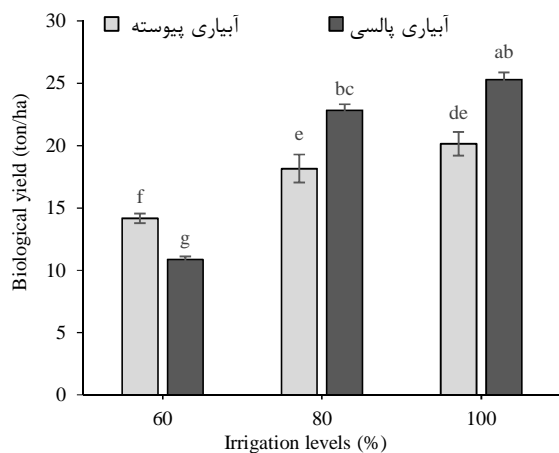
$$WP_{(Irrig)} = \frac{Y(\text{ton/ha})}{Irrig(\text{mm})} \quad (2)$$

در معادله مذکور، Y عملکرد محصول برحسب تن در هکتار و Irrig میزان آب آبیاری برحسب میلی‌متر است (کریمی و همکاران، ۲۰۱۱). برای محاسبه مقدار بهره‌وری آب از عملکرد بیولوژیکی (عملکرد بیولوژیکی، نشان‌دهنده مقدار وزن ماده‌خشک اندام‌های هوایی گیاه شامل برگ، ساقه، چوب، غلاف بلال و بلال است) استفاده شد. برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیکی، حدود ۹۵ روز پس از کاشت از سطحی به ابعاد ۱×۱/۴ متر مربع و از ردیف میانی عمل کف‌برکردن و برداشت نمونه‌ها انجام شد. پس از برداشت، کلیه نمونه‌های جمع‌آوری‌شده به آزمایشگاه آبیاری دانشکده کشاورزی منتقل و وزن تر آنها اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در

1- On time  
2- Off time



شکل ۵- نمودار زمان و عمق آب آبیاری در تیمار W<sub>1</sub>



شکل ۶- مقایسه میانگین عملکرد بیولوژیکی در سطوح کم‌آبیاری

### ارتفاع بوته

مقایسه میانگین ارتفاع بوته گیاه ذرت در سطوح کم‌آبیاری در مرحله برداشت با دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته در شکل ۷ ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته گیاه مربوط به تیمار PW<sub>1</sub> برابر ۲۸۵ سانتی‌متر و کمترین ارتفاع بوته گیاه در تیمار PW<sub>3</sub> برابر ۱۷۲ سانتی‌متر است.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول ۳، بین تیمارهای PW<sub>1</sub>، PW<sub>2</sub> و PW<sub>3</sub> اختلاف معنی‌دار در سطح یک‌درصد مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که ارتفاع بوته تیمارهای PW<sub>2</sub> و PW<sub>3</sub> نسبت به تیمار PW<sub>1</sub> به ترتیب، ۷ درصد و ۵۴ درصد کاهش یافت. همچنین، در بین تیمارهای CW<sub>1</sub>، CW<sub>2</sub> و CW<sub>3</sub> نیز اختلاف معنی‌دار در سطح یک‌درصد وجود داشت؛ به‌گونه‌ای که ارتفاع بوته تیمارهای CW<sub>2</sub> و CW<sub>3</sub> نسبت به تیمار CW<sub>1</sub> به ترتیب، ۷ درصد و ۳۰ درصد کاهش یافت. با توجه به مطالب مذکور، شیب کاهش

معنی‌دار است. مقایسه میانگین (به روش آزمون چنددامنه‌ای دانکن) برای عملکرد بیولوژیکی در سطوح مختلف کم‌آبیاری در مرحله برداشت ذرت علوفه‌ای با دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته در شکل ۶ ارائه شده است.

نتایج نشان داد بیشترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار PW<sub>1</sub> برابر ۲۵ تن در هکتار و کمترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار PW<sub>3</sub> برابر ۱۰/۸۷ تن در هکتار است. نتایج به‌دست‌آمده درباره عملکرد بیولوژیکی با نتایج یافته‌های کاسکو و همکاران (۲۰۱۳) از نظر بررسی سطوح مختلف آبیاری در مدیریت پیوسته، همخوانی دارد. با توجه به شکل ۶ در تیمار PW<sub>3</sub> و CW<sub>3</sub> اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که اعمال جریان پالسی باعث کاهش ۲۳ درصدی عملکرد نسبت به جریان پیوسته شد. علت آن را می‌توان اینگونه بیان کرد که در اعمال جریان پالسی در تیمار PW<sub>3</sub>، که ۴۰ درصد کم‌آبیاری شده است، حجم آبی کمی که در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، به‌صورت تقسیمی و در سه پالس اعمال می‌شود؛ در نتیجه، حجم کم آب در هر پالس توانایی نفوذ کامل در اعماق خاک و تأمین نیاز آبی گیاه را ندارد و در سطح خاک ذخیره می‌شود؛ بنابراین، بیشتر در معرض تبخیر از سطح خاک قرار دارد؛ بنابراین، اعمال مدیریت پالسی در تیمار کم‌آبیاری PW<sub>3</sub> باعث کاهش جذب آب، تشدید تنش آبی و بسته‌شدن روزنه گیاه و در نتیجه، کاهش عملکرد بیولوژیکی محصول نسبت به تیمار CW<sub>3</sub> شده است. بین تیمار PW<sub>2</sub> و CW<sub>2</sub> اختلاف معنی‌دار در سطح یک‌درصد وجود داشت؛ به‌گونه‌ای که عملکرد در تیمار PW<sub>2</sub> به میزان ۱۳ درصد نسبت به تیمار CW<sub>2</sub> افزایش یافت. این تیمار، ۲۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل، آب کم دریافت کرده است؛ اما اعمال تکنیک پالسی، شرایط رطوبتی بهتری را برای جذب آب توسط ریشه در عمق ۳۰ سانتی‌متر از خاک، که محل تجمع بیشتر ریشه‌های مؤثر گیاه ذرت است، فراهم کرده است. کاهش ۴۰ درصدی حجم آب آبیاری در تیمار CW<sub>3</sub> نسبت به تیمار CW<sub>1</sub> باعث کاهش عملکرد به میزان ۳۰ درصد شد. این مقدار اختلاف در عملکرد می‌تواند به این علت باشد که اعمال تنش خشکی زیاد به گیاه باعث کاهش اندازه یا توقف رشد برگ و کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه می‌شود.

مدیریت آبیاری پالسی به میزان ۸ درصد نسبت به مدیریت آبیاری پیوسته کاهش یافت که علت آن، کاهش جذب آب در این تیمار با اعمال تکنیک مدیریت پالسی است. کاکیر (۲۰۰۴) در پژوهش خود بیان کرد تنش آبی در مرحله رشد رویشی، ارتفاع بوته را کاهش می‌دهد. کردا و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی گزارش کردند ارتفاع بوته ذرت در شرایط آبیاری کامل (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) برابر ۲۴۵/۹ سانتی‌متر و در کم‌آبیاری در سطح ۵۰ درصد (تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه) برابر با ۲۱۹/۹ سانتی‌متر بود که با نتایج این بخش از نظر مدیریت آبیاری پیوسته، مشابهت دارد و علت عمده تفاوت می‌تواند نوع رقم مورد استفاده، شرایط اقلیمی متفاوت و اعمال شرایط مختلف تنش یا عوامل دیگر باشد.

ارتفاع بوته در تیمار کم‌آبیاری در سطح ۶۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل در مدیریت آبیاری پالسی، بیشتر از مدیریت آبیاری پیوسته است؛ زیرا در هر دو مدیریت، ۴۰ درصد حجم آب کمتری نسبت به تیمار آبیاری کامل دریافت کرده‌اند؛ اما اعمال تکنیک پالسی، همانگونه که پیش‌تر توضیح داده شد، باعث تشدید تنش و کاهش سطح فتوسنتزکننده و درنهایت، کاهش ارتفاع بوته شده است. مقایسه ارتفاع بوته در تیمارهای  $PW_2$  و  $CW_2$  نشان داد ارتفاع بوته در سطح ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه در مدیریت آبیاری پالسی نسبت به مدیریت آبیاری پیوسته به میزان ۵ درصد افزایش یافت که نشان‌دهنده جذب آب بهتر با اعمال تکنیک پالسی در شرایط کم‌آبیاری بود؛ اما ارتفاع بوته در سطح ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه با

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس پارامترهای مورد بررسی ذرت علوفه‌ای در تیمارهای مختلف

منبع تغییرات (S.O.V)	درجه آزادی (df)	بهره‌وری آب	عملکرد بیولوژیک	میانگین مربعات (MS)	ارتفاع گیاه
بلوک	۲	۰/۸۷ <sup>ns</sup>	۱/۷۷ <sup>ns</sup>	۶۳/۱۷ <sup>ns</sup>	
مدیریت (a)	۱	۱/۸۷*	۳۹/۶۲*	۹۲/۰۴*	
مدیریت × بلوک (خطای اصلی)	۲	۰/۰۲	۰/۶۸	۲/۱۷	
سطح آبیاری (b)	۳	۲/۱۶*	۱۶۱/۳۵**	۱۵۹۰۵/۰۴**	
a×b	۳	۲/۱۹*	۲۳/۴۵**	۳۰۱/۲۶**	
خطای فرعی	۱۲	۰/۴۲	۲/۲۷	۱۳/۱۱	
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۲/۱۴	۷/۵۴	۱/۴۲	

\*، \*\* به ترتیب، نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۵ درصد، ۱ درصد و ns نشان‌دهنده غیرمعنی‌داری است.

دارد. شکل ۸ نشان می‌دهد بین تیمارهای  $CW_1$ ،  $CW_2$  و  $CW_3$  تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین، بین تیمارهای  $PW_2$  و  $PW_3$  تفاوت معنی‌داری (در سطح پنج‌درصد) مشاهده شد. در بین تیمارهای  $CW_1$  و  $PW_2$  تفاوت معنی‌داری (در سطح پنج درصد) وجود داشت؛ به‌گونه‌ای که بهره‌وری آب تیمار  $PW_2$  به میزان ۳۵ درصد نسبت به تیمار  $CW_1$  افزایش یافت که علت آن را افزایش عملکرد و کاهش سطح آبیاری در تیمار  $PW_2$  نسبت به تیمار  $CW_1$  می‌توان دانست؛ زیرا تیمار  $PW_2$  میزان ۲۰ درصد آب کم دریافت کرده و میزان عملکرد آن نسبت به تیمار  $CW_1$  بیشتر شده است که درنهایت، به افزایش بهره‌وری آب در تیمار  $PW_2$  منجر شد. در بین تیمارهای  $CW_2$  و  $PW_2$  نیز تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد؛ به‌گونه‌ای که بهره‌وری آب تیمار  $CW_2$  نسبت به تیمار  $PW_2$ ، به میزان ۳۰ درصد افزایش یافت.

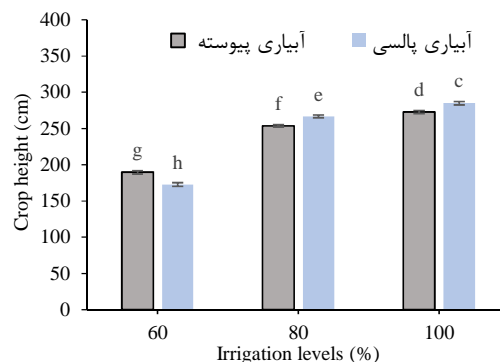
### بهره‌وری آب

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس (۳)، اثر مدیریت آبیاری، سطوح مختلف آبیاری و اثر متقابل آنها بر بهره‌وری آب در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. پس از محاسبه عملکرد بیولوژیکی، با استفاده از معادله (۲)، مقادیر بهره‌وری آب برای سطوح مختلف آبیاری محاسبه شد. مقایسه میانگین بهره‌وری آب در سطوح مختلف آبیاری در انتهای فصل کشت با دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته در شکل ۸ ارائه شده است. بیشترین بهره‌وری آب آبیاری  $PW_2$  برابر ۶/۷۲ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار در تیمار  $PW_3$  برابر ۴/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری (در سطح پنج درصد) داشت. صمدوند و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش خود گزارش کردند بیشترین بهره‌وری آب مربوط به تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه است که از نظر مدیریت آبیاری پیوسته با این پژوهش مطابقت

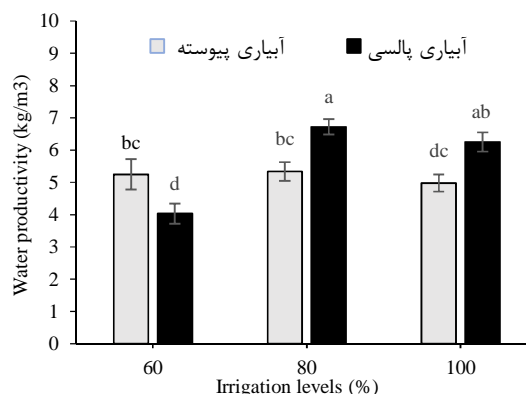
تأمین نیاز آبی گیاه با مدیریت پالسی در زراعت ذرت علوفه‌ای توصیه می‌شود. همچنین، اعمال مدیریت پالسی در شرایط خشکی شدید توصیه نمی‌شود؛ زیرا باعث تشدید بیشتر شرایط تنش و کاهش محصول می‌شود.

### منابع

- جورونی ا.، عالی‌نژادیان بیدآبادی ا. و ملکی ع. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید و پاسخ عملکرد کل ماده خشک و دانه به کم‌آبیاری در گیاه ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۲۴۱-۲۵۶.
- صمدوند س.، تاجبخش م.، نوروزی ک. و احمدآلی ج. ۱۳۹۲. تأثیر سامانه‌های آبیاری قطره‌ای (Tape) و نشتی در کشت یک ردیفه و دو ردیفه بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۱۳-۱۱۹.
- کاراندیش ف.، میرلطیفی س. م.، شاهنظری ع. عباسی ف. و قیصری م. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر آبیاری ناقص ریشه و کم‌آبیاری معمولی بر بهره‌وری آب و عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۴(۱): ۳۳-۴۴.
- Abdelraouf R. E. Abou-Hussein S. D. Abd-Alla A. and Abdallah E. F. 2012. Effect of short irrigation cycles on soil moisture distribution in root zone, fertilizers use efficiency and productivity of potato in new reclaimed lands. *Journal of Applied Sciences Research*. 8(7): 3823-3833.
- 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. *Agricultural Sciences*. 4(5): 249-261.
- 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): 2171-9292.
- 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, USA NFREC-SV-Vegetarian (04-05).



شکل 7- بهره‌کنش مدیریت و سطح آبیاری بر ارتفاع بوته



شکل 8- مقایسه میانگین بهره‌وری آب در سطوح کم‌آبیاری

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر دو مدیریت آبیاری پالسی و پیوسته با سیستم آبیاری قطره‌ای با اعمال شرایط کم‌آبیاری بررسی شد. اعمال مدیریت پالسی در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری در سطح ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه به افزایش عملکرد بیولوژیکی نسبت به مدیریت پیوسته منجر شد؛ در حالی که در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبیاری، اعمال مدیریت پالسی باعث کاهش عملکرد بیولوژیکی نسبت به مدیریت پیوسته شد. بررسی مقادیر بهره‌وری آب نشان داد بیشترین مقدار بهره‌وری آب، مربوط به تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی با مدیریت پالسی ( $PW_1$ ) و کمترین آن، مربوط به تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی با مدیریت پالسی ( $PW_3$ ) است. نتایج نشان داد بیشترین و کمترین ارتفاع بوته به ترتیب، مربوط به تیمارهای  $PW_1$  و  $PW_3$  بود؛ بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در منطقه‌ای که از نظر شرایط آب‌وهوایی، نوع بافت خاک و شیوه مدیریت آبیاری، مشابه منطقه مورد مطالعه در این پژوهش باشد، برای استفاده بهینه از منابع آب، اعمال تنش کم‌آبی در سطح ۸۰ درصد



8. Karimi M. and Gomrokchi A. 2011. Yield and water use efficiency of corn planted in one or two rows and applying furrow or drip tape irrigation systems in Ghazvin Province, Iran. *Irrigation and drainage*. 60(1): 35-41.
9. Kuscu H. Karasu A. Mehmet O. Z. Demir A. O. and Turgut I. 2013. Effect of Irrigation Amounts Applied With Drip Irrigation on Maize Evapotranspiration, Yield, Water Use Efficiency, and Net Return in A Suba Humid Cli. *Turkish Journal of Field Crops*. 18(1): 13-19.
10. Simsek M. Can A. Denek N. and 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.
11. Kirda C. Topcu S. Kaman H. Ulger A. C. Yazici A. Cetin M. and Dericci M. R. 2005. Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research*. 93(2-3): 132-141.
12. Cakir R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89(1): 1-16.

