

بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بخشی و سنتی در آبیاری قطره‌ای بر برخی از صفات سیب‌زمینی در شهرکرد

سودابه گلستانی کرمانی^{۱*}، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی^۲، محمد شایان نژاد^۳، علی شاه‌نظری^۴ و عبدالرحمن
محمدخانی^۵

چکیده

امروزه استفاده از روش‌های کم‌آبیاری، عامل مؤثری برای صرفه‌جویی و افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی است. پس در این پژوهش به بررسی اثر اعمال تنش کم‌آبی در روش کم‌آبیاری سنتی و کم‌آبیاری بخشی بر گیاه سیب‌زمینی پرداخته شده است. بدین‌منظور رقم آگریا در بهار سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار کشت شد. تیمارهای آبیاری اعمال شده شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری در سه سطح پتانسیل ماتریک خاک (۶۰-، ۸۰- و ۱۲۰- کیلوپاسکال) بودند که بعد از مرحله غده‌زایی و در قالب دو روش کم‌آبیاری سنتی و کم‌آبیاری بخشی اعمال شدند. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان داد کم‌آبیاری بخشی سبب بهبود وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، عملکرد بوته و بازار پسندی غده‌ها شده است. بیشترین مقدار وزن خشک غده نیز در کم‌آبیاری بخشی با سطح مکش ۱۲۰- کیلوپاسکال مشاهده شد. کارایی مصرف آب نیز بهبود یافت و بیشترین مقدار کارایی از روش کم‌آبیاری بخشی با سطح مکش ۱۲۰- کیلوپاسکال و به میزان ۵/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل ۱۴/۳۳ درصد افزایش داشت و سبب صرفه‌جویی ۲۲/۴۵ درصدی در مقدار آب مصرفی شد.

واژه‌های کلیدی: تنش کم‌آبی، سیب‌زمینی، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری بخشی.

ارجاع: سودابه گلستانی س. نوری امامزاده‌ئی م. ر. شایان‌نژاد م. شاه‌نظری ع. و محمدخانی ع. ۱۳۹۶. بررسی تأثیر روش‌های کم‌آبیاری بخشی و سنتی در آبیاری قطره‌ای بر برخی از صفات سیب‌زمینی در شهرکرد. مجله پژوهش آب ایران. ۲۵: ۹-۱.

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

۵- دانشیار گروه مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: golestani_sodabeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۳۱

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum Tuberosum L.*) بعد از گندم، برنج و ذرت چهارمین محصول از نظر حجم تولیدی است و به دلیل داشتن ارزش غذایی بالا به طور گسترده در صنایع تبدیلی و فرآوری غذایی استفاده می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). در سیب‌زمینی به ازای هر واحد آب استفاده شده، ۵۶۰۰ کیلوکالری انرژی تولید می‌شود که این مقدار در ذرت ۳۸۶۰ کیلوکالری، در گندم ۲۳۰۰ کیلوکالری و در برنج ۲۰۰۰ کیلوکالری است (وانگ و همکاران، ۲۰۱۱). متوسط مصرف سرانه این محصول در ایران بیش از ۳۵ کیلوگرم در سال است که با توجه به روند رشد جمعیت، توجه به تولید بیشتر آن در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک کشور ضروری است (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۰). در سال‌های اخیر تغییر پارامترهای اقلیمی سبب کاهش تولید محصولات کشاورزی شده است. فقط براساس گزارش‌های هیجمنس (۲۰۰۳) به دلیل تغییر پارامترهای اقلیمی در سه دهه اول قرن حاضر، کل محصول تولیدی سیب‌زمینی در جهان ۱۸-۳۲ درصد کاهش یافته است. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب از قبیل کم‌آبیاری سنتی و متناوب می‌تواند سبب استفاده بهینه از منابع آبی موجود و حفظ محصول تولیدی شود. کم‌آبیاری سنتی، روشی است که در آن گیاه به صورت هدفمند آبیاری می‌شود و این امر در حالی رخ می‌دهد که گیاه کمترین حساسیت را به تنش داشته باشد. در این روش کل ریشه گیاه تحت تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. کم‌آبیاری بخشی نوع جدیدی از کم‌آبیاری سنتی است که در آن ریشه گیاه به دو بخش تقسیم شده و در هر آبیاری، نیمی از ریشه گیاه تحت تنش کم‌آبی قرار می‌گیرد. این روش بر اساس مکانیزم ارسال سیگنال‌های شیمیایی از ریشه قرار گرفته در ناحیه خشک خاک به سمت اندام هوایی است که سبب تنظیم گشودگی روزنه‌ها شده و در نتیجه میزان آب مصرفی کاهش و کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). نتایج برخی از پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که اعمال روش کم‌آبیاری بخشی در زمان مناسب، می‌تواند سبب بهبود عملکرد گیاه سیب‌زمینی نسبت به آبیاری کامل و کم‌آبیاری سنتی شود. لیو و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهش‌های خود نشان دادند که اعمال ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه در مرحله غده‌زایی

سیب‌زمینی، سبب کاهش میزان زیست‌توده^۱ گیاه در کم‌آبیاری سنتی و کم‌آبیاری بخشی شده است. همچنین راندمان مصرف آب در آبیاری کامل و کم‌آبیاری بخشی یکسان و کمتر از کم‌آبیاری سنتی بوده است. جنسن و همکاران (۲۰۱۰)، در پژوهش‌های خود نشان دادند اعمال تنش ۳۰ درصدی در روش کم‌آبیاری سنتی و متناوب سبب افزایش محصول بازاری سیب‌زمینی تا ۱۵ درصد و کاهش ۲۰-۳۰ درصد آب مصرفی شده است. احمدی و همکاران (۲۰۱۰) نیز اثر اعمال کم‌آبیاری سنتی و کم‌آبیاری بخشی را با تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی در سه بافت خاک مختلف بررسی کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که اعمال کم‌آبیاری بخشی و سنتی به ترتیب سبب افزایش ۲۸ و ۳۶ درصدی عملکرد در خاک شنی-لومی شده است. یکی از عوامل مؤثر در افزایش کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی، نوع سیستم آبیاری مورد استفاده است که با توجه به راندمان بالاتر سیستم آبیاری قطره‌ای در مقایسه با سیستم آبیاری بارانی و سطحی (اتاهر و همکاران، ۲۰۰۴؛ اوندرو و همکاران، ۲۰۰۵ و وانگ و همکاران، ۲۰۱۱)، لازم است تلاش‌های بیشتری در زمینه توسعه این روش در زراعت‌های ردیفی کشور انجام شود. سیب‌زمینی یکی از عمده‌ترین محصولات کشاورزی در استان چهارمحال و بختیاری است. براساس آمار موجود سطح زیر کشت محصول در استان در سال زراعی ۹۰-۸۹ حدود ۵۱۵۲ هکتار و میزان محصول تولیدی آن ۱۶۶۴۵۶/۰۶ تن بوده که آبیاری آن بیشتر با روش‌های سطحی و با راندمان آبیاری پایین انجام می‌شود (بانک اطلاعاتی وزارت جهاد کشاورزی). بنابراین با توجه به کمبود منابع آبی در استان، کاهش چشم‌گیر محصول تولیدی در سال‌های اخیر و پایین بودن راندمان مصرف آب، ضروری است پژوهش‌های بیشتری در زمینه اعمال روش‌های مدیریتی مناسب برای استفاده بهینه از منابع آبی و افزایش محصول تولیدی انجام شود. در پژوهش پیش‌رو به بررسی اثر اعمال روش کم‌آبیاری بخشی و سنتی در سیستم آبیاری قطره‌ای بر عملکرد و برخی از اجزا عملکرد گیاه سیب‌زمینی رقم آگریا در شرایط آب و هوایی شهرکرد پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار انجام شد. شهرکرد دارای طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه و ۴۴ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه و ۲۲ ثانیه است و بر اساس روش اقلیم شناسی دومارتن، دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک است. میانگین ۳۰ ساله (۱۳۶۱-۱۳۹۱) حداقل دمای روزانه در شهرکرد در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر (ماه‌های انجام آزمایش) به ترتیب ۷/۴۲، ۱۱/۸۲، ۱۱/۵۵، ۷/۲۷، ۲/۸۱ درجه سلسیوس است. همچنین حداکثر دمای روزانه نیز در ماه‌های مذکور به ترتیب ۲۹/۶۶، ۳۳/۳۵، ۳۲/۴۱، ۲۹/۸۹، ۲۴/۵۷ درجه سلسیوس است. میانگین رطوبت نسبی نیز به ترتیب ۳۸/۶۳، ۳۳/۲۸، ۳۱/۷۱، ۳۴/۷۶، ۳۹/۸۷ درصد و میانگین بارندگی ماهانه نیز به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۱۲، ۰/۰۸، ۰/۰۵ و ۱/۰۷ میلی‌متر است. بافت خاک مزرعه مورد نظر براساس روش هیدرومتری، رسی بوده و رطوبت حجمی آن در نقطه ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی به ترتیب ۳۷/۳۳ و ۱۵/۴۹ درصد است. برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. در خرداد ماه به کمک ردیف ساز، ردیف‌هایی با فاصله ۷۵ سانتی‌متر در مزرعه ایجاد شد. سپس غده‌های سیب‌زمینی رقم آگریا به وزن تقریبی ۷۰ گرم انتخاب و با دست در عمق ۱۰ سانتی‌متری خاک و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت شدند. همچنین براساس نتایج آزمایش‌های کیفی خاک مزرعه و توصیه آزمایشگاه، کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به ترتیب به میزان ۴۰۰ و ۱۵۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار به خاک اضافه شد. نیمی از کود اوره در زمان کشت غده‌ها و نیم دیگر در زمان خاک‌دهی بوته‌ها و قبل از گلدهی، به خاک اضافه شد. در هر یک از بلوک‌های ایجاد شده به ابعاد ۲۳×۵/۵ متر، ۷ کرت اصلی برای اعمال تیمارهای آبیاری ایجاد شد و در هر کدام از کرت‌ها ۳ ردیف به طول ۲/۵ متر کشت شد. بین کرت‌ها یک پشته کشت نشده در نظر گرفته شد و ۱/۵ متر فاصله نیز بین بلوک‌ها در نظر گرفته شد. هر تیمار با ۳ تکرار در نظر گرفته شد و در دو طرف مزرعه نیز برای رعایت اثرات حاشیه‌ای دو ردیف کشت شد. حذف علف‌های هرز به صورت دستی و کنترل آفات و

بیماری‌ها به طور مرتب و در مواقع لزوم در تمام واحدهای آزمایشی به صورت یکسان انجام شد. برای آبیاری مزرعه از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده شد. در تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری سنتی از یک ردیف لوله فرعی با قطر داخلی ۱۶ میلی‌متر استفاده شد که در وسط پشته قرار گرفته و روی آن قطره‌چکان‌هایی با دبی خروجی ۲ لیتر بر ساعت و با فاصله ۲۵ سانتی‌متر در مجاورت بوته‌ها نصب شد. در کم‌آبیاری بخشی دو خط لوله فرعی در دو طرف پشته و به موازات یکدیگر قرار داده شد و قطره‌چکان‌های ذکر شده با فاصله ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر روی دو خط نصب شدند، به طوری که قطره‌چکان‌ها بین بوته‌ها قرار گرفته و در زمان اعمال تیمار آبیاری، فقط یک سمت ریشه گیاه آبیاری شده و سمت دیگر خشک رها می‌شد. برای تعیین حجم آب مصرفی در هر آبیاری از کنترلر اندازه‌گیری حجم آب روی خط اصلی استفاده شد. تا مرحله غده‌زایی بوته‌ها، آبیاری همه تیمارها یکسان انجام شد. پس از مرحله غده‌زایی و در حالیکه ۸۰٪ غده‌ها بزرگ‌تر از ۲ میلی‌متر بودند، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. تیمارهای آبیاری مورد نظر شامل آبیاری کامل^۱ (FI)، کم‌آبیاری سنتی^۲ (DI) و کم‌آبیاری بخشی^۳ (PRD) بودند و هر کدام از کم‌آبیاری‌ها در سه سطح پتانسیل ماتریک خاک (۰، -۶۰، -۸۰ و -۱۲۰ کیلوپاسکال) اعمال شدند.

قبل از نصب، سنسورها بر اساس شرایط رطوبتی خاک مزرعه کالیبره شده و رابطه بین رطوبت حجمی خاک و عدد قرائت شده از سنسور، در نظر گرفته شد. سنسورهای مذکور در ردیف میانی هر کرت و در مجاورت بوته‌های وسط ردیف و در دو عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری پشته به صورت عمودی نصب شدند و رطوبت خاک به صورت روزانه در ساعت ۹-۸ صبح قرائت شد. میانگین عددهای قرائت شده به عنوان رطوبت حجمی خاک قبل از آبیاری در نظر گرفته شد و سپس حجم آب لازم برای تأمین سطح رطوبتی مورد نظر با استفاده از رابطه (۱) و منحنی رطوبتی خاک مزرعه (شکل ۱) محاسبه شد.

$$V = (q_1 - q_2) \times Z \times A \quad (1)$$

در رابطه مذکور V حجم آب لازم بر حسب مترمکعب؛ θ_1 رطوبت حجمی خاک در سطح مکش مورد نظر که از

1- Full Irrigation (FI)

2- Deficit Irrigation (DI)

3- Partial Root zone Drying (PRD)

کم‌آبیاری بخشی، سنسورهای رطوبتی در دو طرف پشته نصب شد، اما آبیاری فقط در یک سمت ریشه و به میزان رطوبت تنش مورد نظر ± 5 درصد انجام شد و سمت دیگر ریشه خشک باقی ماند. پس از گذشت یک هفته، آبیاری جابه‌جا و این تناوب تا پایان دوره رشد گیاه تکرار شد. پس از تمام شدن دوره رشد گیاه در مهرماه، آبیاری قطع و از ردیف میانی هر کرت و از بوته‌های میانی ردیف نمونه‌برداری انجام و برخی از صفات فیزیولوژیکی گیاه اندازه‌گیری شد.

منحنی رطوبتی خاک و با توجه به سطح پتانسیل ماتریک مورد نظر خاک در نظر گرفته می‌شود؛ θ_2 رطوبت حجمی قرائت شده خاک، Z عمق ریشه گیاه که برابر با ۰/۶۰ متر در نظر گرفته شده است و A متوسط سطح مقطع ردیف بر حسب مترمربع است. در روش آبیاری کامل رطوبت خاک همواره در نزدیکی حد ظرفیت مزرعه ± 5 درصد حفظ شد و در کم‌آبیاری سنتی نیز رطوبت ناحیه ریشه گیاه در حد رطوبت تنش مورد نظر ± 5 درصد حفظ شد. در روش

جدول ۱- مشخصات خاک مزرعه

ρ_b (gr.cm ⁻³)	NTotal (%)	P (mg.kg ⁻¹)	K (mg.kg ⁻¹)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	سیلت (%)	شن (%)	رس (%)	عمق خاک (cm)
۱/۲۲	۰/۰۳۲	۷/۶	۳۲۰	۰/۵۲۶	۸/۰۶	۴۰	۱۱/۶۶	۴۸/۳۴	۰-۲۰
۱/۲۳	۰/۰۲۶	۷/۱	۳۰۹	۰/۵۶۴	۷/۸۵	۳۸	۱۳/۶۶	۴۸/۳۴	۲۰-۴۰
۱/۲۴	۰/۰۱۸	۵/۲	۲۳۴	۰/۵۳۸	۷/۷۸	۳۴	۱۹/۶۶	۴۶/۳۴	۴۰-۶۰

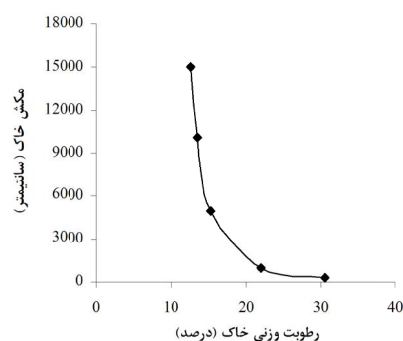
مقایسه میانگین صفات نیز از آزمون LSD با سطح احتمال ۵ درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

وزن خشک اندام هوایی

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اختلاف بین تیمارهای آبیاری اعمال شده روی صفت وزن خشک اندام هوایی گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار است. با افزایش شدت تنش کم‌آبی وزنی اندام هوایی گیاه کاهش یافت، به طوری که بیشترین وزن خشک اندام هوایی گیاه در تیمار FI به میزان ۲۲۶/۴۹ گرم در بوته و کمترین آن در تیمار DI-120 و به میزان ۱۸۷/۴۵ گرم در بوته مشاهده شد. در بین تیمارهای تحت کم‌آبیاری بخشی نیز کمترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار PRD-120 و به مقدار ۱۹۹/۸۷ گرم در بوته دیده شد.

کشپاپ و همکاران (۲۰۰۳) و شیری و همکاران (۲۰۰۹) نیز در گزارش‌های خود نشان دادند که با افزایش شدت تنش کم‌آبی، وزن اندام هوایی سیب‌زمینی در مراحل مختلف رشد کاهش یافته است. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که کم‌آبیاری بخشی نسبت به کم‌آبیاری سنتی سبب کاهش کمتر وزن خشک اندام هوایی گیاه شده است. به طوری که در این روش، وزن



شکل ۱- منحنی رطوبتی نمونه خاک

بعد از نمونه‌برداری، اندام هوایی گیاه قطع شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه آون خشک و سپس وزن شد. ریشه گیاه نیز پس از خارج شدن از خاک با فشار ملایم آب شسته شد. سپس به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه آون خشک و وزن شد. ابعاد غده‌ها با استفاده از کولیس تعیین و بازارپسندی آن بر اساس روش شاه‌نظری و همکاران (۲۰۰۷) تعیین شد. وزن و درصد ماده خشک غده براساس روش اسکندری و همکاران (۱۳۹۰) تعیین شد. کارایی مصرف آب نیز با تقسیم وزن تازه غده بر میزان آب مصرفی محاسبه شد. همچنین توزیع ماده خشک تولید شده بین اندام هوایی و زیرزمینی گیاه در هر یک از تیمارهای آبیاری بررسی شد. تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار SAS v.9 انجام شد و برای

حفظ آب موجود در گیاه شده و توانایی ریشه نیز در جذب آب و املاح پس از خیس شدن دوباره خاک افزایش می‌یابد (جنسن و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین ریشه گیاه مقادیر بیشتری از نیتروژن موجود در خاک را جذب کرده و گیاه در آخرهای فصل رشد برای مدت بیشتری سبز باقی مانده و به فعالیت فتوسنتزی خود ادامه می‌دهد (احمدی و همکاران، ۲۰۱۰). در نتیجه می‌توان انتظار داشت که وزن اندام هوایی گیاه تحت کم‌آبیری بخشی در مقایسه با کم‌آبیری سنتی، کاهش کمتری داشته باشد.

خشک اندام هوایی نسبت به آبیاری کامل به طور متوسط ۸/۷۹ درصد کاهش یافته و در کم‌آبیری سنتی این کاهش به ۱۲/۵۰ درصد رسیده است. همچنین اختلاف بین سطوح مختلف تنش اعمال شده در کم‌آبیری بخشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار نبود و در کم‌آبیری سنتی نیز اختلاف بین تیمار DI-60 با سایر تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد که در شکل ۲ ارائه شده است. در آبیاری متناوب، ریشه گیاه با ارسال سیگنال‌های شیمیایی به اندام هوایی سبب تنظیم باز بودن روزنه‌ها و

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

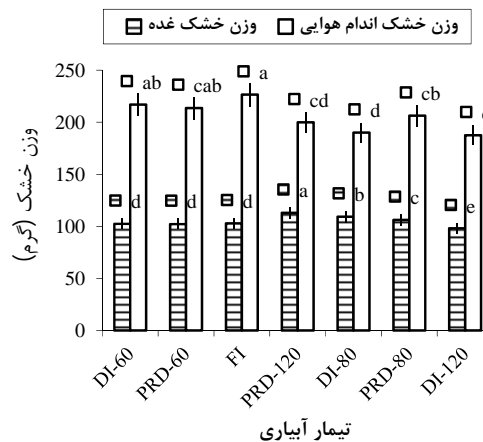
میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک اندام هوایی (گرم)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک غده (گرم)	درصد ماده خشک	عملکرد (گرم در بوته)	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
تکرار	۲	۳۱/۱۲۳ ^{ns}	۰/۰۱۹۵ ^{ns}	۳/۵۷ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}	۴/۳۲۶ ^{ns}	۰/۰۰۰ ^{ns}
تیمار	۶	۶۱۹/۲۹۶ ^{**}	۰/۷۱۷ ^{**}	۷۴/۹۶۶ [*]	۰/۰۰۱۱ ^{**}	۶۶۵۵/۲۶۷ ^{**}	۰/۲۶۹ ^{**}
خطا	۱۲	۶۲/۸۹۸	۰/۰۳۵۳	۲/۹۰۵	۰/۰۰۰	۰/۶۹۴	۰/۰۰۰

* و ** و *** به ترتیب معنی داری در سطح ۵ درصد و ۱ درصد و عدم معنی‌داری است.

است. درصد ماده خشک نیز در تیمارهای تحت سطوح تنش بالاتر نسبت به سایر تیمارها افزایش یافته که با نتایج ارائه شده توسط خورشیدی و همکاران (۱۳۸۱) همخوانی دارد. بیشترین درصد ماده خشک در تیمارهای DI-80 و DI-120 به ترتیب به میزان ۲۲/۶ و ۲۲/۷ درصد و کمترین درصد آن نیز در تیمارهای PRD-60 و FI به ترتیب به میزان ۱۸/۴ و ۱۸ درصد مشاهده شد.

وزن خشک ریشه

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری اعمال شده بر وزن خشک ریشه گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین وزن خشک ریشه گیاه در تیمار PRD-120 و به میزان ۸/۹۸ گرم در بوته و کمترین مقدار آن در تیمار FI و به میزان ۷/۶۹ گرم در بوته مشاهده شد. همچنین اختلاف بین سطوح مختلف تنش اعمال شده در روش کم‌آبیری بخشی در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد و در کم‌آبیری سنتی نیز اختلاف بین تیمار DI-60 با سایر تیمارها در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، اعمال تنش آبی سبب افزایش بیشتر وزن خشک ریشه در کم‌آبیری بخشی نسبت به کم‌آبیری سنتی شده است که این امر از مزایای روش آبیاری متناوب است.

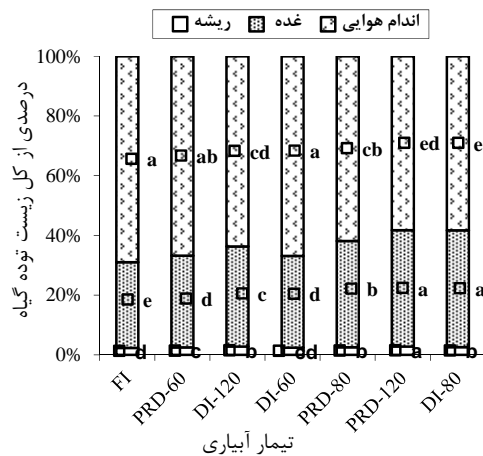


شکل ۲- اثر تیمارهای آبیاری بر وزن خشک اندام هوایی و غده گیاه

وزن خشک غده

اثر تیمارهای آبیاری اعمال شده بر وزن خشک غده سیب‌زمینی در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین مقدار ماده خشک در تیمار PRD-120 به میزان ۱۱۳/۰۳ گرم در بوته و کمترین مقدار در تیمار DI-120 به میزان ۹۸/۱۶۹ گرم در بوته مشاهده شد. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد به استثنای تیمار DI-120، با افزایش سطح تنش در روش‌های مختلف کم‌آبیری، وزن خشک غده افزایش یافته که در شکل ۲ نیز ارائه شده

بیشتر زیست‌توده در ریشه گیاه در کم‌آبیاری بخشی مشاهده شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد این روش به طور متوسط سبب افزایش زیست‌توده ریشه به میزان ۱۷/۵۴ درصد نسبت به آبیاری کامل شده و در کم‌آبیاری سنتی این افزایش به ۱۵/۷۸ درصد رسیده است. افزایش رشد ریشه در روش آبیاری بخشی در برخی از گیاهان از جمله ذرت (کانگ و همکاران، ۱۹۹۸) و گوجه‌فرنگی (مانیگو و همکاران، ۲۰۰۴) نیز گزارش شده است. لیو و همکاران (۲۰۰۶) نیز بیشترین تجمع زیست‌توده در ریشه سبب‌زمینی را تحت تیمار آبیاری بخشی به دست آورده‌اند.

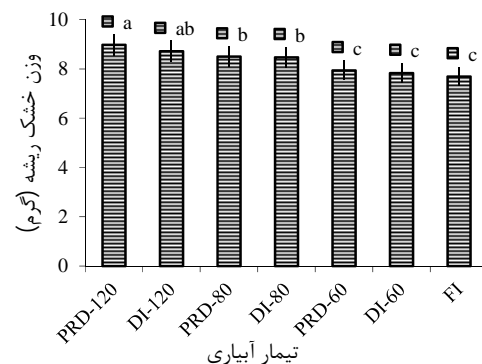


شکل ۴- اثر تیمارهای آبیاری در تخصیص زیست‌توده به اندام‌های مختلف گیاه

عملکرد در بوته

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری اعمال شده روی صفت عملکرد گیاه در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. بیشترین مقدار عملکرد از تیمار FI و به میزان ۰/۵۷۰ کیلوگرم در بوته (۳۰/۴۰ تن در هکتار) و کمترین مقدار آن از تیمار DI-120 و به مقدار ۰/۴۳۰ کیلوگرم در بوته (۲۲/۹۳ تن در هکتار) به دست آمد. در بین تیمارهای تحت کم‌آبیاری بخشی نیز بیشترین عملکرد از تیمار PRD-60 و به مقدار ۰/۵۵۴ کیلوگرم در بوته به دست آمد که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد با افزایش سطح تنش آبی، متوسط وزن غده‌ها کاهش یافت که با نتایج پژوهش‌های بوون (۲۰۰۳) همخوانی دارد. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که کم‌آبیاری بخشی سبب

هرچند اختلاف معنی‌داری بین روش کم‌آبیاری بخشی و کم‌آبیاری سنتی در یک سطح تنش مشخص دیده نشد، اما نتایج پژوهش‌های لیانژو و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد در کم‌آبیاری بخشی با خیس شدن تناوبی دو طرف ریشه، تولید ریشه‌های ثانویه افزایش می‌یابد که در نتیجه توانایی ریشه نیز برای جذب مواد غذایی بیشتر شده و سبب تجمع ماده خشک بیشتر در ریشه می‌شود. نتایج ارائه شده در این بخش با نتایج ارائه شده توسط لیو و همکاران (۲۰۰۶) همخوانی داشته و با نتایج خورشیدی و همکاران (۱۳۸۵) همخوانی ندارد که به دلیل اختلاف در شدت تنش رطوبتی اعمال شده و زمان اعمال تنش است.



شکل ۳- اثر تیمارهای آبیاری بر وزن خشک ریشه

تولید زیست‌توده و تخصیص آن به اندام‌های گیاهی

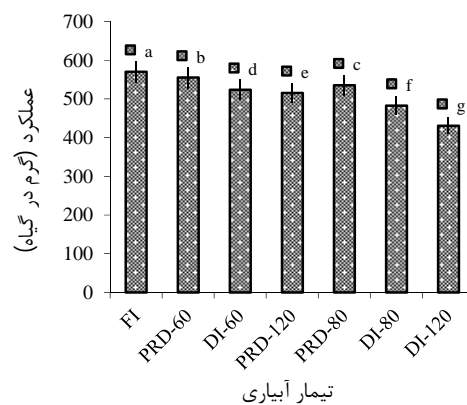
بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که اعمال روش کم‌آبیاری سنتی و کم‌آبیاری بخشی سبب کاهش کل زیست‌توده تولید شده در مقایسه با آبیاری کامل شده است. هر چند الگوی توزیع زیست‌توده بین اندام‌های مختلف گیاه، متفاوت است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود در کم‌آبیاری سنتی تجمع زیست‌توده در اندام هوایی گیاه کاهش بیشتری داشته است. به طوری که در این روش، تجمع زیست‌توده در اندام هوایی گیاه نسبت به روش آبیاری کامل به طور متوسط ۴/۹۱ درصد کاهش داشته که بیشتر از تأثیر کم‌آبیاری بخشی در کاهش وزن اندام هوایی گیاه است. همچنین با اعمال کم‌آبیاری تجمع مواد در ریشه و غده گیاه افزایش یافته است. به طوری که میزان تجمع ماده در غده سبب‌زمینی در کم‌آبیاری سنتی نسبت به آبیاری کامل به طور متوسط ۲۵/۷۹ درصد افزایش داشته و این افزایش در کم‌آبیاری بخشی به طور متوسط به ۲۹/۸۰ درصد رسیده است. همچنین تجمع

۴۲/۳۰ درصد غده‌ها دارای متوسط قطر ۵۰-۶۰ میلی‌متر و ۳۰/۷۶ درصد غده‌ها دارای قطر ۵۰-۴۰ میلی‌متر بودند. اندازه غده‌ها در تیمارهای تحت کم‌آبیاری سنتی نیز بررسی شد. نتایج نهایی نشان می‌دهد در تیمار DI-80، ۳۷/۰۳ درصد غده‌ها دارای قطر ۵۰-۶۰ میلی‌متر و ۲۹/۶۲ درصد غده‌ها دارای قطر ۵۰-۴۰ میلی‌متر بودند. در تیمار DI-120 نیز ۴۲/۱۰ درصد غده‌ها قطر کوچک‌تر از ۴۰ میلی‌متر و ۳۶/۸۴ درصد غده‌ها نیز قطر ۵۰-۴۰ میلی‌متر داشتند. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در روش کم‌آبیاری بخشی نسبت به کم‌آبیاری سنتی درصد بیشتری از غده‌ها دارای اندازه یکنواخت بوده و در گروه‌های بازار پسند (گروه‌های دارای متوسط قطر ۵۰-۶۰ و ۵۰-۴۰ میلی‌متر) قرار گرفته‌اند. به طوری که در تیمار PRD-80 مجموع غده قرار گرفته در گروه‌های بازار پسند به طور متوسط ۲۱/۴۴ درصد نسبت به تیمار PRD-120 افزایش یافته و این مقدار در تیمار PRD-120 نسبت به DI-120 به ۹۸/۳۱ درصد رسید. شاه‌نظری و همکاران (۲۰۰۸) نیز با اعمال روش کم‌آبیاری بخشی، بیشترین تعداد غده بازار پسند با اندازه یکنواخت را به دست آوردند.

کارایی مصرف آب

نتایج ارائه شده در جدول ۲ نشان می‌دهد اختلاف بین تیمارهای آبیاری اعمال شده روی صفت کارایی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار است. بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار PRD-120 به میزان ۵/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب و کمترین مقدار آن در تیمار DI-60 به میزان ۴/۲۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب مشاهده شد که در شکل ۶ نیز نشان داده شده است. اخوان و همکاران (۱۳۸۶) نیز با استفاده از سیستم آبیاری تیپ، کارایی مصرف آب سیب‌زمینی را ۴/۲۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش کردند. بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد به استثنای تیمار DI-120، با افزایش سطح تنش در هر دو روش کم‌آبیاری، کارایی مصرف آب افزایش یافته است. مقایسه حجم آب مصرف شده در تیمارهای مختلف آبیاری نیز نشان می‌دهد که با اعمال تنش در سطوح پتانسیل ۶۰- و ۸۰- و ۱۲۰- کیلوپاسکال به ترتیب ۹/۸۵، ۱۶ و ۲۲/۴۵ درصد در حجم آب مصرفی صرفه‌جویی شده است. در عین حال کارایی مصرف آب در تیمارهای PRD-60

حفظ بیشتر محصول در مقایسه با کم‌آبیاری سنتی شده است. بیشترین میزان کاهش محصول بین سطوح مختلف تنش اعمال شده در کم‌آبیاری بخشی، در تیمار PRD-120 دیده شد که نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل ۱۱/۳۷ درصد کاهش محصول داشت. در حالیکه بیشترین کاهش محصول در کم‌آبیاری سنتی در تیمار DI-120 دیده شد که نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل ۲۴/۳۹ درصد کاهش محصول داشت. سعید و همکاران (۲۰۰۸) نیز در پژوهش‌های خود نشان دادند که متوسط وزن غده سیب‌زمینی در کم‌آبیاری بخشی نسبت به کم‌آبیاری سنتی افزایش داشته است. همچنین شاه‌نظری و همکاران (۲۰۰۸) نیز با اعمال ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه در کم‌آبیاری بخشی و بعد از مرحله غده‌زایی، کاهش معنی‌داری در متوسط وزن غده‌ها نسبت به آبیاری کامل مشاهده نکردند.



شکل ۵- اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد کل

بازار پسندی

اندازه و بازار پسندی محصول را می‌توان به‌عنوان یک عامل در کیفیت محصول تولیدی در نظر گرفت. در این پژوهش پس از بررسی اندازه غده‌ها و تعیین میزان بازارپسندی، مشاهده شد با افزایش سطح رطوبتی خاک، حجم غده افزایش یافته و درصد بیشتری از غده‌ها قطر بزرگ‌تر از ۶۰ میلی‌متر دارند. به طوری که در تیمار آبیاری کامل ۴۸/۳۸ درصد غده‌ها دارای متوسط قطر بیشتر از ۶۰ میلی‌متر بودند و در تیمارهای PRD-60 و DI-60 نیز به ترتیب ۵۰ و ۵۵/۵۵ درصد غده‌ها دارای این قطر بودند. در تیمار PRD-80، ۴۷/۶۱ درصد از غده‌ها دارای قطر ۵۰-۴۰ میلی‌متر و ۳۳/۳۳ درصد غده‌ها نیز دارای قطر ۵۰-۶۰ میلی‌متر بودند. در تیمار PRD-120 نیز

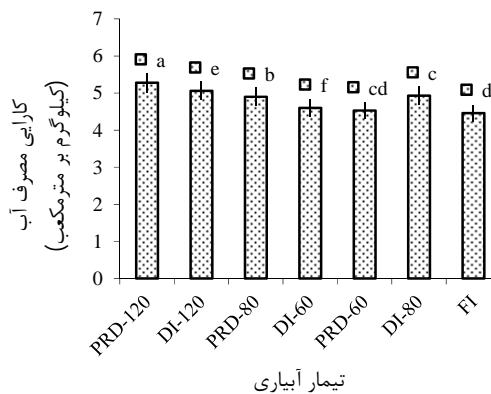
خشک اندام هوایی گیاه در این روش در مقایسه با کم‌آبیاری سنتی کاهش کمتری داشته است. بیشترین مقدار وزن خشک ریشه و غده در تیمار PRD-120 دیده شد و بیشترین مقدار راندمان مصرف آب از تیمار PRD-120 و به مقدار ۵/۱۱ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد که نسبت به تیمار آبیاری کامل ۱۴/۳۳ درصد افزایش داشته و سبب صرفه‌جویی ۲۲/۴۵ درصدی در آب مصرفی شده است.

منابع

۱. اخوان س. موسوی س. ف. مصطفی‌زاده فرد ب. و قدمی فیروزآبادی ع. ۱۳۸۶. بررسی آبیاری تیپ و شیاری از لحاظ عملکرد و کارایی مصرف آب در زراعت سبب‌زمینی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۱: ۱۶-۲۶.
۲. اسکندری ع. خزاعی ح. نظامی ا. کافی م. و مجدآبادی ع. ۱۳۹۰. تأثیر رژیم آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و کارایی مصرف آب سبب‌زمینی در شرایط آب و هوایی مشهد. نشریه علوم باغبانی. ۲۵(۲): ۲۰۱-۲۱۰.
۳. خورشیدی بنام م. ب. رحیم‌زاده خوبی ف. میرهادی م. ج. و نورمحمدی ق. ۱۳۸۱. بررسی اثرات تنش کم‌آبی در مراحل رشد ارقام مختلف سبب‌زمینی. مجله علوم زراعی ایران. ۱(۴): ۴۸-۵۹.
۴. خورشیدی بنام م. ب. رحیم‌زاده خوبی ف. میرهادی م. ج. و نورمحمدی ق. ۱۳۸۵. تأثیر تنش کم‌آبی بر وزن خشک ریشه سه رقم سبب‌زمینی. مجله دانش نوین کشاورزی. ۳: ۳۹-۵۰.

5. Ahmadi S. H. Andersen M. N. Plauborg F. Poulsen R. Jensen C. R. Sepaskhah A. R. and Hansen S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: yield and water productivity. *Agricultural water Management*. 97: 1923-1930.
6. Attaher S. M. Medony M. A. Abdelaziz A. A. and Mostafa M. M. 2004. Energy requirement and yield of drip potatoes. *International symposium on the horizons of using organic matter and substrates in horticulture*. Available

PRD-80 و PRD-120 به ترتیب ۵/۱۴، ۱۰/۳۵ و ۱۴/۳۳ درصد نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل افزایش یافته است. در حالیکه صفت مذکور در تیمارهای DI-60 و DI-120 به ترتیب ۴/۵۸ و ۲/۷۴ درصد نسبت به نمونه تحت آبیاری کامل کاهش داشته و در تیمار DI-80، ۱/۱۴ درصد افزایش یافته است. سعید و همکاران (۲۰۰۸) و شاه‌نظری و همکاران (۲۰۰۸) نیز در پژوهش‌های خود نشان دادند که با اعمال کم‌آبیاری بخشی سبب‌زمینی، کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۹ و ۱۷/۱ درصد نسبت به آبیاری کامل افزایش یافته است. بر اساس نتایج پژوهش‌های شاه‌نظری و همکاران (۲۰۰۷)، در روش کم‌آبیاری بخشی، شدت فتوسنتز به اندازه تعرق تحت تأثیر کاهش هدایت روزنه‌ای قرار نمی‌گیرد و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. به علاوه در گیاهانی که تحت روش کم‌آبیاری بخشی قرار گرفته‌اند، اثرات سبز ماندن برگ و تداوم فتوسنتز نسبت به گیاهانی که تحت روش کم‌آبیاری سنتی قرار گرفته‌اند، برای مدت طولانی‌تری مشاهده شده و این امر سبب افزایش تولید در این روش شده است (یاکتایو و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۶- اثر تیمارهای آبیاری بر کارایی مصرف آب

نتیجه‌گیری

امروزه باتوجه به کمبود منابع آبی در بخش کشاورزی، استفاده از روش‌های مدیریتی مناسب برای افزایش میزان محصول تولیدی در ازای واحد آب مصرفی رو به افزایش است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کم‌آبیاری بخشی سبب افزایش معنی‌دار ماده خشک ریشه سبب زمینی، افزایش عملکرد بوته و افزایش بازپسندی غده‌ها نسبت به کم‌آبیاری سنتی شده است. همچنین وزن

- tuber size and water use efficiency in potato under field condition. *Field Crop Research*. 100: 117-124.
18. Shahnazari A. Ahmadi S. H. Laerke P. E. Liu F. Plauborg F. Jacobsen S. E. Jensen C. R. and Andersen M. N. 2008. Nitrogen dynamics in the soil-plant system under deficit and partial root-zone drying irrigation strategies in potato. *European Journal of Agronomy*. 28: 65-73.
 19. Shiri-e-janagrad M. Tobeh A. Hokmalipour S. Jamaati-e-somarin S. H. Abbasi A. and Shahbazi K. 2009. Potato (*Solanum Tuberosum* L.) response to drip irrigation regimes and plant arrangements during growth periods. *Asian Journal of plant science*. 8(6): 390-399.
 20. Wang F. X. Wu X. X. Shock C. C. Chu L. Y. Gu X. X. and Xue X. 2011. Effects of drip irrigation regimes on potato tuber yield and quality under plastic mulch in arid north western China. *Field Crop Research*. 122: 78-84.
 21. Wang H. Liu F. Andersen M. N. and Jensen C. R. 2009. Comparative effects of partial root-zone drying and deficit irrigation on nitrogen uptake in potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Irrigation Science*. 27: 443-448.
 22. Yactayo W. Ramirez D. A. Gutierrez R. Mares V. Posades A. and Quiroz R. 2013. Effect of partial root – zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural water Management*. 123: 65-70.
 - at: http://www.actahort.org/books/608/608_24.htm
 7. Bowen W. T. 2003. Water productivity and potato cultivation. CAB International, water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvements. Available at: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20033158273.html;jsessionid=A54BFFFE2BB119B78C0F02BF1A9EAB2D>.
 8. Hijmans R. J. 2003. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 80(4): 271-279.
 9. Jensen C. R. Battilani A. Plauborg F. Psarras G. Chartzoulakis K. Jovanovic Z. Li. and Andersen M. N. 2010. Deficit irrigation based on drought tolerance and root signaling in potatoes and tomatoes. *Agricultural water Management*. 98: 403-413.
 10. Kang S. Z. Liang Z. S. Hu W. and Zhang J. H. 1998. Water use efficiency of controlled alternate irrigation on root- divided maize plants. *Agricultural water Management*. 38: 69-76.
 11. Kashyap P. S. and Panda R. K. 2003. Effect of irrigation scheduling on potato crop parameters under water stress condition. *Agricultural Water Management*. 59: 49-66.
 12. Lianxu H. Qin F. F. Xu Q. Tan J. and Liu G. 2011. Application of xerophytophysiology in plant production- The potato crop improved by partial root zone drying of early season but not whole season. *Scientia Horticulturae*. 129: 528-534.
 13. Liu F. Shahnazari A. Andersen M. N. Jacobsen S. E. and Jensen C. R. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. *Scientia Horticulturae*. 109: 113-117.
 14. Manigo D. M. Theobald J. C. Bacon M. A. and Davis M. A. 2004. Biomass allocation in tomato plants grown under partial root zone drying: enhancement of root growth. *Plant Biology*. 31: 971-978.
 15. Onder S. Caliskan M. E. Onder D. and Caliskan S. 2005. Different irrigation methods and water stress effects on potato yield and yield component. *Agricultural Water Management*. 73: 73-86.
 16. Saeed H. Grove I. G. Kettlewell P. S. and Hall N. W. 2008. Potential of partial root zone drying as an alternative irrigation technique for potatoes (*Solanum Tuberosum* L.). *Annals of applied biology*. 152: 71-80.
 17. Shahnazari A. Liu F. Andersen M. N. Jacobsen S. E. and Jensen S. E. 2007. Effects of partial root zone drying on yield,

