نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۷۲۹-۷۱۷

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 717-729

تأثیر کم‌آبیاری و خشکی موضعی ریشه بر عملکرد و کارآیی مصرف آب دو رقم سیب‌زمینی

بیژن حقیقتی[1*]- سعید برومند نسب[2] - عبدعلی ناصری[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲

چکیده

به منظور تعیین بهترین روش اعمال کم‌آبیاری برای بهینه‌سازی کارآیی مصرف آب گیاه سیب‌زمینی، آزمایشی در سال ۱۳۹۲ به‌صورت اسپلیت- اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. این آزمایش شامل دو روش آبیاری در کرت‌های اصلی، دو رقم سیب‌زمینی بورن و آلمرا در کرت‌های فرعی و تیمارهای کم‌آبیاری در چهار سطح آبیاری به میزان ۱۰۰، ۸۰ و ۶۵ درصد تخلیه رطوبتی مجاز خاک و خشکی موضعی ریشه (PRD) در کرت‌های فرعی– فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که رقم بورن نسبت به رقم آلمرا در کلیه تیمارهای کم‌آبیاری از نظر عملکرد، بهره‌روی و کارآیی مصرف آب و مقاومت به خشکی برتری داشت به طوری‌که رقم بورن در مقایسه با رقم آلمرا به ترتیب باعث افزایش ۱۹، ۲۰ و ۱۹ درصدی عملکرد کل، بهره‌وری و کارآیی مصرف آب گردید. اثر کم‌آبیاری بر عملکرد، بهره‌وری و کارآیی مصرف آب، درصد نشاسته، میزان قند محلول، میزان پرولین و کلروفیل گیاه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین مقدار عملکرد برابر با ۵۹/۰۲ تن در هکتار مربوط به رقم بورن و آبیاری کامل حاصل شد. بیشترین کارآیی و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب برابر ۱۶/۷۹ و ۱۴/۷۸ کیلوگرم بر متر مکعب مربوط به روش آبیاری قطره‌ای نواری و تیمار PRD بدست آمد. بنابراین با توجه به محدودیت منابع برای استفاده بهینه از آب، رقم بورن به عنوان یک رقم با کیفیت مناسب و دارای پتانسیل عملکرد بالا، روش آبیاری قطره‌ای نواری و کم‌آبیاری PRD به عنوان یک راه‌کار صرفه جویی در مصرف آب بسیار سودمند و قابل توصیه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، جویچه‌ای، قطره‌ای نواری

مقدمه

سیب‌زمینی یکی از محصولات مهم کشاورزی در تغذیه مردم جهان و اقتصاد کشاورزی است. این گیاه سرشار از کربوهیدرات و ویتامین C است و ضمن برخورداری از بیشترین میزان پروتئین در بین محصولات غده‌ای، میزان اسید آمینه‌های موجود در آن نیز با توجه به نیاز انسان مطلوب می‌باشد (۲۲). سیب‌زمینی از نظر میزان تولید در دنیا پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار دارد (۱۰). تولید سالیانه بیش از ۵/۵ میلیون تن سیب‌زمینی در کشور ایران، این محصول را در ردیف مهم‌ترین مواد غذایی قابل مصرف بعد از گندم قرار داده است (۲). از طرفی آب عمدترین عاملی محدودیت کننده در مناطق خشک و نیمه خشک برای تولید محصولات کشاورزی از جمله سیب‌زمینی است.

یکی از مؤثرترین راه‌کارهای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی، توجه جدی به بهره‌وری آب و ارتقاء آن با اعمال روش‌ها و سیاست‌های حکیمانه می‌باشد (۸). افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی از طریق اصلاح و انتخاب واریته‌های گیاهی مناسب، اعمال مدیریت کم‌آبیاری و کاربرد شیوه‌های جدید آبیاری میسر خواهد شد (۴).

تحقیقات بسیاری نشان داده است که سیب‌زمینی حساسیت بالایی نسبت به تنش خشکی در همه مراحل نموی به‌ویژه مرحله تشکیل غده دارد (۱۱ و ۲۵). واکنش گیاهان نسبت به تنش خشکی در سطوح مختلف از سلول تا تمام گیاه بسته به گونه گیاه و حتی در ژنوتیپ‌های متعلق به یک گونه متفاوت است (۱۳). تحقیقات نشان داده است، تنش خشکی عموماً باعث تخریب و شکسته شدن کلروپلاست‌ها و کاهش میزان کلروفیل شده و مقدار فعالیت آنزیم‌ها را در چرخه کالوین در طی فرآیند فتوسنتز کاهش می‌دهد (۲۰). در بیشتر گیاهان، خشکی از طریق تغییرات پتانسیل اسمزی بر گیاه اثر می‌گذارد. تنظیم اسمزی مکانیسمی است که منجر به نگهداری آب سلول‌ها در اثر بروز تنش می‌گردد. این فرآیند ناشی از تجمع مولکول‌ها و یون‌های فعال اسمزی از جمله قندهای محلول، پرولین،

۱- محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، شهرکرد
(*- نویسنده مسئول: (Email: bhaghighati@ yahoo.com
۲ و ۳- استادان گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

گلایسین بتائین و اسیدهای آلی می‌باشد (۲۳).

از سوی دیگر کمبود منابع آب، نیاز به صرفه جویی در حجم آب آبیاری را به منظور بهبود کارآیی مصرف آب ضروری ساخته است (۹). به همین منظور در سال‌های اخیر تکنیک کم‌آبیاری به عنوان یک راه‌کار ارزشمند مطرح است. روش‌های متعددی برای اعمال کم‌آبیاری در جهت افزایش کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در جهان تجربه شده است. آبیاری بخشی و ناقص (PRD)[1] و کم‌آبیاری تنظیم شده از جمله این روش‌ها می‌باشند. در روش خشکی موضعی ریشه، منطقه ریشه به دو قسمت تقسیم شده و به صورت متناوب این دو منطقه آبیاری می‌شود تکرار این تناوب تغییراتی در ساختار فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می‌کند که در نهایت باعث افزایش کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در گیاه می‌شود (۶).

نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (۳) بر روی اثرات کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر روی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب برای دو رقم سیب‌زمینی، نشان داد که بین عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در رژیم‌های آبیاری تفاوت معنی‌داری وجود داشت و با اعمال کم‌آبیاری بهره‌وری مصرف آب افزایش پیدا نموده است. دیو و همکاران (۶) تأثیر دو روش کم آبیاری کنترل شده و آبیاری بخشی منطقه ریشه (PRD) را بر کارآیی مصرف آب ذرت بررسی نمودند. نتایج نشان داد آبیاری جوی پشته‌ای متناوب، در میزان رشد گیاه تأثیری ندارد اما نرخ تعرق را کاهش می‌دهد. این محققین گزارش کردند استفاده از روش کم‌آبیاری کنترل شده و آبیاری بخشی منطقه ریشه در رشد محصولات زراعی باعث ایجاد پتانسیل بیشتر برای ذخیره و نگهداشت آب و بهبود اقتصادی محصول و کارآیی مصرف آب می‌گردد. در تحقیق اسکندری و همکاران (۹) تاثیر رژیم آبیاری بر عملکرد و برخی خصوصیات کیفی ارقام سیب‌زمینی بررسی و گزارش شد که با افزایش حجم آب آبیاری، همه صفات کمی و کیفی مورد مطالعه به جز وزن مخصوص غده بهبود یافت و از نظر درصد ماده خشک و نشاسته غده، رژیم آبیاری تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب‌زمینی نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری برتری داشت. شاه‌نظری و همکاران (۲۴) طی تحقیقی نشان دادند که خشکی موضعی ریشه باعث افزایش۲۰ درصدی محصول قابل عرضه به بازار و اعمال تنش با کاهش ۳۰ درصد نیاز آبی باعث حفظ محصول و افزایش کارآیی مصرف آب نسبت به آبیاری کامل می شود. تحقیقات دیگر نیز موید این مطلب است که با افزایش میزان آبیاری، میزان عملکرد افزایش می‌یابد. لیو و همکاران (۱۷) تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر روی کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی را بررسی و دریافتند که آب مصرفی در دو تیمار کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه ۳۷ درصد کمتر از آبیاری کامل بود ولی کارآیی مصرف آب برای دو تیمار کم‌آبیاری خشکی موضعی ریشه و آبیاری کامل تقریباً یکسان و کاهش معنی‌داری نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شده داشت. آن‌ها نتیجه گرفتند که تیمار خشکی موضعی تعریف شده در این مطالعه در مراحل شروع غده دهی سیب‌زمینی عملی نبوده و برای رسیدن به اثرات کم‌آبیاری خشکی موضعی ریشه باید بر روی زمان تعویض ناحیه آبیاری و میزان آبی که باید به ستون خاک اضافه شود مطالعات بیشتری صورت گیرد. از سوی دیگر یاکتایو و همکاران (۲۸) با مقایسه کم‌آبیاری تنظیم شده و خشکی موضعی ریشه بر کارآیی مصرف آب نشان دادند که خشکی موضعی ریشه با ۵۰ درصد آب مورد استفاده در مقایسه با آبیاری کامل، دارای بیشترین کارآیی مصرف آب بدون کاهش عملکرد بود.

با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده اگر چه اعمال تیمارهای کم‌آبیاری باعث کاهش عملکرد گیاه می‌شود ولی در تمام موارد باعث افزایش کارآیی مصرف آب شده است ولی انتخاب رقم مناسب با پتانسیل عملکرد بالا و کیفیت مناسب و چگونگی اعمال مدیریت کم‌آبیاری برای افزایش کارآیی مصرف آب در جهت استفاده صحیح از منابع آب موجود و به منظور افزایش عملکرد کمی و کیفی امری ضروری می‌باشد. با توجه به این‌که سیب‌زمینی، یکی از محصولات عمده استان چهارمحال و بختیاری است، و برای تولید بذر مناطق مختلف ایران کاشته می‌شود در سال‌های اخیر به دلیل تغییر ویژگی‌های اقلیمی و کاهش ریزش‌های جوی، تولید آن کاهش یافته است. این تحقیق با هدف معرفی رقمی با عملکرد بالا که نسبت به کاهش آبیاری حساسیت کمتر و عملکرد قابل قبول در شرایط کم‌آبیاری داشته باشد و انتخاب مناسب‌ترین مدیریت کم‌آبیاری به منظور نیل به عملکرد مناسب در راستای ارتقاء بهره‌وری مصرف آب و صرفه‌جویی در مصرف آب انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲ در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد واقع در ۵ کیلومتری شرق شهرکرد با مختصات جغرافیایی ′۳۲°,۱۸ شمالی و ′۵۰°, ۵۵ شرقی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر از سطح دریا و با اقلیم نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد به اجرا درآمد. میانگین دراز مدت بارندگی و درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب ۳۲۰ میلی متر و ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. به منظور بررسی و مقایسه کم‌آبیاری تنظیم شده (RDI) و کم‌آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه سیب‌زمینی (PRD) بر روی کارآیی مصرف آب (WUE) و خصوصیات کمی و کیفی دو رقم سیب‌زمینی آزمایشی به صورت اسپلیت–اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل: دو روش آبیاری، دو رقم سیب‌زمینی و چهار تیمار کم‌آبیاری و شامل

1- Partial root zone drying

۴۸ کرت آزمایشی بود. روش‌های آبیاری به عنوان کرت‌های اصلی شامل: S_1= روش آبیاری جویچه‌ای S_2= روش آبیاری قطره‌ای نواری و تیمارهای فرعی شامل رقم‌های سیب‌زمینی شامل: V_1= سیب‌زمینی رقم المرا V_2= سیب‌زمینی رقم بورن و تیمارهای فرعی- فرعی در هر یک از روش‌های آبیاری شامل: CI= تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک RDI_{80}= تأمین ۸۰ درصد کمبود رطوبت خاک RDI_{65}= تأمین ۶۵ درصد کمبود رطوبت خاک PRD= آبیاری به صورت یک در میان و متناوب جویچه‌ها و نوارهای قطره‌ای در هر دور آبیاری با توجه به کمبود رطوبتی خاک بودند. در طول فصل رشد بارندگی مؤثری رخ نداد. میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک در زمان آبیاری و براساس اختلاف بین رطوبت خاک و حد ظرفیت زراعی در تیمار آبیاری کامل و PRD، برآورد شد و با توجه به مساحت هر کرت و اعمال راندمان آبیاری حجم آب مصرفی برای هر روش بدست آمد. میزان آب مصرفی برای تیمارهای مدیریت کم-آبیاری تنظیم شده ضریبی از مقدار آن در تیمار آبیاری کامل بود. عمق توسعه ریشه در تیمار آبیاری کامل و PRD در دو روش آبیاری در طول فصل رشد با حفر ترانشه و اندازه‌گیری به وسیله خطکش تعیین شد. دور آبیاری در روش جویچه‌ای برای همه تیمارها ثابت و بر اساس ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی مجاز خاک و حداکثر میزان تبخیر و تعرق روزانه محل آزمایش ۷ روزه و در روش قطره‌ای نواری چهار روزه در نظر گرفته شد که در تیمار آبیاری کامل تنشی به گیاه وارد نشود به این صورت که در تیمار آبیاری کامل همیشه در زمان آبیاری مقدار رطوبت خاک بیشتر از مقدار رطوبت سهل‌الوصول بود.

دو رقم آلمرا و بورن دو رقم جدید زودرس با عملکرد کمی و کیفی بالا و دوره رشد تقریبی ۹۰-۸۰ روزه که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی منطقه چهارمحال و بختیاری و بیشتر مناطق سیب‌زمینی کاری ایران نشان داده‌اند. رقم بورن رقم زود رس، دوره رشد ۷۵-۹۰ روز، قابلیت کشت در فصول مختلف، بیضی شکل، زرد رنگ، قابلیت انبارداری بالا و رقمی بسیار عالی برای صنایع فرآوری می‌باشد و رقم آلمرا رقم زود رس ، دوره رشد ۸۰-۹۰ روز، قابلیت کشت در فصول مختلف، زرد روشن و مصرف تازه خوری دارد.

عملیات شخم و آماده سازی زمین بطور یکنواخت انجام شد و دو نمونه مرکب خاک از عمق‌های ۳۰-۰ و۶۰-۳۰ سانتی‌متری تهیه و در آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازگیری شد (جدول ۱). ابعاد کرت‌های فرعی- فرعی برای روش جویچه‌ای ۳۰×۴ متر مربع و برای روش نواری قطره ای ۱۰×۴ متر مربع بود. در روش جویچه‌ای طول شیارها ۳۰ متر و فاصله آن‌ها ۷۵ سانتی‌متر است. آب آبیاری در روش جویچه‌ای به وسیله لوله وارد جویچه‌ها شد. در روش آبیاری قطره‌ای نواری، از نوارهای قطره‌ای به طول ۱۰ متر استفاده شد. نوارها دارای قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر بود. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیرهای قطع و وصل و کنتور حجمی که روی لوله‌های پلی‌اتیلن انتقال آب تعبیه شده بود، انجام شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1- Soil chemical and physical characteristics of the study site

عمق نمونه Depth cm	بافت خاک Texture	E.C ($dS.m^{-1}$)	pH. of paste	O.C (%)	P ava. ($mg.kg^{-1}$)	K ava. ($mg.kg^{-1}$)	N (%)	B.D ($gr.cm^{-3}$)	F.C (θ_m%)	P.W.P (θ_m%)
0-30	Loam	0.615	7.92	0.527	11.1	452	0.068	1.36	24.01	9.3
30-60	Silty Loam	0.933	7.76	0.407	9.5	564	0.032	1.41	25.2	8.3

کاشت در دهه سوم خرداد ماه انجام گرفت. برداشت در اواخر مهر ماه با حذف حاشیه‌ها انجام گرفت. سپس خصوصیات کمی غده سیب‌زمینی اندازه‌گیری، و آزمایش‌های کیفی محصول شامل اندازه‌گیری میزان نشاسته، قند محلول، پرولین و کلروفیل برگ بر روی نمونه‌های از هر تیمار انجام شد. از بین روش‌های معمول برای محاسبه میزان آب آبیاری، در این تحقیق از روش اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده شد. در آبیاری‌های بعد از استقرار گیاه، عمق خالص آبیاری بر اساس رطوبت از دست رفته خاک در منطقه ریشه محاسبه گردید. اندازه گیری رطوبت در این مراحل به‌وسیله دستگاه T.D.R انجام گرفت. دستگاه استفاده شده در این تحقیق از نوع تک سنسور، ساخت شرکت IMKO و مدل TRIME-FM بود، که از سه قسمت متصل به هم شامل جعبه حاوی فرستنده و گیرنده و صفحه نمایشگر، کابل و میله پروب تشکیل شده بود. این دستگاه قبل از استفاده برای خاک مزرعه ایستگاه تحقیقاتی کالیبره شده شده بود. برای اطمینان از کارکرد صحیح دستگاه در چهار نوبت از آبیاری‌ها از خاک نمونه‌گیری شد و رطوبت وزنی خاک در آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب تعیین گردید. در تمام مقایسه‌ها، تفاوت درصد رطوبت خاک بین دو روش کمتر از دو درصد بود.

شاخص کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب با استفاده از روابط زیر محاسبه شد.

$$WP_{I+P} = \frac{Yield}{I+P} \qquad WUE = \frac{Yield}{ETc}$$

در این روابط:

WUE: کارآیی مصرف آب ($Kg.mm^{-1}.ha^{-1}$)
ETc: تبخیر و تعرق گیاه (mm)
WP_{I+P} : بهره‌وری آب مصرفی ($Kg.mm^{-1}.ha^{-1}$)
I : میزان آب آبیاری (mm)
P : میزان بارش (mm)
Yield: عملکرد محصول ($Kg.ha^{-1}$)

لازم به ذکر است که در تعریف شاخص کارآیی مصرف آب، اجزاء تشکیل دهنده این شاخص به شکل‌های مختلف ارائه شده است. مثلاً صورت کسر می‌تواند عملکرد دانه، عملکرد تر و خشک و غیره باشد و مخرج کسر می‌تواند حجم آب خالص یا میزان آب تبخیر و تعرق شده از گیاه باشد. در این تحقیق در مخرج کسر کارآیی مصرف آب از حجم آب خالص مورد نیاز استفاده شده است. از داده‌های بدست آمده از آزمایش توسط نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام و نمودارهای لازم توسط نرم افزار اکسل رسم شد.

نتایج

به‌طور کلی نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر مدیریت‌های کم‌آبیاری بر روی عملکرد غده در واحد سطح، عملکرد غده در بوته، میزان نشاسته، قند محلول، پرولین، کلروفیل، بهره‌وری آب وکارآیی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود.

اثر رقم بر روی عملکرد کل غده، عملکرد غده در بوته، قندهای محلول، بهره‌وری آب و کارآیی مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود و اثر متقابل رقم و مدیریت کم آبیاری فقط بر روی عملکرد غده در واحد سطح، میزان پرولین، بهره‌وری مصرف آب و کارآیی مصرف آب در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

Table 2- Analysis of variance of the measured characteristics

منابع تغییرات Sources of variance	درجه آزادی Df	میانگین مربعات (Means of squares)								
		عملکرد کل غده yield	عملکرد غده در بوته Tuber yield	نشاسته starch	قند محلول s.sugar	پرولین proline	کلروفیل chlorophyll A	کلروفیل chlorophyll B	بهره‌وری آب W.P	کارآیی مصرف آب W.U.E
بلوک Replication	2	19.8 ns	2014 ns	0.16 ns	0.00 ns	1.3 ns	0.07 ns	0.07 ns	0.9 ns	1.6 ns
روش آبیاری method	1	64.9 ns	15723 **	0.06 ns	0.00 ns	9.0 ns	0.31 ns	0.02 ns	400.0 **	182.0 **
خطای a Error a	2	9.9	440	0.19	0.00	0.7	0.19	0.01	0.3	0.7
رقم Cultivar	1	1055 **	120525 **	0.73 ns	0.00 **	11.8 ns	4.79 *	0.17 **	64.9 **	102.4 **
رقم×روش A×B	1	26.5 ns	6365 ns	0.01 ns	0.00 ns	0.0 ns	0.06 ns	0.01 ns	10.3 ns	7.9 ns
خطای b Error b	4	45.0	3820	0.29	0.00	2.8	0.56	0.00	1.5	3.1
کم آبیاری Deficit	3	1942 **	275567 **	18.85 **	0.01 **	128.6 **	52.31 **	5.22 **	64.6 **	109.8 **
کم‌آبیاری×روش A×C	3	0. 3 ns	2789 ns	0.26 ns	0.00 ns	0.9 ns	0.39 ns	0.03 ns	4.3 **	1.2 **
کم‌آبیاری×رقم B×C	3	20.1 *	1931 ns	0.44 ns	0.00 ns	1.7 *	0.04 ns	0.01 ns	0.8 *	1.4 *
کم×رقم×روش A×B×C	3	1.9 ns	485 ns	0.21 ns	0.00 ns	0.1 ns	0.55 ns	0.00 ns	0.1 ns	0.2 ns
خطای c Error c	24	5.9	1686	0.28	0.00	0.4	0.07	0.02	0.2	0.5
ضریب تغییرات (CV)		5.48	5.35	3.82	2.64	3.24	4.02	4.09	4.63	4.91

ns ، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: Non significant , significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

عملکرد کل غده

نتایج نشان داد اثر رقم بر روی عملکرد کل در سطح یک درصد معنی‌دار شد به طوری که رقم بورن با مقدار متوسط عملکرد ۴۹/۳۹ تن در هکتار دارای عملکرد بیشتری نسبت به رقم آلمرا بود. اثر روش آبیاری بر روی عملکرد در سطح یک درصد معنی‌دار نشد ولی عملکرد غده در واحد سطح در روش آبیاری قطره‌ای نواری بیشتر از آبیاری جویچه‌ای بود و بیشترین عملکرد در تیمار آبیاری کامل (۵۴/۸ تن در هکتار) مربوط به روش آبیاری قطره‌ای نواری می‌باشد (جدول ۴). دلیل افزایش عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای نواری می‌تواند یکنواختی بالای توزیع آب در سطح مزرعه، کاهش تلفات مواد غذایی خاک در اثر تلفات نفوذ عمقی، کاهش تنش آبی وارده به گیاه در اثر کوتاه شدن دور آبیاری و کاهش عوامل بیماری‌زا در روش آبیاری قطره‌ای باشد چون فراهم بودن مستمر آب و مواد غذایی و دور بودن از تنش‌های آبی نیز طبعا به رشد بهتر و تولید محصول بیشتر منتهی می‌شود. اثر مدیریت کم‌آبیاری بر عملکرد کل غده‌ها در سطح یک درصد معنی‌دار بود میانگین حداکثر و حداقل عملکرد سیب‌زمینی در واحد سطح در دو روش آبیاری به ترتیب برابر با ۵۳/۸۲ و ۲۵/۸۶ تن در هکتار مربوط به تیمارهای مدیریت کم‌آبیاری CI و RDI_{65} می‌باشد و دو تیمار RDI_{80} و PRD در یک سطح آماری قرار گرفتند (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که با کاهش آب مصرفی گیاه عملکرد کل غده‌ها کاهش پیدا می‌کند و تنش شدید به گیاه باعث کاهش چشمگیر محصول می‌شود. دلیل این امر را می‌توان حساسیت به تنش آبی، کم عمق بودن ریشه و رشد سیب‌زمینی در خاک‌هایی با ظرفیت رطوبتی پایین دانست (۱۶). اثر متقابل رقم و مدیریت کم‌آبیاری بر عملکرد کل در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه عملکرد در دو رقم سیب زمینی تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری نشان داد که عملکرد کل در رقم بورن در تمام مدیریت‌ها بیشتر از رقم آلمرا است (شکل ۱). بیشترین عملکرد کل در رقم بورن با مدیریت کم‌آبیاری CI به میزان۵۹/۰۲ تن در هکتار و کمترین مقدار عملکرد کل در رقم آلمرا با مدیریت کم‌آبیاری RDI_{65} به میزان ۲۳/۱ تن در هکتار بدست آمد. ابراهیمی‌پاک (۷) حداکثر عملکرد را برای رقم اگریا در شهرکرد برابر ۴۳/۴۲ تن در هکتار و شایان‌نژاد (۲۷) حداکثر میزان عملکرد را برای رقم مارفونا در شهرکرد برابر ۳۵ تن در هکتار بدست آوردند. نتایج این تحقیق نشان داد رقم بورن نسبت به دو رقم اگریا و مارفونا به ترتیب ۱۵/۵۸ و ۲۴ تن در هکتار افزایش عملکرد داشت. پس جهت استفاده بهینه از آب و افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی اصلاح و انتخاب ارقام مناسب گیاهی با توجه به شرایط محیطی رشد گیاه و اعمال مدیریت کم‌آبیاری مناسب یک امر ضروری می‌باشد.

عملکرد غده در بوته

اثر رقم بر روی عملکرد غده در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد غده در بوته مربوط به رقم بورن (۸۱۸/۰۳ گرم) بدست آمد. اثر مدیریت کم‌آبیاری بر عملکرد غده در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود، به طوری که با افزایش مقدار آب آبیاری از ۶۵ درصد به ۱۰۰ درصد مقدار عملکرد در بوته از ۵۵۸/۰۴ به ۹۲۰/۰۲ گرم افزایش یافت و عملکرد در بوته برای دو تیمار RDI_{80} و PRD در یک سطح آماری قرار گرفت (جدول ۳). حداکثر تعداد غده در بوته مربوط به تیمار CI بود که با دو تیمار RDI_{80} و PRD در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). نتایج نشان می‌دهد که با افزایش میزان آب آبیاری عملکرد غده در بوته افزایش پیدا می‌کند. در تحقیقی نیز ایاز (۵) گزارش کرد که بین میزان آب مصرفی در کشت سیب‌زمینی (۸۰۰–۱۳۰ میلی‌متر) و صفت تعداد غده قابل فروش در بوته و میانگین وزن غده‌ها یک رابطه خطی مثبت با ضریب تبیین ۰/۹۵ برقرار است.

درصد نشاسته و قند محلول

درصد نشاسته تحت تأثیر رقم معنی‌دار نشد، ولی میزان این پارامتر در رقم آلمرا کمتر از رقم بورن بود (جدول ۳). اثر رقم بر روی درصد قند محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود به طوری که رقم بورن دارای درصد قندهای محلول بیشتری نسبت به رقم آلمرا بود. اثر تیمار کم آبیاری بر درصد نشاسته و قند محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود به طوری که با افزایش مقدار آب آبیاری از ۶۵ درصد به ۱۰۰ درصد نشاسته از ۱۲/۳۴ به ۱۵/۳۸ درصد افزایش یافت (جدول ۳). غده‌های سیب‌زمینی دارای ۷۵ تا ۸۰ درصد آب و حدود ۲۰ درصد ماده خشک هستند. نشاسته که ترکیب اصلی غده سیب‌زمینی است حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد ماده خشک را تشکیل می‌دهد و مقدار آن به رقم گیاه بستگی دارد. نشاسته نقش مهمی در کیفیت فرآورده‌ها ایفا کرده و از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کیفیت پخت سیب‌زمینی است، همچنین میزان نشاسته نشان دهنده میزان تأمین انرژی برای مصرف کنندگان میباشد، بنابرین هر چقدر مقدار نشاسته در غده‌ها بیشتر باشد نشان دهنده کیفیت بالاتر و انرژی بیشتر در آن‌ها می‌باشد (۱۴). بنابراین تنش آبی باعث کاهش درصد نشاسته و در نتیجه پایین آمدن کیفیت غده‌های سیب‌زمینی می‌شود. درصد قندهای محلول در غده‌های تازه سیب‌زمینی به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی تنش، تحت تأثیر مدیریت‌های آبیاری قرار گرفت و اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد قند محلول غده‌های سیب‌زمینی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود به طوری که اعمال تنش خشکی منجر به افزایش میزان قندهای محلول در غده‌ها شد. بنابراین درصد افزایش میزان قندهای محلول در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری برای رقم بورن نسبت به رقم آلمرا نشان دهنده یک

مکانیسم سازشی در جهت افزایش مقاومت به خشکی در آن می‌باشد. انباشت قندهای محلول در واکنش به تنش خشکی در مطالعات فراوانی ثابت شده است. مسعودی و همکاران (۱۸) نیز اثر ۴ رژیم رطوبتی ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه را در ۳ مرحله رشد سیب‌زمینی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که میزان قندهای محلول و پرولین در برگ‌های سیب‌زمینی در اثر اعمال تنش در هر ۳ مرحله نموی ۵۰ درصد سبز شدن، ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به شدت افزایش می‌یابد. که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

جدول ۳- میانگین عملکرد، نشاسته، قندهای محلول، پرولین و کلروفیل مدیریت های کم آبیاری در دو رقم سیب‌زمینی

Table 3- Average yield, starch, soluble sugar, proline and chlorophyll of the deficit irrigation managements in two potato cultivars

میانگین صفات Average characteristics		عملکرد غده در سطح tuber yield (ton/ha)	عملکرد غده در بوته tuber yield (gr)	نشاسته starch (% in fresh weight)	قندهای محلول soluble sugar (% in fresh weight)	پرولین proline ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل chlorophyll ($mg.g^{-1}$) A	کلروفیل chlorophyll ($mg.g^{-1}$) B
تیمار treatment								
رقم cultivar	آلمرا Almera	40.02b	717.81b	13.76 a	0.209b	19.59a	11.39b	3.07b
	بورن Burren	49.39a	818.03a	14.00 a	0.219a	20.58a	12.02a	3.19a
آبیاری‌کم deficit irrigation	CI	53.82 a	920.02a	15.38a	0.182d	15.96c	14.06a	3.93a
	RDI_{80}	49.69b	801.21b	13.70b	0.211b	20.27b	12.01b	3.16b
	RDI_{65}	25.86c	558.04c	12.34c	0.258a	23.97a	8.98c	2.31c
	PRD	49.44b	792.42 b	14.12 b	0.204c	20.12b	11.77b	3.11b

ns ، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: Non significant , significant $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

میزان پرولین

میزان پرولین تحت تأثیر رقم معنی‌دار نشد (جدول ۲). اثر مدیریت کم‌آبیاری بر میزان پرولین در سطح یک درصد معنی‌دار بود. این پارامتر به شدت تحت تأثیر مدیریت کم‌آبیاری قرار گرفت و با افزایش تنش، میزان پرولین افزایش یافت به طوری که با کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۶۵ درصد میزان پرولین برگ از ۱۵/۹۶ به ۲۳/۹۷ افزایش یافت (جدول ۳). تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد افزایش پرولین در جهت کاهش پتانسیل آبی گیاه به‌منظور حفظ فشار آماس صورت می‌گیرد. پرولین مانند برخی آمینو اسیدهای دیگر، اسیدهای آلی، قندها و ترکیبات آلی دیگر به عنوان یک تنظیم کننده اسمزی در تعدیل شرایط اسمزی سلول ایفای نقش کرده و بدین ترتیب اثرات کمبود آب را خنثی می‌کند (۲۱).

اثر متقابل رقم و مدیریت کم‌آبیاری بر میزان پرولین در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه پرولین در دو رقم سیب زمینی تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری نشان داد که تجمع پرولین در رقم بورن در تمام مدیریت‌ها بیشتر از رقم آلمرا است (شکل ۴). رابطه مثبت بین انباشت پرولین و تحمل به خشکی در ذرت و تنش شوری در سیب‌زمینی گزارش شده است (۱ و ۱۹). پرولین به دلیل نقش کلیدی در تنظیم اسمزی در شرایط تنش خشکی موجب افزایش مقاومت به خشکی شده و اثرات تخریبی تنش اسمزی ناشی از خشکی را تا حدودی کاهش می‌دهد، بنابراین میزان پرولین می‌تواند در گیاه سیب‌زمینی به عنوان یک شاخص مقاومت به خشکی به شمار آید.

میزان کلروفیل

اثر رقم بر میزان کلرفیل a و b به ترتیب در سطح پنج درصد و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). در این تحقیق میزان کلروفیل در رقم بورن بیشتر از رقم آلمرا بدست آمد اثر تیمارهای کم آبیاری بر کلرفیل a و b در سطح یک درصد معنی‌دار بود به طوری که در هر دو رقم سیب‌زمینی با کاهش مقدار آب آبیاری از ۱۰۰ درصد به ۶۵ درصد میزان کلرفیل a و b به ترتیب از ۱۴/۰۶ و ۳/۹۳ به ۸/۹۸ و ۲/۳۱ کاهش یافت و میزان کلروفیل a و b برای دو تیمار RDI_{80} و PRD در یک سطح آماری قرار گرفت (جدول ۳). تحقیقات فروک (۱۲) نشان داد که تنش اسمزی مقدار کلروفیل گیاهان را کاهش می‌دهد و کاهش مقدار کلروفیل می‌تواند به علت افزایش تجزیه کلروفیل یا کاهش ساخت آن باشد. مقدار کاهش کلروفیل تحت تأثیر مدیریت کم‌آبیاری در رقم بورن کمتر از رقم آلمرا بود.

میزان آب مصرفی

میانگین حجم آب مصرفی در کلیه تیمارهای کم‌آبیاری برای دو رقم یکسان بود (۴۷۱۱ متر مکعب در هکتار). آب مصرفی برای تیمارهای آبیاری در دو روش آبیاری در جدول ۴ ارائه شده است. در روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای حجم آب مصرفی برای تیمار آبیاری کامل در دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای به ترتیب برابر ۷۱۳۸ و ۴۰۹۱ متر مکعب در هکتار بدست آمد. بطور کلی نتایج نشان داد که آبیاری قطره‌ای نواری در مقایسه با آبیاری جویچه‌ای موجب کاهش ۴۳ درصد حجم آب مصرفی شده است. دلایل احتمالی این موضوع می‌توانند کاهش تبخیر از سطح خاک، عدم وجود رواناب سطحی و کنترل تلفات عمقی باشد. همچنین راندمان کاربرد آب در دو روش آبیاری اختلاف زیادی را نشان داد که این اختلاف بیان کننده‌ای این است که ریشه در آبیاری قطرهای نواری به خوبی از آب خاک استفاده لازم و کافی را برده است. مقایسه میانگین تیمارهای کم‌آبیاری برای دو رقم سیب‌زمینی نشان داد که میانگین بیشترین و کمترین حجم آب مصرفی در دو روش آبیاری به ترتیب برابر با ۵۶۱۵ و ۴۰۶۵ متر مکعب در هکتار مربوط به تیمار CI و RDI_{65} می‌باشد و به طور کلی مدیریت‌های کم آبیاری RDI_{80}، PRD و RDI_{65} در مقایسه با تیمار CI به ترتیب موجب کاهش ۱۶، ۲۱ و ۲۸ درصدی حجم آب مصرفی شدند (جدول ۵). ابرهیمی پاک (۷) میزان آب مصرفی را برای رقم اگریا در شهرکرد برابر ۷۸۶۱ متر مکعب در هکتار بدست آورد. نتایج این تحقیق نشان داد که ارقام انتخابی در مقایسه با رقم اگریا باعث صرفه‌جویی ۳۰ درصدی در مصرف آب گردید که این به علت زودرس بودن (کوتاه بودن فصل رشد) و مقاوم به خشکی این دو رقم می‌باشد.

کارآیی و بهره‌وری مصرف آب

اثر رقم بر کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین کارآیی و بهره‌وری مصرف آب به ترتیب برابر ۱۴/۲۱ و ۱۰/۴۸ کیلوگرم در متر مکعب مربوط به رقم بورن بود و تیمار رقم بورن موجب افزایش ۲۳ درصدی کارآیی مصرف آب و ۲۳ درصدی بهره‌وری مصرف آب نسبت به رقم آلمرا گردید (جدول ۵). اثر روش آبیاری بر کارآیی و بهره‌وری آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به طور کلی آبیاری قطره‌ای به ترتیب موجب افزایش ۲۶ و ۴۳ درصدی کارآیی و بهره‌وری آب نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای گردید. افزایش عملکرد و کاهش آب مصرفی در روش آبیاری قطره‌ای نواری موجب گردیده که کارآیی و بهره‌وری آب در این روش افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به روش جویچه‌ای داشته باشد (جدول ۴). اثر تیمارهای کم‌آبیاری بر کارآیی و بهره‌وری آب در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین در دو روش آبیاری و دو رقم نشان داد که تیمارهای RDI_{80} و PRD در یک گروه آماری و سایر تیمارها هر کدام در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۵). تیمار PRD دارای بیشترین کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در دو روش آبیاری و دو رقم به ترتیب برابر ۱۴/۷۷ و ۱۱/۱۵ کیلوگرم بر متر مکعب در تیمار PRD بدست آمد. علت این برتری مربوط به فراهم شدن زمینه تولید ریشه‌های ثانویه و توسعه ریشه‌های اولیه و در نهایت افزایش جذب آب و افزایش کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در سیستم PRD می‌باشد (۱۵). اثر متقابل روش آبیاری و مدیریت کم‌آبیاری بر کارآیی و بهره‌وری آب در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه کارآیی و بهره‌وری آب در دو روش آبیاری تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری نشان داد که کارآیی و بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری در تمام مدیریت‌ها بیشتر از روش آبیاری جویچه‌ای است (جدول ۴). بیشترین کارآیی و بهره‌وری آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری با مدیریت کم‌آبیاری PRD به ترتیب به میزان ۱۶/۷۹ و ۱۴/۷۸ کیلوگرم در متر مکعب و کمترین مقدار بهره‌وری آب در روش آبیاری جویچه‌ای با مدیریت کم‌آبیاری RDI_{65} بدست آمد. در مدیریت کم‌آبیاری PRD، منطقه ریشه به دو قسمت تقسیم شده و به صورت متناوب این دو منطقه آبیاری می‌شود تکرار این تناوب تغییراتی در ساختار فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می‌کند که در نهایت باعث افزایش کارآیی و بهره‌وری آب در گیاه می‌شود (۱۷).

اثر متقابل رقم و مدیریت کم‌آبیاری بر کارآیی مصرف آب و بهره‌وری مصرف آب در سطح پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه کارآیی مصرف آب در دو رقم تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری نشان داد که کارآیی مصرف آب در رقم بورن در تمام مدیریت‌ها بیشتر از روش آبیاری جویچه‌ای است (شکل ۲). بیشترین کارآیی مصرف آب در رقم بورن با مدیریت کم‌آبیاری PRD به میزان ۱۶/۷۱ کیلوگرم در متر مکعب و کمترین مقدار کارآیی مصرف آب در رقم آلمرا با مدیریت کم‌آبیاری RDI_{65} به میزان ۷/۸۴کیلوگرم در متر مکعب بدست آمد. مقایسه بهره‌وری آب در دو رقم تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری نشان داد که بهره‌وری آب در رقم بورن در تمام مدیریت‌ها بیشتر از رقم آلمرا است (شکل ۳). بیشترین بهره‌وری مصرف آب در رقم بورن با مدیریت کم‌آبیاری PRD به میزان ۱۳/۲ کیلوگرم در متر مکعب و کمترین مقدار بهره وری مصرف آب در رقم آلمرا با مدیریت کم‌آبیاری RDI_{65} به میزان ۶/۰۷ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. ابرهیمی پاک (۷) و شایان‌نژاد (۲۶) بیشترین کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب را برای ارقام اگریا و مارفونا در شهرکرد به ترتیب برابر ۵/۲۸ و ۳/۵۱ کیلو گرم در هکتار بدست آوردند. پس با توجه به بالا بودن کارآیی و بهره‌وری آب در ارقام مورد آزمایش برای مقابله با بحران آب و افزایش کمی و کیفی تولیدات کشاورزی از طریق اصلاح و انتخاب واریته های مناسب گیاهی این ارقام می‌توان جایگزین مناسبی برای ارقام مارفونا و اگریا در منطقه باشند.

جدول ٤- میانگین عملکرد، آب مصرفی، کارآیی مصرف آب و بهره‌وری آب سیب‌زمینی در مدیریت های کم آبیاری در دو روش آبیاری

Table 4- Average yield, Plant Water requirements, water irrigation amount, Water use efficiency and water productivity of the potato in the two method irrigation

روش آبیاری Irrigation method	کم‌آبیاری deficit irrigation	عملکرد محصول yield (ton/ha)	آب مورد نیاز گیاه Plant Water requirement (m^3/ha)	مقدار آب آبیاری irrigation water amount (m^3/ha)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg/m^3)	بهره وری آب water productivity (kg/m^3)
جویچه‌ای Furrow	CI	52.8a	4623	7138	11.42b	7.40b
	RDI_{80}	48.6b	3857	5968	12.60a	8.14a
	RDI_{65}	24.5c	3282	5091	7.46c	4.81c
	PRD	48.3b	3665	5446	13.18a	8.87a
قطره‌ای نواری Tape	CI	54.8a	3600	4091	15.22b	13.40b
	RDI_{80}	50.8b	3071	3489	16.54a	14.56a
	RDI_{65}	27.2c	2674	3038	10.17c	8.95c
	PRD	50.6b	3013	3424	16.79a	14.78a

ns ، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: Non significant , significant P ≤0.05 and P ≤ 0.01, respectively.

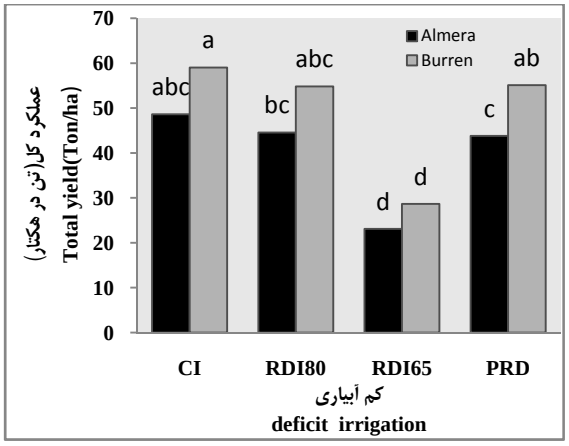
جدول ٥- میانگین مقدار آب آبیاری، آب مورد نیاز گیاه، بهره‌وری و کارآیی مصرف آب سیب‌زمینی در دو رقم سیب‌زمینی

Table 5- Average irrigation water amount, Plant Water requirements Water use efficiency and water productivity of the potato in the two potato cultivars

تیمار treatment		مقدار آب آبیاری irrigation water amount (m^3/ha)	آب مورد نیاز گیاه Plant Water requirement (m^3/ha)	کارآیی مصرف آب Water use efficiency (kg/m^3)	بهره وری آب water productivity (kg/m^3)
رقم cultivar	آلمرا Almera	4711a	3475a	11.52b	8.50b
	بورن Burren	4711a	3475a	14.21a	10.48a
کم‌آبیاری deficit irrigation	CI	5615a	4112a	13.09c	9.59c
	RDI_{80}	4729b	3464b	14.34b	10.51a
	RDI_{65}	4065d	2978d	8.68d	6.36d
	PRD	4435c	3348c	14.77b	11.15a

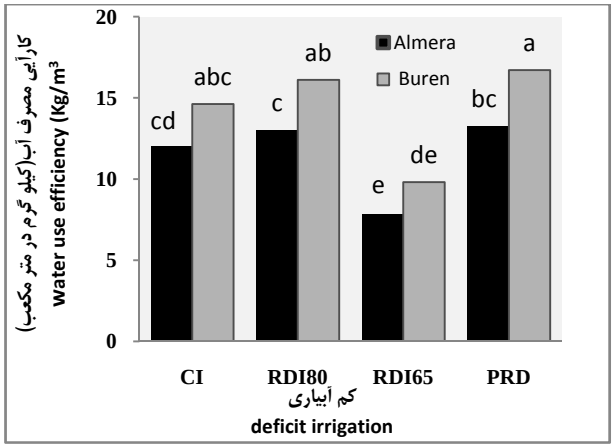
ns ، * و **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد می‌باشند.

ns, * and **: Non significant , significant P ≤0.05 and P ≤ 0.01, respectively.



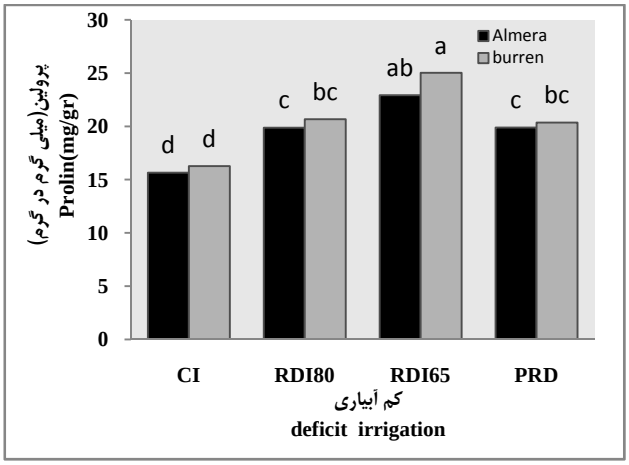
شکل ۱- اثر متقابل رقم و مدیریت کم آبیاری بر روی عملکرد کل

Figure 1-The interaction between cultivars and deficit irrigation in total yield

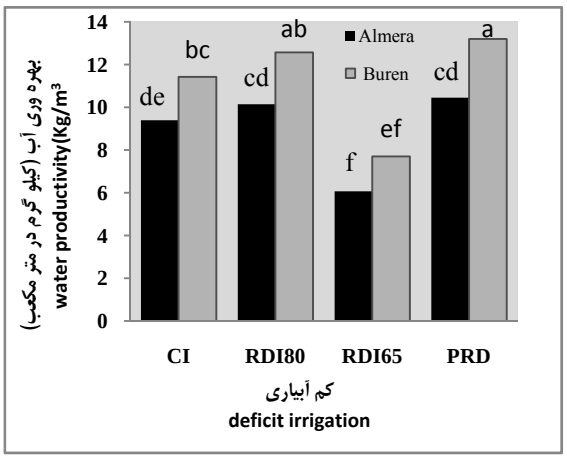


شکل ۲- اثر متقابل رقم و کم آبیاری بر روی کارآیی مصرف آب

Figure 2- The interaction between cultivars and deficit irrigation in Water use efficiency



شکل ٤- اثر متقابل رقم و مدیریت کم آبیاری بر روی پرولین برگ
Figure 4- The interaction between cultivars and deficit irrigation in leaf proline



شکل ۳- اثر متقابل رقم و مدیریت کم آبیاری بر بهره‌وری آب
Figure 4- The interaction between cultivars and deficit irrigation in leaf proline

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میزان آب مصرفی برای دو رقم بورن و آلمرا در تیمار مدیریت کامل آبیاری یکسان و برابر ۵۶۱۵ متر مکعب در هکتار آب بود. این در حالی است که رقم بورن با عملکردی برابر ۵۹/۰۲ تن در هکتار نسبت به رقم آلمرا باعث افزایش عملکرد کل به میزان ۱۷ درصد شد. با توجه به بالاتر بودن عملکرد و برتری رقم بورن در بعضی خصوصیات کیفی و همچنین مقاومت بیشتر این رقم به تنش خشکی، این رقم در مقایسه با رقم آلمرا برتر اعلام می‌گردد. روش آبیاری قطره‌ای نواری علاوه بر صرفه جویی ۴۳ درصدی در مصرف آب به ترتیب باعث افزایش عملکرد، کارآیی و بهره‌وری آب شده است. پس یکی از راهکارهای صرفه‌جویی در مصرف آب در مناطق خشک و نیمه خشک تغییر روش آبیاری به روش آبیاری قطره‌ای نواری در زراعت سیب‌زمینی می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که شاخص‌های پرولین و قندهای محلول می‌تواند به عنوان شاخص‌های بسیار مناسبی برای بررسی میزان مقاومت به کم‌آبیاری در گونه‌های سیب‌زمینی معرفی گردد و بتوان از آن در انتخاب و غربال‌گری گیاهان مقاوم به خشکی استفاده کرد.

بیشترین کارآیی و بهره‌وری مصرف آب در روش آبیاری قطره‌ای نواری با مدیریت کم‌آبیاری PRD بدست آمد. یکی از روش‌های ممکن در استفاده بهینه از منابع آبی موجود معرفی رقم یا ارقامی است که نسبت به کاهش آبیاری حساسیت کمتری داشته باشند و در عین حال قابلیت عملکردی قابل قبول در شرایط کم‌آبیاری داشته باشند. در راستای بهبود شاخص کارآیی و بهره‌وری آب، باید به موازات کاهش مصرف آب، عملکرد محصول نیز افزایش یابد. در این تحقیق یکی از عواملی که باعث افزایش عملکرد محصول، کارآیی و بهره‌وری مصرف آب شد انتخاب رقم مناسب (بورن) که دارای پتانسیل عملکرد بالا، زودرس، مقاوم به تنش خشکی و باکیفیت بالا است، بوده است.

بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به مصرف نسبتا بالای آب در بخش کشاورزی برای استفاده بهینه از منابع آب موجود توصیه می‌شود به روش‌های با کارآیی و بهره‌وری مصرف آب بالا، نظیر روش آبیاری قطره‌ای نواری، مدیریت کم آبیاری PRD و استفاده از ارقام زود رس و مقاوم به خشکی توجه بیشتری معطوف گردد. همچنین با توجه به محدودیت منابع آب در چند سال اخیر و افزایش کارآیی و بهره وری مصرف آب اعمال تیمارهای کم‌آبیاری PRD و RDI_{80} می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در مصرف آب با توسعه یک سامانه ریشه مناسب، امکان استفاده بهتر از رطوبت موجود در خاک را فراهم آورده و راهکاری مناسب برای مقابله با معضل کمبود آب باشد.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از کمک‌های مسئولین، محققین و کارشناسان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال و بختیاری در اجرای این پژوهش صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1- Aghaei K., Ehsanpour A. A., and Komatsu S. 2008. Proteome analysis of potato under salt stress. Journal of

Proteome Research, 7, 4858–4868.
2- Agriculture statistical databases. 2012.volume 1 crops product 2010-2011. (in Persian) .
3- Ahmadi S. H., Agharezaee M., Kamgar-Haghighi A., and Sepaskhah A.R. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water Productivity of two field grown potato cultivars. Agric. Water Manage., 134: 126-136. (in Persian with English abstract).
4- Albaji M. 2010. Effect of full irrigation,regulated deficit irrigation and Partial Root Zone Drying method on yield, yield components, water productivity and water use efficiency in sunflower. Ph.D thesis. Shahid Chamran University 0f Ahwaz. (in Persian with English abstract).
5- Ayas S. 2013. The effects of different regimes on potato (Solanum tuberosum L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. Bulg. J. Agric. Sci., 19: 87-95.
6- Du T., Kang Sh., Sun J., Zhang X., and Zhang J. 2010. An improved water use efficiency of cereals under temporal and spatial deficit irrigation in north China. Agricultural Water Management, 97: 66– 74.
7- Ebrahimipak N. 2011. The effect of deficit irrigation on yield and yield component Potato. Soil and Water Research Institute. Issue number 1695. . (in Persian with English abstract)
8- Ehsani M., and Khalidi h. 2003. Identifying and agricultural water productivity to ensure food security and water. Proceeding of the Eleventh Conference of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 657-674. (in Persian)
9- Eskandari, A., Khazaie, H.R., Nezami, A. and Kafi, M. 2011. Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). J. Water Soil. 25: 2. 240-247. (in Persian with English abstract).
10- FAO. FAOSTAT. Agriculture. Rome, 2010. Available in http://faostat. fao. org/ faostat/ collections? subset=agriculture. Accessed at: April 2010.
11- Fabeiro C., Santa Olalla, F. and de Juan, J.A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agric Water Manage, 48: 255–266.
12- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., and Basra S. M. A. (2009). Plant drought stress effects. Mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development, 29: 185-212.
13- Jaleel C. A., Sankar B., Murali P. V., Gomathinayagam M., Lakshmanan G. M. A., and Panneerselvam R. 2008. Water deficit stress effects on reactive oxygen metabolism in Catharanthus roseus L. Impact on ajmalicine accumulation. Colloids Surfaces. Biointerfaces, 62: 105-111.
14- Jafarian, S. 2000. Effect of pre heating and use of some of hydrocolloids in reduction oil
uptake and quality of potato French fries. A thesis Submitted to Msc degree of food science and technology, Isfahan University of technology, 120p.
15- Kang S., and Zhang J. 2004. Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Journal of experimental botany, 5: 2437–2446.
16- king B.A., and Stark G.C. 1997. Potato irrigation management. university of idaho cooperative extention system. bulletin no 789: 16.
17- 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
18- Masoudi-Sadaghiani F., Abdollahi Mandoulakani B., Zardoshti M.R., Rasouli-Sadaghiani M.H., and Tavakoli A. 2011. Response of proline, soluble sugars, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in potato (*Solanum tuberosum* L.) to different irrigation regimes in greenhouse condition. AJCS., 5(1): 55-60.
19- Mohammadkhani N., and Heidari R. 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turkish Journal of Biology, 32: 23-30.
20- Monakhova O. F., and Chernyadev I. I. 2002. Protective role of kartolin-4 in wheat plants exposed to soil drought. Applied and Environmental Microbiology, 38: 373-380.
21- Najaf Zadeh S., and Ehsanpour A. 2012. Effect of drought stress on some physiological parameters of two potato cultivars (Kenebec and Concord) under in vitro culture condition. Arid Biome Scientific and Research Journal,2(1): 70-81. (in Persian with English abstract)
22- Rezai E., and Soltani A. 1996. Cultivation potatoe. Second Edition. Publications Mashhad University Jihad. (In Persian).
23- Serraj R., and Sinclair T. R. 2002. Osmolyte accumulation: an it really help increase crop yield under drought conditions? Plant, Cell and Environment, 25: 333–341.
24- Shahnazari A., Liu F., Andersen M.N., Jacobsen S.E., and Jensen. C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field crop research, 100: 117- 128
25- Shock C.C., Shock B.M., and Welch T. 2013. Strategies for Efficient Irrigation Water Use. Oregon State University, Sustainable Agriculture Techniques, 1-7.
26- Shayannejad M. 2009. Effect of Deficit irrigation on quantitative and qualitative characteristics of potatoes with a furrow irrigation practices among Shahrekord. Journal of Water and Soil, 22(1):131-140. (in Persian with English

abstract)
27- Shayannejad M. 2011. Effects of water stress on quality characteristics of wheat and potatoe. Journal of Water research in Agriculture, 24(1): 65-71. (in Persian with English abstract)
28- Yactayo W., Ramírez D.A., Gutiérrez R., Mares V., Posadas A., and Quiroz R. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. Agric. Water Manage., 123: 65-70.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 3, Jul.-Agu. 2016, p. 717-729

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۵، ص. ۷۲۹-۷۱۷

Effect of Deficit Irrigation and Partial Root – Zone Drying on Yield and Water Use Efficiency of Two Potato Cultivars

B. Haghighati*[1]- S. Bromand Nasab[2]- A. Naseri[3]

Received: 31-12-2014
Accepted: 23-06-2015

Introduction: Potato is one of the main products of agriculture in feeding the world's population and agricultural economy. The production of potato in the world occupies the forth place after wheat, rice and corn. In Iran, annual production of more than 5.5 million tons potato, has made this crop the most important food after wheat. On the other hand, in arid and semi-arid regions, water is the most important limiting factor for production of agricultural crops such as potato. Considering the water use efficiency is one of the most effective ways to deal with the water crisis and increasing the quality and quantity of agricultural productions. Production increasing per unit of water consumed (increasing water productivity) by improving the selection of plant varieties, irrigation management and use of new irrigation methods may be feasible.

Material and Methods: The research was performed in the Chahartakhteh research station (32° 18' N. and 50° 55' E.) with 2090 m height above sea level and semi-humid climate with moderate summers and cold winters. Average annual rainfall is about 320 mm mostly during winter. The soil moisture and temperature regimes are Typic Xeric and Mesic, respectively. Soil texture is silty clay.

In order to determine the best method of deficit irrigation for optimizing water use efficiency and yield of two potato cultivars, an experiment was performed in Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal va Bakhtiari farm in 2013. The experiment was based on randomized completely blocks with split - split plot design in three replications. The furrow and tape drip irrigation methods were as the main plots, two potato cultivars as sub plot units and four deficit irrigation managements as the secondary sub plot units including CI(100%), RDI_{80}(80%), RDI_{65}(65%) of available water depletion (AWD) and partial root-zone drying (PRD) during full growth period.

Almera and Burren cultivars are two new cultivars of high yield and quality of early growth period of approximately 90-80 days, high compatibility with Chaharmahal va Bakhtiari climate and more regions of Iran.

Results and Discussion: Analysis of variance (ANOVA) of studied factors showed that the deficit irrigation management on tuber yield (ton/ha), tuber yield per plant, the amount of starch, soluble sugar, proline, chlorophyll, water use efficiency, and water productivity were significant ($P\leq0.01$). Effects of cultivar on tuber total yield, tuber yield per plant, soluble sugar, water use efficiency, and water productivity were significant ($P\leq0.01$). The interaction between cultivar and deficit irrigation management was only significant ($P\leq0.05$) on tuber yield (ton/ha), proline, water use efficiency and water productivity.

The results showed that Burren cultivar in comparison with Almera was better in tuber yield (19%), water productivity (20%), water use efficiency (19%), and resistance of draught in all deficit irrigation treatments. Maximum tuber yield (59.02 ton/ha) was obtained in Burren cultivar under complete irrigation. Minimum tuber yield (23.1 ton/ha) was obtained in Almera cultivar under deficit irrigation management RDI_{65} (65% of available water depletion). The maximum water use efficiency (16.79 Kg/m^3) and water productivity (14.78 $Kg/m^{3)}$ were obtained under tape irrigation and partial root-zone drying (PRD) treatment. The minimum water use efficiency (7.46 Kg/m^3) and water productivity (4.81 Kg/m^3) were obtained under furrow irrigation and deficit irrigation management RDI_{65}.

Effect of cultivar was not significant on amount of irrigation water during the growing season. The amount of irrigation water for two cultivars was the same and 4711 $m^3.ha^{-1}$. The amount of irrigation water in the different deficit irrigation managements showed that the highest water use was in CI (5615 m^3 ha^{-1}) and lowest water use was in deficit irrigation management RDI_{65} (4065 m^3 ha^{-1}) treatments.

Deficit irrigation management RDI_{80}، PRD and RDI_{65} in comparison with CI led to reduction of irrigation water amount 16, 21 and 28% of irrigation water amount.

Conclusion: Due to the results of this study, the high consumption of water in agriculture, for optimal use of

1- Researcher of Soil and Water Research Department, Agricultural Research and Education and Natural Resources Research Center, Shahrekord, Iran
(*-Corresponding Author Email: bhaghighati@yahoo.com)
2, 3- Professors of Irrigation and Drainage Department, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

available water resources, the methods with high water use efficiency and productivity, such as tape irrigation, the PRD irrigation management and the use of drought resistant cultivars is recommended. According to the limitation of water resources, for optimizing water use, the best suggestion for reducing water use on potato, is using Burren cultivar with suitable quality and high yield potential, and deficit irrigation management (PRD).

Keywords: Furrow, Tape, Water productivity