تأثیر رژیم‌های متفاوت آبیاری بر ویژگی‌های فیزیولوژیک، عملکرد و بهره‌وری آب ژنوتیپ‌های سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) در اردبیل

آتوسا شفارودی[۱]، عبدالقیوم قلی پوری[۲*]، محسن زواره[۳]، داوود حسن‌پناه[۴] و برومند صلاحی[۵]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۵)

چکیده

به‌منظور شناسایی واکنش ژنوتیپ‌های مختلف سیب‌زمینی به رژیم‌های متفاوت آبیاری و ارزیابی بهره‌وری آب آنها، آزمایشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا شد. پنج ژنوتیپ سیب‌زمینی (آگریا، کایزر، ساوالان، ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲) و سه رژیم متفاوت آبیاری (آبیاری نرمال، ۱۵ و ۳۰ روز قطع آبیاری پس از ۷۵ روز آبیاری نرمال) به‌عنوان تیمارهای آزمایش درنظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که تأثیر قطع آبیاری روی میانگین وزن تر غده، تعداد غده در بوته، عملکرد غده در واحد سطح، عملکرد غده قابل فروش، عملکرد ماده خشک کل، شاخص برداشت، درصد ماده خشک غده و بهره‌وری مصرف آب در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش، معنی‌دار بود. به‌طوری که بهره‌وری مصرف آب بر مبنای عملکرد غده در واحد سطح و عملکرد غده قابل فروش در ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱، آگریا و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ در شرایط تنش افزایش یافت. بیشترین بهره‌وری مصرف آب بر مبنای شاخص برداشت در ژنوتیپ‌های کایزر و آگریا (۵۴/۲۹ و ۴۹/۲۹ درصد) و نیز بر مبنای درصد ماده خشک غده در ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱، کایزر و آگریا به‌ترتیب (۶، ۹ و ۲۶ درصد) مشاهده شد. بنابراین درصورتی که هدف تولید بالاترین عملکرد غده و بهره‌وری مصرف آب در شرایط تنش خشکی باشد، ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱، آگریا و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲، استفاده مؤثری از آب می‌کنند و رشد و عملکرد بهتری در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: استفاده مؤثر از آب (EUW)، شاخص برداشت، کم‌آبیاری، عملکرد غده، عملکرد ماده خشک

۱ و ۲. به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳. دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان
۴. استادیار، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل، ایران
۵. استاد، گروه جغرافیا، دانشکده جغرافیا، دانشگاه محقق اردبیلی
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: gholipouri@uma.ac.ir

مقدمه

ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان واقع شده و در وضعیت شدید بحران آبی قرار دارد و نیاز به صرفه‌جویی در مصرف آب آبیاری برای تداوم تولید و بهبود کارایی مصرف آب ضروری است (۱). کمبود آب در دسترس گیاه و به‌دنبال آن ایجاد تنش خشکی، موجب تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و کاهش رشدونمو گیاه و در نتیجه کاهش عملکرد می‌شود که می‌تواند در درازمدت بر امنیت غذایی اثر بگذارد (۴).

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از منابع غذایی با ارزشی است که به‌طور گسترده در جهان استفاده می‌شود. سطح زیر کشت جهانی آن در سال ۲۰۱۲ حدود ۱۹/۲ میلیون هکتار و تولید سالانه آن نزدیک به ۳۶۵ میلیون تن بوده است (۱۹). سیب‌زمینی یکی از گیاهان زراعی کلیدی استان اردبیل است که سطح زیر کشت آن در این منطقه تا ۲۳۰۰۰ هکتار (یک‌ششم مساحت زیر کشت کشور) و تولید آن در سال زراعی ۹۴- ۱۳۹۳ نزدیک به ۷۶۷۰۰۰ تن رسیده است (۴). با این حال، تولید آن در سال‌های اخیر به‌دلیل کاهش ریزش‌های جوی و کاهش دسترسی به منابع آب، کم شده است (۲۲).

سیب‌زمینی به‌واسطه سیستم ریشه‌ای نسبتاً کم‌عمق، کم‌تراکم و ضعیف آن به‌عنوان یک گونه نسبتاً حساس به خشکی شناخته می‌شود. اما به نظر می‌رسد شواهد مستقیم مقایسه‌ای که بتواند این نظریه را تأیید کنند، وجود ندارد. توجه اندک به روابط آبی سیب‌زمینی می‌تواند از دلایل ایده حساسیت ظاهری سیب‌زمینی به خشکی باشد؛ برای نمونه، در پژوهشی دیده شد که گسترش برگ‌ها و غده‌ها در پتانسیل آب حدود ۰/۴- تا ۰/۵- مگاپاسکال متوقف شده است (۳۰). همچنین تأیید کردند که کاهش تورژسانس در چنین پتانسیل‌های آبی یا اندکی کمتر از آن روی می‌دهد و پتانسیل اسمزی را در حالت اشباع (تورژسانس کامل) ۰/۵۴۴- تا ۰/۷۰- مگاپاسکال گزارش کردند (۳۰). اگرچه روابط آبی ریشه‌ها مطالعه نشده است، می‌توان فرض کرد که پتانسیل اسمزی ریشه نزدیک به پتانسیل برگ‌هاست. چنین پتانسل‌های اسمزی بالا و افت تورژسانس در ریشه‌ها می‌تواند دو نتیجه نامطلوب را در پی داشته باشد. اول آنکه نقطه پژمردگی سیب‌زمینی در مقایسه با مقدار متعارف آن که pF=۴/۲ (۱/۶ MPa-) بوده، بالاتر است. این موضوع بدان معنی است که سیب‌زمینی در مقایسه با گونه‌هایی با نقطه پژمردگی پایین‌تر، آب بیشتری را به‌صورت استفاده نشده در خاک باقی می‌گذارد. نتیجه دوم آن است که حداکثر فشار رشد که ریشه‌های سیب‌زمینی می‌توانند برای نفوذ به خاک اعمال کنند، نسبتاً پایین است. زیرا فشار به‌وسیله حداکثر تورژسانس تعیین می‌شود که آن نیز به پتانسیل اسمزی بستگی دارد. به‌همین دلیل، رشد ریشه به‌وسیله نیروی خارجی نسبتاً اندکی متوقف می‌شود (۳۸).

ضرورت استفاده و تخصیص بهینه آب و مطالعه دقیق‌تر نقش عوامل تأثیرگذار در تولید کمّی و کیفی سیب‌زمینی اهمیت کلیدی دارد. در این میان استفاده از شاخص‌ها و معیارهای جدید، مسیر حرکت برای برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه و پایدار منابع آب را هموارتر می‌سازد. شاخص ردپای آب (Water footprint) به‌عنوان یک شاخص جامع و جدید در بحث مدیریت پایدار منابع آب، نشان‌دهنده مقدار مصرف آب و آثار آب مصرفی در تولید گیاهانی چون سیب‌زمینی است که توسط هواکسترا (۲۷) معرفی شده است. ردپای آب هر فراورده به‌صورت نسبت کل آب مورد استفاده در سطح مزرعه (مترمکعب) به‌میزان تولید همان فراورده (تن) محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده مقدار آب مصرفی در تولید گیاهان مختلف است (۲۷). یافته‌های یک پژوهش در اردبیل نشان داد که رد پای آب در تولید سیب‌زمینی در این منطقه به ۳۳۷ مترمکعب بر تن رسیده و تولید آن به‌شدت به آبیاری مستقیم وابسته شده است (۳۲). برای کاهش این حجم مصرف آب می‌توان از راهکارهایی مانند تنظیم دور آبیاری، کاهش آب آبیاری مصرفی و در کل، افزایش استفاده مؤثر از آب (Effective use of water) (EUW) در مقایسه با بهره‌وری مصرف آب (Water Use Efficiency) (WUE) استفاده کرد (۱۴).

کم‌آبیاری همراه با افزایش استفاده مؤثر از آب را راهکار بهینه‌ای برای تولید گیاهان در شرایط خشک و نیمه‌خشک

معرفی کرده‌اند (۴۰). روش‌های گوناگونی برای اعمال کم‌آبیاری در جهان معرفی و تجربه شده است. آبیاری بخشی یا ناقص و کم‌آبیاری تنظیم شده از جمله این روش‌ها هستند (۴۴). در روش کم‌آبیاری تنظیم شده، گیاه به‌طور متناوب آبیاری می‌شود. تکرار این تناوب تغییراتی در ساختار فیزیولوژیکی گیاه ایجاد می‌کند که درنهایت باعث افزایش کارایی و بهره‌وری مصرف آب در گیاه می‌شود (۱). در آزمایشی درباره تأثیر تنش کم‌آبی بر شش ژنوتیپ سیب‌زمینی مشخص شد که ژنوتیپ‌های دیررس نسبت به زودرس، تنش خشکی اوایل دوره رشد را بهتر تحمل می‌کنند (۲). با این حال باسیو (۱۱) در بررسی تأثیر تحمل خشکی بر چهار ژنوتیپ سیب‌زمینی گزارش کرده که ژنوتیپ‌هایی با دوره رشد درازمدت‌تر، در شرایط خشک مزیتی نسبت به ژنوتیپ‌های زودرس‌تر نداشته‌اند (۳۵). کوماری (۳۰) گزارش کرد که تنش خشکی در مرحله تشکیل غده‌ها، تعداد غده در بوته، میانگین اندازه غده‌ها و وزن مخصوص آنها را کاهش می‌دهد. تنش خشکی تشکیل برگ‌های جدید و گسترش آن تا اندازه کامل را متوقف کرده و در نتیجه کاهش عملکرد و حجیم شدن غده‌ها را باعث می‌شود (۳۰). از سوی دیگر راهبردهای مختلفی می‌تواند توسط گیاه سیب‌زمینی برای سازگاری با شرایط تنش خشکی اتخاذ شود. به‌طور مثال تعداد غده کمتر می‌تواند موجب برقراری تعادل در توزیع مواد پرورده به غده‌ها شده و بنابراین اندازه غده‌ها بزرگ‌تر شود (۷). تنش خشکی موجب توقف تشکیل غده همسان و تشکیل دستک (استولون) می‌شود و هنگامی که آبیاری پس از اعمال تنش اجرا می‌شود، رشد غده‌ها دوباره از سر گرفته شده که غده‌های گلابی‌شکل و زنگوله‌ای تشکیل و درنهایت ظرفیت عملکرد قابل فروش گیاه را کاهش می‌دهد (۱۰).

تنش خشکی در سیب‌زمینی باعث کاهش وزن خشک ریشه، میزان فتوسنتز برگ، بیوماس اندام هوایی، رشد غده، ارتفاع بوته، تعداد غده در بوته و عملکرد غده می‌شود (۴۳). استفاده از ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی و داشتن ریشه‌ای قوی برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد غده مؤثر است (۴۴). با این حال، به‌دلیل تفاوت واکنش ژنوتیپ‌های مختلف به کم‌آبیاری و تنوع در WUE، لازم است در برنامه‌ریزی استفاده از رهیافت کم‌آبیاری، ژنوتیپ‌هایی گزینش شوند که بهترین واکنش را به کم‌آبیاری داشته و در کنار حفظ WUE بالا، عملکرد مناسبی هم تولید کنند. این پژوهش با هدف تعیین اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری از جمله کم‌آبیاری بر عملکرد ژنوتیپ‌های متفاوت سیب‌زمینی و گزینش بهترین رژیم از نظر تولید غده و بهره‌وری استفاده از آب در اردبیل طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آلاروق استان اردبیل با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۸ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۵ دقیقه و ارتفاع ۱۳۳۵ متر از سطح دریا اجرا شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های یک‌بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. سه رژیم متفاوت آبیاری شامل آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه با حجم آب مصرفی ۱۰۹۵۰ مترمکعب در هکتار)، کم‌آبیاری به‌صورت قطع ۱۵ و ۳۰ روزه آبیاری پس از ۷۵ روز آبیاری نرمال (تأمین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز گیاه و سپس قطع آبیاری به‌مدت ۱۵ و ۳۰ روز و بعد از سپری شدن مدت مذکور مجدداً آبیاری به‌صورت نرمال ادامه یافت و به‌ترتیب حجم آب مصرفی در هر یک از تیمارها ۸۰۴۰ و ۶۶۰۰ مترمکعب در هکتار در کل فصل رشد رسید) در کرت‌های اصلی و پنج ژنوتیپ سیب‌زمینی (آگریا، ساوالان، کایزر، ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲) در کرت‌های فرعی و به‌عنوان تیمارهای آزمایش درنظر گرفته شدند. هدف از انتخاب این ارقام، به این دلیل بود که رقم آگریا به‌عنوان رقم مورد پسند (به‌دلیل رنگ گوشت مناسب و عملکرد نسبتاً خوب) بیشترین سطح زیرکشت سیب‌زمینی را در کشور و منطقه اردبیل به خود اختصاص داده است اما حساس به تنش کم‌آبی است (شاهد

جدول ۱. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه مرکب خاک مزرعه آزمایش

رس	سیلت	شن	ماده آلی	نیتروژن کل	پتاسیم قابل جذب	فسفر قابل جذب	هدایت الکتریکی	اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی
(درصد)					(mg/kg)		(dS/m)		(Cmolc/kg)
۲۲	۳۰	۴۶	۱/۸۶	۰/۲	۱۸۳	۲۱	۴/۴۸	۷/۸	۲۴/۳۵

منطقه) (۱۳). رقم ساوالان (۳۹۷۰۰۷-۹) اولین رقم ملی معرفی شده در سال ۱۳۸۷ در ایران است که جزء ارقام نیمه‌دیررس، پرمحصول، پایدار و نیمه‌متحمل به تنش کم‌آبی است (۲۴). رقم کایزر نیز از ارقام پرمحصول در شرایط مطلوب و نامطلوب و متحمل به تنش کم‌آبی گزارش شده است (۱۳ و ۲۶). کلون‌های ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و ۱-۳۹۷۰۸۱ متوسط دیررس، پرمحصول و پایدار (با میانگین عملکرد غده به‌ترتیب ۵۵/۶۷ و ۵۸/۰۲ تن در هکتار در مقایسه با آگریا (۴۲/۲۱ تن در هکتار) به‌عنوان شاهد در منطقه اردبیل) و متحمل به تنش کم‌آبی گزارش شده‌اند (۲۳ و ۲۵). بذر مورد نیاز آزمایش نیز از مؤسسه تحقیقات محصولات زراعی کشور ایرلند و ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شد.

به‌منظور آماده‌سازی زمین، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری زمین نمونه‌برداری انجام شد. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه مرکب تهیه شده در آزمایشگاه تحقیقات خاک و آب تعیین شد (جدول ۱).

مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم در دو نوبت (۵۰ درصد موقع کاشت و ۵۰ درصد در دوره تشکیل غده)، اوره به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در در سه نوبت (۲۵درصد موقع کاشت، ۵۰ درصد در زمان سبز شدن و ۲۵ درصد بلافاصله پس از تشکیل غده) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در یک نوبت (موقع کاشت) بر اساس آزمون خاک مصرف شد. در تاریخ ۱۵ اردیبهشت ژنوتیپ‌های آزمایشی در کرت‌هایی به مساحت ۲۷ مترمربع (۴/۵ × ۶ متر) با فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر به‌صورت جوی و پشته در عمق ۱۵ سانتی‌متر به‌صورت دستی کشت شدند. برای جلوگیری از حرکت و نفوذ آب از کرت‌های مجاور به یکدیگر، بین کرت‌های فرعی ۷۵ سانتی‌متر و بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر فاصله درنظر گرفته شد. برای کنترل آفت سوسک برگ‌خوار سیب‌زمینی (سوسک کلرادو *Leptinotarsa decemlineata*) از حشره‌کش کنفیدور به‌میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار استفاده شد. مبارزه با علف‌های هرز پیش از غده‌زایی و در دو نوبت به‌صورت وجین دستی انجام شد. نخستین آبیاری به‌صورت کامل و ۱۰ روز پس از کاشت انجام شد. بعد از اعمال تیمارهای آبیاری، آبیاری‌های بعدی تا زمان رسیدگی، پس از تخلیه ۳۵ تا ۴۰ درصد رطوبت قابل استفاده تا عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک انجام شد (۳). به این منظور هر پنج روز یک‌بار رطوبت موجود در خاک کرت‌ها، با نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری می‌شد. میزان آب مصرفی نیز بر اساس تبخیر از تشت کلاس A با اعمال ضریب تشت (Kp) و ضریب گیاهی (Kc) بر اساس روش پنمن- مانتیث محاسبه و اعمال شد (۵). زمان آغاز آبیاری براساس ۲۸ میلی‌متر تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A انجام شد (۳). در مزرعه آزمایشی، مقدار ۲۸ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A که معادل است با ۴۰ درصد تخلیه رطوبتی آب در دسترس خاک درنظر گرفته شد (۳). در مورد تعیین درصد تخلیه آب قابل استفاده مناسب برای محصولات مختلف آزمایش‌هایی در کشور اجرا شده است که می‌توان این ضریب را از بطن تحقیقات نیاز آبی محصولات که بر اساس کاهش رطوبت خاک یا پژوهش آب پتانسیل محصولات با لایسیمتر و یا تشتک تبخیر در صورت عملکرد حداکثر، استنتاج کرد؛ مشروط بر اینکه رطوبت خاک قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری شده باشد (۳). در پژوهشی مولایی و همکاران (۳۳) نیز تأمین رطوبت خاک بر اساس میزان تخلیه رطوبتی از عمق توسعه

ریشه را مد نظر قرار دادند. در این بررسی زمان آبیاری بر اساس بیشینه تخلیه مجاز رطوبتی برابر ۴۰ درصد آب قابل دسترس خاک (۵) صورت گرفت که به عبارت دیگر آبیاری کامل و بدون تنش رطوبتی بود. همچنین رئیسی اسدآبادی و همکاران (۳۹) مقدار تخلیه مجاز برابر ۴۳ درصد با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی را در منطقه شهرکرد گزارش کرده است. برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز کرت‌های آزمایشی، از رابطه زیر استفاده شد:

$$W = A \times Kc \times Ep \times Kp \quad (۱)$$

که در آن، W: نیاز آبی گیاه، A: مساحت کرت، Kc: ضریب گیاهی، Ep: مقدار تبخیر از سطح تشت تبخیر و Kp: ضریب تشت است. ضریب تشت برابر ۰/۸ درنظر گرفته شد (۳). ضریب تشت بستگی به وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن دارد. سرعت باد، رطوبت هوا و ارتفاع محل از سطح دریا نیز بر ضریب تشت مؤثرند. در انتخاب ضریب مناسب تشت، نه تنها نوع، بلکه پوشش زمین ایستگاه محل نصب، وضعیت پیرامون تشت و همچنین شرایط کلی باد و رطوبت هوا نیز باید درنظر گرفته شود (ضریب تشت کلاس A به استناد از نشریه فنی شماره ۲۴ آبیاری و زهکشی فائو) (۶) با توجه شرایط منطقه به‌دست آمد. ضرایب گیاهی (Kc)، به‌طور عمده به ویژگی‌های گیاه و به‌طور محدودتر به اقلیم بستگی دارد. ضریب گیاهی نسبت تبخیر-تعرق گیاه تحت شرایط استاندارد به تبخیر- تعرق گیاه مرجع بوده و بسته به دوره رشد گیاه به چهار مرحله متمایز تقسیم می‌شود. ضرایب مورد استفاده برای چهار مرحله رشد از زمان کاشت تا ۱۰ درصد پوشش زمین، از ۱۰ درصد تا ۸۰ درصد پوشش سطح زمین، از انتهای مرحله توسعه تا رسیدگی گیاه و مرحله نهایی از رسیدگی تا مرحله برداشت گیاه، به‌ترتیب ۰/۵، ۱/۱۵، ۰/۷۵ و ۰/۶ درنظر گرفته شد (۴۰). مقدار بارندگی مؤثر توسط یک دستگاه باران‌سنج مستقر در ایستگاه تحقیقاتی اندازه‌گیری و در محاسبات وارد شد. نظر به اینکه روش تشت تبخیر با سایر روش‌ها تقریباً اختلاف چندانی ندارد و در منابع معتبری نظیر نشریه ۵۶ سازمان خواروبار جهانی توصیه شده است، بنابراین به‌کارگیری این روش می‌تواند جایگزین مناسب برای روش‌های پر هزینه‌ای مثل لایسیمتر باشد. بدین ترتیب پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز تیمارها، آب مورد نیاز با لوله به کرت‌ها هدایت شدند. حجم آب ورودی به کرت‌ها با پارشال فلوم تعیین شد. آبیاری تا ۷۵ روز پس از کشت در تمام تیمارها به‌صورت نرمال انجام گرفت و از آن پس به‌مدت ۱۵ روز و ۳۰ روز در تیمارهای مورد آزمایش آب قطع شد. پس از قطع آبیاری در تیمارهای مورد نظر مجدداً آبیاری تا ۱۲۰ روز پس از کاشت اعمال شدند و دو هفته پیش از برداشت، آبیاری قطع شد. در میانه مهرماه و برای تعیین عملکرد غده، همه غده‌های موجود در سطحی برابر با ۷/۵ مترمربع (پس از حذف حاشیه) به روش دستی برداشت و پس از جدا کردن غده‌های کوچک‌تر از ۳۵ میلی‌متر از غده‌های برداشت شده از هر بوته، بقیه غده‌ها (با قطر ۳۵ تا ۵۵ – غده‌های بذری- و بیش از ۵۵ میلی‌متر) توزین و عدد حاصله به‌عنوان عملکرد غده قابل فروش در واحد سطح درنظر گرفته شد. سپس ویژگی‌های کمّی غده سیب‌زمینی شامل میانگین وزن تر غده در بوته بعد از توزین کلیه غده‌های تر و خشکاندن آنها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و توزین دوباره غده‌ها به‌دست آمد. عملکرد غده در هر بوته از راه توزین غده‌های تر هر بوته و غده‌های خشک هر بوته تعیین شد. برای محاسبه شاخص برداشت از رابطه زیر استفاده شد (۲۸):

$$HI = GY/BY \times ۱۰۰ \quad (۲)$$

که در آن HI:شاخص برداشت (درصد)، GY: عملکرد اقتصادی (عملکرد خشک غده) (برحسب کیلوگرم در هکتار) و BY: عملکرد زیستی (ماده خشک کل که شامل وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه (برگ و ساقه) و اندام‌های زیرزمینی (ریشه و غده) است.

داده‌های به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار SAS ۹/۴ تجزیه و مقایسه میانگین شدند. برای مقایسه میانگین از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد. شکل‌ها با نرم‌افزار Excel ۲۰۱۳ رسم شدند.

نتایج و بحث

میانگین وزن تر غده (گرم)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های این ویژگی (جدول ۲) نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که پس از اعمال تنش، میانگین وزن تر غده در ژنوتیپ‌های آگریا، ۱۰-۳۹۷۰۸۲ و ساوالان در مقایسه با شاهد (آبیاری نرمال) کاهش معنی‌داری داشتند (شکل ۱). بیشترین میزان میانگین وزن تر غده در ژنوتیپ آگریا ۱۲۵/۹۸ گرم در شرایط متداول آبیاری (شاهد) و نیز در تیمارهای تنش، مربوط به ژنوتیپ آگریا، به‌ترتیب ۹۱/۵۲ و ۸۹/۹۳ گرم بود که البته می‌تواند ناشی از ویژگی ژنتیکی بالاتر بودن میانگین وزن تر غده ژنوتیپ آگریا نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش باشد (۳۱). سمایی و همکاران (۴۱) در پژوهشی به بالا بودن میانگین وزن غده‌های آگریا به‌دلیل نیروی جذب مواد که توسط تنش محدود نمی‌شود، نیز اشاره کرده‌اند که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. همچنین بیشترین و کمترین درصد کاهش وزن تر غده نسبت به شاهد مربوط به ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲، با ۴۹ درصد و ژنوتیپ آگریا در شرایط تنش ۳۰ روز قطع آبیاری (۲۹ درصد) در مرحله پر شدن غده‌ها، ملاحظه شد (شکل ۱). علت کاهش وزن غده با کاهش میزان آب آبیاری را می‌توان به تأخیر افتادن سرعت رشد گیاه در اثر تنش آبی دانست (۴۳). سمایی و همکاران (۴۱) و لایی و همکاران (۳۱) بیان داشتند، کمبود آب در طول دوره حجیم شدن غده‌ها تا حد زیادی باعث کاهش وزن غده‌های سیب‌زمینی می‌شود. در این مرحله، قطع آبیاری باعث کاهش فتوسنتز شده و در اثر آن ماده غذایی کمتری به غده‌ها منتقل می‌شود و درنتیجه وزن غده‌ها کاهش می‌یابد (۳۵). البته شاید دلیل کاهش ۴۹ درصدی وزن غده در ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ نسبت به تیمار شاهد به‌علت نیاز غذایی و آبی بالاتر این ژنوتیپ باشد که به‌دلیل وقوع تنش غذایی، افزایش تعداد ساقه در واحد سطح در رقابت درون‌گونه‌ای و یا به‌دلیل غده زیادی که در تراکم بالای ساقه تولید می‌شود، ایجاد شده است (۳۶). اما ژنوتیپ‌های کایزر و ۱- ۳۹۷۰۸۱ در مقایسه با تیمار شاهد کاهش معنی‌داری از نظر این صفت نشان ندادند. افزایش میانگین وزن تر غده با افزایش آب آبیاری به‌وسیله ابراهیمی پاک (۱۷) نیز گزارش شده است. به‌طوری که در پژوهشی نشان دادند که بیشترین میانگین وزن غده در ۶۵ درصد رطوبت قابل دسترس خاک به‌دست می‌آید. نادری و همکاران (۳۴) گزارش کردند، در شرایطی که وضعیت رطوبت مطلوب خاک در مرحله رسیدگی بوته سیب‌زمینی وجود داشته باشد، درصد غده‌هایی که اندازه متوسط و بزرگ دارند افزایش می‌یابد. همچنین بررسی همبستگی بین میانگین وزن غده با عملکرد غده قابل فروش (R = ۰/۵۳) و بهره‌وری مصرف آب به‌ترتیب رابطه مستقیم و عکسی نشان داده است (جدول ۳) که با نتایج اسکندری و همکاران (۱۸) مطابقت دارد.

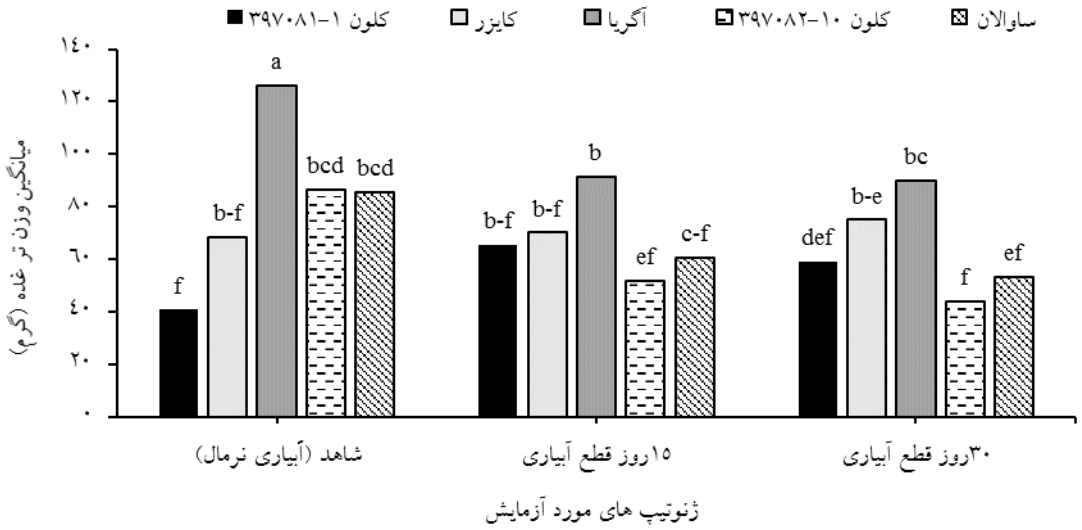
تعداد غده در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری روی تعداد غده در بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و کایزر در تیمار شاهد با تولید تعداد غده بیشتر نسبت به سایر ژنوتیپ‌های مورد آزمایش برتری داشتند (شکل ۲). پس از اعمال کم‌آبی، تعداد غده در بوته، ژنوتیپ کایزر در مقایسه با شاهد (آبیاری نرمال) کاهش معنی‌داری داشت ولی ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱، آگریا و ساوالان با حفظ تعداد غده در بوته در تیمارهای کم‌آبیاری نسبت به تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۲). ژنوتیپ‌های مختلف از لحاظ تعداد ساقه در بوته و تعداد غده‌های تولیدی به‌ازای هر ساقه تفاوت زیادی دارند (۷). از طرفی چون تعداد کل غده تولیدی در هر بوته در کنترل خصوصیات ژنتیکی گیاه بوده (۳۱) بنابراین ژنوتیپ ۱- ۳۹۷۰۸۱ در رژیم‌های آبیاری از این لحاظ تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند (شکل ۲). نتایج فوق با نتایج نصرالله‌زاده و صداقت (۳۵) و نوری و همکاران (۳۶) مطابقت

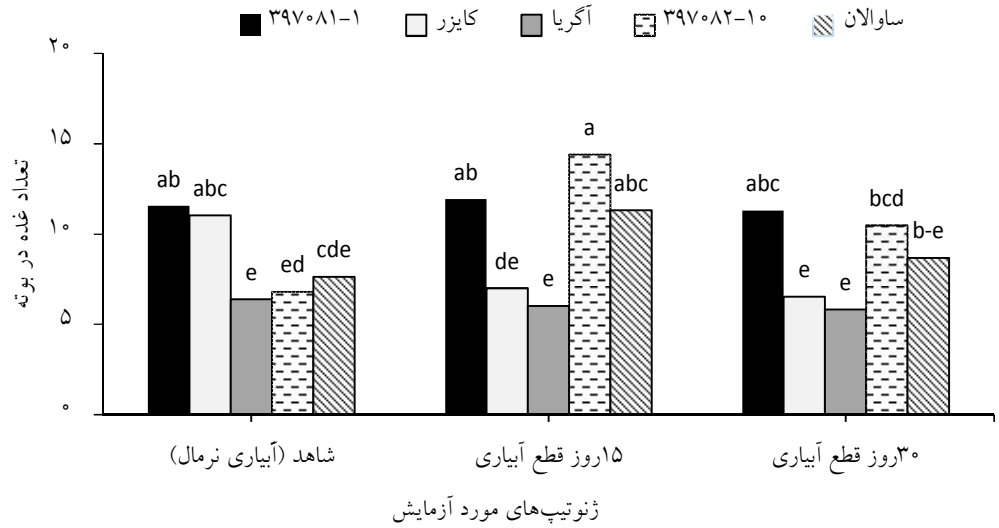
جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		میانگین وزن تر غده	تعداد غده در بوته	عملکرد غده	عملکرد غده قابل فروش	ماده خشک کل	درصد ماده خشک غده	شاخص برداشت	بهره‌وری مصرف آب
بلوک	۲	۱۶/۷۸^{ns}	۷/۰۸^{ns}	۳۰/۴۷*	۶۵/۲۴^{ns}	۰/۲۴۹^{ns}	۰/۶۰^{ns}	۰/۷۲۰**	۰/۱۶^{ns}
رژیم آبیاری	۲	۱۲۲۸/۴۹*	۱۱/۴۲^{ns}	۱۵۶/۶۸*	۱۳۶/۷۳*	۰/۶۲۸^{ns}	۲۵/۷۷**	۰/۶۷۷**	۲/۴۶^{ns}
خطای (الف)	۴	۷۴/۴۳	۱/۷۵	۳/۲۴	۶۲/۱۰	۱/۱۴	۰/۶۲	۰/۰۲۵	۰/۳۹
ژنوتیپ	۴	۳۰۸۶/۷۱**	۴۱/۲۰**	۷/۸۹**	۱۱/۱۶^{ns}	۴۲/۰۹**	۳۲/۴۲**	۶/۵۳**	۱/۶۶**
رژیم آبیاری × ژنوتیپ	۸	۷۳۴/۰۱*	۱۵/۳۹**	۸۲/۱۸**	۷۵/۱۹**	۴/۴۰**	۳/۳۰**	۰/۸۱۴**	۲/۶۵**
خطای (ب)	۲۴	۱۰۹/۶۲	۱/۵۶	۸/۶۱	۸/۵۳	۰/۶۶۱	۷/۶۴	۰/۰۹۷	۰/۲۸
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۴/۷۱	۱۳/۶۸	۴/۶۵	۱۱/۵۳	۹/۳۲	۳/۵۹	۷/۵۱	۱۹/۳۰

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد هستند.



شکل ۱. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر میانگین وزن تر غده (گرم). میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۲. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر تعداد غده در بوته. میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

دارد. دومین مرحله رشد سیب‌زمینی مرحله تشکیل غده‌هاست که تنش آبی در این مرحله یکی از اجزای عملکرد یعنی تعداد غده در بوته را کاهش می‌دهد (۲۲). اسکندری و همکاران (۱۸) نیز نتایج مشابه‌ای را در مورد کاهش معنی‌دار روند تعداد غده در بوته همراه با کاهش حجم آبیاری به‌کار رفته گزارش کردند.

بنابراین ژنوتیپ کایزر حساسیت معنی‌داری با اعمال کم‌آبی نسبت به تیمار شاهد نشان داد (شکل ۲). سمایی و همکاران (۴۱) نشان دادند که تعداد غده در گیاه می‌تواند با نوع ژنوتیپ مرتبط باشد. شرایط محیطی مانند دما و نوع خاک نیز روی تعداد غده اثر می‌گذارد. از آنجایی که طول مرحله غده‌بندی در سیب‌زمینی کوتاه و حدود دو هفته است، قطع آبیاری در این مرحله توانسته بیشترین تأثیر را در کاهش تعداد غده ژنوتیپ

جدول ۳. همبستگی بین صفات مورد آزمایش

صفات	تعداد غده در بوته	میانگین وزن غده	عملکرد غده	عملکرد غده قابل فروش	درصد ماده خشک غده	ماده خشک کل	شاخص برداشت	بهره‌وری مصرف آب
تعداد غده در بوته	۱/۰۰۰							
میانگین وزن غده	-۰/۶۷**	۱/۰۰۰						
عملکرد کل غده	۰/۳۶۳*	۰/۶۲۱*	۱/۰۰۰					
عملکرد غده قابل فروش	۰/۲۲۶ns	۰/۵۳۷*	۰/۸۶۰**	۱/۰۰۰				
درصد ماده خشک غده	۰/۰۲۱ns	-۰/۲۰۶ns	-۰/۱۶۴ns	-۰/۱۶۴ns	۱/۰۰۰			
ماده خشک کل	۰/۳۶۲*	-۰/۲۶۳ns	۰/۰۰۲ns	-۰/۱۱۲ns	۰/۲۲۶ns	۱/۰۰۰		
شاخص برداشت	-۰/۱۳۷ns	۰/۱۴۸ns	۰/۲۰۲ns	۰/۲۰۹ns	۰/۰۹۹ns	-۰/۵۳۵**	۱/۰۰۰	
بهره‌وری مصرف آب	۰/۲۵۷ns	-۰/۳۲۹*	۰/۰۰۰۵ns	-۰/۲۳۳ns	۰/۳۵۵*	۰/۲۵۹ns	۰/۳۰۲*	۱/۰۰۰

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد هستند.

کایزر داشته باشد (۳۵). همچنین بیشترین تعداد غده در بوته در ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ (۱۴) در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به تیمار شاهد به‌دست آمد (شکل ۲). در رژیم ۱۵ روز قطع آبیاری، بسته شدن جزئی روزنه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و درنتیجه روند کاهش عملکرد غده در بوته در مقابل آب مصرفی آهسته‌تر است و از آنجا که بین مقدار آب مصرفی در کشت سیب‌زمینی و صفت تعداد غده در بوته با میانگین وزن غده‌ها (R = -۰/۳۲ و R = -۰/۶۷) ارتباط وجود دارد (۲۲) (جدول ۳). ژنوتیپ ۱۰-۳۹۷۰۸۲ در این رژیم رطوبتی نسبت به شاهد، تعداد غده در بوته بیشتری را نشان می‌دهند (شکل ۲). در حالت کلی میانگین تعداد غده در هر بوته پس از اعمال تنش و ریکاوری کاهش یافت یا همسان حالت شاهد شد اما نکته جالب توجه آن بود که ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ در پایان دوره رشد افزون بر جبران کاهش اولیه، ۱۱۲ درصد نسبت به شاهد افزایش تعداد غده نشان داد. به نظر می‌رسد تنش اعمال شده برای ژنوتیپ مربوطه منجر به تحریک تولید غده‌های ثانویه شده است (۴۱). ژنوتیپ آگریا نیز کمترین تعداد غده را تولید کرده بود و اختلاف بین مراحل نیز معنی‌دار نبود (شکل ۲). ژنوتیپ آگریا بیشترین وزن غده در بوته را با کمترین تعداد غده در بوته نشان داد. لایی و همکاران (۳۱) و نصرالله‌زاده و صداقت (۳۵) نیز طی آزمایشی گزارش کردند که با افزایش متوسط وزن غده‌ها، تعداد غده در بوته کاهش می‌یابد.

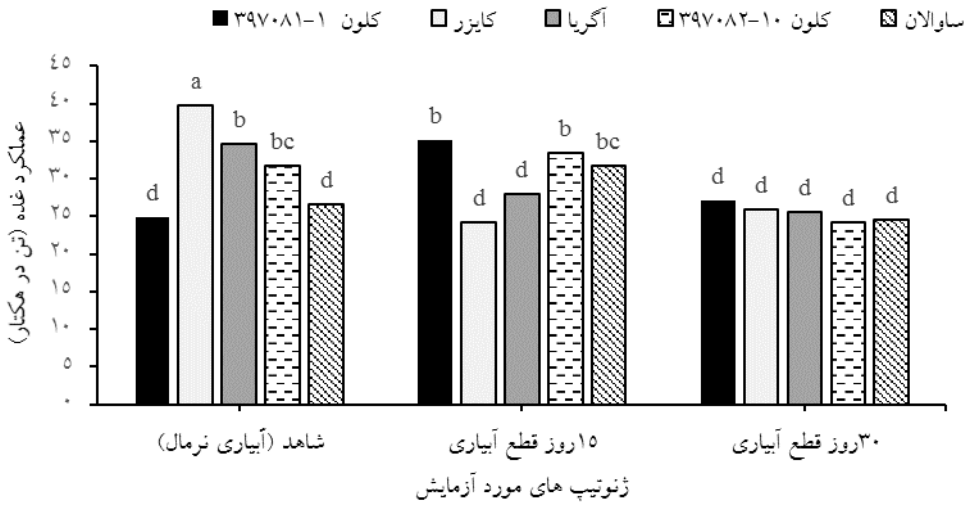
عملکرد غده در واحد سطح

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم‌های آبیاری بر عملکرد غده در واحد سطح، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد کل غده ژنوتیپ‌های کایزر و آگریا به‌میزان ۳۹ و ۱۹ درصد و تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری باعث کاهش عملکرد غده ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ به‌میزان ۲۳ درصد نسبت به شاهد شد (شکل ۳).

با توجه به کاهش عملکرد در اثر اعمال تیمار کم‌آبیاری انتظار می‌رود که تغییرات در اجزای عملکرد (تعداد غده در بوته و وزن غده در بوته) باعث به‌وجود آمدن این تغییرات شده است. از نظر میانگین وزن غده ژنوتیپ‌های آگریا و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ بیشترین کاهش وزن غده و ژنوتیپ کایزر بیشترین کاهش تعداد غده در بوته را نشان دادند (شکل ۱ و ۲). نتایج این پژوهش نشان داد که وزن غده در بوته نسبت به تعداد آن در بوته بیشتر تحت اثر کم‌آبیاری و غیریکنواختی توزیع آب قرار گرفته و باعث تغییرات در عملکرد شد که این به‌دلیل همبستگی بالای آن (R = ۰/۶۲) با عملکرد است (جدول ۳). چون وقوع تنش باعث کاهش فتوسنتز و توسعه رویشی در گیاه می‌شود و از علائم کاهش توسعه رویشی می‌توان به کاهش وزن و تعداد غده در بوته گیاه اشاره کرد (۲۱). به نظر می‌رسد ژنوتیپ کایزر از نظر وزن غده دارای غده‌های ریزتری بود که این موضوع در کنار کاهش میزان تعداد غده باعث کاهش عملکرد کل غده در مقایسه با سایر ژنوتیپ‌ها شد (شکل ۳). همچنین بیشتر بودن میانگین وزن غده و تعداد غده در بوته در ژنوتیپ‌های ساوالان، ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ عملکرد بالاتر غده را در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری در این ژنوتیپ‌ها باعث شد (شکل ۳). تأثیرپذیری عملکرد از اجزای آن، توسط نصرالله‌زاده و صداقت (۳۵) نیز گزارش شده است. اما شاید روند کاهشی تعداد و وزن غده در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری ژنوتیپ‌های ساوالان و ۱- ۳۹۷۰۸۱ دلیل عدم تفاوت معنی‌داری عملکرد غده تیمارهای شاهد و ۳۰ روز قطع آبیاری که رابطه معنی‌داری باهم دارند، باشد (جدول ۳). این نتایج با گزارش سمایی و همکاران (۴۱) مطابقت دارد.

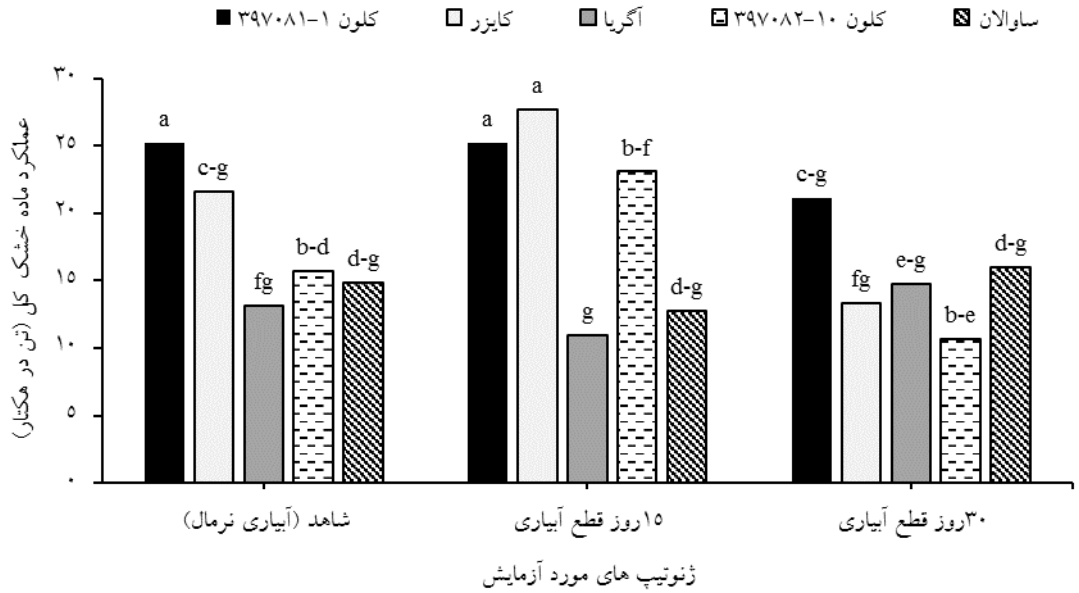
عملکرد زیستی (ماده خشک کل)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری برای صفت عملکرد ماده خشک کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد زیستی در ژنوتیپ ۱- ۳۹۷۰۸۱ و کایزر با کاهش مقدار آب مصرفی به‌دست آمد، به‌طوری که در تیمار



شکل ۳. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری بر عملکرد غده در واحد سطح (تن در هکتار)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۴. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر عملکرد ماده خشک کل

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۱۵ روز قطع آبیاری ژنوتیپ کایزر ۲۸ درصد افزایش عملکرد زیستی نسبت به شاهد نشان داد و ژنوتیپ ۱-۳۹۷۰۸۱ تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشت (شکل ۴).

با توجه به ویژگی‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌های نیمه‌دیررس کایزر و ۱-۳۹۷۰۸۱ از نظر کاهش کمتر بیوماس گیاه در مقایسه با ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در شرایط ۱۵ روز قطع آبیاری و همچنین جذب نیتروژن موجود در خاک و سبز باقی ماندن و حفظ ادامه فعالیت فتوسنتزی خود، توانسته‌اند وزن اندام هوایی بیشتری داشته باشند (۱). بیشترین درصد کاهش عملکرد زیستی در ژنوتیپ کایزر (۴۳ درصد) در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری و

ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۹۸۲ (۱۸ درصد) در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری به‌دست آمد، هرچند که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نداشتند (شکل ۴). ماده خشک کل گیاه یا عملکرد زیستی نتیجه مواد فتوسنتزی است. ماده خشک اندام‌ها با گذشت زمان کاهش می‌یابد و علت آن انتقال مواد فتوسنتزی به غده‌هاست (۱۲). آغاز رشد غده برابر با کاهش رشد سایر اندام‌های گیاهی است. اختلاف‌های زیادی که در عملکرد کل ماده خشک دیده می‌شود، علاوه‌بر اینکه درنتیجه اختلاف در سرعت فتوسنتز آنها است، می‌تواند به‌علت تفاوت در مدت زمانی که فتوسنتز در آنها ادامه دارد نیز باشد (۴۳). عملکرد زیستی در کلیه ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش نسبت به شاهد مربوطه کاهش یافت. به‌طوری که گزارش شده است سیب‌زمینی قرار گرفته در معرض تنش خشکی متوسط، منجر به کاهش بیوماس بالای زمین، عملکرد غده و اندازه غده می‌شود (۳۰). واکنش عملکرد زیستی ژنوتیپ‌های آگریا و ساوالان نیز از لحاظ آماری با کاهش مصرف آب آبیاری نسبت به تیمار شاهد معنی‌دار نبود. با اینکه ژنوتیپ ساوالان عملکرد غده قابل قبولی در شرایط کم‌آبی نشان داد (شکل ۳)، اما برخلاف ژنوتیپ ۱- ۳۹۷۰۸۱ عملکرد زیستی خوبی نداشت که به‌نظر می‌رسد کاهش عملکرد این ژنوتیپ بیشتر به خاطر تعداد کمتر غده تولیدی نسبت به تا عدم تداوم تولید غده است (۱۵). از آنجایی که تعداد غده در بوته همبستگی مثبت و معنی‌داری (R = ۰/۳۶) با عملکرد زیستی نشان داد (جدول ۳)، بنابراین کاهش تعداد غده در بوته می‌تواند به‌طور مؤثری عملکرد را کاهش دهد (۳۵).

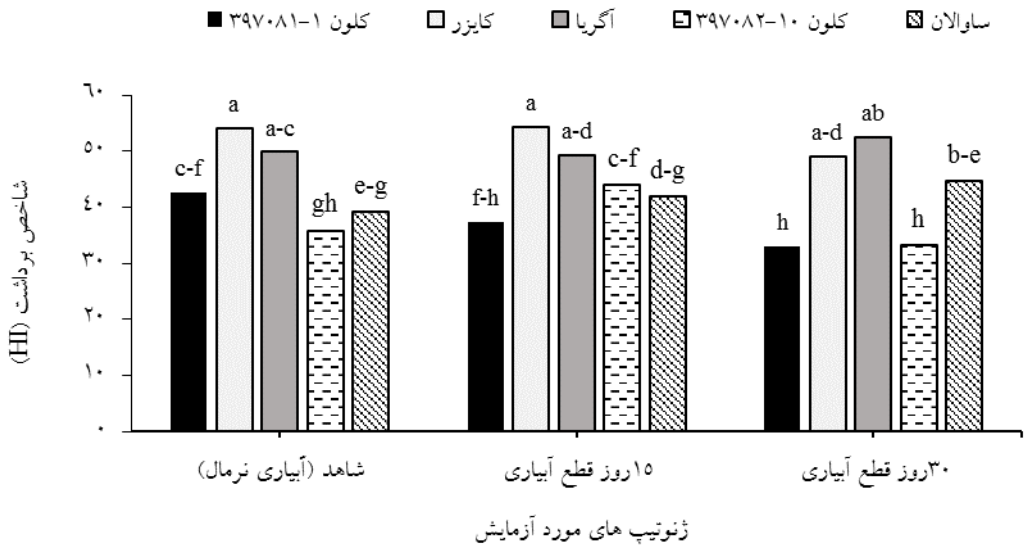
شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های کایزر و آگریا بیشترین شاخص برداشت (۵۴ و ۴۹ درصد) را به‌دلیل بالاتر بودن عملکرد کل غده، در تیمارهای آزمایشی نشان دادند (شکل ۵). که البته تفاوت معنی‌داری از نظر این شاخص بین آنها دیده نشد. اما با کاهش مصرف آب شاخص برداشت ژنوتیپ ۱- ۳۹۷۰۸۱ کاهش ۲۳ درصدی نسبت به شاهد نشان داد که می‌تواند به‌دلیل کاهش عملکرد غده در این تیمار نسبت به تیمار شاهد باشد (شکل ۵). همچنین با کاهش مصرف آب آبیاری ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری ۷۷ درصد افزایش شاخص برداشت نسبت به شاهد نشان داد که این افزایش می‌تواند ناشی از افزایش عملکرد غده و کاهش عملکرد زیستی این ژنوتیپ در این تیمار نسبت به تیمار شاهد باشد (شکل ۳ و ۴). این نتایج تفاوت بین ژنوتیپ‌ها را در میزان انتقال مواد فتوسنتزی تولیدی اندام‌ها به سمت غده‌ها نشان می‌دهد (۸). با افزایش تنش رطوبتی، مقادیر عملکرد غده به‌طور مستقیم متأثر از کاهش در اجزای تشکیل‌دهنده آن است و کاهش شاخص برداشت گواه این نکته است که عملکرد غده در اثر اعمال تنش آبی بر گیاه، تأثیرپذیری بیشتری نسبت به عملکرد ماده خشک (کل) گیاه داشت و در ازای اعمال تنش آبی، عملکرد غده به نسبت بیشتری در مقایسه با عملکرد ماده خشک اندام هوایی گیاه کاهش یافت که دلیل عمده آن طولانی‌تر بودن طول دوره غده‌بندی و بالاتر بودن سرعت انتقال مواد فتوسنتزی اندام‌ها به سمت غده در تیمارهای رطوبتی با فواصل آبیاری کمتر در مقایسه با تیمارهای تنش رطوبتی بود (۱۲).

شاید علت کاهش شاخص برداشت، در ژنوتیپ۱- ۳۹۷۰۸۱ نسبت به ژنوتیپ‌های کایزر و آگریا، کاهش بیشتر عملکرد غده نسبت به عملکرد زیستی در شرایط تنش کمبود آب باشد که با نتایج پژوهش دیگری در این مورد، همخوانی دارد (۱۷).

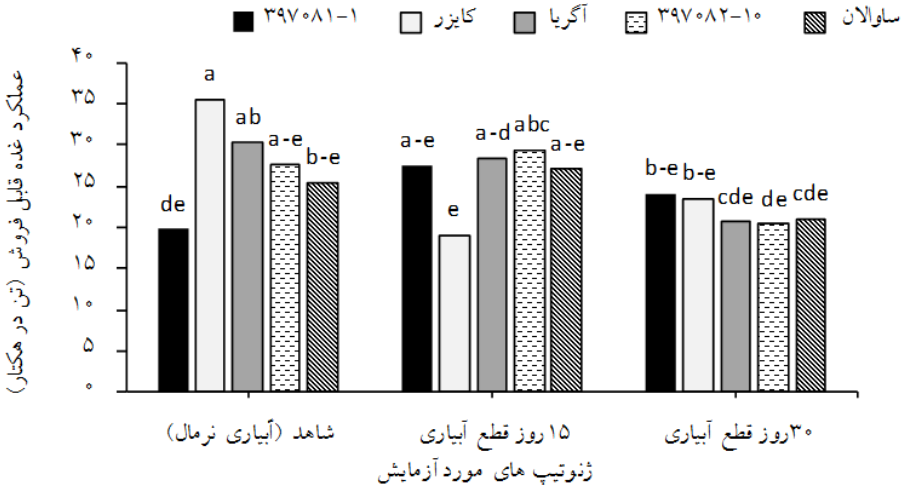
عملکرد غده قابل فروش

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های کایزر و آگریا بیشترین عملکرد غده قابل فروش (۳۵/۵۲ و ۳۰/۳۵) را در تیمار شاهد نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر این صفت بین آنها دیده نشد. ولی با کاهش مصرف آب عملکرد غده قابل فروش ژنوتیپ کایزر (۱۹/۱۲ تن در هکتار) در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری و ژنوتیپ آگریا در ۳۰ روز قطع آبیاری (۲۰/۶۲ تن در هکتار) به شدت کاهش یافت (شکل ۶). روند کاهش عملکرد غده



شکل ۵. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر شاخص برداشت

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۶. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر عملکرد غده قابل فروش

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

قابل فروش با روند کاهش آب مصرفی یکسان و تا حدودی مشابه اثر آبیاری بر عملکرد کل غده بود (۱۸). با توجه به کاهش عملکرد در اثر اعمال کم‌آبیاری انتظار می‌رود که تغییرات در اجزای عملکرد (تعداد غده در بوته و وزن غده در بوته) باعث به‌وجود آمدن این تغییرات شده است. نتایج این پژوهش نشان داد که وزن غده در بوته نسبت به تعداد آن در بوته بیشتر تحت اثر کم‌آبیاری و غیریکنواختی توزیع آب قرار گرفته و باعث تغییرات در عملکرد شد (۱۰) که به‌دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار آن با عملکرد غده قابل فروش (R = ۰/۵۳) است (جدول ۳). ضیاچهره (۴۵) نیز در پژوهشی بر وجود همبستگی مثبت و بسیار معنی‌دار بین وزن غده قابل فروش در بوته با عملکرد غده قابل فروش تأکید دارد. خادم دلیر (۲۹) نشان داد که

تنش کم‌آبی بیشترین خسارت را به عملکرد غده قابل فروش از ناحیه کاهش وزن غده‌های درشت و خوراکی زده است. شیری و همکاران (۴۲) نشان دادند که تعداد غده بیشتر در بوته نمی‌تواند دلیل بالا بودن عملکرد باشد. چرا که ممکن است با افزایش تعداد غده رقابت بین غده‌ها برای دریافت مواد پرورده بیشتر شده و درنتیجه اندازه غده‌ها کوچک می‌ماند. اما در تیمارهایی که درصد بالایی غده‌های درشت دارند، می‌توان دلیل افزایش قطر غده‌ها را کاهش تعداد غده‌ها دانست که به این ترتیب در افزایش عملکرد غده قابل فروش نقش خواهند داشت (۲۰).

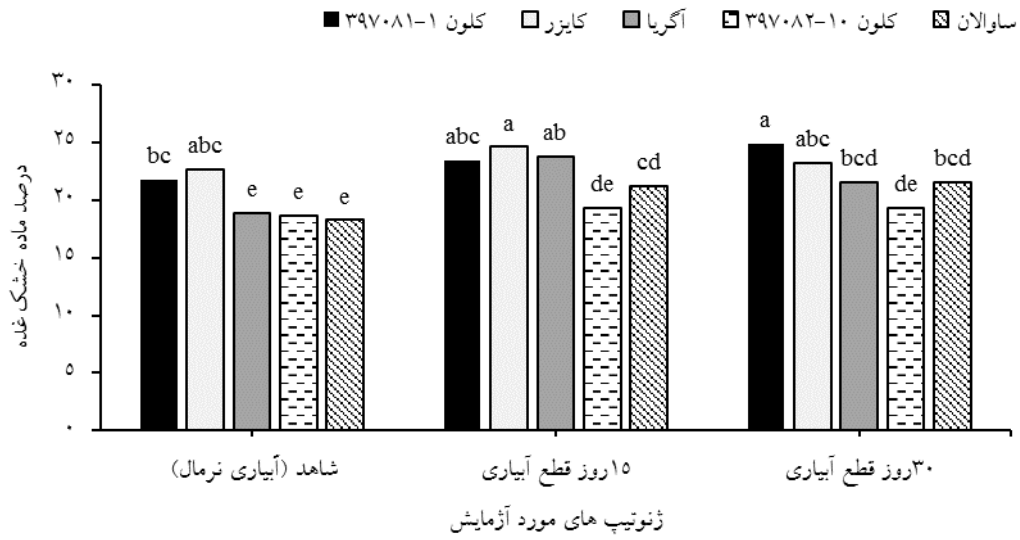
تنش آبی موجب توقف تشکیل غده همسان و تشکیل دستک (استولون) می‌شود. بنابراین کم‌آبی، تعداد غده‌های تشکیل شده را متناسب با نحوه برقراری تنش و طول مدت آن کاهش می‌دهد و هنگامی که آبیاری پس از اعمال تنش اجرا شود، رشد غده‌ها دوباره از سر گرفته می‌شود که غده‌های بدشکل، گلابی‌شکل و زنگوله‌ای تشکیل و درنهایت ظرفیت عملکرد غده قابل فروش گیاه را کاهش می‌دهد (۱۰). در حقیقت می‌توان بیان کرد وزن تر غده‌ها و اندازه آنها تعیین‌کننده عملکرد غده قابل فروش سیب‌زمینی است که به‌شدت تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد و نتایج مؤید این نکته است که تنش آبی بر اجزای عملکرد (عملکرد قابل فروش و کل غده، شاخص برداشت، محتوی ماده خشک و تعداد غده) گیاه سیب‌زمینی اثر دارد (۴۱).

همچنین عملکرد غده قابل فروش ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱، ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ و ساوالان با کاهش آب آبیاری در تیمار ۱۵ روز قطع آب افزایش یافت ولی با تیمار شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۶). در این پژوهش زمان اعمال کم‌آبی، در مرحله شروع غده‌زایی بوده که در این زمان سرعت رشد اندام هوایی گیاه کندتر است و انتظار می‌رود در شرایط تنش، مواد غذایی ساخته شده در برگ گیاه به‌میزان بیشتری به اندام زیرزمینی گیاه انتقال و وزن اندام زیرزمینی افزایش یابد (۱۶) که نشان می‌دهد قطع آبیاری نتوانسته تأثیر معنی‌داری بر عمکلرد ژنوتیپ‌های مد نظر داشته باشد. بنابراین از این ژنوتیپ‌ها که حساسیت کمتری در این مرحله با حفظ عملکرد نشان داده‌اند، می‌توان در مواقع کاهش آب آبیاری بهره برد. این موضوع نشان می‌دهد که استفاده از ژنوتیپ‌های متحمل به تنش کم‌آبی باداشتن سیستم ریشه‌ای قوی، برای جلوگیری از کاهش عملکرد غده مؤثر است (۱۵).

درصد ماده خشک غده

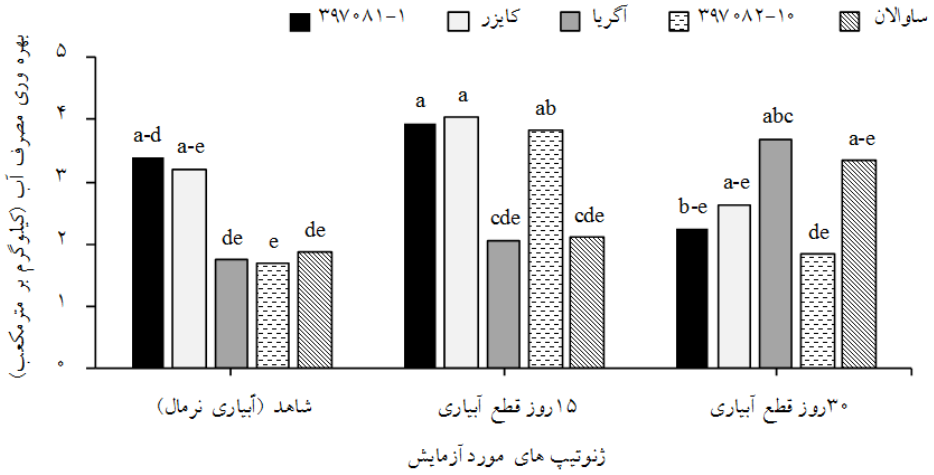
نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با قطع آبیاری بیشترین درصد ماده خشک غده در ژنوتیپ‌های کایزر و ۱-۳۹۷۰۸۱ مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با شاهد (آبیاری نرمال) نداشت (شکل ۷). همچنین در ژنوتیپ‌های آگریا و ساوالان درصد ماده خشک غده به‌ترتیب (۲۶/۲۰ و ۱۶/۱۶ درصد) در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد (شکل ۷). اما افزایش درصد ماده خشک ژنوتیپ‌های مورد آزمایش تفاوت معنی‌داری در تیمارهای ۱۵ و ۳۰ روز قطع آبیاری با یکدیگر نشان ندادند.

نتایج لایی و همکاران (۳۱) نیز نشان داد که با اعمال کم‌آبیاری درصد ماده خشک غده‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. همچنین اثر تنش آبی در افزایش درصد ماده خشک در این آزمایش با گزارش اسکندری و همکاران (۱۸) نیز مطابقت دارد و مؤید این نتیجه است که با کاهش میزان آب آبیاری و اعمال تنش خشکی درصد ماده خشک غده‌ها افزایش یافته و در یک ژنوتیپ خاص نیز ثابت نبوده و تحت اثر عوامل مختلف نظیر آب، خاک و مواد معدنی تغییر می‌کند. چون حدود ۷۵ تا ۸۵ درصد از وزن غده سیب‌زمینی را آب تشکیل می‌دهد (۲)، بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که افزایش این صفت با افزایش تنش خشکی به‌دلیل کاهش آب موجود در غده‌های سیب‌زمینی همراه است. چنان که همبستگی مثبت و معنی‌داری نیز بین درصد ماده خشک غده و بهره‌وری مصرف آب (R = ۰/۵۳) در سطح احتمال پنج درصد مشاهده شد (جدول ۳). در آزمایشی



شکل ۷. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر عملکرد بر درصد ماده خشک غده

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۸. برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم کم‌آبیاری بر بهره‌وری مصرف آب (WUE)

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

بیان شده است محتوای ماده خشک غده‌های سیب‌زمینی با افزایش تنش خشکی افزایش می‌یابد و کمترین ماده خشک در تیمار شاهد و بیشترین آن مربوط به تیمار با تنش خشکی شدید بود (۱۱).

بهره‌وری مصرف آب (WUE) (کیلوگرم بر مترمکعب)

نتایج تجزیه واریانس مشخص کرد که برهم‌کنش ژنوتیپ در رژیم آبیاری برای این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و کایزر، در تیمار شاهد بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۳/۳۹ و ۳/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) را نشان دادند که با کاهش مصرف آب آبیاری در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری، این مقدار افزایش یافت ولی با تیمار شاهد از نظر آماری تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸).

نتایج همبستگی بین ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب ژنوتیپ‌های ۱- ۳۹۷۰۸۱ و کایزر نیز مثبت و معنی‌دار (R = ۰/۳۵) بود (جدول ۳). شاید دلیل بهره‌وری آب بالای این ژنوتیپ‌ها این باشد که افزایش تولید ماده خشک در شرایط خشکی از راه افزایش جذب آب خاک و اختصاص آن به تعرق روزنه‌ای به‌دست می‌آید. این مسئله مهم‌ترین پارامتر برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک و از جنبه‌های ژنتیکی و زراعی است (۱۴). ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ نیز با کاهش آب آبیاری در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری و ژنوتیپ آگریا و ساوالان در تیمار ۳۰ روز قطع آبیاری بیشترین بهره‌وری مصرف آب (۳/۸۲ و ۳/۶۹ کیلوگرم در مترمکعب) را نسبت به شاهد نشان دادند، اما ژنوتیپ ساوالان با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۸). در پژوهش دیگری بیان شد، افزایش تولید ماده خشک در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی برنج از WUE بالاتر این ژنوتیپ‌ها ناشی نمی‌شود، بلکه توانایی بالاتر این ژنوتیپ‌ها برای تعرق که توسط سیستم ریشه‌ای انبوه این ژنوتیپ‌ها پشتیبانی می‌شود، دلیل افزایش تولید و تحمل خشکی است (۳۷). EUW یا استفاده مؤثر از آب به این مفهوم است که از آب موجود در خاک برای تعرق گیاه بهره‌برداری می‌شود و در این راستا بایستی از هدر رفت آب به فرم تبخیر از سطح خاک و تعرق کوتیکولی جلوگیری شود. استفاده مؤثر از آب با حفظ بالانس آبی گیاه، به تسهیم شیره پرورده به سمت اندام‌های زایشی کمک می‌کند و موجب افزایش شاخص برداشت می‌شود.

به‌طوری که همبستگی مثبت و معنی‌داری بین بهره‌وری مصرف آب و شاخص برداشت (R = ۰/۳۰) در این پژوهش وجود داشت (جدول ۳). بنابراین می‌توان پیشنهاد کرد که EUW می‌تواند جایگزین WUE به‌عنوان صفت مورد استفاده برای بهبود عملکرد گیاهان زراعی در مناطق خشک باشد (۱۴). تفاوت ژنوتیپی WUE در رژیم‌های کم‌آبی بیشتر از آنکه از تفاوت در تولید ماده خشک ناشی شود از تفاوت در استفاده از آب ناشی می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای معرفی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی بایستی ویژگی‌های ساختمانی و سازگارکننده گیاهان و فرایند اجتناب از خشکی که موجب بهره‌برداری مؤثر آنها از رطوبت خاک (EUW بالاتر) می‌شود را درنظر بگیریم (۳۴).

نتایج این پژوهش با نتایج آتی و همکاران (۹) و یاکتایو و همکاران (۴۴) مطابقت دارد و مؤید این مطلب است که کم‌آبیاری باعث افزایش بهره‌وری آب می‌شود. در تمامی ژنوتیپ‌ها، با کاهش مصرف آب، بهره‌وری افزایش یافت، اما ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ بهره‌وری مصرف آب معنی‌داری را در تیمار ۱۵ روز قطع آبیاری نسبت به شاهد نشان داد (شکل ۸). نتایج داده‌های شاخص برداشت نیز در این تیمار نشان می‌دهد، ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ افزایش معنی‌داری داشته است (شکل ۵). به نظر می‌رسد ژنوتیپ ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ با ریشه قوی خود قادر است آب مورد نیاز برای تولید حداکثر عملکرد را به‌دست آورد. اما برخلاف نتایج به‌دست آمده، در پژوهشی نیز بیان شد، بهره‌وری آب آبیاری سیب‌زمینی با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش می‌یابد (۱۰).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این پژوهش چنین نتیجه می‌شود که هر نوع شرایط کم‌آبیاری و تنش کمبود آب موجب افزایش بازده استفاده از آب نمی‌شود. با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک و از طرفی نیاز آبی بالای گیاه سیب‌زمینی که یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی تأمین‌کننده غذا است، ناگزیر باید روش‌هایی اتخاذ شود که بهره‌وری مطلوب از منابع آبی موجود حاصل شود و همچنین به پایداری تولید این محصول صدمه‌ای وارد نشود. یکی از روش‌های ممکن در استفاده بهینه از منابع آبی موجود، معرفی ژنوتیپ‌های است که نسبت به کاهش آبیاری حساسیت کمتری داشته و قابلیت عملکردی قابل قبولی در شرایط کم‌آبیاری داشته باشند (۲۱). نتایج این پژوهش نشان داد که ژنوتیپ‌های آگریا، ۱- ۳۹۷۰۸۱ و ۱۰- ۳۹۷۰۸۲ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها پتانسیل عملکرد بالاتر و آستانه تحمل به کم‌آبیاری بهتری دارند و شاید بتوان از آنها برای کاشت در مناطق خشک و نیمه‌خشک بهره برد.

منابع مورد استفاده

1. Agharezaei, M., S. H. Ahmadi, A. A. Kamkar Haghighi, A. R. Sepaskhah and J. Javanmardi. 2014. The effect of low irrigation and irrigation part of the roots on the physiological characteristics of three potato cultivars. *In:* Proceeding of the Second National Conference on Water Management at the Field. Soil and Water Research Institute. Iran. 39- 44. (In Farsi).
2. Agili, S., B. Nyende, K. Ngamau and P. Masinde. 2013. In vitro evaluation of orange-fleshed sweet potato for drought tolerance using polyethylene glycol. *In:* Proceeding of the 9th Triennial African Potato Association Conference Naivasha, Kenya.
3. Ahmadi Adli, R. 2006. Determination of water irrigation and water consumption in potato cultivation in Ardabil. *Journal of Sustainable Agricultural Science* 16: 235- 244. (In Farsi).
4. Ahmadi, K., H. Gholizadeh, H. Ebadzadeh, F. Hatami, M. Fazli, A. Kazemiyan and M. Rafiei. 2016. Agriculture agricultural cultivar. 2014-2014 Volume I: Crop products. Tehran, Ministry of Agricultural Jihad, Deputy Director of Planning and Economics, ICT Center. (In Farsi).
5. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56, Rome, Itally.
6. Allen, R. G. and W. O. Pruitt. 1991. FAO- 24. Reference evapotranspiration factors. *Journal of Irrigation and Drainage England ASCE* 117, 758-773.
7. Al-Mahmud, A., Md. A. Hossain, Md. A. Al-Mamun, Md. Sh. Ebna Habib, Md. Sh. Rahaman, Md. Sh. Ali Khan, and Md. M. Bazzaz. 2014. 2014. Plant canopy, tuber yield and growth analysis of potato under moderate and severe drought condition. *Journal Plant Science* 2(5): 201-208.Alva, A. K., H. Ren and A. D. Moore. 2012. Water and nitrogen management effects on biomass accumulation and partitioning in two potato cultivars. *American Journal of Plant Sciences* 3: 164-170.
8. Ati, A., A. Iyada and S. Najim. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. *Annals of Agricultural Science* 57(2): 99–103.
9. Ayas, S. 2013. The effects of different regimes on potato (*Solanum tuberosum* L. Hermes) yield and quality characteristics under unheated greenhouse conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19: 87-95.
10. Baciu, A. 2013. Reaction of native potato varieties to water stress. Potato Research and Development Station-Targu Secuiesc, *Romania Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 17(2): 80- 86.
11. Badarau, C. L., A. Marculescu and N. Chiru. 2013. The effects of new treatments on PVY infected potato plants under drought conditions. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov Series II: Forestry & Wood Industry & Agricultural Food Engineering* 655: 99-104.
12. Bagherniae Kasbakhi, M. and D. Hassanpanah. 2014. Evaluation of yield and tuber yield components in the hybrids produced from crosses of Agria and Ceaser potato cultivars. *In:* Proceeding of the 1st E- Conferences on New Finding in Environment and Agricultural Ecosystems. University of Tehran, Iran. (In Farsi).
13. Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112: 119–123.
14. Cabello, R., F. De Mendiburu, M. Bonierbale, P. Monneveux, W. Roca and E. Chujoy. 2012. Large scale evaluation of potato improved varieties, genetic stocks and landraces for drought tolerance. *American Journal of Potato Research* 895: 400-410.
15. Demelash, N. 2013. Deficit irrigation scheduling for potato production in North Gondar, Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research* 8(11): 1144-1154.
16. Ebrahimipak, N. A. 2014. Determination of the potato yield response factor (Ky) to deficit irrigation in different growth stages in sharekord. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 15: 39- 50. (In Farsi).
17. Eskandari, A., H. R. Khazaie, A. Nezami and M. Kafi. 2011. Study the effects of irrigation regimes on yield and some qualitative characteristics of three cultivars of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Water and Soil* 25(2): 240- 247. (In Farsi).
18. FAO. 2014. FAOSTAT database for agriculture. Available online at: http://faostat3.fao.org/ faostat gateway/go/to/download/Q/QC/E.
19. Ghobady, M., S. Jahanbin, K. Parvizi and R. Motalebifard. 2011. Effect of phosphorus bio fertilizers on yield and yield components of potato. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 21(2): 118-130.
20. Haghighi, B., S. Broomandnasab and A. A. Naseri. 2015. Effect of irrigation water on performance, some quality characteristics and water productivity of two potato cultivars. *Quarterly Journal of Plant Growth Physiology, Islamic Azad University* 7(28): 60-45. (In Farsi).
21. Hassanpanah, D. 2010. Evaluation of potato cultivars for resistance against water deficit stress under in vivo conditions. *Potato Research* 5: 383-392.

22. Hassanpanah, D. and H. Hassanabadi. 2011. Evaluation of quantitative and qualitative characteristics of promising potato clones in Ardabil region. *Agroecology Journal* 7(22): 37-48. (In Farsi).
23. Hassanpanah, D. and H. Hassanabadi. 2012. Evaluation of quantitative, qualitative and tuber yield stability of 18 promising potato clones in Ardabil province. *Journal of Crop Ecophysiology* 6(2): 219-234. (In Farsi).
24. Hassanpanah, D., SH. Honardoost. 2010. Compared of Yield Promising Clones 397082-2, 397097-2 and 397081-1 with Area Control (*Agria cultivar*). Agriculture Natural Resources Research Center of Ardebil. (In Farsi).
25. Hassanpanah, D., A. A. Hoseinzadeh. 2007. Methodology and Evaluation of Resistance Sources to Drought in Potato Cultivars and Path Analysis of Yield and Yield Components. Project Final Report, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Center. (In Farsi).
26. Hoekstra, A. Y. 2002. Virtual water trade: Proceedings of the international expert meeting on virtual water trade, Delft, The Netherlands, 12-13 December 2002. UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands. Value of Water Research Report Series. 2003; No. 12.
27. Kazemi, M., H. Hassan Abadi and H. Tavakoli. 2011. Potato Production Management. Training and Promoting Agriculture Press. Tehran, Iran. (In Farsi).
28. Khademdalir, M. 2003. Study of new potato cultivars under limited irrigation conditions in Ardabil. MSc. Thesis, Faculty of Agriculture and Natural Resources. University of Zabol. Iran. (In Farsi).
29. Kumari, S. 2012. Influence of drip irrigation and mulch on leaf area maximization, water use efficiency and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Agricultural Science* 4(1): 71-80.
30. Laei, G., M. Noryan and H. Afshari. 2012. Determination of the planting depth of potato seed tuber yield and yield components of two varieties agria and draga response curves seed. *Annals of Biological Research* 12: 5521-5528.
31. Mohammadi, A., H. Yosefi, Y. Noorallahi and S. J. SadatineJad. 2017. Choose the best province in potato production by assessing water footprint index. *Journal of Ecohydrology* 4(2): 523- 532. (In Farsi).
32. Molaei, B., M. Gheysari, B. Mostafazadeh Fard, E. Landi and M. M. Majidi. 2015. Evaluation of yield and yield characteristics of two potato varieties under sprinkler and trickle irrigation systems. *Quarterly Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 19(71): 241-250. (In Farsi).
33. Naderi, M., M. Shayannejad, S. Heydari and B. Haghighati. 2016. Effect of different levels of irrigation water on quantitative and qualitative characteristics of potato and determination of its optimum consumptive use of water in Shahrekord. *Journal of Water and Soil* 30(5): 1371- 1380. (In Farsi).
34. Nasrollahzadeh Asl, A. and Gh. Sedaghat. 2017. Effects of planting depth and irrigation disruption on yield and yield components in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Journal of Crop Science Research in Arid Regions* 1(1): 109-119. (In Farsi).
35. Nouri1, A., A. Nezami, M. Kafi and D. Hassanpanah. 2016. Evaluation of water deficit tolerance of 10 potato cultivars based on some physiological traits and (*Solanum tuberosum* L.) tuber yield in ardabil region. *Journal of Crop Ecophysiology* 10(1): 243- 268. (In Farsi).
36. Palta, J. A., X. Chen, S. P. Milroy, G. J. Rebetzke, M. F. Dreccer and M. Watt. 2011. Large root systems: are they useful in adapting wheat to dry environments? *Functional Plant Biology* 38: 347-354.
37. Postini, K., A. Siyosemardeh, M. Zavareh and Sh. Madah Hosseyni. 2005. Crop yields - physiology and processes. Tehran University Press. Tehran. (In Farsi).
38. Raesi Asad Abadi, M., M. R. Nouri Emamzadei and R. Fatahi. 2017. Improving irrigation schedule of potato in order to improve water use efficiency index. *Irrigation Sciences and Engineering* 40(2): 199- 207. (In Farsi).
39. Rasoolzadeh, A. and M. Raoof. 2014. Principles and Methods of Irrigation. Amidi Publications, Tabriz, Iran. (In Farsi).
40. Samaee, M., S. A. M. Modarres-Sanavy, A. Mousapour Gorji and E. Zand. 2017. The study of potato genotypes (*Solanum tubersum* L.) tolerance to water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crop Science* 47(4): 527-540. (In Farsi).
41. Shiri Janagard, M., A. Tobeh, R. Asghari Zakaria, G. Nouri- Ganbalani and B. Dehdar. 2007. The effects of different levels of drip irrigation and cultivation pattern on yield and yield components of the agria potato. *Pajouhesh & Sazandegi* 75: 149- 157. (In Farsi).
42. Sobhani, A. and H. Hamidi. 2014. Evaluation of yield and growth indices of potato under different levels of water deficit stress. *Iranian Journal of Field Crops Research* 12: 283-295. (In Farsi).
43. Yactayo, W., D. A. Ramírez, R. Gutiérrez, V. Mares, A. Posadas and R. Quiroz. 2013. Effect of partial root-zone drying irrigation timing on potato tuber yield and water use efficiency. *Agricultural Water Management* 123: 65-70.
44. Ziyachehreh, M. 2017. Investigating the reaction of a number of potato superior cultivars and clones at different levels of irrigation and limited to phenological factors of morphology and various quantitative and qualitative characteristics of crops. MSc. Thesis. Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili. Ardabil. Iran. (In Farsi).

Journal of Crop Production and Processing
Vol. 9, No. 3, Fall 2019, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Effect of Different Irrigation Regimes on Physiological Characteristics, Yield and Water Productivity of Potato Genotypes in Ardabil

A. Shafaroodi[1], A. Gholipouri[2*], M. Zavareh[3], D. Hassanpanah[4] and B. Salahi[5]

(Received: June 27-2018; Accepted: December 26-2018)

Abstract

In order to detect the reaction of different potato genotypes to different irrigation regimes and evaluate their water productivity, a research was carried out as a split plot experiment based on a randomized complete block design with three replications in Agricultural Research Center and Natural Resources of Ardabil, Iran in 2015-2016. Five potato genotypes (Agria, Caesar, Savalan, 397081-1 and 397082-10) and three irrigation regimes (normal irrigation, 15 and 30 days without irrigation after 75 days of normal irrigation) were considered as treatments. The results showed that the effect of irrigation cuttings on the genotypes was significant for the mean fresh weight of tuber, number of tubers per plant, tuber yield per unit area, total dry matter yield and harvest index, marketable yield, dry matter percentage of tuber and water use efficiency. Under water stress conditions, water use efficiency was increased on the basis of tuber yield per unit area and marketable yield in genotypes 397081- 1, Agria and 397082-10. The highest water use efficiency was observed based on harvest index in Caesar and Agria genotypes (54.29 and 49.29 percent, respectively), and also based on the percentage of dry matter of tubers in genotypes 397081- 1, Caesar and Agria (6, 9 and 26 percent, respectively). When producing the highest tuber yield and water use efficiency under drought stress is aimed at planting genotypes 1-397081, agria and 397082-10 may bring about an effective use of water and show better growth and yield.

Keywords: Dry matter yield, Effective use of water (EUW), Harvest index, Low irrigation, tuber yield

1, 2. PhD. Student and Associate Professor, Respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
3 Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Guilan University, Rasht, Iran.
4. Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran.
5. Professor, Department of Geography, Faculty of Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.
*: Corresponding Author, Email: gholipouri@uma.ac.ir