



## ارزیابی تحمل به کم آبی ۱۰ رقم سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بر اساس برخی صفات فیزیولوژیکی و عملکرد غده در منطقه اردبیل

علیرضا نوری<sup>۱</sup>، احمد نظامی<sup>۲\*</sup>، محمد کافی<sup>۲</sup> و داود حسن‌پناه<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۱۰/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۸/۵

### چکیده

این تحقیق به منظور بررسی صفات فیزیولوژیکی موثر بر عملکرد ۱۰ رقم سیب‌زمینی تحت شرایط تنش آبی، طی دو سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپلت پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی شامل سه سطح تنش آبی (تامین ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت فرعی شامل ۱۰ رقم (خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، سائته، مارفونا، کایزر، آگریا، آتولا و دراگا) از ارقام تجاری سیب‌زمینی معرفی شده در ۳۰ سال گذشته بود. در طی دوره رشد، محتوای آب نسبی برگ، نشت الکترولیت‌ها و شاخص کلروفیل برگ در پنج مرحله رشدی سیب‌زمینی اندازه‌گیری شدند. نتایج تجزیه واریانس مرکب محتوای آب نسبی برگ‌ها در مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی نشان داد که اختلاف بین ارقام، سال‌ها، و اثر متقابل رقم در تنش آبی در کلیه مراحل رشد، اثر متقابل رقم در سال در مرحله چهارم رشد و اثر متقابل رقم، تنش و سال در مراحل اول، دوم و سوم رشدی سیب‌زمینی معنی‌دار بودند. از لحاظ میزان نشت الکترولیت‌ها و شاخص کلروفیل بین سال، سطوح تنش آبی، ارقام و اثر متقابل رقم در تنش آبی در کلیه مراحل رشد اختلاف معنی‌داری وجود داشت. از نظر شاخص کلروفیل بین سطوح مختلف تنش آبی در مراحل اول، دوم، سوم و پنجم رشدی اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اختلاف عملکرد غده بین سال، سطوح تنش آبی، ارقام و اثر متقابل تنش آبی در سال، رقم در تنش آبی و سال در رقم معنی‌دار گردید. براساس نتایج به‌دست آمده، در شرایط آبیاری عادی ارقام خاوران و ساتینا از محتوای آب نسبی بیشتر، نشت الکترولیت‌های کمتر، شاخص کلروفیل برگ بالاتر و عملکرد غده بیشتر برخوردار بودند. ارقام کایزر، دراگا و خاوران در شرایط تنش ملایم و ارقام آگریا و دراگا در شرایط تنش شدید میزان محتوای آب نسبی بیشتر و عملکرد غده بالاتر داشتند. ارقام ساوالان، لوکا، ساتینا و مارفونا در شرایط تنش شدید دارای میزان نشت الکترولیت‌های کمتر و عملکرد غده بیشتر و رقم ساوالان شاخص کلروفیل بالاتر و عملکرد غده بیشتر بودند و به عنوان ارقام متحمل به تنش کم آبی انتخاب شدند.

**واژگان کلیدی:** ارقام سیب‌زمینی، شاخص کلروفیل، محتوای آب نسبی، نشت الکترولیت‌ها.

۱- دانشجوی دکترا، فیزیولوژی گیاهان زراعی، پردیس بین‌الملل دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- عضو هیات علمی بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، اردبیل، ایران

nezami@um.ac.ir

(\* نگارنده‌ی مسئول)

## مقدمه

تولید محصولات گیاهی می‌شوند. یکی از روش‌های مقابله با این چالش استفاده از روش کم آبیاری است (English and Raja, 1996). کم آبیاری راه‌کاری است که در آن با کشت ارقام متحمل به کم آبی و با راندمان مصرف آب بالاتر، مقدار آب مصرفی کاهش داده می‌شود. استفاده از روش کم آبیاری در تعدادی از محصولات زراعی، با موفقیت توأم بوده است. در مقایسه با سایر محصولات زراعی، سیبزمینی به دلیل سطحی بودن ریشه‌های آن که بیشتر در ۳۰ سانتی-متری خاک پراکنده شده (Allen and Scott, 1998)، گیاهی حساس به تنش رطوبتی ذکر شده و برای تولید آن در مقایسه با بسیاری از محصولات زراعی دیگر آب بیشتری مورد نیاز است (Carr, 1989). تنش شدید خشکی در سیبزمینی در مرحله رشد رویشی اولیه مانع از جوانه‌زنی غده‌ها شده و از رشد ریشه جلوگیری می‌کند (Ahmadizadeh and Felenji, 2011). ایرنا و مائورومیکال (Ierna and Mauromicale, 2012) گزارش کردند که سیبزمینی به دلیل سطحی بودن سیستم ریشه‌ای به کمبود رطوبت خاک، به ویژه در زمان آغازش غده و غده‌بندی حساس بوده و کمبود آب در این مرحله باعث کاهش عملکرد غده این گیاه می‌گردد. آژیلی و همکاران (Agili et al., 2013) نتیجه گرفتند که ژنوتیپ‌هایی که در سطوح مختلف تنش آبی از سطح برگ، طول ساقه و طول ریشه بالاتر و تولید ماده خشک بیشتر برخوردار بودند، توانایی تحمل شرایط تنش آبی شدید را داشتند. تنش کم‌آبی در سیبزمینی باعث کاهش وزن خشک ریشه (Sharma et al., 2011)، میزان فتوسنتز برگ، بیوماس اندام هوایی، رشد غده (Irna and Mauromicale, 2006)، ارتفاع بوته (Schittenhelma et al., 2006)، تعداد غده در بوته (Badarau et al., 2013) و عملکرد غده

سیبزمینی، *Solanum tuberosum* L. گیاهی یک‌ساله از تیره Solanaceae می‌باشد و از نظر سطح زیرکشت پس از ذرت، برنج و گندم در رتبه چهارم قرار دارد (FAO, 2013). سطح زیرکشت سالیانه سیبزمینی در جهان در حدود ۱۹/۵ میلیون هکتار و تولید سالیانه آن در حدود ۳۷۵ میلیون تن می‌باشد. در حال حاضر کشور چین بزرگ‌ترین تولیدکننده سیبزمینی در جهان است و پس از آن به ترتیب هند، روسیه، اکراین و آمریکا قرار گرفته‌اند (FAO, 2013). ایران از نظر میزان تولید سیبزمینی در میان کشورهای جهان در رتبه دوازدهم و در میان کشورهای آسیایی پس از کشورهای چین و هند در رتبه سوم قرار دارد (FAO, 2013). هر چند سابقه کشت سیبزمینی در ایران نسبتاً کوتاه است، ولی در حال حاضر در بیشتر نقاط معتدله و سردسیر کشور به صورت بهاره کاشته می‌شود. در سال‌های اخیر سطح زیرکشت سیبزمینی در ایران به حدود ۱۵۹ هزار هکتار و میزان تولید سالیانه آن به حدود ۴/۶ میلیون تن افزایش یافته است (Anonymous, 2014). در سال‌های اخیر به دلیل وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی در قسمت‌های وسیعی از دشت‌های حاصل‌خیز کشور، عمق سفره آب‌های زیرزمینی به شدت پایین رفته و میزان آب‌های سطحی نیز بسیار کاهش یافته و فشار شدیدی در جهت کاهش مصرف آب کشاورزی و تخصیص نسبت‌های بیشتری از آب موجود برای مصرف شرب و مصارف صنعتی آغاز گردیده است (Hassanpanah et al., 2008). اشرف و فولاد (Ashraf and Foolad, 2007) گزارش کردند بیش از ۴۵ درصد زمین‌های کشاورزی دنیا در معرض تنش کم‌آبی و شوری قرار دارند. سالانه دو میلیون هکتار از زمین‌های کشاورزی دنیا کیفیت خود را از دست می‌دهند و باعث کاهش

(2007) نشان دادند که در شرایط تنش خشکی ملایم شاخص کلروفیل برگ های گلرنگ افزایش می یابد، ولی با شدت یافتن تنش شاخص کلروفیل کاهش پیدا می کند. شریعت و عصاره (Shariat and Assareh, 2008) از روش اندازه گیری غلظت کلروفیل و محتوی آب نسبی برگ برای مقایسه تحمل ارقام اکالیپتوس به خشکی استفاده کردند. رانالی و همکاران (Ranalli, 1996) از روش اندازه گیری کلروفیل و دمای کانوپی سیب زمینی به منظور انتخاب ژنوتیپ های متحمل به تنش خشکی استفاده نمودند. فروسیانته و همکاران (Frusciante et al., 1999) نشان دادند که می توان با اندازه گیری فلورسانس کلروفیل برگ سیب زمینی میزان تحمل گیاه را به تنش خشکی تعیین کرد. در طی ۳۰ سال گذشته تعداد زیادی از ارقام سیب زمینی برای کشت و کار در کشور معرفی شده اند و بعضی از آنها در یک دوره زمانی معین به صورتی گسترده کشت شده اند، ولی به تدریج و با معرفی ارقام جدید با عملکرد بالا و یا با کیفیت و بازار پسندی بالا سطح زیر کشت آنها کاهش یافته است. در این جایگزینی به موضوع واکنش ارقام به کمبود آب و تنش آبی، که امروزه چالش اصلی تداوم تولید سیب زمینی در کشور محسوب می شود، توجه کمتری مبذول شده است (Hassanpanah, 2010). حسن پناه (Hassanpanah, 2010) در بررسی تحمل ارقام آگریا، ساوالان، ساتینا، کایزر، کنبک، مارفونا و ساتنه به تنش کم آبی، نتیجه گرفتند رقم کایزر بیشترین تعداد و وزن مینی تیوبر در بوته و متوسط وزن مینی تیوبر را داشت. ارقام کایزر و ساوالان بیشترین تعداد و وزن مینی تیوبر در بوته را در فشار اسمزی ۱- بار و ارقام کایزر و کنبک بیشترین مقدار این صفات را در فشار اسمزی ۲- بار داشتند. در بررسی میزان تحمل ارقام به تنش کم آبی، رقم کایزر (Hassanpanah, 2010) و رقم کنبک (Najafzadeh Asal et al., 2012) به

(Sobhani and Hamidi, 2014; Badarau et al., 2013) می شود. استفاده از ارقام متحمل به تنش کم آبی (Anithakumari et al., 2012; Cabello et al., 2012) و داشتن سیستم ریشه ای قوی (Palta et al., 2011) برای کاهش مصرف آب و جلوگیری از کاهش عملکرد غده موثر می باشد. سیب زمینی نیازمند وجود رطوبت و تهویه مناسب در خاک اطراف ریشه می باشد. کمبود آب، راندمان فتوسنتزی سیب زمینی را کاهش می دهد و باعث کاهش محتوی آب نسبی برگ، شاخص سطح برگ، کاهش تاج پوشش گیاه و کاهش عملکرد نهایی سیب زمینی می شود (Kar et al., 2005). یادوف و بوشان (Yadov and Bushan, 2001) نتیجه گرفتند که در زمان وقوع تنش خشکی محتوای آب نسبی برگ کاهش می یابد و در اثر کاهش آب درون سلولی فشار تورگر کاهش یافته و باعث کاهش عملکرد می شود. رشتبری و همکاران (Rashtbari et al., 2012) گزارش کردند که تنش کم آبی در ارقام مختلف کلزا سبب افزایش معنی دار درصد نشت الکترولیت ها می شود. در سال های اخیر تلاش های زیادی برای تهیه ارقام سیب زمینی متحمل به تنش کم آبی صورت گرفته است. روش های اصلاحی مرسوم وقت گیر بوده و زحمت زیادی می طلبند، بنابراین توسعه روش های غربال سریع برای کوتاه کردن زمان در برنامه های اصلاحی بسیار ضروری می باشد (Gopal and Iwama, 2007). حفظ کلروفیل در شرایط تنش خشکی یکی از شاخص های مهم فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی محسوب می شود (Pessarakli, 1999). به طور معمول متناسب با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ کاهش می یابد (Antolin, et al., 1995). خزایی و کافی (Khazai and Kafi, 2002) نشان دادند که وقوع تنش خشکی در کل فصل رویشی سبب افزایش غلظت کلروفیل برگ ها می شود. همچنین، کافی و رستمی (Kafi and Rostami,

شد. برای کنترل آفت سوسک برگ‌خوار سیب‌زمینی (کلرادو) از آفت‌کش کنفیدور به میزان ۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار و برای پیشگیری از بیماری سفیدک دروغی از قارچ‌کش مانکوزب به مقدار یک کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم در دو نوبت (۵۰ درصد موقع کاشت و ۵۰ درصد در دوره تشکیل غده)، اوره به مقدار ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار در سه نوبت (۲۵ درصد 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) براساس آزمون خاک مصرف شد. برای مبارزه با علف‌های هرز در دو نوبت قبل از غده‌زایی و جین دستی صورت گرفت. اولین آبیاری به صورت کامل و حدود ۱۰ روز پس از کاشت انجام شد. جهت تعیین میزان آب مورد نیاز در آبیاری کامل اولیه از فرمول زیر استفاده شد:

مقدار نیاز آبی گیاه = مساحت کرت × ضریب گیاهی × مقدار تبخیر از سطح تشتک تبخیر × ضریب تشتک

ضریب تشتک برابر ۰/۸ در نظر گرفته شد (Moradi Dalini et al., 2000). بعد از محاسبه نیاز آبی برای آبیاری در حد تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز (آبیاری نرمال)، مقدار آن برای تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز (تنش ملایم) و برای تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز (تنش شدید) تعیین گردید. آب مورد نیاز توسط لوله‌های پی‌وی‌سی به کرت‌ها هدایت شد و حجم آب ورودی به کرت‌ها بعد از عبور از کنتور شمارش‌گر به هر کرت داده شد. آبیاری‌های بعدی با توجه به دور آبیاری انجام شد. به همین منظور به جای تنظیم دور آبیاری بر مبنای تقویم یا برنامه ثابت در طول فصل رشد، دور آبیاری از رابطه زیر بدست آمد:

عنوان ارقام متحمل به تنش کم‌آبی انتخاب شده‌اند. سبحانی و حمیدی (Sobhani and Hamidi, 2014) نتیجه گرفتند که عملکرد غده در شرایط تنش آبی بسیار ملایم، ملایم، شدید و بسیار شدید نسبت به شرایط نرمال به مقدار ۱۶، ۳۵، ۳۷ و ۶۳ درصد کاهش یافت.

با توجه به محدودیت شدید آب مورد نیاز کشاورزی، یکی از روش‌های موثر در کاهش اثرات نگران‌کننده کم‌آبی بررسی واکنش‌های فیزیولوژیکی ارقام مختلف در شرایط کم‌آبی و شناسایی ویژگی‌های مرتبط با تحمل به کم‌آبی و انتقال آن‌ها به ارقام جدید می‌باشد. لذا هدف از اجرای این تحقیق مقایسه برخی صفات فیزیولوژیکی مرتبط با تحمل به خشکی در ۱۰ رقم تجاری سیب‌زمینی آزاد شده طی ۳۰ سال گذشته بوده است.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی دو سال (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) در مزرعه تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل اجرا گردید. آزمایش به صورت اسپلٹ پلات بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. کرت اصلی شامل سه سطح تنش آبی (تامین ۱۰۰ درصد، ۸۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه) و کرت فرعی شامل ۱۰ رقم از ارقام تجاری سیب‌زمینی (خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، سانته، مارفونا، کایزر، آگریا، آتولا و دراگا) معرفی شده در ۳۰ سال گذشته بود. مساحت هر کرت آزمایشی ۲۷ مترمربع (۴/۵ × ۶ متر)، فاصله بین دو ردیف کاشت ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به منظور جلوگیری از نفوذ آب از کرت‌های مجاور به یکدیگر، بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر و بین کرت اصلی ۳ متر به عنوان حاشیه در نظر گرفته شد. مراقبت‌های زراعی برای کلیه تیمارها در طول اجرای آزمایش یکنواخت انجام

$$ETc = ET0 \times Kc$$

ET0 و ETc به ترتیب تبخیر و تعرق پتانسیل و تبخیر و تعرق واقعی گیاه بر حسب میلی متر در روز و Kc ضریب گیاهی مرحله رشدی گیاه می باشد. ضریب گیاهی به نوع محصول، مرحله رشد، فصل رویش و شرایط آب و هوایی بستگی دارد. مراحل رشدی گیاهان به چهار مرحله به شرح زیر تقسیم بندی می شود (Penman, 1971): مرحله ابتدایی رشد: یعنی از زمان کاشت تا هنگامی که گیاه ۱۰ درصد سطح زمین را بپوشاند. مرحله توسعه: از انتهای مرحله ابتدایی تا زمانی که گیاه به حداکثر رشد رسیده و حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد سطح زمین را در برگیرد. مرحله میانی: از انتهای مرحله توسعه تا زمانی که گیاه شروع به رسیدن می کند. مرحله نهایی: از انتهای مرحله میانی تا مرحله برداشت محصول. ضرایب Kc در گیاه سیب زمینی برای مراحل چهار گانه فوق الذکر به ترتیب ۰/۵، ۱/۵۱، ۰/۷۵ و ۰/۶ می باشند (Rasoulzadeh and Raouf, 2013). Re: مقدار بارندگی موثر می باشد که به وسیله یک دستگاه باران سنج مستقر در ایستگاه تحقیقاتی تعیین شد. آمار هواشناسی در دوره آزمایش دو ساله در جدول ۱ ارایه شده است.

محتوای آب نسبی برگ در پنج مرحله رشدی سیب زمینی طبق تقسیم بندی بروکنر و فروبرگ (Bruckner and Frohberg, 1987) بعد از اعمال تنش آبی اندازه گیری شد. این پنج مرحله شامل مرحله سبز شدن، سبز کامل مزرعه، شروع غده زایی، غده زایی و حجیم شدن غده بود. پس از اعمال تیمارهای تنش آبی، میزان نشت الکترولیت ها در پنج مرتبه و با استفاده از دستگاه EC سنج دیجیتالی به روش باجی و همکاران (Bajji et al., 2001) اندازه گیری شد. در این روش، ابتدا برگچه انتهایی سه برگ کاملاً گسترش یافته انتهایی با قیچی بریده و هر

$$I = RAW / (ETc - Re)$$

که در آن I: دور آبیاری (روز)، RAW: مقدار آب سهل الوصول در خاک (میلی متر)، ETc: مقدار تبخیر و تعرق واقعی (میلی متر در روز) و Re: مقدار باران موثر بر حسب میلی متر در روز بودند. RAW از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Penman, 1970 & 1971):

$$RAW = (FC - PWP) Y \times MAD$$

که در آن FC: رطوبت حجمی باقی مانده در ظرفیت زراعی و PWP: رطوبت حجمی باقی مانده در نقطه پژمردگی دائم بودند. به منظور تعیین FC و PWP نمونه های دست نخورده خاک با استفاده از سیلندرهای مخصوص تهیه و در مکش های ۰/۳۳ اتمسفر (برای تعیین FC) و ۱۵ اتمسفر (برای تعیین PWP) رطوبت باقی مانده با استفاده از صفحات فشاری ۱ تعیین شد (Rasoulzadeh and Raouf, 2013). در این رابطه Y: عمق ریشه سیب زمینی می باشد. به علت کم بودن عمق ریشه ها در اوایل رشد، مقدار Y در اوایل رشد پایین است. برای تعیین عمق ریشه، کرت مجزایی (کرت شاهد) در مجاورت زمین آزمایش کشت شد و هفته ای یک بار یک بوته با احتیاط از کرت بیرون آورده شده و عمق ریشه تعیین گردید. پس از رسیدن گیاهان به رشد کامل (مرحله گلدهی) مقدار Y براساس توصیه فائو (Penman, 1971) برابر با ۰/۵ متر در نظر گرفته شد و MAD: ضریب مدیریتی است که بنا به توصیه فائو (Penman, 1971) مقدار آن برای سیب زمینی ۳/۵ در نظر گرفته شد. Etc مقدار تبخیر و تعرق واقعی است که مقدار آن با استفاده از آمار تشتک تبخیر کلاس A از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Ferreira and Goncalves, 2007):

مقادیر ویژه بزرگتر از یک در تجزیه به مولفه های اصلی انجام شد (جدول ۱۳) (Lawley and Maxwell, 1963). همانند سایر روش های کلاستر بندی، روش Ward از یک سری مراحل کلاستر بندی تشکیل می شود که کار را با  $t$  کلاستر که هر یک شامل یک فرد است شروع می کند و با یک کلاستر که شامل تمام افراد است خاتمه می دهد. در هر مرحله، دو کلاستر را که کمترین افزایش در مقدار اندیس  $E$  (که اندیس مجموع مربعات یا واریانس نامیده می شود) را نشان دهند در هم ادغام می کند. در هر مرحله از مراحل کلاستر بندی، تمام ادغام های ممکنه دو کلاستر را انجام می دهد و برای هر کدام مقدار  $E$  را محاسبه می نماید و آنهایی را که دارای کمترین مقدار  $E$  هستند با هم ادغام می کند. به دلیل متفاوت بودن واحدهای اندازه گیری صفات (صفات فیزیولوژیکی و عملکرد غده) و همچنین تفاوت در انحراف معیار صفات با واحد اندازه گیری مشابه، ابتدا داده ها استاندارد و سپس در برنامه طبقه بندی به کار گرفته شدند (Jhonson, 1998).

### نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب میزان محتوی آب نسبی در مراحل مختلف رشد سیبزمینی نشان داد که بین ارقام، سال ها، اثر متقابل رقم در تنش آبی در کلیه مراحل رشد، اثر متقابل رقم در سال در مرحله چهارم رشد و اثر متقابل رقم، تنش و سال در مراحل اول، دوم و سوم رشدی سیبزمینی اختلاف معنی داری وجود داشت (جدول ۲). از لحاظ صفات میزان نشت الکترولیت ها (جدول ۳) و شاخص کلروفیل (جدول ۴) بین سال، سطوح تنش آبی، ارقام و اثر متقابل رقم در تنش آبی در کلیه مراحل رشد اختلاف معنی داری وجود داشت. از لحاظ صفت شاخص کلروفیل نیز بین سطوح مختلف تنش آبی در مراحل اول، دوم، سوم و پنجم رشدی اختلاف

برگچه به صورت جداگانه به داخل کیسه پلاستیکی گذاشته شد و مجموعه نمونه ها در داخل یخدان حاوی یخ به آزمایشگاه انتقال داده شدند. سپس هر برگچه در یک ویال حاوی ۱۵۰ سانتی متر مکعب آب دو بار تقطیر قرار داده شد و پس از گذشت ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه EC متر اندازه گیری و  $EC_1$  تعیین شد. جهت به دست آوردن مقدار کل نشت الکترولیت ها، نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه در داخل اتوکلاو با فشار یک بار و دمای ۱۲۱ درجه سلسیوس قرار داده شدند. سپس نمونه ها از اتوکلاو بیرون آورده شده و در دمای اتاق قرار گرفتند و پس از سپری شدن ۲۴ ساعت هدایت الکتریکی آنها دوباره اندازه گیری ( $EC_2$ ) و در نهایت با استفاده از رابطه زیر درصد نشت الکترولیت ها در هر تیمار اندازه گیری شد.

$$EL\% = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل سنج (SPAD 502, Minolta, Japan) قابل حمل به روش مژدسی و همکاران (Mujdeci, et al., 2011) اندازه گیری گردید. در پایان فصل به منظور تعیین عملکرد غده، در هر کرت آزمایشی کلیه غده های موجود در سطحی معادل ۷/۵ متر مربع (پس از حذف حاشیه ها) به روش دستی برداشت و غده های قابل فروش (غده های با اندازه بزرگتر از ۳۵ میلی متر) در هر نمونه تفکیک و وزن آنها تعیین گردید. بر روی داده های اندازه گیری شده تجزیه واریانس صورت گرفته و میانگین تیمارها با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم افزار SAS 9.1 مقایسه شدند. به منظور گروه بندی ارقام در سه تیمار تنش آبی مورد بررسی، از تجزیه کلاستر به روش Ward و فاصله اقلیدسی با استفاده از نرم افزار Minitab 16 محاسبه گردید. برش کلاسترها بر اساس



آگریا و دراگا و در مرحله پنجم رشد (مرحله حجیم شدن غده) در شرایط تیمار آبیاری ۸۰ درصد آب قابل استفاده (تنش ملایم)، ارقام لوکا، ساتینا، سانتا، مارفونا و آگریا دارای بیشترین مقدار محتوی آب نسبی برگ بودند (جدول ۷). در مرحله چهارم رشد، رقم خاوران در شرایط نرمال و ارقام خاوران، ساتینا و سانتا در شرایط تنش شدید و در مرحله پنجم رشد، ارقام لوکا و دراگا در شرایط نرمال و ارقام ساوالان و سانتا در شرایط تنش شدید دارای بیشترین میزان محتوی آب نسبی برگ بودند و در گروه های بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). در سال ۱۳۹۲، در مرحله اول رشدی، ارقام آگریا و سانتا در شرایط آبیاری نرمال، ارقام خاوران و کایزر در شرایط تنش ملایم و رقم سانتا در شرایط تنش شدید و در سال ۱۳۹۳، ارقام ساتینا، سانتا، آگریا و دراگا در شرایط آبیاری نرمال، ارقام خاوران، ساتینا، کایزر، آئولا و دراگا در شرایط تنش ملایم و ارقام لوکا، ساتینا، سانتا، کایزر، آگریا و آئولا در شرایط تنش شدید دارای بالاترین میزان محتوی آب نسبی برگ بودند (جدول ۸). در مرحله دوم رشدی، به جز ارقام دراگا و لوکا در سال ۱۳۹۲، بقیه ارقام از بیشترین میزان محتوی نسبی آب برگ برخوردار بودند (جدول ۸). در مرحله سوم رشدی (غده‌زایی)، در سال ۱۳۹۲، رقم ساتینا در هر سه شرایط و در سال ۱۳۹۳، رقم آئولا در شرایط آبیاری نرمال، ارقام ساتینا و آگریا در شرایط تنش ملایم و ارقام ساتینا و آئولا در شرایط تنش شدید بالاترین میزان محتوی آب نسبی برگ را داشتند (جدول ۸). براساس بررسی‌های انجام شده، مرحله غده‌زایی حساس‌ترین مرحله سیب‌زمینی به تنش کم‌آبی می‌باشد (Hassanpanah and Akbalo, 2013). متعادل بودن محتوی آب نسبی برگ برای انجام فتوسنتز بسیار حیاتی می‌باشد (Moaddab-Shabstari and Mochtehid, 1990)، زیرا وجود آب

معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). از لحاظ صفت عملکرد غده بین سال، سطوح تنش‌آبی، ارقام و اثرمتقابل تنش آبی در سال، رقم در تنش آبی و سال در رقم اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). بالاترین عملکرد غده در سال ۱۳۹۲ در تیمار آبیاری با تامین ۱۰۰٪ آب مورد نیاز مشاهده گردید. عملکرد غده ارقام در سال ۱۳۹۲ نسبت به سال ۱۳۹۳ بیشتر بود (جدول ۵). براساس جدول ۱ مشاهده می‌شود در سال ۱۳۹۲ میزان بارندگی ۵۵/۴ میلی‌متر بیشتر، میانگین دمای فصل رشد ۲/۱۴ درجه سلسیوس کمتر و میزان تبخیر و تعرق نسبت به سال ۱۳۹۳، ۲۳۲/۵ میلی‌متر کمتر بود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل بالا بودن عملکرد غده در سال ۱۳۹۲، نسبت به سال ۱۳۹۳ میزان بارندگی بیشتر و تبخیر و تعرق و دمای کمتر نسبت به سال ۱۳۹۲ باشد (جدول ۱). بالاترین عملکرد غده مربوط به رقم ساتینا در سال ۱۳۹۲ بود که در گروه a قرار داشت. ارقام خاوران، ساوالان، لوکا و آگریا در گروه b و bc قرار گرفتند و با همدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۶). از لحاظ صفت عملکرد غده ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، سانتا، مارفونا، آگریا و آئولا در شرایط آبیاری نرمال، ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، آگریا و آئولا در شرایط تنش متوسط و ارقام خاوران و ساتینا در شرایط تنش شدید دارای بالاترین مقدار بودند (جدول ۷). در سال ۱۳۹۳، رقم آگریا بالاترین میزان محتوی نسبی آب را دارا بود. رقم خاوران در گروه بعدی قرار داشت. در سال ۱۳۹۲، از نظر میزان محتوی نسبی آب رقم آگریا در گروه b و رقم خاوران در گروه c قرار گرفت (جدول ۶). مقایسه میانگین صفت محتوی آب نسبی برگ در ارقام تحت تیمارهای تنش کم‌آبی در مرحله چهارم رشد (مرحله غده‌زایی) در تیمار آبیاری ۸۰ درصد آب قابل استفاده (تنش ملایم)، ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، سانتا، کایزر،

و این موضوع یکی از دلایل اصلی حساسیت زیاد سیبزمینی به کمبود آب می‌باشد (Van Loon, 1981). کوچکی و همکاران (Kocheki et al., 1993) بیان داشتند در گیاه سیبزمینی هنگامی که محتوی آب نسبی برگ به ۸۵ درصد کاهش یابد، روزنه‌ها بسته می‌شوند. اما رضایی و سلطانی (Rezai and Soltani, 1996) بیان داشتند هنگامی که محتویات آب نسبی به ۹۶ تا ۹۲ درصد کاهش می‌یابد، بسته شدن روزنه‌ها شروع و در ۸۰ تا ۷۶ درصد کاهش کامل می‌شود. تنش خشکی در سورگوم، ذرت دانه‌ای و ارزن مرواریدی سبب کاهش محتوی آب نسبی برگ در این گیاهان شده است (Singh and Singh, 1995). لذا اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ روش مناسبی برای ارزیابی واکنش ارقام متحمل به تنش خشکی ذکر شده است (Schonfeld et al., 1988).

مقایسه میانگین صفت میزان نشت الکترولیت‌ها در سال‌های مورد مطالعه نشان داد که بالاترین مقدار مربوط به سال ۱۳۹۳ بود. در این سال، میزان بارندگی نسبت به سال ۱۳۹۲ کمتر، میانگین دمای فصل رشد پائین‌تر و میزان تبخیر نسبت به سال ۱۳۹۲ بیشتر بود. به نظر می‌رسد یکی از دلایل بالا بودن میزان نشت الکترولیت‌ها در سال ۱۳۹۳، مربوط به شرایط آب و هوایی باشد (جدول ۹).

مقایسه میانگین صفت میزان نشت الکترولیت در ارقام تحت تیمارهای مختلف تنش آبی نشان داد (جدول ۱۰) که در مرحله اول رشد، در شرایط آبیاری نرمال ارقام خاوران و کایزر، در شرایط تنش ملایم ارقام خاوران و مارفونا و در شرایط تنش شدید رقم خاوران؛ در مرحله دوم رشد، در شرایط آبیاری نرمال ارقام ساوالان، لوکا، سانتا، مارفونا، آگریا و دراگا، در شرایط تنش ملایم رقم آگریا و در شرایط تنش شدید ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، دراگا، سانتا، مارفونا و کایزر؛ در مرحله سوم رشد، در شرایط نرمال رقم

کافی برای انجام فتوسنتز امری ضروری است. یکی از مهم‌ترین تاثیرات فیزیولوژیکی تنش خشکی کاهش محتوی آب نسبی برگ و بسته شدن روزنه‌ها است که از طریق ایجاد اختلال در ساخت مواد فتوسنتزی باعث کاهش عملکرد می‌شود. عدم کاهش محتوی آب نسبی برگ در شرایط تنش خشکی معرف تحمل گیاه به تنش خشکی می‌باشد (Ahmadi and Baker, 2000). محتوی آب نسبی برگ نسبت به شرایط اشباع و تورژسانس کامل شاخص مناسبی برای مقایسه رابطه آب گیاه در ارقام مختلف یک گونه و همچنین در بین گونه‌های مختلف گیاهی ذکر شده است (Rahnema, 2009; Kocheki and Banayan, 1994). چون بین محتوی آب نسبی برگ و سرعت تعرق ارتباط وجود دارد، لذا از این ویژگی جهت تعیین تفاوت ارقام از نظر تحمل به خشکی استفاده می‌شود (Kocheki et al., 1993). وُس هدایت روزنه‌ای سیبزمینی نشان داد که بین ارقام مختلف سیبزمینی از نظر هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش خشکی تفاوت وجود دارد. با افزایش تنش خشکی، محتوی آب نسبی برگ‌های گندم کاهش می‌یابد و اندازه‌گیری محتوی آب نسبی برگ روش مناسبی برای انتخاب ارقام متحمل به تنش خشکی می‌باشد (Schonfeld et al., 1988). خزایی و کافی (Khazai and Kafi, 2002) نشان دادند که ارقام حساس به خشکی گندم در شرایط تنش با بستن روزنه‌ها و حفظ آب از محتوی آب نسبی برگ بیشتری برخوردار بوده و در مقابل خشکی از مکانیسم اجتناب از خشکی بهره می‌برند، ولی ارقام نیمه مقاوم و مقاوم عمدتاً به مکانیسم‌های تحملی متکی هستند. در شرایط تعرق شدید یا کمبود شدید رطوبت، محتوی آب نسبی برگ سیبزمینی بیشتر از سایر گیاهان (مثل گوجه‌فرنگی، چچم و ...) کاهش می‌یابد



غده‌زایی تا پایان غده‌زایی دارای کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها بودند. غشای پلاسمایی سلول‌های گیاهی اولین نقطه تاثیر اکثر عوامل تنش‌زا محسوب می‌شود و حفظ انسجام و پایداری این غشاء یکی از مهمترین اجزای تحمل به خشکی محسوب می‌شود (Bajji, et al., 2001; Liang, et al., 2003). در شرایط تنش خشکی، تولید و تجمع گونه‌های فعال اکسیژن نظیر رادیکال‌های سوپراکسید ( $O_3$ )، پراکسید هیدروژن ( $H_2O_2$ ) و هیدروکسیل ( $OH^-$ ) افزایش می‌یابد (Foyer et al., 1998). این ترکیبات به بسیاری از ترکیبات سلولی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و اسیدهای هسته‌ای صدمه می‌زنند و به ویژه با اکسید کردن لیپیدها و پروتئین‌ها (Xu and Guang, 2006) باعث افزایش تراوایی غشای پلاسمایی سلول می‌شوند که به نشت الکترولیت‌های موجود در داخل سلول به بیرون منجر می‌شود (Blum, 1988). به همین دلیل ثبات و پایداری غشای سلولی تحت شرایط تنش خشکی به عنوان یکی از اجزای اصلی تحمل به خشکی تلقی می‌شود. این روش نیاز به تخریب کامل گیاه ندارد و روشی سریع بوده و برای بررسی حجم بزرگی از نمونه‌ها مناسب و برای اندازه‌گیری میزان تحمل گیاهان مختلف به تنش خشکی توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Ishitani et al., 1998). برای بررسی و مقایسه میزان نشت الکترولیت‌ها در ارقام مختلف، باید نمونه‌های برگی تهیه شده از همه آنها از موقعیت یکسان و مرحله رشدی یکسانی تهیه شوند (Takagi et al., 2003). لوی (Levy, 1983) با بررسی واکنش شش رقم از ارقام سیب‌زمینی تحت شرایط گرم و خشک نشان داد که ارقام مقاوم به تنش خشکی مانند رقم دزیره از استعداد تنظیم اسمزی بالاتری برخوردار هستند. موسوی و همکاران (Mosavi et al., 2011) نشان دادند که در گیاه گلرنگ در مرحله رویشی ۱۴

ساتینا، در شرایط تنش ملایم ارقام ساوالان و سانته و در شرایط تنش شدید رقم سانته؛ در مرحله چهارم رشد، در شرایط آبیاری نرمال رقم خاوران، در شرایط تنش ملایم ارقام لوکا و مارفونا و در شرایط تنش شدید ارقام آئولا و دراگا؛ در مرحله پنجم رشد، در شرایط آبیاری نرمال رقم خاوران، در شرایط تنش ملایم ارقام سانته و کایزر و در شرایط تنش شدید رقم مارفونا دارای بیشترین میزان نشت الکترولیت‌ها بودند (جدول ۱۰).

در شرایط آبیاری نرمال کمترین میزان نشت الکترولیت در مرحله اول رشد مربوط به رقم لوکا، در شرایط تنش ملایم مربوط به ارقام سانته و ساتینا و در شرایط تنش شدید مربوط به ارقام مارفونا، ساتینا و لوکا بود. در مرحله دوم رشد، در شرایط آبیاری نرمال کمترین میزان نشت الکترولیت مربوط به رقم ساتینا، در شرایط تنش ملایم مربوط به ارقام آئولا، کایزر و ساتینا و در شرایط تنش شدید مربوط به ارقام آگریا، ساتینا و آئولا بود. در مرحله سوم رشد، در شرایط آبیاری نرمال کمترین میزان نشت الکترولیت مربوط به ارقام آگریا و کایزر، در شرایط تنش ملایم مربوط به ارقام ساتینا و کایزر و در شرایط تنش شدید مربوط به رقم آگریا بود. در مرحله چهارم رشد در شرایط آبیاری نرمال کمترین میزان نشت الکترولیت مربوط به ارقام لوکا، سانته و ساتینا، در شرایط تنش ملایم مربوط به ارقام ساتینا و ساوالان و در شرایط تنش شدید مربوط به ارقام ساوالان و ساتینا بود. در مرحله پنجم رشد در شرایط آبیاری نرمال کمترین میزان نشت الکترولیت مربوط به ارقام آگریا و ساوالان، در شرایط تنش ملایم مربوط به ارقام خاوران و ساوالان و در شرایط تنش شدید مربوط به ارقام سانته، آئولا، دراگا و آگریا بود (جدول ۱۰).

براساس نتایج به‌دست آمده طی دو سال آزمایش، ارقام ساوالان و ساتینا در مرحله شروع

تحقیق حاضر نیز تقریباً در اکثر ارقام مورد بررسی شاخص کلروفیل در اثر تنش آبی کاهش یافت، اما میزان این کاهش در ارقام مختلف متفاوت بود. کافی و رستمی (Kafi and Rostami, 2007) نشان دادند که در شرایط تنش ملایم خشکی شاخص کلروفیل برگ‌های گلرنگ افزایش یافته، ولی با شدت یافتن تنش میزان آن کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد زمان نمونه برداری و نحوه اعمال تنش خشکی در واکنش گیاه و بر غلظت کلروفیل برگ تاثیر می‌گذارد (Ommen and Donnelly, 1999). روشنفکر دزفولی و همکاران (Roshanfekre-Dezfoli *et al.*, 2011) نشان دادند که متناسب با افزایش عدد SPAD در گندم هدایت روزنه‌ای افزایش و با کاهش آن مقدار هدایت روزنه‌ای کاهش می‌یابد. به بیانی دیگر هماهنگ با کاهش غلظت کلروفیل روزنه‌ها بسته شده و نرخ فتوسنتز کاهش می‌یابد. خزایی و کافی (Khazai and kafi, 2002) نشان دادند که وقوع تنش در کل فصل رشد گندم سبب افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌ها می‌شود. باراکلوف و کیت (Barreclough and Kate, 2001) نیز نشان دادند که بروز تنش خشکی در فصل رشد در گندم پاییزه سبب افزایش شاخص کلروفیل در این گیاه می‌شود و نتیجه‌گیری کردند که احتمالاً افزایش غلظت کلروفیل در شرایط تنش خشکی ناشی از کاهش سطح برگ و افزایش غلظت کلروفیل در واحد سطح برگ باشد. اونیل و همکاران (O'Neill *et al.*, 2005) نشان دادند که در ذرت می‌توان با استفاده از میزان فلورسانس کلروفیل در شرایط تنش خشکی هیبریدهای حساس و مقاوم را از یکدیگر تفکیک نمود، زیرا در هیبریدهای متحمل میزان فلورسانس کلروفیل نسبت به هیبریدهای حساس به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

روز پس از گلدهی از نظر میزان نشت الکترولیت بین تیمارهای مختلف تنش آبی تفاوت معنی‌داری وجود دارد و میزان نشت الکترولیت‌ها در تیمار آبیاری کامل کمترین مقدار بود. ضمناً بین ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ نیز از این نظر تفاوت معنی‌داری وجود داشت. مقایسه میانگین صفت شاخص کلروفیل در سال‌های مورد مطالعه نشان داد که میانگین شاخص کلروفیل در ۱۳۹۳ بیشتر از سال ۱۳۹۲ بوده است (جدول ۱۱). مقایسه میانگین صفت شاخص کلروفیل (جدول ۱۲) در ارقام تحت تیمارهای مختلف تنش آبی نشان داد که در مرحله اول رشد، در شرایط آبیاری نرمال ارقام سانتا، کایزر و آتولا؛ در شرایط تنش ملایم رقم مارفونا و در شرایط تنش شدید ارقام خاوران، آگرا و کایزر؛ در مرحله دوم رشد، در شرایط آبیاری نرمال ارقام دراگا و کایزر، در شرایط تنش ملایم ارقام ساتینا و آگرا و در شرایط تنش شدید رقم ساوالان؛ در مرحله سوم رشد، در شرایط آبیاری نرمال رقم ساتینا، در شرایط تنش ملایم رقم ساوالان و در شرایط تنش شدید ارقام ساوالان و ساتینا؛ در مرحله چهارم رشد، در شرایط آبیاری نرمال رقم خاوران، در شرایط تنش ملایم ارقام ساوالان، آگرا و دراگا و در شرایط تنش شدید ارقام دراگا، کایزر، خاوران و ساوالان، در مرحله پنجم رشد، در شرایط آبیاری نرمال ارقام ساتینا و خاوران، در شرایط تنش ملایم رقم ساتینا و در شرایط تنش شدید ارقام ساوالان و دراگا بالاترین شاخص کلروفیل را نشان دادند. محققین معتقد هستند که تداوم فتوسنتز و حفظ کلروفیل در شرایط تنش یکی از شاخص‌های فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی است (Vos and Oyarzum, 1987; Pessarakli, 1999) و کاهش غلظت کلروفیل را در شرایط تنش خشکی به عنوان یک عامل محدود کننده غیرروزنه‌ای در فتوسنتز محسوب می‌کنند (Hashem *et al.*, 1998). در

عملکرد غده، در بقیه مراحل رشد سیبزمینی منفی، در گروه دوم (ارقام کایزر و دراگا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مرحله اول، در بقیه مراحل رشد سیبزمینی مثبت و در گروه سوم (ارقام لوکا، سانته و آگریا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مرحله چهارم، در بقیه مراحل و عملکرد غده منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج فوق، گروه دوم (ارقام کایزر و دراگا) در کلیه مراحل حساس رشد سیبزمینی شامل مرحله غده‌زایی و حجیم شدن غده‌ها بیشترین میزان محتوی آب نسبی و عملکرد غده را در مقایسه با سایر ارقام و میانگین کل داشتند و به عنوان ارقام متحمل به تنش کم آبی در شرایط تنش ملایم از لحاظ صفات میزان محتوی آب نسبی و عملکرد غده انتخاب شدند. در شرایط تنش شدید، در گروه اول ۵ رقم (ارقام خاوران، آئولا، ساوالان، مارفونا و سانته)، در گروه دوم ۲ رقم (ارقام آگریا و دراگا) و در گروه سوم ۳ رقم (ارقام لوکا، ساتینا و کایزر) قرار گرفتند (شکل ۳). در گروه اول (ارقام خاوران، آئولا، ساوالان، مارفونا و سانته) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مراحل سوم و چهارم، در بقیه مراحل رشد سیب زمینی و عملکرد غده مثبت، در گروه دوم (ارقام آگریا و دراگا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مراحل سوم و چهارم و پنجم، در بقیه مراحل رشد سیب زمینی منفی و عملکرد غده مثبت، در گروه دوم (ارقام لوکا، ساتینا و کایزر) قرار گرفتند (شکل ۳). در گروه اول (ارقام خاوران، آئولا، ساوالان، مارفونا و سانته) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مراحل سوم و چهارم، در بقیه مراحل رشد سیب زمینی و عملکرد غده مثبت، در گروه دوم (ارقام آگریا و دراگا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مراحل سوم و چهارم و پنجم، در بقیه مراحل رشد سیب زمینی و عملکرد غده مثبت، در گروه دوم (ارقام لوکا، ساتینا و کایزر) کلیه مراحل رشد سیب زمینی مثبت اما عملکرد غده منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج فوق، ارقام آگریا و دراگا در مرحله حساس‌ترین رشد سیبزمینی یعنی از مرحله غده زایی، بیشترین میزان محتوی آب نسبی و عملکرد غده را در مقایسه با سایر ارقام و میانگین کل داشتند و به عنوان ارقام متحمل به تنش کم‌آبی در شرایط

برای نتیجه بهتر و گروه‌بندی مناسب ارقام از لحاظ میزان محتوی آب نسبی، میزان نشت الکترولیت‌ها و شاخص کلروفیل با عملکرد غده از تجزیه خوشه‌ای با فاصله اقلیدسی و روش Ward استفاده شد. تعداد گروه نمودارهای درختی و برش دندروگرام براساس مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک نتایج حاصل از تجزیه به مولفه‌های اصلی صورت گرفت (جدول ۱۳). در نمودار درختی ۱۰ رقم براساس میزان محتوی آب نسبی در شرایط آبیاری نرمال، تنش ملایم و شدید در ۳ گروه قرار داشتند (شکل های ۱، ۲ و ۳). در شرایط آبیاری نرمال، در گروه اول ۲ رقم (خاوران و ساتینا)، در گروه دوم ۵ رقم (ساوالان، مارفونا، لوکا، آئولا و سانته) و در گروه سوم ۳ رقم (کایزر، آگریا و دراگا) قرار گرفتند (شکل ۱). در گروه اول (ارقام خاوران و ساتینا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل در مراحل اول و دوم رشد سیبزمینی منفی و مراحل سوم، چهارم و پنجم و عملکرد غده مثبت، در گروه دوم (ارقام ساوالان، مارفونا، لوکا، آئولا و سانته) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل در مرحله اول و عملکرد غده مثبت و مراحل دوم، سوم، چهارم و پنجم رشد مثبت و در گروه سوم در کلیه مراحل رشد به جز مرحله دوم منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج فوق، گروه اول (ارقام خاوران و ساتینا) در مراحل حساس رشد سیبزمینی (مراحل سوم، چهارم و پنجم) و عملکرد غده میزان محتوی آب نسبی بیشتری نسبت به سایر ارقام و میانگین کل داشتند. در شرایط تنش ملایم، در گروه اول ۵ رقم (خاوران، ساوالان، ساتینا، آئولا و مارفونا)، در گروه دوم ۲ رقم (ارقام کایزر و دراگا) و در گروه سوم ۳ رقم (ارقام لوکا، سانته و آگریا) قرار گرفتند (شکل ۲). در گروه اول (خاوران، ساوالان، ساتینا، آئولا و مارفونا) انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مرحله اول رشد و

براساس نتایج مشاهده شده، ارقامی که دارای کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها بودند از عملکرد غده کمتری برخوردار هستند و یا برعکس. گروه اول فقط در مرحله پنجم دارای کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها و بیشترین عملکرد غده بودند و در این شرایط به نظر می‌رسد این گروه مناسب‌تر باشند. در شرایط تنش شدید، در گروه اول ۴ رقم (ارقام خاوران، کایزر، سانتا و دراگا)، در گروه دوم ۴ رقم (ساوالان، لوکا، ساتینا و مارفونا) و در گروه سوم ۲ رقم (ارقام آگریا و آئولا) قرار گرفتند (شکل ۶). در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان نشت الکترولیت‌ها در مراحل اول تا چهارم رشد سیب‌زمینی مثبت، در گروه دوم در مراحل اول تا چهارم منفی و عملکرد غده مثبت، در گروه سوم کلیه مراحل به جز مرحله چهارم بقیه مراحل و عملکرد غده منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج مشاهده شده، ارقام ساوالان، لوکا، ساتینا و مارفونا در کلیه مراحل حساس رشد سیب‌زمینی (مرحله شروع مرحله غده‌زایی تا مرحله حجیم شدن غده‌ها)، از کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها و بیشترین عملکرد غده نسبت به سایر ارقام و میانگین کل برخوردار بودند و به عنوان ارقام متحمل به تنش کم‌آبی در شرایط تنش شدید از لحاظ صفات میزان درصد نشت الکترولیت‌ها و عملکرد غده انتخاب شدند. در نمودار درختی ۱۰ رقم براساس شاخص کلروفیل و عملکرد غده در شرایط آبیاری نرمال، در گروه اول ۲ رقم (ارقام خاوران و ساتینا) و در گروه دوم ۸ رقم (ساوالان، مارفونا، آگریا، لوکا، آئولا، سانتا، کایزر و دراگا) قرار گرفتند (شکل ۷). در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان شاخص کلروفیل در کلیه مراحل رشد سیب‌زمینی و عملکرد غده مثبت و در گروه دوم برعکس گروه اول بودند (جدول ۱۴).

تنش شدید از لحاظ صفات میزان محتوی آب نسبی و عملکرد غده انتخاب شدند. در نمودار درختی ۱۰ رقم براساس میزان نشت الکترولیت‌ها به همراه عملکرد غده در شرایط آبیاری نرمال و تنش شدید در ۳ گروه و در تنش ملایم ۲ گروه قرار گرفتند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). در شرایط آبیاری نرمال، در گروه اول ۱ رقم (خاوران)، در گروه دوم ۸ رقم (ارقام ساوالان، لوکا، آگریا، سانتا، مارفونا، آئولا، دراگا و کایزر) و در گروه سوم ۱ رقم (ساتینا) قرار داشتند (شکل ۴). در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان نشت الکترولیت‌ها به جز مرحله دوم، در بقیه مراحل رشد سیب‌زمینی مثبت، در گروه دوم انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مرحله دوم، در بقیه مراحل رشد سیب‌زمینی و در گروه سوم در مراحل اول و سوم رشد و عملکرد غده مثبت و در بقیه مراحل منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج بدست آمده، رقم ساتینا در کلیه مراحل حساس رشد سیب‌زمینی یعنی از شروع مرحله غده‌زایی تا مرحله حجیم شدن غده‌ها دارای کمترین میزان نشت الکترولیت‌ها و دارای بیشترین عملکرد غده نسبت به سایر ارقام و میانگین کل بودند. در شرایط تنش ملایم، در گروه اول ۸ رقم (ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، آگریا، آئولا، سانتا، مارفونا و دراگا) و در گروه دوم ۲ رقم (ساتینا و کایزر) قرار گرفتند (شکل ۵). در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان نشت الکترولیت‌ها به جز مرحله پنجم، در بقیه مراحل رشد سیب‌زمینی و عملکرد غده مثبت و در گروه دوم انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل به جز مرحله پنجم، در بقیه مراحل رشد سیب‌زمینی منفی بودند (جدول ۱۴).

شاخص کلروفیل در مقایسه با سایر ارقام و میانگین کل برخوردار بود و به عنوان رقم متحمل به تنش کم آبی در شرایط تنش شدید انتخاب شد. از لحاظ صفت عملکرد غده ارقام خاوران، ساوالان، لوکا، ساتینا، ساتنه، مرفونا، آگریا و آئولا در شرایط آبیاری نرمال، ارقام خاوران، ساوالان، لوکا و ساتینا در شرایط تنش متوسط و ارقام خاوران و ساتینا در شرایط تنش شدید دارای بالاترین مقدار بودند (شکل ۱۰).

### نتیجه گیری کلی

براساس نتایج، در شرایط آبیاری نرمال ارقام خاوران و ساتینا از محتوای آب نسبی برگ بیشتر، نشت الکترولیت‌های کمتر، شاخص کلروفیل برگ بالاتر و عملکرد غده بیشتر برخوردار بودند. در شرایط تنش ملایم ارقام کایزر، دراگا و خاوران و در شرایط تنش شدید ارقام آگریا و دراگا میزان محتوی آب نسبی برگ بیشتر و عملکرد غده بالاتر داشتند. در شرایط تنش شدید ارقام ساوالان، لوکا، ساتینا و مرفونا دارای میزان نشت الکترولیت‌های کمتر و عملکرد غده بیشتر و رقم ساوالان دارای شاخص کلروفیل بالاتر و عملکرد غده بیشتر بودند و به عنوان ارقام متحمل به تنش کم آبی انتخاب شدند.

در شرایط تنش ملایم، در گروه اول ۲ رقم (ارقام خاوران و کایزر) و در گروه دوم ۸ رقم (ارقام ساوالان، مرفونا، آئولا، لوکا، ساتنه، آگریا، ساتینا و دراگا قرار گرفتند (شکل ۸). در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان شاخص کلروفیل در کلیه مراحل رشد سیب‌زمینی و عملکرد غده مثبت در گروه دوم در کلیه مراحل رشد و عملکرد غده منفی بودند (جدول ۱۴). در شرایط تنش شدید، در گروه اول ۳ رقم (ارقام خاوران، کایزر و دراگا)، در گروه دوم ۱ رقم (ساوالان) و در گروه سوم ۶ رقم (ارقام لوکا، مرفونا، ساتینا، ساتنه، آئولا و آگریا) قرار داشتند (شکل ۹).

در گروه اول انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل از لحاظ صفت میزان شاخص کلروفیل در مراحل رشد اول و چهارم سیب‌زمینی مثبت، در گروه دوم در کلیه مراحل حساس و عملکرد غده مثبت و در گروه سوم کلیه مراحل رشد منفی بودند (جدول ۱۴). براساس نتایج مشاهده شده، رقم ساوالان در کلیه مراحل به ویژه مراحل حساس رشد سیب‌زمینی (مرحله شروع مرحله غده‌زایی تا مرحله حجیم شدن غده‌ها) و عملکرد غده، از بیشترین میزان

جدول ۱- آمار هواشناسی در دوره آزمایش دوساله

Table 1- Weather data in two-year trial period

ماه Month	درجه حرارت Temperature (° C)		رطوبت نسبی Relative humidity (%)		میزان بارندگی Rainfall (mm)		ساعات آفتابی Sunshine		تبخیر Evaporation (mm)	
	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393	1392	1393
اردیبهشت May	11.2	15.3	66.0	60.5	48.1	35.4	247.0	251.9	150.3	173.0
خرداد June	16.1	17.8	67.0	61.0	57.3	24.5	280.1	283.5	168.5	203.3
تیر July	17.5	19.4	63.7	67.0	0.70	12.2	346.9	287.4	214.5	238.1
مرداد August	17.3	19.8	71.0	51.0	16.0	0.4	253.9	335.8	182.6	302.8
شهریور September	18.3	18.8	68.0	65.0	6.4	0.6	275.0	274.4	200.4	231.6
میانگین Mean	16.08	18.22	67.14	60.9	128.5	73.1	1402.9	1433	916.3	1148.8

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس میزان محتوی آب نسبی در مراحل مختلف رشد در ارقام مورد مطالعه طی دو سال آزمایش

Table 2- Analysis of variance for the relative water content at different growth stages in cultivars over two years

منابع تغییر (S.O.V.)		درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)					عملکرد غده Tuber yield
			محتوی آب نسبی مرحله اول رشد RWC1	محتوی آب نسبی مرحله دوم رشد RWC2	محتوی آب نسبی سوم رشد RWC3	محتوی آب نسبی چهارم رشد RWC4	محتوی آب نسبی پنجم رشد RWC5	
سال	Year	1	680.5**	967.3**	1844**	869.6**	3070**	4919.96**
اشتباه ۱	Error 1	2	51.86	16.60	7.473	152.4	397.9	89.06
تنش	Irrigation	2	37.26	23.14	18.26	15.69	30.75	1093.24**
تنش آبی × سال	Irrigation × Year	2	18.07	2.792	18.19	48.53	0.619	79.86*
اشتباه ۲	Error 2	8	48.67	21.81	11.15	36.21	104.9	3.28
رقم	Cultivar	9	59.15**	113.64**	388.5**	2094**	775.7**	111.90**
رقم × تنش آبی	Irrigation × Cultivar	18	115.9**	137.82**	108.35**	117.62**	117.06**	114.82**
رقم × سال	Cultivar × Year	9	15.78	11.47	10.56	382.2**	35.90	172.67**
رقم × تنش آبی × سال	Irrigation × Year × Cultivar	18	115.94**	113.01**	29.476*	80.08	19.46	16.32
اشتباه ۳	Error 3	108	24.42	46.05	18.37	83.03	67.52	26.41
ضریب تغییرات (%)	C.V. (%)		6.64	9.30	6.22	17.98	19.49	18.07

\* , \*\* : معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\* Significant at 5 and 1% level of probability

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس درصد میزان نشت الکترولیت های برگ های ارقام مورد مطالعه سیب زمینی در مراحل مختلف رشد در طی دو سال آزمایش

Table 3- Analysis of variance for the percent electrolyte leakage of potato cultivars leaves at different growth stages over two years

منابع تغییر (S.O.V.)		درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)				
			نشت الکترولیت ها مرحله اول رشد (EC1)	نشت الکترولیت ها مرحله دوم رشد (EC2)	نشت الکترولیت ها مرحله سوم رشد (EC3)	نشت الکترولیت ها مرحله چهارم رشد (EC4)	نشت الکترولیت ها مرحله پنجم رشد (EC5)
سال	Year	1	489.6**	57.37**	144.5**	415.0**	489.6**
اشتباه ۱	Error 1	2	12.45	49.51	48.04	43.12	12.45
تنش	Irrigation	2	132.7**	21.31*	39.76*	53.29**	132.7**
تنش آبی × سال	Irrigation × Year	2	6.370	2.142	5.075	24.60*	6.370
اشتباه ۲	Error 2	8	12.53	3.640	11.53	6.115	12.53
رقم	Cultivar	9	1547**	537.7**	3224**	1803**	1547**
رقم × تنش آبی	Irrigation × Cultivar	18	95.96*	42.68**	73.83**	55.72**	95.96*
رقم × سال	Cultivar × Year	9	21.39	13.72	2.679	13.91	21.39
رقم × تنش آبی × سال	Irrigation × Year × Cultivar	18	9.755	5.268	5.795	15.24	9.755
اشتباه ۳	Error 3	108	24.17	19.43	17.91	16.71	24.17
ضریب تغییرات (%)	C.V. (%)		8.03	5.26	6.12	6.03	8.03

\* , \*\* : معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\* Significant at 5 and 1% level of probability



**جدول ۴-** نتایج تجزیه واریانس میزان شاخص کلروفیل برگ‌های ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی در مراحل مختلف رشد در طی دو سال آزمایش

**Table 4-** Analysis of variance for the chlorophyll indices of leaves of potato cultivars at different growth stages over two years

منابع تغییر (S.O.V.)	درجه آزادی (df)	میانگین مربعات (MS)				
		شاخص کلروفیل مرحله اول رشد SPAD1	شاخص کلروفیل مرحله دوم رشد SPAD2	شاخص کلروفیل مرحله سوم رشد SPAD3	شاخص کلروفیل مرحله چهارم رشد SPAD4	شاخص کلروفیل مرحله پنجم رشد SPAD5
سال Year	1	378.1**	764.1**	536.2**	534.2**	350.2**
اشتباه ۱ Error 1	2	20.20	24.09	10.34	47.00	13.11
تنش Irrigation	2	32.05**	55.85*	65.60**	33.46	30.63*
تنش آبی × سال Irrigation × Year	2	0.157	11.62	0.846	0.380	3.948
اشتباه ۲ Error 2	8	3.240	14.22	7.188	16.53	7.612
رقم Cultivar	9	354.3**	87.42**	78.60**	360.7**	790.4**
رقم × تنش آبی Irrigation × Cultivar	18	13.63*	29.64*	26.16**	74.23**	93.50**
رقم × سال Cultivar × Year	9	7.135	13.30	6.444	23.63*	5.899
رقم × تنش آبی Irrigation × Year × Cultivar	18	3.124	4.315	4.872	10.33	7.350
اشتباه ۳ Error 3	108	7.92	12.90	10.31	10.37	10.82
ضریب تغییرات (%) C.V. (%)		11.45	13.85	11.44	9.63	9.86

\* , \*\* : معنی داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

\* and \*\* Significant at 5 and 1% level of probability

**جدول ۵-** میانگین عملکرد غده در ۱۰ رقم سیب زمینی در سه رژیم آبیاری طی دو سال آزمایش

**Table 5-** Mean tuber yield of 10 potato cultivars in three irrigation regimes during two years

سال Year	رژیم آبیاری Irrigation regimes	عملکرد غده Tuber yield	
2013	آبیاری با تامین ۱۰۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	36.61	a
	آبیاری با تامین ۸۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	34.05	b
	آبیاری با تامین ۶۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	30.36	c
2014	آبیاری با تامین ۱۰۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	28.64	d
	آبیاری با تامین ۸۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	23.18	e
	آبیاری با تامین ۶۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	17.83	f

**جدول ۶-** میانگین عملکرد غده و محتوی آب نسبی برگ در مرحله چهارم رشد ۱۰ رقم سیب زمینی در طی دو سال آزمایش  
**Table 6-** Mean tuber yield and relative water content of 10 potato cultivars at the fourth growth stage during two years

سال Year	ارقام Cultivars	عملکرد غده Tuber yield		محتوی آب نسبی مرحله چهارم رشد RWC4	
2013	Khavaran	37.80	b	62.88	c
	Savalan	33.58	bc	47.39	d-i
	Luca	34.05	bc	50.12	d-g
	Satina	44.26	a	50.92	def
	Sante	31.97	cd	51.43	de
	Marfona	29.94	cde	45.15	d-i
	Caeser	30.58	cde	52.92	d
	Agria	33.68	bc	70.31	bc
	Aula	32.33	cd	48.33	d-i
	Draga	28.50	cdef	49.23	d-i
2014	Khavaran	26.07	efgh	67.16	bc
	Savalan	26.91	defg	45.40	d-i
	Luca	25.59	efgh	33.19	j
	Satina	17.38	j	44.59	d-i
	Sante	24.37	fghi	39.37	h-j
	Marfona	22.80	ghi	52.84	d
	Caeser	22.05	ghij	40.64	f-j
	Agria	20.83	hij	80.57	a
	Aula	26.98	defg	42.32	d-j
	Draga	19.18	ij	38.64	ij

**جدول ۷-** میانگین عملکرد غده و محتوی آب نسبی برگ در مراحل چهارم و پنجم رشدی ۱۰ رقم سیب زمینی در سه رژیم آبیاری  
**Table 7-** Mean tuber yield and relative water content of potato cultivars at fourth and fifth growth stages under three irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation regimes	ارقام Cultivars	عملکرد غده Tuber yield		محتوی آب نسبی مرحله چهارم رشد RWC4		محتوی آب نسبی مرحله پنجم رشد RWC5	
آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	Khavaran	37.0	a	63.94	bcd	44.53	fg
	Savalan	36.3	ab	48.61	efg	38.78	gh
	Luca	33.8	a-d	40.94	ghi	38.39	ghi
	Satina	33.8	a-d	54.69	def	44.61	fg
	Sante	32.1	a-e	47.06	efgh	43.56	fg
	Marfona	31.8	a-f	47.77	efgh	37.9	ghij
	Caeser	27.4	c-i	47.46	efgh	36.92	ghij
	Agria	31.5	a-f	59.22	cde	36.26	ghij
	Aula	34.6	abc	41.5	ghi	32.2	hijk
	Draga	27.5	c-i	38.54	ghijk	40.4	gh
آبیاری با تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	Khavaran	31.2	b-h	67.65	abc	65.18	bcd
	Savalan	29.8	b-h	73.26	ab	58.06	cde
	Luca	29.4	b-h	79.03	a	75.99	a
	Satina	29.6	b-h	57	cde	67.4	abc
	Sante	28.7	c-h	78.59	a	67.25	abc
	Marfona	26.2	e-i	48.24	efg	72.89	ab
	Caeser	27.3	d-i	72.62	ab	57.42	cde
	Agria	29.2	b-h	77.95	a	76.2	a
	Aula	29.5	b-h	47.62	efgh	56.72	de
	Draga	24.7	f-j	73.32	ab	53.96	ef
آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	Khavaran	27.4	c-i	35.26	hijk	31.07	hijk
	Savalan	24.5	f-j	33.79	ijk	37.58	chij
	Luca	26.1	e-i	36.87	chijk	31.24	hijk
	Satina	28.9	c-h	26.85	k	31.82	hijk
	Sante	23.6	hij	26.87	k	37.12	chij
	Marfona	21.0	g-i	28.46	jk	38.67	gh
	Caeser	24.1	ij	43.51	fghi	26.83	jk
	Agria	20.9	f-j	38.34	ghijk	44.53	fg
	Aula	24.8	f-j	33.24	ijk	24.48	k
	Draga	19.1	j	39.68	chij	27.22	ijk

جدول ۸- میانگین محتوی آب نسبی برگ در مراحل مختلف رشدی ۱۰ رقم سیبزمینی در سه رژیم آبیاری طی دو سال آزمایش

**Table 8-** Mean relative water content of 10 potato cultivars at different growth stages under three irrigation regimes during two years

سال Yrar	رژیم آبیاری Irrigation regimes	ارقام Cultivars	محتوی آب نسبی مرحله اول رشد RWC1		محتوی آب نسبی مرحله دوم رشد RWC2		محتوی آب نسبی مرحله سوم رشد RWC3	
2013	آبیاری با ۱۰۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	Khavaran	68.07	i-k	73.35	abc	64.81	i-o
		Savalan	73.80	b-k	70.63	abc	63.82	l-o
		Luca	74.49	b-k	66.99	c	69.12	f-m
		Satina	75.43	b-k	70.14	abc	73.34	c-j
		Sante	76.89	a-j	70.01	abc	67.27	f-n
		Marfona	69.60	g-k	69.81	abc	65.97	g-n
		Caeser	71.47	d-k	73.03	abc	60.57	m-p
		Agria	79.97	a-f	70.39	abc	55.61	p
		Aula	73.34	b-k	68.91	abc	71.45	e-l
	Draga	72.95	c-k	67.05	bc	64.15	k-o	
	آبیاری با ۸۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	Khavaran	80.75	a-e	69.22	abc	64.83	i-o
		Savalan	69.15	h-l	72.07	abc	63.87	l-o
		Luca	60.96	L	70.95	abc	65.39	h-n
		Satina	74.63	b-k	69.36	abc	74.93	a-f
		Sante	69.98	f-l	69.96	abc	68.3	f-m
		Marfona	71.52	d-k	74.2	abc	65.78	g-n
		Caeser	77.88	a-i	70.8	abc	59.08	n-p
		Agria	73.37	b-k	73.4	abc	56.7	op
		Aula	71.41	d-k	70.98	abc	70.92	e-l
	Draga	73.52	b-k	71.44	abc	65.56	g-n	
	آبیاری با ۶۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	Khavaran	68.86	h-l	69.49	abc	65.79	g-n
		Savalan	72.06	c-k	69.83	abc	65.19	h-n
		Luca	74.86	b-k	68.02	abc	64.74	j-o
		Satina	67.24	j-l	69.34	abc	71.39	e-l
Sante		77.05	a-j	70.91	abc	65.78	g-n	
Marfona		70.92	d-k	71.03	abc	63.58	l-p	
Caeser		74.52	b-k	73.85	abc	60.61	m-p	
Agria		68.02	i-l	72.02	abc	61.04	m-p	
Aula		72.83	c-k	69.34	abc	74.28	b-g	
Draga	66.08	kl	71.54	abc	64.24	k-o		
2014	آبیاری با ۱۰۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	Khavaran	71.60	c-k	78.41	abc	70.88	e-l
		Savalan	70.86	d-k	75.92	abc	69.94	e-l
		Luca	75.44	b-k	73.53	abc	72.25	e-l
		Satina	83.20	ab	75.71	abc	73.44	c-j
		Sante	81.74	abc	68.94	abc	73.77	b-h
		Marfona	71.45	d-k	76.63	abc	70.4	e-l
		Caeser	70.60	e-k	73.4	abc	66.21	f-n
		Agria	83.25	ab	77.22	abc	60.73	m-p
		Aula	74.69	b-k	75.52	abc	78.42	a-e
	Draga	79.48	a-g	68.98	abc	71.38	e-l	
	آبیاری با ۸۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	Khavaran	85.82	a	73.68	abc	71.41	e-l
		Savalan	75.33	b-k	81.08	ab	71.42	e-l
		Luca	69.94	f-l	76.18	abc	70.37	e-l
		Satina	76.61	a-j	68.43	abc	81.24	abc
		Sante	75.81	b-k	77.53	abc	72.81	d-k
		Marfona	71.08	d-k	76.09	abc	71.59	e-l
		Caeser	80.77	a-e	69.32	abc	66.81	f-n
		Agria	73.51	b-k	81.96	a	68.96	f-m
		Aula	79.81	a-f	72.42	abc	80.73	a-d
	Draga	81.01	a-d	79.49	abc	69.84	e-l	
	آبیاری با ۶۰٪ آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	Khavaran	72.95	c-k	73.22	abc	73.36	c-j
		Savalan	72.70	c-k	75.91	abc	73.45	c-j
		Luca	76.30	a-j	72.86	abc	64.73	j-o
		Satina	77.39	a-j	74.75	abc	81.67	ab
Sante		78.13	a-i	79.67	abc	71.78	e-l	
Marfona		74.11	b-k	73.3	abc	73.59	c-i	
Caeser		78.31	a-h	78.64	abc	67.12	f-n	
Agria		76.44	a-j	75.48	abc	66.4	f-n	
Aula		79.01	a-h	76.64	abc	82.36	a	
Draga	70.92	d-k	76.24	abc	73.1	c-j		

جدول ۹- میانگین درصد نشت الکتrolیت برگ‌ها در ۱۰ رقم سیبزمینی در مراحل مختلف رشدی در طی دو سال آزمایش

Table 9- Mean percent electrolyte leakage of leaves in 10 potato cultivars at different growth stages during two years

سال Yrar	نشت الکتrolیت‌ها مرحله اول رشد EC1		نشت الکتrolیت‌ها مرحله دوم رشد EC2		نشت الکتrolیت‌ها مرحله سوم رشد EC3		نشت الکتrolیت‌ها مرحله چهارم رشد EC4		نشت الکتrolیت‌ها مرحله پنجم رشد EC5	
2013	32.86	b	59.58	b	83.06	b	68.24	b	66.20	b
2014	35.05	a	62.88	a	84.19	a	70.03	a	69.24	a

جدول ۱۰- میانگین درصد نشت الکتrolیت برگ‌ها در مراحل مختلف رشدی ارقام سیبزمینی در سه رژیم مختلف طی دو سال

Table 10- Mean percent electrolyte leakage of the leaves of potato cultivars at different growth stages under three irrigation regimes during two years

رژیم آبیاری Irrigation regimes	ارقام Cultivars	نشت الکتrolیت‌ها مرحله اول رشد EC1		نشت الکتrolیت‌ها مرحله دوم رشد EC2		نشت الکتrolیت‌ها مرحله سوم رشد EC3		نشت الکتrolیت‌ها مرحله چهارم رشد EC4		نشت الکتrolیت‌ها مرحله پنجم رشد EC5	
آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	Khavaran	83.29	a	71.45	bcde	68.12	efg	64.79	d	52.81	d
	Savalan	72.24	c	76.57	ab	67.65	efg	43.02	g	34.65	ijk
	Luca	65.45	d	73.56	abcd	67.88	efg	39.97	ghi	38.19	fghij
	Satina	75.62	bc	68.89	defg	78.09	d	41.6	g	40.52	efghij
	Sante	72.90	c	73.74	abcd	70.55	e	40.36	gh	40.39	efghi
	Marfona	71.30	c	75.14	abc	68.68	ef	49.14	f	46.35	e
	Caeser	79.33	ab	70.06	cdef	62.94	g	48.74	f	36.07	ghij
	Agria	73.44	bc	77.68	a	62.83	g	55.56	e	33.86	jk
	Aula	75.61	bc	71.7	bcde	65.82	efg	48.1	f	41.8	efg
Draga	77.26	bc	75.46	abc	67.7	efg	49.52	f	42.77	ef	
آبیاری با تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	Khavaran	59.4	e	67.72	efg	78.51	d	64.74	d	40.7	efghi
	Savalan	52.42	f	55.71	h	93.78	a	49.19	f	42.89	ef
	Luca	16.51	klm	64.7	fg	85.78	bc	78.25	ab	56.91	d
	Satina	15.9	m	48.57	i	64.71	fg	48.54	f	67.54	b
	Sante	14.53	m	64.19	g	90.23	ab	55.08	e	78.56	a
	Marfona	57.09	ef	58.26	h	79.72	d	81.76	a	66.8	b
	Caeser	16.89	klm	47.96	i	64.00	fg	60.27	d	76.64	a
	Agria	36.64	g	73.67	abcd	79.48	d	75.18	bc	58.55	cd
	Aula	30.75	gh	47.58	i	79.03	d	74.68	bc	54.11	d
Draga	16.06	lm	68.29	defg	81.45	cd	72.93	c	63.77	bc	
آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	Khavaran	31	gh	29.83	j	26.09	ij	29.07	l	29.64	kl
	Savalan	23.83	ij	24.92	jkl	24.68	ij	21.34	m	34.91	hijk
	Luca	19.92	m	24.37	jkl	26.43	ij	28.18	l	27.73	l
	Satina	17.53	klm	22.56	kl	27.37	i	25.75	lm	31.82	jkl
	Sante	27.31	hi	26.68	jkl	34.53	h	35.23	ij	26.53	l
	Marfona	16.78	klm	27.48	jk	25.72	ij	27.38	l	41.26	efgh
	Caeser	25.78	hij	29.67	j	28.79	i	34.63	jk	34.31	ijk
	Agria	22.22	ijkl	21.38	l	21.54	j	29.95	kl	27.21	l
	Aula	22.7	ijk	22.78	kl	24.96	ij	35.58	hij	26.03	l
Draga	24.72	hij	25.8	jkl	27.43	i	37.97	ghij	27.12	l	

جدول ۱۱- میانگین شاخص کلروفیل برگ‌ها در ۱۰ رقم سیبزمینی در مراحل مختلف رشدی در طی دو سال آزمایش

Table 11- Mean chlorophyll indices of 10 potato cultivar's leaves at different growth stages during two years

سال Yrar	شاخص کلروفیل مرحله اول رشد SPAD1		شاخص کلروفیل مرحله دوم رشد SPAD2		شاخص کلروفیل مرحله سوم رشد SPAD3		شاخص کلروفیل مرحله چهارم رشد SPAD4		شاخص کلروفیل مرحله پنجم رشد SPAD5	
2013	23.12	b	23.87	b	26.32	b	31.69	b	31.97	b
2014	26.01	a	27.99	a	29.77	a	35.17	a	34.76	a

جدول ۱۲- میانگین شاخص کلروفیل در مراحل مختلف رشدی ۱۰ رقم سیب زمینی در سه رژیم آبیاری

Table 12- Mean of chlorophyll indices of leaves of 10 potato cultivars at different growth stages under three irrigation regimes

رژیم آبیاری Irrigation regimes	ارقام Cultivars	شاخص کلروفیل مرحله اول رشد SPAD1		شاخص کلروفیل مرحله دوم رشد SPAD2		شاخص کلروفیل مرحله سوم رشد SPAD3		شاخص کلروفیل مرحله چهارم رشد SPAD4		شاخص کلروفیل مرحله پنجم رشد SPAD5	
آبیاری با تامین ۱۰۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 100% of required water	Khavaran	70.90	cde	71.35	de	69.57	d	63.94	c	44.53	g
	Savalan	71.38	cde	72.87	cde	69.32	d	48.61	f	38.78	ij
	Luca	75.58	ab	70.44	ef	64.73	efg	40.94	g	38.39	ij
	Satina	72.32	bcd	72.04	cde	76.53	c	54.69	e	44.61	g
	Sante	77.32	a	75.29	bcd	68.78	de	47.06	f	43.56	ghi
	Marfona	72.51	bc	72.17	cde	68.58	de	47.77	f	37.9	ij
	Caeser	76.42	a	76.25	abc	63.86	fg	47.46	f	36.92	ijk
	Agria	72.23	bcd	70.75	def	63.72	g	59.22	d	36.26	ijkl
	Aula	75.95	a	72.99	cde	68.32	de	41.5	g	32.2	lmn
Draga	68.50	e	79.89	A	68.67	de	38.54	gh	40.4	hi	
آبیاری با تامین ۸۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 80% of required water	Khavaran	35.31	h	39.79	J	50.95	h	64.64	c	67.05	d
	Savalan	46.39	g	58.62	H	94.58	a	85.44	a	60.58	e
	Luca	18.41	no	66.73	fg	67.67	def	74.14	b	89.07	a
	Satina	27.95	ijk	78.59	ab	63.59	g	49.36	f	66.58	d
	Sante	16.25	o	64.72	G	87.05	b	66.61	c	77.23	bc
	Marfona	68.75	de	58.39	H	78.34	c	74.64	b	80.33	b
	Caeser	24.86	kl	47.99	I	46.53	i	51.12	ef	55.55	f
	Agria	30.58	i	74.75	bcde	88.75	b	86.35	a	75.13	c
	Aula	55.43	f	63.26	G	86.71	b	64.1	c	75.94	c
Draga	17.83	o	71.73	cde	78.84	c	86.85	a	60.69	e	
آبیاری با تامین ۶۰ درصد آب مورد نیاز irrigation with 60% of required water	Khavaran	30.71	i	28.24	kl	27.45	klm	35.8	h	34.49	jklm
	Savalan	23.84	lm	39.34	J	32.35	j	34.93	h	37.08	ijk
	Luca	18.81	no	27.94	kl	24.41	m	25.72	j	31.16	mn
	Satina	19.83	no	23.76	L	32.23	j	26.74	j	32.39	lmn
	Sante	27.91	ijk	25.29	Kl	28.65	jkl	29.65	ij	28.52	no
	Marfona	21.45	mn	28.53	Kl	24.95	lm	26.99	j	33.14	klm
	Caeser	28.23	ijk	26.53	Kl	29.39	jk	37.78	gh	35.67	jkl
	Agria	28.77	ij	27.97	Kl	27.53	klm	25.69	j	25.07	o
	Aula	25.71	jkl	26.69	Kl	26.48	Klm	30.85	i	27.08	o
Draga	26.79	jkl	25.98	Kl	26.12	klm	38.88	gh	37.24	ijk	

جدول ۱۳- مقادیر ویژه تجزیه به مولفه‌های اصلی براساس صفات مورد مطالعه

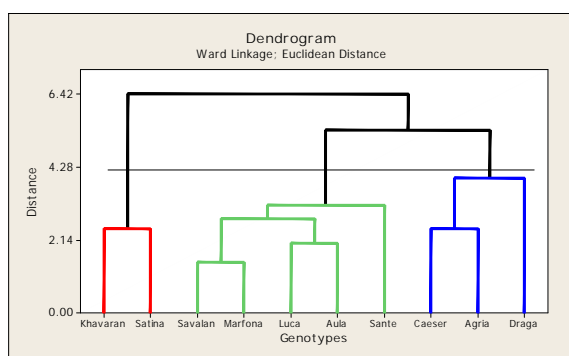
Table 13- Eigenvalue of Principal Component Analysis based on studied traits

رژیم آبیاری Irrigation regimes	محتوی آب نسبی برگ و عملکرد غده			نشست الکترولیت‌های برگ‌ها و عملکرد غده			شاخص کلروفیل و عملکرد غده		
	Relative water content and tuber yield			Electrolyte leakage of leaves and tuber yield			Chlorophyll index and tuber yield		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
آبیاری نرمال Normal	2.502	1.542	1.085	2.280	1.7369	1.09	2.443	1.659	1.027
تنش ملایم Mild	2.143	1.461	1.180	2.305	1.6233	-	2.171	1.295	1.132
تنش شدید Severe	2.375	1.66	-	2.252	1.5532	-	2.117	1.605	1.034

جدول ۱۴- انحراف میانگین ارقام هر گروه از میانگین کل براساس صفات مورد مطالعه

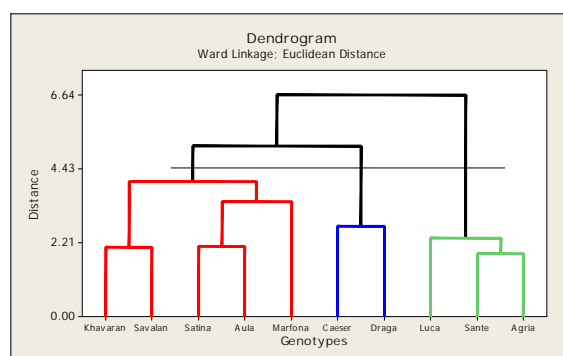
Table 14- Mean deviation of cultivars of each group from total mean based on studied traits

صفت Trait	گروه Cluster	شرایط آبیاری Irrigation condition	مرحله اول (سبز شدن) First growth stage (emergence)	مرحله دوم (سبز شدن کامل) second growth stage (complete emergence)	مرحله سوم (شروع غده زایی) third growth stage (tuberization start)	مرحله چهارم (غده زایی) fourth growth stage (tuberization)	مرحله پنجم (حجیم شدن غده) fifth growth stage (tuber bulking)	عملکرد غده Tuber yield
محتوی آب نسبی برگ Relative water content	اول	آبیاری	-0.60	-0.79	1.30	1.27	1.31	0.87
	دوم	نرمال	0.43	-0.44	-0.07	-0.47	-0.30	0.35
	سوم	Normal	-0.32	1.26	-0.75	-0.07	-0.37	-1.16
	اول	تنش ملایم	0.76	-0.38	-0.16	-0.72	-0.13	0.36
	دوم	Mild	-0.76	0.83	0.87	0.90	0.97	0.28
	سوم	Third	-0.76	-0.28	-0.90	0.45	-1.14	-1.32
	اول	تنش شدید	0.06	0.54	-0.08	-0.49	0.12	0.07
	دوم	Severe	-0.60	-1.25	-0.84	0.26	-0.49	0.76
	سوم	Third	0.76	0.52	1.45	0.84	0.45	-1.33
نشست الکترولیت های برگ ها Electrolyte leakage of leaves	اول	آبیاری	1.78	-0.69	0.02	2.17	2.11	1.36
	دوم	نرمال	-0.25	0.28	-0.30	-0.17	-0.26	-0.22
	سوم	Normal	0.20	-1.58	2.34	-0.84	-0.04	0.38
	اول	تنش ملایم	0.20	0.30	0.40	0.24	-0.23	0.01
	دوم	Mild	-0.82	-1.21	-1.60	-0.95	0.90	-0.06
	اول	تنش شدید	0.92	0.84	0.73	0.71	-0.26	-0.16
	دوم	Severe	-0.84	-0.25	-0.21	-0.93	0.67	0.36
	سوم	Third	-0.16	-1.19	-1.04	0.43	-0.82	-0.39
	سوم	Third	0.76	0.52	1.45	0.84	0.45	-1.33
شاخص کلروفیل Chlorophyll index	اول	آبیاری	-0.60	-0.58	1.30	1.27	1.31	0.87
	دوم	نرمال	0.15	0.15	-0.33	-0.32	-0.33	-0.22
	اول	تنش ملایم	-0.23	-1.56	-1.55	-0.91	-0.91	-0.09
	دوم	Mild	0.06	0.39	0.39	0.23	0.23	0.36
	اول	تنش شدید	0.83	-0.26	-0.11	1.20	0.86	-0.17
	دوم	Severe	-0.34	2.66	1.60	0.71	1.16	0.15
	سوم	Third	-0.36	-0.31	-0.21	-0.72	-0.62	0.06



شکل ۱- گروه بندی ارقام براساس محتوی آب نسبی در شرایط آبی نرمال

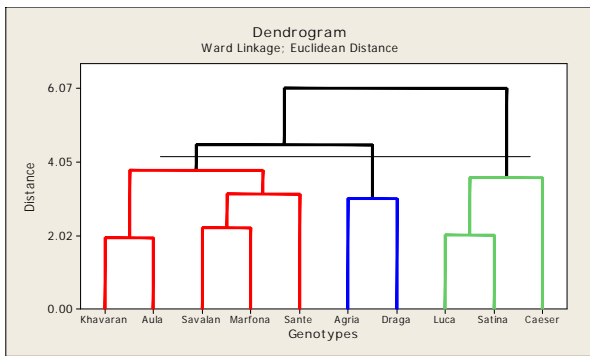
Figure 1- Grouping of cultivars based on the relative



شکل ۲- گروه بندی ارقام براساس محتوی آب نسبی در شرایط تنش آبی ملایم

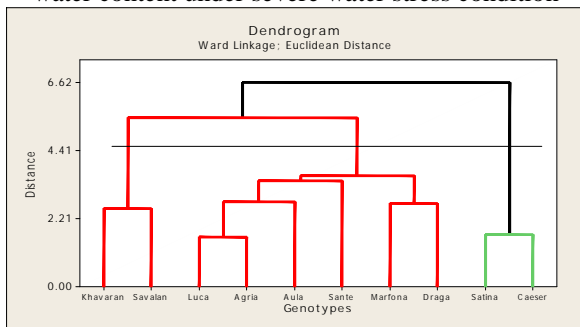
Figure 2- Grouping of cultivars based on the relative





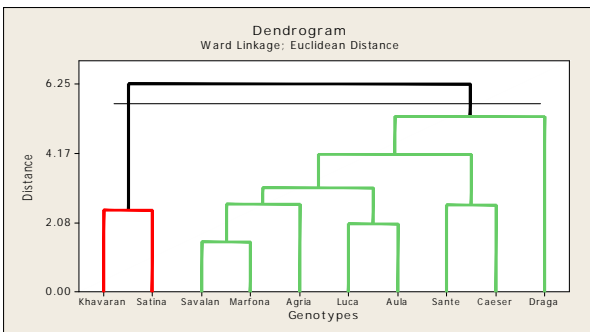
شکل ۳- گروه‌بندی ارقام براساس محتوی آب نسبی در شرایط تنش آبی شدید

Figure 3- Grouping of cultivars based on the relative water content under severe water stress condition



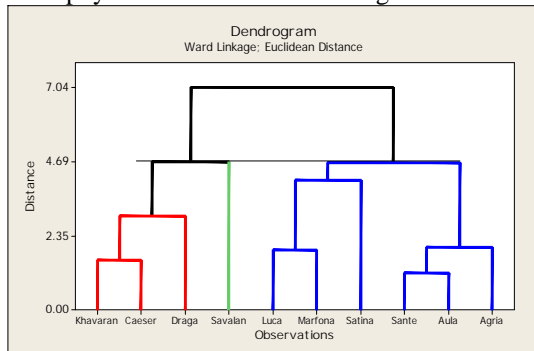
شکل ۵- گروه‌بندی ارقام براساس میزان نشت الکترولیت ها در شرایط تنش آبی ملایم

Figure 5- Grouping of cultivars based on the electrolyte leakage under mild water stress condition



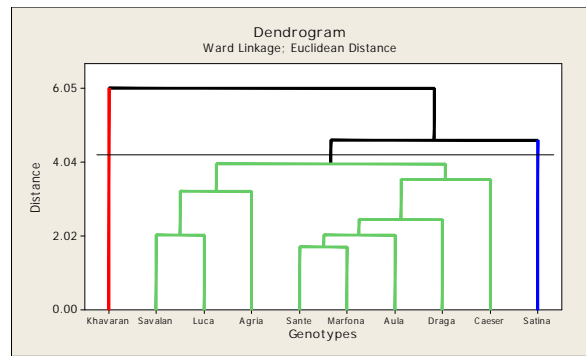
شکل ۷- گروه‌بندی ارقام براساس میزان شاخص کلروفیل در شرایط آبیاری نرمال

Figure 7- Grouping of cultivars based on the chlorophyll index under normal irrigation condition



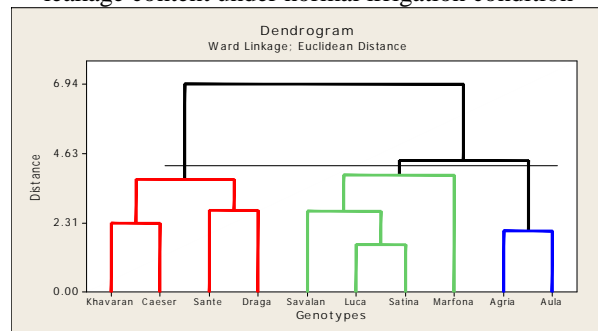
شکل ۹- گروه‌بندی ارقام براساس میزان شاخص کلروفیل در شرایط تنش آبی شدید

Figure 9- Grouping of cultivars based on the chlorophyll index under severe water stress condition



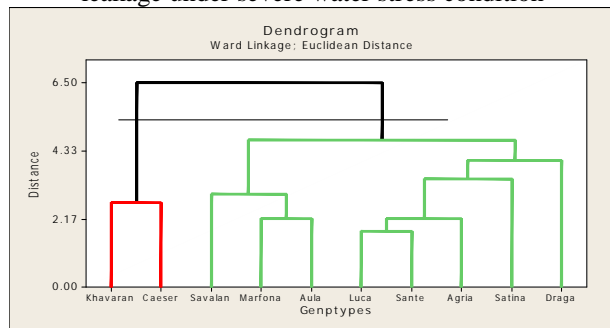
شکل ۴- گروه‌بندی ارقام براساس میزان نشت الکترولیت ها در شرایط آبی نرمال

Figure 4- Grouping of cultivars based on the electrolyte leakage content under normal irrigation condition



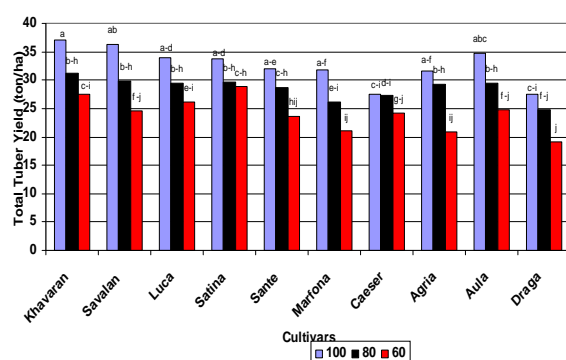
شکل ۶- گروه‌بندی ارقام براساس میزان نشت الکترولیت ها در شرایط تنش آبی شدید

Figure 6- Grouping of cultivars based on the electrolyte leakage under severe water stress condition



شکل ۸- گروه‌بندی ارقام براساس میزان شاخص کلروفیل در شرایط تنش آبی ملایم

Figure 8- Grouping of cultivars based on the chlorophyll index under mild water stress condition



شکل ۱۰- میانگین عملکرد غده ۱۰ رقم سیب زمینی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

Figure 10- Mean tuber yield of 10 potato cultivars under three different irrigation regimes

## References

## منابع مورد استفاده

- Agili, S., B. Nyende, K. Ngamau, and P. Masinde. 2013. *In vitro* evaluation of orange-fleshed sweet potato for drought tolerance using polyethylene glycol. 9<sup>th</sup> Triennial African Potato Association Conference Naivasha, Kenya. 123 pp.
- Ahmadi, E., and A.D. Baker. 2000. Stomat and non-stomat photosynthesis limiting factor under drought stress. *Iranian Journal of Agriculture Research*. 31: 813-825. (In Persian).
- Ahmadzadeh, M., and H. Felenji. 2011. Evaluating diversity among potato cultivars using agro-morphological and yield components in fall cultivation of Jiroft area. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science*. 11: 655-662.
- Allen, E.J., and R.K. Scott. 1980. An analysis of growth of the potato crop. *Journal of Agriculture Science*. 94: 583-606.
- Allen, E.J., and R.K. Scott. 1998. Principles of agronomy and their application in the potato industry. In: Harris, P. (Ed.), *Potato Crop*. Chapman and Hall Ltd, London, pp 816-882.
- Anithakumari, A.M., K.N. Nataraja, R.G.F. Visser, and C.G. van Der Linden. 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quantitative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding*. 30: 1413-1429.
- Anonymous. 2014. Agriculture statistics. Vol. I. Crop plants statistics in 2012-2013. Ministry of Jahade Keshavarzi Iran. 156 pp (In Persian).
- Antolin, M.C., J. Yoller, and M. Sanchez-Diaz. 1995. Effect of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen fixing alfalfa plants. *Plant Science*. 107: 159-165.
- Ashraf, M., and M.R. Foolad. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59: 206-216.
- 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 Bra ov Series II: Forestry & Wood Industry & Agricultural Food Engineering*. 655: 99-104.
- Bajji, M., J.M. Kinet, and S. Lutts. 2001. The use of electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance in durum wheat. *Plant Growth Regulation*. 1: 1-10.
- Barrclough, P.B., and J. Kate. 2001. Effect of water stress on chlorophyll meter reading in wheat. *Plant Nutrition*. 54: 722-724.
- Blum, A. 1988. *Plant breeding for stress environments*. CRC Press. Boca Raton.
- Bruckner, P.L., and E.C. Frohberg. 1987. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. *Science*. 27:31-36.
- 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.
- Carr, M.K.V. 1989. Potato quality control with irrigation. *Water Irrigation Reiew*. 9: 28-29.
- English, M., and S.N. Raja. 1996. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*. 32: 1-14.
- FAO. 2013. Agriculture statistics. Retrived on 14 November 2015 from URL: faostat, fao.org/faostat.
- Ferreira, T.C., and D.A. Goncalves. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potato (*Solanum tuberosum* L.) grown under differential nitrogen treatments in a hot, dry climate. *Agricultural Water Management*. 90: 45-55.

- Foyer, C.H., M. Valadier, A. Migge, and T.W. Becker. 1998. Drought induced effects on nitrate reductase activity, mRNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leave. *Plant Physiology*. 117: 283-292.
- Frusciante, L., A. Barone, D. Carputo, and P. Ranalli. 1999. Breeding and physiological aspects of potato cultivation in the Mediterranean region. *Potato Research*. 42: 265-277.
- Gopal, J., and K. Iwama. 2007. *In vitro* screening of potato against water stress mediated through sorbitol and polyethylene glycol. *Plant Cell Report*. 26: 693-700.
- Guo, Y., L. Xiong. M. Ishitani, and J-K. Zhu. 2002. An Arabidopsis mutation in translation elongation factor 2 causes superinduction of CBF/DREB1 transcription factor genes but blocks the induction of their downstream targets under low temperature. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*. 99: 7786-7791.
- Hashem, A., M.N. Amin Mujadar, A. Hamid, and M.M. Hossain. 1998. Drought stress effects on seed yield, yield attributes, growth, cell membrane stability of synthesized *Brassica napus* L. *Journal of Agronomy and crop Science*. 180: 129-136.
- Hassanpanah, D. 2010a. Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. *Biotechnology*. 92: 164-169.
- Hassanpanah, D. 2010b. Effects of water deficit and potassium humate on tuber yield and yield components of potato cultivars in Ardabil region, Iran. *Research Journal of Environment Science*. 3: 351-356.
- Hassanpanah, D. and H. Akbarlo. 2013. Cultivation and processing of edible and seed potatoes. Danesh Neghar. 224 pp.
- Hassanpanah, D., K. Nikshad, and M. Hassani. 2008. Potato tuber production. Jahade Keshavarzi Ardabil. Extension Bulletin No. 34. (In Persian).
- Ierna, A., and G. Mauromicale. 2012. Tuber yield and irrigation water productivity in early potatoes as affected by irrigation regime. *Agricultural Water Management*. 115: 276-284.
- Ishitani, M., L. Xiong, H. Lee, B. Stevenson, and J.K. Zhu. 1998. HOS1, a genetic locus involved in cold responsive gene expression in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Cell*. 10:1151-1161.
- Jhonson, E.D. 1998. Applied multivariate methods for data analysis. Kansas State University. 567 pp.
- Kafi, M., and M. Rostami. 2007. The effect of drought stress at reproductive stage on yield, yield components and percent oil of three safflower genotypes under saline water irrigation. *Iranian Journal of Field crop Research*. 5: 121-131. (In Persian).
- Kar, M., B.B. Patro, C.R. Sahoo, and B. Hota. 2005. Traits related to drought resistance in cotton hybrids. *Indian Journal of Plant Physiology*. 10: 377-380.
- Khazaie, H., and M. Kafi. 2002. Studying the effect of the amount of water and stomatal conductance on wheat resistance to drought and their relationship with the yield under the field and greenhouse conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 16: 115-123. (In Persian).
- Kocheiki, E., and M. Banayan Aval. 1994. Yield physiology of agricultural plants. Jahade Daneshgahi Mashhad (In Persian).
- Kocheiki, M., M. Hosseini, and M. Nasirimahalati. 1993. Soil, water relationship in crop. Jahade Daneshgahi Mashhad Prees. 560 pp. (In Persian).
- Lawley, D.N., and A.E. Maxwell. 1963. Factor analysis: as a statistical method. Butterworths, London. 453 pp.

- Levy, D. 1983. Varietal differences in response of potatoes to repeated short periods of water stress in hot climates. I. Turgor maintenance and stomatal behavior. *Potato Research*. 26:303-313.
- Liang, Y.C., Q. Liu, W. Zhang, and R. Ding. 2003. Exogenous silicone (Si) increases antioxidant enzyme activity and reduces lipid peroxidation in roots of salt-stressed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Physiology*. 99: 872-878.
- Moaddabe-shabstari, M., and M. Mochtahedi. 1990. Physiology of field crops. Tehran University Press. 715 pp. (In Persian).
- Moradi-Dalini, A., M.R. Neishabori, S. Jahanbakhsh-Asl, and A.A. Jaafarzadeh. 2000. Determination of class A evaporation pan coefficient under different installation conditions and its comparison with the FAO recommended values. *Journal of Soil and Water*. 4: 164-175. (In Persian).
- Mosavi, B.A., M.E. Behdai, M. Jamielahmadi, and M.S. Hosseini-bejed. 2011. Variation of chlorophyll index, relative water content, electrolyte leakage and yield on three spring genotypes of *Carthamus tinctorius* under episodic irrigation. *Iranian Journal of Field Crop Research*. 9: 525-534. (In Persian).
- Mujdeci, M., H. Senol, T. Cakmaker, and P. Celikok. 2011. The effects of different soil water matric suctions on stomatal resistance. *Journal of Food, Agriculture and Enviroment*. 9: 1027-1030. (In Persian).
- Najafzadeh, S., and A. Ehsanpour. 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*. 2: 70-81.
- Ommen, O., and E. Donnelly. 1999. Chlorophyll content of spring wheat flag leaves grown under elevated Co2 concentrations and other environmental stresses within the ESPACE wheat project. *European Journal of Agronomy*. 10: 197-203.
- O'Neill, P.M., J.F. Shanahan, and J.S. Schepers. 2005. Use of chlorophyll fluorescence assessments to differentiate corn hybrid response to variable water conditions. *Crop Science*. 46: 681-987.
- 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.
- Penman, H.L. 1970. Woburn irrigation, 1960-8.IV. Design and interpretation. *Journal of Agricultural Science*. 75: 69-73.
- Penman, H.L. 1971. Irrigation at Woburn. Report of Rothamested Experiment Station for 1970. Part II. pp 147-170.
- Pessarakli, M. 1999. Handbook of plant and crop stress. Marcel Dekkor Inc. 697 pp.
- Rahmati, H.M., M. Farshadfar, M. Amjadian, and A. Veismoradi. 2010. Elevated tolerance of field crop to water deficiency. National Congress on Agriculture Achievements. Azad University Varamin Branch, 14-15 September 2011. (In Persian).
- Rahnema, A., E. Ahmadi, N. Khodabandeh, and A. Bankesaz, 2009. Drought effects on the physiological indicies of the corn (*Zea mays* L.) in different growth stages. *Iranian Journal of Plant Sciences*. 38: 141-150. (In Persian).
- Ranalli, P., M. di Candilo, and M. Bagatta. 1997. Drought tolerance screening for potato improvement. *Plant Breeding*. 116: 290-292.

- Rashtbari, M., H.A. Alikhani, and M. Ghorchiani. 2012. Effect of vermicompost and municipal solid waste compost on growth and yield of canola under drought stress conditions. *International Journal of Agricultural Resaerch and Review*. 2(4): 395-402.
- Rasoulzadeh, A., and M. Raof. 2012. Principles and methods of irrigation. Amidi Pub. Tabriz. 285 pp. (In Persian).
- Rezai, E.M., and A. Soltani. 1996. Potato production. Jahade Daneshgahi Mashhad. 179 pp. (In Persian).
- Roshanfekre-Dezfuli, H., M. Nabipour, F. Moradi, and M. Mesgarbashi. 2011. The effect of temperature on stomatal conductance and chlorophyll contents of wheat. *Plant Production*. 34: 39-52. (In Persian).
- Schittenhelma, S., H. Sourell, and F.J. Lopmeierc. 2006. Drought resistance of potato cultivars with contrasting canopy architecture. *European Journal of Agronomy*. 24: 193-202.
- Schonfeld, M.A., R.C. Johnson, B.F. Carver, and D.W. Mornhinwag. 1988. Water relations in winter wheat as drought resistance indicators. *Crop Science*. 28: 526-531.
- Shao, H.B., L.Y. Chu, Z.H. Lu, and C.M. Kagn. 2008. Primary antioxidant free radical scavenging and redox signaling pathways in higher plants. *Intenational Journal of Biological Science*. 2: 8-14.
- Shariat, A., and M.H. Assareh. 2008. Effects of drought stress on pigments, prolin, soluble sugars and growth parameters on four *Eucalyptus* species. *Pajouhesh and Sazandegi*. 78: 139-148 (In Persian).
- Sharma, A.K., E.P. Venkatasalam, and R.K. Singh. 2011. Micro-tuber production behaviour of some commercially important potato *Solanum tuberosum* cultivars. *Indian Journal of Agricultural Science*. 12 1008-1013.
- Singh, B.R., and D.P. Singh. 1995. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. *Field Crop Research*. 42: 57-67.
- 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.
- Takagi, T., M. Nakamura, H. Hayashi, R. Inatsugi, R. Yano, and I. Nishida. 2003. The leaf order dependent enhancement of freezing tolerance in cold acclimated *Arabidopsis rosettes* is not correlated with the transcript levels of the cold-inducible transcription factors of CBF/DREB1. *Plant and Cell Physiology*. 44: 922-931.
- van Loon, C.D. 1981. The effect of water stress on potato growth, development and yield. *American Potato Journal*. 58: 51-69.
- Vos, J. 1986. Research on water relation and stomatal conductance in potatoes. 2. A comparison of three varieties differing in drought tolerance. In: Beekman, A.G.B., K.M. Louwes, L.M. Dallaert and A.F.W. Neele (eds), *Potato Research of Tomorrow*. Wageningen. pp 29-35.
- Vos, J., and P.J. Oyarzum. 1987. Photosynthesis and stomatal conductance of potato leaves, effects of age, irradiance and leaf water potential. *Photosynthis Research*. 11: 253-264.
- Xu, Z.Z., and S. Guang. 2006. Combined effects of water stress and high temperature on photosynthesis, nitrogen metabolism and lipid peroxidation of perennial grass, *Leymus chinensis*. *Planta*. 224: 1080-1090.
- Yadav, R.S., and C. Bhushan. 2001. Effect of moisture stress on growth and yield in rice genotypes. *Indian Journal of Agricultural Research*. 2: 104-107.



## Evaluation of Water Deficit Tolerance of 10 Potato Cultivars Based on some Physiological Traits and (*Solanum tuberosum* L.) Tuber Yield in Ardabil Region

Alireza Nouri<sup>1</sup>, Ahmad Nezami<sup>2\*</sup>, Mohammad Kafi<sup>2</sup>, and Davoud Hassanpanah<sup>3</sup>

Received: June 2014, Revised: 24 November 2015, Accepted: 16 February 2016

### Abstract

This research was conducted to study the physiological traits affecting the yield of 10 different potato cultivars under water deficit conditions in a two-years study (2013 and 2014) in Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Station. The study was performed in a split plot experiment based on randomized complete block design with three replications. The main-plots were three levels of irrigations (irrigation with 100%, 80% and 60% required water) and sub-plots consisted of 10 commercial potato cultivars (Khavaran, Savalan, Luca, Satina, Sante, Marfona, Caesar, Agria, Aula and Draga) released in the last 30 years. During the growing season, some physiological traits including relative water content, electrolyte leakage and chlorophyll content of the leaves were measured at their five different growth stages. Combined analysis of variance of traits showed that there were significant differences cultivars between years, and cultivars  $\times$  water deficit stress interaction in all growth stages in terms of relative water content, electrolyte leakage, chlorophyll content and tuber yield. In terms of electrolyte leakage and chlorophyll content of the leaves, there were significant differences between years, different water stress levels, cultivars and cultivars  $\times$  water stress level. In addition, in terms of tuber yield there were significant differences between years, water stress levels, cultivars and year  $\times$  water stress level, cultivar  $\times$  water stress level, cultivar  $\times$  year. There were significant differences in chlorophyll content of the leaves under different irrigation conditions in the first, second, third and fifth growth stages of the potato. According to the results, under normal irrigation condition, cultivars Khavaran and Satina had higher relative water content, lower electrolyte leakage, higher chlorophyll content of the leaves and higher tuber yield. Under mild water stress condition, cultivars Caesar, Draga and Khavaran and under severe stress condition, cultivars Agria and Draga maintained higher relative water content and higher tuber yield; whereas cultivars Savalan, Luca, Satina and Marfona showed lower electrolyte leakage and higher tuber yield; and cultivar Savalan showed the highest chlorophyll content of the leaves and higher tuber yield under severe stress condition and thus were selected as tolerant cultivars to water deficit conditions.

**Key words:** Chlorophyll content, Electrolyte leakage, Potato cultivars, Relative Water Content.

1- Ph.D. Student, International Branch of Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Horticulture Crops Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research Centre, AREEO, Ardabil, Iran

\* Corresponding Author: nezami@um.ac.ir