

مطالعه تأثیر تنش آبی و مقادیر مختلف کود پتاسیم بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت سیبزمینی

Effects of Water Stress and Different Potassium Levels on Yield, Water Use Efficiency and Harvest Index in Potato

علی‌رضا سبحانی^۱ و حسن حمیدی^{۲*}

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۴/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۶

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش آبی و کود پتاسیم بر عملکرد، اجزای عملکرد، کارایی مصرف اقتصادی (EWUE) و بیولوژیک آب (BWUE) و شاخص برداشت (HI) سیبزمینی رقم آئولا از روش آبیاری نشتی با فواصل متفاوت آبیاری استفاده شد. این تحقیق با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در کرت‌های اصلی سه تیمار تنش آبی شامل آبیاری پس از ۱۰۰ (تنش ملایم) و ۱۳۰ (تنش شدید) میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A به همراه شاهد (بدون تنش) و در کرت‌های فرعی پنج سطح کود پتاسیم شامل ۰، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار اعمال گردید. در سطوح بالای تنش آبی (تنش شدید)، میزان عملکرد، تعداد غده در هر بوته، متوسط وزن غده، ماده خشک غده و کل گیاه، HI و EWUE کاهش ولی BWUE افزایش یافت. بیشترین BWUE و EWUE به ترتیب به میزان ۸۹۳ و ۶۳۱/۱ گرم در مترمکعب در شرایط تنش ملایم مشاهده شد. در حالی که بیشترین مقادیر مربوط به سایر صفات مورد مطالعه در شرایط بدون تنش حاصل شد. همچنین مقدار کلیه صفات مورد بررسی در اثر مصرف بیشتر پتاسیم اضافه گردید. به طوری که بالاترین عملکرد (۲۳/۶۲ تن در هکتار)، متوسط وزن غده (۳۹/۸۹ گرم)، ماده خشک غده (۶/۳۸ تن در هکتار) و کل گیاه (۸۷۱/۶۰ گرم در مترمربع)، HI (۷۱/۲ درصد)، BWUE (۸۷۱/۱ گرم در مترمکعب) و EWUE (۶۱۷/۴ گرم در مترمکعب) در تیمار ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، آئولا، اکسید پتاسیم، کارایی مصرف بیولوژیک آب

۱ و ۲. به ترتیب عضو هیئت علمی و کارشناس ارشد بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی،

مشهد، ایران

Email: Hamidy1065@yahoo.com

*: نویسنده مسئول

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) با پتانسیل تولید حدود ۳۲۷ میلیون تن و سطح زیر کشت ۱۸/۶ میلیون هکتار جایگاه بسیار مهمی در کشاورزی جهان دارد (آتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). براساس آمارنامه کشاورزی در سال ۸۹-۱۳۸۸، سطح زیرکشت سیب‌زمینی در ایران ۱۴۶۳۰۳ هکتار، میزان کل تولید محصول ۴۲۷۴۴۹۰ تن و میانگین عملکرد حدود ۲۹/۵ تن در هکتار بوده است که استان خراسان رضوی با سطح زیر کشت ۵۸۱۶ هکتار در جایگاه هشتم قرار دارد.

باتوجه به محدودیت منابع آب در ایران، اعمال تنش آبی یا کم آبیاری بر روی بعضی از محصولات زراعی امری اجتناب‌ناپذیر است. کم آبیاری یکی از روش‌های مدیریتی آبیاری می‌باشد و عبارت است از یک تکنیک فنی و مهندسی جهت تأمین بخشی از آب مورد نیاز گیاهان، به طوری که حداکثر استفاده از واحد حجم آب (در شرایط کمبود منابع آب) و یا از واحد اراضی (در شرایط محدودیت زمین) به‌دست آید و نهایتاً حداکثر سود حاصل شود. اگرچه نتیجه کم آبیاری کاهش عملکرد در واحد سطح است، اما کارایی مصرف آب (محصول به‌دست آمده به ازای واحد آب مصرفی)، کارایی آبیاری و سود خالص افزایش و هزینه‌های تولید کاهش می‌یابد (شایان‌نژاد و محرری، ۱۳۸۹).

کمبود رطوبت باعث زودرسی محصول و کاهش کل وزن تر و ماده خشک سیب‌زمینی می‌شود (کارافیلیدیس^۲ و همکاران، ۱۹۹۶). برخی مطالعات نشان داده است که کاهش رطوبت به‌طور معنی‌داری وزن خشک غده و کل گیاه را کاهش داده اما روی شاخص برداشت^۳ تأثیری ندارد (دماگنت^۴ و همکاران، ۱۹۹۶). علاوه بر این تعادل مطلوب بین زمان تشکیل غده و رسیدن به یک سایه‌انداز^۵ نسبتاً بزرگ و بادوام طولانی برای عملکرد مناسب تحت شرایط رطوبت کم در محیط‌های گرم، مهم می‌باشد. همچنین کاهش تولید ناشی از محدود شدن رشد سایه‌انداز گیاه و پیری زودرس در اثر کمبود رطوبت می‌باشد (دماگنت و همکاران، ۱۹۹۶). افزایش میزان آب باعث بالا رفتن تولید ماده خشک غده می‌گردد. در آبیاری ۷۴ تا ۵۰۶ میلی‌متر تولید ماده خشک غده از ۴/۲ تا ۱۱/۵ تن در هکتار افزایش پیدا می‌کند (شیمشی و سانسوشی^۶، ۱۹۸۵). افزایش آبیاری از ۷۴ تا

۱۴۶ میلی‌متر باعث کاهش ماده خشک غده از ۲۶/۱ به ۲۳/۵ درصد می‌گردد (بورتون^۷، ۱۹۸۹).

عوامل مختلفی مانند آب و عناصر غذایی بر روی تولید ماده خشک سیب‌زمینی اثر می‌گذارند. بالاترین عملکردی که در رقم دزیره به‌دست آمده است ۱۲/۳ تن ماده خشک غده در هکتار می‌باشد که ۶/۲ تن آن مربوط به قسمت‌های هوایی بوده است. این نتیجه در شرایط آبیاری کافی و در منطقه نیمه‌خشک ارائه‌شده است (بورتون، ۱۹۸۹). کل ماده خشک تولیدی که به میزان ۱۲۳۱۹ کیلوگرم در هکتار به‌دست‌آمده است، ۲۵ درصد آن مربوط به قسمت‌های هوایی و ریشه و ۷۵ درصد آن سهم غده‌ها می‌باشد (بوکما و واندرزاگ^۸، ۱۹۹۰).

یوان^۹ و همکاران (۲۰۰۳) با بررسی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی نشان دادند که با افزایش میزان مصرف آب از ۲۵ درصد تبخیر از تشتک تبخیر به ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد، عملکرد غده از طریق افزایش تعداد و میانگین وزن غده افزایش یافت.

در تحقیقی که جهت بررسی تأثیر تنش خشکی بر شاخص برداشت در سیب‌زمینی انجام شد گزارش گردید تنش تأثیری بر شاخص برداشت ندارد ولی وزن خشک غده و کل گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (دماگنت و همکاران، ۱۹۹۶). اخوان و همکاران (۱۳۸۴) گزارش کردند که با افزایش مقدار آب آبیاری از ۷۵ تا ۱۲۵ درصد تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A، عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی افزایش می‌یابد. مطالعه اثر تنش خشکی بر هشت رقم سیب‌زمینی نشان داد که تنش در مراحل اولیه و حیاتی رشد به‌شدت باعث کاهش عملکرد غده گردید و در اثر کمبود آب، تعداد غده در ساقه و متوسط وزن غده کاهش یافت (لینچ^{۱۰} و همکاران، ۱۹۹۵).

کارایی مصرف آب (WUE) از خصوصیات مهم فیزیولوژیکی به‌منظور بیان توانایی گیاه در مقابله با تنش آب است. WUE از تقسیم میزان تبادل CO₂ و یا تجمع ماده خشک بر آب از دست رفته از طریق تعرق به‌دست می‌آید. متداول‌ترین روش برای محاسبه WUE عبارت است از تقسیم تجمع ماده خشک بر آب از دست رفته به‌صورت تبخیر و تعرق (ناخدا، ۱۳۷۵). رطوبت هوا، مقدار CO₂، درجه حرارت، تشعشع و قابلیت دسترسی آب در خاک و عوامل گیاهی بر روی میزان WUE تأثیر می‌گذارند (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). هر عاملی که

1. Ati
2. Karafyllidis
3. Harvest Index (HI)
4. Demagante
5. Canopy
6. Shimshi and Susnoschi

7. Burton

8. Beukema and Vander Zaag

9. Yuan

10. Lynch

کامل با کاربرد روزانه به دست آمد (نگاز^۴ و همکاران، ۲۰۰۷). افزایش کارایی مصرف آب در هر نوع سیستم آبیاری خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک که آب کمیاب است، از اهمیت بیشتری برخوردار است (نوالا^۵، ۱۹۹۱). افشار و همکاران (۱۳۹۰) با بررسی تأثیر تنش آبی بر کارایی مصرف آب در سیب زمینی نشان داد که با اعمال تنش آبی به اندازه ۷۵ درصد نیاز آبی، کارایی مصرف آب افزایش و با ادامه تنش کارایی مصرف آب به دلیل کاهش عملکرد، کاهش یافت.

مطالعه واکنش ارقام مختلف سیب زمینی به مقادیر متفاوت آب مصرفی (سه سطح آبیاری ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی متر) نشان داده است که آبیاری به میزان ۴۰۰ میلی متر، باعث کاهش ماده خشک ریشه، غده و قسمت هوایی گیاه، شاخص برداشت و عملکرد غده می گردد (حمزه ای و همکاران، ۱۳۸۴). افزایش کارایی مصرف آب باعث افزایش شاخص برداشت، کاهش تبخیر و تعرق نسب به تعرق، کاهش میزان ماده خشک ریشه و کاهش تعرق می گردد (هول^۶ و همکاران، ۱۹۹۶).

پتاسیم به خاطر داشتن نقش مکمل با سایر عناصر غذایی پرمصرف نظیر ازت، فسفر و کلسیم و نیز اثر مثبت بر فرایند تنظیم اسمزی ریشه و اندام های هوایی گیاه با شرایط نامساعد خاک و اتمسفر از جمله شوری و خشکی، سبب جذب بیشتر آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه شده و عملکرد افزایش می یابد. به موازات تأمین عناصر غذایی با مصرف کود برای محصولات زراعی پرتوقع، مقدار پتاسیم خاک تکافوی نیاز فیزیولوژیک بهینه گیاه را نموده و مصرف کود پتاسه را ایجاب می نماید (قنبری و همکاران، ۱۳۸۶). پتاسیم تقریباً در تمام فرایندهای متابولیسمی گیاه نقش دارد. همچنین نقش مهمی در فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات ها، احیای نیترات و کمک به مصرف یون های آمونیوم در ساخت اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین دارد. در تعادل عناصر غذایی و افزایش غده بندی و جذب ازت و فسفر در گیاه نیز مؤثر می باشد (خان و همکاران، ۱۹۹۱).

قنبری و همکاران (۱۳۸۶) گزارش کردند که در منطقه میانه با افزایش مصرف کود سولفات پتاسیم، عملکرد غده، تعداد و وزن خشک غده سیب زمینی در دو رقم آگریا و ساتینا افزایش یافت. حسینی و همکاران (۱۳۸۸) با مطالعه اثر هومات پتاسیم بر عملکرد و اجزاء عملکرد سه رقم سیب زمینی در منطقه اردبیل تحت شرایط نرمال و کم آبی نشان دادند که تأثیر سطوح آبیاری بر عملکرد و تعداد غده در بوته معنی دار بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، صفات مذکور به طور

عملکرد را افزایش دهد کارایی مصرف آب را زیاد می کند و همچنین هر عاملی که تبخیر و تعرق را کاهش دهد و تأثیر نامطلوبی بر عملکرد نداشته باشد کارایی مصرف آب را افزایش می دهد. بسیاری از گونه هایی که می توانند کمبود شدید آب را تحمل کنند موقعی که آب برای آنها فراهم است از آن به طور مؤثری استفاده نمی کنند. برخی از گونه ها که نسبت به کمبود شدید آب سازگاری پیدا کرده اند حتی در حضور تنش دارای WUE متوسطی هستند (ناخدا، ۱۳۷۵).

بررسی اثرات تنش خشکی بر روی سیب زمینی نشان داده است که کاهش میزان آب آبیاری (کم آبیاری) باعث افزایش WUE می گردد (مک کرن و جفریز^۱، ۱۹۹۴). همچنین کارایی مصرف آب در مناطق مرطوب بیشتر از مناطق خشک می باشد (مک کرن و جفریز، ۱۹۹۴). تحقیقات خان^۲ و همکاران (۱۹۹۱) نیز نشان دهنده این است که در شرایط آبیاری به میزان کافی، میزان WUE افزایش می یابد؛ اما در شرایط تنش آبی میزان کارایی مصرف آب کاهش می یابد. این میزان بستگی به ارقام و میزان ازت مصرفی دارد (خان و همکاران، ۱۹۹۱).

بررسی عکس العمل کارایی مصرف آب و عملکرد سیب زمینی رقم سانته به آبیاری محدود نشان داده است که بیشترین کارایی مصرف آب برابر ۲/۴۴ و کمترین مقدار آن برابر ۱/۹۶ کیلوگرم بر مترمکعب به ترتیب از کاربرد تیمار آبیاری با دو هفته تأخیر و آبیاری کامل می باشد. آبیاری محدود در مراحل اولیه رشد سیب زمینی نه تنها موجب کاهش عملکرد آن نشده، بلکه موجب افزایش کارایی مصرف آب نسبت به آبیاری کامل نیز شده است (بهراملو و ناصری، ۱۳۸۹).

کارایی مصرف آب سیب زمینی از ۰/۶۹ تا ۲/۳۳ تن در سانتی متر تغییر نموده به طوری که بیشترین WUE از تیمارهای دارای تنش پیوسته در تمام مراحل رشد سیب زمینی به دست آمده است (حسن^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). تحت تنش های ملایم کمبود آب در سیب زمینی، بسته شدن جزئی روزنه ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و در نتیجه کارایی مصرف آب افزایش می یابد؛ اما تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزنه ها شده و کارایی مصرف آب به علت پایین آمدن فتوسنتز و در نهایت عملکرد کاهش می یابد (رضایی و سلطانی، ۱۳۸۳). کارایی مصرف آب سیب زمینی در پاییز، زمستان و بهار به ترتیب حدود ۸-۹، ۸-۶ و ۱۴-۱۱ کیلوگرم در مترمکعب گزارش شده است که کمترین کارایی مصرف آب از آبیاری

4. Nagaz
5. Navalawala
6. Howell

1. Mackerron and Jefferies
2. Khan
3. Hassan

معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر این بیشترین عملکرد غده در شرایط ۷ روز یک بار آبیاری و محلول‌پاشی با هومات پتاسیم در رقم کایزر و کمترین آن در شرایط تنش در رقم آگریا بود.

خسروی‌فر و همکاران (۱۳۸۷) گزارش کردند که وزن تر و عملکرد غده سیب‌زمینی با افزایش فاصله دوره‌های آبیاری و افزایش مصرف کود پتاسه به ترتیب کاهش و افزایش یافتند.

سبحانی و همکاران (۱۳۸۷) با بررسی اثرات متقابل آب آبیاری و پتاسیم بر عملکرد میوه و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی گزارش کردند که با افزایش آب آبیاری عملکرد گوجه‌فرنگی افزایش می‌یابد. مصرف پتاسیم نیز تا حد مورد نیاز گوجه‌فرنگی ضروری به نظر می‌رسد و در شرایط کمبود آب بایستی مصرف آن افزایش یابد. لذا مصرف پتاسیم با تأثیر بر روی رشد گیاه، عملکرد را بهبود بخشیده و در نتیجه کارایی مصرف آب را افزایش می‌دهد.

عبدلطیف^۱ و همکاران (۲۰۱۱) اثر رژیم‌های مختلف رطوبتی خاک و کود پتاسیم را بر عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی رقم دیامانت در مصر مورد مطالعه قرار دادند. آنها از مقادیر مختلف پتاسیم شامل ۷۲، ۹۶ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تحت شرایط رطوبتی مختلف خاک (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده برای گیاه) استفاده کردند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد غده و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی با مصرف ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم در شرایط رطوبتی ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده گیاه حاصل شد.

یوسف^۲ و همکاران (۲۰۰۷) به‌منظور بررسی اثر تنش خشکی و کود پتاسیم بر عملکرد سیب‌زمینی رقم اسپونتا در مصر از مقادیر مختلف پتاسیم شامل ۴۶، ۹۶ و ۱۴۴ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تحت شرایط رطوبتی مختلف خاک (۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده برای گیاه) استفاده کردند. نتایج نشان داد که با مصرف ۹۶ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم و شرایط رطوبتی ۸۰ درصد آب قابل‌استفاده گیاه بیشترین عملکرد غده سیب‌زمینی به دست آمد.

باتوجه به محدودیت آب در استان خراسان رضوی، شناخت اثرات کمبود آب بر خصوصیات فیزیولوژیکی و کیفی سیب‌زمینی برای تولید بیشتر محصول ضروری است. از نتایج یافته‌ها می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، افزایش عملکرد، کارایی تولید و مصرف آب و سازگاری به شرایط کم‌آبی، بهره برد. لذا در این تحقیق تأثیر تنش آبی و کود پتاسیم بر عملکرد، کارایی مصرف آب و شاخص برداشت سیب‌زمینی رقم آئولا در

استان خراسان رضوی با استفاده از روش آبیاری نشتی مطالعه گردید.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌منظور بررسی اثرات تنش آبی و میزان پتاسیم بر کارایی مصرف آب سیب‌زمینی رقم آئولا در مزرعه ایستگاه تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی (طرق) در سال زراعی ۱۳۸۸ انجام شد. کشت غده‌ها در فاصله ۲۵ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف در ششم خردادماه انجام شد. قبل از کشت، مقادیر ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره با خاک مخلوط گردید. این آزمایش با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک-های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. تنش آبی که در کرت‌های اصلی قرار داشت، بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A و در مقادیر ۷۰ میلی‌متر (بدون تنش)، ۱۰۰ میلی‌متر (تنش ملایم) و ۱۳۰ میلی‌متر (تنش شدید) بررسی شد. تیمار فرعی شامل مقادیر مختلف کود پتاسیم به‌میزان ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درصد پتاسیم مورد نیاز سیب‌زمینی بود. این مقادیر با توجه به نتایج تجزیه خاک (جدول ۱) و میزان پتاسیم مورد نیاز سیب‌زمینی به‌ترتیب ۰، ۶۲/۵، ۱۲۵، ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار بود. کود پتاسیم از منبع سولفات پتاسیم تأمین گردید.

آمار تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A به‌طور روزانه بررسی گردید و به محض رسیدن به محدوده مورد نظر، آبیاری صورت گرفت. اجرای تیمارهای آبیاری از آبیاری سوم به بعد و پس از سبز کامل با استفاده از سیفون انجام شد. مقدار آب آبیاری بر مبنای رساندن رطوبت خاک تا عمق مورد نظر به حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شد که این عمق معادل عمق توسعه ریشه به علاوه ۱۵ سانتی‌متر بود. مقدار آب لازم برای هر کرت در هر آبیاری طبق فرمول زیر برآورد شد:

$$V = (FC - W) \times BD \times A \times (D + 0.15)$$

در این فرمول V حجم آب مصرفی بر حسب مترمکعب، FC درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، W درصد وزنی رطوبت نمونه خاک، BD وزن مخصوص ظاهری خاک بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب، A مساحت کرت بر حسب مترمربع و D عمق توسعه مؤثر ریشه بر حسب متر می‌باشد.

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت وزنی، ۲۴ ساعت قبل از آبیاری نمونه خاک از تیمارهای موردنظر از عمق مؤثر ریشه تهیه شده و پس از توزین به‌مدت ۲۴ ساعت در داخل آون تهویه‌دار با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. پس از

$100 \times \text{وزن خاک خشک} \div (\text{وزن خاک خشک} + \text{وزن خاک مرطوب}) = \text{درصد رطوبت وزنی}$

توزین مجدد، به کمک رابطه زیر، درصد رطوبت وزنی آنها محاسبه شد:

جدول ۱: نتایج تجزیه خاک محل آزمایش

Table 1: Results of soil analysis

نیترژن (%) N	پتاسیم K (ppm)	فسفر P (ppm)	کربن آلی O.C. (%)	مواد خنثی شونده (%) T.N.V.	اسیدیته گل اشباع pH	هدایت الکتریکی EC (ds.m ⁻¹)	درصد اشباع S.P.	بافت Texture
0.06	160	12.8	0.58	13.2	7.9	1.82	37.2	لوم سیلتی Silty loam

نمونه‌های گیاهی در آون الکتریکی با درجه حرارت ۷۵ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند و وزن خشک اندام‌های گیاهی اندازه‌گیری شد. کلیه داده‌های حاصل از آزمایش توسط نرم‌افزار آماری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نمودارهای لازم توسط نرم‌افزار Excel رسم شد. مقایسه میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تنش آبی و پتاسیم در سطح یک درصد بر عملکرد غده سیب‌زمینی رقم آئولا معنی‌دار بود. در حالی که اثر متقابل تنش \times پتاسیم بر صفت مزبور معنی‌دار نشد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش آبی، میزان عملکرد غده کاهش یافت (شکل ۱). به طوری که این میزان کاهش در شرایط تنش شدید (آبیاری پس از ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر) نسبت به شاهد (بدون تنش و آبیاری پس از ۷۰ میلی‌متر تبخیر) ۵۶/۱۳ درصد بود. همچنین با افزایش مصرف اکسید پتاسیم، میزان عملکرد غده افزایش یافت (شکل ۲). از نظر صفت مزبور بین دو سطح ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

در این آزمایش، اثر تنش آبی در سطح پنج درصد بر تعداد غده در هر بوته معنی‌دار بود. در حالی که سطوح مختلف پتاسیم اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. اثر متقابل تنش \times پتاسیم نیز بر صفت مزبور معنی‌دار نشد (جدول ۲). تعداد غده در هر بوته در شرایط اعمال تنش آبی شدید نسبت به شاهد (بدون تنش) و تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر) از تشک تبخیر) به طور معنی‌داری کاهش یافت. به طوری که این میزان کاهش در تنش آبی شدید نسبت به شاهد ۴۳/۸۲ درصد بود (جدول ۳).

در این تحقیق، اثر تنش آبی و پتاسیم در سطح یک درصد بر میانگین وزن غده معنی‌دار بود. در حالی که اثر متقابل تنش \times پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۲). با افزایش تنش

برای اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی در هر آبیاری از سرریز مستطیل شکل در ابتدا و وسط هر جوی اصلی استفاده شد. پس از اینکه جوی آب پر شد و جریان آب ثابت گشت، دبی آب سرریز با استفاده از فرمول ($Q = 0.184LH \frac{3}{2}$) اندازه‌گیری شد. در این فرمول Q دبی سرریز مستطیل شکل بر حسب لیتر در ثانیه، L طول لبه سرریز بر حسب سانتی‌متر و H ارتفاع آب روی لبه سرریز بر حسب سانتی‌متر می‌باشد. از تقسیم حجم کل آب لازم بر دبی سرریز مدت ورود آب به هر کرت مشخص می‌گردد. در این آزمایش در تیمارهای آبیاری پس از ۷۰، ۱۰۰ و ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشک تبخیر به ترتیب مقادیر آب برابر با ۱۳۵۰۰ (بدون تنش)، ۹۴۰۰ (تنش ملایم) و ۷۷۰۰ متر مکعب در هکتار (تنش شدید)، محاسبه شد. هر کرت شامل چهار ردیف به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و به طول ۷ متر بود. کرت‌های اصلی ۳/۵ متر با یکدیگر فاصله داشتند و زمان برداشت از دو ردیف وسط با حذف حاشیه‌ها در سطحی معادل ۷/۵ متر مربع عملکرد تعیین شد. عملیات کنترل علف‌های هرز، خاک‌دهی پای بوته‌ها و مصرف کود از ته به صورت سرک در تمامی تیمارها به موقع انجام گردید. پس از زرد شدن برگ‌ها، اقدام به سرزنی بوته‌ها شد و بعد از یک هفته (در تاریخ ۱۹ مهرماه) برداشت انجام شد. شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل عملکرد غده، تعداد غده در هر بوته، متوسط وزن غده، ماده خشک کل گیاه، ماده خشک غده، شاخص برداشت و کارایی مصرف بیولوژیک و اقتصادی آب می‌باشد. کارایی مصرف آب عبارت از مقدار ماده خشک گیاهی تولید شده به ازای مقدار آب مصرفی است (سینگ و سینکا^۱، ۱۹۹۷). با محاسبه نسبت ماده خشک غده بر آب مورد استفاده بر حسب تبخیر و تعرق پتانسیل، کارایی مصرف اقتصادی آب^۲ و با تقسیم میزان عملکرد بیولوژیک (ماده خشک کل گیاه) بر آب مصرفی، کارایی مصرف بیولوژیک آب^۳ محاسبه شد. برای محاسبه شاخص برداشت (HI) از فرمول زیر استفاده شد.

$$100 \times (\text{ماده خشک کل گیاه} \div \text{ماده خشک غده}) = \text{شاخص برداشت}$$

1. Sing and Sinka
2. Economic Water Use Efficiency (EWUE)
3. Biologic Water Use Efficiency (BWUE)

آبی، میانگین وزن غده به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱). به‌طوری‌که این میزان کاهش در شرایط تنش شدید نسبت به شاهد ۲۲/۶۶ درصد بود. از نظر میانگین وزن غده بین دو سطح شاهد (بدون مصرف پتاسیم) و ۶۲/۵ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۳).

در این طرح، اثر تنش آبی و پتاسیم در سطح یک درصد بر ماده خشک کل گیاه معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل تنش × پتاسیم بر صفت مزبور معنی‌دار نشد که نشان می‌دهد ماده خشک کل رقم سیب‌زمینی مورد مطالعه (آئولا) در سطوح مختلف تنش و پتاسیم عکس‌العمل یکسانی دارد (جدول ۲). علاوه بر این مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش تنش آبی، میزان ماده خشک کل گیاه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. درحالی‌که با افزایش مصرف اکسید پتاسیم، میزان ماده خشک کل گیاه افزایش یافت. لازم به‌ذکر است که از نظر صفت مزبور بین دو سطح ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

در این آزمایش، اثر تنش آبی و پتاسیم در سطح یک درصد بر ماده خشک غده معنی‌دار بود. درحالی‌که اثر متقابل تنش × پتاسیم بر این صفت معنی‌دار نشد که نشان می‌دهد هر چند تنش آبی بر ماده خشک غده اثر معنی‌داری دارد اما روند تغییرات مستقل از سطوح مختلف پتاسیم می‌باشد (جدول ۲). میزان ماده خشک غده با افزایش تنش آبی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۳). درحالی‌که با افزایش مصرف اکسید پتاسیم، میزان ماده خشک کل گیاه افزایش یافت (شکل ۴). از نظر صفت مزبور بین دو سطح ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج تحقیقات برخی از محققان (خسروی فر و همکاران، ۱۳۸۷، عبداللطیف و همکاران، ۲۰۱۱، یوسف و همکاران، ۲۰۰۷) که نشان‌دهنده کاهش عملکرد گیاه سیب‌زمینی در اثر تنش آبی و افزایش آن در اثر مصرف پتاسیم می‌باشد، مطابقت دارد. باغانی (۱۳۸۸) نشان داد که در شرایط کم‌آبیاری، عملکرد کل غده سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری نسبت به شرایط تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در شرایط مشهد کاهش می‌یابد. حسینی و همکاران (۱۳۸۸) نیز نشان دادند که عملکرد و اجزاء عملکرد سیب‌زمینی در منطقه اردبیل با افزایش تنش خشکی، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. علاوه بر این استفاده از هومات پتاسیم باعث افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد سیب‌زمینی در شرایط کم‌آبی گردید.

در این تحقیق، اثر تنش آبی در سطح پنج درصد و اثر پتاسیم در سطح یک درصد بر کارایی مصرف بیولوژیک (BWUE) و اقتصادی (EWUE) آب معنی‌دار بود. اثر متقابل تنش × پتاسیم نیز بر BWUE و EWUE به‌ترتیب معنی‌دار (در سطح پنج درصد) و غیرمعنی‌دار بود (جدول ۲). تنش‌های ملایم و شدید باعث افزایش BWUE شدند. کارایی مصرف بیولوژیک آب، در تنش ملایم ۲۵ درصد و در تنش شدید ۱۹ درصد نسبت به شاهد افزایش پیدا کرد. به‌عبارت دیگر BWUE از ۷۱۵/۴ گرم در مترمکعب در شرایط بدون تنش (شاهد) به ۸۹۳ گرم در مترمکعب در تنش ملایم و ۸۴۹/۶ گرم ماده خشک کل گیاه در مترمکعب آب مصرفی در تنش شدید رسید. علاوه بر این EWUE در اثر تنش ملایم افزایش و در اثر تنش شدید کاهش نشان داد اما اختلاف بین شاهد و تنش ملایم معنی‌دار نبود. تنش شدید باعث کاهش EWUE تا میزان ۴۳۷/۵ گرم ماده خشک غده در مترمکعب آب مصرفی شد (جدول ۳). اثر پتاسیم بر کارایی مصرف آب مثبت بود و باعث افزایش BWUE و EWUE شد. در مصرف ۲۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار بیشترین کارایی مصرف آب به‌دست آمد. در این میزان پتاسیم BWUE برابر با ۸۷۱/۱ گرم ماده خشک کل گیاه در مترمکعب آب و EWUE برابر با ۶۱۷/۴ گرم ماده خشک غده در مترمکعب آب بود (جدول ۳). لازم به‌ذکر است که از نظر BWUE و EWUE بین دو سطح ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در این تحقیق، پتاسیم تولید ماده خشک کل گیاه و نیز ماده خشک غده را افزایش داد. این افزایش تولید باعث بالا رفتن کارایی مصرف آب هم براساس تولید ماده خشک کل گیاه و هم براساس تولید ماده خشک غده شد. در اثر تنش آبی اگرچه تولید ماده خشک کم شده بود، به‌دلیل آن‌که کاهش آب مصرفی بیشتر بود، کارایی مصرف آب افزایش پیدا کرد. مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش × پتاسیم نیز نشان داد که بیشترین میزان کارایی مصرف بیولوژیک آب در شرایط تنش ملایم و استفاده از ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم وجود داشت (جدول ۴). این نتایج بیانگر آن است که افزایش تنش آبی تا حدود تنش ملایم (آبیاری پس از ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر)، باعث افزایش کارایی مصرف بیولوژیک آب می‌گردد و بیشتر از آن به دلیل افزایش تبخیر و تعرق و در نتیجه کاهش عملکرد، کارایی مصرف بیولوژیک آب پایین می‌آید. افشار و همکاران (۱۳۹۰) نیز نتایج مشابهی را به‌دست آوردند.

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر تنش آبی و تغذیه پتاسیم بر صفات مورد مطالعه در سیب زمینی رقم آئولا

Table 2: Analysis of variance of the effects of water stress and potassium nutrition on studied traits in potato, cultivar Aola

منبع تغییرات Source of variations		درجه آزادی DF	میانگین مربعات Mean Squares							
			عملکرد غده Tuber yield	تعداد غده در هر بوته Tuber number per plant	میانگین وزن غده Tuber weight	ماده خشک کل گیاه Total dry matter	ماده خشک غده Tuber dry matter	کارایی مصرف بیولوژیک آب (BWUE)	کارایی مصرف اقتصادی آب (EWUE)	شاخص برداشت (HI)
تکرار	Replication	2	3.105 ^{ns}	11.108 ^{ns}	77.622*	1182.50 ^{ns}	0.23 ^{ns}	790.93 ^{ns}	1514.82 ^{ns}	8.76 ^{ns}
تنش	Stress	2	968.023**	144.427*	338.756**	368478.67**	70.57**	128598.50*	146585.85*	3081.10**
خطای اصلی	Error	4	28.925	12.281	3.022	11016.44	2.11	11253.87	21552.28	96.58
پتاسیم	Potassium	4	49.133**	0.762 ^{ns}	112.41**	18701.92**	3.58**	18625.94**	35670.31**	137.48**
تنش × پتاسیم	Stress × Potassium	8	3.369 ^{ns}	0.895 ^{ns}	2.978 ^{ns}	1284.24 ^{ns}	0.25 ^{ns}	1362.48*	2609.27 ^{ns}	5.40 ^{ns}
خطای فرعی	Error	24	1.527	0.484	3.556	580.86	0.11	419.97	804.30	3.21
Coefficient Var. %			5.90	6.33	5.34	2.94	5.89	2.70	2.50	5.20

ns و ** و * به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد و بدون اختلاف معنی دار می باشند

ns: not significant (p>0.05), * and **: significant at p=0.05 and 0.01, respectively

جدول ۳: مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح مختلف پتاسیم و تنش آبی

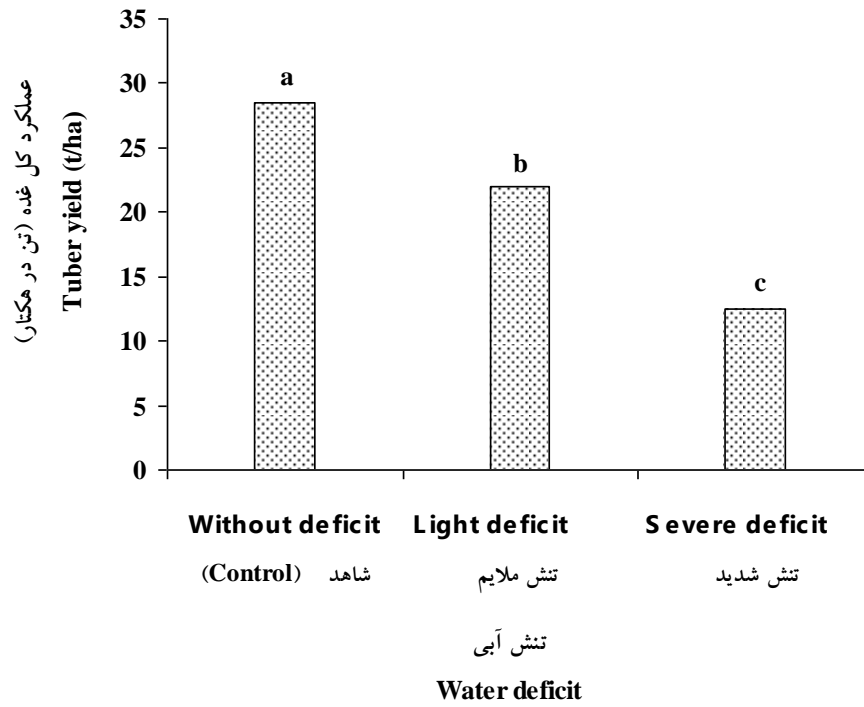
Table 3: Mean comparison of traits on different levels of potassium and water stress

تنش آبی * Water deficit		تعداد غده در هر بوته Tuber number per plant	میانگین وزن غده Tuber weight (g)	ماده خشک کل گیاه Total dry matter(g/m ²)	کارایی مصرف بیولوژیک آب	کارایی مصرف اقتصادی آب	شاخص برداشت (HI) %
					(BWUE) (g/m ³)	(EWUE) (g/m ³)	
بدون تنش	Control	13.28 ^a	40.60 ^a	965.80 ^a	715.40 ^b	568.90 ^{ab}	79.27 ^a
تنش ملایم	Light deficit	12.23 ^a	33.93 ^b	839.50 ^b	893.00 ^a	631.10 ^a	70.24 ^a
تنش شدید	Severe deficit	7.46 ^b	31.40 ^c	654.20 ^c	849.60 ^a	437.50 ^b	51.19 ^b
K ₂ O (kg/ha)							
	0	10.50 ^b	31.44 ^d	761.20 ^d	760.70 ^d	464.70 ^d	61.69 ^d
	62.5	11.03 ^{ab}	32.89 ^{cd}	792.00 ^c	792.20 ^c	508.20 ^c	64.64 ^c
	125	11.27 ^a	34.33 ^c	816.80 ^b	815.90 ^b	541.00 ^b	66.86 ^b
	187.5	11.13 ^{ab}	38.00 ^b	857.50 ^a	857.00 ^a	597.80 ^a	70.11 ^a
	250	11.00 ^{ab}	39.89 ^a	871.60 ^a	871.10 ^a	617.40 ^a	71.20 ^a

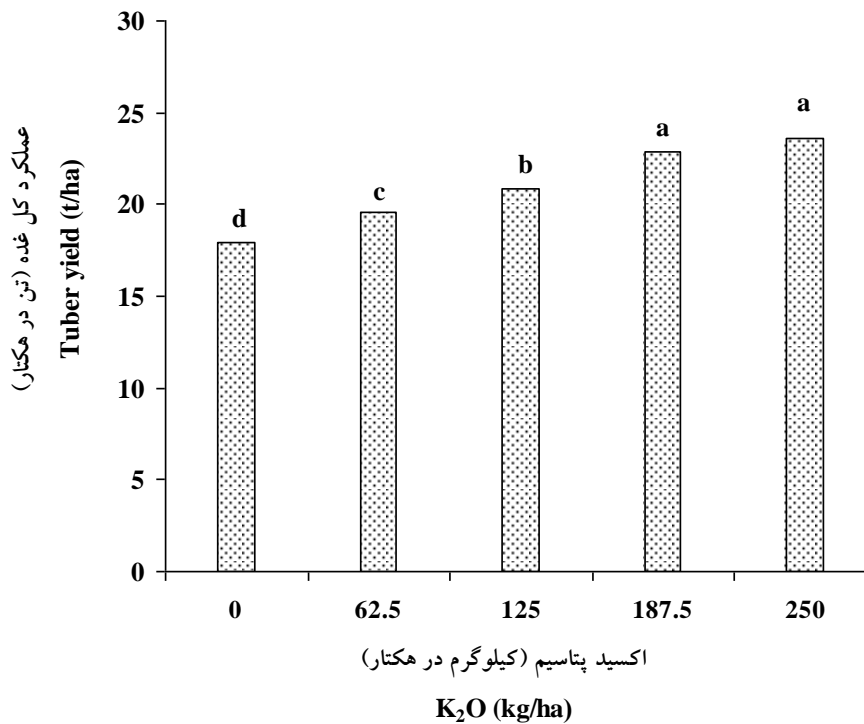
* Evaporation from class-A pan

* تنش ها بر اساس تبخیر از تشتک تبخیر کلاس A اعمال شده است.

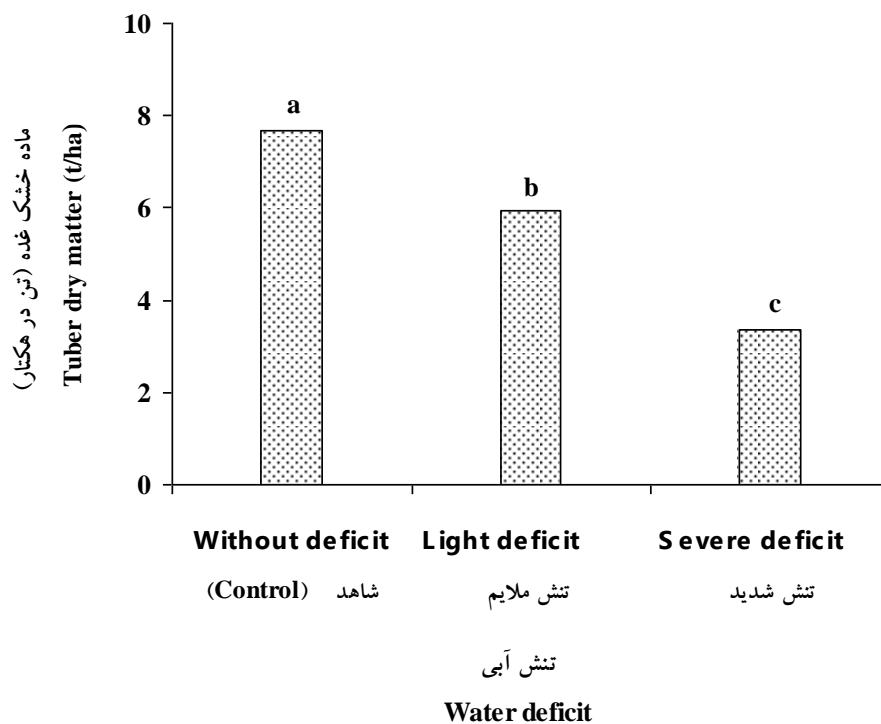
میانگین ها به وسیله آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد
Means within the same column and treatment followed by the same letter are not significantly different according to the LSD test (p≤ 0.05)



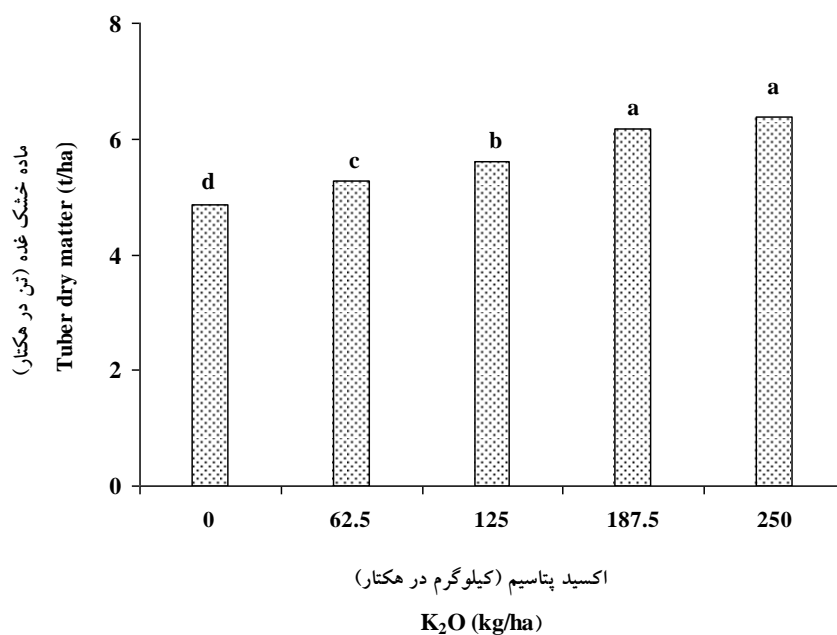
شکل ۱: نمودار میانگین اثر سطوح تنش آبی بر عملکرد غده سیب‌زمینی
 Fig. 1: Effect of water deficit on tuber yield of potato



شکل ۲: نمودار میانگین اثر سطوح مختلف پتاسیم بر عملکرد غده سیب‌زمینی
 Fig. 2: Effect of potassium levels on tuber yield of potato



شکل ۳: نمودار میانگین اثر سطوح تنش آبی بر ماده خشک سیب‌زمینی
Fig. 3: Effect of water deficit on tuber dry matter of potato



شکل ۴: نمودار میانگین اثر سطوح مختلف پتاسیم بر ماده خشک غده سیب‌زمینی
Fig. 4: Effect of potassium levels on tuber dry matter of potato

سلول‌های محافظ به هنگام باز شدن روزنه‌ها می‌باشد، ممکن است در صورت کمبود شدید پتاسیم در آن منطقه فعالیت روزنه به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار گرفته و باز شدن آن کاهش یابد. آن‌چه مسلم می‌باشد این است که میزان آب موجود بر روی کارایی مصرف آب گیاهان تأثیر می‌گذارد

افزایش کارایی مصرف آب با مصرف بالای پتاسیم ممکن است به‌خاطر کاهش تراکم روزنه و تغییر شکل روزنه‌ها باشد. همچنین ممکن است متابولیسم سلول‌های محافظ روزنه به‌طور مستقیم از کمبود عناصر غذایی تأثیر بگیرد. در حقیقت به‌علت این‌که پتاسیم عمده‌ترین ماده اسمزی تجمع یافته در

(سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). در این تحقیق مشاهده شد که کارآیی مصرف بیولوژیک آب در اثر تنش آبی افزایش می‌یابد و پس از آن در شرایط تنش شدید کاهش می‌یابد (جدول ۳). برخی از محققان گزارش کردند که تنش آبی، WUE را در سیب‌زمینی افزایش می‌دهد (مک کرن و جفریز، ۱۹۹۴؛ بهراملو و ناصری، ۱۳۸۹). سایر محققان نیز بیان کردند که کاهش میزان آب باعث کاهش WUE می‌شود (خان و همکاران، ۱۹۹۱، عبداللطیف و همکاران، ۲۰۱۱). در این تحقیق کارآیی مصرف اقتصادی آب سیب‌زمینی در اثر کاهش مصرف آب، کاهش یافت (جدول ۳). تمامی عواملی که بر عملکرد مؤثر هستند، بدون این‌که تبخیر و تعرق را به مقدار قابل توجهی افزایش دهند، عملکرد را بالا برده و کارآیی مصرف آب را افزایش خواهند داد. بنابراین مدیریت صحیح مزرعه یکی از نیازهای اساسی جهت استفاده مفید از آب در تولید محصولات زراعی می‌باشد. برای استفاده مؤثر از آب مصرفی، وجود عناصر غذایی به میزان کافی و متناسب با وضعیت رطوبتی در خاک، لازم می‌باشد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۶۸). به همین دلیل است که مشاهده شد پتاسیم باعث افزایش کارآیی مصرف بیولوژیک و اقتصادی آب سیب‌زمینی شد (جدول ۳).

در این آزمایش، تنش آبی و مصرف پتاسیم بر شاخص برداشت سیب‌زمینی اثر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت. همچنین اثرات متقابل تنش \times پتاسیم نیز بر روی این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). تنش شدید شاخص برداشت را از ۷۹/۲۷ درصد در تیمار بدون تنش (شاهد) به ۵۱/۱۹ درصد کاهش داد. اختلاف بین تنش ملایم با شاهد معنی‌دار نبود. تنش ملایم به یک نسبت ماده خشک کل گیاه و ماده خشک غده را کاهش داد و به همین دلیل شاخص برداشت تحت تأثیر قرار نگرفت. تنش شدید باعث کاهش انتقال مواد غذایی به سمت غده‌ها شده و در نتیجه رشد گیاه کاهش یافته و شاخص برداشت را پایین آورد (جدول ۳). سطوح پتاسیم تا میزان ۱۸۷/۵ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار، شاخص برداشت را افزایش داد. بیشترین (۷۱/۲ درصد) و کمترین (۶۱/۶۹ درصد) شاخص برداشت به ترتیب با مصرف ۲۵۰ و صفر کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به دست آمد. اختلاف بین سطوح ۱۸۷/۵ و ۲۵۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار معنی‌دار نبود. در این آزمایش، روابط رگرسیونی بین میزان آب مصرفی (مترمکعب در

هکتار) و شاخص برداشت در سطوح مختلف پتاسیم در شکل ۵ نشان داده شده است. افزایش میزان آب مصرفی توأم با افزایش اکسید پتاسیم شاخص برداشت را به میزان بیشتری افزایش داده است (شکل ۵).

نتایج به دست آمده از این تحقیق با تحقیقات دماغنت و همکاران (۱۹۹۶) که نشان‌دهنده عدم تأثیر تنش آبی بر روی شاخص برداشت سیب‌زمینی بود، مغایرت داشت. اما با نتایج جفریز (۱۹۹۲) و جفریز و مک کرن (۱۹۹۳) مطابقت داشت. انتقال بیشتر مواد غذایی موجود در اندام‌ها به سمت غده و افزایش شاخص برداشت یکی از اهداف اصلاحی در سیب‌زمینی می‌باشد. با کاهش مقدار آب مصرفی اگرچه تولید ماده خشک گیاه کم می‌شود؛ اما ماده خشک غده بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به علت کمبود آب و کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد گیاه و فتوسنتز، تولید مواد غذایی و انتقال به غده‌ها نیز کم می‌شود. تأثیر میزان رطوبت خاک بر روی شاخص برداشت گیاهان زراعی گزارش شده است (شیرانی راد، ۱۳۷۷؛ عزیز، ۱۳۷۷).

در مورد آزمایش انجام شده بر روی سیب‌زمینی به علت این‌که تنش در طول دوره رشد اعمال می‌شد، گیاه رشد کمی داشت و بیوماس کمتری را نسبت به شاهد (بدون تنش) تولید نمود اما به جهت این‌که این رشد کم، باعث افت شدید عملکرد غده شد و تأثیر بیشتری بر روی تولید غده داشت، شاخص برداشت در اثر تنش کاهش پیدا کرد؛ اما در مورد پتاسیم به علت این‌که عملکرد غده در سطوح بالاتر پتاسیم بیشتر شد، شاخص برداشت افزایش نشان داد.

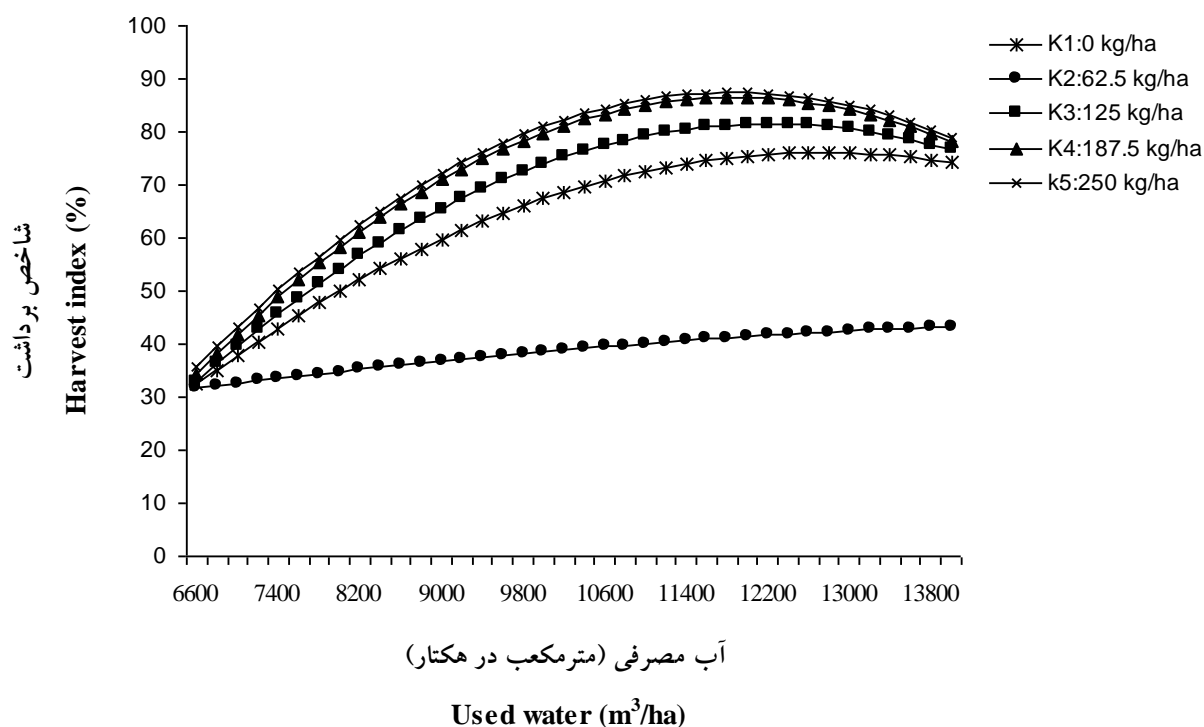
به‌طور کلی نتایج نشان داد که تنش آبی باعث کاهش عملکرد غده، اجزای عملکرد، ماده خشک کل گیاه و غده، کارآیی مصرف اقتصادی آب و شاخص برداشت سیب‌زمینی رقم آئولا گردید و اثرات سوء تنش با افزایش مصرف پتاسیم کاهش یافت. لازم به ذکر است که تنش آبی باعث افزایش کارآیی مصرف بیولوژیک آب شد. افزایش مصرف پتاسیم نیز سبب افزایش کارآیی مصرف بیولوژیک آب گردید. بنابراین افزایش پتاسیم در شرایط کمبود آب توانست عملکرد، اجزای عملکرد، کارآیی مصرف آب و شاخص برداشت سیب‌زمینی را بهبود بخشد.

جدول ۴: مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح مختلف تنش آبی و پتاسیم بر کارایی مصرف بیولوژیک آب سیب زمینی
Table 4: Mean comparison of the effects of different levels of water stress and potassium on biologic water use efficiency (BWUE) of potato

Water deficit	تنش آبی	K ₂ O (kg/ha)	کارایی مصرف بیولوژیک آب (BWUE) (g/m ³)
Control	بدون تنش	0	671.7 ^h
		62.5	690.0 ^{gh}
		125	718.9 ^{fg}
		187.5	742.7 ^{ef}
		250	753.9 ^e
Light deficit	تنش ملایم	0	804.9 ^d
		62.5	859.1 ^{bc}
		125	875.2 ^b
		187.5	954.0 ^a
		250	972.1 ^a
Severe deficit	تنش شدید	0	805.7 ^d
		62.5	827.4 ^{cd}
		125	853.5 ^{bc}
		187.5	874.2 ^b
		250	887.3 ^b

میانگین‌ها به وسیله آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مقایسه شدند. حروف مشترک در هر ستون نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی دار می باشد.

Means within the same column and treatment followed by the same letter are not significantly different according to the LSD test ($p \leq 0.05$)



$Y(K1) = -111.93977 + 0.029498X - 1.157183E-6X^2$	$R^2 = 0.895$
$Y(K2) = -148.951643 + 0.037588X - 1.54328E-6X^2$	$R^2 = 0.898$
$Y(K3) = -148.21132 + 0.0375898X - 1.537862E-6X^2$	$R^2 = 0.935$
$Y(K4) = -176.675007 + 0.044263X - 1.861361E-6X^2$	$R^2 = 0.962$
$Y(K5) = -175.209713 + 0.044259X - 1.864471E-6X^2$	$R^2 = 0.957$

شکل ۵: رابطه بین میزان آب مصرفی و شاخص برداشت در سطوح مختلف پتاسیم

Fig. 5: The relationship between used water and harvest index at different levels of potassium

منابع

- اخوان، س.، مصطفی‌زاده‌فرد، ب.، موسوی، س. ف.، قدمی‌فیروزآبادی، ع. و بهرامی، ب. ۱۳۸۴. تأثیر مقدار و روش آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی رقم آگریا. پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی. ۵ (۲): ۲۷-۴۰.
- افشار، ع.، نشاط، ع. و افشارمنش، غ. ر. ۱۳۹۰. تأثیر رژیم آبیاری و کود دامی بر کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی در جیرفت. مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۱: ۶۳-۷۵.
- باغانی، ج. ۱۳۸۸. آرایش کاشت و مقادیر آب در زراعت سیب‌زمینی با آبیاری قطره‌ای در مشهد. نشریه آب و خاک. ۲۳ (۱): ۱۵۹-۱۵۳.
- بی‌نام. ۱۳۹۰. آمار نامه کشاورزی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸. وزارت جهاد کشاورزی، اداره کل آمار و اطلاعات.
- بهراملو، ر. و ناصری، ر. ۱۳۸۹. تأثیرپذیری کارایی مصرف آب و عملکرد سیب‌زمینی رقم سانته از آبیاری محدود. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۱): ۹۸-۹۰.
- حسینی، ا.، خورشیدی بنام، م. ب.، حسن‌پناه، د.، میرشکاری، ب. و اجلی، ج. ۱۳۸۸. تأثیر هومات پتاسیم بر عملکرد سه رقم سیب‌زمینی در منطقه اردبیل تحت شرایط نرمال و کم‌آبی. مجله علوم کشاورزی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز. ۱۱: ۱۵-۲۶.
- حمزه‌ای، ج.، رحیم‌زاده خویی، ف.، قاسمی گل‌عدانی، ک. و مقدم، م. ۱۳۸۴. واکنش سه رقم سیب‌زمینی به مقادیر متفاوت آب آبیاری. مجله دانش کشاورزی. ۱۵ (۲): ۶۵-۷۵.
- خسروی‌فر، س.، یارنیا، م.، خورشیدی بنام، م. ب. و حسین‌زاده مقبلی، ا. ه. ۱۳۸۷. اثر پتاسیم بر تحمل به خشکی سیب‌زمینی آگریا. خلاصه مقالات دهمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. صفحه ۳۵۸.
- رضایی، ع. و سلطانی، ا. ۱۳۸۳. زراعت سیب‌زمینی. ترجمه. چاپ چهارم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۷۹ صفحه.
- سبحانی، ع. ر.، رحیمیان، م. ح. و شرایعی، پ. ۱۳۸۷. بررسی اثرات متقابل آب آبیاری و پتاسیم بر عملکرد میوه و کارایی مصرف آب گوجه‌فرنگی. خلاصه مقالات اولین کنگره ملی فناوری تولید و فرآوری گوجه‌فرنگی. مشهد. صفحه ۲۷.
- سرمدنیا، غ. و کوچکی، ع. ۱۳۶۸. جنبه‌های فیزیولوژیکی زراعت دیم. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۴۲۴ صفحه.
- شایان‌نژاد، م. و محرری، ع. ۱۳۸۹. تأثیر تنش آبی بر خصوصیات کیفی گندم و سیب‌زمینی در شهرکرد. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۲۴ (۱): ۶۵-۷۱.
- شیرانی‌راد، ا. ح. ۱۳۷۷. بررسی اکوفیزیولوژیکی همزیستی قارچ میکوریز و سیکولار آربوسکولار با گندم و سویا. پایان‌نامه دکتری رشته زراعت. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات. ۱۶۱ صفحه.
- عزیزی، م. ۱۳۷۷. اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و کود پتاسیم بر خصوصیات زراعی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی سویا. پایان‌نامه دکتری رشته زراعت. دانشگاه فردوسی مشهد. ۱۴۳ صفحه.
- قنبری، ا.، فریودی، م.، علیمحمدی، ر.، فرامرزی، ع.، جمشیدی، س. و شمس‌پور، ش. ۱۳۸۶. بررسی تأثیر سولفات پتاسیم بر خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی رقم آگریا و ساتینا در منطقه میانه. مجله دانش نوین کشاورزی. ۶: ۶۹-۷۹.
- ناخدا، ب. ۱۳۷۵. بررسی اثرات تنش کم‌آبی و برش بر شاخص‌های رشد و عملکرد کمی و کیفی ارزن علوفه‌ای نوتریفید. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زراعت. دانشگاه تربیت مدرس. ۲۴۴ صفحه.
- Abd El-Latif, K. M., Osmam, E. A. M., Abdullah, R. and Abd el Kader, N. 2011. Response of potato plants to potassium fertilizer rates and soil moisture deficit. *Advances in Applied Science Research*, 2 (2): 388-397.
- Ati, A. S., Iyada, A. D. and Najim, S. M. 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.
- Beukema, H. P. and Vander Zaag, D. E. 1990. Introduction to potato production. Pudoc. Wageningen, 40-110.
- Burton, W. G. 1989. The Potato. Longman Scientific Technical, pp: 85-320.
- Demagante, A. L., Harris, D. M. and Vander Zaag, P. 1996. Variation among clonal lines of potato in response to irrigation regimes in an isohythermic environment. *Field Crop*, 47 (2-3): 191-200.
- Hassan, A. A., Sarkar, A. A., Ali, M. H. and Karim, N. N. 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stage on the yield of potato. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 5 (2):128-134.
- Howell, T. A., Evett, S. R., Tolck, J. A., Schneider, A. D. and Steiner, J. L. 1996. Evapotranspiration of corn-Southern High Plains. In: *Proceeding of the Conference on International Evapotranspiration and irrigation Schedule*. ASAE, San Antonio, TX, pp. 381-387.
- Jefferies, R. A. and MacKerron, D. K. L. 1993. Responses of potato genotypes to drought. II. Leaf area index growth and yield. *Annals of Applied Biology*, 122: 105-112.
- Jefferies, R. A. 1992. Effect of drought on chlorophyll fluorescence in potato (*Solanum tuberosum* L.) II. Relations between plant growth and measurements of fluorescence. *Potato Research*, 35: 35-40.

- Karafyllidis, D. I., Stavropoulos, N. and Georgakis, D. 1996. The effect of water stress on the yielding capacity of potato crops and subsequent performance of seed tubers. *Potato Research*, 39: 153-163.
- Khan, M. S., Rahman, M., Shaha, U. K. and Kabir, H. 1991. Response of potato to irrigation to varying nitrogen levels. *Journal of Indian Potato Association*, 18 (1-2): 27-34.
- Lynch, D. R., Foroud, N., Kozub, G. C. and Farries, B. C. 1995. The effect of moisture stress at three growth stages on the yield, components of yield and processing quality of eight potato varieties. *American Potato Journal*, 72: 375-385.
- Mackerron, D. K. L. and Jefferies, R. A. 1994. Seasonal and ontogenetic changes in water use efficiency in potato as indicated by isotope discrimination. *Aspects of Applied Biology*, 38: 101-111.
- Nagaz, K., Masmoudi, M. M. and Mechlia, N. B. 2007. Soil salinity and yield of drip –irrigated potato under different irrigation regimes with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. *Journal of Agronomy*, 6 (2): 324-330.
- Navalawala, B. N. 1991. Water logging and its related issues in India. *Journal of Irrigation Power*, 1: 55-64.
- Shimshi, D. and Susnoschi, M. 1985. Growth and yield studies of potato development in a semi-arid regions. 3-Effect of water stress and amounts of nitrogen top dressing on physiological indice and on tuber yield and quality of several cultivars. *Potato Research*, 28: 177-191.
- Sing, N. P. and Sinka, S. K. 1997. Water use efficiency in crop production. In: *Water requirement and irrigation management of crops in India*, ed. Water technology center. Pp, 289-335. Indian Agricultural Research Institute. New Delhi.
- Youssef, Y. A., El-Maziny, M. Y., Abdalla, S. A., Meleha, M. E. and Abdel Raheem, H. A. 2007. Effect of water stress and potassium fertilization on yield quantity and quality of potato. *African Crop Science Conference Proceedings*, 8: 445-455.
- Yuan, B. Z., Nishiyama, S. and Kang, Y. 2003. Effect of different irrigation regimes on the growth and yield of drip irrigated potato. *Agricultural Water Management*, 63: 153-167.

Effects of Water Stress and Different Potassium Levels on Yield, Water Use Efficiency and Harvest Index in Potato

Sobhani¹, A. R. and Hamidi^{2*}, H.

Abstract

In order to investigate the effects of water stress and potassium fertilizer on yield, yield components, economic water use efficiency (EWUE), biologic water use efficiency (BWUE) and harvest index (HI) of potato var. Aola, used furrow irrigation with different irrigation intervals. This research was conducted in split plots experiment based on randomized complete block design with three replications. Main plots consisted of three treatments of water stress, after 100 mm (light deficit) and 130 mm (severe deficit) evaporation from class A pan along with control (without deficit) and sub plots to five levels of potassium fertilizer with five levels i.e. 0, 62.5, 125, 187.5, and 250 kg.ha⁻¹ K₂O were applied. Water stress with three levels i.e. irrigation after 70 mm (without deficit), 100 (light deficit) and 130 (severe deficit) evaporation from class-A pan and potassium with five levels i.e. 0, 62.5, 125, 187.5, and 250 kg.ha⁻¹ K₂O were investigated. Severe deficit decreased tuber yield, tuber number per plant, average tuber weight, tuber and total dry matter, HI and EWUE but increased BWUE of potato. The highest amount of BWUE and EWUE were 893 and 631.1 g.m⁻³ respectively that resulted from light deficit. The highest amount of other traits that resulted from without deficit. The amount of all traits increased in higher levels of potassium. The highest amounts of yield (23.62 t.ha⁻¹), average tuber weight (39.89 g), tuber dry matter (6.38 t.ha⁻¹), total dry matter (871.60 g.m⁻²), HI (%71.2), BWUE (871.1 g.m⁻³) and EWUE (617.4 g.m⁻³) resulted from 250 kg.ha⁻¹ K₂O.

Keywords: Aola, Biologic water use efficiency, Irrigation, Potassium oxide

1 and 2. Member of Academic Staff and Instructor Respectively, Department of Seed and Plant Improvement, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran

*: Corresponding author Email: Hamidy1065@yahoo.com