

تأثیر تنش کم آبی و پتاسیم بر عملکرد و راندمان مصرف آب سیب زمینی به روش آبیاری بارانی خطی (لاین سورس)

علی رضا سبحانی^۱، حسن حمیدی^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب عضو هیات علمی و کارشناس ارشد مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۹

چکیده

به منظور بررسی اثرات تنش کم آبی و پتاسیم بر عملکرد و راندمان مصرف آب اقتصادی و بیولوژیک سیب‌زمینی رقم آنولا از روش آبیاری بارانی با مقادیر مختلف آب در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (مشهد) استفاده شد. در این تحقیق از طرح آماری اسپلیت بلوک بر پایه بلوکهای کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. تیمار پتاسیم در عرض زمین عمود بر کرت‌های اصلی و به طور تصادفی و در سطوح صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به عنوان کرت اصلی و میزان آب دریافتی در فواصل ۰/۷۵، ۳/۷۵، ۶/۷۵، ۹/۷۵ و ۱۲/۷۵ متر از خط لوله آبیاری به ترتیب تحت عنوان تیمار بدون تنش، تنش بسیار ملایم، تنش ملایم، تنش شدید و تنش بسیار شدید به عنوان کرت فرعی قرار گرفتند. کلیه تیمارها و تکرارهای آزمایش هم در نیمه راست و هم در نیمه چپ خط لوله آبیاری به صورت سیستماتیک تکرار شدند، لذا نیمه سمت چپ و راست لوله آبیاری به عنوان کرت فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان دهنده افزایش عملکرد غده و عملکرد بیولوژیک در اثر مصرف پتاسیم و کاهش آنها در اثر فاصله گرفتن از خط لوله آبیاری بارانی می‌باشد. در سطوح بالای تنش کم آبی (تنش شدید)، عملکرد غده در سال اول و دوم به ترتیب ۸۰ و ۶۲/۶۷ درصد نسبت به شاهد (بدون تنش) کاهش یافت. بالاترین عملکرد غده با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم در سال اول (۲۴/۱۵ تن در هکتار) و دوم (۱۷/۹۴ تن در هکتار) حاصل شد. در سطوح بالای تنش کم آبی، عملکرد بیولوژیک و راندمان مصرف آب اقتصادی کاهش ولی راندمان مصرف آب بیولوژیک افزایش یافت. همچنین راندمان مصرف آب (بیولوژیک و اقتصادی) در اثر مصرف بیشتر پتاسیم، مقدار بیشتری را نشان داد، به طوری که بالاترین راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی در هر دو سال در شرایط استفاده از ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم مشاهده گردید. اثرات متقابل پتاسیم و تنش آب نیز بر روی عملکرد و راندمان مصرف آب اقتصادی و بیولوژیک در سال دوم معنی‌دار بود. با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم و شرایط آب کافی بیشترین عملکرد بدست آمد. بالاترین راندمان مصرف آب بیولوژیک با مصرف ۲۷۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاسیم و تنش خیلی شدید حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آنولا، اکسید پتاسیم، راندمان مصرف آب اقتصادی، راندمان مصرف آب بیولوژیک، عملکرد بیولوژیک

مقدمه

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 (Ministry of Agricultural Jihad, 2011). با توجه به محدودیت منابع آب در ایران، اعمال تنش آبی یا کم آبیاری بر روی بعضی از محصولات زراعی امری اجتناب ناپذیر است. کم آبیاری یکی از روش‌های مدیریتی

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) از نظر تولید ماده خشک و قرار گرفتن در حیره غذایی اهمیت زیادی دارد. میزان تولید سیب زمینی در دنیا حدود ۳۲۴ میلیون تن می‌باشد (FAO, 2010). این محصول از نظر میزان تولید در دنیا پس از گندم، برنج و ذرت در مقام چهارم قرار دارد. بر اساس آمار نامه کشاورزی در سال ۱۳۸۸-۱۳۸۹، سطح زیر کشت سیب زمینی در ایران ۱۴۶۳۰۳ هکتار،

آب آبیاری، مقدار راندمان مصرف آب کاهش یافت. به طوری که تیمار آبیاری تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه با راندمان مصرف آب معادل ۳/۵۳ کیلوگرم بر متر مکعب، برتری معنی‌داری نسبت به دو تیمار دیگر آبیاری داشت. به طور کلی کمبود رطوبت خاک موجب افزایش مقاومت روزه‌های برگ، کاهش میزان فتوسنتز برگ، بیوماس اندام هوایی، رشد غده و در نتیجه عملکرد غده سیب زمینی می‌گردد (Irma and Mauromicale, 2006). مکرون و جفریز (Mackerron and Jefferies, 1994) در بررسی اثرات تنش خشکی بر روی سیب‌زمینی دریافتند که کاهش میزان آب باعث افزایش WUE می‌گردد. تانر (Tanner, 1981) مدلی را برای WUE ارائه کرد و مشخص نمود که راندمان مصرف آب در مناطق مرطوب بالاتر از مناطق خشک می‌باشد. آزمایشات دیگر نیز نشان دهنده این است که در شرایط آبیاری به میزان کافی، میزان WUE افزایش می‌یابد، در حالی که در شرایط تنش کم‌آبی میزان راندمان مصرف آب کاهش می‌یابد (Khan et al., 1991). این میزان بستگی به ارقام و میزان ازت مصرفی دارد. ساگو و کائوشال (Saggu and Kaushal, 1992) در بررسی آبیاری قطره‌ای و نشتی سیب‌زمینی نتیجه گرفتند که راندمان مصرف آب در سیستم قطره‌ای بیشتر است. آبیاری در ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق بیشترین راندمان مصرف آب را نشان داد. راندمان مصرف آب به عنوان عملکرد حاصل از کاربرد واحد آب مصرف شده (تبخیر- تعرق) توسط گیاه مورد بررسی تعریف می‌شود (Doorenbos and Pruitt, 1977). در این مورد حسن و همکاران (Hassan et al., 2002) گزارش کردند که راندمان مصرف آب سیب زمینی از ۰/۶۹ تا ۲/۳۳ تن در هکتار در سانتی‌متر تغییر نموده که بیشترین WUE از تیمارهای دارای تنش پیوسته در تمام مراحل رشد سیب زمینی به دست آمده است. تحت تنش- های ملایم کمبود آب در سیب زمینی، بسته شدن جزئی روزه‌ها تعرق را بیشتر از فتوسنتز کاهش داده و در نتیجه راندمان مصرف آب افزایش می‌یابد. اما تنش شدید باعث بسته شدن کامل روزه‌ها شده و راندمان مصرف آب به علت پایین آمدن فتوسنتز و در نهایت عملکرد کاهش می‌یابد (Rezaei and Soltani, 1996). کزیلگو و همکاران (Kiziloglu et al., 2006) نشان دادند که راندمان مصرف آب سیب زمینی در مناطق نیمه‌خشک از ۴۴/۱ تا ۶۳/۴

آبیاری می‌باشد و آن عبارت است از یک تکنیک فنی و مهندسی جهت تأمین بخشی از آب مورد نیاز گیاهان فاریاب، به طوری که حداکثر استفاده از واحد حجم آب (در شرایط کمبود منابع آب) و یا از واحد اراضی (در شرایط محدودیت زمین) بدست آید و نهایتاً حداکثر سود حاصل شود. اگرچه نتیجه کم آبیاری کاهش عملکرد در واحد سطح است، اما از طرفی باعث افزایش کارایی مصرف آب (محصول بدست آمده به ازای واحد آب مصرفی)، افزایش راندمان آبیاری، افزایش سود خالص و کاهش هزینه‌های تولید می‌گردد (Shayan Nejad and Moharrery, 2010). شایان نژاد و محرری (Shayan Nejad and Moharrery, 2010) در تحقیقی اثر تنش آبی را بر روی خصوصیات کیفی سیب زمینی در شهرکرد بررسی کردند. در این تحقیق کم آبیاری باعث افزایش راندمان مصرف آب سیب زمینی و کاهش کیفیت محصول گردید، به طوری که آبیاری جویچه‌ای یک در میان به طور معنی‌داری درصد نشاسته را کاهش داد. تحت شرایط کم آبیاری، عملکرد سیب زمینی با میزان آب کاربردی رابطه خطی دارد (Shock and Feibert, 2002). فولای و همکاران (Fulai et al., 2006) در پژوهشی روی سیب زمینی رقم فولوا در دانمارک با اعمال دو تیمار آبیاری (آبیاری در حد ۵۰٪ تبخیر و تعرق و آبیاری کامل در حد ۱۰۰٪ تبخیر و تعرق) گزارش کردند که تنش رطوبتی در مرحله غده‌دهی گیاه سبب کاهش عملکرد و افزایش راندمان مصرف آب گردید. مرتضوی‌بک و همکاران (Mortazavibak et al., 2008) اثر کم آبیاری را در مراحل اولیه رشد بر عملکرد رقم‌های تجاری سیب زمینی مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که برای دستیابی به عملکرد زیاد و استفاده بهینه از آب کشاورزی، اعمال اولین آبیاری پس از ۲۴۰ میلی‌متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A (حدود ۲۳ روز توقف آبیاری پس از سبز شدن گیاه) از لحاظ عملکرد و راندمان مصرف آب مناسب می‌باشد. شوک و فیبرت (Shock and Feibert, 2002) گزارش کردند که با ۲۵، ۳۰ و ۴۰ درصد کاهش مقدار آب آبیاری سیب‌زمینی به ترتیب ۶/۷، ۱۰ و ۱۴ درصد، کاهش محصول بوجود می‌آید. باغانی (Baghani, 2009) گزارش کرد که تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی در شرایط مشهد باعث افزایش عملکرد معنی‌دار کل غده نسبت به تأمین ۶۰ درصد و ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه گردید. علاوه بر این با کاهش سطح تأمین

آبیاری، راندمان مصرف آب در رقم آگریا در رژیم آبیاری تأمین ۷۰ درصد نیاز آبی سیب زمینی تا قبل از مرحله آغازش غده بیش از سایر ارقام بود. وانگ و همکاران (Wang et al., 2007) در طی دو سال آزمایش بر روی سیب زمینی تحت شرایط آبیاری قطره‌ای در شمال چین نشان دادند که با افزایش میزان آبیاری، راندمان مصرف آب افزایش یافت که افزایش عملکرد را نیز به همراه داشت.

پتاسیم به خاطر داشتن نقش مکمل با سایر عناصر غذایی پر مصرف نظیر ازت، فسفر و کلسیم و نیز اثر مثبت بر فرایند تنظیم اسمزی ریشه و اندام‌های 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 موجبات افزایش عملکرد را فراهم می‌آورد. به موازات تأمین عناصر غذایی از طریق مصرف کود برای محصولات زراعی پر توقع، مقدار پتاسیم بومی خاک تکافوی نیاز فیزیولوژیک بهینه گیاه را ننموده و مصرف کود پتاسه را ایجاب می‌نماید (Ghanbari et al., 2007). پتاسیم تقریباً در تمام فرایندهای متابولیسمی گیاه نقش دارد. همچنین نقش مهمی در فتوسنتز و ساخت کربوهیدرات‌ها، احیای نیترات و کمک در مصرف یون‌های آمونیوم در ساخت اسیدهای آمینه و سنتز پروتئین دارد. همچنین در تعادل غذایی عناصر غذایی و افزایش غده‌بندی و افزایش جذب ازت و فسفر در گیاه نیز مؤثر می‌باشد (Khan et al., 1994). خورگامی و همکاران (Khourgami et al., 2004) با بررسی اثر تنش کم آبی و مقادیر پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه در ارقام کلزا نشان دادند که پتاسیم در پایداری عملکرد در شرایط تنش خفیف آب مؤثر بوده و تحمل گیاه را در مقابل خشکی افزایش می‌دهد. ولی در محدودیت رطوبتی شدیدتر (قطع آب از مرحله گلدهی) مصرف پتاسیم تأثیر چندانی در پایداری عملکرد ندارد. سبحانی و همکاران (Sobhani et al., 2002) اثرات تنش کم آبی و تغذیه پتاسیم را بر عملکرد و برخی خصوصیات زراعی سیب زمینی نیز مورد مطالعه قرار دادند. آنها نشان دادند که افزایش پتاسیم در شرایط کمبود آب می‌تواند اجزا عملکرد و عملکرد غده سیب زمینی را بهبود بخشد. بررسی تنش خشکی در بادام زمینی نشان داد که افزایش پتاسیم در خاک باعث بالارفتن ماده خشک و عملکرد تحت شرایط کم آبی گردید (Umar et al., 1991). شارما و همکاران (Sharma et al., 1992) نشان

کیلوگرم در هکتار در میلی متر تغییر نموده است. از طرفی نگاز و همکاران (Nagaz et al., 2007) گزارش کردند که راندمان مصرف آب سیب زمینی در پاییز، زمستان و بهار حدود ۸-۶، ۱۴-۱۱ کیلوگرم در متر مکعب بوده که کمترین راندمان مصرف آب از آبیاری کامل با کاربرد روزانه حاصل شده است. در شرایط کنونی و با توجه به وضعیت موجود کشاورزی ایران، توسعه روش‌های آبیاری تحت فشار، راهی مناسبتر و کارآمدتر از روش‌های آبیاری سطحی مدرن برای افزایش راندمان مصرف آب خواهد بود. راندمان آبیاری در روش‌های تحت فشار به بیش از ۷۵ درصد بالغ می‌گردد. نوالاوالا (Navalawala, 1991) اظهار نمود که افزایش راندمان مصرف آب در هر نوع سیستم آبیاری خصوصاً در مناطق خشک و نیمه خشک که آب کمیاب است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. وی نشان داد که در آبیاری کرتی و شیاری میزان هدر رفت آب حدود ۷۱ درصد است و اتلاف زیاد عناصر غذایی از طریق آبشویی را به همراه دارد. صباح و غفاری نژاد (Sabbah and Ghaffari Nejad, 2008) نشان دادند که تأثیر میزان آب آبیاری بر عملکرد و راندمان مصرف آب سیب زمینی معنی‌دار است، به طوری که افزایش میزان آب تا ۱۰۰ درصد تبخیر از تشتک کلاس A باعث افزایش عملکرد به طور معنی‌دار گردید. بهراملو و ناصری (Bahramloo and Nasser, 2010) واکنش عملکرد و راندمان مصرف آب سیب زمینی رقم سائنه را نسبت به آبیاری کامل و کم آبیاری در شرایط اقلیمی اکباتان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد و راندمان مصرف آب به ترتیب برابر $2/68 \pm 27/82$ تن و $0/31 \pm 2/44$ کیلوگرم بر متر مکعب با آبیاری تأخیری دو هفته حاصل شده است. اسکندری و همکاران (Eskandari et al., 2011) اثر سه نوع رژیم آبیاری را بر خصوصیات فیزیولوژیکی، عملکرد و راندمان مصرف آب سیب زمینی ارقام آگریا، آلمرا و سینورا در شرایط آب و هوایی مشهد مورد مطالعه قرار دادند. آنها گزارش کردند که کاهش حجم آبیاری در سیب زمینی به دلیل سیستم ریشه‌ای سطحی و محدود این گیاه و حساس شدن به کمبود رطوبت خاک، به خصوص در زمان آغازش غده و غده‌بندی، باعث افت عملکرد غده این گیاه می‌گردد. نتایج نشان داد که در کلیه رژیم‌های آبیاری عملکرد کل غده رقم آگریا نسبت به سایر ارقام برتری داشت. همچنین با کاهش ۳۰ درصد حجم

سیب‌زمینی رقم آئولا در استان خراسان رضوی با استفاده از سیستم آبیاری بارانی خطی (لاین سورس) مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق) انجام شد. ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق در ۶ کیلومتری جنوب شرقی مشهد و در موقعیت جغرافیای ۵۹° و ۳۸' طول شرقی و ۳۶° و ۱۶' عرض شمالی و با ارتفاع ۹۸۰ متر از سطح دریا قرار دارد. خاک مورد مطالعه دارای بافت سیلتی لوم با اسیدیته برابر با ۷/۹، پتاسیم قابل جذب ۱۵۰ ppm، فسفر قابل جذب ۱۲/۸ ppm و ازت کل ۰/۰۶ درصد بود. این آزمایش طی دو سال متوالی بر روی رقم آئولا و با استفاده از روش آبیاری بارانی خطی^۱ انجام شد. در این روش با فاصله گرفتن از خط لوله آبیاری میزان آب دریافتی در هر خط کاهش می‌یابد. همچنین یک خط لوله آبیاری بارانی در وسط قطعه زمین آزمایشی به موازات ردیف‌های کاشت قرار گرفت.

عوامل آزمایش شامل آبیاری، پتاسیم و نیمه چپ و راست بودند. در این تحقیق از طرح آماری اسپلیت بلوک (کرت‌های نواری) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. تیمار پتاسیم در عرض زمین عمود بر کرت‌های اصلی و به طور تصادفی و در سطوح صفر، ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به عنوان کرت اصلی و میزان آب دریافتی در فواصل ۰/۷۵، ۳/۷۵، ۶/۷۵ و ۹/۷۵ متر از خط لوله آبیاری به ترتیب تحت عنوان تیمار بدون تنش، تنش بسیار ملایم، تنش ملایم، تنش شدید و تنش بسیار شدید به عنوان کرت فرعی قرار گرفتند. با توجه به اینکه فاصله بین ردیف‌های سیب زمینی ۷۵ سانتیمتر است، لذا بر این اساس بسته به اختلاف میزان آب دریافتی، فواصل مختلف انتخاب شدند. علاوه بر این فاصله بین کرت‌های فرعی مربوط به تنش برای جلوگیری از اثرات حاشیه‌ای ۳ متر در نظر گرفته شد. کلیه تیمارها و تکرارهای آزمایش هم در نیمه راست و هم در نیمه چپ خط لوله آبیاری به صورت سیستماتیک تکرار شدند، لذا نیمه سمت چپ و راست لوله آبیاری به عنوان

دادند که مصرف پتاسیم تحت شرایط تنش کم‌آبی باعث بهبود عملکرد دانه و تجمع ماده خشک سویا گردید. فاجریا و همکاران (Fageria et al., 1990) در بررسی اثرات تنش خشکی و پتاسیم بر روی برنج به این نتیجه رسیدند که پتاسیم از کاهش زیاد عملکرد در شرایط کم‌آبی جلوگیری می‌کند. تنش خشکی باعث کاهش پاسخ برنج به پتاسیم شد. دانشیان (Daneshian, 1999) اظهار داشت که استفاده از پتاسیم در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد و تعداد دانه در گیاه سویا گردید. عزیزی (Azizi, 1998) نیز گزارش نمود که مصرف کود پتاسیم، اثر منفی تنش آب را تعدیل نموده و عملکرد دانه سویا را در شرایط تنش کم‌آبی افزایش داده است. بررسی انجام شده بر روی عدس تحت شرایط تنش خشکی نشان داد که افزایش مصرف پتاسیم مقاومت گیاه، وزن خشک اندام‌ها و نیز عملکرد دانه را افزایش می‌دهد (Shehata and Farrog, 1983). حاتمی و همکاران (Hatami et al., 2010) با مطالعه اثر کود پتاسیم در سه سطح (صفر، ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار) بر عملکرد و رشد ارقام سویا نشان دادند که با افزایش مصرف کود پتاسیم بر عملکرد دانه افزوده شد. حنان و همکاران (Hannan et al., 2011) نشان دادند که عملکرد و کیفیت غده سیب زمینی به طور معنی‌داری تحت تأثیر پتاسیم قرار گرفت و با افزایش مصرف پتاسیم، عملکرد و درصد نشاسته غده افزایش یافت. خسروی فر و همکاران (Khosravifar et al., 2008) با بررسی اثر پتاسیم بر تحمل به خشکی سیب زمینی رقم آگریا گزارش کردند که وزن تر و عملکرد غده سیب‌زمینی با افزایش فاصله دوره‌های آبیاری و افزایش مصرف کود پتاسیم به ترتیب کاهش و افزایش یافتند. عنصر غذایی پتاسیم در سیب‌زمینی در فرایندهای متابولیکی نظیر انتقال مواد فتوسنتزی و قند از برگ به غده و تبدیل قند به نشاسته نقش حیاتی دارد. بنابر این کمبود آن، کیفیت محصول سیب‌زمینی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این کمبود پتاسیم باعث کاهش توانایی گیاه در تحمل به تنش خشکی می‌شود (Kazemi et al., 2011).

نیاز سیب‌زمینی به آب و پتاسیم زیاد است و بررسی توأم این دو عامل می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، افزایش راندمان تولید و راندمان مصرف آب و نیز سازگاری به شرایط کم‌آبی، مناسب باشد. لذا در این تحقیق تأثیر تنش کم‌آبی و کود پتاسیم بر راندمان مصرف آب

¹. Line source sprinkler

کرت فرعی فرعی در نظر گرفته شد. هر نیمه از ۶۰ کرت تشکیل شده بود و هر کرت دارای چهار ردیف به فواصل ۷۵ سانتیمتر و به طول ۷ متر و مساحت ۲۱ مترمربع بود. خط لوله آبیاری از جنس پلی اتیلن و به قطر ۹۰ میلی متر بود و آب پاش ها روی آن به فاصله ۶ متر قرار گرفتند. برای همپوشانی و یکنواختی در طول خط، از دو آب پاش اضافی در ابتدا و انتهای لوله آبیاری استفاده شد. فشار مورد نیاز برابر با ۳/۵ اتسمفر بود که در طول مدت آبیاری ثابت نگهداشته شد. در هر آبیاری با قرار دادن قوطی های جمع آوری آب در تمامی ردیف های کاشت، الگوی پخش

آب و رابطه میزان پخش آب نسبت به فاصله به دست آمد. در هر دور آبیاری میزان آب قوطی ها اندازه گیری شد و در نهایت بر حسب میلی متر آبیاری و متر مکعب در هکتار محاسبه گردید. میزان آب دریافتی در دو نیمه راست و چپ و نیز در دو سال آزمایش متفاوت بود. در جدول ۱ مقادیر آب بر حسب متر مکعب در هکتار در طول فصل رشد در نیمه راست و چپ خط آبیاری و در دو سال متوالی (میانگین سه تکرار) نشان داده شده است.

جدول ۱. میزان آب دریافتی در فصل رشد در سطوح تنش و در نیمه راست و چپ خط لوله در دو سال آزمایش
Table 1. Received water amounts in growth seasonal at different water deficit levels in right and left of line source in 1st and 2nd years experiment.

رژیم تنش کم آبی Water deficit regims	فاصله از خط لوله آبیاری (متر) Distance from line (m)	میزان آب (متر مکعب در هکتار) Amounts of water (m ³ .ha ⁻¹)			
		سال اول 1 st year		سال دوم 2 nd year	
		نیمه راست Right half	نیمه چپ Left half	نیمه راست Right half	نیمه چپ Left half
بدون تنش control	0.75	6930	7100	7380	7620
تنش بسیار ملایم very mild stress	3.75	5450	5930	5800	6240
تنش ملایم mild stress	6.75	3560	4250	4170	4540
تنش شدید intensive stress	9.75	2340	3030	2880	3220
تنش بسیار شدید very intensive stress	12.75	1270	1540	1450	1660

میزان کل آب مصرفی در هر آبیاری و در طول فصل رشد به وسیله کنتور حجمی که در ابتدای خط اصلی (قبل از ورود به خط آبیاری) قرار داده شده بود، اندازه گیری شد. طول مدت زمان آبیاری در هر بار براساس میزان شدت پخش آب در اولین خط کاشت (اولین قوطی جمع آوری آب) و نیز نیاز کامل آبی گیاه بر اساس فرمول ذیل تعیین شد.

زمان آبیاری (ساعت) = شدت پخش (میلیمتر بر ساعت) ÷ نیاز آبی گیاه (میلیمتر) [۱]

نیاز آبی گیاه سیب زمینی بر اساس گزارشات مؤسسه تحقیقات خاک و آب (Farshchi et al., 1997) در منطقه

مشهد ۸۵۰/۶ میلیمتر برآورد شده است. دور آبیاری با نمونه برداری روزانه از خاک و تعیین درصد رطوبت خاک با استفاده از دستگاه تانسومتر تعیین گردید. آبیاری اول برای سبز شدن کامل به صورت نشتی داده شد و پس از آن در طول فصل رشد، تیمارهای آبیاری به صورت آبیاری بارانی خطی اعمال شد.

شاخص های مورد مطالعه در این تحقیق شامل عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب اقتصادی (EWUE) و راندمان مصرف آب بیولوژیک (BWUE) بود. با محاسبه نسبت ماده خشک غده بر آب مورد استفاده بر حسب تبخیر و تعرق پتانسیل، راندمان مصرف آب اقتصادی

و با تقسیم میزان عملکرد بیولوژیک (ماده خشک کل گیاه) بر آب مصرفی، راندمان مصرف آب بیولوژیک محاسبه شد. در روش مزبور (آبیاری بارانی خطی) تجزیه و تحلیل بر اساس روش هنکس (Hanks et al., 1980) و با در نظر گرفتن عامل نیمه (Half) (سمت راست یا چپ خط لوله آبیاری) انجام شد. جهت آزمون همگنی واریانس‌ها از آزمون بارتلت استفاده شد. بر اساس نتایج آزمون بارتلت، تجزیه مرکب به دلیل عدم یکنواختی واریانس‌ها امکان پذیر نشد. لذا پس از برداشت، تجزیه واریانس هر سال به طور جداگانه انجام شد. کلیه داده‌های به دست آمده از آزمایش توسط نرم‌افزار کامپیوتری SAS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نمودارهای لازم توسط نرم افزار Excel رسم شدند. میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

با توجه به ماهیت اجرای آزمایش (لاین سورس) و میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف (جدول ۱) و ارجاع به نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲ و ۳) روشن است که اثر تنش کم آبی بر کلیه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. هرچند بررسی سطوح معنی‌داری به علت سیستماتیک بودن تیمارهای آبیاری معتبر نیست. لذا ارزیابی اثرات متقابل تیمارهای آبیاری با سایر تیمارها بویژه تیمار پتاسیم از ارزش بیشتری برخوردار است.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر پتاسیم بر عملکرد غده در هر دو سال آزمایش معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد با افزایش پتاسیم مصرفی در هر دو سال میزان عملکرد غده افزایش یافت، هر چند این تفاوت در سال دوم آزمایش کمتر بوده است. در تیمار مصرف پتاسیم، بالاترین عملکرد در هر دو سال آزمایش (به ترتیب ۲۴/۱۵ و ۱۷/۹۴ تن در هکتار) مربوط به سطح ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار بود که برابر با ۳۲ و ۴۰ درصد افزایش نسبت به شاهد (عدم مصرف پتاسیم) به ترتیب در سال اول و دوم می‌باشد (جدول ۴ و ۵).

سطوح تنش باعث ایجاد اختلافات معنی‌داری در عملکرد غده در هر دو سال آزمایش شدند. عملکرد در تنش بسیار ملایم، ملایم و شدید در سال اول به ترتیب برابر با ۲۹/۶۲، ۱۵/۴۴ و ۶/۷۷ تن در هکتار به دست آمد که نسبت به شاهد (فاصله ۷۵ سانتیمتری از خط لوله و آب

کافی) به ترتیب ۱۲/۵، ۵۴ و ۸۰ درصد کاهش عملکرد داشتند. عملکرد در سال دوم در تنش بسیار ملایم ۲۲/۳ در تنش ملایم ۱۷/۳۱، در تنش شدید ۹/۸۸ و در تنش بسیار شدید ۲/۰۴ تن در هکتار به دست آمد. این مقادیر برابر با ۱۶، ۳۵، ۳۷، ۶۳ و ۹۲ درصد کاهش عملکرد نسبت به شاهد (بدون تنش) می‌باشد.

اثر متقابل تنش و پتاسیم بر عملکرد در سال اول در سطح ۱٪ و در سال دوم در سطح ۵٪ معنی‌دار بود (جدول ۲ و ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین عملکرد غده در هر دو سال آزمایش در تیمار ۲۷۰ کیلوگرم پتاسیم و تیمار بدون تنش بدست آمد که با سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت (شکل‌های ۱ و ۲). نتایج این بررسی نشان می‌دهد که واکنش سطوح پتاسیم در برابر تنش یکسان نبوده و با تغییرات در سطوح تنش در مقادیر مختلف پتاسیم عملکرد غده به طور متفاوتی تغییر یافت.

اثر پتاسیم در سال اول روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار نبود، اما در سال دوم اثر معنی‌داری در سطح ۵٪ نشان داد. تنش کم آبی نیز تأثیر معنی‌داری بر روی میزان عملکرد بیولوژیک در هر دو سال داشت (جدول ۲ الی ۴).

کاهش عملکرد سیب‌زمینی با دور شدن از خط لوله آبیاری بارانی توسط دماگانت و همکاران (Demagante et al., 1995) گزارش شده است. اثرات پتاسیم بر روی عملکرد سیب‌زمینی بسیار مؤثر می‌باشد و همان گونه که مشاهده می‌شود در تمامی سطوح تنش توانسته است عملکرد را افزایش دهد (شکل ۱).

مؤثر بودن پتاسیم تحت شرایط تنش کم آبی بر روی گیاهان برنج، سویا، بادام زمینی و عدس (Shehata and Farrog, 1983; Fageria et al., 1990; Sharma et al., 1991; Umar et al., 1992). قبلاً مشخص شده است. آزمایشات کیچن و همکاران (Kitchen et al., 1990) نیز مشابه نتایج این تحقیق، نشان دهنده بهبود عملکرد سیب زمینی تحت شرایط تنش کم آبی با استفاده از پتاسیم می‌باشد.

در شکل ۳ رابطه رگرسیونی بین آب و عملکرد در سطوح مختلف پتاسیم نشان داده شده است. رابطه رگرسیونی بین عملکرد (Y) و آب مصرفی (X) در دو سال آزمایش به صورت زیر می‌باشد:

$$Y = -15.351252 + 0.009803X - 4.848679 \times 10^{-7} X^2, \\ R^2 = 0.85^{**} \quad [2]$$

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی سیب زمینی در اثر تنش کم آبی و پتاسیم در سال اول آزمایش

Table 2. Analysis of variance for tuber yield, biological yield, BWUE and EWUE of potato as affected by different potassium and water deficit levels in the first year.

(S.O.V)	منابع تغییرات	درجه آزادی df	Mean squares میانگین مربعات			
			عملکرد غده Tuber yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	راندمان مصرف آب بیولوژیک Biological WUE	راندمان مصرف آب اقتصادی Economic WUE
rep.	تکرار	2	96.4 ^{ns}	3.5 ^{ns}	9222.6 ^{ns}	176616.8 ^{ns}
K	پتاسیم	3	136.3 *	5.3 ^{ns}	178256.5 *	341381.6*
error	خطا	6	24.9	1.7	45556.6	82246.4
Stress(S)	تنش	4	3776.6 ^{nv}	179.7 ^{nv}	1768609.1 ^{nv}	2235842.6 ^{nv}
error	خطا	8	21.5	1.2	31673.1	60657.3
K × S	تنش × پتاسیم	12	33.97**	0.09 ^{ns}	24255.1 ^{ns}	46451.2 ^{ns}
error	خطا	24	7.7	0.35	1696.4	20484.6
Half(H)	نیمه	1	27.5 ^{nv}	2.3 ^{nv}	961598.2 ^{nv}	9567.9 ^{nv}
error	خطا	2	2.2	0.05	7302.4	13985.2
K×H	نیمه × پتاسیم	3	10.9 ^{ns}	0.4 ^{ns}	12569.8 ^{ns}	24073.1 ^{ns}
error	خطا	6	13.6	0.21	11582.1	22181.4
S×H	نیمه × تنش	4	68.2 ^{nv}	3.7 ^{nv}	408711.9 ^{nv}	275785.8 ^{nv}
error	خطا	8	17.1	0.73	41405.6	29296.2
K×S× H	نیمه × تنش × پتاسیم	12	7.2 ^{ns}	0.62 ^{ns}	22735.3 ^{ns}	43540.6 ^{ns}
error	خطا	24	6.8	0.41	16147.8	30924.7
ضریب تغییرات (CV) %			12.16	7.65	6.66	15.74

***, ns و nv به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد، بدون اختلاف معنی دار و فاقد ارزش آماری می باشند.
*, **: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ns: means non significant; nv: probability statements are not valid because treatments were not randomized.

(جدول ۳). اثر پتاسیم بر روی BWUE در سال دوم بیشتر بود و اختلاف بیشتری در بین سطوح پتاسیم مشاهده شد. در عدم مصرف پتاسیم، BWUE برابر با ۱۵۸۰ گرم ماده خشک در متر مکعب آب مصرفی بود و در سطوح ۹۰، ۱۸۰ و ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به ترتیب ۱۶۹۳، ۱۹۳۵ و ۲۰۰۸ گرم ماده خشک در متر مکعب آب به دست آمد (جدول ۳). به جهت آنکه پتاسیم باعث افزایش تولید ماده خشک شد، راندمان مصرف آب (بیولوژیک و اقتصادی) نیز افزایش یافت. اثر پتاسیم بر روی راندمان مصرف آب اقتصادی در دو سال آزمایش آبیاری بارانی معنی دار بود. در سال اول و دوم در سطح ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار بالاترین EWUE به دست آمد (جدول ۳). این مقادیر در سال اول و دوم به ترتیب ۱۲۷۱ و ۹۹۷ گرم ماده خشک غده در متر مکعب آب مصرفی بود.

تجزیه واریانس راندمان مصرف آب و مقایسه میانگین‌های آن در آزمایش آبیاری بارانی در دو سال آزمایش در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است. پتاسیم در سال اول در سطح ۵٪ و در سال دوم آزمایش در سطح ۱٪ بر روی راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی اثر گذاشت. اثر متقابل تنش و پتاسیم در سال اول معنی دار نبود، اما در سال دوم بر روی BWUE در سطح ۵٪ و بر روی EWUE در سطح ۱٪ اثر معنی داری داشت (جدول ۲).

در سال اول مصرف ۹۰ و ۱۸۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار به میزان کمی WUE براساس ماده خشک کل گیاه را افزایش داد و بیشترین BWUE در سطح ۲۷۰ کیلوگرم اکسید پتاسیم در هکتار و به میزان ۲۰۱۹ گرم ماده خشک گیاه در مترمکعب آب مصرفی به دست آمد

در مورد راندمان مصرف آب بر اساس تولید ماده خشک غده نتیجه برعکس ماده خشک کل گیاه بود و با شدت گرفتن تنش کم‌آبی، EWUE کاهش نشان داد. در سال اول تنش بسیار ملایم و در سال دوم تنشهای بسیار ملایم و ملایم اختلافی را بر روی EWUE بوجود نیاوردند. در سال دوم تنش شدید ۴۷ درصد EWUE را کاهش داد و آن را از ۱۳۰۴ گرم در متر مکعب در تیمار شاهد (بدون تنش) به ۶۹۰ گرم ماده خشک غده در متر مکعب آب رسانید. در سال دوم تنش شدید ۱۵ درصد و تنش بسیار شدید ۶۴ درصد EWUE را کاهش دادند و آن را از ۹۵۳ گرم در متر مکعب به ترتیب به ۸۰۸ و ۳۴۱ گرم ماده خشک غده در متر مکعب آب مصرفی رساندند (جدول ۳).

راندمان مصرف آب در سال اول نسبت به سال دوم بالاتر بود و علت آن عملکرد بیشتر ماده خشک کل گیاه و نیز ماده خشک غده در سال اول می‌باشد.

در اثر اعمال تنشهای کم‌آبی BWUE افزایش پیدا کرد و تمامی سطوح تنش با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. در سال اول در تنش شدید (فاصله ۹/۷۵ متری خط لوله آبیاری) بالاترین BWUE به میزان ۲۲۴۴ گرم ماده خشک گیاه در مترمکعب آب مصرفی و در سال دوم در تنش بسیار شدید (فاصله ۱۲/۷۵ متری خط لوله آبیاری) بیشترین BWUE به مقدار ۲۶۴۶ گرم ماده خشک گیاه در مترمکعب آب، به دست آمد. در حقیقت افزایش ماده خشک گیاه به ازاء آب مصرفی در سطوح بالاتر آبیاری کمتر بود و هرچه میزان آب مصرفی بیشتر شد، BWUE کاهش یافت (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی سیب زمینی در اثر تنش کم آبی و پتاسیم در سال دوم آزمایش

Table3. Analysis of variance for tuber yield, biological yield, BWUE and EWUE of potato as affected by different potassium and water deficit levels in the second year.

		میانگین مربعات Mean squares				
	منابع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد غده	عملکرد بیولوژیک	راندمان مصرف آب بیولوژیک	راندمان مصرف آب اقتصادی
(S.O.V)		df	Tuber yield	Biological yield	Biological WUE	Economic WUE
rep.	تکرار	2	158.1 *	1.6*	478149.1*	98696.8*
K	پتاسیم	3	136.1 *	13.3*	597373.2**	322513.4**
error	خطا	6	6.9	0.001	27784.1	76536.2
Stress(S)	تنش	4	2296.7 ^{nv}	119.2 ^{nv}	2023373.4 ^{nv}	6942458.1 ^{nv}
error	خطا	8	8.4	0.001	40669.8	5186.5
K × S	تنش × پتاسیم	12	3.5*	0.001 ^{ns}	21773.8*	49652.9**
error	خطا	24	1.3	0.001	7743.9	21112.3
Half(H)	نیمه	1	886.4 ^{nv}	7.6 ^{nv}	3697851.9 ^{nv}	15192.1 ^{nv}
error	خطا	2	27.4	0.001	208100.6	503085.9
K×H	نیمه × پتاسیم	3	9.2 ^{ns}	0.001 ^{ns}	572611.8 ^{ns}	3243.1**
error	خطا	6	9.9	0.001	33903.1	293.9
S×H	نیمه × تنش	4	138.6 ^{nv}	0.001 ^{nv}	785225.3 ^{nv}	5518.8 ^{nv}
error	خطا	8	17.8	0.001	103520.5	19394.9
K×S× H	نیمه × تنش × پتاسیم	12	1.3 ^{ns}	0.001 ^{nv}	13353.7 ^{ns}	727.6**
error	خطا	24	1.1	0.001	13657.1	153.5
ضریب تغییرات (CV) %			6.72	4.33	14.03	4.69

***، **، ns و nv به ترتیب نشان دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد، ۵ درصد، بدون اختلاف معنی‌دار و فاقد ارزش آماری می‌باشند.
 *, **: significant at 0.05 and 0.01 probability levels, respectively; ns: means non significant; nv: probability statements are not valid because treatments were not randomized.

جدول ۴. مقایسه میانگین عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی سیب زمینی در سطوح مختلف پتاسیم و تنش کم آبی در سال اول

Table 4. Means comparison of tuber yield, biological yield, BWUE and EWUE of potato different potassium and water deficit levels in the first year.

		عملکرد غده (تن در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	راندمان مصرف آب بیولوژیک (گرم در متر مکعب)	راندمان مصرف آب اقتصادی (گرم در متر مکعب)
treatments	تیمار	Tuber yield (t/ha)	Biological yield (t/ha)	Biological WUE (g/m3)	Economic WUE (g/m3)
اکسید پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)					
K ₂ O (kg/ha)					
0	صفر	18.34 b	8.033 a	1815 b	988 b
90	۹۰	21.75 a b	8.665 ab	1922 ab	1137 ab
180	۱۸۰	21.45 ab	8.456 ab	1876 ab	1073 ab
270	۲۷۰	24.15 a	9.170 a	2019 a	1271 a
stress		تنش			
control	بدون تنش	33.85 a	11.220 a	1599 d	1304 a
very mild stress	بسیار ملایم	29.62 b	10.310 b	1815 c	1389 a
mild stress	ملایم	15.44 c	7.632 c	1975 b	870 b
intensive stress	تنش شدید	6.77 d	5.170 d	2244 a	690 c
very intensive stress	بسیار شدید	1.14 e	2.047 e	2135 a	114.5 d

حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ در آزمون LSD است.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level, using LSD (Least Significant Difference) Range test.

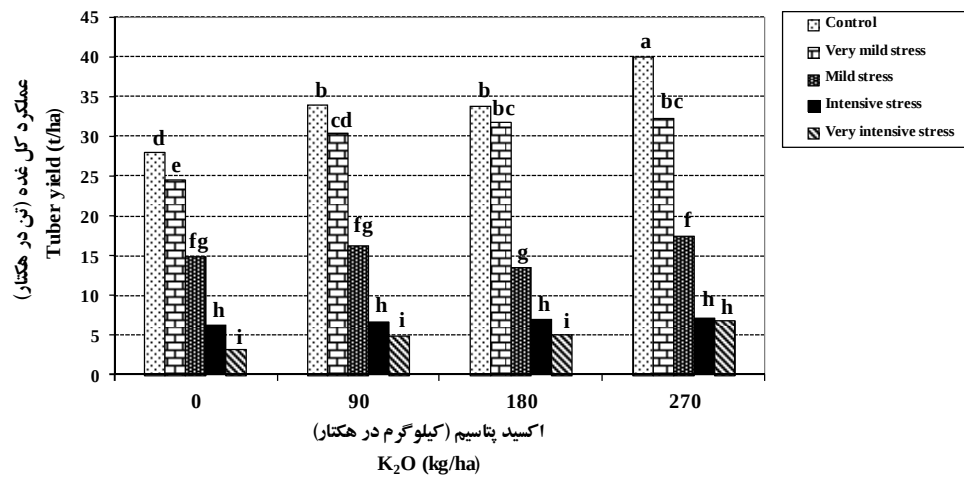
جدول ۵. مقایسه میانگین عملکرد غده، عملکرد بیولوژیک، راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی سیب زمینی در سطوح مختلف پتاسیم و تنش کم آبی در سال دوم

Table 5. Means comparison of tuber yield, biological yield, BWUE and EWUE of potato different potassium and water deficit levels in the second year.

		عملکرد غده (تن در هکتار)	عملکرد بیولوژیک (تن در هکتار)	راندمان مصرف آب بیولوژیک (گرم در متر مکعب)	راندمان مصرف آب اقتصادی (گرم در متر مکعب)
treatments	تیمار	Tuber yield (t/ha)	Biological yield (t/ha)	Biological WUE (g/m3)	Economic WUE (g/m3)
اکسید پتاسیم (کیلوگرم در هکتار)					
K ₂ O (kg/ha)					
0	صفر	12.90 c	6.403 d	1580 d	666.1 e
90	۹۰	15.29 b	6.785 c	1693 c	784.2 b
180	۱۸۰	16.26 b	7.590 b	1935 b	883.6 b
270	۲۷۰	17.94 a	7.822 a	2008 a	997.1 a
stress		تنش			
control	بدون تنش	26.47 a	9.908 a	1321 e	953.1 a
very mild stress	بسیار ملایم	22.30 b	8.505 b	1414 d	997.8 a
mild stress	ملایم	17.31 c	7.157 c	1645 c	1064 a
intensive stress	تنش شدید	9.88 d	6.072 d	1995 b	807.9 b
very intensive stress	بسیار شدید	2.04 e	4.107 e	4646 a	341.3 c

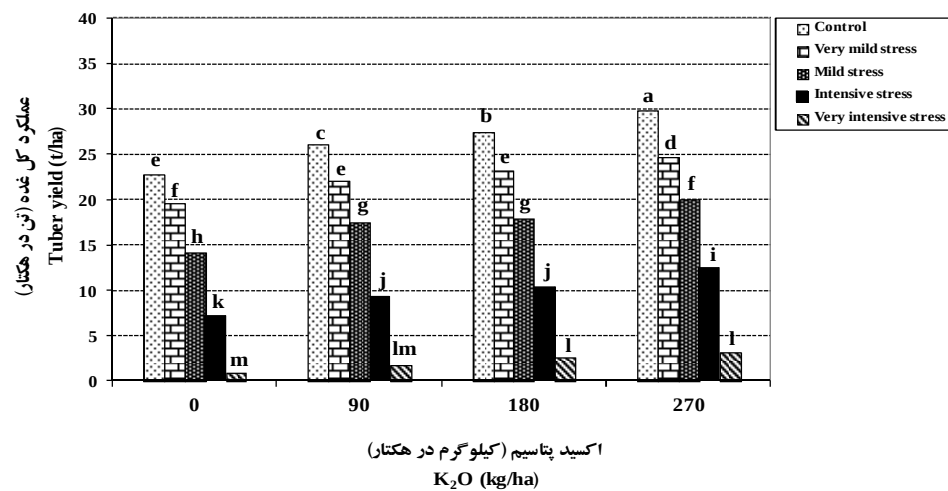
حروف یکسان در هر ستون نشانه عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال آماری ۰/۰۵ در آزمون LSD است.

Means in each column followed by similar letters are not significantly different at 0.05 probability level, using LSD (Least Significant Difference) Range test.



شکل ۱. عملکرد گده سیب زمینی تحت تأثیر تنش کم آبی در سطوح مختلف پتاسیم در سال اول

Fig 1. Tuber yield of potato as affected of water deficit at different potassium levels in the first year



شکل ۲. عملکرد گده سیب زمینی تحت تأثیر تنش کم آبی در سطوح مختلف پتاسیم در سال دوم

Fig 2. Tuber yield of potato as affected of water deficit at different potassium levels in the second year

روزنه‌ای در مقایسه با مصرف کمتر پتاسیم می‌شود. میزان بالای پتاسیم باعث بهبود راندمان مصرف آب در غلات شده است (Azizi, 1998). افزایش راندمان مصرف آب با مصرف بالای پتاسیم ممکن است به خاطر کاهش تراکم روزنه و تغییر شکل روزنه‌ها باشد. همچنین ممکن است متابولیسم سلولهای محافظ روزنه به طور مستقیم از کمبود عناصر غذایی تأثیر بگیرد. در حقیقت به علت این که پتاسیم عمده‌ترین ماده اسمزی تجمع یافته در سلول-

اثرات متقابل سطوح تنش کم آبی و پتاسیم بر روی راندمان مصرف آب بیولوژیک در شکل ۴ نشان داده شده است. در تمامی سطوح پتاسیم، تنش کم آبی باعث افزایش BWUE شده است. رابطه رگرسیونی بین BWUE و میزان آب مصرفی (متر مکعب در هکتار) در سطوح مختلف پتاسیم در شکل ۵ ارائه شده است.

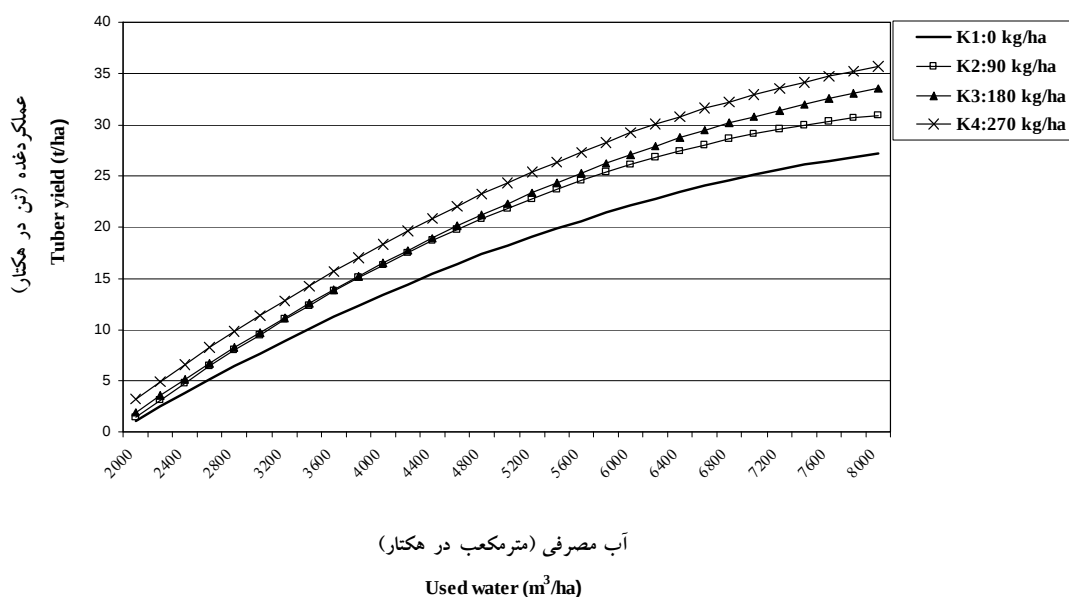
برخی از گزارشات حاکی از آن است که مصرف زیاد کود پتاسیم سبب کاهش سرعت تعرق گیاه و هدایت

آزمایشات نشان دادند که پتاسیم کافی در خاک نه تنها بر روی راندمان مصرف آب و عملکرد دانه بادام زمینی موثر بوده است، بلکه انتظار می‌رود که باعث کاهش نیاز زیاد آب به خصوص در مراحل حساس احتیاج گیاه به آب شود (Azizi, 1998).

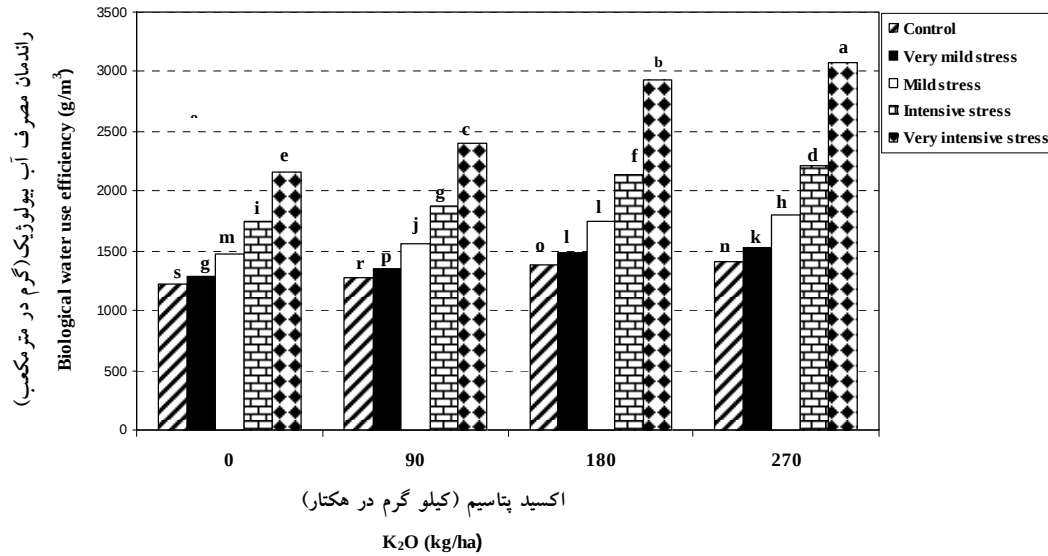
تمامی عواملی که بر عملکرد مؤثر هستند، بدون این که تبخیر و تعرق را به مقدار قابل توجهی افزایش دهند، عملکرد را بالا برده و راندمان مصرف آب را افزایش خواهند داد. بنابراین مدیریت صحیح مزرعه یکی از نیازهای اساسی جهت استفاده مفید از آب در تولید محصولات زراعی می‌باشد. برای استفاده مؤثر از آب مصرفی، وجود عناصر غذایی به میزان کافی و متناسب با وضعیت رطوبتی در خاک، لازم می‌باشد (Sarmadnia and Koochaki, 1989). به همین دلیل است که مشاهده شد پتاسیم باعث افزایش راندمان مصرف آب بیولوژیک و اقتصادی سیب زمینی شد.

های محافظ به هنگام باز شدن روزنه‌ها می‌باشد، ممکن است در صورت کمبود شدید پتاسیم در آن منطقه فعالیت روزنه به طور مستقیم تأثیر گرفته و باز شدن آن کاهش یابد.

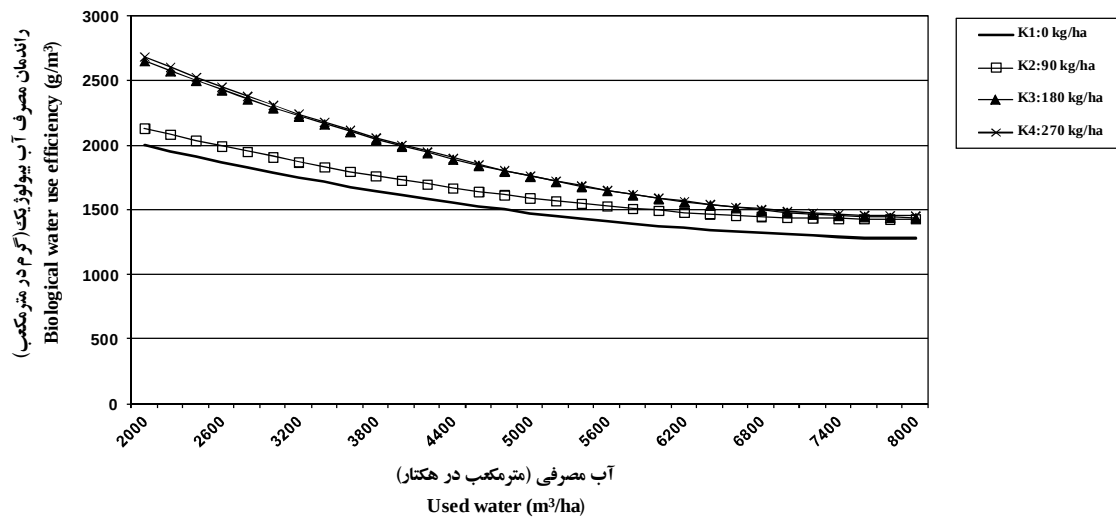
آنچه مسلم می‌باشد این است که میزان آب موجود بر روی راندمان مصرف آب گیاهان تأثیر می‌گذارد (Sarmadnia and Koochaki, 1989). در این تحقیق مشاهده شد که راندمان مصرف آب بر اساس تولید ماده خشک کل گیاه در اثر تنش کم آبی افزایش می‌یابد. مکرون و جفریز (Mackerron and Jefferies, 1994) مشاهده کردند که تنش کم آبی WUE را در سیب زمینی افزایش می‌دهد. خان و همکاران (Khan et al., 1991) گزارش کردند که کاهش میزان آب باعث کاهش WUE می‌شود. در این تحقیق راندمان مصرف آب اقتصادی سیب زمینی در اثر کاهش مصرف آب، کاهش یافت.



شکل ۳. روابط بین آب مصرفی و عملکرد غده در سطوح مختلف پتاسیم در دو سال آزمایش
Fig 3. Relationship between used water and tuber yield at different potassium levels in 2 years.



شکل ۴. راندمان مصرف آب بیولوژیک سیب زمینی تحت تأثیر تنش کم آبی در سطوح مختلف پتاسیم
 Fig 4. Biological water use efficiency of potato as affected of water deficit at different potassium levels.



شکل ۵. رابطه بین میزان آب مصرفی و راندمان مصرف آب بیولوژیک در سطوح مختلف پتاسیم در دو سال آزمایش
 Fig 5. Relationship between used water and BWUE at different potassium levels in 2 years

منابع

- Azizi, M., 1998. Effects of different water regims and potassium fertilizer on agronomical, physiological and biochemical characteristics of soybean. Ph.D. Thesis in Agronomy. Ferdowsi University, Mashhad. [In Persian with English Summary].
- Baghani, J., 2009. Effect of Planting pattern and water quantity on Potato Cultivation with Drip Irrigation in Mashhad. J. Water Soil. 23 (1), 153-159. [In Persian with English Summary]
- Bahramloo, R., Nasser, A., 2010. Effect of deficit irrigation on yield and water use efficiency of potato cultivar sante. Iranian J. Irrig. Drain. 1(4), 90-98. [In Persian with English Summary]
- Daneshian, J., 1999. Study of ecophysiology of water deficit effects in soybean. Ph. D. Thesis in Agronomy. Eslamic Azad University. Iran. [In Persian with English Summary]
- Demagante, A.L., Harris, P.M., Vander Zaag, P., 1995. A promising method for screening drought tolerance in potato using apical cuttings. Am. Potato J. 72, 577-588.
- Doorenbos, J., Pruitt W.O., 1977. Crop water requirements, Irrigation and Drainage Paper 24. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Eskandari, A., Khazaie, H.R., Nezami, A., Kafi, M., Majdabadi, A., 2011. Study the effects of irrigation regimes on physiological characteristics, yield and water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) in Mashhad climate. J. Hortic. Sci. 25 (2), 201-210. [In Persian]
- Fageria, N.K., Wright, R.G., Baligar, J.R., 1990. Upland rice response to potassium fertilization on a Brazilian oxisol. Fertilizer Res. 21 (3), 141-147.
- FAO. 2010. FAOSTAT. Retrieved April 2010, from <http://faostat.fao.org/faostat/collections?subset=agriculture>.
- Farshchi, A.A., Sharifi, M.R., Jarollahi, R., Ghaemi, M.R., Shahabifar, M., Tavallaei, S.M., 1997. Estimation crops water requirements of major crops and horticultures. Soil and Water Research Institution. Press Education of Agriculture. Karaj. [In Persian]
- Fulai, L., Shahnazari, A., Anderson, M.N., Jacobsen S.E., Jensen, C.R., 2006. Effects of deficit irrigation and partial root drying on gas exchange, biomass partitioning and water use efficiency in potato. Sci. Hort. 109, 113-117.
- Ghanbari, A., Farboudi, M., Alimohammadi, R., Faramarzi, A., Jamshidi, S., Shamspour, S., 2007. Effects of potassium sulfate (K₂SO₄) on quantity and quality of agria and satina potato cultivars in Miyaneh region, Iran. J. New Agric. Sci. (Modern Science of Sustainable Agriculture). 3 (6), 69-79 . [In Persian with English Summary]
- Hanks, R.J., Vission, D.V., Hurst, R.L., Hubbard, K.G., 1980. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. Soil Sci. Soc. Am. J. 44, 880-888.
- Hannan, A., Arif, M., Ranjha, A.M., Abid, A., Fan, X.H., Li, Y.C., 2011. Using soil potassium adsorption and yield response models to determine potassium fertilizer rates for potato crop on a calcareous soil in Pakistan. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 42 (6), 645-655.
- Hassan, A.A., Sarkar, A.A., Ali, M.H. Karim, N.N., 2002. Effect of deficit irrigation at different growth stage on the yield of potato. Pakistan J. Biol. Sci. 5 (2), 128-134.

- Hatami, H., Ayeneband, A., Azizi, M., Soltani, A., Dadkhah, A.R., 2010. Effect of potassium fertilizer on growth and yield of soybean cultivars in North Khorasan. J. Crop Ecophysiol. 2 (2), 75-90. [In Persian with English Summary]
- Irna, A., Mauromicale, G., 2006. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. Agric. Water Manage. 82, 193-209.
- Kazemi, M., Hasan Abadi, H., Tavakoli, H., 2011. Potato Production Management. Agricultural Education and Extension Press. 156p. [In Persian]
- Khan, H.R., Elahi, S., Hussain, M.S. Adachi, T., 1994. Soil characteristics and behavior of potassium under various moisture regimes. Soil Sci. Plant Nutr. 40 (2), 234-254.
- Khan, M.S., Rahman, M., Shaha, U.K. Kabir, H., 1991. Response of potato to irrigation to varying nitrogen levels. J. Indian Potato Assoc. 18 (1-2), 27-34.
- Khourgami, A., Nourmohammadi, G., Majidi Harvan, E., Shiranirad, A.H., Darvish, F., 2004. Effect of water deficit stress and potassium rate on seed yield and yield components of canola cultivars (*Brassica napus* L.). J. Agric. Sci. 10 (3), 3-12. [In Persian with English Summary].
- Khosravifar, S., Yarnia, M., Khorshidi Benam, M.B., Hosseinzadeh Moghbeli, A.H., 2008. Effect of potassium on drought tolerance in potato cv. Agria. Proceedings of the 10th Congress of Agronomy and Plant Breeding. Iran. Pp: 358. [In Persian with English Summary]
- Kitchen, N.R., Buchholz, D.D., Nelson, C.J., 1990. Potassium fertilizer and potato leaf hopper effects on alfalfa growth. Agron. J. 82 (6), 1069-1074.
- Kiziloglu, F.M., Sahin, U., Tune, T., Diler S., 2006. The effect of deficit irrigation on potato evapotranspiration and tuber yield under cool season and semiarid climatic conditions. J. Agron. 5(2), 284-288.
- Mackerron, D.K.L., Jefferies, R.A., 1994. Seasonal and ontogenetic changes in water use efficiency in potato as indicated by isotope discrimination. Aspects Appl. Biol. 38, 101-111.
- Ministry of Agricultural Jihad, 2011. Crops and Livestock Statistics, 2009-2010. from <http://www.agri-jahad.ir/portal/Home/Default.aspx?CategoryID=20ad5e49-c727-4bc9-9254-de648a5f4d52>.
- Mortazavibak, A., Aminpour, R., Mousavi, S.F., 2008. Effects of deficit irrigation at early growth stages on yield of commercial potato cultivars. Iranian J. Hortic. Sci. Technol. 9(1), 1-10. [In Persian with English Summary]
- Nagaz, K., Masmoudi, M.M., 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. J. Agron. 6 (2), 324-330.
- Navalawala, B.N., 1991. Water logging and its related issues in India. J. Irrigation Power. 1, 55-64.
- Rezaei, A., Soltani, A., 1996. Potato Crops. (Translated). Jahad-e- Daneshgahi Press. Mashhad. [In Persian]
- Sabbah, A., Ghaffari Nejad, S.A., 2008. Determination of the best water level as trickle, irrigation and method of tape replacement on potato yield in Jiroft area. Pajouhesh & Sazandegi, 79, 194-199. [In Persian with English Summary]

- Saggu, S.S., Kaushal, M.P., 1992. Comparison of drip and furrow irrigation system for potato crop. *Journal of Research Punjab Agricultural University*. 29 (1), 91-98.
- Sarmadnia., G., Koochaki, A.R., 1989. *Physiological Aspects of Dry Land Farming*. Jahad-e-Daneshgahi Press. Mashhad. [In Persian]
- Sharma, K.D., Kuhad, M.S., Nanadwal, A.S., 1992. Possible role of potassium in drought tolerance in Brassica. *Journal of Potassium Research*. 8 (4), 320-327.
- Shayan Nejad, M., Moharrery, A., 2010. Effects of water stress on qualitative properties of wheat and potato in Shahrekord. *Iranian J. Water Res. Agric. (Formerly Soil and Water Sciences)*. 24 (1), 65-71. [In Persian with English Summary]
- Shehata, A.A., Farrog, A.A., 1983. Effect of potassium under specific conditions on yield and composition of broad bean seeds. *Egyptian J. Soil Sci.* 23, 293-303.
- Shock, C.C., Feibert, E.B.G., 2002. Deficit Irrigation on Potato. In *Deficit Irrigation Practices*. FAO. Rome.pp: 47-56.
- Sobhani, A.R., Rahimian Mashhadi, H., Noormohammadi, G., Majidi Harvan, E., 2002. Effects of water deficit and potassium nutrition on yield and some agronomic characteristics of potato. *J. Agric. Sci.* 8 (3), 23-34. [In Persian with English Summary]
- Tanner, C.B., 1981. Transpiration efficiency of potato. *Agron. J.* 73 (1), 59-64.
- Umar, S., Afridi, M.R., Dwived, R.S., 1991. Influence of added potassium on the drought resistance of groundnut. *Journal of Potassium Research*. 7(1), 53-61.
- Wang, F., Kang, Y., Liu, S., Hou, X., 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 88, 34-42.

