مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ٤/سال ۱۳۸۷/ص ۳۰-۱۷

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد، اجزای عملکرد، و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی

نیاز علی ابراهیمی پاک* و ابراهیم پذیرا**

* نگارنده مسئول، نشانی: تهران، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، ص. پ: ۱۴۱۱۷۳۴۱۷، تلفن: ۸۸۰۱۳۱۵۱ (۰۲۱)، پیام‌نگار: nebrahimipak@yahoo.com

** به‌ترتیب استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب؛ و استاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۶/۶/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۲

چکیده

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه سیب‌زمینی است. این پژوهش با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته مرکز تحقیقات کشاورزی چهار محال و بختیاری اجرا شد. در این پژوهش، تیمارهای کم‌آبیاری در پنج سطح شامل E_0 (آبیاری کامل)، E_1 (۸۵ درصد)، E_2 (۷۰ درصد)، E_3 (۵۵ درصد) و E_4 (۳۰ درصد) تبخیر - تعرق واقعی گیاه سیب‌زمینی حاصل از لایسیمتر زهکش‌دار به‌طور جداگانه در سه دورهٔ رشد سیب‌زمینی شامل T_1: دورهٔ استقرار بذر و رشد رویشی، T_2: دورهٔ رشد کامل، و T_3: دورهٔ رشد رسیدن آزمایش شدند. صفات مورد بررسی در پژوهش عبارت‌اند از: تعداد غده در هر بوته، درصد ریز و درشتی غده‌ها، عملکرد اندام هوایی، عملکرد غده سیب‌زمینی، میزان آب مصرفی، و کارایی مصرف آب. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که حداکثر و حداقل عملکرد سیب‌زمینی به‌ترتیب در سطوح بدون تنش و آبیاری با ۳۰ درصد تبخیر- تعرق حاصل شده است. در دورهٔ اول رشد گیاه با کاهش آب مصرفی، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب کاهش نشان می‌دهد. لیکن در دوره‌های دوم و سوم رشد گیاه، با کاهش آب مصرفی کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. بیشترین کارایی مصرف آب در دوره رشد اول در تیمار بدون تنش آبی و در دورهٔ دوم رشد در تیمار آبیاری با ۵۵ درصد تبخیر- تعرق، و در دورهٔ سوم رشد در تیمار آبیاری با ۳۰ درصد تبخیر- تعرق به‌دست آمده است. کاهش آب مصرفی به‌ترتیب عبارت‌اند از دوره‌های اول ۱۲/۲، سوم ۱۳/۲و دوم ۱۷/۸ درصد که در آنها کاهش محصول به‌ترتیب برابر با ۱۷/۵، ۱۱/۱و ۱۰/۸ درصد بوده است. به‌طور کلی در دورهٔ رشد دوم، تیمار ۵۵ درصد تبخیر- تعرق و در دوره‌های رشد اول و سوم تیمار ۳۰ درصد تبخیر- تعرق توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی

تنش آبی، دورهٔ رشد گیاه، سیب‌زمینی، کارایی مصرف آب، کم‌آبیاری

مقدمه

بعد از گندم، برنج، و ذرت، سیب‌زمینی دارای گسترده‌ترین توزیع کشت در دنیاست. این محصول در ۱۴۵ کشور جهان کشت می‌شود و نقشی مهم در تغذیه و سبد غذایی مردم جهان دارد (Faberio *et al*., 2001; Rezaee & Soltani, 2006). در سطح جهان حدود ۲۹۰ میلیون تن غده سیب‌زمینی از ۲۱ میلیون هکتار سطح زیر کشت به‌دست می‌آید؛ سیب‌زمینی عمدتاً در مناطق معتدل کشت می‌شود (Doorenbos & Kassam, 1977). مهم‌ترین تنش محیطی سیب‌زمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، تنش آبی است که تأثیرات آن بسته به شرایط محیطی و نیز ارقام متفاوت است (Susnoschi & Shimshi, 1985; Lynch *et al*, 1995). حسّاسیت گیاه سیب‌زمینی به تنش آبی در مقایسه با سایر گیاهان بیشتر است و علت آن توسعهٔ کم ریشه، ریشه‌های نازک، و ناتوانی رشد آنها در خاک‌های فشرده است. کم‌آبیاری برای بعضی از گیاهان زراعی در سطح دنیا موفقیت‌آمیز است (Shock *et al*., 2002). اما سیب‌زمینی با سایر گیاهان تفاوت اساسی دارد زیرا که اعمال کم‌آبیاری در این گیاه باعث کاهش عملکرد غده می‌شود که می‌تواند بر سود

حاصل، در اثر تنش آبی تأثیر بگذارد و در شرایطی بازارپسندی محصول را با مشکل مواجه کند (Wright & Stark, 1990; Lynch *et al*., 1995; Eldredge *et al*., 1996; Karafyllidis *et al*., 1996; Shock & Filbert, 2000; Hassanpana & Hosseinzade, 2002; Meshkini *et al*., 2002; Sobnani *et al*., 2002). کاهش آب آبیاری باعث کوچک شدن اندازهٔ غده‌ها می‌شود و از نظر بازار پسندی صدمه وارد می‌کند و تأثیر مستقیمی بر ارزش اقتصادی محصول خواهد گذاشت (Eldredge *et al*., 1996; Robins & Dommingo, 1996). واریته‌های مختلف گیاه سیب‌زمینی نسبت به تنش آبی واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند (Martin & Miller, 1983; Miller & Martin, 1987; Jefferies & Lmacherron, 1993; Lynch *et al*., 1995; Hassanpana & Hossenzade, 2002). عملکرد محصول و اندازه غده‌های سیب‌زمینی نوعی رابطهٔ خطی با میزان آب مصرفی (Martin & Miller, 1983; Shalhert & Shimshi, 1983; Hanc & Pumphery, 1984; Hegney & Holfman, 1997; Yuan & Nishiyama, 2003). کاهش آب مصرفی بیشتر از ۷۵ درصد تبخیر- تعرق، عملکرد محصول را به‌طور معنی‌دار کاهش می‌دهد (Yuan & Nishirama, 2003) . تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه سیب‌زمینی تأثیرات متفاوتی دارد. چنانچه در دورهٔ اول رشد آبیاری انجام پذیرد اما در دورهٔ دوم رشد تنش آبی وارد شود چگالی غده‌ها کاهش می‌یابد (Hang & Miller, 1986; Miller & Martin, 1987). با افزایش آب مصرفی عملکرد محصول افزایش می‌یابد و با کاهش آب مصرفی تعداد غده در بوته و وزن غده در بوته به طور معنی‌دار تحت تأثیر تنش آبی قرار می‌گیرد و تنش آبی شدید عملکرد را به طور معنی‌دار کاهش می‌دهد (Sobhani *et al*., 2000; Hassanpana & Hossenzade, 2002; Meshkini *et al*., 2002; Jolyni & Alavi Shahr, 2006). چنانچه سیب‌زمینی در اول دورهٔ رشد با تنش آبی مواجه شود عملکرد محصول بسیار کم می‌شود و اگر در آخر فصل رشد به گیاه تنش آبی وارد شود غده‌ها کوچک می‌شوند و میزان بازارپسندی محصول کاهش می‌یابد (Karafyllidis *et al*., 1996; Robins & Domingo, 1996; Moshirijonatavel *et al*., 2006). روش آبیاری قطره‌ای، جویچه‌ای، و بارانی در عملکرد محصول و کاستن از آب آبیاری بسیار مؤثر است به‌طوری‌که در مقایسهٔ دو روش آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای، با کاستن از ۴۵ درصد آب آبیاری عملکرد محصول ۴۶ درصد افزایش نشان می‌دهد (Darwish *et al*., 2002; Kanoni, 2006; Moshiri *et al*., 2006). شکل پشته‌ها و نحوهٔ کاشت در عملکرد محصول و کاهش آب آبیاری بسیار مؤثر است به‌طوری‌که با کم‌آبیاری دو ردیفه سیب‌زمینی روی یک پشته می‌توان محصول قابل توجهی به‌دست آورد و نسبت به آبیاری معمولی، مقدار آب کمتری مصرف کرد (Stone & Nofziger, 1993). تنش آبی باعث کاهش عملکرد و کوتاه شدن فصل رشد و دورهٔ خواب غده می‌شود اما کم‌آبیاری در سیب‌زمینی باعث کاهش ۳۰ درصد عملکرد غده و ۲۰ درصد تعداد غده و ۲۱ درصد مقدار ساقه می‌شود (Karafyllidis *et al*., 1996). کم‌آبیاری روی تعداد غده، تشکیل ساقه و وزن متوسط غده در ارقام مختلف سیب‌زمینی تأثیر می‌گذارد و عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Lynch & Tai, 1989a,b; Lynch *et al*., 1995; Stuik & Voorst, 1996).

هدف این پژوهش ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری روی عملکرد سیب‌زمینی در مراحل مختلف رشد و تعیین بهینه آب مصرفی، کارایی مصرف آب، و حساسیت دوره‌های مختلف رشد به کم‌آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد به عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا در مزرعه‌ای با خاک سیلتی‌لومی (جدول ۱) و با استفاده از طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه

تکرار از بهار ۱۳۷۵ به مدت سه سال زراعی اجرا شد. در این پژوهش تیمارهای آبیاری در پنج سطح شامل E_0 (آبیاری کامل)، E_1 (۸۵ درصد)، E_2 (۷۰ درصد)، E_3 (۵۵ درصد)، و E_4 (۳۰ درصد) تبخیر- تعرق واقعی گیاه سیب‌زمینی حاصل از لایسیمتر در سه آزمایش جداگانه در مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی شامل T_1: دورهٔ استقرار بذر و رشد رویشی، T_2: دورهٔ رشد کامل، و T_3: دورهٔ رشد رسیدن در نظر گرفته شد. زمین انتخابی طرح در تناوب با گندم بود و از این رو عملیات تهیهٔ زمین شامل شخم زمستانه بود. در بهار، قطعه زمین آزمایشی پس از دیسک و ماله‌کشی با ایجاد کرت‌هایی به ابعاد ۵ ×۳ متر آماده شد. فاصلهٔ بین دو کرت مجاور ۲/۵ متر و برای اطمینان از عدم نفوذ آب انتخاب شد؛ انتهای جویچه‌ها بسته شد و بنابراین هیچ‌گونه تلفات سطحی آب وجود نداشت. جویچه‌ها با ماشین ردیف‌کار ایجاد شد. در هر کرت آزمایشی ۶ خط کشت به طول ۵ متر تعیین و سیب‌زمینی رقم آکریا به فاصلهٔ ۶۰ × ۲۵ سانتی‌متری در هشتم تا یازدهم اردیبهشت‌ماه کشت شد. در زمان کاشت بر اساس آزمون خاک، کود مورد نیاز شامل فسفر و پتاسیم و ۲۵ درصد از کل کود اوره به‌صورت پایه اضافه شد و در سه مرحلهٔ بعدی کود اوره سرک داده شد. به منظور اندازه‌گیری تبخیر- تعرق بالقوه گیاه، از یک لایسیمتر زهکش‌دار در شرایط مشابه مزرعه از نظر بافت، ساختمان خاک و کشت گیاه استفاده شد. با اندازه‌گیری مقدار رطوبت خاک درون لایسیمتر از طریق نوترون‌متر و تعیین مقدار تبخیر- تعرق بالقوه گیاه سیب‌زمینی، مقادیر آب آبیاری هر کرت محاسبه شد. آب آبیاری تا ابتدای کرت با لوله منتقل و سپس از طریق کنتور حجمی آب با دقت بالا اندازه‌گیری شد و در اختیار هر کرت قرار گرفت. وزن مخصوص ظاهری خاک (ρ_b) و رطوبت ظرفیت زراعی مزرعه (FC) و رطوبت در حد نقطه پژمردگی دائم (PWP) با صفحهٔ فشار در لایه‌های نیمرخ خاک در اعماق مختلف اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

زمانی که رطوبت خاک ناحیهٔ ریشه بین ۴۵ تا ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه در اعماق ۰ تا ۵۰ سانتی‌متر می‌رسید مزرعه آبیاری می‌شد. مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه سیب‌زمینی با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار از رابطهٔ ۱ محاسبه و با توجه به تیمارهای کم‌آبیاری اعمال شد.

$$ETc = I + R - D - (Sw_2 - Sw_1) \qquad (۱)$$

که در آن، ETc= تبخیر- تعرق بالقوه گیاه با استفاده از لایسیمتر (میلی‌متر)؛ I= میزان آب آبیاری مورد نیاز تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی (میلی‌متر)؛ R= میزان بارندگی (میلی‌متر)؛ D= عمق آب زهکش شده (میلی‌متر)؛ Sw_2 = رطوبت لایهٔ خاک در ابتدای دورهٔ اندازه‌گیری (میلی‌متر)؛ و Sw_1= رطوبت لایهٔ خاک در انتهای دورهٔ اندازه‌گیری (میلی‌متر) که از طریق نوترون‌متر تعیین شد.

به منظور ارزیابی تأثیر دقیق کم‌آبیاری روی محصول سیب‌زمینی در سه دورهٔ رشد بدین نحو عمل شد: T_1: فقط در دوره استقرار بذر و رشد رویشی (تقریباً ۵۰ روز اول دورهٔ رشد) کم‌آبیاری اعمال و بقیه مراحل رشد گیاه آبیاری کامل انجام شد. T_2: یا دورهٔ رشد کامل (۵۰ روز دوم دورهٔ رشد) کم‌آبیاری اعمال و بقیهٔ مراحل رشد گیاه آبیاری کامل انجام شد. T_3: در دورهٔ رشد رسیدن ریشه (۴۵ روز آخر دورهٔ رشد) کم‌آبیاری اعمال شد و در مراحل اول و دوم آبیاری به صورت کامل انجام شد. باران در طول دورهٔ رشد گیاه در ایستگاه تحقیقاتی مذکور ۱۳/۸ میلی‌متر و عمدتاً در دورهٔ اول رشد گیاه بارید که در رابطهٔ ۱ به‌صورت مستقیم لحاظ شده است. متوسط دمای هوا در دورهٔ رشد گیاه ۱۲ درجهٔ سانتی‌گراد، حداکثر ۳۰ و حداقل ۳/۵ درجهٔ سانتی‌گراد)

بوده است. در زمان برداشت که از ۲۰ مهر شروع شد، از دو ردیف میانی با حذف یک متر از حاشیهٔ کرت‌های آزمایشی در سطحی معادل ۴/۵ متر مربع غده‌ها جمع‌آوری و پس از توزین محصول هر کرت، عملکرد غده تعیین شد. از کل اندام گیاهی نمونه‌های تهیه شد. نمونه‌ها در آون الکتریکی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۰ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند و بدین ترتیب کل مادهٔ خشک تولیدی (عملکرد بیولوژیک) در هکتار به‌دست آمد. برای تجزیه و تحلیل اندازهٔ قطر غده‌ها، از الک در سه اندازه: کمتر از ۳۰ میلی‌متر، ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر، و بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر استفاده شد. عملکرد هر کرت آزمایشی در سه گروه تقسیم‌بندی و برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Mintap و SPSS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس مرکب نشان می‌دهد که تیمارهای کم‌آبیاری در دوره‌های مختلف رشد گیاه سیب‌زمینی در سطح ۵ درصد تأثیری معنی‌دار بر عملکرد غده و درصد غده‌های کوچک‌تر از ۵۰ میلی‌متر دارند (جداول ۲، ۴ و۶) و با توجه به اینکه تجزیهٔ واریانس بر اساس سه دورهٔ رشد گیاه سیب‌زمینی به‌طور جداگانه انجام شده است، نتایج مقایسهٔ میانگین به تفکیک سه دوره رشد گیاه به شرح ذیل ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی سیب‌زمینی

عمق نمونه‌برداری (سانتی‌متر)	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۲۰	۱۲۰-۱۴۰	۱۴۰-۱۸۵	متوسط
رطوبت ظرفیت مزرعه (درصد وزنی)	۲۱/۴	۱۹/۲	۱۶/۸	۱۰/۹	۱۳/۹	۱۳	۱۵/۷۶
رطوبت نقطهٔ پژمردگی (درصد وزنی)	۱۲/۶	۱۱/۶	۸/۳	۴/۵	۶/۶	۵/۴	۸/۱۷
چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۳۴	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۷	۱/۶۹	۱/۶۷	۱/۶۲
بافت خاک	سیلتی‌رسی	سیلتی‌لومی	لومی‌شنی	شنی‌سیلتی	سیلتی‌شنی	لومی‌شنی	لومی‌شنی

نتایج به‌دست آمده در مرحلهٔ T_1 (دورهٔ استقرار بذر و رشد رویشی)

عملکرد غده

بررسی نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر میانگین عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی در دورهٔ اول رشد نشان می‌دهد که این اثر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۲) یعنی با کاهش آب مصرفی عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی کاهش می‌یابد، به نتایج مشابه در مراجع فوق می‌توان اشاره کرد (Hang & Miller, 1986; Miller & Martin, 1987; Sobhani *et al.*, 2000; Hassanpana & Hossenzade, 2002; Yuan & Nishiyama, 2003; Jolyni & Alavi Shahri, 2006).

مقایسهٔ تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی در این دورهٔ از رشد گیاه نشان می‌دهد که E_0 با ۳۸/۵۶ تن در هکتار بیشترین و تیمار E_4 با ۲۶/۴۵ تن در هکتار کمترین عملکرد را دارند (جدول ۳). بر اساس آزمون دانکن، تیمار E_0 در گروه آماری a و تیمارهای E_3, E_2, E_1 در گروه آماری b و تیمار E_4 در گروه آماری c قرار دارند (جدول ۳). رابطهٔ بین عملکرد غده سیب‌زمینی و تبخیر- تعرق گیاه نشان می‌دهد که معمولاً حداکثر عملکرد محصول سیب‌زمینی در حداکثر تبخیر- تعرق گیاه اتفاق می‌افتد، به نتایج مشابه در مراجع فوق می‌توان اشاره کرد (Martin & Miller, 1983; Shalheret & Shimshi, 1983; Hanc & Pumphrey,

1984; Hegney & Hoffman, 1997; Yuan & Nishiyama, 2003). عملکرد بالای تیمار E_0 در این دوره از رشد گیاه نشان‌دهندهٔ آن است که گیاه سیب‌زمینی دچار تنش آبی نشده و نیاز آبی گیاه تأمین شده است.

آب مصرفی گیاه

میزان آب مصرفی تیمارهای کم‌آبیاری سیب‌زمینی در این دورهٔ از رشد گیاه برای تیمارهای E_0، E_1، E_2، E_3 و E_4 به‌ترتیب ۷۸۶۱، ۷۴۸۵، ۷۰۸۰، ۶۷۲۶ و ۶۳۱۶ متر مکعب در هکتار به‌دست آمده است (جدول ۳). تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی در مقابل آب مصرفی (جدول ۳) نشان می‌دهد که کاهش ۴/۷۸ درصد آب مصرفی در تیمار E_1 نسبت به E_0 عملکرد غده ۵/۹۸ درصد و در تیمار E_4 با کاهش ۱۹/۶۵درصد آب مصرفی، عملکرد غده ۳۱/۴ درصد کاهش می‌یابد.

کارایی مصرف آب به ازای تولید هر واحد غده سیب‌زمینی

تغییرات کارایی مصرف آب غده سیب‌زمینی نشان می‌دهد که تیمار E_0 و E_4 به‌ترتیب با تولید ۴/۹۱ و ۴/۱۸ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی بیشترین و کمترین مقدار کارایی مصرف آب را دارند (جدول ۳) لیکن بین کارائی مصرف آب در تیمارهای آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد و تمام تیمارهای آبیاری در یک گروه آماری قرار دارد.

جدول ۲- تجزیهٔ واریانس ریشه و اجزای عملکرد سیب‌زمینی در دورهٔ اول رشد گیاه

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)	درصد غده کوچک‌تر از ۳۰ میلی متر	درصد غده بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر	درصد غده بزرگ‌تر از ۵۰ میلی متر
تکرار	۲	۲۸/۵۷	۸/۶	۳۹/۲	۲۰/۶
تیمار آبی	۴	۵۲۵/۸۹**	۱۱۷۵/۷۸**	۱۲۵۹/۶*	۶۷/۸۰
سال	۱	۳۲/۱۰	۱۲۴/۰۳	۱۹۲/۵	۴/۰۲
سال در آب	۴	۸/۱	۴/۱۳	۳/۱	۲۴/۴۷
تکرار در آب	۴	۱۱۲/۸**	۸۱۹/۲۷*	۳۰۴/۳	۱۵۲/۰۷
تکرار در تیمار	۸	۱۷/۳۴	۴۹۴/۲۷	۸۳۱/۸	۲۲۱/۴
خطا	۸	۷۴/۷۲	۷۵۰/۷	۱۰۶۲/۱	۱۰۹/۱۳
کل	۲۹	۷۹۹/۵۵	۳۳۷۶/۷	۳۶۹۲/۸	۶۰/۳۰

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های صفات مربوط به عملکرد سیب‌زمینی در سطوح مختلف کم‌آبیاری اعمال شده در دورهٔ اول رشد

تیمار	آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)	وزن غده (گرم)	تعداد غده در بوته	عملکرد غده درصد			کارایی مصرف آب (کیلوگرم در متر مکعب)	درصد کاهش آب مصرفی	درصد کاهش عملکرد محصول
					۰ تا ۳۰ میلی‌متر	۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر	بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر			
E0T1	۷۸۶۱	۳۸۵۶۰a	۳۸/۶ a	۱۶/۵ a	۴۳ a	۵۰/۷ b	۶/۳ c	۴/۹۱a	۰	۰
E1T1	۷۴۸۵	۳۶۲۵۲b	۳۶/۷ a	۱۶/۲ a	۳۶/۷ b	۵۴ a	۹/۳ b	۴/۸۴ a	۴/۷۸	۵/۹۸
E2T1	۷۰۸۰	۳۳۱۵۶b	۳۴/۹ b	۱۵/۸ a	۳۷ b	۵۴/۲ a	۸/۸ b	۴/۶۸ a	۹/۹	۱۴
E3T1	۶۷۲۶	۳۱۳۲۰b	۳۲/۸ b	۱۶ a	۳۹ b	۴۹ b	۱۲ a b	۴/۶۵ a	۱۴/۴	۱۸/۸
E4T1	۶۳۱۶	۲۶۴۵۰c	۳۰/۶ b	۱۴/۴ b	۴۱ a	۴۳ c	۱۶ a	۴/۱۸ a	۱۹/۶۵	۳۱/۴

اندازه غده‌ها

کاهش آب آبیاری باعث کوچک شدن اندازهٔ غده‌ها می‌شود و از نظر بازار پسندی صدمه وارد می‌کند، به نتایج مشابه در مراجع فوق می‌توان اشاره کرد (Eldredge *et al*., 1996; Robins & Dommingo, 1996; Sobhani *et al*., 2000; Hassanpana & Hossenzade, 2002; Jolynhi & Alavi, 2006). تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان می‌دهد که اثر کم‌آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، بر درصد قطر غده‌های کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر و بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر معنی‌دار است. در این مرحله از رشد گیاه با کاهش آب آبیاری، درصد قطر غده‌های کمتر از ۳۰ میلی‌متر افزایش و درصد قطر غده‌های ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر کاهش می‌یابد در نتیجه بازارپسندی محصول با مشکل مواجه می‌شود.

جدول ٤- تجزیهٔ واریانس ریشه و اجزای عملکرد سیب‌زمینی در دورهٔ دوم رشد گیاه

منبع تغییرات	درجهٔ آزادی	عملکرد غده (کیلو گرم در هکتار)	درصد غده کوچک‌تر از ۳۰ میلی متر	درصد غده بین ۳۰ تا ۵۰ میلی متر	درصد غده بزرگ‌تر از ۵۰ میلی متر
تکرار	۲	۱۶/۶۸	۲۶/۶	۹۹/۳	۲۲۰/۸۷
تیمار آبی	۴	۲۷۸/۷۲**	۷۶۴/۹*	۱۰۷۹/۵	۵۸/۸۷
سال	۱	۳۹/۱۲	۱۰۴/۵	۱۸۷/۵	۶/۵۳
سال در آب	۴	۱/۱۸۸۵	۲/۵	۲/۷	۰/۴۷
تکرار در آب	۴	۲۵۶/۹۱**	۶۱۶/۱	۱۴۰/۶	۱۶۲/۸۷
تکرار در تیمار	۸	۵۸/۱۰۷	۱۳۱۷/۷	۸۶۹/۷	۲۹۹/۱۳
خطا	۸	۳۷/۸۹۹	۳۳۳۸/۹	۲۲۶۵/۷	۴۷۳/۱۳
کل	۲۹	۶۹۰/۴۵	۶۱۷۱/۲	۴۶۶۳/۷	۱۲۲۱/۸۷

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های صفات عملکرد سیب‌زمینی در سطوح مختلف کم‌آبیاری اعمال شده در دوره رشد دوم (ادغام نتایج)

تیمار	آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد غده (کیلو گرم در هکتار)	وزن غده (گرم)	تعداد غده در بوته	عملکرد غده (درصد)			کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر متر مکعب)	درصد کاهش آب مصرفی	درصد کاهش عملکرد محصول
					کمتر از ۳۰ میلی‌متر	۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر	بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر			
E_0T_2	۷۸۶۱	۳۵۴۵۱a	۳۵/۶	۱۶/۶ a	۴۲/۳ a	۴۶/۶ a	۱۱/۱ a	۴/۵	۰	۰
E_1T_2	۷۴۶۱	۳۴۱۵۸a	۳۳/۷	۱۶/۸ a	۳۳/۵ b	۵۷/۲ a	۹/۳ a	۴/۵۷	۵/۱	۳/۶۴
E_2T_2	۷۰۷۱	۳۲۷۵۱ab	۳۲/۶	۱۶/۷ a	۳۵/۱ b	۵۶ a	۸/۹ a	۴/۶۳	۱۰/۱	۷/۶۲
E_3T_2	۶۶۷۸	۳۲۲۵۰ab	۳۱/۹	۱۶/۵ a	۳۵/۲ a	۵۲/۳ a	۱۲/۵ a	۴/۸۲	۱۵	۹
E_4T_2	۶۰۲۱	۲۷۲۱۶ b	۲۸/۷	۱۵/۸ a	۴۷/۷ b	۴۰a	۱۲/۳ a	۴/۵۲	۲۳/۴	۲۳/۲

نتایج به‌دست آمده در مرحلهٔ T_2 (دورهٔ رشد کامل)

عملکرد غده

بررسی نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در دورهٔ دوم رشد نشان می‌دهد که این اثر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). با کاهش آب مصرفی عملکرد غده سیب‌زمینی کاهش می‌یابد، به نتایج مشابه در مراجع فوق می‌توان اشاره کرد (Eldredge *et al.*, 1996; Kavafyllidi *et al.*, 1996; Meshkini *et al.*, 2002). مقایسهٔ تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی در این دوره از رشد گیاه نشان می‌دهد که تیمار E_0 و E_4 به‌ترتیب با ۳۵/۴۵ تن و ۲۷/۲۲ تن در هکتار بیشترین و کمترین عملکرد غده را دارند (جدول ۵). بر اساس آزمون دانکن تیمارهای E_0 و E_1 در گروه آماری a و تیمارهای E_3 ,E_2 در گروه آماری ab و تیمار E_4 در گروه آماری b قرار دارند (جدول ۵).

آب مصرفی گیاه

میزان آب مصرفی در این دوره از رشد گیاه برای تیمارهای E_0 , E_1 , E_2 , E_3 , E_4 به‌ترتیب ۷۸۶۱، ۷۴۶۱، ۷۰۷۱، ۶۶۷۸ و ۶۰۲۱ متر مکعب در هکتار است (جدول ۵). تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی در مقابل آب مصرفی (جدول ۵) نشان می‌دهد که با کاهش ۵/۱ درصد آب مصرفی در تیمار E_1 نسبت به تیمار E_0، عملکرد غده ۳/۶۴ درصد و با کاهش ۲۳/۳ درصد آب مصرفی در تیمار E_4 نسبت به تیمار E_0، عملکرد غده ۲۳/۲ درصد کاهش می‌یابد. در این مرحله از رشد گیاه در تیمار E_3 با کاهش ۱۵ درصد آب مصرفی نسبت تیمار E_0، عملکرد غده ۹ درصد کاهش می‌یابد.

کارایی مصرف آب به ازای تولید هر واحد غده سیب‌زمینی

تغییرات کارایی مصرف آب غده سیب‌زمینی برای تیمارهای آبیاری نشان می‌دهد که تیمار E_3 و E_0 به‌ترتیب تولید ۴/۸۲ و ۴/۵ کیلوگرم غده به ازای هر متر مکعب آب مصرفی بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب را دارند (جدول ۵). در این مرحله از رشد گیاه مشاهده شد که با کاهش آب آبیاری میزان کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (جدول ۵).

اندازهٔ غده‌های سیب‌زمینی

تجزیهٔ واریانس (جدول ۴) نشان می‌دهد که اثر تیمارهای آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، فقط بر درصد قطر غده‌های کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر است و اما درصد قطر غده‌های سیب‌زمینی بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر

با هم تفاوتی ندارد و درصد قطر غده‌های بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر با کاهش آب مصرفی کاهش می‌یابد ولی معنی‌دار نیست.

نتایج به‌دست آمده در مرحلهٔ T_3 (دورهٔ رشد رسیدن)

عملکرد غده

بررسی نتایج تجزیهٔ واریانس اثر تیمارهای آبیاری بر میانگین عملکرد غده سیب‌زمینی در دورهٔ سوم رشد نشان می‌دهد که این اثر در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۶) و با کاهش آب مصرفی، عملکرد غده سیب‌زمینی، اندازه غده، وزن متوسط غده در بوته کاهش می‌یابد، به نتایج مشابه در مراجع فوق می‌توان اشاره کرد (Stuik & Roorst, 1986; Lynch *et al*., 1995; Robins & Domingo, 1996; Moshiri *et al*., 2006). مقایسهٔ تغییرات عملکرد غده سیب‌زمینی در این دوره نشان می‌دهد که تیمار E_0 و E_4 به‌ترتیب با ۳۲/۲۴ و ۲۵/۱۸ تن در هکتار بیشترین و کمترین مقدار عملکرد غده را دارند (جدول ۷). بر اساس آزمون دانکن تیمار E_0 در گروه آماری a و تیمارهای E_1, E_2 در گروه آماری ab و تیمارهای E_3 و E_4 در گروه آماری b قرار دارند (جدول ۷).

جدول ٦- تجزیهٔ واریانس عملکرد سیب‌زمینی در دوره سوم رشد گیاه

منبع تغییرات	درجه آزادی	عملکرد غده (کیلوگرم در هکتار)	درصد غده ۰ تا ۳۰ میلی‌متر	درصد غده بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر	درصد غده بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر
تکرار	۲	۷/۶۲	۲/۵	۸۶/۱	۲۰/۰۷
تیمار آبی	۴	۸۱/۸**	۷۷۹/۱*	۵۷۷/۹*	۲۶۵/۵
سال	۱	۷۷/۱۲	۱۳۶/۵	۱۳۶/۵	۸/۵۳
سال در آب	۴	۴۵/۶۸	۲/۵	۲۱/۵	۲۹/۱۲
تکرار در آب	۴	۷۲/۹۶	۵۹۴/۱*	۴۲۴/۵	۳۱/۲۷
تکرار در تیمار	۸	۳۷۲/۶۸*	۱۸۵۶/۱	۱۶۵۷/۹	۱۵۲/۲۷
خطا	۸	۲۵۳/۸۳	۱۹۷۲/۹	۱۰۳۷/۵	۱۶۷/۰۷
کل	۲۹	۹۱۱/۷۰	۵۳۴۵/۵	۴۲۲/۹	۶۷۲/۸۷

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد و * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

جدول ۷- مقایسهٔ میانگین‌های صفات عملکرد سیب‌زمینی در سطوح مختلف کم‌آبیاری اعمال شده در دورهٔ رشد سوم رشد گیاه

تیمار	آب مصرفی (متر مکعب در هکتار)	عملکرد ریشه (کیلوگرم در هکتار)	وزن غده (گرم)	تعداد غده در بوته	عملکرد غده درصد			کارایی مصرف آب (کیلو گرم در متر مکعب)	درصد کاهش آب مصرفی	درصد کاهش عملکرد محصول
					کمتر از ۳۰ میلی‌متر	بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر	بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر			
E0T3	۷۸۶۱	۳۲۲۴۵a	۳۵/۲	۱۵/۳ a	۴۶ a	۴۴/۸ b	۹/۲ b	۴/۱۰	۰	۰
E1T3	۷۳۲۵	۳۰۴۲۱ab	۳۳/۲	۱۵/۵ a	۴۶ a	۴۰/۲ c	۱۳/۸ a	۴/۱۵	۶/۸۱	۵/۶۶
E2T3	۶۷۹۲	۳۰۵۱۵ab	۳۳/۳	۱۵/۳ a	۴۱/۵ ab	۵۰/۲ a	۸/۳ b	۴/۴۹	۱۳/۵۹	۵/۳۶
E3T3	۶۳۰۹	۲۸۵۱۶ b	۳۱/۵	۱۵/۱ a	۳۵ b	۵۴/۵ a	۱۰/۵ b	۴/۵۲	۱۹/۷	۱۱/۵۶
E4T3	۵۴۱۹	۲۵۱۸۰ b	۲۹/۵	۱۴/۲ a	۴۲/۸ ab	۴۵/۲ b	۱۲ a	۴/۶۷	۳۱/۱	۲۱/۹۱

آب مصرفی گیاه

میزان آب مصرفی گیاه سیب‌زمینی در این دوره از رشد گیاه برای تیمارهای E_4, E_3, E_2, E_1, E_0 به‌ترتیب ۷۸۶۱، ۷۳۲۵، ۶۷۹۲، ۶۳۰۹ و ۵۴۱۹ مترمکعب در هکتار است (جدول ۷). تغییرات عملکرد غده در مقابل آب مصرفی نشان می‌دهد که با کاهش ۶/۸۱ درصد آب مصرفی در تیمار E_1 نسبت به تیمار E_0، عملکرد غدهٔ سیب‌زمینی ۵/۶۶ درصد کاهش می‌یابد و کاهش ۳۱/۱ درصد آب در تیمار E_4 نسبت به تیمار E_0، عملکرد غده سیب‌زمینی ۲۱/۹۱ درصد کاهش می‌یابد. در این مرحله از رشد گیاه مشاهده می‌شود که با کاهش ۱۳/۵۹ درصد آب مصرفی در تیمار E_2 نسبت به تیمار E_0 عملکرد غده ۵/۳۶ درصد کاهش یافته است.

کارایی مصرف آب به ازای تولید هر واحد غده سیب‌زمینی

تغییرات کارایی مصرف آب غده سیب‌زمینی در این مرحله از رشد گیاه نشان می‌دهد که تیمار E_4 و E_0 به‌ترتیب با تولید ۴/۶۷ و ۴/۱۰ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی بیشترین و کمترین کارایی مصرف آب را دارند (جدول ۷). در این مرحله از رشد گیاه با کاهش آب مصرفی کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد (جدول ۷).

اندازهٔ غده‌های سیب‌زمینی

تجزیهٔ واریانس داده‌ها (جدول ۶) نشان می‌دهد که اثر کم‌آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد، بر درصد قطره‌های کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر و بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر معنی‌دار است و با کاهش آب مصرفی، درصد قطر غده‌های کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر کاهش اما درصد قطر غده‌های بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در دورهٔ اول رشد گیاه، تیمار E_0 با میزان ۷۸۶۱ متر مکعب آب آبیاری و عملکرد ۳۸۵۶۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین کارایی آب (برابر با ۴/۹۱ کیلوگرم به ازای متر مکعب آب) را دارد یعنی به‌ازای تولید هر کیلوگرم غده ۲۰۴ لیتر آب معرف شده است. در همین دورهٔ رشد، E_2 با میزان ۷۰۸۰ متر مکعب آب آبیاری و ۵۴/۲ درصد غده تولیدی بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر، بیشترین درصد تولید غدهٔ مرغوب را داشته است. تیمار E_0 با میزان ۷۸۶۱ متر مکعب آب مصرفی و ۴۳ درصد غده تولیدی کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر، بیشترین غده ریز را تولید کرده است که این گونه غده‌ها بازار پسندی محصول را کاهش می‌دهد. تیمار E_4، با ۶۳۱۶ متر مکعب آب آبیاری، ۱۶ درصد غده

تولیدی بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر را داشته است. نتیجه این است که اگر هدف بازاررسانی باشد در دورهٔ رشد اول تیمار E_2 با میزان ۵۴/۲ درصد اندازه قطره غده بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر و با ۷۰۸۰ متر مکعب آب مصرفی و عملکرد ۳۳۱۵۶ کیلوگرم در هکتار گزینه‌ای مناسب خواهد بود و گزینه بعدی تیمار E_1 با میزان ۷۴۸۵ متر مکعب آب آبیاری است و اگر هدف کارایی مصرف آب آبیاری باشد تیمار E_0 با کارایی ۴/۹۱ کیلوگرم به ازای متر مکعب گزینه‌ای مناسب است.

در دورهٔ دوم رشد گیاه، تیمار E_3 با معرف ۶۶۷۸ متر مکعب آب آبیاری و عملکرد ۳۲۲۵۰ کیلوگرم بیشترین کارایی آب آبیاری (برابر ۴/۸۲ کیلوگرم به ازای متر مکعب آب) را دارد یعنی به ازای تولید هر کیلوگرم غده ۲۰۷ لیتر آب مصرف شده است. در همین دورهٔ رشد، E_1 با مصرف ۷۴۶۱ متر مکعب آب آبیاری و ۵۷/۲ درصد غده تولیدی بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر بیشترین درصد غدهٔ مرغوب را داشته است. اما تیمار E_0 با مصرف ۷۸۶۱ متر مکعب آب و تولید ۴۲/۳ درصد غده کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر، بیشترین غده ریز را به‌دست داده است که این گونه غده‌ها بازارپسندی محصول را کاهش می‌دهد. تیمار E_4 با ۶۰۲۱ متر مکعب آب مصرف و ۱۲/۳ درصد غده بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر تولید کرده است. نتیجه این است که اگر هدف بازاررسانی باشد، تیمار E_1 با ۵۷/۲ درصد غده بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر و با ۷۴۶۱ متر مکعب آب مصرفی و عملکرد ۳۴۱۵۸ کیلوگرم در هکتار گزینه‌ای مناسب است و گزینهٔ بعدی تیمار E_2 با میزان ۷۰۷۱ متر مکعب آب آبیاری است اما اگر هدف کارایی مصرف آب آبیاری باشد تیمار E_3 با ۶۶۷۸ متر مکعب آب مصرفی در هکتار و کارایی ۴/۸۲ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب گزینه‌ای مناسب است.

در دورهٔ سوم رشد گیاه، تیمار E_4 با ۵۴۱۹ متر مکعب آب آبیاری و عملکرد ۲۵۱۸۰ کیلوگرم بیشترین کارایی آب آبیاری (برابر با ۴/۶۷ کیلوگرم به ازای متر مکعب آب) را دارد یعنی به ازای تولید هر کیلوگرم غده ۲۱۴ لیتر آب مصرف شده است. در همین دورهٔ رشد، E_3 با ۶۳۰۹ متر مکعب آب آبیاری و ۵۴/۵ درصد غدهٔ تولیدی بین ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر بیشترین درصد غده مرغوب را داشته است. اما تیمار E_0 با ۷۸۶۱ متر مکعب آب مصرفی و ۴۶ درصد غده تولیدی کوچک‌تر از ۳۰ میلی‌متر، بیشترین غده ریز را به‌دست داده است که این گونه غده‌ها بازار پسندی محصول را کاهش می‌دهد. تیمار E_1 با ۷۳۲۵ متر مکعب آب آبیاری، ۱۳/۸ درصد غده تولیدی بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر را داشته است. نتیجه این است که اگر هدف بازار رسانی باشد در دورهٔ سوم رشد، تیمار E_3 با مصرف ۶۳۰۹ متر مکعب آب و عملکرد ۲۸۵۱۶ کیلوگرم در هکتار با کمترین غدهٔ نامرغوب (۳۵ درصد) و بیشترین غدهٔ خوب (۵۴/۵ درصد) گزینه‌ای مناسب خواهد بود. گزینهٔ بعدی تیمار E_2 با ۶۷۹۲ متر مکعب آب آبیاری است و اگر هدف کارایی مصرف آب آبیاری باشد تیمار E_4 با مصرف ۵۴۱۹ متر مکعب آب آبیاری و کارایی ۴/۶۷ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب گزینه‌ای مناسب است. نتیجه این است که در دورهٔ رشد سوم، تیمار E_3 با مصرف ۶۳۰۹ متر مکعب آب و عملکرد ۲۸۵۱۶ کیلوگرم در هکتار با کمترین غدهٔ نامرغوب (۳۵ درصد) و بیشترین غدهٔ خوب (۵۴/۵ درصد) گزینه‌ای مناسب است. گزینهٔ بعدی تیمار E_4 با مصرف ۵۴۱۹ متر مکعب آب آبیاری و کارایی ۴/۶۷ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که در دورهٔ اول رشد گیاه با کاهش آب آبیاری، عملکرد محصول کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در تیمار ۷۰ درصد کم‌آبیاری با کاهش ۱۹/۶۵درصد آب مصرفی، میزان عملکرد محصول ۳۱/۴ درصد کاهش می‌یابد و این دوره یکی از مراحل حساس رشد و نمو گیاه سیب‌زمینی است.

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که در دورهٔ دوم رشد گیاه با کاهش آب آبیاری، میزان محصول کاهش می‌یابد

اما به غیر از تیمار ۷۰ درصد کم‌آبیاری (E_4T_2)، بقیهٔ تیمارها با کاهش آب مصرفی، میزان کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. در این مرحله از رشد گیاه، تیمار ۴۵ درصد کم‌آبیاری با میزان کارایی ۴/۸۲ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی، بیشترین و تیمار آبیاری کامل با میزان کارایی ۴/۵ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب مصرفی کمترین مقدار را داراست. در این مرحله از رشد گیاه، تیمار ۴۵ درصد کم‌آبیاری با کاهش ۱۵ درصد آب مصرفی، میزان عملکرد محصول نهایی آن ۹ درصد کاهش می‌یابد. چنانچه در این مرحله از رشد گیاه محدودیت منابع آب وجود داشته باشد، تیمار E_3 با ۴۵ درصد کم‌آبیاری و عملکرد ۳۲/۲ تن در هکتار با ۶۶۷۸ متر مکعب در هکتار آب مصرفی و کارایی ۴/۸۲ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب دارای شرایط مناسبی است. با توجه به جدول ۷ مشاهده می‌شود که در دورهٔ رشد سوم گیاه با کاهش آب مصرفی میزان محصول در واحد سطح کاهش اما با کاهش آب مصرفی، میزان کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد. تیمار (E_0) با ۴/۱ کیلوگرم غده به ازای هر متر مکعب آب کمترین و تیمار (E_4)۷۰ درصد کم‌آبیاری با ۴/۶۷ کیلوگرم غده به ازای هر متر مکعب آب بیشترین کارایی آب را داراست. در این مرحله از رشد گیاه، با حداکثر کاهش آب مصرفی به میزان ۳۱/۱ درصد، حداکثر کاهش عملکرد محصول ۲۱/۹۱ درصد در تیمار ۷۰ درصد کم‌آبیاری دیده می‌شود.

حساس‌ترین دوره‌های رشد گیاه در مورد عملکرد محصول نسبت به کم‌آبیاری، دورهٔ رشد اول است که ۱۷/۵ درصد کاهش را نسبت به عملکرد محصول با حداکثر آب مصرفی نشان می‌دهد. دوره‌های رشد دوم و سوم تفاوتی با هم ندارند.

مراجع

Darwish, T., Atallah, T., Elkhatb, M and Hajason, S. 2002. Impact of irrigation and fertilization on nitrate leaching and soil-ground water contamination in Lebanon .WCSS. Aug. 14-21. Thailand.

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1977. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper No. 33. FAO. Rome. Italy.

Eldredge, E. P., Holmes, Z. A., Mosley, A. R., Shock, C .C. and Stieber, T. D. 1996. Effects of transitory water stress on Potato tuber stem end reducing sugar and fry color. Ame. J. Potato Res. 73, 517-530.

Fabeiro, C. F., Martin, S. O. F. and Juan, J. A. 2001. Yield and size of deficit irrigated potatoes. Agric. Water Manage. 48, 255-266.

Hanc, D. C. and Pumphrey, F. V. 1984. Yield - Evapotranspiration relation ship and seasonal crop coefficients for frequently irrigated potatoes. Am. J. Potato Res. 61, 661-668.

Hang, A. N. and Miller, D. E. 1986. Yield and physiological responses of potatoes to deficit high Frequency Sprinkler Irrigation. Agron. J. 78, 436-440.

Hassanpana, D. and Hoseen zade, A. 2002. Evaluation of different varieties in different irrigation regimes and cut irrigation in the growth tuber stages in the Ardabil area. The 7th Iranian Crop Sciences Congress. Aug. 24-26. Karaj. Iran. (in Farsi)

Hegney, M. A. and Hoffman, H. P. 1997. Potato irrigation development of corporation project. Np. 6. Western Australia. Department of Agriculture of Western Australia.

Jefferies, R. A. and Lmackerron, P. K . 1993. Responses of potato genotypes to drought. II: Leaf area index, growth and Yield. Annal. Appl. Bio. 122, 105-112.

Jolyni, M. and Alavishari, J. 2006. Study of the effects of irrigation method, planting, date and variety on true potato seed production. Agric. Sci. 16(2): 129-136. (in Farsi)

Kanoni, A. 2006. Comparison of drip and single row surface irrigation method in cultivars potato. The 9th Iranian Crop Sciences Congress. Abowrehan. Iran. (in Farsi)

Karafyllidis, D. I., Stavropoulos, N. and Georgakis, D. 1996. The effects of water stress on the yielding capacity of potato crop and subsequent performance of seed tubers. Potato Res. 39, 153-163.

Lynch, D. R. and Tai, G. C. C. 1989a. An analysis of the yield responses of eight potato genotypes to water stress. Potato Abs. 14(11).

Lynch, D. R. and Tai, G. C. 1989b. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. Crop Sci. 29, 1207-1211.

Lynch, D. R., Foroud, N., Kozad, C .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. Am. J. Potato Res. 72, 375-385.

Martin, M. W. and Miller, D. E. 1983. Variations in responses of potato germplasm to deficit irrigation as affected by soil texture. Ame. J. Potato Res. 60, 671-683.

Martin, R. J., Jamieson, P. D., Wilson, D. R. and Fransis, G. S. 1992. Effects of soil moisture deficits on the yield and quality of "Russet Burbank" Potatoes New Zealand. J. Crop Hort. Sci. 20,1-9.

Meshkini, A., Noormohamadi, Gh. and Kashi, A. 2002. Study of effects on irrigation time and splits nitrogen on yield and yield component two potato varieties. The 7th Iranian Crop Sciences Congress. Aug. 24-26. Karaj. Iran. (in Farsi)

Miller, D. E and Martin, M. W. 1987. The effect of irrigation regime and sub soiling on yield and quality of tree potato cultivars. Ame. J. Potato Res. 64, 17-25.

Moshirijonafard, M., Tavjo, M., Asgari, Z., Jamaeati, Sh. 2006.The effect of different drip irrigation on the different pattern cultivars on the yield and yield components potato. The 9th Iranian Crop Sciences Congress. Abowrehan. Iran. (in Farsi)

Rezaee, A. and Soltani, A. (Translator). 2006. Introduction to potato production. (in Farsi)

Robins, J. S. and Domingo, O. E. 1996. Potato yield and tuber shape as affected several soil Moisture deficits and plant spacing. Agron. J. 48, 488-492.

Shalheret, J. D. and Shimshi, T. M. 1983. Potato irrigation requirement in hot climate using sprinkler and drip Methods . Agron. J. 75, 13-16.

Shock, C. C. and Filbert, E. B. G. 2002. Deficit irrigation of potato. Irrigation and Drainage Paper No. 22. FAO. Rome. Italy.

Sobhani, A., Rahimian, M., Noormohamadi, Gh. and Majidi, A. 2000. The effects water stress and fertilization potassium on yield and yield component potato. J. Agric. Sci. Res. 3, 23-24. (in Farsi)

Stone, J. F. and Nofziger, P. L. 1993. Water use and yield of Cotton grown under wide spaced Furrow irrigation. Agric. Water Manage. 24, 27-38.

Stuik, P. C. and Roorst, G. V. 1986. Effects of drought on the initiation, Yield and size distribution of tubers. Potato Res. 29, 487-500.

Stuik, P. C. and Voorst, G. V. 1996. Effects of drought on the initiation, yield and size distribution of tubers of Solanum tuberosum. Potato Res. 24, 487-500.

Susnoschi, M. and Shimshi, S. 1985. Growth and yield studies of potato development a semi-arid region -2: Effect of water stress and amounts of nitrogen top dressing on growth of several a cultivars. Potato Res. 28, 161-176.

Wright, J. L. and Stark, J. C. 1990. Potato. In: Stewart, B. A. and Neilsen, D. R. (Eds.) Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy, Monograph. No. 30. Madison Wisconsin. USA.

Yuan, B. Z. and Nishiyama, Y. K . 2003. Effects of different irrigation regimes on the growth and yield of dirp-irrigated potato. Agric. Water Manage. 630, 153-167.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.4/2009/P: 17-30*

The Effect of Deficit Irrigation in Growth Stages on the Quantity and Quality of Potatoes and Water Use Efficiency

N. A. Ebrahimipak[*] and E. Pazira

[*] Corresponding Author: Asistant Professor, Soil and Water Research Institute, P. O. Box: 141173417, Tehran, Iran. E-mail: nebrahimipak@yahoo.com

This study was conducted to evaluate the impact of deficit irrigation and growth stages on yield and yield components of potatoes and water use efficiency. A field experiment was conducted at Shahrekord Agricultural Research Station over three years of crop seasons using a randomized complete block design with three replications. Plots were assigned to five levels of deficit irrigation treatments, E_0 (full irrigation), E_1 (85%), E_2 (70%), E_3 (55%) and E_4 (30%) for actual evapotranspiration of potatoes, and three growth stages, T_1, T_2 and T_3. Results of the combined analysis of variance showed that biological yield, tuber yield, yield components, water use efficiency and other traits in the growth stages were significantly affected by deficit irrigation treatments. Under E_1, E_2, E_3 and E_4 treatments, yield decreased by 5.1%, 8.9%, 13.12% and 25.5%, respectively, when compared to E_0. Susceptibility at developmental stages of the potato to deficit irrigation differed. The T_1 stage was the most critical stage under water stress conditions. Water use decreased compared to E_0 by 17.5% in stage T_1, 11.1% in stage T_3 and 10.08% in stage T_2.

Key Words: Deficit Irrigation, Potato, Water Stress, Water Use Efficiency, Yield