نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۳۸۱-۱۳۷۰

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1370-1381

تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر خواص کمی و کیفی سیب‌زمینی در شهرکرد و تعیین عمق آب مصرفی بهینه آن

مسعود نادری[۱*]- محمد شایان نژاد[۲]- سجاد حیدری[۳]- بیژن حقیقتی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۴

چکیده

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی سیب زمینی (رقم بورن) و تعیین عمق آب مصرفی بهینه در شهرکرد انجام شد. این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۷ تیمار سطوح مختلف آب آبیاری در ۳ تکرار انجام شد. سطوح مختلف آب آبیاری عبارت بودند از:۴۰، ۵۵، ۷۰، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵و ۱۳۰ درصد کمبود رطوبت خاک از حد FC. نتایج نشان داد، سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد تأثیر معنی‌داری دارد به طوری که با افزایش آب آبیاری مقدار عملکرد نیز افزایش یافت. کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۱۳/۲ و ۴۵/۲ تن در هکتار بود. سطوح مختلف آب آبیاری تأثیر معنی‌داری روی درصد نشاسته، درصد قند محلول، درصد ماده خشک، کارائی مصرف آب آبیاری و وزن غده‌های بازارپسند در یک بوته دارد، به طوری که با افزایش آن درصد قند محلول و وزن غده‌های بازارپسند افزایش و میزان نشاسته و درصد ماده خشک کاهش می‌یابد. همچنین سطوح مختلف آب آبیاری، تأثیر معنی‌داری روی درصد ازت و وزن غده‌های بذری در یک بوته نداشت. بیشترین در آمد به ازای عمق آب مصرفی ۸۲۱ میلی‌متر (۱۲۶ درصد آبیاری کامل) به دست آمد. در اثر کم آبیاری و استفاده از عمق بهینه‌ی، ۵۳۳ میلی متر آب (۸۲ درصد آبیاری کامل) می‌توان به حداکثر سود خالص نایل شد و با اعمال کم آبیاری می‌توان سطح زیر کشت را ۲۲ درصد افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی، تابع تولید، تابع سود، کارائی مصرف آب آبیاری

مقدمه

ایران در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان واقع شده و در وضعیت شدید بحران آبی قرار دارد، بر طبق آمار موجود بیش از ۹۰ درصد از این منابع آبی برای آبیاری در بخش کشاورزی مصرف می‌شود (۱۱). با توجه به دو بحران کمبود منابع آب و افزایش رشد جمعیت، یکی از راه حل‌های رفع این مشکل افزایش کارائی مصرف آب در تولید محصولات کشاورزی می‌باشد. (۶).

سیب‌زمینی چهارمین محصول کشاورزی جهان پس از گندم، برنج و ذرت و از مهم‌ترین محصولات کشاورزی در سبد غذایی مردم ایران است. نقش سیب‌زمینی در جهان امروز به قدری اهمیت یافته که در دستور کار سازمان ملل برای مبارزه با فقر و گرسنگی قرار گرفته و بر کشت و توسعه‌ی آن تأکید شده است (۱۸، ۱۵ و ۱۶). تولید مقرون به صرفه‌ی سیب‌زمینی بستگی به تأمین کافی آب در سراسر دوره رشد در منطقه ریشه دارد، همچنین سیب زمینی گیاهی حساس به تنش آبی است (۱۹، ۱۶، ۵ و ۱۷).

قمرنیا و سپهری (۱۲) بیان کردند صرف نظر از روش آبیاری، افزایش مقدار آب آبیاری از ۵۰ تا ۱۰۰ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A، عملکرد محصول سیب‌زمینی، کارائی مصرف آب و درصد غده‌های خوراکی و بازار پسند را افزایش می‌دهد. اخوان و همکاران (۲ و ۳) در بررسی آبیاری قطره‌ای نواری و جویچه‌ای از لحاظ عملکرد و کارائی مصرف آب در زراعت سیب‌زمینی آزمایشی در همدان انجام دادند. سطوح مختلف آبیاری ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ درصد تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A، بودند. نتایج نشان داد که بدون در نظر گرفتن روش آبیاری، حداکثر عملکرد محصول

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان
(*- نویسنده مسئول: Email: naderi7403@yahoo.com)
۴- مربی، آبیاری و زهکشی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری

سیب‌زمینی مربوط به تیمار آبیاری ۱۲۵ درصد و حداقل مربوط به تیمار آبیاری ۷۵ درصد بود. همچنین با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد محصول سیب زمینی، کارائی مصرف آب و درصد غده‌های بزرگتر از ۵۵ میلی‌متر افزایش و مقدار قندهای احیایی سیب زمینی کاهش یافت.

وانگ و همکاران (۲۲) در طی دو سال آزمایش برروی سیب زمینی نشان دادند با افزایش میزان آبیاری، کارآیی مصرف آب افزایش یافت که افزایش عملکرد را نیز به دنبال داشت. کوستا (۸) با اعمال تنش‌های مختلف بر روی سیب زمینی دریافت که با کاهش حجم آب آبیاری، به همان نسبت وزن غده‌ها نیز کاهش می‌یابد بطوری که راندمان مصرف آب تقریبا ثابت می‌ماند.

مطالعات نشان می‌دهد که تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد سیب‌زمینی باعث زودرسی این گیاه می‌گردد. تمام مراحل فنولوژیکی سیب‌زمینی از سبز شدن گیاه تا آغازش غده، غده‌بندی و رشد غده به تنش رطوبت حساس می‌باشند (۲۰). در مطالعه‌ای دیگر بیان شد از بین دو تیمار آبیاری کامل (برابر ۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق گیاه) و کم‌آبیاری (۷۵ درصد تبخیر و تعرق گیاه) برای گیاه سیب زمینی، آبیاری کامل بیشترین عملکرد را دارا بود در حالی که بالاترین کارائی مصرف آب متعلق به تیمارهای کم‌آبیاری بود (۱). لیو و همکاران (۱۳) در تحقیقی دیگر بیان کردند در شرایط گلخانه‌ای کارائی مصرف آب در آبیاری بخشی ریشه (PRD) نسبت به آبیاری کامل افزایش می‌یابد، این در حالی است که در آبیاری بخشی ریشه ۳۰ درصد مصرف آب کاهش پیدا می کند و منجر به افزایش ۶۰ درصدی کارائی مصرف آب بدون کاهش محصول می‌شود. همچنین، شایان نژاد (۲۱) بیان کرد که آبیاری جویچه‌ای یک در میان به طور معنی‌داری راندمان مصرف آب را افزایش و در مقابل میزان محصول و درصد نشاسته را نسبت به روش آبیاری معمولی کاهش می‌دهد ولی تغییری در درصدآب، اندازه غده ها و درصد پروتئین نسبت به روش آبیاری جویچه‌ای معمولی ایجاد نمی‌کند.

سیب‌زمینی رقم بورن یکی از ارقامی است که کشت آن، به تازگی در منطقه شهرکرد در حال گسترش است. این رقم مقاومت خوبی نسبت به خشکی و ویروس‌ها داشته و همچنین نسبت به ارقام دیگر عملکرد خیلی خوبی دارد. با توجه به محدویت آب در استان، شناخت اثرات سطوح مختلف آب بر روی عملکرد و یا خصوصیات فیزیولوژیک و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی رقم بورن برای تولید بیشتر محصول، ضروری می‌باشد. از نتایج یافته‌ها می‌توان برای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، افزایش کارآئی تولید و مصرف آب و نیز سازگاری به شرایط کمبود آب، بهره برد. هدف این پژوهش عبارت از بررسی سطوح مختلف آب آبیاری بر خصوصیات کمی و کیفی سیب‌زمینی و تعیین عمق آب مصرفی بهینه در سطوح مختلف آب آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این طرح در سال ۲۰۱۳ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهار محال بختیاری واقع در شهرکرد با طول جغرافیایی ´۵۱ °۵۰ و عرض جغرافیایی ´۱۸ °۳۲ انجام شد. پس از انتخاب زمین از خاک مزرعه نمونه‌گیری و مشخصات خاک تعیین گردید. بافت خاک و برخی از خصوصیات شیمیایی اندازه‌گیری و در جدول ۱ ارائه شده‌اند .

جدول ۱-برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Selected chemical and physical properties of soil

عمق خاک Depth of soil (cm)	بافت خاک Soil Texture	درصد سیلت Silt (%)	درصد رس Clay (%)	شوری EC (ds/m)	pH
0-30	لوم رسی Clay loam	43.5	31.5	0.598	7.9
30-65	رسی Clay	38	45	0.57	7.7

پس از شخم‌زدن خاک، کود حیوانی، کود فسفات و کود اوره به میزان لازم و بر اساس آزمایشات خاک در سطح خاک پخش شد. آزمایش در قالب طرح آماری بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار اجرا شد. ابعاد قطعات زراعی (پلات‌های آزمایشی) ۴×۳ و فاصله‌ی بین قطعات مجاور ۱ متر بود. در داخل این قطعات جوی و پشته‌هایی ایجاد شد و کشت بر روی پشته‌ها انجام گرفت. ۷ تیمار آبیاری شامل ۴۰، ۵۵، ۷۰ ، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۵و ۱۳۰ درصد کمبود رطوبت خاک از ظرفیت زراعی اعمال گردید، به طوری که تیمار ۱۰۰ درصد، معادل آبیاری کامل و رفع کامل کمبود رطوبت خاک، در نظر گرفته شد.

بذر سیب‌زمینی رقم بورن با دستگاه سیب‌کار و در فواصل ۲۰ سانتی‌متری از یکدیگر در آخرین هفته خرداد ماه با فاصله جویچه‌های ۷۵ سانتی‌متری کشت شد. بعد از نصب لوله، شلنگ، اتصالات و کنتور

برای انتقال و اندازه‌گیری آب مصرفی آبیاری‌های اولیه تا زمان سبز شدن کامل سیب‌زمینی در کلیه‌ی تیمارها به صورت غرقابی و آبیاری کامل (به اندازه نیاز آبی) انجام شد. از این پس برنامه آبیاری بر اساس اندازه‌گیری کمبود رطوبت خاک انجام و توسط یک کنتور حجم آب ورودی به هر قطعه اندازه‌گیری شد. دور آبیاری ثابت و ۷ روز در نظر گرفته شد. رطوبت خاک قبل از هر آبیاری با دستگاه TDR در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۵-۳۰ سانتی‌متری، اندازه‌گیری می‌شد و کمبود رطوبت خاک که متناسب است با اختلاف رطوبت قبل از آبیاری و رطوبت در نقطه‌ی ظرفیت زراعی از این طریق تعیین شد. سطوح مختلف آبیاری تا ۱۰۵ روز پس از کاشت اعمال شدند و کل دوره‌ی رشد از کاشت تا برداشت ۱۳۰ روز به طول انجامید. برداشت و توزین محصول از دو پشته میانی هر تیمار انجام شد و دو پشته کناری به عنوان حاشیه‌ی کار رها شدند.

در هنگام برداشت، از هر قطعه‌ی زراعی، غده های دو بوته جمع آوری شده و به آزمایشگاه انتقال یافت. مشخصه‌های مورد بررسی شامل وزن غده‌ها در بوته، قطر غده، وزن غده‌های بذری، وزن غده‌های بازارپسند، وزن خشک غده، میزان نشاسته، میزان قند محلول و درصد ازت بود. برای محاسبه‌ی وزن غده‌های بذری و بازارپسند ابتدا غده‌ها در سه گروه دسته بندی شدند. گروه اول، غده‌های با قطر کمتر از ۳/۵ سانتی‌متر که به عنوان ضایعات شناخته می‌شوند، گروه دوم، غده های با قطر ۳/۵ تا ۵/۵ سانتی‌متر که به عنوان غده‌های بذری و گروه سوم، غده‌های با قطر بیشتر از ۵/۵ سانتی‌متر که به عنوان غده‌های بازارپسند شناخته می‌شوند (۳)، پس از دسته‌بندی غده‌ها هر دسته جداگانه توزین شد. برای اندازه‌گیری ماده‌ی خشک سیب‌زمینی در هر تیمار یک غده‌ی بزرگ و یک غده‌ی متوسط انتخاب و پس از تراشیده شدن پوست آن‌ها، به صورت بسیار ریز در آمدند و با هم مخلوط شدند. سپس حدود ۱۰ گرم از آن در ظروف آلومینیومی ریخته شده و در آون با دمای ۱۰۵ درجه قرار گرفت. پس از دو روز غده‌ها مجدداً توزین شدند و درصد ماده خشک محاسبه شد.

تعیین میزان نشاسته به روش پلاریمتری[1] انجام شد. به این صورت که میزان چرخش نور پلاریزه قرائت شده و با استفاده از فرمول مربوطه درصد نشاسته محاسبه گردید (۹). اندازه گیری قندهای محلول به روش رنگ سنجی انجام شد، این روش که به روش Somogyi-Nelson نیز معروف است، براساس تبدیل فری‌سیانید به فروسیانید به وسیله‌ی قند احیاکننده و اندازه‌گیری رنگ حاصله طی واکنش با معرف آرسنومولیبدات، توسط دستگاه اسپکتروفتومتر صورت پذیرفت (۹). اندازه‌گیری ازت نیز به روش هضم‌تر و با استفاده از دستگاه کجل‌دال صورت گرفت. در ادامه عمق آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت منابع آب، با روشی که انگلیش (۱۰) استفاده کرد، صورت پذیرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده ها و رسم نمودارها به ترتیب با نرم افزارهای SAS و EXCEL انجام شد.

نتایج و بحث

مقادیر آب مصرفی و عملکرد

مقادیر آب مورد استفاده در طول فصل رشد و مقادیر عملکرد در هر تیمار در جدول ۲ آورده شده است. اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر میزان عملکرد در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که با افزایش آب آبیاری مقدار عملکرد نیز افزایش یافت. کمترین و بیشترین عملکرد به ترتیب مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل با مقادیر به ترتیب ۱۳/۱۸۹ و ۴۵/۲۱۷ تن در هکتار بود. مولائی در سال ۲۰۱۳ مقدار عملکرد برای همین رقم سیب‌زمینی (رقم بورن) در شهرضای استان اصفهان را تحت دو روش آبیاری تیپ و بارانی به ترتیب ۲۵/۲۹ و ۱۶/۴۵ تن در هکتار به دست آورد (۱۶). دلیل بیشتر بودن میزان عملکرد، در این تحقیق، بذری بودن محصول برداشت شده توسط مولایی می‌باشد. نتایج محققان دیگر نیز نشان می دهد با افزایش آب مصرفی عملکرد غده‌ها افزایش می‌یابد (۲۱، ۱۶، ۳، ۱، ۷، ۱۲، ۲۲ و ۱۳). البته در تیمارهای ۱۰۰، ۱۱۵ و۱۳۰ درصد آبیاری کامل، تفاوت معنی‌داری از لحاظ عملکرد در سطح احتمال ۵ درصد وجود ندارد (جدول ۵). به طوری که سطوح ۱۱۵ و ۱۳۰ درصد آبیاری کامل به ترتیب فقط ۲/۳ و ۳/۹ درصد افزایش عملکرد نسبت به آبیاری کامل داشته‌اند. با توجه به عمق آب مصرفی در طول فصل رشد و عملکرد در هر تیمار (جدول ۲) می توان تابع تولید محصول را رسم کرد و معادله آن تابع را به دست آورد (شکل ۱).

درصد ماده خشک

تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد ماده خشک سیب‌زمینی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). طی پژوهش‌های برخی از محققان سطوح مختلف آبیاری تأثیر معنی داری روی درصد خشک نمی‌گذارد (۱۲، ۳ و ۱). با توجه در اعداد جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت با افزایش میزان آب آبیاری از درصد ماده خشک گیاه کاسته می شود.

کارائی مصرف آب آبیاری

کارائی مصرف آب آبیاری مشخصه‌ای است که برای نشان دادن

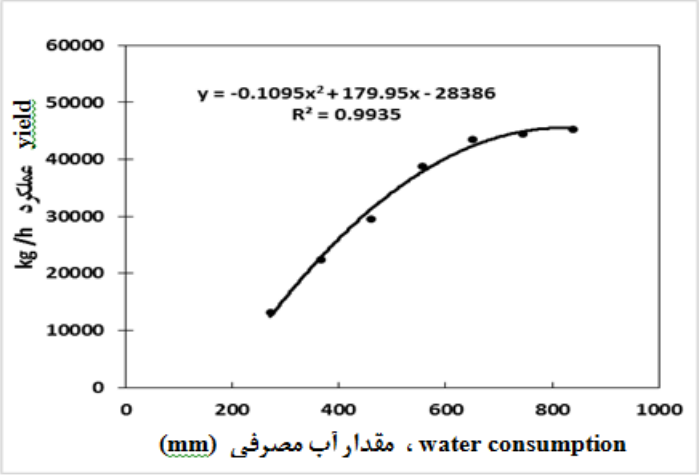
1- Polarimetry Method

رابطه‌ی کمی میان رشد گیاه و مصرف آب به کار برده می‌شود و به صورت مقدار ماده تولید شده (در اینجا وزن غده‌های سیب‌زمینی) به ازای واحد آب مصرف شده تعریف می‌شود. با توجه به جدول ۳ اثر سطوح مختلف آبیاری بر کارائی مصرف آب آبیاری در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین مقدار آن، به ترتیب مربوط به تیمارهای ۸۵ و ۴۰ درصد آبیاری کامل و مقادیر آن ها به ترتیب برابر ۶/۹۶ و ۴/۸۴ کیلوگرم در مترمکعب بود . نتایج به دست‌آمده برای این شاخص (جدول ۴) با تحقیقات برخی محققان مطابقت داشت (۳ و ۴)، ولی برخی محققان مانند بدر و همکاران (۷) این نظر را دارند که با کاهش آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل، کارائی مصرف آب آبیاری زیاد می‌شود.

جدول ۲- مقادیر آب مصرفی در طول فصل رشد و عملکرد در هر تیمار

Table 2-Water consumption and yield in each treatment

سطوح آبیاری Levels of Irrigation	٤٠٪ آبیاری کامل 40% of full irigation	٥٥٪ آبیاری کامل 55% of full irigation	٧٠٪ آبیاری کامل 70% of full irigation	٨٥٪ آبیاری کامل 85% of full irigation	١٠٠٪ آبیاری کامل 100% of full irigation	١١٥٪ آبیاری کامل 115% of full irigation	١٣٠٪ آبیاری کامل 130% of full irigation
مقدار آب مصرفی Water consumption (mm)	272	366	461	556	650	745	839
عملکرد yield (Kg/ha)	13189	22439	29622	38722	43511	44506	45217



شکل ۱- تابع تولید سیب زمینی بر اساس عملکرد کل

Figure 1- Production function of potato

درصد نشاسته

اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد نشاسته غده‌های سیب‌زمینی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که با افزایش آب آبیاری ، میزان نشاسته غده کاهش می‌یافت (جدول ۵). بیشترین و کمترین درصد نشاسته بر اساس وزن خشک مربوط به سطوح آبیاری ۴۰ و ۱۳۰ درصد بوده و به ترتیب برابر ۷۶/۶ و ۶۱ درصد می باشند. حدود ۶۰ تا ۸۰ درصد وزن خشک یا حدود ۱۸ تا ۲۳ درصد وزن تازه‌ی سیب‌زمینی از نشاسته تشکیل شده است (۱۶)، همانگونه که در جدول۴ و جدول ۵ مشاهده می شود، هر چه میزان ماده خشک سیب‌زمینی بیشتر باشد، از نشاسته بیشتری نیز برخوردار است.

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات عملکرد، در صد ماده خشک، کارائی مصرف آب و خصوصیات کیفی سیب‌زمینی

Table 3- Variance analysis (mean square) of yield, dry matter percent , water use efficiency and qualitative characteristics of potato

منبع تغییرات Variation source	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square					
		عملکرد Yield	درصد ازت Nitrogen percent	درصد قند محلول Percent of soluble sugars	درصد نشاسته Starch percent	کارائی مصرف آب Use water efficiency	درصد ماده خشک Dry matter percent
تکرار Replication	2	3951759 ns	0.008 ns	0.01 ns	0.23 ns	0.15 ns	0.0046 ns
سطوح آبیاری Levels of irrigation	6	467388668 **	0.004 ns	0.42 **	103.4 **	1.82 **	10.67 **
خطا Error	12	11991929	0.01	0.013	0.69	0.20	0.38
ضریب تغییرات Variations coefficient		10.21	3.36	4.36	1.2	10.6	3.13

** بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد

** Significant at 1% level and ns not significant

جدول ٤- مقایسه میانگین های* خصوصیات کمی

Table 4- Comparison of mean quantitative characteristics*

سطوح آبیاری Levels of irrigation	عملکرد تر محصول Yield ($Kg.ha^{-1}$)	درصد ماده خشک Dry matter percent	کارائی مصرف آب آبیاری Use water efficiency (Kg/m^3)	وزن غده‌های بذری در یک بوته weight of tuber in seed size (Kg)	وزن غده‌های بازارپسند در یک بوته weight of tuber production in marketable size (Kg)
۴۰٪ آبیاری کامل 40% of full irigation	13189 e	22.2 a	4.84 b	0.25 a	0.61 e
۵۵٪ آبیاری کامل 55% of full irigation	22439 d	21.9 a	6.12 ab	0.315 a	0.76 de
۷۰٪ آبیاری کامل 70% of full irigation	29622 c	20.7 b	6.42 ab	0.287 a	0.83 cde
۸۵٪ آبیاری کامل 85% of full irigation	38722 b	20.1 b	6.96 a	0.43 a	1.07 bcd
۱۰۰٪ آبیاری کامل 100% of full irigation	43511 ab	17.9 c	6.69 a	0.317 a	1.21 abc
۱۱۵٪ آبیاری کامل 115% of full irigation	44506 ab	17.8 c	5.97 ab	0.357 a	1.25 ab
۱۳۰٪ آبیاری کامل 130% of full irigation	45217 a	18 c	5.38 ab	0.298 a	1.5 a

*- اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

*-Numbers followed by the same letters are not significantly different according to LSD's test at 5% level

درصد ازت

با توجه به جدول ۳ تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری بر مقدار ازت غده معنی‌دار نبود. وانگ و همکاران (۲۲) نیز به نتیجه‌ای مشابه این رسیدند.

درصد قند محلول

میزان قند محلول در سیب‌زمینی باعث تغییر رنگ محصول می‌شود، افزایش آن منجر به سیاه شدن رنگ سیب‌زمینی می‌شود، سیب‌زمینی با رنگ سیاه مزه تلخ دارد و باعث غیر بازارپسندی آن

می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های برخی از خصوصیات کیفی سیب زمینی

Table 5- Comparison of mean some of the qualitative characteristics*

سطوح آبیاری Levels of irrigation	در صد ازت Nitrogen percent	درصد قند محلول Percent of soluble sugars	درصد نشاسته Starch percent
۴۰٪ آبیاری کامل 40% of full irigation	2.95 a	2.12 c	76.6 a
۵۵٪ آبیاری کامل 55% of full irigation	3.05 a	2.18 c	74.06 b
۷۰٪ آبیاری کامل 70% of full irigation	2.94 a	2.43 b	73.3 b
۸۵٪ آبیاری کامل 85% of full irigation	2.98 a	2.48 b	69.6 c
۱۰۰٪ آبیاری کامل 100% of full irigation	2.96 a	2.9 a	66.3 d
۱۱۵٪ آبیاری کامل 115% of full irigation	3.02 a	2.89 a	63.3 e
۱۳۰٪ آبیاری کامل 130% of full irigation	2.97 a	3.07 a	61 f

*- اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

*-Numbers followed by the same letters are not significantly different according to LSD's test at 5% level

اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر درصد قند محلول غده‌های سیب‌زمینی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که با افزایش آب آبیاری ، میزان قند محلول غده افزایش یافت (جدول ۵). بیشترین و کمترین درصد قند محلول بر اساس وزن خشک مربوط به سطوح آبیاری ۱۳۰ و ۴۰ درصد بوده و به ترتیب برابر ۲/۱۲ و ۳/۰۷ درصد می‌باشند. همین طور مشاهده می‌شود با کاهش میزان نشاسته، مقدار قند محلول افزایش پیدا می کند.

وزن غده های بازار پسند و وزن غده‌های بذری در یک بوته

اثر سطوح مختلف آب آبیاری بر وزن غده‌های بازارپسند (با قطر بزرگ‌تر از ۵۵ میلی‌متر) در یک بوته در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر آن بر وزن غده‌های بذری (با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) در یک بوته معنی‌دار نبود (جدول ۶). با افزایش آب آبیاری عملکرد غده‌های بازارپسند در بوته افزایش یافت (جدول ۴). به طوری که بیشترین عملکرد غده‌های بازارپسند مربوط به سطح آبیاری ۱۳۰ درصد آبیاری کامل و برابر ۱/۵ کیلوگرم در هر بوته بود و کمترین آن مربوط به سطح آب آبیاری ۴۰ درصد آبیاری کامل و برابر ۶۱۰ گرم بود.

اگر درصد وزن غده‌های بازارپسند و درصد وزن غده‌های بذری به وزن کل غده‌ها در یک بوته در مقابل سطوح مختلف آب آبیاری در یک نمودار رسم شود، شکل ۲ به دست می‌آید. لازم به توضیح است، وزن کل غده‌های یک بوته شامل ضایعات (غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر) نیز می‌شود.

با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که درصد وزن غده‌های بازارپسند به وزن کل غده‌ها در یک بوته همواره با افزایش عمق آبیاری، افزایش پیدا می‌کنند، در حالی که درصد وزن غده‌های بذری به وزن کل غده‌ها در یک بوته در سطوح کم‌آبیاری شده بیشتر است. کمترین درصد غده‌های بذری را سطح آب آبیاری ۱۳۰ درصد دارد، بیشترین آن مربوط به سطح آب آبیاری ۸۵ درصد می‌باشد و مقدار آن برابر ۲۹ درصد کل غده‌ها یا ۴۳۰ گرم در یک بوته می‌باشد، با توجه به این که تیمار ۸۵ درصد دارای بیشترین کارائی مصرف آب بود، می‌توان این سطح آبیاری را برای مناطقی که هدف از کشت تولید غده‌های بذری باشد، توصیه کرد.

تعیین عمق آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت منابع آب

به منظور تعیین عمق آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت آب لازم است توابع درآمد ، هزینه و سود تهیه شود. این کار به صورت زیر انجام می شود.

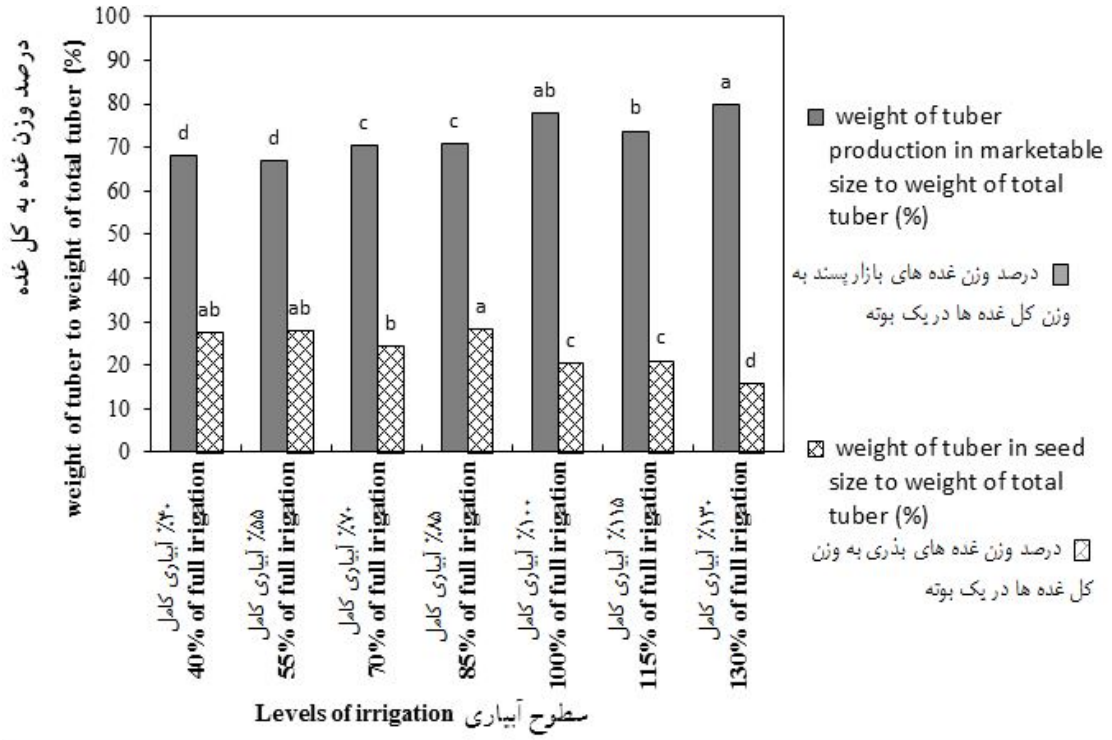
جدول ٦- تجزیه واریانس میانگین مربعات وزن غده‌های بذری و بازارپسند در یک بوته

Table 6- Variance analysis (mean square) of weight of tuber in seed size and weight of tuber production in marketable size in a plant

منبع تغییرات Variation source	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات Mean square	
		وزن غده های بازارپسند در یک بوته Weight of tuber production in marketable size in a plant	وزن غده های بذری در یک بوته Weight of tuber in seed size in a plant
تکرار Replication	2	0.427 *	0.16 ns
سطوح آبیاری Levels of irrigation	6	0.593 **	0.02 ns
خطا Error	33	0.12	0.026
ضریب تغییرات Variations coefficient		33.44	49.86

* و ** به ترتیب بیانگر اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار آماری می‌باشد

**, * Significant at 1% and 5% level, respectively and ns not significant



شکل ۲- درصد وزن غده‌های بازارپسند و درصد وزن غده‌های بذری به وزن کل غده‌ها در یک بوته

Figure 2-Percent of weight of tuber production in marketable size and percent of weight of tuber in seed size in a plant to weight of total tuber

اعداد هر میله که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشند

Numbers followed by the same letters are not significantly different according to LSD's test at 5% level

تابع درآمد

با استفاده از شکل ۱ تابع تولید سیب زمینی بر اساس معادله ۱ نوشته می شود:

$$y_{(w)} = -0.1095w^2 + 179095w - 28386 \quad (۱)$$

که در آن $y_{(w)}$ مقدار عملکرد کل بر حسب کیلوگرم در هکتار و w عمق آب مصرفی بر حسب میلی‌متر می‌باشد. با مشتق‌گیری از معادله ۱ و برابر صفر قرار دادن آن، عمق آبی که بیشترین عملکرد را دارد، برابر ۸۲۱ میلی‌متر به دست می‌آید که این مقدار برابر مقدار آبی است که باید در حالت آبیاری کامل داده شود:

اگر قیمت یک کیلوگرم سیب‌زمینی مشخص باشد، تابع درآمد آن به صورت معادله ۲ نوشته می‌شود:

$$b_{(w)} = A[p.y_{(w)}] \quad (۲)$$

که در آن $b_{(w)}$ میزان درآمد ناخالص بر حسب ریال،A سطح زیر کشت بر حسب هکتار و p قیمت یک کیلوگرم سیب‌زمینی بر حسب ریال است. با توجه به قیمت ۱۰۰۰۰ ریال برای هر کیلوگرم سیب‌زمینی (بخش زراعت جهاد کشاورزی شهرکرد، ۲۰۱۴) معادله ۲ به شکل زیر باز نویسی می شود:

$$b_{(w)} = A[-1095\,w^2 + 1799500\,w - 283860000] \quad (۳)$$

تابع هزینه

تابع هزینه در این قسمت با در نظر گرفتن مبلغ ۲۷۷۴۳۰۰۰ ریال هزینه تولید سیب‌زمینی در یک هکتار (بخش زراعت جهاد کشاورزی شهرکرد، ۲۰۱۴) برای کاشت، داشت، برداشت و بدون در نظر گرفتن هزینه آب و همچنین با در نظر گرفتن قیمت ۳۸۰ ریال برای هر متر مکعب آب (۱۴)، (که در هر هکتار، معادل با ۳۸۰۰ ریال به إزاء هر میلی متر آب آبیاری خواهد بود)، به صورت معادله ۴ به دست می‌آید:

$$c_{(w)} = A[27743000 + 3800w] \quad (۴)$$

که در آن $c_{(w)}$ مقدار هزینه کل در سطح کشت A بر حسب ریال، A سطح زیر کشت بر حسب هکتار و w عمق آب مصرفی بر حسب میلی‌متر می‌باشد:

تابع سود

تابع سود از تفاضل توابع درآمد (معادله ۳) و هزینه (معادله ۴) به صورت زیر به دست می‌آید:

$$I_{(w)} = A[-1095w^2 + 1795700w - 311603000] \quad (۵)$$

که در آن $I_{(w)}$ مقدار سود خالص در سطح کشت A بر حسب ریال،A سطح زیر کشت بر حسب هکتار و w عمق آب مصرفی بر حسب میلی‌متر می باشد. با استفاده از تابع سود می‌توان عمق آب مصرفی بهینه را در شرایط محدودیت در منابع آب به صورت زیر تعیین نمود. اگر حجم آب موجود در طول فصل زراعی برای یک منطقه V متر مکعب باشد، سطحی که می‌توان با wمیلی‌متر آب زیر کشت برد با رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$A = \frac{V}{10w} \quad (۶)$$

با ترکیب معادلات ۵ و ۶ معادله ۷ به دست می‌آید:

$$I_{(w)} = V[-109.5w + 179570 - \frac{31160300}{w}] \quad (۷)$$

عمق آب مصرفی بهینه در شرایط محدودیت آب، عمقی است که مقدار سود در معادله‌ی ۷ را حداکثر کند، این مقدار را می‌توان با مساوی صفر قرار دادن مشتق معادله‌ی ۷ به دست آورد:

$$\frac{dI_{(w)}}{dw} = V[-109.5 + \frac{31160300}{w^2}] = 0 \Rightarrow w = 533 \quad (۸)$$

بنابراین عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب برابر ۵۳۳ میلی‌متر است. اگر این مقدار در معادله‌ی ۶ قرار گیرد با مشخص بودن حجم آب قابل دسترس می‌توان سطح زیر کشت را محاسبه نمود. همانطور که اشاره شد، عمق آب مورد نیاز در حالت آبیاری کامل ۶۵۰ میلی متر شد، بنابراین عمق آب بهینه در شرایط محدودیت آب حدود ۸۲ درصد آبیاری کامل شد، یعنی در حالت محدودیت آب می‌توان سطح زیر کشت را ۱/۲۲ برابر نسبت به آبیاری کامل افزایش داد، بنابراین می توان چنین نتیجه گرفت که با استفاده از کم آبیاری می توان سطح زیر کشت را طوری افزایش داد که سود حداکثر شود.

نتیجه‌گیری کلی

به طور کلی سطوح مختلف آب آبیاری تأثیر معنی‌داری روی عملکرد، درصد نشاسته، درصد قند محلول، درصد ماده خشک، کارائی مصرف آب آبیاری و وزن غده‌های بازارپسند در یک بوته داشت. به طوری که با افزایش آن میزان عملکرد، درصد قند محلول و وزن غده‌های بازارپسند افزایش و میزان نشاسته و درصد ماده خشک کاهش می‌یابد. همچنین سطوح مختلف آب آبیاری، تأثیر معنی‌داری روی درصد ازت و وزن غده‌های بذری در یک بوته نداشت. بیشترین در آمد به ازای عمق آب مصرفی ۸۲۱ میلی‌متر (۱۲۶ درصد آبیاری کامل) در طی دوره رشد به دست آمد. اما در اثر کم آبیاری و استفاده از ۵۳۳ میلی متر آب (معادل ۸۲ درصد آبیاری کامل) می‌توان به حداکثر سود خالص نایل شد و با اعمال کم آبیاری سطح زیر کشت را ۱/۲۲ برابر افزایش داد.

بیشترین کارائی مصرف آب آبیاری مربوط به تیمار ۸۵ درصد آبیاری کامل بود. اگر هدف از کشت رسیدن به بیشترین عملکرد باشد، استفاده از سطح آبیاری ۱۳۰ درصد آبیاری کامل و اگر هدف

تولید غده‌های بذری باشد، استفاده از سطح آبیاری، ۸۵ درصد آبیـاری کامل توصیه می‌شود.

منابع

1- Ahmadi S.H., Agharezaee M., Kamgar-Haghighi A.A., and Sepaskhah A.R. 2014. Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars, Agricultural Water Management, 134(1):126-136.

2- Akhavan S., Mousavi F., Mostafazadehfard B., Ghadami Firouzabadi A., and Bahrami B. 2005. Effect of amount and method of irrigation on the yield and quality of potato (agria cultivar). Agricultural Research (Water, Soil and Plant in agriculture).5(2):27-40. (in Persian with English abstract).

3- Akhavan S., Mousavi F., Mostafazadehfard B., and Ghadami Firouzabadi A. 2007. Furrow and Type irrigation effects on potato yield and water use efficiency. Agriculture and Natural Resources Sciences and Technologies, 11(41):16-26.

4- Al-Omran A.M., Sheta A.S., Falatash A.M., and Al-Harbi A.R. 2004. Effect of drip irrigation on squash (*Cucurbita pepo*) yield and water-use efficiciency in sandy calcareous soils amended with clay deposits. agric. Water manage, 73(1):43-55.

5- Allen R., Pereira L.A., Raes D., and Smith M. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper NO. 56. FAO, Rome, Italy.

6- Ansari H., Sharifian H., Davari K. 2010. General irrigation (principles and practices). Iranian academic center for education culture and research of mashhad.

7- Badr M.A., Abou Hussein S.D., El-Tohamy W.A., and Gruda N. 2010. Efficiency of Subsurface Drip Irrigation for Potato Production Under Different Dry Stress Conditions. Gesunde Pflanzen, 62:63–70.

8- Costa L.D. 1997. Yield , water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress, Potato Research, 40(1): 19-34.

9- Cottrell J.E., Duffus C.M., Paterson L., and Mackay G.R. 1995. Properties of potato starch: effect of genotype and growing conditions. Phytochemistry, 40(4)1057-1064.

10- English M. 1990. Deficit irrigation I: Analytical framework. ASCE. J. of Irrigation and Drainage Engineering, 16(3): 399-412.

11- Farshi A.A., Kheirabi J., Siadat H., Mirlatifei M., Darbandi S., Salamat A.R., Entesari M.R. and Sadat M.H.2003. On-Farm Irrigation Water management. Iranian national committee on irrigation and drainage (IRNCID).

12- Ghamarnia H. and Sepehri S. 2009. Water stress management and its effects on water use efficiency and other yield parameters of potato in kermanshah province In the west of iran. 60th International Executive Council Meeting & 5th Asian Regional Conference, New Delhi, India, pp . 6-11.

13- Liu F., Shahnazari A., Andersen M.N., Jacobsen S.E., and Jensen C.R. 2006. Physiolog-ical response of potato (*Solanum tuberosum* L.) to partial root zone drying: ABAsignaling, leaf gas exchange, and water use efficiency. Journal of ExperimentalBotany 57, 3727–3735.

14- Ministry of Agricultural Jihad. 2012. The cost of agricultural production in the Season 2009. (in Persian).

15- Mobli H., Mosazadeh H. and Javanbakht S.2011. Technology of potato production. University of tehran press (UTP).

16- Molaei B. 2013. Investigation of yield and water use efficiency of two varieties of potato (burren and satina) under trickle (T-Tape) and sprinkler irrigation using different organic fertilizers. Isfahan University of Technology. Department of Water Engineering. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. (in Persian with English abstract).

17- Opena J.B., and Porter G.A. 1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato. II. Root growth.Agron. J. 91: 426-431.

18- Pooryayvali M.2009. Potato and out of season proudaction. Publishing in nosooh.

19- Rezaei A. and Soltani A. 2001. Introduction to potato production. Iranian academic center for education culture and research of mashhad.

20- Schafleitner R., Oscar R., Rosales G., Gaudin A, Alvarado Aliaga C., Martinez G., Tincopa Marca L., Avila Bolivar L., Mendiburu Delgado F., Simon R., and Bonierbale M. 2007. Capturing candidate drought tolerance traits in two native Andean potato clones by transcription profiling of field grown plants under water stress. Plant Physiology and Biochemistry, 45: 673-690.

21- Shayannejad M.2008. The effect of deficit irrigation on the qualitative and quantitative characteristics of potato by applying one in between furrow irrigation in Sharekord . Journal of Agricultural Science and Technology. Ferdowsi University of Mashhad. 22(1):131-140. (in Persian with English abstract).

22- Wang H., Liu F., Andersen M.N., and Jensen C.R. 2009. Comparative efects of partial root-zone drying and defcit irrigation on nitrogen uptake in potatoes (*Solanum tuberosum* L.). Irrig Sci, 27:443–448.
23- Wang F., Kang Y., Liu S., and Hou X. 2007. Effects of soil matric potential on potato growth under drip irrigation in the North China Plain. Agricultural Water Management, 88: 34–42.

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 5, Nov.-Dec. 2016, p. 1370-1381

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۵، ص. ۱۳۸۱-۱۳۷۰

Effect of Different Levels of Irrigation Water on Quantitative and Qualitative Characteristics of Potato and Determination of Its Optimum Consumptive Use of Water in Shahrekord

M. Naderi[1*]- M. Shayannejad[2]- S. Heydari[3]- B. Haghighati[4]

Received: 22-09-2014
Accepted: 14-03-2016

Introduction: Owing to drought, increasing demand for fresh water resources and low water use efficiency, the optimum use of water is essential in the agricultural sector. Therefore, this study was conducted to investigate the effect of different levels of irrigation water on quantitative and qualitative Characteristics of potato (Burren cultivar) and determination of its optimum consumptive use of water under Shahr-e kord environment.

Materials and Methods: This study was conducted at the Agricultural Research Center and Natural Resources in Shahr-e kord with longitude and latitude of 32˚18´ and 50˚51´ , respectively, in 2013. This experiment was performed in randomized complete block design with 7 treatments consisted of different levels of irrigation water and 3 replications. Different levels of irrigation water were: 40, 55, 70, 85, 100, 115 and 130 % of the soil moisture deficit. Potato seeds (burren cultivar) were planted with distance of 20 cm from each other and furrow width of 75 cm. Irrigation program were performed based on the measurement of soil moisture deficit. The irrigation intervals were considered as a fixed 7 day. Irrigation levels were applied to 105 days after planting and the total growth period was 130 days from planting to harvesting. The samples were taken from the two middle furrows. The evaluated parameters were included weight of tubers per plant, tuber diameter, weight of tuber in seed size, weight of tuber production in a plant in marketable size, tuber dry weight, the starch percent, percent of soluble sugars, nitrogen percent. The starch content was determined by Polarimetry method. The soluble sugars content was measured by Colorimetric method, the nitrogen content was measured by wet digestion method and using the Kjeldahl set. Then, the optimal depth of water consumption in conditions of limited water resources were determined by English method Statistical analysis of data and drawing graphs were done with SAS and EXCEL software, respectively.

Results and Discussion: The effect of different levels of irrigation water on yield was significant at 1%. The yield increased with increase of irrigation water. The minimum and maximum yields were belonged to 40 and 130 % treatments with 13.2 and 45.2 tons per hectare, respectively. Whereas, the results revealed that treatments which recieved100, 115 and 130% of the soil moisture deficit had no significant effect on potato yield at 5% level. Thus, potato yield in 115 and 130% treatments were only 2.3 and 3.9% more than treatment receiving full irrigation, respectively. The potato production function was obtained using the depth of water which consumed during the growing season and yield in each treatment. The results showed that the effect of different levels of irrigation water was significant on yield, starch, soluble sugars, dry matter, irrigation water use efficiency and the weight of tuber production per plant in marketable size As the level of irrigation water increased, the yield, soluble sugars content and weight of tuber per plant in marketable size increased and the starch and dry matter content decreased. Moreover, effect of different levels of irrigation water on nitrogen percent and the weight of tuber in seed size were not significant. Maximum and minimum of irrigation water use efficiency were belonged to 85 and 40% with values of 6.96 and 4.84 Kg m^{-3}, respectively. Maximum and minimum percentages of starch were belonged to 40 and 130% treatments with values of 76.6 and 61%, respectively. The soluble sugar content in potato can causes discoloration and darkness of the product, and accordingly it makes the non-marketability of the product. Maximum and minimum soluble sugar contents were belonged to 130 and 40% treatments with values of 2.12 and 3.07%, respectively. In addition, the increase of irrigation water caused to the increase of weight of tuber per plant in marketable size. Therefore, the highest marketable tuber yield was belonged to 130%

1, 2 and 3- Master Student, Associated Professor and Master Student, Department of Irrigation, Faculty of Agriculture Isfahan University of Technology
(*-Corresponding Author Email: naderi7403@yahoo.com)
4- Researcher, Chaharmahal va Bakhtiari Reseach Center

treatment and it was 1.5 kg per plant and the lowest one was belonged to 40% treatment and it was 0.61 kg per plant. The applied water which maximized the income was 821 mm during the growth period.

Conclusion: The use of 82% full irrigation (533mm) can result in maximum net income and irrigated area can increase by 22% compare to full irrigation. If the purpose of planting is get to the maximum yield, the use of 130% irrigation treatment is recommended and if the purpose is the production of seed potatoes, the use of 85% irrigation, treatment is recommended.

Keywords: Irrigation water use efficiency, Optimization, Production function, Profit function