نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره پنجم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب چغندرقند تحت سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی

مهدی جوزی[۱] و *حمید زارع‌ابیانه[۲]

[۱]دانشجوی دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی‌سینا، [۲]دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه بوعلی‌سینا

تاریخ دریافت: ۹۳/۱/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۶/۲۲

چکیده

سابقه و هدف: با توجه به محدودیت منابع آب در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، کم‌آبیاری یکی از راه‌کارهای استفاده بهینه آب، افزایش بهره‌وری و کارایی مصرف آب در بخش کشاورزی است. از جمله روش‌های کم‌آبیاری می‌توان به کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه اشاره نمود که هدف از آن‌ها محدود کردن کاربرد آب آبیاری است. کم‌آبیاری ناقص ریشه روش جدید مدیریت آبیاری است که موجب افزایش شاخص کارایی مصرف آب و کاهش غیرمعنی‌دار محصول می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر سطوح مختلف آب آبیاری و کود ازته بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب چغندرقند بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در اراضی کشاورزی دشت کرفس استان همدان واقع در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه و در ارتفاع ۱۹۱۵ متری از سطح دریا اجرا شد. این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های خردشده بر مبنای بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. در بلوک‌های اصلی، سطوح مختلف آبیاری شامل آبیاری معمولی (CI)، کم‌آبیاری ناقص ریشه در سه سطح ۸۵ (PRD_{85})، ۷۵ (PRD_{75}) و ۶۵ درصد (PRD_{65}) و کم‌آبیاری تنظیم شده در سه سطح ۸۵ (RDI_{85})، ۷۵ (RDI_{75}) و ۶۵ درصد (RDI_{65}) نیاز آبی گیاه، قرار گرفته بودند. در بلوک‌های فرعی نیز، سطوح کودی در دو سطح ۱۰۰ (f_{100}) و ۷۵ درصد (f_{75}) نیاز کودی، اعمال شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تأثیر تیمارهای آبیاری بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب همه صفات مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. تیمارهای کودی نیز بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده در سطح یک درصد و سایر صفات در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشتند. اثر متقابل بین تیمارهای آبیاری و کودی غیرمعنی‌دار شد. تیمار آبیاری CI دارای بیش‌ترین شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده (به‌ترتیب ۱۰/۵۵ و ۱۵/۲۰ Kgm^{-3}) بود، اما اختلاف آن با تیمار PRD_{85} غیرمعنی‌دار بود. بیش‌ترین شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب عملکرد ریشه (به‌ترتیب ۵/۰۱ و ۷/۱۴ Kgm^{-3}) و قند (به‌ترتیب ۰/۹ و ۱/۲۸ Kgm^{-3}) نیز در اختیار تیمار PRD_{85} بود. مقادیر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب تمامی صفات مورد بررسی در تیمار کودی f_{100} بیش‌تر از f_{75} شد.

* مسئول مکاتبه: zareabyaneh@gmail.com

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب عملکرد ریشه و قند تیمار آبیاری PRD_{85} بیش‌تر از سایر تیمارهای آبیاری بود. با توجه به عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین تیمار PRD_{85} با CI به لحاظ عملکردهای ریشه و قند و همچنین صرفه‌جویی ۱۵ درصدی آب آبیاری در تیمار PRD_{85}، تحت شرایط مشابه این پژوهش، کاربرد تیمار PRD_{85} توصیه می‌گردد. تیمار کودی f_{100} نیز دارای عملکردهای ریشه، قند، شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده، ریشه و عملکرد قند بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} بود. در نتیجه تیمارهای PRD_{85} و f_{100} به‌عنوان تیمارهای برتر انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری ناقص ریشه، درصد قند، زیتوده، عملکرد ریشه، کم‌آبیاری تنظیم شده

مقدمه

با توجه به محدودیت منابع آب و شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک ایران، کم‌آبیاری می‌تواند یکی از راه‌کارهای استفاده بهینه آب، افزایش بهره‌وری[1] (WP) و کارایی مصرف آب[2] (WUE) در بخش کشاورزی باشد. کم‌آبیاری یعنی مصرف آگاهانه کم‌تر آب به‌منظور استفاده مناسب‌تر از واحد حجم آب آبیاری برای به‌دست آوردن عملکرد بهینه‌ای از محصولات کشاورزی تعریف شده است (28). از جمله روش‌های کم‌آبیاری می‌توان به کم‌آبیاری تنظیم شده[3] (RDI) و کم‌آبیاری ناقص ریشه[4] (PRD) اشاره نمود که هدف از آن‌ها محدود کردن کاربرد آب آبیاری است. PRD روش جدید مدیریت آبیاری است که علاوه بر کاهش غیرمعنی‌دار محصول، موجب افزایش WUE می‌گردد (36, 41, 43, 49). در کم‌آبیاری ناقص ریشه، در هر نوبت آبیاری تقریباً نیمی از ریشه آبیاری و نصف دیگر آن خشک می‌ماند. در آن قسمت ریشه که خشک مانده و تحت تنش آبی است، مقداری هورمون اسید آبسسیک و یا سیگنال‌های شیمیایی تولید شده که منجر به بسته شدن نسبی روزنه‌ها و در نتیجه انتقال کم‌تر آب به محیط خارج گیاه می‌شود (15, 26, 43). از جمله گیاهانی که قابلیت سازگاری با کم‌آبیاری را دارد، چغندرقند می‌باشد (15). سطح زیر کشت این گیاه در جهان حدود ۵/۰۶ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۵۳/۶۷ تن در هکتار است (16). سطح زیر کشت این گیاه در ایران حدود ۱۱۰ هزار هکتار با عملکرد ۴۲/۹ تن در هکتار می‌باشد (11). نیاز آبی این گیاه با طول دوره رشد ۱۵۰ روز در حدود ۵۵۰ (مناطق مرطوب) تا ۲۰۰۰ میلی‌متر (مناطق خشک) می‌باشد (12). اما گیاه چغندرقند دارای خصوصیاتی است که با توجه به آن می‌توان کاشت این گیاه را در مناطق با محدودیت آب مورد توجه قرار داد. این خصوصیات شامل مواردی مانند ریشه نسبتاً عمیق حدود ۰/۷ تا ۱/۲ متر (3)، فقدان دوره بحرانی رشد زایشی (30)، طولانی بودن فصل رشد گیاه (48) و نیاز آبی بالای این گیاه است (32).

اسماعیلی (2011) اثر کم‌آبیاری تنظیم شده و سطوح مختلف کود ازته بر چغندرقند را مورد ارزیابی قرار داد نتایج نشان داد که تأثیر تیمارهای آبیاری و کودی بر عملکرد ریشه، درصد قند، شاخص کارایی مصرف آب ریشه و قند معنی‌دار بود و بیش‌ترین عملکرد ریشه در تیمار آبیاری بدون تنش و با کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود ازته به‌دست آمد (13). بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر برخی

1- Water Productivity
2- Water Use Efficiency
3- Regulated Deficit Irrigation
4- Partial Root Drying

صفات کمی و کیفی چغندرقند نشان داد که میانگین آب مصرفی گیاه ۱۴۵۲۵ مترمکعب در هکتار در تیمار بدون تنش آبی است. بیش‌ترین عملکرد ریشه به مقدار ۴۶/۶۸ تن در هکتار در تیمار بدون تنش آبی حاصل شد (34). در مطالعه فابیرو و همکاران (2003) تأثیر تنش آبی بر عملکرد و کیفیت چغندرقند بررسی گردید. نتایج نشان داد که حجم آب آبیاری بر عملکرد تأثیر معنی‌داری نداشته اما کارایی مصرف آب را تحت‌تأثیر قرار داد و تیمارهایی که آب کم‌تری دریافت کرده بودند دارای کارایی مصرف آب بیش‌تری بودند (14). در شرایط نیمه‌خشک اصفهان اثر تیمارهای مختلف آبیاری (کم‌آبیاری تنظیم شده و بیش آبیاری) بر کارایی مصرف آب چغندرقند بررسی گردید. بیش‌ترین کارایی مصرف آب برای عملکرد ریشه در تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی (۵/۹۱ کیلوگرم بر مترمکعب) و کم‌ترین آن در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۴/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد (42). حسین‌پور و همکاران (2013) در یک پژوهش دو ساله، تأثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر خصوصیات رشدی و صفات کمی و کیفی چغندرقند را بررسی نمودند. نتایج پژوهش در سال اول نشان داد که تأثیر مقادیر نیتروژن بر عملکرد ریشه غیرمعنی‌دار بود اما در سال دوم این تأثیر معنی‌دار بوده و بیش‌ترین عملکرد مربوط به سطح نیتروژن ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار (۸۰/۹ تن در هکتار) به‌دست آمد (22). بررسی تأثیر روش آبیاری شیاری یک در میان در مقایسه با روش آبیاری معمولی بر روی چغندرقند نشان داد که عملکرد ریشه چغندرقند در آبیاری جویچه‌ای یک در میان با دور آبیاری شش روز با آبیاری جویچه‌ای معمولی با دور ۱۰ روز اختلاف معنی‌داری نداشته و موجب صرفه‌جویی ۲۳ درصدی آب آبیاری شده است (40). حسنلی و همکاران (2010) اثرات روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیر سطحی بر شاخص بهره‌وری آب چغندرقند را مطالعه نمودند. مقدار این شاخص برای روش‌های آبیاری ذکر شده به‌ترتیب ۴/۱۵، ۸/۲ و ۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (19). توپاک و همکاران (2010) اثر کم‌آبیاری تنظیم شده بر شاخص کارایی مصرف آب چغندرقند را در ترکیه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد شاخص کارایی مصرف آب چغندرقند ۸/۲۱ تا ۷/۴۶ کیلوگرم بر مترمکعب به‌ترتیب در تیمار کم‌آبیاری به مقدار ۷۵ درصد آبیاری کامل و تیمار آبیاری کامل به‌دست آمد (46).

با توجه به پژوهش‌های متعدد انجام یافته، پژوهشی که نشان‌دهنده اثرات سطوح مختلف آب در روش‌های کم‌آبیاری ناقص ریشه، کم‌آبیاری تنظیم شده و آبیاری معمولی و سطوح مختلف کود ازته بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب چغندرقند باشد، صورت نگرفته است. بر این اساس، هدف اصلی انجام این پژوهش، مقایسه اثرات روش‌های آبیاری شامل آبیاری معمولی، کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری ناقص ریشه (در سطوح مختلف آب آبیاری) و سطوح مختلف کود ازته بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب چغندرقند می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۲ در اراضی کشاورزی دشت کرفس شهرستان رزن از استان همدان اجرا گردید. منطقه مورد مطالعه در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۹۱۵ متری از سطح دریا قرار دارد. نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد پژوهش، ایستگاه هواشناسی

کرفس واقع در فاصله تقریبی ۷ کیلومتری می‌باشد که از آمار روزانه این ایستگاه در طول انجام این پژوهش استفاده شد. طبق آمار این ایستگاه که مربوط به سال‌های ۱۳۷۶تا ۱۳۹۱ می‌باشد میانگین دما و بارندگی سالیانه به‌ترتیب ۱۱ درجه سانتی‌گراد و ۳۱۶ میلی‌متراست. طبق اقلیم‌نمای دومارتن، اقلیم این منطقه نیمه‌خشک سرد است (18). برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه تا عمق ۱۴۰ سانتی‌متری در جدول ۱ ارائه شده است. منبع آب مورد استفاده، از آب زیرزمینی بوده که توسط پمپاژ از چاه تأمین شد. کیفیت این آب براساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک آمریکا در کلاس C2S1 قرار داشت.

به‌منظور بررسی شاخص‌های بهره‌وری (WP) و کارایی مصرف آب (WUE) چغندرقند رقم *Canaria*، تحت دو عامل رژیم آبیاری و مقدار کود ازته، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های خردشده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید.

جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Some soil physical and chemical characteristics of the study area.

ازت کل Total N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS m^{-1})	اسیدیته PH (-)	چگالی ظاهری خاک Bulk density (gr cm^{-3})	نقطه پژمردگی wilting point (%)	ظرفیت زراعی Field capacity (%)	بافت خاک Soil texture (-)	عمق خاک Soil depth (cm)
0.03	0.34	0.7	7.9	1.11	10.36	21.33	لوم Loam	0-20
0.05	0.51	0.7	7.8	1.10	11.15	21.52	رسی Clay	20-40
0.04	0.38	0.6	7.9	1.07	11.80	22.36	لومی رسی Clay Loam	40-70
0.05	0.48	0.9	8.0	1.09	9.58	24.21	رسی Clay	70-140

فواصل پشته‌ها ۵۵ سانتی‌متر، طول آن‌ها ۲۰ متر و انتهای شیارها بسته در نظر گرفته شد. در هر تیمار ۵ ردیف کشت ایجاد شد و بذرها روی پشته‌ها به فواصل ۲۰ سانتی‌متری از یک‌دیگر در عمق ۳ سانتی‌متری به‌صورت دستی کشت گردیدند. همه تیمارها تا قبل از مرحله استقرار گیاه (۸-۶ برگه شدن) به‌طور یکنواخت آبیاری شدند. پس از مرحله استقرار گیاه، عامل اول (آبیاری) به هفت سطح آبیاری شامل تیمار آبیاری معمولی (CI) به‌میزان ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (محاسبه شده از روش رطوبت حجمی خاک)، تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) با ۸۵، ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه (RDI_{85}، RDI75 و RDI_{65})، تیمارهای کم‌آبیاری ناقص ریشه (PRD) با ۸۵، ۷۵ و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه (PRD_{85}، PRD_{75} و PRD_{65}) اختصاص یافت. در تمام تیمارها دو ردیف جویچه در اطرف هر ردیف کاشت ایجاد شد تا آب آبیاری در رژیم‌های آبیاری معمولی (CI) و کم‌آبیاری تنظیم‌شده (RDI) به‌میزان مساوی در بین جویچه‌ها توزیع شود. اما در رژیم کم‌آبیاری ناقص ریشه (PRD) جویچه‌ها به‌صورت یک در میان،

آبیاری شدند. حجم آب داده شده به هر تیمار با استفاده از روش حجمی (مخزن استوانه‌ای) کنترل شده و در اختیار تیمارها قرار می‌گرفت. عامل دوم (کود) نیز به دو سطح کودی ازته، شامل تیمار ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز کودی توصیه شده براساس نتایج آزمون خاک (f_{100} و f_{75}) اختصاص یافت. مقدار ۱۸۴ Kg ha^{-1} نیاز خالص کود ازته به‌مقدار یک سوم و دو سوم به‌ترتیب در دو نوبت ۴۸ و ۷۱ روز بعد از کاشت به‌صورت سرک اعمال شد.

تاریخ کشت ۱۶ خردادماه و برداشت ۸ آبان بود. دور آبیاری با توجه به دور معمول منطقه، هفت روز بود. عمق آب آبیاری بر مبنای مقدار تخلیه آب خاک در انتهای روز پیش از آبیاری طبق رابطه زیرتعیین شد:

$$dn = \sum_{i=1}^{k}[(\theta_{FCi} - \theta_{BIi}) \times \rho_{bi} \times D_{RZi}] \qquad (۱)$$

در رابطه فوق، dn عمق آب آبیاری (mm)، θ_{FCi} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی در هر لایه i خاک که ریشه تا آن لایه نفوذ کرده (اعشار)، θ_{BIi} رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری در هر لایه (اعشار)، ρ_{bi} وزن مخصوص ظاهری خاک در هر لایه (gr cm^{-3})، D_{RZi} عمق ریشه گیاه در هر لایه خاک (mm) و k تعداد لایه‌های خاک که ریشه تا آن عمق نفوذ کرده است. راندمان آبیاری با توجه به بسته بودن انتهای شیارها و کوتاه بودن طول آن‌ها، ۹۰ درصد لحاظ شد (2). مقدار کلی آب مصرفی در تیمارهای ۱۰۰ درصد (CI)، ۸۵ درصد (RDI_{85} و PRD_{85})، ۷۵ درصد (RDI_{75} و PRD_{75}) و ۶۵ درصد نیاز آبی گیاه (RDI_{65} و PRD_{65}) به‌ترتیب ۹۷۸۷، ۹۰۴۸، ۸۵۵۶ و ۸۰۶۳ مترمکعب در هکتار بود.

هنگام برداشت محصول، نمونه‌برداری برای عملکرد ریشه و زیتوده (مجموع عملکرد قسمت‌های هوایی گیاه با ریشه) با حذف حاشیه تیمارها از سه ردیف وسط در سطحی معادل ۶/۶ مترمربع صورت گرفت. پس از توزین محصول، نمونه‌ها جهت تعیین میزان قند به آزمایشگاه کارخانه قند همدان انتقال داده شد. پس از خمیرگیری از نمونه‌ها، درصد قند چغندرقند به‌روش سرد، با به‌کار بردن شفاف‌کننده سولفات آلومینیم، طبق دستورالعمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران اندازه‌گیری شد (23).

شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب برای ارزیابی عملکرد آب آبیاری و تبخیر تعرق تیمارها از روابط زیر تعیین شدند:

$$WP = \frac{Y}{I_g} \qquad (۲)$$

که در آن، WP شاخص بهره‌وری آب (kg m^{-3})، Y عملکرد محصول (kg ha^{-1}) و I_g مقدار آب آبیاری (m^3 ha^{-1}) است.

$$WUE = \frac{Y}{\sum ET_a} \qquad (۳)$$

که در آن، WUE شاخص کارایی مصرف آب (kg m^{-3}) و $\sum ET_a$ مجموع تبخیر تعرق واقعی گیاه در فصل کشت (m^3 ha^{-1}) است (6, 27).

از جمله روش‌های تعیین تبخیر تعرق و نیاز آبی گیاهان، روش تشت تبخیر است. در این پژوهش برای دست‌یابی به‌مقدار تبخیر تعرق، مشابه برخی پژوهش‌ها (35, 37, 38) از یک دستگاه تشت تبخیر کلاس A در طول فصل رشد استفاده شد. بنابراین تبخیر تعرق واقعی گیاه، طبق دستورالعمل نشریه ۵۶ فائو از رابطه زیر تعیین گردید (4):

$$ET_a = K_S \times K_C \times K_P \times E_P \qquad (۴)$$

که در آن، K_P ضریب تشت بوده و بستگی به نوع تشت، سرعت باد، فاصله تشت از پوشش گیاهی و

میانگین رطوبت نسبی روزانه دارد و مقدار آن بین ۰/۳۵ تا ۰/۷۲ در طی فصل کشت متغیر بود. K_C ضریب گیاهی است که به نوع گیاه، مراحل مختلف رشد گیاه، ارتفاع گیاه، سرعت باد و حداقل رطوبت نسبی روزانه وابسته است. مقدار آن در مراحل اولیه، میانی و پایانی رشد به‌ترتیب ۰/۳۶، ۱/۳۳ و ۰/۷۵ تعیین شد. E_P مقدار تبخیر از تشت و ET_a نیز تبخیر تعرق واقعی گیاه (بر حسب $mm\ day^{-1}$) است. K_S ضریب تنش آبی است و در شرایطی که مقدار تخلیه آب خاک در عمق توسعه ریشه (D_r) کوچک‌تر از رطوبت سهل‌الوصول (RAW) بود مقدار آن برابر یک در نظر گرفته شد و در شرایطی که D_r بزرگ‌تر از RAW بود مقدار آن ازرابطه زیر تعیین گردید:

$$K_S = \frac{TAW - D_r}{(1-\rho)TAW} \qquad (۵)$$

که در آن، TAW کل آب قابل استفاده خاک (mm) و D_r مقدار تخلیه آب خاک در عمق توسعه ریشه گیاه (mm) است. ρ ضریب تخلیه و یا کسری از TAW است که گیاه بدون تحمل تنش آبی از خاک جذب می‌کند (اعشار) و از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$\rho = \rho_T + 0.04(5\text{-}ET_{a\ avg}) \qquad (۶)$$

که در آن، $ET_{a\ avg}$ میانگین تبخیر تعرق واقعی گیاه در فاصله دو آبیاری هنگامی که K_S برابر یک فرض شود. ρ_T نیز ضریب تخلیه توصیه شده برای یک گیاه خاص بر اساس نشریه ۵۶ فائو است که برای چغندرقند مقدار آن برابر ۰/۵۵ در نظر گرفته شد.

میزان RAW (mm) نیز از رابطه زیر تعیین گردید:

$$RAW=\rho\times TAW \qquad (۷)$$

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (2006) استفاده گردید. مقایسه بین میانگین پارامترهای مورد بررسی در تیمارها، با استفاده از آزمون توکی در سطح معنی‌داری پنج و یک درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد زیتوده گیاه: براساس نتایج تجزیه واریانس عمکرد زیتوده، بین تیمارهای مختلف آبیاری و نیز تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد مشاهده گردید. همچنین بر این اساس، اثرات متقابل بین دو عامل مورد بررسی غیرمعنی‌دار است (جدول ۲). با توجه به مقایسه میانگین بین تیمارهای آبیاری (جدول ۳)، تیمار CI با $Kg\ ha^{-1}$ ۱۰۳۲۵۵ بیش‌ترین عملکرد زیتوده و تیمار RDI_{65} با $Kg\ ha^{-1}$ ۵۱۳۱۸ کم‌ترین عملکرد زیتوده را دارد. به‌نظر می‌رسد که مصرف مناسب آب در تیمار CI باعث افزایش فعالیت برگ‌ها، افزایش فتوسنتز و تولید مواد غذایی می‌شود و در نتیجه وزن زیتوده گیاهی افزایش می‌یابد. بروز تنش خشکی نیز، از طریق کاهش فعالیت برگ‌ها، سطح برگ‌ها و ریزش آن‌ها باعث کاهش منبع فتوسنتزی و در نتیجه موجب کاهش وزن زیتوده گیاهی می‌شود. پژوهشگران نیز بیان می‌دارند وقتی تنش خشکی اتفاق می‌افتد تک‌تک برگ‌ها دچار تغییر می‌گردند که این تغییر شامل تأخیر در ظهور، گسترش کندتر، تسریع پیری و کاهش تولید مواد فتوسنتزی است (30).

براساس مقایسه میانگین عملکرد زیتوده در تیمارهای کودی (جدول ۳) تیمار f_{100} با $Kg\ ha^{-1}$ ۷۷۶۷۶ دارای عملکرد بیش‌تری نسبت به f_{75} ($Kg\ ha^{-1}$ ۷۲۲۱۵/۹) است. کاهش مصرف ازت باعث کاهش میزان کلروفیل و سرعت فتوسنتز برگ‌های مسن‌تر شده و موجب ریزش برگ‌های مسن‌تر (قبل از بلوغ) می‌شود. در نتیجه کاهش مصرف ازت منجر به کاهش زیتوده گیاهی می‌گردد. برخی پژوهشگران اعتقاد دارند کاهش مصرف ازت باعث، کاهش زیتوده گیاهی می‌شود (22, 30).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آبیاری و کود ازته بر زیتوده، عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد قند.

Table 2. Results of variance analysis (Mean Square) the effect of irrigation and nitrogen fertilizer treatments on biomass, root yield, sugar percentage and Sugar yield.

عملکرد قند Sugar yield	درصد قند Sugar percentage	عملکرد ریشه Root yield	زیتوده Biomass	درجه آزادی Degree of freedom	منابع متغیر Sources of variations
9137536**	2.59**	370606042**	2179135317**	6	آبیاری Irrigation
3034850	0.39	114941266	313639610	2	بلوک Block
144201	0.10	5926379	44764222	12	اشتباه (بلوک × آبیاری) Error (Block × Irrigation)
1443554*	0.33*	60174938*	313041620**	1	کود Fertilizer
34933	0.007	1360290	2172495	2	اشتباه (بلوک × کود) Error (Block × Fertilizer)
79233^{ns}	0.011^{ns}	2341189^{ns}	7826562^{ns}	6	آبیاری × کود Irrigation × Fertilizer
106057	0.032	3161456	6828982	12	اشتباه باقی‌مانده Residual error
1606996	0.45	64378425	358184281	41	کل Total
4.69	0.98	4.64	3.49	-	ضریب تغییرات (٪) Coefficients variance

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

^{ns} non-significant, * Significant at the 5% probability level (P<0.05), ** Significant at the 1% probability level (P<0.01).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری و کود ازته بر زیتوده، عملکرد ریشه، قند و عملکرد قند.

Table 3. Mean comparison of the effect of irrigation and nitrogen fertilizer treatments on biomass, root yield, sugar percentage and Sugar yield.

عملکرد قند Sugar yield (Kg ha^{-1})	درصد قند Sugar percentage (%)	عملکرد ریشه Root yield (Kg ha^{-1})	زیتوده Biomass (Kg ha^{-1})	تیمار Treatment	عامل Factor
8278^{a}	17.38^{e}	47667^{a}	103255^{a}	CI	آبیاری (Irrigation)
7497^{ab}	17.66^{de}	42505^{abc}	88058^{ab}	RDI_{85}	
6614^{bc}	18.25^{bcd}	36258^{cd}	71821^{b}	RDI_{75}	
4902^{d}	18.78^{ab}	26136^{e}	51318^{c}	RDI_{65}	
8133^{a}	17.94^{cde}	45369^{ab}	85619^{b}	PRD_{85}	
7357^{ab}	18.58^{abc}	39606^{c}	72345^{b}	PRD_{75}	
5854^{cd}	19.25^{a}	30465de	52206^{c}	PRD_{65}	
7133^{a}	18.17^{b}	39483.4^{a}	77676.0^{a}	f_{100}	کود (Fertilizer)
6762^{b}	18.35^{a}	37089.5^{b}	72215.9^{b}	f_{75}	

در هر ستون و برای هر عامل، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد باهم ندارند.

At the same column and factors, the values with the same letter are not significantly different at the 5% probability level (P<0.05).

عملکرد ریشه گیاه: اثر تیمارهای آبیاری بر عملکرد ریشه چغندرقند در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تأثیر تیمارهای کودی بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. اما اثرات متقابل بین سطوح آبیاری و کودی غیرمعنی‌دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری (جدول ۳) نشان داد، تیمار CI با متوسط عملکرد به میزان $Kg\ ha^{-1}$ ۴۷۶۶۷ دارای بیش‌ترین عملکرد ریشه است. تیمار RDI_{65} نیز با میانگین عملکرد ریشه به‌مقدار $Kg\ ha^{-1}$ ۲۶۱۳۶ داری کم‌ترین عملکرد در بین تیمارهای آبیاری است. نتایج این پژوهش نشان داد، با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد ریشه کاهش می‌یابد. احتمالاً کاهش عملکرد ریشه در شرایط کم‌آبیاری را می‌توان به کاهش سطح برگ‌ها، مواد فتوسنتزی و به‌دنبال آن کاهش مواد ذخیره‌ای در ریشه نسبت داد. برخی از دانشمندان اظهار می‌دارند که تنش خشکی باعث کاهش آماس سلولی و افزایش قدرت مکانیکی خاک، موجب کاهش رشد ریشه می‌شود. همچنین عامل اصلی رشد ریشه، عرضه کربوهیدرات از برگ‌ها بوده که تنش خشکی باعث کاهش عرضه آن و موجب نقصان رشد ریشه می‌گردد (30). برخی از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث کاهش عملکرد ریشه می‌شود (9, 17, 45). براساس نتایج جدول ۳ تفاوت عملکرد ریشه تیمارهای RDI در مقایسه با PRD در سطوح آبیاری یکسان غیرمعنی‌دار شد. اما با این وجود، به‌نظر می‌رسد در سطوح آبیاری یکسان عملکرد ریشه در همه تیمارهای PRD بیش از RDI است. احتمالاً در تیمار PRD امکان نفوذ بیش‌تر آب در عمق خاک از سمت جویچه آبیاری شده تیمار PRD وجود داشته و این امر باعث گردیده تا مقاومت مکانیکی خاک در مقابل رشد ریشه کم‌تر شده و ریشه امکان استفاده بهتری از مواد مغذی خاک را با نفوذ بیش‌تر داشته است.

براساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای کودی، تیمار f_{100} با میانگین $Kg\ ha^{-1}$ ۳۹۴۸۳/۴، عملکرد ریشه بهتری نسبت به تیمار f_{75} ($Kg\ ha^{-1}$ ۳۷۰۸۹/۵) داشت (جدول ۳). مصرف مناسب ازت باعث رشد مناسب برگ‌ها و به‌دنبال آن افزایش تولید مواد فتوسنتزی شده و در نتیجه باعث افزایش عملکرد ریشه می‌گردد. طی پژوهشی، افزایش کاربرد میزان کود نیتروژن منجر به افزایش سطح و تعداد برگ و کامل شدن سریع سایه‌انداز چغندرقند گردید (21). پژوهش دیگری نیز، نشان می‌دهد که با کاربرد نیتروژن کافی موجب تولید سه تا پنج برگ جدید در هفته شده و باعث افزایش فتوسنتز و عملکرد ریشه می‌شوند (31). با عنایت به گزارش مرکز فناوری اطلاعات و ارتباطات وزارت جهادکشاورزی در خصوص میانگین عملکرد ریشه چغندرقند در کشور ($Kg\ ha^{-1}$ ۴۲۹۴۲)، نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین عملکرد تیمارهای آبیاری CI و PRD_{85} به‌ترتیب ۱۱/۰ و ۵/۷ درصد افزایش داشته است (11). افزایش عملکرد تیمار آبیاری PRD_{85}، با توجه به سطح زیر کشت ۱۱۰ هزار هکتاری چغندرقند و محدودیت منابع آبی می‌تواند از لحاظ اقتصادی برای کشور و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با آن قابل تأمل باشد.

درصد قند (عیار): تأثیر تیمارهای آبیاری و کودی بر درصد قند چغندرقند به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اما اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و سطوح کودی غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج حاصل از مقایسه میانگین درصد قند در بین تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که تیمار PRD_{65} با میانگین ۱۹/۲۵ درصد دارای بیش‌ترین درصد قند بوده و تیمار CI نیز با میانگین ۱۷/۳۸ درصد دارای

کم‌ترین درصد قند در بین تیمارهای مختلف آبیاری است (جدول ۳). نتایج حاصل نشان می‌دهد که با افزایش تنش آبی، چغندرقند از خود مقاومت نشان داده و باعث افزایش درصد قند در بین تیمارهای کم‌آبیاری شده است. نتایج پژوهش‌های دیگری نیز، تأیید کننده این نتیجه می‌باشند (5, 7, 10, 45, 48). مقایسه میانگین درصد قند تیمارهای RDI با PRD در سطوح آبیاری یکسان نشان داد تفاوت این دو رژیم آبیاری بر درصد قند غیرمعنی‌دار است (جدول ۳). اما با این وجود، به‌نظر می‌رسد درصد قند در تیمارهای PRD بیش‌تر از RDI است. احتمالاً در تیمارهای PRD تنش خشکی بیش‌تری از یک سمت منطقه رشد ریشه (سمت جویچه خشک PRD)، به گیاه وارد شده و این امر باعث گردیده تا چغندرقند مقاومت خود را در مقابل تنش خشکی با افزایش درصد قند بیش‌تر کند.

مقایسه میانگین درصد قند در بین تیمارهای کودی نشان می‌دهد که تیمار f_{75} با میانگین ۱۸/۳۵ درصد دارای درصد قند بیش‌تری نسبت به تیمار f_{100} (۱۸/۱۷ درصد) است (جدول ۳). به‌نظر می‌رسد کاهش مصرف ازت باعث افزایش درصد قند در بین تیمارهای کودی شده است. نتایج پژوهشی در دزفول نشان داد که تأثیر سطوح مختلف نیتروژن بر مقدار درصد قند معنی‌دار بوده و درصد قند از ۱۳/۷ در تیمار صفر و مصرف ۶۰ کیلوگرم کود ازته در هکتار به ۱۲/۵ درصد در تیمار ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (22). نتایج پژوهش دیگری نشان داد که علت کاهش درصد قند با افزایش کاربرد ازت، به‌دلیل نگه‌داری آب بیش‌تر در ریشه می‌باشد (47). یافته‌های پژوهشی نشان داد که یکی از دلایل کاهش درصد قند با افزایش مصرف نیتروژن، کاهش درصد ماده خشک ریشه است (22). نتایج برخی از پژوهش‌ها نیز، هم‌راستا با نتایج این پژوهش است (25, 44). بیش‌ترین میانگین درصد قند تولیدی چغندرقند در کشور که در سال ۱۳۸۶ بوده معادل ۱۸/۳۵ درصد می‌باشد (1). بنابراین براساس نتایج این پژوهش تیمارهای آبیاری PRD_{65}، RDI_{65} و PRD_{75} (به‌ترتیب ۱۹/۲۵، ۱۸/۷۸ و ۱۸/۵۸ درصد) درصد قند بیش‌تری نسبت به میانگین کشوری داشتند.

عملکرد قند: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و کودی بر عملکرد قند به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد. اما تأثیر متقابل بین دو عامل مورد بررسی غیرمعنی‌دار بود. براساس مقایسه میانگین صورت گرفته بر عملکرد قند (جدول ۳)، تیمار CI با میانگین ۸۲۷۸ $Kg\ ha^{-1}$ بیش‌ترین عملکرد را در بین تیمارهای مختلف آبیاری داشته است. تیمار RDI_{65} با میانگین ۴۹۰۲ $Kg\ ha^{-1}$ دارای کم‌ترین عملکرد قند در بین تیمارهای آبیاری می‌باشد. به‌دلیل این‌که عملکرد قند از حاصل‌ضرب درصد قند در عملکرد ریشه به‌دست می‌آید در نتیجه تفاوت بین عملکرد قند می‌تواند به علت تفاوت این دو عامل در بین تیمارهای مختلف آبیاری باشد. آبیاری کافی باعث کاهش درصد قند و به‌تبع آن موجب کاهش عملکرد قند شده اما با افزایش عملکرد ریشه در واحد سطح در نهایت باعث افزایش عملکرد قند گردید. با اعمال تنش آبی و کاهش مصرف آب در تیمارهای مختلف آبیاری به نسبت شدت تنش از عملکرد قند کاسته شد. برخی پژوهشگران در پژوهش‌های خود نتیجه گرفتند که با افزایش تنش آبی عملکرد قند کاهش می‌یابد (9, 12, 33). طی پژوهشی عملکرد قند چغندرقند بین ۳۸۶۰ (در تیمار آبیاری با دور ۱۴ روز) تا

$Kg\ ha^{-1}$ ۶۸۵۰ (در تیمار آبیاری با دور شش روز) به‌دست آمد (40). براساس نتایج جدول ۳ در سطوح آبیاری یکسان، تفاوت عملکرد قند تیمارهای PRD در مقایسه با RDI غیرمعنی‌دار بود. اما با این وجود، عملکرد قند تیمارهای PRD در مقایسه با RDI، بیش‌تر است. همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، هنگام استفاده از کم‌آبیاری PRD، تنش خشکی بیش‌تری در یک سمت منطقه رشد ریشه (سمت جویچه خشک PRD)، رخ می‌دهد. این تنش بیش‌تر، باعث افزایش درصد قند ریشه و نهایتاً افزایش عملکرد قند می‌شود. همچنین، در کم‌آبیاری PRD امکان نفوذ بیش‌تر آب در عمق خاک از سمت دیگر منطقه رشد ریشه (سمت جویچه آبیاری شده PRD) وجود دارد. بنابراین ریشه به اعماق بیش‌تری نفوذ می‌یابد و از مواد مغذی خاک استفاده بیش‌تری می‌کند. در نتیجه عملکرد ریشه و قند افزایش می‌یابد.

براساس نتایج مقایسه میانگین عملکرد قند در بین تیمارهای کودی، تیمار f_{100} با میانگین $Kg\ ha^{-1}$ ۷۱۳۳ عملکرد بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} ($Kg\ ha^{-1}$ ۶۷۶۲) دارد (جدول ۳). همان‌گونه که قبلاً نیز بیان شد عملکرد قند حاصل‌ضرب دو عامل درصد قند و عملکرد ریشه است بنابراین تفاوت عملکرد قند در بین تیمارهای مختلف کودی می‌تواند ناشی از تفاوت این دو عامل باشد. با افزایش کاربرد کود ازته، درصد قند کاهش و منجر به کاهش عملکرد قند می‌گردد اما به‌علت افزایش عملکرد ریشه در واحد سطح در نهایت باعث افزایش عملکرد قند می‌شود. به‌نظر می‌رسد با کاربرد کود مناسب، عملکرد قند افزایش می‌یابد. نتایج پژوهشی نشان می‌دهد که با افزایش کاربرد کود ازته عملکرد قند و ریشه افزایش یافته اما درصد قند کاهش می‌یابد (8). برخی پژوهشگران نیز اظهار می‌دارند که با افزایش مصرف ازت، درصد قند کاهش و عملکرد قند افزایش پیدا می‌کند (29). میانگین عملکرد قند گیاه چغندرقند در کشور $Kg\ ha^{-1}$ ۷۵۰۰ می‌باشد (24) که مطابق نتایج این پژوهش، تیمارهای آبیاری CI و PRD_{85} به‌ترتیب با $Kg\ ha^{-1}$ ۸۲۷۸ و ۸۱۳۳ عملکرد قند بیش‌تری نسبت به میانگین کشوری داشتند. با توجه به اهمیت مقدار عملکرد قند و عملکرد ریشه گیاه چغندرقند می‌توان تیمار کم‌آبیاری ۸۵ درصد ناقص ریشه یا PRD_{85}، را به‌عنوان تیمار آبیاری برتر در این پژوهش پیشنهاد نمود.

شاخص بهره‌وری آب زیتوده ((WP (B): بین تیمارهای مختلف آبیاری و تیمارهای کودی تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر روی شاخص بهره‌وری آب زیتوده گیاه وجود داشت. تأثیر متقابل بین تیمارهای آبیاری و کودی غیرمعنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری به لحاظ WP (B) نشان داد که، تیمار CI با میانگین $Kg\ m^{-3}$ ۱۰/۵۵ دارای بیش‌ترین مقدار است. تیمار RDI_{65} نیز، با میانگین $Kg\ m^{-3}$ ۶/۳۶ دارای کم‌ترین مقدار WP (B) می‌باشد. مقایسه میانگین WP (B) در بین تیمارهای کودی نشان می‌دهد که تیمار f_{100} با میانگین $Kg\ m^{-3}$ ۸/۸۱ دارای WP (B) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} ($Kg\ m^{-3}$ ۸/۱۷) است (جدول ۵).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای آبیاری و کود ازته بر شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده، ریشه و قند.

Table 4. Results of variance analysis (Mean Square) the effects of irrigation and nitrogen fertilizer treatments on water productivity and water use efficiency indexes of biomass, root and sugar yield.

شاخص کارایی مصرف آب عملکرد قند WUE (SY)	شاخص کارایی مصرف آب ریشه WUE (R)	شاخص کارایی مصرف آب زیتوده WUE (B)	شاخص بهره‌وری آب عملکرد قند WP (SY)	شاخص بهره‌وری آب ریشه WP (R)	شاخص بهره‌وری آب زیتوده WP (B)	درجه آزادی Degree of freedom	منابع متغیر Sources of variations
0.05**	2.70**	23.29**	0.06**	2.48**	15.32**	6	آبیاری Irrigation
0.09	3.33	8.33	0.04	1.50	3.87	2	بلوک Block
0.005	0.18	1.10	0.002	0.08	0.52	12	اشتباه (بلوک × آبیاری) Error (Block × Irrigation)
0.045*	1.82*	9.48**	0.02*	0.80*	4.21**	1	کود Fertilizer
0.001	0.035	0.08	0.0005	0.02	0.03	2	اشتباه (بلوک × کود) Error (Block × Fertilizer)
0.003^{ns}	0.08^{ns}	0.27^{ns}	0.001^{ns}	0.04^{ns}	0.11^{ns}	6	آبیاری × کود Irrigation × Fertilizer
0.0035	0.1	0.22	0.0017	0.045	0.095	12	اشتباه باقی‌مانده Residual error
0.015	0.7	4.48	0.0124	0.498	2.73	41	کل Total
5.07	4.90	3.73	5.22	4.87	3.63	-	ضریب تغییرات (٪) Coefficients variance

^{ns} عدم وجود اختلاف معنی‌دار، * اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

^{ns} non-significant, * Significant at the 5% probability level (P<0.05), ** Significant at the 1% probability level (P<0.01). WP (B), WP (R) and WP (SY): water productivity indexes of biomass, root and sugar yield, respectively. WUE (B), WUE (R) and WUE (SY): water use efficiency indexes of biomass, root and sugar yield, respectively.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر تیمارهای آبیاری و کود ازته بر شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده، عملکرد ریشه و قند.

Table 5. Mean comparison of the effect of irrigation and nitrogen fertilizer treatments on water productivity and water use efficiency indexes of biomass, root and sugar yield.

شاخص کارایی مصرف آب عملکرد قند WUE (SY) ($Kg\ m^{-3}$)	شاخص کارایی مصرف آب ریشه WUE (R) ($Kg\ m^{-3}$)	شاخص کارایی مصرف آب زیتوده WUE (B) ($Kg\ m^{-3}$)	شاخص بهره‌وری آب عملکرد قند WP (SY) ($Kg\ m^{-3}$)	شاخص بهره‌وری آب ریشه WP (R) ($Kg\ m^{-3}$)	شاخص بهره‌وری آب زیتوده WP (B) ($Kg\ m^{-3}$)	تیمار Treatment	عامل Factor
1.22^{ab}	7.02^{a}	15.20^{a}	0.85^{ab}	4.87^{ab}	10.55^{a}	CI	آبیاری Irrigation
1.223^{ab}	6.94^{a}	14.38^{ab}	0.83^{abc}	4.70^{ab}	9.73^{ab}	RDI_{85}	
1.17^{abc}	6.42^{ab}	12.71^{abc}	0.77^{bc}	4.24^{bc}	8.39^{b}	RDI_{75}	
1.03^{c}	5.46^{b}	10.73^{cd}	0.61^{d}	3.24^{d}	6.36^{c}	RDI_{65}	
1.28^{a}	7.14^{a}	13.47^{ab}	0.90^{a}	5.01^{a}	9.46^{ab}	PRD_{85}	
1.21^{ab}	6.57^{ab}	11.99^{bcd}	0.86^{ab}	4.63^{ab}	8.45^{b}	PRD_{75}	
1.08^{bc}	5.63^{b}	9.65^{d}	0.73^{c}	3.78^{cd}	6.47^{c}	PRD_{65}	
1.21^{a}	6.66^{a}	13.06^{a}	0.81^{a}	4.49^{a}	8.81^{a}	f_{100}	کود Fertilizer
1.14^{b}	6.24^{b}	12.11^{b}	0.77^{b}	4.21^{b}	8.17^{b}	f_{75}	

در هر ستون و برای هر عامل، اعدادی که دارای حروف مشترک هستند تفاوت معنی‌داری در سطح ۵ درصد باهم ندارند.

At the same column and factors, the values with the same letter are not significantly different at the 5% probability level (P<0.05). WP (B), WP (R) and WP (SY): water productivity indexes of biomass, root and sugar yield, respectively. WUE (B), WUE (R) and WUE (SY): water use efficiency indexes of biomass, root and sugar yield, respectively.

شاخص بهره‌وری آب ریشه ((WP (R)): اثر تیمارهای آبیاری بر روی شاخص بهره‌وری آب ریشه در سطح احتمال یک درصد و تأثیر تیمارهای کودی بر این صفت مورد بررسی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. اما اثرات متقابل بین سطوح آبیاری و کودی غیر معنی‌دار شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین WP (R) در بین تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که تیمار PRD_{85} با میانگین ۵/۰۱ Kg m^{-3} دارای بیش‌ترین WP (R) بوده و تیمار RDI_{65} نیز، با میانگین ۳/۲۴ Kg m^{-3} دارای کم‌ترین مقدار WP (R) است. براساس نتایج مقایسه میانگین بین تیمارهای کودی، تیمار f_{100} با میانگین ۴/۴۹ Kg m^{-3}، WP (R) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} (۴/۲۱ Kg m^{-3}) داشت (جدول ۵).

طی پژوهشی اثر سطوح کم‌آبیاری بر روی شاخص بهره‌وری آب ریشه در مراحل مختلف رشد گیاه چغندرقند (T_1: ابتدای دوره رشد، T_2: دوره رشد ریشه و T_3: دوره رشد انتهایی) در شهرکرد مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش پنج تیمار آبیاری شامل E_0 (آبیاری معمولی)، E_1 (۸۵ درصد)، E_2 (۷۰ درصد)، E_3 (۵۵ درصد) و E_4 (۳۰ درصد نیاز آبی) در نظر گرفته شده بود. میانگین شاخص بهره‌وری آب ریشه در اعمال تنش در مرحله T_1 برای این پنج تیمار به‌ترتیب ۵/۶، ۵/۶، ۵/۶۹، ۴/۵۷ و ۴/۰۲ Kg m^{-3} و در مرحله T_2، ۵/۶، ۵/۵۴، ۵/۵۴، ۴/۸۷ و ۳/۸۱ Kg m^{-3} محاسبه گردید. مقدار شاخص بهره‌وری در مرحله T_3 نیز به‌ترتیب ۵/۶، ۵/۵۱، ۵/۲۶، ۴/۹۱ و ۳/۹۷ Kg m^{-3} به‌دست آمد. نتایج آنان نشان داد که وقتی محدودیت منابع آب وجود داشته باشد در هر سه دوره رشد گیاه، تیمار آبیاری ۷۰ درصد نیاز آبی (E_2) مناسب‌ترین تیمار می‌باشد (12). پژوهش‌هایی که براساس شرایط مدیریت زارعین و مزارع انتخابی برای پژوهش انجام یافته، دامنه تغییرات شاخص بهره‌وری آب ریشه چغندرقند بین ۱/۲ تا ۵/۳۷ Kg m^{-3} برای منطقه کرمان و ۴/۳۲ تا ۱۴ Kg m^{-3} برای منطقه مغان گزارش شده است (20). طی پژوهشی، شاخص بهره‌وری آب ریشه چغندرقند برای روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۴/۱۵، ۸/۲ و ۶/۹ Kg m^{-3} به‌دست آمد (19). یافته‌های این پژوهش نیز مطابق با نتایج پژوهش‌های ذکر شده است.

شاخص بهره‌وری آب عملکرد قند ((WP(SY)): تأثیر تیمارهای آبیاری و کودی بر شاخص بهره‌وری آب عملکرد قند به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد. اما اثرات متقابل تیمارهای آبیاری و سطوح کودی غیرمعنی‌دار گردید (جدول ۴). براساس مقایسه میانگین صورت گرفته بر روی WP (SY)، تیمار PRD_{85} با میانگین ۰/۹۰ Kg m^{-3} بیش‌ترین WP (SY) را در بین تیمارهای مختلف آبیاری داشته‌است. تیمار RDI_{65} نیز با میانگین ۰/۶۱ Kg m^{-3} دارای کم‌ترین WP (SY) می‌باشد. مقایسه میانگین WP (SY) در بین تیمارهای کودی نشان می‌دهد که تیمار f_{100} با میانگین ۰/۸۱ Kg m^{-3}، WP (SY) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} (۰/۷۷ Kg m^{-3}) دارد (جدول ۵).

طی پژوهشی، شاخص بهره‌وری آب عملکرد قند در روش‌های آبیاری جویچه‌ای، قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به‌ترتیب ۰/۷۸، ۱/۲۶ و ۱/۱۳ Kg m^{-3} حاصل شد (19). طی پژوهش دیگری، این شاخص بین ۰/۶۱ (در تیمار تنش آبی شدید) تا ۰/۹۲ Kg m^{-3} (در تیمار تنش آبی ملایم) به‌دست آمد (12) که هم‌راستا با نتایج این پژوهش است.

شاخص کارایی مصرف آب زیتوده ((WUE(B)): براساس نتایج تجزیه واریانس شاخص کارایی مصرف آب زیتوده چغندرقند (جدول ۴)، بین تیمارهای آبیاری و نیز تیمارهای کودی اختلاف معنی‌داری در

سطح یک درصد مشاهده گردید. اما اثرات متقابل بین دو عامل مورد بررسی غیرمعنی‌دار شد.

مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری بر روی WUE (B) نشان می‌دهد، تیمار CI با میانگین ۱۵/۲۰ Kg m^{-3} دارای بیش‌ترین مقدار WUE (B) بوده و تیمار PRD_{65} نیز با میانگین ۹/۶۵ Kg m^{-3} دارای کم‌ترین مقدار است. براساس نتایج مقایسه میانگین WUE (B) در بین تیمارهای کودی، تیمار f_{100} با میانگین Kg m^{-3} ۱۳/۰۶ دارای WUE (B) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} (۱۲/۱۱ Kg m^{-3}) است (جدول ۵).

شاخص کارایی مصرف آب ریشه ((WUE(R)): اثر تیمارهای آبیاری بر شاخص کارایی مصرف آب ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. تأثیر تیمارهای کودی بر این پارامتر در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار گردید. اما اثرات متقابل بین سطوح آبیاری و کودی غیرمعنی‌دار شد (جدول ۴).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین WUE (R) در بین تیمارهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد که تیمار PRD_{85} با ۷/۱۴ Kg m^{-3} دارای بیش‌ترین WUE (R) بوده و تیمار RDI_{65} نیز با میانگین ۵/۴۶ Kg m^{-3} دارای کم‌ترین مقدار WUE (R) است. مقایسه میانگین WUE (R) در بین تیمارهای کودی نشان داد که تیمار f_{100} با میانگین Kg m^{-3} ۶/۶۶ دارای WUE (R) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} (۶/۲۴ Kg m^{-3}) است (جدول ۵).

در پژوهشی، واکنش چغندرقند به اثرات طول دوره رشد و آبیاری طی سال‌های مختلف در دزفول مورد بررسی قرار گرفت. بیش‌ترین کارایی مصرف آب ریشه در بررسی اثرات ذکر شده به‌ترتیب، ۱۳/۲ و ۱۸/۷ Kg m^{-3} به‌دست آمد (21). براساس پژوهشی دو ساله بر روی چغندرقند، روش آبیاری شیاری یک در میان با دور آبیاری شش روز و روش آبیاری معمولی با دور ۱۰ روز مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس شاخص کارایی مصرف آب ریشه در طی دوسال برای دور آبیاری ۶ و ۱۰ روز به‌ترتیب بین ۱/۹۱ تا ۵/۲۱ و ۲/۵۷ تا ۴/۰۵ Kg m^{-3} به‌دست آمد (40).

شاخص کارایی مصرف آب عملکرد قند ((WUE (SY)): نتایج تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر تیمارهای آبیاری و کودی بر روی شاخص کارایی مصرف آب عملکرد قند به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار است. اما تأثیر متقابل بین دو عامل مورد بررسی غیرمعنی‌دار بود. مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری بر روی WUE (SY) نشان داد که، تیمار PRD_{85} با میانگین ۱/۲۸ Kg m^{-3} دارای بیش‌ترین مقدار می‌باشد. تیمار RDI_{65} نیز با ۱/۰۳ Kg m^{-3} دارای کم‌ترین مقدار WUE (SY) است. براساس نتایج مقایسه میانگین شاخص کارایی مصرف آب قند در بین تیمارهای کودی، تیمار f_{100} با میانگین ۱/۲۱ Kg m^{-3} دارای WUE (SY) بیش‌تری نسبت به تیمار f_{75} (Kg m^{-3} ۱/۱۴) است (جدول ۵).

در یک بررسی، واکنش چغندرقند به اثرات طول دوره رشد و آبیاری مورد پژوهش قرار گرفت در آن پژوهش، بیش‌ترین کارایی مصرف آب قند در بررسی اثرات ذکر شده به‌ترتیب، ۱/۷ و ۲/۶ Kg m^{-3} به‌دست آمد (21). در بررسی دیگری شاخص کارایی مصرف آب عملکرد قند ۰/۹ تا ۱/۷ Kg m^{-3} حاصل شد (43) که هم‌راستا با نتایج این پژوهش است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که عملکردهای زیتوده، ریشه، قند و درصد قند تحت‌تأثیر مقدار آب آبیاری و کود ازته قرار گرفتند. با افزایش مقدار آب

آبیاری و کود ازته، عملکردهای زیتوده، ریشه و قند افزایش یافته اما درصد قند ریشه کاهش می‌یابد. شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب: زیتوده، ریشه و قند نیز تحت‌تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری و کود ازته قرار گرفتند. بیش‌ترین شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب زیتوده در تیمار آبیاری معمولی به‌دست آمد. تیمار PRD_{85} نیز دارای بیش‌ترین شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب ریشه و قند شد. بیش‌ترین شاخص بهره‌وری و کارایی مصرف آب همه صفات مورد بررسی به تیمار کودی f_{100} اختصاص یافت. تحت شرایط کمبود منابع آب، تیمار PRD_{85} در بین تیمارهای مختلف آبیاری مناسب‌ترین تیمار بوده و در بین تیمارهای کودی نیز تیمار f_{100} مناسب‌ترین تیمار است. بنابراین در شرایط مشابه این پژوهش کاربرد تیمار PRD_{85} و تیمار کودی f_{100} توصیه می‌گردد. در سطوح آبیاری یکسان، به‌طور عمده رژیم کم‌آبیاری ناقص ریشه دارای شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب: زیتوده، ریشه و قند، بیش‌تری نسبت به رژیم کم‌آبیاری تنظیم شده است اما تفاوت معنی‌داری بین دو رژیم کم‌آبیاری بر شاخص‌های ذکر شده وجود ندارد. بنابراین هر دو روش می‌توانند به‌عنوان راه‌کاری برای افزایش شاخص‌های بهره‌وری و کارایی مصرف آب چغندرقند باشند.

منابع

1.Ahmadzadeh-Araji, H.R., Abdollahian-Noghabi, M., Kamali, Gh., and Vahedi, S. 2011. Effect of climatic parameters on the increase of sugar content of sugar beet in 2007 in Iran, Case study: Chenaran sugar factory. J. Sugar Beet. 27: 1. 101-115. (In Persian)

2.Alizadeh, A. 2007. Irrigation system design, Surface Irrigation system design. Imam Reza University Press, Second edition, 328p. (In Persian)

3.Alizadeh, A. 2010. Soil, Water, Plant relationship. Imam Reza University Press, 483p. (In Persian)

4.Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. CropEvapotranspiration. Guidelines for Computing Crop WaterRequirement. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Food andAgriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

5.Almani, M.P., Mishani, A.C., and Samadhi, B.Y. 1997. Drought resistance in sugar beet genotypes. Iran. J. Agric. Sci. 28: 15-25.

6.Ati, A.S., Iyada, A.D., and Najim, S.M. 2012. Water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) under different irrigation methods and potassium fertilizer rates. Annals of Agricultural Science. 57: 2. 99-103.

7.Barbieri, G.1987. Effect of Irrigation and harvesting dates on the yield of spring–sown sugar beet. Agricultural water management. 33: 3. 283-286.

8.Bazoobandi, M. 1996. Effect of planting date and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of two sugar beet varieties. Fourth Congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran. Isfahan University of Technology, Iran.

9.Bondok, M.A. 1996. The role boron regulating growth yield and hormonal balance in sugar beet. Annals of Agricultural Science. Cairo. 41: 1. 15-33.

10.Carter, J.N., Jensen, M.E., and Traveller, D.J. 1980. Effect of mid- to Late- season water stress on sugar beet growth and yield. Agron. J. 72: 806-815.

11.Centre for Information and Communication Technology Ministry of Agricultural Jihad. 2011. Statistics Agriculture Letter. First volume: Crops Products, Crop year 2010-2011. Ministry of Agricultural Jihad Press, 121p.

12.Ebrahimipak, N.A., Pazera, E., Kaveh, F., Abedi, M.J., Sabagh farshi, A.A., and Farshi, A.A. 2008. The effect of deficit irrigation in different growth stages on quantity and quality on yield sugar beet and water use efficiency. Pajouhesh & Sazandegi. 78: 63-73. (In Persian)

13.Esmaeili, M.A. 2011. Evaluation of the Effects of Water Stress and Different Levels ofNitrogen on Sugar Beet (*Beta Vulgaris*). Inter. J. Biol. 3: 2. 89-93.
14.Fabeiro, C., Martin de Santa Olalla, F., Lopez, R., and Dominguez, A. 2003. Production and quality of the sugar beet cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi- arid climate. Agricultural Water Management. 62: 215-227.
15.Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2002. Deficit irrigation practices. Water reports No.22, Rome. 102p.
16.Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2011. Agriculture production. Retrieved from: http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor.
17.Ghooshchi, F. 2004. Industrial crop production sugar beet. Pelk Press. 116p. (In Persian)
18.Hamedanian Meteorological Office. 2013. Meteorology Report of Karafs Plain.
19.Hassanli, A.M., Ahmadirad, Sh., and Beecham, S. 2010. Evaluation of the influence of irrigation methods and water quality on sugar beet yield and water use efficiency. Agricultural Water Management. 97: 357-362.
20.Heydari, N. 2011. Determination and evaluation of water use efficiency of some major crops under farmers management in Iran. J. Water Irrig. Manage. 1: 2. 43-57. (In Persian)
21.HosseinPour, M. 2006. Effects of irrigation and nitrogen management on water use efficiency and light during the growing season of winter sugar beet. Ph.D. Thesis in Tarbiat Modares University, Tehran.
22.Hosseinpour, M., Paknejad, A.R., Naderi, A., Eslamizadeh, R., Uosefabadi, V., and Sharifi, H. 2013. Effect of nitrogen rates on growth characteristics, yield and quality of autumn-sown sugar beet. J. Sugar Beet. 29: 1. 33-51. (In Persian)
23.Institute of Standards and Industrial Research of Iran. 2002. Fruits and vegetables – Sugar beet - The Determination of Sugar by cold method using aluminium sulphate as clarifying agent- Test method. ISIRI Number 6895. (In Persian)
24.Iranian Sugar Factories Syndicate. 2014. Statistics tables of factory performance.Retrieved from: http://www.isfs.ir/amalkard/HTML/sugar%2092.pdf.
25.Jolaini, M., Ghaemi, A.R., and Zareh parvar, H. 2008. The Effect of the Water Stress and Nitrogen Fertilizer Level on Yield and Water Use Efficiency of Sugar Beet. J. Res. Agric. Sci. 4: 2. 164-172. (In Persian)
26.Kang, S., and Zhang, J. 2004 Controlled alternate partial root- Zone irrigation: its physiological consequences and impact on water use efficiency. Experimental Botany. 55: 2437-2446.
27.Keshavarz, A., and Dehghanisanij, H. 2012. Water productivity index and solution for future agricultural activities in Iran. Economic Strategy. 1: 1. 199-233. (In Persian)
28.Kheirabi, J., Asadollahi, S.A., Entesari, M.R., Tavakoli, A., and Salamt, A.R. 1996. Regulated deficit irrigation in terms of importance and urgency of Iran. Eighth conference of Iranian National Committee of Irrigation and Drainage. Tehran, Iran. Pp: 271-290.
29.Khodadadi, H., Ebrahimian, H.R., and Jahadakbar, M.R. 1998. Investigation and determine the need of sugar beet to nitrogen fertilizers, phosphorus and potassium. Fifth Congress of Agronomy and Plant Breeding of Iran. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran.
30.Kocheki, A., and Soltani, A. 2003. The Sugar beet crop. Mashhad jehad. Daneshgahi Press. Third Edition. 200p. (Translated in Persian)
31.Loomis, R.S., and Nevins, D.J. 1962. Interrupted nitrogen nutrient effect on growth, sucrose accumulation and foliar development of the sugar beet plant. Journal of Sugar Beet Research. American Society of Sugar BeetTechnologists. 12: 4. 309-322.
32.Martin de Santa Olalla, F.J., Brasa Ramos, A., Fabeiro Cortes, C., Fernandez Gonzalez, D., and Lopez Corcoles, H. 1999. Improvement of irrigation management towards the sustainable use of groundwater in Castilla-La Mancha. Agricultural Water Management. 40: 2-3. 195-205.
33.Mirzaii, M.R., Rezvani, S.M., and Gohari, J. 2005. Effect of drought stress in different growth stages on yield and some physiological properties of sugar beet. J. Sugar Beet. 21: 1. 1-14. (In Persian)

34.Mohammadian, R., Fatollah Taleghani, D., and Sadeghzadeh hemayati, S. 2011. Effect of different irrigation managements on quantity and quality of sugar beet. J. Sugar Beet. 26: 2. 139-156. (In Persian)
35.Nowroozi, M., and Zolfi-e-Bavaryani, M. 2010. Determination of Water Requirements of Drip-Irrigated Date Palms in Bushehr Province. J. Water Res. Agric. 24: 1. 21-30. (In Persian)
36.Posadas, A., Rojas, G., Malaga, M., Mares, V., and Quiroz, R.A. 2008. Partial root-zone drying: an alternative irrigation management to improve the water use efficiency of potato crops. ISBN 978-92-9060-360-3. Production system and the environmental division working paper No. 2008-2.
37.Sadreghaen, S.H., Baghani, J., Haghayeghi Moghaddam, S.A., and Akbari, M. 2011. Effect of Three Methods of Micro Irrigation and Irrigation Levels on Yield and Water Use Efficiency of Pepper. J. Water Soil. 25: 3. 563-569. (In Persian)
38.Sajedi, N.A., Ardakani, M.R., Naderi, A., Madani, H., and Mashhadi Akbar Boojar, M. 2008. Effect of nutrition elements application on agronomical characters of maize hybrid (KSC.704) under water deficit stress at different growth stages. Iran. J. Agron. Plant Breed. 4: 1. 85-98. (In Persian)
39.SAS Institute. 2006. The SAS Systems for Windows 9.1. SAS Institute, Cary, NC.
40.Sepaskhah, A.R., and Kamgar-Haghighi, A.A. 1997. Water use and yield of Sugar beet grown under every other furrow Irrigation with different Irrigation intervals. Agricultural water management. 34: 71-79.
41.Shahnazari, A., Liu, F., Andersen, M.N., Jacobsen, S.E., and Jensen, C.R. 2007. Effects of partial root-zone drying on yield, tuber size and water use efficiency in potato under field conditions. Field Crops Research. 100: 117-124.
42.Soleymani, A., Najafi, P., Dehnavi, M., and Shaherjabiyan, M.H. 2012. Evaluation of ET-HS model for estimating water demand and water use efficiency of sugar beet in semi-arid condition of Isfahan. J. Sugar Beet. 27: 2. 169-183. (In Persian)
43.Steduto, P., Hsiao, T.C., Fereres, E., and Raes, D. 2012. Crop yield response to water.FAO Irrigation and Drainage Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 500p.
44.Taleghani, D., Gohari, J., Tohidlou, Gh., and Roohi, A. 1999. Final Report on the condition and tension of water use efficiency and nitrogen in sugar beet planting pattern. Institute of Sugar Beet Research.
45.Tognetti, R., Palladino, M., Minnocci, A., Delfine, S., and Alvino, A. 2003. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy. Agricultural Water Management. 60: 135-155.
46.Topak, R., Süheri, S., and Acar, B. 2010. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. Energy. 35: 5464-5471.
47.Weeden, B.R. 2000. Potential of sugar beet on the Atherton tableland. A report for the rural industries research and development crop ration (RIRDC). Publication No. 00/167: 2-14.
48.Winter, S.R. 1980. Suitability of Sugar beet for limited Irrigation in a semi-arid climate. Agron. J.72: 118-123.
49.Zegbe, J.A., and Serna-Pérez, A. 2011. Partial root-zone drying maintains fruit quality of ‘Golden Delicious’ apple at harvest and postharvest. Science of Horticulture. 127: 455-459.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(5), 2016
http://jwsc.gau.ac.ir

Water productivity and water use efficiency indexes of Sugar beet under different levels of water and nitrogen fertilizer

M. Jovzi[1] and *H. Zare Abyaneh[2]

[1]Ph.D. Student, Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Bu-Ali Sina University,
[2]Associate Prof., Dept. of Irrigation and Drainage Engineering, Bu-Ali Sina University
Received: 04/16/2014; Accepted: 09/13/2014

Abstract

Background and Objectives: Considering limited water resources in arid and semi-arid climate of Iran, deficit irrigation is one of the strategies for efficient use of water, increasing water productivity and water use efficiency in agricultural district. Regulated Deficit Irrigation (RDI) and Partial Root Drying (PRD) are among deficit irrigation methods aiming to limit using of irrigation water. PRD is a new approach for irrigation management due to increasing water use efficiency and non-significant decreasing yield. The objective of this study was to investigate the effect of different levels of irrigation water and nitrogen fertilizer on water productivity and water use efficiency of Sugar beet.

Materials and Methods: This research was conducted in the agricultural land of Karafs plain on Hamadan province, at latitude 35° 18′ N, longitude 49° 20′ E and altitude 1915 m above sea level. This study was conducted in a split block with a randomized complete block design. In the main blocks Irrigation levels included: Conventional irrigation (CI), three levels of partial root drying: 85 (PRD_{85}), 75 (PRD_{75}) and 65 percent (PRD_{65}) and regulated deficit irrigation at three levels: 85 (RDI_{85}), 75 (RDI_{75}) and 65 percent of the crop water requirement (RDI_{65}). Also, in the sub blocks two fertilizer levels were applied: 100 (f_{100}) and 75 percent of fertilizer requirement (f_{75}).

Results: The results showed that the impact of irrigation treatments on water productivity and water use efficiency of all studied traits were significant at one percent level ($P<0.01$). Also, the effect of fertilizer treatments on water productivity and water use efficiency of biomass at one percent ($P<0.01$) and other traits were significant at five percent level ($P<0.05$). Interaction of the irrigation and fertilizer treatments was non-significant. CI irrigation treatment had the highest water productivity and water use efficiency of biomass (10.55 and 15.20 kg m^{-3}, respectively). But didn't have significant difference with PRD_{85} treatment. Maximum water productivity and water use efficiency of root (5.01 and 7.14 kg m^{-3}, respectively) and sugar yield (0.9 and 1.28 kg m^{-3}, respectively) belonged to PRD_{85} treatment. Water productivity and water use efficiency of all traits on fertilizer treatment of f_{100} were higher than f_{75}.

Conclusion: The results showed that water productivity and water use efficiency indexes of root and sugar yield of PRD_{85} irrigation treatment was more than other irrigation treatments. Due to the non- significant differences between the PRD_{85} with CI treatment in terms of root and sugar yield and also saving 15 percent of water irrigation in PRD_{85} treatment, under such study conditions, applying PRD_{85} treatment is recommended. Also, f_{100} fertilizer treatment was root yield, sugar yield, water productivity and water use efficiency indexes of biomass, root and sugar yield more than f_{75} treatment. Therefore, PRD_{85} and f_{100} were selected as the best treatments.

Keywords: Biomass, Partial root drying, Regulated deficit irrigation, Root yield, Sugar percentage

* Corresponding Author; Email: zareabyaneh@gmail.com