مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۱۶/ شماره ۳/سال ۱۳۹۴/ص ۳۰-۱۵

تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب چغندرقند پاییزه در منطقهٔ مشهد

سید ابوالقاسم حقایقی مقدم، امین علیزاده*، مسعود احمدی، محمد بنایان و حسین انصاری**

* نگارنده مسئول: دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. ص. پ: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳، تلفن: ۳۸۷۹۵۶۱۲(۰۵۱)، پیام‌نگار: alizadeh@um.ac.ir

** به ترتیب: دانشجوی دکتری، استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد؛ استادیار پژوهش مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ دانشیار گروه زراعت و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۵/۳۱

چکیده

امکان کشت چغندرقند در پاییز و استفاده از عملکرد ریشهٔ آن در بهار سال بعد در برخی از مناطق کشور وجود دارد. کشت پاییزه چغندرقند، در مقایسه با کشت بهاره، به دلیل استفاده از بارش‌های پاییزی و زمستانی و قرار نگرفتن دورهٔ رشد گیاه در فصل تابستان، صرفه‌جویی قابل توجهی در مصرف آب دارد. این تحقیق با هدف برآورد کارایی مصرف آب در کشت پاییزهٔ چغندرقند در منطقهٔ مشهد و دستیابی به بهترین دور و عمق آبیاری اجرا شد. به این منظور، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در سال زراعی ۹۲-۹۳ به اجرا درآمد. در این آزمایش، کرت‌های اصلی شامل سه دور آبیاری (۷، ۱۰ و ۱۴ روز) و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح آبیاری (جبران ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد کمبود رطوبت خاک تا نقطهٔ ظرفیت زراعی) بود. نتایج نشان می‌دهد که وزن ریشه، میزان مادهٔ خشک، میزان قند ناخالص و شکر سفید در سه دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۴ روز تفاوت معنی‌داری با هم ندارند. اما صفات مذکور در تیمارهای سطوح آبیاری تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد نشان می‌دهند. بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری برای عملکرد شکر سفید، به عنوان محصول نهایی و اقتصادی کشت چغندرقند، از تیمار ۷۵ درصد تامین نیاز آبی و پس از آن از تیمار ۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی در دور آبیاری ۱۴ روز حاصل شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق، در منطقهٔ مشهد و مناطق مشابه اقلیمی، برای کشت پاییزه چغندرقند می‌توان آبیاری را هر دو هفته یک بار و به میزان تأمین ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی برنامه‌ریزی کرد. این نحوهٔ برنامه‌ریزی آبیاری موجب کاهش هزینه‌های آبیاری (به میزان ۳۳ درصد)، صرفه‌جویی در آب مصرفی (به میزان ۱۸ درصد) و دستیابی به حداکثر کارایی مصرف آب، در مقایسه با آبیاری دور هفت روز، خواهد شد.

واژه‌های کلیدی

برنامه‌ریزی آبیاری، بهره‌وری آب، چغندرقند پاییزه، دشت مشهد

مقدمه

سطح زیر کشت چغندرقند در کشور طی سال‌های اخیر به کمتر از ۱۰۰ هزار هکتار کاهش یافته است. از دلایل این کاهش می‌توان به مواردی مانند واردات بی‌رویه شکر، افزایش هزینه‌های تولید، دورهٔ رشد طولانی و به تبع آن نیاز آبی نسبتاً زیاد گیاه اشاره کرد. استان خراسان رضوی با دارا بودن ۸ کارخانهٔ قند فعال، حدود ۲۰ درصد سطح زیر کشت و ۱۷ درصد میزان تولید چغندرقند کشور

© 2017,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

را به خود اختصاص داده است (آمار سال ۱۳۹۲). کشت سالانهٔ چغندرقند در شهرستان مشهد تا سال ۱۳۸۶ حدود ۳۰۰۰ هکتار بود. این رقم در سال‌های اخیر به کمتر از ۱۰۰۰ هکتار در سال کاهش یافته است. نیاز خالص آبیاری چغندرقند در مشهد بر اساس محاسبهٔ نیاز آبی در سند ملی آب حدود ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار است (Haghayeghi *et al*., 2004). با توجه به شیوهٔ مدیریت آبیاری و روش‌های مورد استفاده که به طور عمده سطحی و سنتی هستند، مقدار حجم آب مصرفی در یک هکتار کشت چغندرقند در شهرستان مشهد حدود ۱۵ تا ۱۸ هزار متر مکعب برآورد می‌شود (Baghani, 2009).

امکان کشت چغندرقند در پاییز و استفاده از عملکرد ریشهٔ آن در بهار سال بعد در برخی مناطق وجود دارد. در مقایسه با کشت بهاره، کشت پاییزه چغندرقند به دلیل استفاده از بارش‌های فصول پاییز و زمستان و قرار نگرفتن دورهٔ رشد گیاه در فصل گرم تابستان، حداقل ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب را به دنبال خواهد داشت (Haghayeghi & Ahmadi, 2013). در عرض‌های جغرافیایی ۳۸ تا ۶۰ درجه، چغندرقند در بهار (فروردین- اردیبهشت) کشت و در پاییز برداشت می‌شود. در نواحی جنوبی اسپانیا، ایتالیا و یونان (در عرض‌های جغرافیایی بین ۳۵ تا ۴۵ درجه) ارقام مقاوم به بولتینگ چغندرقند در پاییز کشت و در بهار سال بعد برداشت می‌شوند. کشت پاییزه چغندرقند دارای مزیت کاهش نیاز به آبیاری است اما مقداری ریسک در کاهش عیار قند را نیز دارد (Rinaldi & Vonella, 2006). پدیدهٔ بولتینگ (ساقه‌روی چغندرقند در سال اول) در مناطقی که کشت پاییزه رواج دارد، عامل مهمی در کاهش عملکرد و کیفیت چغندرقند است. مؤسسه تحقیقات چغندرقند به منظور دستیابی به ارقام مقاوم به بولتینگ، تحقیقاتی مستمر در دستور کار خود قرار داد و سرانجام توانست در سال ۱۳۷۰ رقم BR1 را معرفی کند (Anon, 1991). شریفی (Sharifi, 1989) گزارش داده است که کشت زودتر چغندرقند پاییزه در منطقهٔ دزفول باعث افزایش عملکرد ریشه و درصد قند می‌شود و تأخیر در برداشت نیز عملکرد ریشه را افزایش می‌دهد. گیاه چغندرقند به تاریخ برداشت واکنش نشان می‌دهد بدین معنا که هر چه دورهٔ رشد چغندرقند طولانی‌تر باشد عملکرد ریشه بیشتر خواهد بود. بساطی و همکاران (Basaty *et al*., 2002) در بررسی سه تاریخ کاشت چغندرقند در استان کرمانشاه در شهریور و مهر و سه تاریخ برداشت در فروردین، اردیبهشت و خرداد گزارش کردند که عملکرد ریشه و درصد بولتینگ در تاریخ کاشت اول بیشتر از تاریخ‌های کاشت بعدی است و تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر درصد قند ندارد. آنها اعلام کردند که بهترین تاریخ کاشت اول شهریور و بهترین تاریخ برداشت اردیبهشت سال بعد است. احمدی (Ahmadi, 2012) طی تحقیقی دو ساله به بررسی امکان کشت پاییزهٔ چغندرقند در جنوب استان خراسان رضوی (شهرستان بردسکن) پرداخت. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که بیشترین عملکرد ریشه، معادل ۴۸ تن در هکتار، مربوط به تاریخ کاشت اول مهر و تاریخ برداشت پانزده خرداد سال بعد است. در بین ارقام مورد بررسی، بیشترین عملکرد ریشه برای رقم گیادا با ۵۱/۲ تن در هکتار و ۱/۰۳ درصد بولتینگ گزارش شده است. صادق‌زاده و همکاران (Sadeghzadeh *et al*., 2012) اثر تاریخ کاشت و برداشت بر عملکرد و کیفیت ارقام کشت پاییزه چغندرقند در منطقه جیرفت را بررسی و گزارش کرده‌اند که اثر تاریخ کاشت در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد ریشه و عملکرد شکر سفید معنی‌دار است به طوری که تأخیر در کشت عملکرد ریشه را کاهش داد. نتایج بررسی‌های جاگارد و ورکر (Jaggard & Werker, 1998) در منطقهٔ شمال غرب اروپا نشان می‌دهد که سودمندی کشت بهارهٔ چغندرقند ۲۶ درصد بیشتر از سودمندی کشت پاییزه است. اما وجود بیماری‌های مختلف ویروسی، سفیدک و

نماتد موجب از بین رفتن این سودمندی می‌شود. وود و اسکات (Wood & Scot, 1975) و لانگدن و توماس (Longden & Thomas, 1989) نشان داده‌اند که در کشت پاییزهٔ چغندرقند در کشور انگلیس، عملکرد ریشه به طور قابل توجهی بیشتر از کشت بهاره است. دسپو و اسفیکاس (Despo & Sficas, 1978) در بررسی چهار تاریخ کاشت (دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) چغندرقند در کشور یونان به این نتیجه رسیدند که تاریخ کشت ژانویه باعث افزایش وزن ریشه می‌شود.

طالقانی و همکاران (Taleghani *et al*., 2010) به نقل از جلیلیان و همکاران (۱۳۸۱) گزارش کردند که اثر دور آبیاری ۸ و ۱۲ روز روی صفات کمی و کیفی چغندرقند بهاره در منطقهٔ کرمانشاه معنی‌دار نیست. این محققان بر این اساس، مدار ۱۲ روز را توصیه و نیز اعلام کردند که مصرف ۸۰ درصد نیاز آبی طی فصل رشد، نسبت به ۱۰۰ و ۵۰ درصد، از نظر اقتصادی بهتر است؛ همچنین به نقل از قنبرزاده (۱۳۷۹) گزارش کردند که دور آبیاری ۹ و ۱۲ روز با یکدیگر اختلاف معنی‌داری ندارند. نیو (New, 1977) به مدت ۵ سال اثر دور آبیاری را بر عملکرد گیاه چغندرقند بررسی کرد و نتیجه گرفت که با حجم مشخص آب، میزان عملکرد چغندرقند در دور آبیاری ۱۴ روز به طور متوسط ۶۶ و با دور آبیاری ۲۸ روز ۵۹/۸ تن در هکتار است. توپاک و همکاران (Topak *et al*., 2010) در پژوهشی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در کشت چغندرقند بهاره را برای منطقهٔ نیمه‌خشک قونیه در کشور ترکیه بررسی و گزارش کردند که عملکرد ریشهٔ چغندرقند در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی یعنی با آب مصرفی ۹۷۷، ۷۳۳ و ۴۸۸ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۷۷/۳، ۷۰/۶ و ۵۰/۳ تن در هکتار است. در این آزمایش تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی از نظر عملکرد ریشه و عملکرد مادهٔ خشک مشاهده نمی‌شود. ریمون و همکاران (Rimon *et al*., 1976) در کشت پاییزه چغندرقند، با کاربرد مقادیر مختلف آب به روش قطره‌ای در بهار (دامنهٔ ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر مکعب در هکتار) به این نتیجه رسیدند که از نظر خصوصیات کیفی چغندرقند بین مقادیر مختلف آب اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. چنانچه رطوبت خاک در عمق توسعهٔ ریشه در اثر بارندگی‌های زمستانه در حد ظرفیت زراعی باقی بماند، برای حصول عملکرد ۱۰ تن شکر در هکتار نیازی به آبیاری در بهار نخواهد بود. برای دستیابی به ۱۱ تا ۱۴ تن شکر در هکتار، دو تا سه نوبت آبیاری در بهار کافی است. آبیاری‌های بیشتر، عملکرد شکر را به طور معنی‌دار افزایش نخواهد داد. رینالدی و ونلا (Rinaldi & Vonella, 2006) طی تحقیقی در جنوب ایتالیا، پتانسیل تولید چغندرقند را در شرایط مختلف تاریخ کاشت (پاییزه و بهاره) و رژیم آبیاری (تأمین ۱۰۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) بررسی کردند. آنها داده‌های سه مزرعه کشت پاییزه و سه مزرعه کشت بهاره را برای محاسبهٔ کارایی مصرف آب مادهٔ خشک (WUE_{dm}) و کارایی مصرف آب شکر (WUE_{suc}) به کار گرفتند و نشان دادند که کارایی مصرف آب در دو رژیم آبیاری با هم تفاوت معنی‌داری ندارند. همچنین، کارایی مصرف آب مادهٔ خشک در کشت پاییزه و بهاره به ترتیب با مقادیر ۳/۰۹ و ۳/۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب با هم تفاوتی نشان نمی‌دهند اما کارایی مصرف آب شکر در کشت پاییزه با مقدار ۱/۲۳ در مقایسه با کشت بهاره با مقدار ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب تفاوت معنی‌داری از خود نشان می‌دهد.

از مجموع نتایج تحقیقات در داخل و خارج کشور می‌توان به اثر قابل توجه کاربرد رژیم‌های مختلف آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب کشت پاییزه چغندرقند پی برد. البته میزان این تأثیر به شرایط اقلیمی و میزان کاربرد آب در طول دورهٔ رشد این گیاه بستگی دارد. هدف از این پژوهش برآورد حجم آب مصرفی، عملکرد محصول

و کارایی مصرف آب در کشت پاییزه چغندرقند در منطقهٔ مشهد و دستیابی به بهترین دور و سطح آبیاری در کشت پاییزه چغندرقند در این منطقه است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی (ایستگاه طرق) در سال زراعی ۹۲-۹۳ به صورت کرت‌های خرد شده (اسپلیت پلات) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش کرت‌های اصلی شامل سه دور آبیاری (۷ ، ۱۰ و ۱۴ روز) و کرت‌های فرعی شامل چهار سطح تأمین آب آبیاری (جبران ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد کمبود رطوبت خاک تا نقطهٔ ظرفیت زراعی در عمق توسعهٔ ریشه) بود. از رقم خارجی مقاوم به بولتینگ (گیادا) برای کشت پاییزه چغندرقند استفاده شد. هر کرت به مساحت ۳۶ متر مربع (۶ خط به طول ۱۲ متر) با بذرکار پنوماتیک با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر در پانزده مهر ۱۳۹۲ کشت گردید. عملیات زراعی لازم در طول فصل رشد و در زمان مناسب اجرا شد. به منظور حصول اطمینان از توزیع یکنواخت آب در تیمارها، عملیات آبیاری با روش قطره‌ای از نوع نوارهای آبده با آبدهی ۶ لیتر در ساعت در هر متر طول اجرا و آب ورودی به تیمارها با استفاده از کنتورهای حجمی اندازه‌گیری شد. نوبت‌های اول آبیاری در فصل پاییز به منظور ایجاد شرایط مساوی در جوانه‌زنی و درصد سبز مزرعه، به صورت یکنواخت اجرا شد و تیمارهای سطح تأمین آب با شروع رشد مجدد بوته‌ها در اواخر زمستان اعمال شدند. در ماه‌های آذر تا بهمن با توجه به سردی هوا و بارش‌های پاییزی و زمستانی و بر اساس مقدار رطوبت خاک، نیازی به آبیاری کرت‌های آزمایشی نبود. از نیمهٔ اسفند به بعد، آبیاری مطابق با تیمارهای تحقیق و بر اساس تأمین کسری رطوبت خاک تا نقطهٔ ظرفیت زراعی اجرا شد (جدول ۱). با گرفتن نمونه خاک مزرعه تا عمق ۸۰ سانتی‌متر با فواصل نمونه‌گیری ۲۰ سانتی‌متری، کلیه خواص فیزیکی و شیمیایی مورد نیاز شامل آنیون‌ها و کاتیون‌ها، شوری عصارهٔ اشباع خاک (EC)، اسیدیته (pH)، رطوبت در نقطهٔ ظرفیت مزرعه (FC)، رطوبت در نقطهٔ پژمردگی دائمی (PWP) در آزمایشگاه تعیین شد. برای تعیین وزن مخصوص ظاهری (ρ_b) از روش گرفتن نمونه خاک دست نخورده استفاده شد (جدول ۲). شوری آب آبیاری ۱/۰۵ دسی‌زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. اطلاعات هواشناسی برای دورهٔ رشد چغندرقند پاییزه از ایستگاه سینوپتیک فرودگاه مشهد به فاصلهٔ حدود ۱ کیلومتر تا مزرعه آزمایشی، گرفته شد. تغییرات دمای حداقل و حداکثر و بارندگی روزانه در شکل ۱ نشان داده شده است. کمترین دمای ثبت شده در طول دوره رشد معادل ۱۷/۴- درجه سلسیوس مربوط به روز ۱۴ بهمن و بیشترین دما برابر با ۳۹/۶ درجه سلسیوس در روز ۲۲ خرداد بوده است. مجموع بارندگی در طول دوره رشد گیاه ۱۹۵ میلی‌متر بود که حداکثر ماهانه معادل ۶۷/۴ میلی‌متر در فروردین ماه به وقوع پیوسته است. رطوبت نیم‌رخ خاک مزرعه تا عمق ۸۰ سانتی‌متر در طول فصل رشد با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج TDR اندازه‌گیری شد. به منظور شناخت بهتر تغییرات برخی شاخص‌های گیاه چغندرقند پاییزه در طول دورهٔ رشد، در فواصل زمانی یک ماه از مساحت یک متر مربع از هر کرت به طور تصادفی نمونه‌گیری و شاخص‌های وزن تر و خشک برگ و دمبرگ و ریشه، عمق توسعه ریشه و درصد قند در بوته‌های هر کرت اندازه‌گیری شدند. برای خشک کردن برگ و دمبرگ و ریشه، نمونه‌ها در آون با دمای ۷۵ درجهٔ سلسیوس به مدت ۲ تا ۴ روز نگهداری شدند. در هنگام برداشت نهایی (اول تیر ۱۳۹۳)، درصد بوته‌های به ساقه رفته شمارش شد و دو خط به طول ۵ متر به طور کامل برداشت شد. پس از سرزنی و یادداشت‌برداری از عملکرد ریشه، از نمونه‌ها برای اندازه‌گیری صفات کیفی خمیر تهیه شد. نمونه‌های خمیر پس از انجماد به آزمایشگاه تکنولوژی قند موسسه تحقیقات چغندرقند کرج ارسال شدند. صفات زراعی مورد بررسی شامل عملکرد ریشه، وزن برگ و دمبرگ، عملکرد قند ناخالص، عملکرد قند خالص (شکر سفید)، درصد بولتینگ، میزان پتاسیم، سدیم

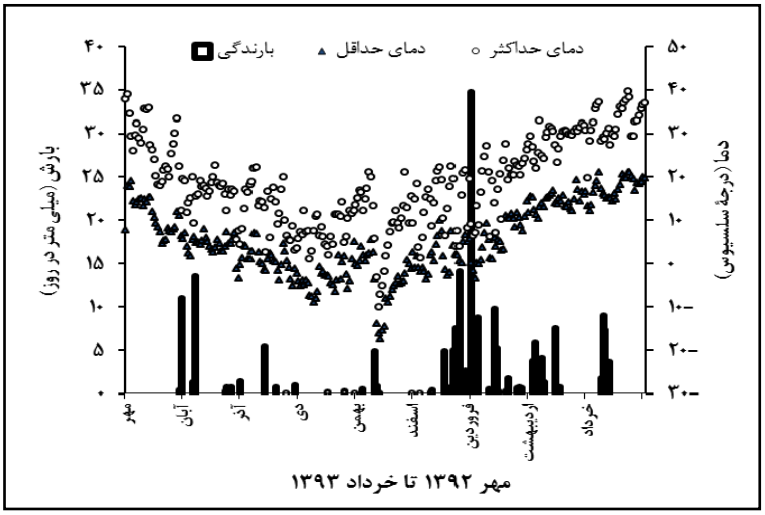
و نیتروژن مضره، راندمان استحصال و درصد قند ملاس بودند. رابطهٔ بین مادهٔ تر و خشک برگ و دمبرگ و ریشه در طول دورهٔ رشد تعیین و از نتایج آن برای برآورد عملکرد کل مادهٔ خشک (مجموع وزن خشک برگ، دمبرگ و ریشه) در زمان برداشت استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های کمی و کیفی محصول از بسته نرم‌افزاری SPSS استفاده شد.

جدول ۱- زمان و مقدار آب آبیاری (میلی‌متر) مورد استفاده در تیمارهای مختلف طرح

روز بعد از کاشت	دور آبیاری	تاریخ آبیاری	نوبت آبیاری	سطح تأمین آب آبیاری (درصد)			
				۵۰	۷۵	۱۰۰	۱۲۵
۱	۷، ۱۰ و ۱۴ روز	۹۲/۷/۱۶	۱	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۵		۹۲/۷/۲۰	۲	۴۰	۴۰	۴۰	۴۰
۱۲		۹۲/۷/۲۷	۳	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
۲۸		۹۲/۸/۱۳	۴	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰
۳۵		۹۲/۸/۲۰	۵	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
۱۰۳		۹۲/۱۰/۲۸	۶	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۱۴۷		۹۲/۱۲/۱۲	۷	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
۱۵۴	۷ روز	۹۲/۱۲/۱۹	۸	۵	۷//۵	۱۰	۱۲/۵
۱۸۷		۹۳/۱/۲۳	۹	۷/۵	۱۱	۱۵	۱۹
۱۹۶		۹۳/۲/۱	۱۰	۹	۱۳/۵	۱۸	۲۲/۵
۲۰۳		۹۳/۲/۸	۱۱	۹	۱۳/۵	۱۸	۲۲/۵
۲۱۰		۹۳/۲/۱۵	۱۲	۱۶	۲۴	۳۲	۴۰
۲۱۷		۹۳/۲/۲۲	۱۳	۱۸	۲۷	۳۶	۴۵
۲۲۴		۹۳/۲/۲۹	۱۴	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۶۲/۵
۲۳۱		۹۳/۳/۵	۱۵	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۶۲/۵
۲۳۸		۹۳/۳/۱۲	۱۶	۲۷/۵	۴۱/۵	۵۵	۶۹
۲۴۵		۹۳/۳/۱۹	۱۷	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵
۲۵۲		۹۳/۳/۲۶	۱۸	۳۵	۵۲/۵	۷۰	۸۷/۵
۱۵۷	۱۰ روز	۹۲/۱۲/۲۲	۸	۵	۷/۵	۱۰	۱۲/۵
۱۸۷		۹۳/۱/۲۳	۹	۷/۵	۱۱	۱۵	۱۹
۱۹۶		۹۳/۲/۱	۱۰	۱۱	۱۶/۵	۲۲	۲۷/۵
۲۰۶		۹۳/۲/۱۱	۱۱	۱۴	۲۱	۲۸	۳۵
۲۱۶		۹۳/۲/۲۱	۱۲	۲۵	۳۷/۵	۵۰	۶۲/۵
۲۲۶		۹۳/۲/۳۱	۱۳	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵
۲۳۶		۹۳/۳/۱۰	۱۴	۳۰	۴۵	۶۰	۷۵
۲۴۶		۹۳/۳/۲۰	۱۵	۳۷/۵	۵۶	۷۵	۹۴
۲۵۶		۹۳/۳/۳۰	۱۶	۳۷/۵	۵۶	۷۵	۹۴
۱۹۶	۱۴ روز	۹۳/۲/۱	۸	۱۵	۲۲/۵	۳۰	۳۷/۵
۲۱۰		۹۳/۲/۱۵	۹	۱۹	۲۸	۳۸	۴۷
۲۲۴		۹۳/۲/۲۹	۱۰	۳۵	۵۲/۵	۷۰	۸۷/۵
۲۳۸		۹۳/۳/۱۲	۱۱	۳۷/۵	۵۶	۷۵	۹۴
۲۵۲		۹۳/۳/۲۶	۱۲	۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه ایستگاه تحقیقاتی طرق (مشهد)

عمق (سانتی‌متر)	EC (دسی زیمنس بر متر)	pH	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی مترمکعب)	رطوبت وزنی نقطهٔ ظرفیت زراعی (درصد)	رطوبت وزنی نقطهٔ پژمردگی دائمی (درصد)
۰-۲۰	۲/۱۰	۷/۹	سیلتی‌لوم	۱/۴۳	۱۶/۷۳	۸/۲۷
۲۰-۴۰	۱/۶۶	۸/۰	سیلتی‌لوم	۱/۵۱	۱۶/۵۲	۷/۸۳
۶۰-۴۰	۲/۷۲	۸/۱	لوم	۱/۴۸	۱۸/۱۹	۹
۶۰-۸۰	۳/۷۵	۷/۹	لوم	۱/۵۲	۱۷/۲۰	۸/۳۹

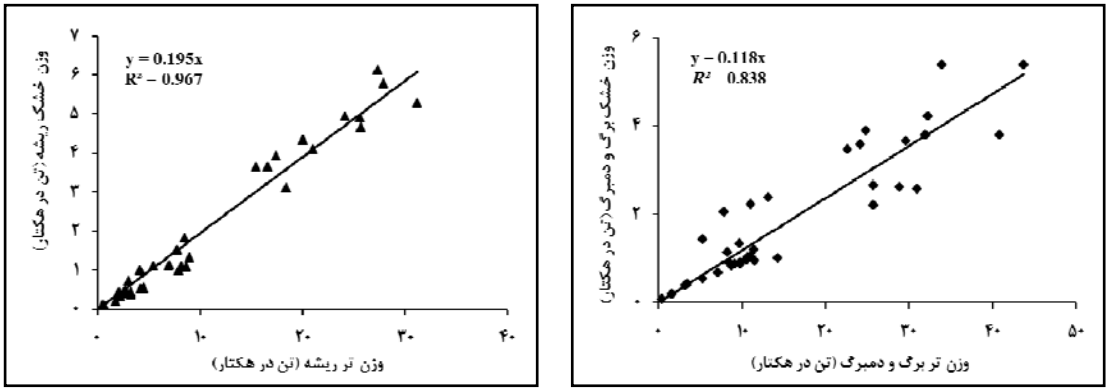


شکل ۱- تغییرات روزانهٔ دمای حداقل و حداکثر و بارندگی در مشهد

نتایج و بحث

شاخص‌های عملکرد محصول

رابطهٔ بین مادهٔ تر و خشک برگ و دمبرگ و نیز رابطهٔ بین ماده تر و خشک ریشهٔ چغندرقند در طول دورهٔ رشد (تا اول خرداد) در شکل ۲ نشان داده شده است. نمودارهای شکل ۲ نشان می‌دهند که حدود ۱۲ درصد از وزن برگ و دمبرگ چغندرقند پاییزه مربوط به ماده خشک و بقیهٔ آن آب است. این نسبت برای وزن ریشه در این آزمایش حدود ۲۰ درصد ماده خشک و بقیه آب است. با استفاده از این روابط، عملکرد کل مادهٔ خشک (ماده خشک برگ و دمبرگ و ریشه) در زمان برداشت برآورد شد. در تحقیقات مشابه، نسبت وزن خشک به تر ریشهٔ چغندرقند توسط فولت و همکاران (Follett *et al.*, 1979)، وفادار و همکاران (Vafadar *et al.*, 2008) و رائس و همکاران (Raes *et al.*, 2010) به ترتیب ۲۳/۹ درصد، ۱۹/۲ درصد و ۲۰ تا ۲۵ درصد گزارش شده است. بخشی خانیکی و همکاران (Bakhshi Khaniki *et al.*, 2011) نیز نسبت وزن خشک به وزن تر برگ و دمبرگ چغندرقند را ۱۳/۲ درصد گزارش داده‌اند. اعداد گزارش شدهٔ محققان دیگر مربوط به کشت بهارهٔ چغندرقند است که با نتایج حاصل از این تحقیق برای کشت پاییزه، متناسب است و تفاوت قابل توجهی ندارد.



شکل ۲- رابطهٔ بین وزن تر و خشک برگ، دمبرگ و ریشه در تیمارهای چغندرقند پاییزه

برای صفت ساقه‌روی (بولتینگ) چغندرقند پاییزه تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری دیده نشد و به طور متوسط ۴/۳ درصد در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. در جدول ۳ تجزیه واریانس شاخص‌های مختلف عملکرد چغندرقند پاییزه برای تیمارهای مختلف دور و سطح آبیاری نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد صفات مورد بررسی تحت تأثیر تیمار دور آبیاری اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد ندارند. علت را می‌توان میزان کم و مؤثر نبودن تفاوت آب مصرفی تیمارهای دور آبیاری ذکر کرد. در این آزمایش مقدار آب مصرفی دور آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز به ترتیب ۳ و ۱۸ درصد نسبت به دور ۷ روز کمتر است. علاوه بر این، در دورهٔ زمانی اعمال تیمارها (نیمهٔ اسفند تا پایان خرداد) بیش از ۷۵ درصد بارش سالانه معادل ۱۵۰ میلی‌متر به وقوع پیوسته و موجب شده است تا اثر اعمال تیمارهای دور آبیاری کاهش یابد و معنی‌دار نگردد. معنی‌دار نبودن تیمار دور آبیاری بر عملکرد چغندرقند بهاره را طالقانی و همکاران (Taleghani *et al.*, 2010) و نیو (New, 1977) گزارش داده‌اند. اما تیمارهای میزان آب آبیاری در سطح ۱ درصد تأثیر معنی‌دار بر عملکرد وزن ریشه، وزن مادهٔ خشک، عملکرد قند ناخالص و عملکرد قند خالص دارند. اثر متقابل دور آبیاری در سطح تأمین نیاز آبی نیز برای کلیهٔ صفات کمی و کیفی چغندرقند پاییزه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار نشان می‌دهد (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات کمی و کیفی چغندرقند پاییزه

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات				
		عملکرد ریشه	کل ماده خشک	عملکرد قند ناخالص	عملکرد قند خالص	حجم آب مصرفی
تکرار	۳	۲۳۰/۱ *	۱۶/۴۸ ns	۴/۱۷ ns	۲/۸۳ ns	۹۳/۵ ns
دور آبیاری	۲	۱۱/۰ ns	۲/۶۸ ns	۰/۵۰ ns	۰/۳۱ ns	۵۱۸۹۸۵۴ *
خطا ۱	۶	۱۰۹/۷	۷/۷۳	۲/۲۱	۱/۲۲	۵۷۴۶۸
سطح آبیاری	۳	۱۶۳۳/۱ **	۱۸۲/۶ **	۲۳/۴۷ **	۱۱/۲ **	۱۶۹۴۸۳۶۸ **
دور × سطح	۶	۷۸/۹ *	۷/۲۸ *	۱/۳۳ *	۰/۵۹ *	۱۸۰۶۷۷ *
خطا ۲	۲۷	۶۳/۴۵	۵/۶۵	۱/۱۰	۰/۶۷	۷۰۹۳۹
کل	۴۷	-	-	-	-	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: نبود اختلاف معنی‌دار.

جدول ۴ مقایسهٔ میانگین‌ها را برای صفات وزن ریشه، مادهٔ خشک، قند ناخالص و قند خالص درتیمارهای اثر متقابل دور در سطح آبیاری نشان می‌دهد. در این جدول تیمارهای دور و سطح آبیاری در ۷ گروه متفاوت آماری قرار دارند. کمترین عملکرد ریشه به میزان ۲۶/۵۷ تن در هکتار در تیمار ۷-۵۰ (دور آبیاری ۷ روز با سطح تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی) دیده می‌شود که اختلاف معنی‌داری با سطح ۷۵ درصد در همین دور آبیاری دارد. در دورهای آبیاری ۱۰ و ۱۴ روز، به دلیل تطابق گیاه با شرایط تنش رطوبتی، اختلاف معنی‌داری بین عملکرد تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد تأمین نیاز آبی مشاهده نمی‌شود. بیشترین عملکرد ریشه از تیمار ۱۰-۱۲۵ به میزان ۵۸/۸۳ تن در هکتار حاصل شده است. این تیمار و تیمارهای ۷-۱۰۰، ۷-۱۲۵، ۱۴-۱۰۰ و ۱۴-۱۲۵، اختلاف معنی‌داری در عملکرد ریشه ندارند و در یک گروه آماری هستند (جدول ۴). در تیمار ۱۴- ۱۲۵، در مقایسه با تیمار ۱۰- ۱۲۵، افت عملکرد حدود ۸ تن در هکتار مشاهده می‌شود. به نظر می‌رسد وقوع تنش آبی در روزهای انتهایی هر نوبت آبیاری (روزهای ۱۱ تا ۱۴) دلیل این کاهش عملکرد است. نسبت عملکرد مادهٔ خشک به عملکرد ریشه در این آزمایش ۲۸/۸ درصد و در آزمایش رینالدی و ونلا (Rinaldi & Vonella, 2006) برای جنوب ایتالیا ۳۰/۴ درصد به دست آمده است. تیمارها برای صفت عملکرد قند خالص یا شکر سفید در سه گروه متفاوت آماری قرار دارند. در تیمارهای سطح آبیاری ۵۰ درصد در همهٔ دورهای آبیاری، عملکرد قند خالص با هم و با تیمارهای سطح ۷۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند. کمترین عملکرد شکر سفید به میزان ۳/۱۵ تن در هکتار از تیمار ۷-۵۰ به دست آمده است. در این تیمار به دلیل آبیاری با دور کوتاه‌تر، در مقایسه با تیمارهای دور ۱۰ و ۱۴ روز، عمق آب دریافتی در هر نوبت کمتر بوده در نتیجه اثر تنش آبی در کاهش عملکرد گیاه شدت بیشتری دارد. بالاترین عملکرد شکر سفید از تیمار ۷-۱۲۵ به میزان ۶/۰۶ تن در هکتار حاصل شده است. این تیمار با تیمارهای ۷-۱۰۰، ۱۰-۱۲۵، ۱۴-۱۰۰ و ۱۴-۱۲۵ در یک گروه آماری قرار دارد.

جدول ٤- وزن ریشه، مادهٔ خشک، قند ناخالص و قند خالص درتیمارهای اثر متقابل دور در سطح آبیاری

تیمار	عملکرد ریشه (تن در هکتار)	عملکرد ماده خشک (تن در هکتار)	عملکرد قند ناخالص (تن در هکتار)	عملکرد قند خالص (تن در هکتار)
۵۰ -۷ ++	۲۶/۵۷g	۶/۶۵g	۴/۲۷f	۳/۱۵c
۷۵ -۷	۳۷/۱۴defg	۱۰/۸۳def	۵/۷۳defg	۴/۳۱bc
۱۰۰ -۷	۵۴/۵۱ab	۱۵/۴۷abc	۷/۵۸bc	۵/۲۳ab
۱۲۵ -۷	۵۷/۶۹ab	۱۷/۰ab	۸/۳۳a	۶/۰۶a
۵۰ -۱۰	۳۱/۶۴fg	۸/۰۹fg	۴/۹۹ef	۳/۶۱c
۷۵ -۱۰	۳۴/۴۸efg	۹/۰۴abc	۵/۳۱def	۳/۹۳bc
۱۰۰ -۱۰	۴۴/۹۳bcde	۱۵/۴۷efg	۶/۱۸bcde	۴/۳۳bc
۱۲۵ -۱۰	۵۸/۸۳a	۱۷/۴۶a	۸/۱۱a	۵/۷۷a
۵۰ -۱۴	۳۰/۷۲fg	۷/۹۰fg	۴/۷۰ef	۳/۴۶c
۷۵ -۱۴	۴۰/۹۱cdef	۱۱/۰۴def	۶/۱۰bcde	۴/۴۵bc
۱۰۰ -۱۴	۴۸/۴۳abcd	۱۳/۴bcd	۶/۷۹abcd	۴/۹۶ab
۱۲۵ -۱۴	۵۰/۴۵abc	۱۴/۸۵abc	۷/۲۲abc	۵/۲۳ab
میانگین کل	۴۲/۶	۱۲/۳	۶/۳	۴/۵

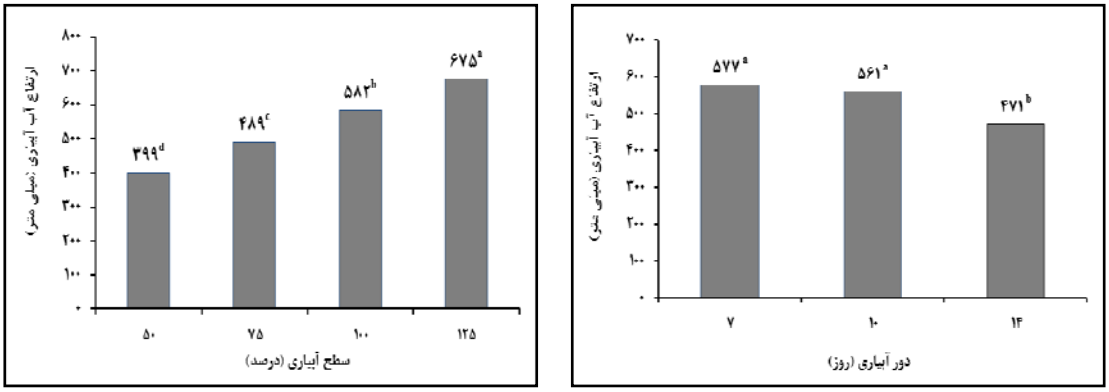
در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

++ هر تیمار با دو مشخصه دور- سطح آبیاری معرفی شده است.

مقدار آب مصرفی

حجم آب مصرفی در تیمارهای دور آبیاری، سطح آبیاری و اثر متقابل آنها به ترتیب در سطح ۵، ۱ و ۵ درصد اختلاف معنی‌دار دارد (جدول ۳). مقایسهٔ میانگین‌ها در دورهای مختلف آبیاری نشان می‌دهد که بین دور ۷ و ۱۰ روز به لحاظ حجم آب مصرفی تفاوت معنی‌دار وجود ندارد و تفاوت این دو تیمار با دور ۱۴ روز در سطح ۵ درصد معنی‌دار است (شکل ۳).

دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز به ترتیب با ۵۷۷۰ و ۴۷۱۰ متر مکعب در هکتار بیشترین و کمترین حجم آب مصرفی را دارند. میانگین آب مصرفی در بین کلیهٔ تیمارهای سطوح آبیاری معنی‌دار است. تیمار ۵۰ درصد نیاز آبی با ۳۹۹۰ متر مکعب در هکتار کمترین حجم آب مصرفی و تیمار ۱۲۵ درصد نیاز آبی با ۶۷۵۰ متر مکعب در هکتار بیشترین حجم آب مصرف شده را دارند (شکل ۳).



شکل ۳- مقایسهٔ میانگین میزان آب مصرف شده در تیمارهای مختلف دور و سطح آبیاری

در جدول ۵ مقایسهٔ میانگین‌های حجم آب مصرفی در تیمارهای اثر متقابل دور در سطح آبیاری نشان داده شده است که مقادیر حجم آب مصرفی در شش گروه آماری قرار گرفته‌اند. تیمار دور آبیاری ۱۴-۵۰ با ۳۶۱۵ متر مکعب در هکتار کمترین حجم آب مصرفی را به خود اختصاص داده است و تیمارهای ۱۰- ۱۲۵ و ۷- ۱۲۵ به ترتیب با ۷۰۹۵ و ۷۲۳۰ متر مکعب در هکتار بیشترین مصرف آب را نشان می‌دهند. برای تأمین نیاز کامل آبیاری (تیمار ۱۰۰ درصد) در دورهٔ رشد چغندرقند پاییزه در منطقهٔ مشهد در سال زراعی ۹۲-۹۳ حجم آب مصرفی بین ۵۱۰۰ تا ۶۲۰۰ متر مکعب در هکتار نشان داده شده است. در تحقیق مشابه (Hoseinpour *et al.*, 2006) در دزفول، حجم آب مصرفی در تیمارهای ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی برای کشت پاییزهٔ چغندرقند به ترتیب ۴۹۹، ۶۰۹، ۷۲۵ و ۸۴۰ میلی‌متر است. به دلیل شرایط اقلیمی گرمتر استان خوزستان نسبت به خراسان رضوی، مقادیر آب کاربردی در منطقه دزفول به طور متوسط حدود ۲۵ درصد بیشتر از مقادیر آب کاربردی در منطقه مشهد بوده است.

رابطهٔ آب مصرفی- عملکرد ریشه

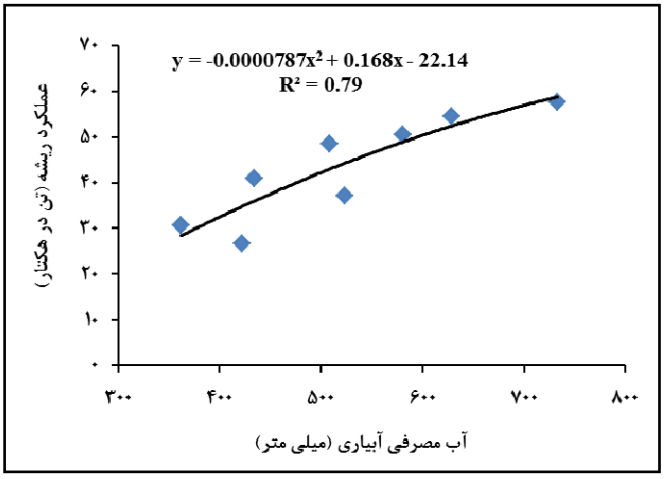
در شکل ۴ منحنی تابع تولید برای چغندرقند پاییزه در شرایط تحقیق با استفاده از نتایج دورهای آبیاری ۷ و ۱۴ روز رسم شده است. شکل ۴ نشان می‌دهد که بعد از ارتفاع آبیاری ۶۲۹ میلی‌متر (معادل سطح آبیاری ۱۰۰ درصد دور ۷ روز)، میزان افزایش عملکرد ریشه بسیار کم

است. به طوری که عملکرد ریشه در عمق آب آبیاری ۷۳۳ میلی‌متر (معادل سطح آبیاری ۱۲۵ درصد دور ۷ روز) تنها حدود ۳/۲ تن و به صورت غیرمعنی‌دار نسبت به سطح ۱۰۰ درصد افزایش نشان داده است.

تابع تولید چغندرقند پاییزه، همانند توابع تولید سایر گیاهان، یک تابع درجه دو است. با مشتق‌گیری از این تابع و مساوی صفر قرار دادن آن، مختصات نقطهٔ بیشینه تابع در آب مصرفی ۱۰۶۵ میلی‌متر با عملکرد ریشه ۶۷/۵ تن در هکتار به دست می‌آید. بعد از این نقطه، یعنی با مقدار آب آبیاری مصرفی بیشتر از ۱۰۶۵۰ متر مکعب در هکتار، عملکرد ریشهٔ چغندرقند پاییزه کاهش می‌یابد. توکلی و فرداد (Tavakoli & Fardad, 1996) گزارش داده‌اند که تابع محصول چغندرقند بهاره در منطقه کرج با آب مصرفی روند صعودی دارد و پس از آن نزولی می‌شود. در عمق آب مصرفی ۱۷۵۷ میلیمتر، عملکرد حداکثر (۵۹/۱ تن در هکتار) به دست آمده است. این محققان می‌گویند که تنها با مصرف ۷۰ درصد نیاز آبی، عملکرد گیاه چغندرقند بهاره بیشترین سود خالص را در این منطقه خواهد داشت. معیری و شریفی (Moayeri & Sharifi, 2008) تابع تولید چغندرقند پاییزه در صفی‌آباد دزفول را به دست آوردند. در تابع آب- عملکرد آنها حداکثر عملکرد ریشه در مقدار آب مصرفی ۶۴۵ میلیمتر به میزان ۸۲ تن در هکتار به دست آمده است.

جدول ۵- مقایسهٔ میانگین‌های حجم آب مصرفی (مترمکعب در هکتار) درتیمارهای اثر متقابل دور در سطح آبیاری

تیمار	گروه‌های آماری در سطح ۵ درصد					
	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۵۰ -۱۴	۳۶۱۵					
۵۰ -۱۰		۴۱۲۵				
۵۰ -۷		۴۲۲۰				
۷۵ -۱۴		۴۳۴۰				
۱۰۰ -۱۴			۵۰۸۰			
۷۵ -۱۰			۵۱۰۵			
۷۵ -۷			۵۲۳۵			
۱۲۵ -۱۴				۵۸۱۰		
۱۰۰ -۱۰				۶۱۰۰	۶۱۰۰	
۱۰۰ -۷					۶۲۹۰	
۱۲۵ -۱۰						۷۰۹۵
۱۲۵ -۷						۷۳۳۰
سطح معنی‌داری	۱/۰	۰/۲۹	۰/۴۴	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۲۲



شکل ٤- منحنی تابع تولید چغندرقند پاییزه در منطقه مشهد

کارایی مصرف آب

کارایی مصرف آب به صورت "مقدار محصول تولید شده به ازای واحد آب مصرف شده" تعریف شده است و با واحد کیلوگرم بر متر مکعب سنجیده می‌شود (Molden *et al.*, 2001). مقدار آب مصرفی از جنبه‌های مختلفی قابل تعریف است، از این‌رو کارایی مصرف آب نیز به روش‌های متفاوتی قابل محاسبه خواهد بود. در این تحقیق، تجزیهٔ واریانس شاخص کارایی مصرف آب چغندرقند پاییزه در دو حالت متفاوت انجام شد. در حالت اول (جدول ۶) حجم آب آبیاری مبنای محاسبه کارایی مصرف آب (WUE_I) قرار گرفت و در حالت دوم حجم آب آبیاری به اضافهٔ بارندگی برای محاسبهٔ کارایی مصرف آب (WUE_{I+P}) در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده از جدول ۶ نشان می‌دهد که برای تیمار دور آبیاری، صفات کارایی مصرف آب وزن ریشه (WUE_{ry})، قند ناخالص (WUE_{sy}) و قند خالص (WUE_{wsy}) چغندرقند پاییزه در سطح ۱ درصد و کارایی مصرف آب کل مادهٔ خشک (WUE_{dm}) این محصول در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌دار دارند. تیمارهای سطح آبیاری از نظر کارایی مصرف آب آبیاری (به جز برای WUE_{dm} در سطح ۵ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند. اثر متقابل دور در سطح آبیاری نیز برای شاخص WUE_I در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

جدول ٦- نتایج تجزیهٔ واریانس کارایی مصرف آب آبیاری در کشت پاییزهٔ چغندرقند

منابع تغییر	درجهٔ آزادی	میانگین مربعات			
		WUE_{ry}	WUE_{dm}	WUE_{sy}	WUE_{wsy}
تکرار	۳	۷/۱۶*	۰/۵۱۳*	۰/۱۳۴*	۰/۰۹۷*
دور آبیاری	۲	۱۲/۵۵**	۰/۸۵*	۰/۲۴۴**	۰/۱۴۵**
خطا ۱	۶	۳/۶۹	۰/۲۶۵	۰/۰۷۱	۰/۰۳۷
سطح آبیاری	۳	۲/۶۸^{ns}	۰/۷۳*	۰/۰۰۰۲^{ns}	۰/۰۰۲۸^{ns}
دور × سطح	۶	۲/۱*	۰/۱۸۸*	۰/۰۳۹*	۰/۰۱۷*
خطا ۲	۲۷	۱/۹۲	۰/۱۶۷	۰/۰۳۸	۰/۰۲۴
کل	۴۷	-	-	-	-

** اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد، * اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns: نبود اختلاف معنی‌دار

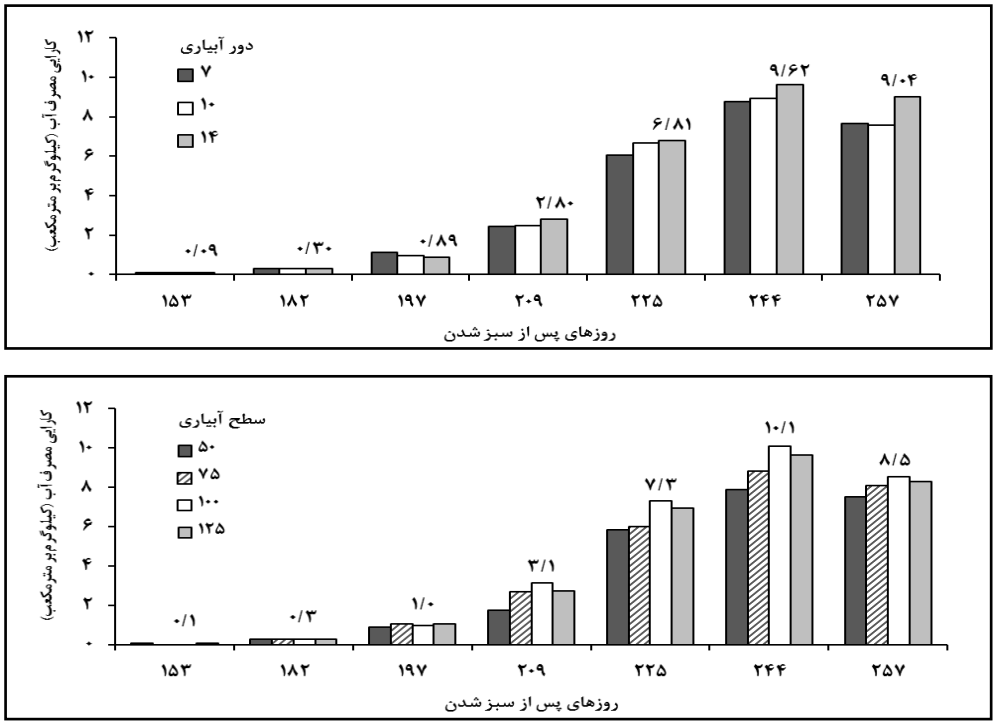
در جدول ۷ مقایسهٔ مقادیر کارایی مصرف آب آبیاری برای اثر متقابل دور در سطح آبیاری آورده شده است. نتایج به دست آمده از این جدول نشان می‌دهد که برای صفات وزن ریشه و ماده خشک بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۱۴-۱۰۰ به ترتیب با مقادیر ۹/۵۳ و ۲/۶۴ کیلوگرم بر متر مکعب حاصل شده است. اختلاف این تیمار با تیمار ۱۴-۷۵ معنی‌دار نیست. برای صفات عملکرد قند ناخالص و قند خالص، بیشترین کارایی مصرف آب را تیمار ۱۴-۷۵ به ترتیب با مقادیر ۱/۴ و ۱/۰۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب به خود اختصاص داده است. در مورد صفات مذکور نیز اختلاف مقادیر این تیمار با تیمار ۱۴-۱۰۰ معنی‌دار نیست. اهلیگ و لمرت (Ehlig & LeMert, 1979) برای کشت پاییزهٔ چغندرقند در آمریکا مقدار WUE_{wsy} را بسته به میزان آب آبیاری مصرفی، بین ۱/۴ تا ۲ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش داده‌اند. در تحقیق حاضر، کارایی مصرف آب برای قند خالص در منطقهٔ مشهد بین ۰/۷۵ تا ۱/۰۳ کیلوگرم بر متر مکعب به دست آمده است. کمترین مقدار کارایی مصرف آب در کلیهٔ صفات مورد بررسی در تیمار ۷-۵۰ دیده می‌شود (جدول ۷). باغانی (Baghani, 2009) در استان خراسان رضوی برای کشت بهاره چغندرقند با روش آبیاری قطره‌ای، مقدار WUE_{ry} را ۵/۳ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش داده است اما در این تحقیق مقدار WUE_{ry} در کشت پاییزه چغندرقند با روش قطره‌ای به طور متوسط ۸/۰۱ به دست آمده است که ۵۰ درصد افزایش کارایی مصرف آب آبیاری در مقایسه با کشت بهاره، نشان می‌دهد. همان‌طور که گفته شد، کلیهٔ محاسبات تجزیهٔ واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها برای حالت کارایی مصرف آب آبیاری به اضافهٔ بارندگی نیز انجام شد که نتایج به علت مشابهت با حالت اول (WUE_I) آورده نشده‌اند. در انتهای جدول ۷ میانگین کل صفات مختلف مورد بررسی در حالت WUE_{I+P} آمده است. دیده می‌شود که وقتی بارندگی در محاسبات کارایی مصرف آب در نظر گرفته شود، مقدار این شاخص حدود ۲۷ درصد کمتر خواهد شد یعنی سهم باران در شاخص کارایی مصرف آب چغندرقند پاییزه ۲۷ درصد و سهم آبیاری ۷۳ درصد است.

جدول ۷- کارایی مصرف آب بر مبنای وزن ریشه، مادهٔ خشک، قند ناخالص و قند خالص درتیمارهای دور و سطح آبیاری

تیمار		کارایی مصرف آب (WUE_I) (کیلوگرم بر مترمکعب)			
دور آبیاری	سطح آبیاری (درصد)	WUE_{ry}	WUE_{dm}	WUE_{sy}	WUE_{wsy}
۷ روز	۵۰	۶/۳c	۱/۵۸c	۱/۰۱b	۰/۷۴۷ b
	۷۵	۷/۰۹bc	۲/۰۷abc	۱/۰۹ab	۰/۸۲۵ ab
	۱۰۰	۸/۶۷ab	۲/۴۶a	۱/۲ab	۰/۸۳ ab
	۱۲۵	۷/۸۷abc	۲/۳۲ab	۱/۱۴ab	۰/۸۲۷ ab
۱۰ روز	۵۰	۷/۶۷abc	۱/۹۶abc	۱/۲۱ab	۰/۸۷۵ ab
	۷۵	۶/۷۵bc	۱/۷۷bc	۱/۰۴b	۰/۷۷ ab
	۱۰۰	۷/۳۶abc	۲/۰۴abc	۱/۰۱b	۰/۷۱۲ b
	۱۲۵	۸/۲۹abc	۲/۴۶a	۱/۱۴ab	۰/۸۱۵ ab
۱۴ روز	۵۰	۸/۵abc	۲/۱۸abc	۱/۳ab	۰/۹۵۷ ab
	۷۵	۹/۴۲a	۲/۵۴a	۱/۴a	۱/۰۳ a
	۱۰۰	۹/۵۳a	۲/۶۴a	۱/۳۳ab	۰/۹۷۵ ab
	۱۲۵	۸/۶۸ab	۲/۵۶a	۱/۲۴ab	۰/۹ ab
میانگین کل (WUE_I)		۸/۰۱	۲/۲۲	۱/۱۸	۰/۸۶
میانگین کل (WUE_{I+P})		۵/۸۴	۱/۶۳	۰/۸۶	۰/۶۲

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در شکل ۵ کارایی مصرف آب آبیاری تیمارهای دور و سطح آبیاری برای وزن ریشهٔ چغندرقند پاییزه در طول دورهٔ رشد گیاه در منطقهٔ مشهد آورده شده است. در این شکل نشان داده شده است که کارایی مصرف آب از کمترین مقدار (۰/۱ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب در ۵ ماه از کاشت گیاه) تا بیشترین مقدار (۱۰/۱ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب در حدود ۸ ماه از کاشت) تغییر می‌کند. بیشترین شیب افزایش کارایی مصرف آب در بازهٔ زمانی ۲۱۰ تا ۲۴۵ روز پس از کاشت مشاهده می‌شود. بیشترین کارایی مصرف آب وزن ریشه در حدود ۸ ماه پس از کاشت به دست آمده و بعد از این زمان نسبت عملکرد ریشه به واحد آب مصرفی کاهش یافته است. بنابراین زمان مناسب برای برداشت محصول چغندرقند پاییزه به منظور دستیابی به بیشترین کارایی مصرف آب وزن ریشه در این منطقه ۲۴۰ روز پس از کاشت است. نتایج تغییرات WUE_I در دورهٔ رشد چغندرقند پاییزه برای سطوح مختلف آبیاری که حسین‌پور و همکاران (Hoseinpour *et al.*, 2006) برای منطقهٔ دزفول گزارش داده‌اند با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.



شکل ۵- کارایی مصرف آب آبیاری تیمارهای دور و سطح آبیاری برای وزن ریشه چغندرقند پاییزه

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که دور آبیاری اثر معنی‌داری بر عملکرد ریشه و عملکرد قند خالص کشت پاییزه چغندرقند ندارد. کاهش عملکرد ریشه چغندرقند در دور آبیاری ۱۴ روز نسبت به دور آبیاری ۷ روز معادل ۱/۴ تن در هکتار (۳ درصد) کاهش دارد. تعداد دفعات آبیاری در تیمارهای دور آبیاری ۷، ۱۰ و ۱۴ روز به ترتیب ۱۸، ۱۶ و ۱۲ نوبت است. این در حالی است که ۷ نوبت از آبیاری‌ها (با مصرف ۲۱۰۰ متر مکعب در هکتار) به طور مشترک قبل از اعمال تیمارها در پاییز و زمستان بوده است. بنابراین، دور آبیاری ۱۴ روز، در مقایسه با دور آبیاری ۷ روز، حداقل موجب کاهش یک سوم دفعات

آبیاری و به دنبال آن کاهش هزینه‌های مرتبط با آن خواهد شد. مزیت دیگر افزایش دور آبیاری را می‌توان صرفه‌جویی در حجم آب مصرفی دانست. نتایج این تحقیق ۱۸ درصد کاهش در میزان آب مصرفی را در دور ۱۴ روز، نسبت به دور ۷ روز، نشان می‌دهد. از دیدگاه کارایی مصرف آب، دور آبیاری ۷ روز با ۷/۴۸ کیلوگرم تولید وزن ریشه به ازای یک متر مکعب آب آبیاری، در مقایسه با دور ۱۴ روز (۹/۰۳ کیلوگرم به ازای هر متر مکعب آب) معادل ۲۰/۷ درصد کاهش نشان می‌دهد. بنابراین از مجموع نتایج این تحقیق (که یک سال طول کشیده است و تکرار آن ضرورت دارد)، استنباط می‌شود که دور آبیاری ۱۴ روز نسبت به دور ۷ روز به لحاظ کاهش حجم آب مصرفی (۱۸ درصد)، کاهش دفعات آبیاری (۳۳ درصد)، افزایش کارایی مصرف آب (۲۱ درصد) و در مقابل ۳ درصد کاهش در عملکرد ریشه برتری دارد. نتایج همچنین نشان می‌دهد که افزایش عملکرد ریشهٔ چغندرقند پاییزه بعد از سطح آبیاری ۱۰۰ درصد نیاز آبی معنی‌دار نیست. از طرفی تفاوت معنی‌دار بین عملکرد شکر سفید در دو سطح آبیاری ۱۰۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی مشاهده نمی‌شود و از این رو می‌توان تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کشت پاییزه چغندرقند را در شرایط کفایت منابع آب و تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی را در شرایط تنش و کمبود ذخایر آبی پیشنهاد داد.

بالاترین کارایی مصرف آب آبیاری برای عملکرد شکر سفید، محصول نهایی و اقتصادی کشت چغندرقند، از تیمار ۷۵ درصد و پس از آن از تیمارهای ۱۰۰ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی در دور آبیاری ۱۴ روز حاصل شده است. بنابراین از جنبه دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب کشاورزی، کاربرد تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد با دور ۱۴ روز قابل توصیه است. همچنین، مناسب‌ترین زمان برداشت برای حصول بالاترین کارایی مصرف آب از اوایل تا نیمهٔ خرداد مشاهده می‌شود. در مجموع، نتایج این پروژه نشان می‌دهد که در منطقهٔ مشهد و مناطق مشابه اقلیمی با بافت خاک متوسط تا نسبتاً سنگین، برای کشت پاییزه چغندرقند می‌توان این محصول را هر دو هفته یک بار و به میزان ۷۵ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی آبیاری کرد. این نحوهٔ برنامه‌ریزی آبیاری موجب کاهش هزینه‌های آبیاری، صرفه‌جویی در آب مصرفی و دستیابی به حداکثر کارایی مصرف آب آبیاری خواهد شد. نکتهٔ قابل توجه این است که در شرایط بافت خاک سبک ممکن است با افزایش دور آبیاری نتایج متفاوتی از نظر عملکرد و آب مصرفی حاصل آید که ضرورت تحقیقات بیشتر در این زمینه را نشان می‌دهد.

قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی اجرا شده است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Ahmadi, M. 2012. Assessing the possibility of autumn sugar beet cropping in the south of Khorasan-e-Razavi province. Final Report Project of Sugar Beet Seed Institute. No. 91.41200. Iran. (in Farsi)

Anon. 1991. Sugar Beet Seed Research Institute. Introduction Report of BR1Cultivar.

Baghani, J. 2009. Comparison of the effects of furrow irrigation to trickle irrigation method on water use efficiency and yield of row sowing crops. J. Irrig. Drain. 2(2): 9-11. (in Farsi)

Bakhshi khaniki, G., Javadi, S., Mehdikhani, P. and Tahmasebi, D. 2011. Investigation of drought stress effects on some quantity and quality characteristics of new eugenics sugar beet genotypes. NCMBJ. 1(3): 65-74. (in Farsi)

Basaty, J., Koulivand, M., Nemati, A. and Zeraee, A. 2002. Possebility assessment of autumnal sowing sugar beet in warm regions of Kermanshah province. J. Sugar Beet Res. 18(2): 119-130. (in Farsi)

Despo, P. and Sficas, A. G. 1978. Bolting, fresh root yield and soluble solids of sugar beet as affected by sowing date and gibberellins treatment. J. Amer. Soc. Sugar Beet. Tech. 20,115-126.

Ehlig, C. F. and LeMert, R. D. 1979. Water use and yields of sugar beet over a range from excessive to limited irrigation. Soil Sci. Soc. Am. J. 43, 403-407.

Follett, R. F., Schmehl, W. R. and Viets, F. G. 1979. Seasonal leaf area, dry weight, and sucrose accumulation by sugarbeets. J. A. S. S. B. T. 16(3): 235-252. (in Farsi)

Haghayeghi, S. A. and Ahmadi, M. 2013. Study on water productivity and yield simulation of autumn-sown sugar beet in Khorasane Razavi province- Case study: Torbate-jam region. Final Report. No. 44904. Khorasane Razavi Agriculture Research Center. Iran. (in Farsi)

Haghayeghi, S. A., Tohidloo, G. and Sadreghaen, S. H. 2004. Water use efficiency and yield of sugar beet under sprinkler and furrow irrigation. J. Agric. Eng. Res. 6(1): 1-14. (in Farsi)

Hoseinpour, M., Sorushzadeh, A., Aghalikhani, M., F. Taleghani, D. and Khoramian, M. 2006. The effect of irrigation in spring on water use efficiency and yield of autumn sown sugar beet. J. Sugar Beet Res. 22(2): 35-52. (in Farsi)

Jaggard, K. W. and Werker, A. R. 1998. An evaluation of potential benefits and costs of autumn-sown sugar beet in NW Europe. IACR- Brooms Barn, Bury st. Edmunds, UK.

Longden, P. C. and Thomas, F. 1989. Why not autumn sowing sugar beet. British Sugar Beet Rev. 57(3).

Moayeri, M. and Sharifi, H. 2008. The determining of optimum level of water use of tow sugar beet varieties in north Khozestan. Final Report. No. 87/1183. Agriculture Research Center of Safiabade Dezful. Iran. (in Farsi)

Molden, D. J., Satkhtivadival, R. and Habib, Z. 2001. Basin level water use and productivity of water. Report 49. Colombo, Sri Lanka: IWMI.

New, L. 1977. Sugar beets tolerate more limited irrigation. Irrig. Agric. 12(1): 51-54.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. and Fereres, E. 2010. Aquacrop Refrence Manual. FAO. Land and Water Division. Rome, Italy.

Rimon, D., Helen, F. and Cohen, A. 1976. Effect of spring irrigation on autumn sown sugar beet. 39th Winter Congress of International Institute for Sugar Beet. Bruxeies. 387-396.

Rinaldi, M. and Vonella, A. V. 2006. The response of autumn and spring sown sugar beet to irrigation in Southern Italy: Water and radiation use efficiency. J. Field Crops Res. 95, 103-114.

Sadeghzadeh, S., Shirzadi, M. H., Aghayeezadeh, M., Taleghani, D. F., Javaheri, M. A. and Aliasgari, A. 2012. Evaluation of sowing and harvesting date effects on yield and quality of five sugar beet cultivars in Jiroft region (autumn planting). J. Sugar Beet Res. 28(1): 25-42. (in Farsi)

Sharifi, H. 1989. Research Report of Sugar Beet Research Department. Publication of Agriculture Research Center of Safiabade Dezful. (in Farsi)

Taleghani, D. F., Sadeghzadeh, S. and Mesbah, M. 2010. Strategic Framework for Sugar Beet Research. Sugar Beet Seed Institute. Karaj. P: 491. (in Farsi)

Tavakoli, A. and Fardad, H. 1996. Optimization of deficit irrigation based on functions of product, costs and price of sugar beet in Karaj. 2nd Congress of Soil And Water Challenges. 1, 354-369. (in Farsi)

Topak, R., Suheri, S. and Acar, B. 2010. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. Energy J. 35, 5464-5471.

Vafadar, L., Ebadi, A. and Sajed, K. 2008. Effects of sowing date and plant density on yield and some traits of sugar beet genotypes. EJCP. 1(2): 103-120. (in Farsi)

Wood, D. W. and Scott, R. K. 1975. Sowing sugar beet in autumn in England. J. Agric. Sci. Cambridge. 84, 97-108.

Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.16/No.3/2015/P:15-30

Effect of Irrigation Regimes on Crop Water Use Efficiency of Autumn Sugar Beets Grown on the Mashhad Plain

S. A. Haghayeghi, A. Alizadeh [*], M. Ahmadi, M. Bannayan and H. Ansari

* Corresponding Author: Professor, Water Engineering Department. Science and Research Branch, Ferdowsi University of Mashhad, P. O. Box: 1163-91775, Mashhad, Iran. Email: alizadeh@um.ac.ir
Received: 21 February 2015, Accepted: 22 August 2015

Autumn sowing of sugar beets for harvesting the root yield the following spring is possible in some regions of Iran. Autumnal beets effectively conserve irrigation water because they make use of precipitation during the autumn and winter months and do not grow during the warm summer periodn. The presents study determined the water-use efficiency of autumn-sown sugar beets and investigated the best irrigation scheduling for the Mashhad plain. Testing was carried out during the 2013-2014 growing season at the Agricultural Research Center of Khorasan-eRazavi province using a randomized complete block design with a split plot arrangement and four replications. This experiment examined with three irrigation intervals (7, 10 and 14 d) as the main plot and four irrigation levels (50%, 75%, 100%, and 125% of water content of field capacity) as subplots. The results showed that the yields of roots, dry matter, sugar, and white sugar showed no significant difference for irrigation interval, but that irrigation level had significant effect on yield at the 1% level. The best irrigation water-use efficiency for the yield of conversion to white sugar as the final economic product of sugar beet cultivation was achieved at the 75% and 100% irrigation levels using the 14 d irrigation interval. The results of this project for the Mashhad plain under similar climatic conditions indicates that autumn-sown sugar beets should be irrigated every 14 d at 75% to 100% of field capacity. This irrigation schedule decreased irrigation costs (33%), conserved irrigation water (18%), and achieved maximum irrigation water-use efficiency compared with the 7 d irrigation interval.

Keywords: Autumnal Sugar Beet, Irrigation Scheduling, Mashhad Plain, Water Productivity