

بهینه‌سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندر قند بر اساس توابع تولید و هزینه در شمال استان خوزستان

محمد خرمیان^{۱*} و مصطفی حسین پور^۲

^۱- نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد دزفول- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

^۲- استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد- بخش اصلاح و تهیه بذر چغندر قند.

تاریخ پذیرش: ۹۴/۷/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۴

چکیده

به منظور بهینه‌سازی آب آبیاری چغندر قند پاییزه، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی صفی‌آباد با بافت سیلتی کلی لوم در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ اجرا شد. تیمارهای آبیاری شامل سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای نواری تیپ (تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی با علامت به ترتیب T_{25} ، T_{50} ، T_{75} ، T_{100} و T_{125}) و همچنین آبیاری جویچه‌ای بود. با استفاده از داده‌های حاصل تابع تولید، هزینه و شاخص‌های آستانه‌ای مبتنی بر عمق آب آبیاری محاسبه و مقایسه شدند. نتایج نشان داد اگرچه آبیاری کامل حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای (تیمار T_{100}) و شاخص حداکثر تولید به ازای مقدار آب به کاررفته (W_m) منجر به بیشترین میزان عملکرد شد، نسبت به تیمارهای T_{75} و T_{50} اختلاف معنی‌دار نداشت. از طرفی مقدار شاخص عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w) به لحاظ مقدار آب مصرفی معادل تیمار T_{25} بود. علی‌رغم اینکه بیشترین درآمد خالص در واحد آب مصرفی از شاخص W_w به دست نیامد، باعث کاهش ۴۳ درصدی مصرف آب و در نتیجه کاهش ۲۱ درصدی عملکرد محصول و موجب افزایش عیار چغندر قند و کاهش هزینه‌های آبیاری شد. در مجموع نتایج نشان داد که از لحاظ اقتصادی کم آبیاری چغندر قند در شرایط اقلیمی شمال استان خوزستان امکان پذیر است.

کلید واژه‌ها: چغندر قند، کم آبیاری، عملکرد، شاخص‌های آستانه‌ای مصرف آب.

Autumn Sugarbeet Irrigation Water Optimization Basis of Yield and Cost Functions in North of the Khuzestan

M. Khorramian^{1*} and M. Hosseinpour²

1* - Assistant Professor Dezful Safiabad Agricultural Research Center, Department of Agricultural Engineering Research.

2- Assistant Professor Dezful Safiabad Agricultural Research Center, Department of Sugar Beet Seed Improvement.

Received: 4 May 2015

Accepted: 5 October 2015

Abstract

For optimization autumn sugarbeet irrigation water, an experiment was conducted at Safi-Abad Agricultural Research center in the years 2010 and 2011 with silty clay loam soil. The experiment was arranged in randomized complete blocks design with three replications. Tape irrigation levels (25, 50, 75, 100 and 125% of water requirement with T_{25} , T_{50} , T_{75} , T_{100} and T_{125} respectively) and furrow irrigation was conducted. Production, cost and water function and thresholds indexes basis of irrigation depth was compared and computed. Although full irrigation in field experiment (T_{100} treatment) and maximizing level of applied water index (W_m) had maximum yield, T_{100} treatment had not significant difference with T_{75} and T_{50} treatments. On the other hand irrigation water application depth in water limited condition (W_w) was almost equal to minimum rate of water application, T_{25} treatment. Although W_w index had not maximum net benefit per unit of irrigation water, caused to decrease 43 percent consumed water and 21 percent of root yield and caused to increase sugarcane content and decrease irrigation costs. The results showed that in a view economic deficit irrigation in North of Khuzestan climatic conditions was applicable.

Keywords: Sugarbeet, Deficit irrigation, Yield, Thresholds consumed water indexes.

مقدمه

تولید محصولات کشاورزی وابسته به نهاده‌هایی نظیر آب، زمین، کود، آفت‌کش‌ها و خاک‌ورزی است که بایستی به طرز صحیحی مدیریت شوند تا حاصل آن از نظر کمی و کیفی قابل عرضه به بازار باشد. محدود نبودن برخی از این منابع در دهه‌های قبل، مدیران را به توسعه و کشاورزان را به استفاده بیشتر از این منابع برای افزایش تولید تشویق می‌نمود. حتی مبنای طراحی سیستم‌های آبیاری در کتاب‌های معتبر موجود بر اساس آبیاری کامل تدوین شده است. رشد جمعیت، توسعه شهرنشینی، بهبود بهداشت عمومی و توسعه صنعت، از یک طرف و خشکسالی‌ها و نیاز به افزایش تولیدات کشاورزی از طرف دیگر موجب افزایش تقاضا برای آب شیرین و در نتیجه فشار مضاعف به منابع محدود آب کشور شده است. بنابراین استفاده از شیوه‌های کم آبیاری از قبل طراحی شده و ترویج مفهوم بهره‌وری آب آبیاری در تولید محصولات کشاورزی به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب، یک روش عملی و رایج در نقاط مختلف دنیا برای نگهداری و استفاده بهینه از منابع آب است. چغندر قند یکی از منابع اصلی تولید شکر است که آب مصرفی آن در نقاط مختلف دنیا بین ۵۵۰ تا ۲۱۰۰ میلی‌متر متغیر است (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۸۷؛ پچیک و همکاران^۱، ۲۰۱۱؛ ساهین و همکاران^۲، ۲۰۱۴). این گیاه به دامنه وسیعی از شرایط اقلیمی سازگار است و به محض استقرار، به شوری متحمل بوده و در تنش آبی ملایم، می‌تواند عملکرد اقتصادی تولید کند (وامرالی و همکاران^۳، ۲۰۰۹). پاییزه بودن کشت چغندر قند در استان خوزستان سبب می‌شود که این محصول حداکثر استفاده را از بارندگی‌های فصل زمستان به عمل آورده و بسته به شرایط بارش در حدود دو تا سه ماه نیازی به انجام آبیاری نباشد. الگوی کاشت روی مقدار آب مصرفی و کارایی مصرف آب مؤثر است به طوری که استفاده از فواصل ۹۰ سانتی‌متری جویچه‌ها از یکدیگر با دو ردیف کاشت چغندر قند بر روی پشته و همچنین فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر با آبیاری یک در میان جویچه‌ها در شرایط اقلیمی شمال خوزستان باعث بهبود کارایی مصرف آب می‌شود (حسین پور و همکاران، ۱۳۸۱). برخی محققان اقتصاد کم آبیاری را در شرایط خاص تجزیه و تحلیل نموده و نتیجه گرفتند که با این شیوه می‌توان درآمد خالص مزرعه را افزایش داد به طوری که پتانسیل منافع کم آبیاری از طریق افزایش راندمان مصرف آب و کاهش هزینه‌ها به دست می‌آید (یونتز^۴، ۲۰۱۱). تحقیقات انجام شده در خصوص کاربرد کم آبیاری در زراعت چغندر قند حاکی از واکنش مثبت این گیاه به کم آبیاری است. به طوری که اعمال آن در کشت بهار چغندر قند باعث افزایش کیفیت و کاهش مواد مضره ریشه چغندر قند شده

است (محمودی و همکاران^۵، ۲۰۰۸). آبیاری قطره‌ای چغندر قند یک روش مؤثر در افزایش تولید و سود بالا از طریق کاهش هزینه‌های عوامل تولید در مقایسه با آبیاری سطحی و بارانی است (البیراک و همکاران^۶، ۲۰۱۰). با اعمال کم آبیاری و یا استفاده از فناوری خشکی موضعی ناحیه ریشه^۷ (سپاسخواه و احمدی^۸، ۲۰۱۰؛ ساهین و همکاران، ۲۰۱۴) در این شیوه آبیاری می‌توان بهره‌وری آب آبیاری را افزایش و توابع عملکرد را به دست آورد. اعمال کم آبیاری کنترل شده چغندر قند با استفاده از آبیاری قطره‌ای نشان داد که بین مقادیر مختلف آب مصرفی از نظر تأثیر بر مقدار تولید کل و شاخص‌های کیفی تفاوت معنی‌دار وجود نداشت، در حالی که از نظر کارایی مصرف آب نسبت به حجم کل آب، تفاوت بسیار معنی‌داری وجود داشت، به طوری که دامنه آن بین ۱۷۰-۱۳۰ کیلوگرم بر میلی‌متر بود (فابریو و همکاران^۹، ۲۰۰۳). پچیک و همکاران (۲۰۱۱) عکس العمل چغندر قند به تنش آب را با تعیین فاکتور عکس العمل گیاه (k_y) مشخص کرده و نشان دادند که حساسیت چغندر قند نسبت به تنش آب در حد متوسط (k_y = ۰/۴۵) است. توپاک و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۱) در آنتالیای ترکیه اثر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای را بر عملکرد، کیفیت و کارایی مصرف آب چغندر قند بررسی نمودند. این محققان آبیاری کامل را بر مبنای تخلیه ۵۰ تا ۵۵ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق مؤثر ریشه قرار داده و ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد آن را به عنوان تیمارهای کم آبیاری در نظر گرفتند. نتایج نشان داد که افزایش کم آبیاری باعث کاهش عملکرد ریشه و شکر سفید شد. به صورت مشابهی کارایی مصرف آب در حالت تامین ۲۵ درصد آب قابل استفاده بیشترین و در آبیاری کامل کمترین بود. این مطالعات نشان داد که کارایی مصرف آب در تیمار ۷۵ درصد تامین رطوبت تخلیه شده به صورت معنی‌دار افزایش یافته و فقط باعث کاهش شش درصدی سود خالص شد. نتایج این محققان نشان داد که مقدار فاکتور عکس العمل برای چغندر قند حدود ۰/۹۳ است. مشابه همین نتایج توسط یونتز (۲۰۱۱) گرفته شد. وی نشان داد که عملکرد ریشه چغندر قند برای آبیاری کامل بیشترین و کاهش ۲۵ درصد مقدار آب آبیاری تغییر معنی‌دار در مقدار شکر تولیدی نداشت. ساهین و همکاران (۲۰۱۴) در ترکیه عملکرد و کارایی مصرف آب چغندر قند را برای دو روش خیس‌شدگی کامل ناحیه ریشه و خشکی موضعی ناحیه ریشه با فواصل آبیاری II=۴ و I=۸ روز و سه سطح آبیاری حاصل از تغییر ضریب تشنگی تبخیر مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که کارایی مصرف آب آبیاری در شیوه خشکی موضعی ناحیه ریشه تا ۳۴/۹ درصد نسبت به خیس‌شدگی کامل ناحیه ریشه افزایش یافت. علی‌رغم

5 - Mahmoodi et al.

6 - Albayrak et al.

7 - Partial Root zone Drying

8 - Sepaskhahet al.

9 - Fabrio et al.

10 - Topak et al.

1- Pejic et al.

2- Sahin et al.

3- Vamerli et al.

4- Yontz

سطح زیر کشت و همچنین ایجاد سناریوهای مختلف تولید محصول به ازای آب مصرفی به صورت اعمال سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای انجام شده است. استفاده از آبیاری قطره‌ای تیپ چغندر قند علاوه بر کاهش مصرف آب، داده‌های دقیقی در رابطه با آب مصرفی و عملکرد و عیار قند تولیدی برای محاسبه توابع تولید و هزینه ایجاد می‌کند.

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر طی دو سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در یک قطعه زمین یکنواخت در مرکز تحقیقات کشاورزی صفی آباد انجام شد. جدول (۱) میانگین برخی پارامترهای هواشناسی ثبت شده در ایستگاه هواشناسی صفی آباد (محل اجرای طرح) را در فاصله زمانی کاشت تا برداشت چغندر برای دو سال متوالی نشان می‌دهد. پس از آبیاری زمین و گاورو شدن آن، عملیات آماده سازی بستر کاشت شامل شخم توسط گاواهن برگردان دار، دیسک و تسطیح صورت گرفت. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول (۲) آمده است. تیمارهای آبیاری قطره ای تیپ در پنج سطح تأمین ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی به همراه یک تیمار آبیاری جویچه‌ای برنامه ریزی شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد بررسی قرار گرفتند (شکل ۱). در روش آبیاری تیپ طول کرت‌ها ۴۰ متر در نظر گرفته شد. برای کاشت پشته‌هایی به فاصله ۹۰ سانتی‌متر احداث و با دستگاه شکل‌دهنده (شیپر) مسطح شد.

اینکه بیشترین عملکرد ریشه در تیمار خیس شدگی کامل ناحیه ریشه و دور آبیاری چهار روزه به مقدار ۳۷/۶ تن در هکتار حاصل شد، بیشترین کارایی مصرف آب آبیاری از تیمار خشکی موضعی ناحیه ریشه با دور آبیاری چهار روزه به مقدار ۱۷۳/۹ کیلوگرم در هکتار به ازای هر میلی‌متر آب مصرفی به دست آمد. بهینه سازی کم آبیاری بر اساس توابع تولید، هزینه و قیمت چغندر قند در کرج نشان داد که در شرایط آبیاری کامل بالاترین عملکرد ریشه تولید شد، ولی به دلیل کاهش عیار و افزایش هزینه‌ها، سود خالص کاهش یافت. در شرایط کم آبیاری با کاهش ۳۱/۳ درصد آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل اگرچه عملکرد محصول به میزان ۱۳/۸ درصد کاهش یافت، سود خالص نهایی تغییر معنی دار نداشت (توکلی و فرداد، ۱۳۷۵). بررسی توابع تولید، هزینه و قیمت چغندر قند در اصفهان نشان داد که کاهش ۴/۷ درصد در آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل منجر به کاهش عملکرد به مقدار ۰/۳ درصد و افزایش سود خالص به مقدار ۲۳/۴ درصد در واحد سطح شد، در حالی که کاهش ۲۱/۲ درصد در آب مصرفی نسبت به آبیاری کامل سبب کاهش ۶/۹ درصد در عملکرد و افزایش ۸۰ درصد در سود خالص به ازای واحد آب مصرفی شد (اکبری، ۱۳۷۷). با توجه به اینکه چغندر قند در بین گیاهان زراعی بیشترین مقدار کارایی مصرف آب را داشته (البیراک و همکاران، ۲۰۱۰) و هزینه‌های تولید و قیمت خرید آن نسبت به بقیه گیاهان مشخص است پژوهش حاضر با هدف تعیین تابع تولید، درآمد و هزینه و دستیابی به حداکثر سود در حالت کم آبیاری و امکان افزایش

جدول ۱- میانگین ماهانه برخی پارامترهای اقلیمی ایستگاه هواشناسی صفی آباد دزفول در دو سال مطالعه

| ماه | متوسط حداقل دما (°C) | | متوسط حداکثر دما (°C) | | بارندگی (mm) | | میزان تبخیر تجمعی (mm) | |
|----------|----------------------|---------|-----------------------|---------|--------------|---------|------------------------|---------|
| | سال اول | سال دوم | سال اول | سال دوم | سال اول | سال دوم | سال اول | سال دوم |
| مهر | ۱۹/۸ | ۱۹/۴ | ۳۸ | ۳۷/۶ | ۰ | ۰ | ۲۱۷/۵ | ۲۰۵/۴ |
| آبان | ۱۳/۴ | ۱۵/۸ | ۲۸/۳ | ۲۹/۹ | ۱۱/۷ | ۱۷/۶ | ۱۲۲ | ۱۴۰ |
| آذر | ۱۰/۷ | ۷/۲ | ۲۱/۲ | ۱۷/۸ | ۷۲/۸ | ۱۷/۸ | ۶۹/۵ | ۵۱ |
| دی | ۹/۴ | ۶/۶ | ۱۸/۵ | ۱۷/۳ | ۱۲۴ | ۱۲۴ | ۳۵/۶ | ۴۷/۶ |
| بهمن | ۷/۸ | ۵/۵ | ۱۹/۴ | ۱۶/۶ | ۲۱/۱ | ۱۶/۶ | ۶۴/۲ | ۶۳/۶ |
| اسفند | ۹/۶ | ۱۰/۹ | ۲۵ | ۲۲/۶ | ۱/۴ | ۲۲/۶ | ۱۱۲/۵ | ۱۱۵/۴ |
| فروردین | ۱۲ | ۱۲/۵ | ۲۶/۹ | ۲۹/۱ | ۲۳/۴ | ۲۹/۱ | ۱۵۳/۴ | ۱۸۲/۲ |
| اردیبهشت | ۱۸/۱ | ۱۹/۱ | ۳۴/۸ | ۳۶/۲ | ۳۰/۸ | ۳۶/۲ | ۲۴۲/۹ | ۲۶۷/۷ |
| خرداد | ۲۲/۵ | ۲۲/۸ | ۴۲/۸ | ۴۳/۳ | ۰ | ۴۳/۳ | ۳۹۶/۳ | ۴۰۴/۵ |

جدول ۲- متوسط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه قبل از اعمال تیمارها

| عمق خاک (سانتی متر) | OC (درصد) | EC _e (دسی زیمنس بر متر) | pH | درصد رطوبت وزنی | | جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب) |
|---------------------|-----------|------------------------------------|-----|-----------------|----|---|
| | | | | PWP | FC | |
| ۰-۳۰ | ۰/۶۷ | ۱/۱ | ۷/۵ | ۱۲ | ۲۲ | ۱/۶۵ |
| ۳۰-۶۰ | ۰/۵۲ | ۰/۸ | ۷/۴ | ۱۲ | ۲۲ | ۱/۷۰ |
| ۶۰-۹۰ | ۰/۴۵ | ۰/۸ | ۷/۳ | ۱۲ | ۲۲ | ۱/۶۸ |

PWP: رطوبت حد پژمردگی دائم، FC: ظرفیت زراعی، P^H: اسیدیته، EC: هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، OC: کربن آلی خاک

| | | | |
|-----------|------------------|------------------|------------------|
| تکرار اول | T ₁₂₅ | T ₁₀₀ | T ₅₀ |
| | T ₁₀₀ | T ₂₅ | T ₇₅ |
| | آبیاری جویچه‌ای | | |
| تکرار دوم | T ₇₅ | T ₁₂₅ | T ₂₅ |
| | آبیاری جویچه‌ای | | |
| | T ₅₀ | T ₇₅ | T ₁₂₅ |
| تکرار سوم | T ₂₅ | T ₅₀ | T ₁₀₀ |
| | آبیاری جویچه‌ای | | |
| | T ₁₂₅ | T ₇₅ | T ₂₅ |

شکل ۱- نقشه طرح

جدول ۳- آب مصرفی تیمارهای آبیاری قطره‌ای تیپ و بارندگی در طول فصل رشد (برحسب میلی‌متر)

| سال | تیمارهای آبیاری بر اساس درصدی از نیاز آبی گیاه | | | | | بارندگی موثر |
|-----------|--|-------|-------|-------|-------|--------------|
| | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | |
| ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۳۷۹/۴ | ۴۹۹/۶ | ۶۰۹/۶ | ۷۲۵/۲ | ۸۴۰/۱ | ۲۰۰/۲ |
| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۴۴۰/۴ | ۵۷۵/۵ | ۶۹۵/۳ | ۸۳۳ | ۹۵۰/۵ | ۲۷۷/۲ |
| متوسط | ۴۰۹/۹ | ۵۲۷/۵ | ۶۵۲/۴ | ۷۷۹/۱ | ۸۹۵/۳ | ۲۳۸/۷ |

WSC تیپ سه نصب شد. بوته‌های روی ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از یکدیگر در مرحله ۶-۴ برگ چغندر قند تنک شدند. عملیات تزریق کود در دو نوبت و هر نوبت به میزان ۹۰ کیلوگرم در هکتار صورت گرفت. به این صورت که پس از انجام عملیات تنک، کود نیتروژن (۹۰ کیلوگرم در هکتار) از منبع اوره در آب حل و در دو نوبت در کلیه تیمارهای قطره‌ای تزریق و در روش آبیاری سطحی به همراه آب آبیاری وارد جویچه‌ها شد. در انتهای دوره رشد از هر کرت تعداد شش نمونه، دو خط کاشت به طول پنج متر، برداشت و وزن ریشه و درصد قند ریشه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه تابع هزینه، هزینه‌های ثابت تولید در یک هکتار برای سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ شامل گاوآهن، دیسک، ایجاد جویچه، بذرکاری، سمپاشی حشره‌کش، سمپاشی علف‌کش، کودپاشی مایع با سمپاش، کولتیواتور، لیلیسون، فارو بلمی، کودپاشی، چاپر، تاپر، طوقه‌زن چغندر قند و کمباین یک تنی از کارخانه قند گرفته شد. هزینه آب بها بر اساس آب شبکه به صورت حجمی، به ازاء هر مترمکعب ۱۲۰ ریال و هزینه حمل تا کارخانه به ازاء هر کیلوگرم ۱۶۰ ریال و پنج درصد مجموع هزینه‌ها به عنوان هزینه‌های متفرقه در نظر گرفته شد. سپس شاخص‌های نسبت درآمد ناخالص به هزینه کل، میزان آب صرفه جویی شده نسبت به آبیاری کامل، سود خالص در واحد سطح (ریال در هکتار)، مقدار سطح زیر کشت افزایش یافته با آب صرفه‌جویی شده و کل درآمد خالص با امکان افزایش سطح زیر کشت در مقایسه با آبیاری کامل محاسبه شدند (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵).

فاصله خطوط کاشت چغندر قند ۵۰-۴۰ سانتی‌متر (۴۰ سانتی‌متر روی پشته و ۵۰ سانتی‌متر بین دو پشته) بود. برای کاشت از بذر منورژم رقم رسول استفاده شد. پس از کاشت نوارهای تیپ بر روی پشته و بین دو ردیف کاشت، به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هر خط کاشت قرار داده شد. دور آبیاری برای کلیه سطوح آبیاری قطره‌ای تیپ ثابت بود، اما اعمال تیمارهای مختلف بر اساس مقدار آب مصرفی در هر نوبت صورت گرفت. برای محاسبه مقدار آب مورد نیاز گیاه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده‌های روزانه و براساس روش تشتک تبخیر محاسبه و سپس با اعمال ضریب گیاهی چغندر قند (K_c)، پتانسیل نیاز آبی چغندر قند تعیین و با فرض راندمان ۹۰ درصد و براساس دور آبیاری سه تا چهار روزه و با توجه به سطوح آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت (آلن و همکاران، ۲۰۰۰). هدف استفاده از آبیاری قطره‌ای تیپ، تعیین رابطه دقیق بین آب مصرفی و عملکرد و عیار قند تولیدی برای محاسبه توابع تولید و هزینه بود. با توجه به اینکه در ابتدای دوره رشد زمین کاملاً خشک بود سیستم تا زمان سبز شدن بوته‌ها سه مرتبه در هر روز و به مدت سه ساعت روشن باقی گذاشته شد. در آبیاری جویچه‌ای پارامترهای نفوذ آب در خاک اندازه‌گیری و با استفاده از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا زمان قطع آب محاسبه و اعمال شد (والکر و اسکوگر بو، ۱۹۸۷). دور آبیاری سطحی بر اساس ۱۰۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر موجود در ایستگاه هواشناسی در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری حجم آب ورودی و خروجی از جویچه‌ها در ابتدا و انتهای هر تکرار دو عدد فلوم

1- Allen et al.
2- Walker and Skogerboe

جدول ۴ - مشخصات فنی تیمار آبیاری جویچه ای کامل

| سال | ورودی (میلی متر) | رواناب (میلی متر) | آب نفوذ یافته (میلی متر) | رواناب (درصد) | شیب زمین (درصد) | بازده آبیاری (درصد) |
|-----------|---------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|--------------------|------------------------|
| ۱۳۸۸-۱۳۸۹ | ۱۳۲۳/۷ | ۲۷۳/۶ | ۱۰۵۰/۱ | ۲۱ | ۰/۷ | ۵۷ |
| ۱۳۸۹-۱۳۹۰ | ۱۳۸۱/۹ | ۱۴۶ | ۱۲۳۵/۹ | ۱۰/۵ | ۰/۹ | ۵۳ |
| متوسط | ۱۳۵۲/۸ | ۲۰۹/۸ | ۱۱۴۳ | ۱۵/۷۵ | ۰/۸ | ۵۵ |

جدول ۵ - خلاصه تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) صفات کمی و کیفی چندر قند

| منابع تغییرات | درجه آزادی | عملکرد ریشه | عملکرد شکر | کارایی مصرف آب ریشه | کارایی مصرف آب شکر | درصد قند |
|---------------|------------|---------------------|--------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|
| سال | ۱ | ۷۰۹۰** | ۲۸۳/۲** | ۴۲۲/۸** | ۰/۶۹** | ۱۵۲/۱** |
| آبیاری | ۴ | ۳۴۶/۳* | ۱/۸۸ ^{ns} | ۱۱۶/۳** | ۲/۲۱** | ۲/۱۹ ^{ns} |
| سال * آبیاری | ۴ | ۲۱/۴۴ ^{ns} | ۰/۶۵ ^{ns} | ۹/۹۶* | ۰/۰۶* | ۰/۲۶ ^{ns} |
| ضرب تغییرات | | ۱۱/۴ | ۴/۷ | ۱۲/۳ | ۱۱/۶ | ۴/۱ |

نتایج و بحث

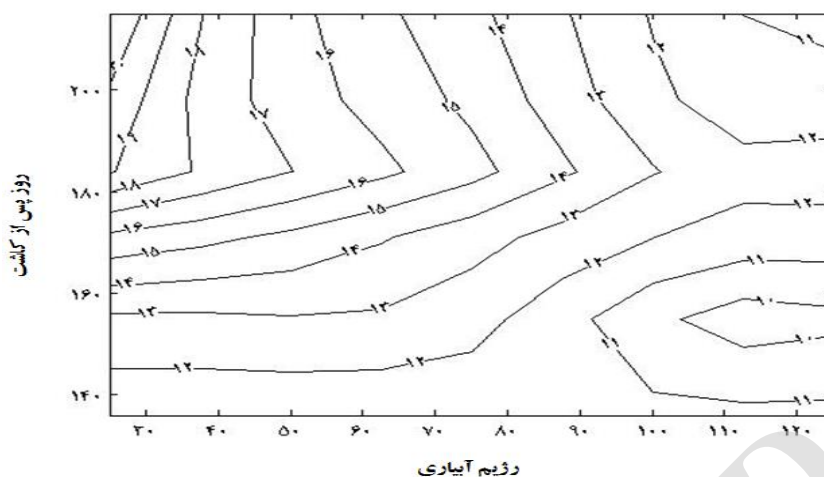
حجم آب مصرفی

تعداد نوبت آبیاری قطره‌ای تیپ در سال اول و دوم به ترتیب ۲۰ و ۱۸ نوبت و حجم آب مصرفی مجموع این آبیاری‌ها در سطوح مختلف بین ۳۷۹ تا ۹۵۰ میلی متر متغیر بود (جدول ۳). مجموع مقدار آب مصرفی در دو آبیاری اول که برای سبز شدن بذر انجام شد برای سال اول و دوم به ترتیب ۱۳۹/۷ و ۱۹۴/۱ میلی متر بود که در مقایسه با آبیاری‌های بعدی رقم قابل ملاحظه‌ای را به خود اختصاص داد. لزوم مرطوب نگه داشتن محل قرارگیری بذر و استفاده از یک نوار تیپ برای دو ردیف کاشت دو عامل عمده مصرف بالای آب در ابتدای کشت است. مقدار مصرف آب در تمام تیمارهای سال دوم اندکی بیش از تیمارهای سال اول است که این امر به دلیل بالا بودن مقدار تبخیر در سال دوم بوده است (جدول ۱ و ۳). میزان آب مصرفی در روش جویچه‌ای در حالت آبیاری کامل به دلیل تلفات آب به صورت نفوذ عمقی و رواناب و در نتیجه پایین

بودن بازده آبیاری بالاتر از روش قطره‌ای اندازه‌گیری شد (جدول ۴). اختلاف مقدار آب ورودی در دو سال آزمایش به دلیل تفاوت در شیب مزرعه و شرایط اقلیمی متفاوت در دو سال مورد مطالعه است. در مجموع می‌توان گفت که مجموع آب مصرفی چندر قند منطبق با مناطق گرم و خشک جهان نظیر بخش‌هایی از آمریکا و نواحی مدیترانه با مصرف آب در حدود ۱۰۰۰-۵۰۰ میلی متر است (دانهام و همکاران^۱، ۱۹۹۳). مطالعه دیگر روی کشت پاییزه چندر قند با کاربرد ۷۰۰ میلی متر آب در طول فصل رشد حداکثر عملکرد شکر را به دست آورد (کاوازا و همکاران^۲، ۱۹۷۶). این مقدار حد واسط بین تیمارهای ۷۵ و ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه می‌باشد.

1- Dunham et al.
2- Cavazza et al.

خرمیان و حسین پور: بهینه‌سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندر قند بر اساس...

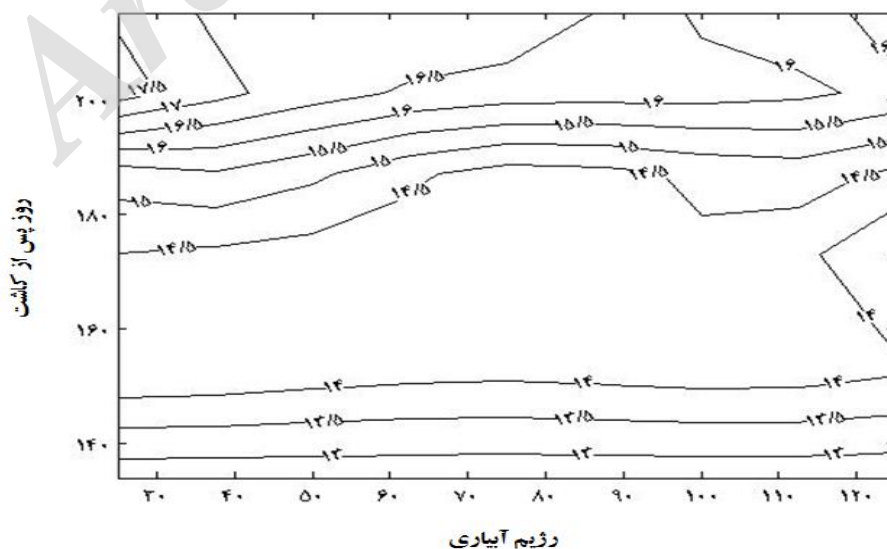


شکل ۲- کارایی مصرف آب ریشه چغندر قند بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب در مراحل رشد و سطوح مختلف آبیاری

جدول ۶- مقایسه میانگین تیمارهای آبیاری برای صفات کمی و کیفی چغندر قند*

| تیمار | عملکرد ریشه (t/ha) | عملکرد شکر (t/ha) | کارایی مصرف آب ریشه (kg/m ³) | کارایی مصرف آب شکر (kg/m ³) | درصد قند |
|-------------------|--------------------|-------------------|--|---|----------|
| قطره ای ۲۵ درصد | ۷۶b | ۱۰/۵a | ۱۸/۷a | ۲/۶a | ۱۶/۴a |
| قطره ای ۵۰ درصد | ۷۱/۲ab | ۱۰/۲a | ۱۴/۶b | ۱/۹b | ۱۵/۹ab |
| قطره ای ۷۵ درصد | ۷۷/۹a | ۱۰/۶a | ۱۲/۲b | ۱/۶b | ۱۵/۸ab |
| قطره ای ۱۰۰ درصد | ۸۲/۱ a | ۱۰/۷ a | ۱۰/۹ c | ۱/۴ c | ۱۵/۴ab |
| قطره ای ۱۲۵ درصد | ۸۳/۴a | ۱۰/۵a | ۹/۴c | ۱/۲c | ۱۵b |
| آبیاری جویچه ای** | ۸۳/۱a | ۹/۳ a | ۶/۱d | ۰/۶۹d | ۱۳/۹c |

*: در هر ستون اعدادی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند تفاوتی با یکدیگر ندارند. **: به صورت مستقل تجزیه و تحلیل شده است.



شکل ۳- درصد قند ریشه چغندر قند در مراحل مختلف رشد و سطوح مختلف آبیاری

عملکرد - آب مصرفی

درصد مقدار آب مصرفی می‌توان کارایی مصرف آب ریشه و درصد قند ریشه را تخمین زد.

تابع تولید

نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی و میزان عملکرد را می‌توان در قالب تابع تولید، رابطه ریاضی عملکرد ریشه - آب آبیاری، نشان داد (معادله ۱). در این معادله، W : عمق آب مصرفی حاصل از بارش و آبیاری (بر حسب سانتی‌متر) و $Y(W)$: عملکرد ریشه چغندر قند بر حسب کیلوگرم در هکتار و a_1 ، b_1 و c_1 : ضرایب تابع تولید است که از روش حداقل مربعات به دست می‌آیند (شکل ۴). معادله (۲) تابع تولید ریشه چغندر قند برای داده‌های دو سال متوالی اجرای آزمایش می‌باشد. باید توجه داشت که عملکرد تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر اقلیم، نوع سامانه آبیاری، آرایش کاشت، تاریخ کاشت و رقم می‌باشد. در نتیجه تابع تولید یاد شده فقط یک برآورد از رابطه واقعی است. از این رو لازم است که تابع تولید با توجه به شرایط اقلیمی خاص منطقه محاسبه شود:

$$Y(W) = a_1 + b_1W + c_1W^2 \quad (1)$$

$$Y(W) = -12.48 + 1.76W - 0.0082W^2 \quad (2)$$

تابع هزینه تولید بر مبنای آب کاربردی

رابطه آب مصرفی با میزان هزینه‌های انجام یافته را تابع هزینه تولید بر مبنای آب کاربردی ($C(W)$) گویند. برای محاسبه آن مجموع هزینه‌های ثابت، هزینه آب و هزینه حمل و نقل لحاظ شده و به آن هزینه‌های متفرقه و کارمزد سرمایه در گردش به صورت درصدی از هزینه‌های کل اضافه می‌شود. با توجه به اینکه قسمتی از هزینه تابعی از مقدار آب آبیاری و عملکرد تولیدی است، تابع هزینه با رابطه (۳) مشخص می‌شود. ضرایب این معادله در مطالعه حاضر در معادله (۴) آورده شده است. در این معادله، W : مجموع عمق آب آبیاری و بارش (بر حسب سانتی‌متر) است:

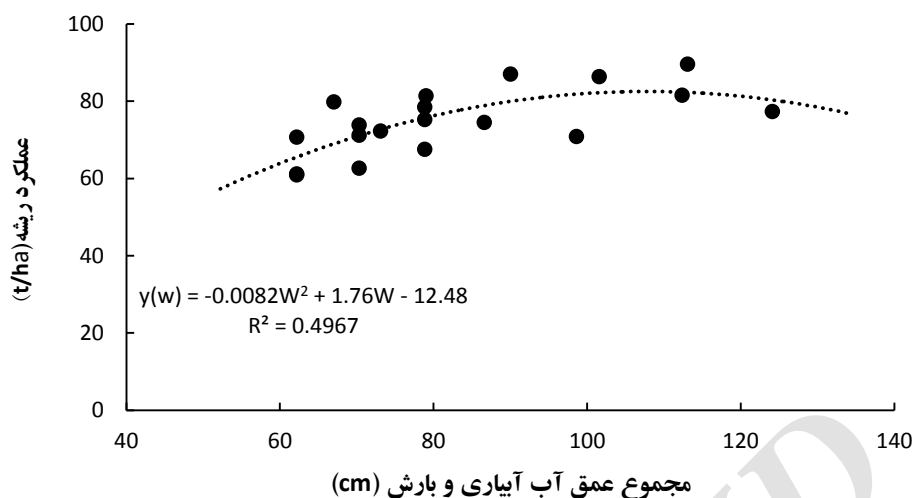
$$C(W) = a_2 + b_2W + c_2W^2 \quad (3)$$

$$C(W) = 29412001.5 + 23911.5W - 96.4W^2 \quad (4)$$

نتایج به‌دست آمده نشان داد که بین سال‌های اجرای آزمایش از نظر بسیاری از صفات کمی و کیفی چغندر قند تفاوت معنی‌دار وجود داشت. مقادیر آبیاری صفات عملکرد ریشه را در سطح احتمال خطای پنج درصد و شاخص‌های کارایی مصرف آب ریشه و شکر را در سطح احتمال خطای یک درصد به طور معنی‌دار تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۵). بین سطوح آبیاری قطره‌ای و آبیاری جویچه‌ای از نظر عملکرد ریشه، شکر، کارایی مصرف آب ریشه و شکر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (جدول ۶). افزایش مصرف آب از ۷۷/۹ سانتی‌متر در تیمار تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی در روش قطره‌ای (جدول ۳) به ۱۳۵/۳ سانتی‌متر در روش آبیاری جویچه‌ای (جدول ۴) تنها باعث افزایش عملکرد ریشه به مقدار یک تن در هکتار شد، در حالی که کارایی مصرف آب ریشه و شکر به ترتیب به مقدار ۷/۴ و ۰/۸۸ کیلوگرم به ازای مصرف هر مترمکعب کاهش یافت. در بین سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای تیمار تامین ۷۵ درصد نیاز آبی با تولید ۷۷/۹ تن در هکتار ریشه و قرار گرفتن در یک سطح آماری با تیمار ۱۰۰ درصد و به دلیل بالاتر بودن کارایی مصرف آب آن در تولید ریشه و شکر قابل توصیه است (جدول ۶). مطالعه دیگر نشان داد که تامین ۷۵ درصد نیاز آبی به روش قطره‌ای از نظر عملکرد مشابه تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی به روش بارانی است (توقتی و همکاران، ۲۰۰۳).

کارایی مصرف آب ریشه چغندر قند و همچنین درصد شکر تولیدی در مراحل مختلف رشد و در سطوح مختلف آبیاری متفاوت بوده و با نزدیک شدن به انتهای دوره رشد این مقادیر افزایش یافت. شکل (۲) نتایج اندازه‌گیری کارایی مصرف آب در مراحل مختلف رشد چغندر قند است که به صورت منحنی‌های هم سطح برای مقادیر مختلف آب آبیاری و زمان تجمع پس از کاشت ترسیم شده است. با ملاحظه این شکل مشاهده می‌شود که با نزدیک شدن به انتهای دوره رشد گیاه وزن غده و کارایی مصرف آب افزایش و با افزایش مصرف آب آبیاری (قست سمت راست نمودار) مقدار کارایی مصرف آب کاهش یافته است. در مجموع بیشترین کارایی مصرف آب زمانی است که غده چغندر قند با مقادیر کم آب مراحل رشد را سپری کرده باشد (شکل ۱). شکل (۳) نتایج درصد قند ریشه در مراحل مختلف رشد و سطوح مختلف آبیاری را به صورت منحنی‌های هم سطح نشان می‌دهد. با مراجعه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که با تکمیل شدن دوره رشد گیاه درصد قند افزایش یافته است (جهت عمودی) حال آن که تغییرات درصد قند برای سطوح مختلف آبیاری تقریباً ناچیز است. نتایج بررسی آزمایش‌های مختلف در انگلستان نشان داد که آبیاری اثر اندکی بر درصد قند دارد (دریکات، ۱۹۷۶). یکی از محاسن این دو نمودار این است که در هر تاریخی از رشد گیاه و با داشتن

خرمیان و حسین پور: بهینه‌سازی آب آبیاری کشت پاییزه چغندر قند بر اساس...



شکل ۴- تابع تولید چغندر قند در شرایط اقلیمی شمال استان خوزستان

$$P_C = \frac{Pol. - 3}{13} \times P_{C16} \quad 10 \leq Pol \leq 24 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} P_C &= (0.155Pol. - 1.325)P_{C16} & 10 < Pol < 15 \\ P_C &= (0.065Pol. - 0.025)P_{C16} & 15 \leq Pol < 20 \\ P_C &= 1.325P_{C16} & Pol \geq 20 \end{aligned} \quad (6)$$

تابع قیمت

خرید چغندر قند در ایران بر مبنای عیار و برای چغندر قند کشت بهاره و پاییزه در دامنه عیار ۱۰ تا ۲۴ درصد از رابطه خطی به صورت معادله (۵) انجام می‌شود.

در رابطه فوق، P_{C16} : قیمت پایه چغندر قند با عیار ۱۶ درصد و Pol : عیار چغندر قند بر حسب درصد است. در این فرمول فرض بر این است که مقدار ضایعات مجاز شکر در کارخانه‌ها معادل سه درصد و راندمان تجاری استحصال شکر برابر ۱۳ درصد است. نتایج بررسی‌های انجام شده در کارخانه‌های قند کشور نشان داد که میانگین ضایعات قندی کشور معادل ۳/۸۶ درصد (عبداللهیان نوقابی و همکاران، ۱۳۸۸). بنابراین ضایعات گزارش شده توسط کارخانه‌های قند با آنچه در فرمول فوق فرض شده است، تفاوت دارد. از این رو روش جدید محاسبه قیمت هر تن چغندر قند پاییزه خوزستان با توجه به درصد قند به صورت رابطه (۶) ارائه شده است (عبداللهیان نوقابی و همکاران، ۱۳۸۸).

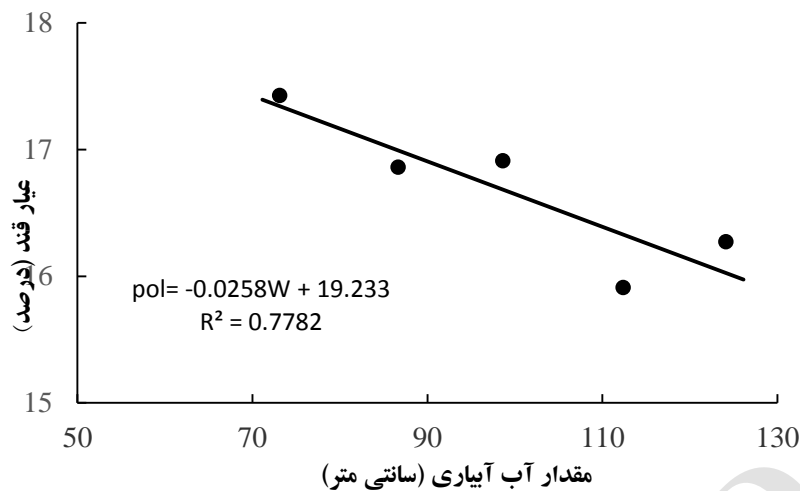
با استناد به مطالب فوق می‌توان نتیجه گرفت که چغندر قند گیاهی است که بر اساس کیفیت آن (عیار قند) توسط کارخانجات قند خریداری می‌شود. بنابراین با توجه به پایین بودن کیفیت چغندر قند پاییزه نسبت به بهاره رابطه (۶) برای تصحیح رابطه (۵)

پیشنهاد شده است تا سهم کیفیت در محاسبه قیمت به واقعیت نزدیک‌تر شود. در این مطالعه محاسبات بر مبنای قیمت پایه چغندر قند در سال ۱۳۹۲، یعنی ۱۶۵۰ ریال برای هر کیلوگرم ریشه، در نظر گرفته شده است. با استفاده از داده‌های این مطالعه میزان آب مصرفی در تیمارهای مختلف نسبت به عیار قند حاصله ترسیم شد (شکل ۵). شکل (۵) نشان می‌دهد که با افزایش آب مصرفی میزان عیار قند به صورت خطی کاهش یافته است. این نتیجه با نتایج سایر محققان در مناطق دیگر ایران مطابقت دارد (جدول ۷). لذا در مجموع می‌توان نوشت که:

$$P_C(W) = (a_3 + b_3W)P_{C16} \quad (7)$$

به عبارت دیگر با فرض اینکه درصد قند چغندر قند بین ۱۵ تا ۲۰ باشد آنگاه تابع قیمت با توجه به رابطه حاصل از شکل (۵) در شرایط استان خوزستان به صورت زیر است:

$$P_C(W) = (19.23 - 0.0258W)P_{C16} \quad (8)$$



شکل ۵- رابطه بین درصد قند و مقدار آب آبیاری در شرایط اقلیمی خوزستان

جدول ۷- مقایسه رابطه بین آب مصرفی و عیار قند برای برخی از مناطق ایران

| معادله | منطقه | ضریب تبیین | مرجع |
|-------------------------|--------|------------|-----------------------|
| Pol. = 18.991 - 0.0216W | کرج | ۰/۹۷۸ | (توکلی و فرداد، ۱۳۷۵) |
| Pol. = 18.839 - 0.0718W | اصفهان | ۰/۸۵۴ | (اکبری، ۱۳۷۷) |
| Pol. = 19.23 - 0.0258W | دزفول | 0.778 | (تحقیق حاضر) |

۳- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب (W_w)

رابطه (۱۳) معادله عمومی عمق آب مصرفی در حالت محدودیت کمبود آب است که به شکل رابطه (۱۴) قابل استفاده است.

رابطه (۱۵) حاصل جایگزینی ضرایب توابع آب، هزینه و قیمت در رابطه (۱۴) می باشد:

$$w \left[P_c \frac{\partial y(w)}{\partial(w)} - \frac{\partial c(w)}{\partial w} \right] = P_c y(w) - c(w) \quad (13)$$

$$b_3 C_1 P_{c16} W_w^3 + (a_3 C_1 P_{c16} - C_2) W_w^2 - b_3 a_1 P_{c16} W_w + (a_2 - a_3 a_1 P_{c16}) = 0 \quad (14)$$

$$22.66 W_w^3 - 15004.4 W_w^2 - 34538.3 W_w + 52242523 = 0 \quad (15)$$

۴- عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین

(W_{el})

در این حالت سود خالص ناشی از این عمق با سود خالص ناشی از آبیاری کامل (W_m) برابر در نظر گرفته شده است (معادله ۱۶). با حل رابطه ۱۶ رابطه نهایی (۱۷) بدست می آید: ضرایب k_1 تا k_4 ترکیبی از ضرایب تابع های تولید، هزینه و قیمت است که با جایگزینی آنها رابطه (۱۸) حاصل شده است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵). به دلیل طولانی بودن ضرایب یاده شده از ارائه آنها صرف نظر شده است.

بهبود سازی مصرف آب آبیاری

پس از تعیین توابع تولید، هزینه و قیمت فروش، شاخص های آستانه ای عمق آب مصرفی چغندر قند با استفاده از روابط زیر قابل محاسبه است (سپاسخواه و همکاران، ۱۳۸۵):

۱- عمق آبیاری کامل (W_m)

این عمق از حداکثر سازی تابع تولید (رابطه ۳) به دست می آید:

$$W_{m} = -\frac{b_1}{2C_1} \quad (9)$$

۲- عمق آب مصرفی در حالت محدودیت زمین W_L

در حالتی که عامل محدود کننده سطح زیر کشت باشد، از معادله (۱۰) استفاده می شود.

$$P_c \frac{\partial y(w)}{\partial(w)} = \frac{\partial c(w)}{\partial w} \quad (10)$$

روابط ۱۱ و ۱۲ نتایج نهایی حل این معادله را نشان می دهند

$$W_L = \frac{-(2C_2 - 2a_3 C_1 - b_1 b_3 P_{c16}) + Z_1}{4b_3 C_1 P_{c16}} \quad (11)$$

$$Z_1 = \left((2a_3 C_1 + b_1 b_3) P_{c16} - 2C_2 \right)^2 - 0.5 \left(8b_3 C_1 P_{c16} (a_3 b_1 P_{c16} - b_2) \right) \quad (12)$$

محاسبه و ریشه حقیقی به عنوان عمق آب در نظر گرفته شد (جدول ۸). با توجه به مقادیر جدول (۸) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین میزان عملکرد چغندر قند حدود ۸۲ تن در هکتار است که در دو حالت آبیاری کامل و محدودیت زمین به دست آمده است. از طرفی کاهش ۴۳ درصدی مصرف آب (شاخص سوم در جدول ۸) باعث شده تا مقدار عملکرد محصول با ۲۱ درصد کاهش به ۶۰/۷ تن در هکتار برسد. این در حالی است که نسبت سود به هزینه، حدود ۲/۹، تنها شش درصد کمتر از آبیاری کامل باشد. زیرا علی‌رغم کاهش عملکرد، مقدار درصد قند (ستون ۳ جدول ۸) نسبت به حالت آبیاری کامل افزایش یافته و مقدار شکر تولیدی (ستون ۴ جدول ۸) تحت تأثیر قرار گرفته است. اعمال کم‌آبیاری منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که در حالت معمول استفاده از کم‌آبیاری و کاهش مصرف آب در هر نوبت آبیاری علاوه بر افزایش بازده آبیاری و کارایی مصرف آب (جدول ۴ و شکل ۱) می‌تواند آب بیشتری حاصل از بارندگی را در خاک ذخیره نموده و بارندگی مؤثر افزایش یابد. نتایج مشابهی توسط توکلی و فرداد (۱۳۷۵) در کرج و اکبری (۱۳۷۷) در اصفهان گرفته شده است، با این تفاوت که عمق آب محاسبه شده در حالت W_L حدود ۱۰ سانتی‌متر کمتر از W_m است. علت این اختلاف احتمالاً به تفاوت در نوع اقلیم و پاییزه بودن کشت در شمال خوزستان نسبت به بقیه مناطق کاشت چغندر قند در ایران مربوط می‌شود. کاهش مقدار آب آبیاری از حالت آبیاری کامل به مقادیر ۴۳۰ و ۲۹۰ میلی‌متر (شاخص های W_{ew} و W_{el}) موجب کاهش عملکرد چغندر قند به مقادیر حدود ۴۸ و ۳۱ تن در هکتار شده است. به عبارت دیگر کاهش ۶۰ و ۷۳ درصدی مقدار آب مصرفی باعث کاهش ۴۱ و ۶۱ درصد مقدار عملکرد و کاهش به ترتیب ۲۲ و ۴۵ درصدی نسبت سود به هزینه شده است. مقدار آب مصرفی در هر یک از این دو حالت در محدوده مقدار بارش سالانه در شمال خوزستان است. به عبارت دیگر در صورت داشتن بارندگی بیشتر از ۲۹۰ میلی‌متر با توزیع مناسب می‌توان چغندر قند پاییزه را با کمترین مصرف آب تولید نمود. نتایج تحقیقات در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که هر چه مقدار و توزیع بارندگی منطقه بالا باشد مقدار عملکرد ریشه افزایش خواهد یافت. این نتایج منطبق بر نتایج مطالعات انجام یافته در فلسطین اشغالی است (ریمون و همکاران^۱، ۱۹۷۶). اعمال سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای در کشت پاییزه چغندر قند در فلسطین اشغالی (دامنه ۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر مکعب در هکتار) نشان داد که از نظر خصوصیات کیفی بین مقادیر مختلف آب اختلاف معنی‌دار وجود ندارد و چنانچه بارندگی‌های زمستانه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه را تا حد ظرفیت مزرعه افزایش دهد برای به دست آوردن ۱۰ تن شکر در هکتار در بهار نیازی به انجام آبیاری نمی‌باشد.

$$\begin{aligned} P_{C(w_{el})}y(w_{el}) - c(w_{el}) = \\ P_{C(w_m)}y(w_m) - c(w_m) \end{aligned} \quad (16)$$

$$K_1 W_{el}^3 + K_2 W_{el}^2 - K_3 W_{el} + K_4 = 0 \quad (17)$$

$$22.66 W_{el}^3 - 19885.2 W_{el}^2 + 3265954 W_{el} + 14170837 = 0 \quad (18)$$

۵- عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت آب (W_{ew})

رابطه (۱۹) شکل کلی رابطه (۲۰) بوده و ضرایب S_1 تا S_4 همانند روابط قبل ترکیبی از ضرایب توابع تولید، هزینه و قیمت است که به دلیل طولانی بودن از ذکر آنها صرف‌نظر شده است. با جایگزینی این ضرایب رابطه (۲۱) به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \frac{P_{C(w_{ew})}y(w_{ew}) - c(w_{ew})}{W_{ew}} = \\ \frac{P_{C(w_m)}y(w_m) - c(w_m)}{W_m} \end{aligned} \quad (19)$$

$$S_1 W_{ew}^3 + S_2 W_{ew}^2 + S_3 W_{ew} + S_4 = 0 \quad (20)$$

$$22.66 W_{ew}^3 - 19885.2 W_{ew}^2 + 2363702 W_{ew} - 52242523 = 0 \quad (21)$$

۶- عمق آب مصرفی در حالت سر به سری (W_K)
در صورتی که کل هزینه‌ها و درآمد ناخالص با هم برابر باشند (معادله ۲۲)، سود خالص برابر صفر است و عمق آبی که در این حالت محاسبه می‌شود نشان دهنده عمق آب مصرفی در حالت سر به سری است. بنابراین با جایگزینی ضرایب توابع تولید، هزینه و قیمت در رابطه (۲۳)، رابطه (۲۴) حاصل خواهد شد:

$$P_c y(w_k) = c(w_k) \quad (22)$$

$$b_3 c_1 P_{c16} W_K^3 + [(a_3 c_1 + b_1 b_3) P_{c16} - c_2] W_K^2 + [(a_3 b_1 + a_1 b_3) P_{c16} - b_2] W_K + (a_3 a_1 P_{c16} - a_2) = 0 \quad (23)$$

$$22.66 W_K^3 - 19885.2 W_K^2 + 3265954 W_K - 52242523 = 0 \quad (24)$$

در رابطه‌های فوق، W : مجموع عمق آب و بارندگی بر حسب سانتی‌متر و $a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, a_3, c_2, b_3$ ضرایب ثابت در توابع تولید، هزینه و قیمت می‌باشد. ریشه معادلات فوق

جدول ۸- عملکرد چغندر قند و شاخص های اقتصادی برای مقادیر مختلف آب مصرفی

| ۸ | ۷ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |
|----------|---------|------|-----|----------------|------------|--------------|-----------|
| | NB*1000 | (cm) | B/C | شکر (kg/ha) | Pol (%) | Y (kg/ha) | W (cm) |
| W_m | ۹۷۱۵۶/۹ | ۰ | ۳/۱ | ۱۲۹۵۳/۲ | ۱۵/۷ | ۸۲۴۹۱/۸ | ۱۰۷/۷ |
| W_L | ۹۷۱۵۶/۹ | ۰ | ۳/۱ | ۱۲۹۵۳/۲ | ۱۵/۷ | ۸۲۴۹۱/۸ | ۱۰۷/۷ |
| W_w | ۷۷۸۰۲ | ۴۷ | ۲/۹ | ۱۰۸۹۵ | ۱۶/۹ | ۶۴۴۱۰/۸ | ۶۰/۷ |
| W_{el} | ۵۳۵۶۳/۱ | ۶۴/۵ | ۲/۴ | ۸۴۱۱ | ۱۷/۴ | ۴۸۴۳۴ | ۴۳/۲ |
| W_{ew} | ۲۶۰۸۲/۲ | ۷۸/۸ | ۱/۷ | ۵۶۱۴ | ۱۷/۷ | ۳۱۶۵۴/۳ | ۲۸/۹ |
| W_K | ۰ | ۸۹/۸ | ۱ | ۲۹۶۷/۳ | ۱۸ | ۱۶۴۶۷/۷ | ۱۷/۹ |

ستون های جدول: ۱- عمق آب مصرفی (مجموع بارندگی و آبیاری)، ۲- عملکرد غده محاسباتی، ۳- عیار قند، ۴- میزان قند قابل استحصال، ۵- نسبت درآمد ناخالص به هزینه کل، ۶- میزان آب صرفه جویی شده نسبت به آبیاری کامل، ۷- سود خالص در واحد سطح (ریال در هکتار) و ۸- عناوین شاخص ها

(W_w) به لحاظ مقدار آب مصرفی (مجموع بارندگی و آبیاری) معادل تیمار ۲۵ درصد نیاز آبیاری اندازه گیری شده در مزرعه است. علی رغم اینکه این شاخص منجر به بیشترین درآمد خالص به ازای واحد آب مصرفی نمی شود، کاهش ۴۳ درصدی مصرف آب به ازای کاهش ۲۱ درصد عملکرد محصول را به همراه داشته است. این در حالی است که نسبت سود به هزینه این شاخص حدود ۲/۹ است و تنها ۶ درصد کمتر از آبیاری کامل است. بنابراین در حالت محدودیت آب می توان با تأمین فقط ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه درآمد خالصی نزدیک به آبیاری کامل را کسب نمود. اگرچه دو شاخص عمق معادل آبیاری کامل در حالت محدودیت زمین و آب (به ترتیب W_{el} و W_{ew}) نسبت سود به هزینه بالاتر از ۱/۵ را نشان می دهند، مقدار آنها تابعی از مقدار، شدت، مدت و توزیع بارندگی ها در طول فصل رشد بوده و غیرقابل اعتماد می باشند.

نتیجه گیری

آبیاری کامل چه در آزمایش های مزرعه ای (تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و چه در محاسبه شاخص عمق آبیاری کامل (W_m) و عمق آب مصرفی در حالت محدودیت زمین (W_L) باعث تولید بیشترین میزان عملکرد در واحد سطح می شود اما این مقدار افزایش عملکرد نسبت به مقادیر اندازه گیری شده در تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در یک سطح قرار دارد. ضمن آنکه آبیاری کامل باعث افزایش هزینه های آبیاری و کاهش عیار چغندر قند می شود. بنابراین در حالتی که حتی محدودیت آبی وجود نداشته باشد می توان حداقل تیمار تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی را در تمام دوره رشد گیاه چغندر قند اعمال کرد، بدون آنکه سود خالص کشاورز کاهش یابد. مقدار شاخص عمق آب مصرفی در حالت محدودیت آب

منابع

- ۱- ابراهیمی پاک، ن. ع.، پذیرا، ا.، کاوه، ف.، عابدی، م. ج. و ع. ا. صباغ فرشی، ۱۳۸۷. تاثیر کم آبیاری طی مراحل مختلف رشد چغندر قند بر عملکرد کمی و کیفی آن. پژوهش و سازندگی، ۷۸: ۷۳-۶۳.
- ۲- اکبری، م. ۱۳۷۷. تاثیر کم آبیاری بر عملکرد چغندر قند. مجموعه مقالات نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، صفحات ۱۸۹-۱۷۷.
- ۳- توکلی، ع. و ح. فرداد. ۱۳۷۵. بهینه سازی کم آبیاری بر اساس توابع تولید، هزینه و قیمت چغندر قند در کرج. دومین کنگره ملی مسایل آب و خاک کشور، صفحات ۳۶۹-۳۵۴.
- ۴- حسین پور، م.، معیری، م. و د. فتح اله طالقانی. ۱۳۸۱. بررسی تاثیر الگوی کاشت بر کارایی مصرف آب آبیاری و کمیته و کیفیت چغندر قند در منطقه دزفول. هفتمین کنگره علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران. کرج. صفحه ۴۰۳.
- ۵- سپاسخواه، ع. ر.، توکلی، ع. ر. و س. ف. موسوی. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم آبیاری. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی. ۲۸۸ صفحه.
- ۶- عبداللهیان نوقایی، م.، شریفی، ح.، بابایی، ب. و غ. بهمنی. ۱۳۸۸. راهکاری جدید برای تغییر فرمول خرید چغندر قند کشت پاییزه. دو ماهنامه صنایع قند ایران، ۱۹۴: ۱۴-۸.
- 7- Albayrak, M., Gunes, E. and B. Gulcubuk. 2010. The effects of irrigation methods on input use and productivities of sugarbeet in Central Anatolia, Turkey. African Journal of Agricultural Research 5:188-195.

- 8- Allen, R. G. Pereira, L. S., Raes, D. and M. Smith. 2000. Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56.
- 9- Cavazza L., Venturi G. and M.T. Amaducci. 1976. Outlines on the state of irrigation of the sugar beet in the world. 39th Winter Congress, Bruxelles, P:211-264.
- 10- Draycott, A. P. 1976. Interaction between irrigation and other agronomic practices. 39th Winter Congress of International Institute for sSugar Beet, Bruxeles, pp. 135-148.
- 11- Dunham, R. J., Cook, D. A. and R. K. Scott. 1993. Water use and irrigation: In the sugar beet crop principle and practice. Chapman and Hall, London, 279 p.
- 12- Fabio, C., Martin de Santa Olalla, Lopez, R. and A. Dominguez. 2003. Production and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) Cultivated under controlled deficit irrigation condition in semiarid – climate. Agricultural Water Management, 62:215-227.
- 13- Mahmoodi, R., Maralian, H. and A. Aghabarati. 2008. Effects of limited irrigation on root yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). African Journal of Biotechnology, 7:4475-4478.
- 14- Pejic, B., Cupina, B., Dimitrijevic, M., Petrovic, S. Milic, S. and D. Krstic. 2011. Response of sugar beet to soil water deficit. Romanian Agricultural Research, 28:151-155.
- 15- Sahin, U., Ors, S., Kiziloglu, F.M. and Y. Kuslu. 2014. Evaluation of water use and yield responses of drip-irrigated sugar beet with different irrigation techniques. CHILEAN Journal of Agricultural Research, 74(3):302-310.
- 16- Sepaskhah, A. R., and S. H. Ahmadi. 2010. A review on partial rootzone drying irrigation. International Journal of Plant Production, 4:241-258.
- 17- Topak, R., S. Süheri, and A. Bilal, 2011. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality and water use efficiency in Middle Anatolian Turkey. Irrigation Science, 29(1):79-89.
- 18- Rimón, D., Helena, F. and A. Cohen. 1976. Effect of spring irrigation on autumn sown sugar beet. 39th Winter Congress of International Institute for sSugar Beet, Bruxeles, Pp: 387-396.
- 19- Tognetti, R., Palladino, M., minnocci, A., Delfine, S. and A. Alvino. 2003. The response of sugar beet to drip and low-pressure sprinkler irrigation in southern Italy. Agricultural Water Management, 60:135-155.
- 20- Vamerali, T., Guarise, M., Ganis, A. and G. Mosca. 2009. Effects of water and nitrogen management on fibrous root distribution and turnover in sugar beet. European Journal of Agronomy, 31:69-76.
- 21- Walker, W. R., and G. V. Skogerboe. 1987. Surface Irrigation: Theory and practice. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 386p.
- 22- Yonts, C. D. 2011. Development of season long deficit irrigation strategies for sugarbeet. International Sugar Journal, 113:728-731.