DOI: 10.22059/ijswr.2020.300764.668575 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۸، آبان ماه ۱۳۹۹ (ص ۲۱۳۶-۲۱۲۵)

Impact of Changing Irrigation Method and Planting Spacing on Water Productivity, Yield and Application Efficiency of Sugar Beet in Miandoab Plain

HOSSEIN DEHGHANISANIJ[1*], MILAD EBRAHIMI[2], VAHID REZAVERDINEJAD[2], AFROOZ TAGHIZADEHGHASAB[3]

1. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Hamedan University, Hamedan, Iran.

(Received: Apr. 20, 2020- Revised: May. 15, 2020- Accepted: June. 6, 2020)

ABSTRACT

Sugar beet is one of the main products with high water requirement in Urmia Lake basin. Planting spacing and irrigation method of sugar beet has an important impact on increasing irrigation efficiency, crop yield and physical water productivity of this crop. In order to investigate the effect of planting spacing on irrigation efficiency, physical water productivity and crop yield, a field study was conducted on two pilot farms (A and B) in Miandoab irrigation network under farmer's management during 2017. In this study a part of each farm was considered as control (common planting spacing and border irrigation) and the other part was considered as treatment (change the planting spacing and surface irrigation method from border to furrow irrigation). The control part of the farm included a low height groove inside the border and at 50 cm intervals (IA-C and IB-C) and the treatment part of each farm included two-row crop planting of sugar beet (so-called 40×60 cm: IIA-T and IIB-T) and furrow irrigation. According to the results, the maximum water application efficiency was obtained about 77.2% in IIA-T and the lowest efficiency was obtained about 10.2% in IB-C. The average irrigation efficiency (in 12 irrigation) in IIA-T and IIB-T were 54.5% and 51.1%, respectively and in IA-C and IB-C were 38.7% and 39.3%, respectively. Based on the results, by changing the planting pattern from common spacing to two-row (40×60) and irrigation method from border to furrow, the average water consumption reduced about 29.7% and the average yield increase from 64.3 to 74 ton/ha (increase by 15.2%). Also, the average physical productivity of sugar beet increased from 3.75 to 6.47 kg/m^3 (increase of 2.71 kg/m^3).

Keywords: Application Efficiency, Furrow Irrigation, Modified Irrigation, Physical Productivity.

*Corresponding author Email: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

اثربخشی تغییر روش آبیاری و آرایش کاشت چغندرقند بر بهره‌وری آب، عملکرد و راندمان کاربرد آب در دشت میاندوآب

حسین دهقانی سانیج*[۱]، میلاد ابراهیمی[۲]، وحید رضاوردی‌نژاد[۲]، افروز تقی‌زاده قصاب[۳]

۱. موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه همدان، همدان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۲/۲۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۳/۱۷)

چکیده

چغندرقند از محصولات اصلی و با نیاز آبی بالا در حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. آرایش کاشت و روش آبیاری چغندرقند تأثیر به‌سزایی در افزایش راندمان کاربرد آب، عملکرد و بهره‌وری فیزیکی آب این محصول دارد. برای بررسی تأثیر روش آبیاری و آرایش کاشت در این سه شاخص، یک مطالعه میدانی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در دو مزرعه پایلوت (مزارع A و B) در شبکه آبیاری و زهکشی میاندوآب و تحت مدیریت زارعین، انجام گردید. در این مطالعه بخشی از هر مزرعه به‌عنوان شاهد (آرایش کاشت مرسوم و آبیاری نواری) و بخشی دیگر به‌عنوان تیمار (تغییر آرایش کاشت و تغییر روش آبیاری سطحی از نواری به جویچه‌ای) در نظر گرفته شد. قسمت شاهد هر مزرعه به‌صورت شیارهایی کم‌ارتفاع در داخل نوار و با فواصل ۵۰ سانتی‌متر (IA-C و IB-C) و قسمت تیمار هر مزرعه به‌صورت آرایش کشت دو ردیفه (اصطلاحاً آرایش ۶۰×۴۰ سانتی‌متر: IIA-T و IIB-T) و روش آبیاری جویچه‌ای بود. مطابق نتایج، بیش‌ترین راندمان کاربرد آب در قسمت IIA-T با ۷۷/۲ درصد و کمترین راندمان کاربرد آب در IB-C با ۱۰/۲ درصد به دست آمد. متوسط راندمان کاربرد آب (طی ۱۲ آبیاری) در بخش‌های IIA-T و IIB-T به‌ترتیب ۵۴/۵ و ۵۱/۱ درصد و در بخش‌های IA-C و IB-C به‌ترتیب برابر ۳۸/۷ و ۳۹/۳ درصد به دست آمد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با تغییر الگوی کاشت از روش مرسوم منطقه به آرایش کاشت دو ردیفه ۶۰×۴۰ و تغییر روش آبیاری، مقدار آب آبیاری به‌طور متوسط ۲۹/۷ درصد کاهش و متوسط عملکرد چغندرقند در دو مزرعه از ۶۴/۳ به ۷۴ تن در هکتار افزایش یافت (افزایش ۱۵/۲ درصد). بهره‌وری فیزیکی آب چغندرقند نیز از مقدار متوسط ۳/۷۵ به ۶/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت (افزایش ۲/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب).

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، بهره‌وری فیزیکی، بازده کاربرد، بهبود آبیاری.

مقدمه

چغندرقند از جمله گیاهان زراعی متحمل به کم‌آبی و شوری است که دارای دوره رشد نسبتاً طولانی و نیاز آبی نسبتاً بالا می‌باشد. Scott and Jaggard, (1993)، Allen *et al.* (1998) و Saadati *et al.* (2017) میزان نیاز آبی این محصول برای شرایط آب و هوایی مختلف بین ۳۵۰ تا ۱۱۵۰ میلی‌متر گزارش نمودند. نیاز آبی این محصول در بخش‌های مختلف ایران از جمله کرمانشاه ۱۸۵۵ میلی‌متر (Vaziri, 1991)، در کرج حدود ۱۳۵۰ میلی‌متر (Taleghani *et al.*, 1999)، در مشهد بین ۱۰۹۲ تا ۱۳۸۴ میلی‌متر (Shahabifar and Rahimian, 2007) و در دشت قزوین حدود ۷۸۱ میلی‌متر (Zare *et al.*, 2020) گزارش شده است. چغندرقند یکی از مهم‌ترین منابع تولیدکننده قند به‌شمار می‌رود؛ بنابراین توسعه سطح کشت این محصول و افزایش عملکرد، راندمان و بهره‌وری فیزیکی آن حائز اهمیت خواهد بود. در این راستا مدیریت زراعی صحیح و به‌کارگیری روش‌های مناسب آبیاری تأثیر به‌سزایی در استفاده بهینه از آب دارد (Torabi and Jahad Akbar, 2005; Ghamarnia1 *et al.*, 2008). عوامل متعددی می‌تواند بر افزایش عملکرد چغندرقند مؤثر باشد که از جمله این عوامل می‌توان به آرایش کاشت و مدیریت و برنامه‌ریزی روش آبیاری اشاره نمود (Ghadami Firoozabadi and Mirzai, 2006). Taleghani *et al.* (2011) میزان عملکرد چغندرقند را برای منطقه مغان اردبیل ۴۹/۸ تن در هکتار برآورد کردند. همچنین متوسط بهره‌وری فیزیکی آب چغندرقند تحت کشت استان خراسان رضوی طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۷ حدود ۱/۶۸ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شد.

روش‌های آبیاری سطحی از جمله شیوه‌هایی است که با وجود

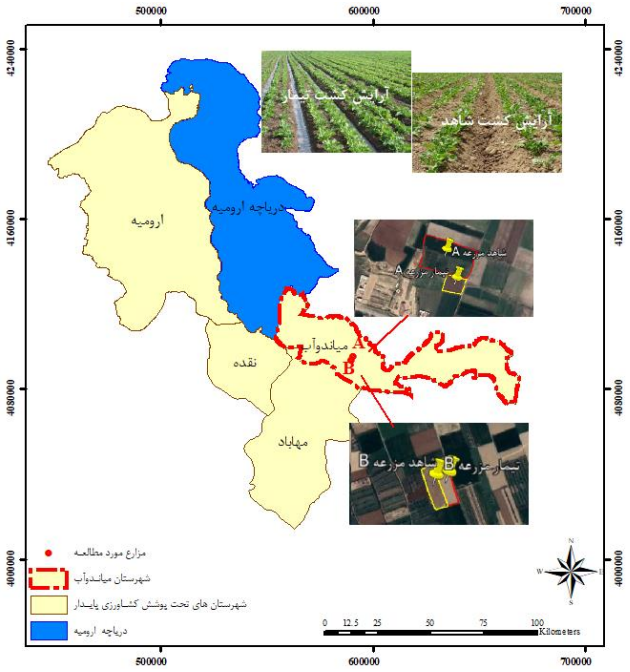
* نویسنده مسئول: h.dehghanisanij@areeo.ac.ir

توسعه آبیاری تحت‌فشار، هنوز به‌عنوان رایج‌ترین شیوه آبیاری در کشور به‌شمار می‌رود. حدود ۸۰ درصد از اراضی آبی کشور به روش سطحی آبیاری می‌شوند (Tafteh *et al*., 2018). مشکل اصلی روش‌های آبیاری سطحی پایین بودن راندمان کاربرد آب است که به‌طور عمده از ضعف مدیریت، طراحی نامناسب و چگونگی بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری ناشی می‌شود (Rezaverdinezhad *et al*., 2015). بنابراین، با توجه به هزینه‌بر بودن سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار، بهبود و اصلاح روش‌های آبیاری سطحی امری اجتناب‌ناپذیر است. از سوی دیگر، با توجه به محدود بودن منابع آب و خاک ایران، افزایش بهره‌وری فیزیکی و راندمان آبیاری جهت پایداری سیستم‌های آبیاری سطحی الزامی است (Kanooni, 2007; Taghizadeh *et al*., 2013). پژوهش‌های بسیاری در ایران و سایر کشورهای جهان به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر افزایش عملکرد و بهره‌وری آب گیاه چغندرقند انجام شده است. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به پژوهش Vazifedoust *et al*. (2008) بر روی بررسی بهره‌وری آب در مقیاس مزرعه در منطقه برخوار اصفهان اشاره نمود که نشان دادند متوسط بهره‌وری فیزیکی آب برای چغندرقند ۱/۴۱ کیلو-گرم بر مترمکعب بوده است. Hamdi Ahmadabad *et al*. (2016) عملکرد روش آبیاری جویچه‌ای را در مزارع ذرت کشت و صنعت و دامپروری دامغان تحت مدیریت زارعان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد بین مقادیر بازده کاربرد آب و بازده پتانسیل چارک پایین (PELQ) اختلاف قابل‌توجهی وجود داشته و دلیل آن ضعف مدیریتی سیستم آبیاری سطحی توسط زارعیان گزارش شد؛ بنابراین این محققان اقداماتی از قبیل تغییر طول جویچه‌ها براساس اصول عملی، آموزش زارعان و آبیارها، کاهش زمان آبیاری و استفاده از سیفون جهت جلوگیری از نوسانات دبی ورودی را پیشنهاد نمودند. Stone *et al*. (1979) تأثیر صرفه‌جویی در آب مصرفی برای گیاهان ردیفی را با استفاده از پشته‌های پهن (دو ردیف کاشت بر روی یک پشته) در امریکا مطالعه کردند. نتایج نشان داد مقدار آب مصرفی از ۸۱۰ میلی‌متر در تیمار آبیاری نواری (پشته‌های باریک با یک ردیف کاشت) به ۴۶۰ میلی‌متر در تیمار پشته‌های پهن، کاهش یافت (کاهش حدوداً ۴۳ درصد آب مصرفی). تحقیقات Noorjo *et al*. (2004) در خصوص تأثیر آرایش کاشت بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند، نشان داد که در روش یک‌درمیان با فواصل شیارهای ۵۰ سانتی‌متر، می‌توان به بیش‌ترین کارایی مصرف آب دست یافت؛ لیکن به‌علت مشکلات اجرا و اعمال روش آبیاری یک‌درمیان، آرایش کاشت ۵۰ ×۴۰ را توصیه نمودند. براساس این تحقیق، عملکرد ریشه ۷۱/۷ تن در هکتار و مقدار مصرف آب ۱۰۵۹۹ مترمکعب در هکتار بود. درحالی‌که در کاشت رایج منطقه (آرایش کاشت با فواصل ۶۰ سانتی‌متر و آبیاری کامل شیارها) عملکرد ۶۸/۸ تن در هکتار و مقدار آب مصرفی ۱۳۷۱۵ مترمکعب بر هکتار بود. بدین ترتیب در آرایش کاشت پیشنهادی، کارایی مصرف آب ۴۸ درصد افزایش یافت. تحقیقات Torabi and Jahad Akbar (2005) نشان داد بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار آب مصرفی به‌میزان ۲۲۶۹۳ و ۱۵۳۰۰ مترمکعب در هکتار به‌ترتیب از تیمار کاشت یک ردیفه با فاصله خطوط کاشت ۵۰ سانتی‌متر و تیمار کاشت دو ردیفه ۶۰ ×۴۰ سانتی‌متر (فاصله خطوط کاشت در طرفین جویچه ۶۰ سانتی‌متر و فاصله خطوط کاشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر) بوده است. بر اساس اطلاعات اخذ شده از جهاد کشاورزی آذربایجان غربی، روش غالب آبیاری چغندرقند در میاندوآب به‌صورت نواری بوده و مقدار متوسط آب مصرفی آن تا سال ۱۳۹۴، حدود ۱۷۱۱ میلی-متر می‌باشد. گزارشات جهاد کشاورزی، نتایج پروژه کشاورزی پایدار طی سال‌های ۹۳ تا ۹۵ و تحقیقات قبلی نشان داد تغییر آرایش کشت چغندرقند و روش آبیاری از نواری به جویچه‌ای با کاهش آب مصرفی موجب افزایش پارامترهای راندمان و بهره‌وری آب گردیده است. در مقابل روش آبیاری نواری به‌دلیل غرقاب نمودن مزرعه موجب افزایش مقدار آب مصرفی و به تبع آن ایجاد مشکلاتی نظیر تشدید بیماری پوسیدگی ریشه، افزایش علف‌های هرز، افزایش استفاده از سموم و علف‌کش‌ها، شستشوی کودها و مواد مغذی خاک و در نتیجه استفاده بی‌رویه کشاورزان از کودهای شیمیایی شده است؛ بنابراین بهره‌گیری از مدیریت صحیح در بخش کشاورزی با انتخاب روش آبیاری مناسب و اصلاح الگوی کشت متناسب با اقلیم منطقه می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و بهره‌وری آب داشته باشد. معمولاً تحقیقات محققین در مقیاس کوچک و کنترل‌شده انجام می‌گردد و لازم است که نتایج حاصل از تحقیقات، به شرایط واقعی و تحت مدیریت کشاورزان انتقال یابد تا این‌که اثربخشی به‌کارگیری این روش‌ها در مقیاس منطقه‌ای قابل‌ملاحظه باشد. در واقع برای این-که نتایج حاصل از مراکز تحقیقاتی در راستای بهبود راندمان و بهره‌وری آب، به‌صورت ترویجی ارائه گردد، نیاز به ارزیابی میدانی تحت مدیریت زارعین دارد. در این راستا تعیین میزان اثربخشی مدیریت‌های مختلف آبیاری و زراعی تحت مدیریت کشاورزان محلی موردبررسی قرار گرفت. هدف از این مطالعه بررسی تأثیر تغییر آرایش کشت و روش آبیاری بر میزان آب کاربردی، راندمان کاربرد آب، عملکرد چغندرقند و بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط مدیریت کشاورزان حوضه آبریز دریاچه ارومیه می‌باشد. همچنین تکنیک‌های دیگری نظیر تسطیح مزارع، بذرمال کردن بذور چغندرقند با استفاده از کود آلی آگروهیومیک، برگرداندن بقایای

گیاهی سال قبل جهت افزایش مقدار کربن آلی به خاک و کود دهی بر اساس آزمون خاک استفاده شد. در طول فصل رشد محصول نیز تعیین دور آبیاری با پایش منظم رطوبت خاک صورت گرفت. با توجه به لزوم به‌کارگیری نتایج حاصل از مراکز تحقیقاتی در سطح مزارع، سعی گردید نتایج حاصل از اصلاح آرایش کشت، در مزارع تحت مدیریت زارعین پیاده‌سازی گردد. چرا که با مشارکت زارعین در مدیریت آبیاری و زراعی، زمینه توسعه و ترویج آبیاری اصولی و کاهش مصرف آب در سطح حوضه دریاچه فراهم خواهد شد.

مواد و روش‌ها

سطح زیر کشت چغندرقند در آذربایجان غربی مطابق آمارنامه جهاد کشاورزی (Ahmadi et al., 2017) ۴۰۱۳۶ هکتار بوده که ۱۳/۱ درصد از محصولات زراعی آبی استان را تشکیل می‌دهد. چغندرقند یکی از محصولات صنعتی و استراتژیک استان بوده و علی‌رغم مصرف بالای آب همواره مورد استقبال زارعین بوده است. از سوی دیگر روش آبیاری غالب منطقه نواری بوده که مصرف آب بالایی دارد؛ بنابراین اعمال تغییراتی در روش آبیاری و آرایش کشت مرسوم منطقه خواهد توانست کاهش قابل‌توجهی در مصارف آب این محصول به همراه داشته باشد. با اتکا به موارد مذکور دو مزرعه چغندرقند انتخاب گردید. به این منظور آزمایش-های میدانی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در قالب طرح پروژه کشاورزی پایدار[1]، در دو مزرعه جداگانه واقع در شبکه آبیاری و زهکشی دشت میاندوآب در استان آذربایجان غربی انجام گردید. شکل (۱) موقعیت مزارع مورد مطالعه و آرایش کشت چغندرقند را در بخش‌های تیمار و شاهد نشان می‌دهد.

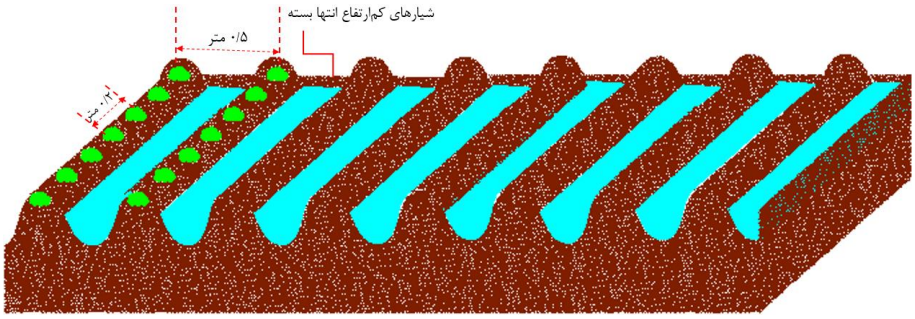


شکل ۱- موقعیت مزارع موردمطالعه و آرایش کشت چغندرقند در بخش‌های شاهد و تیمار

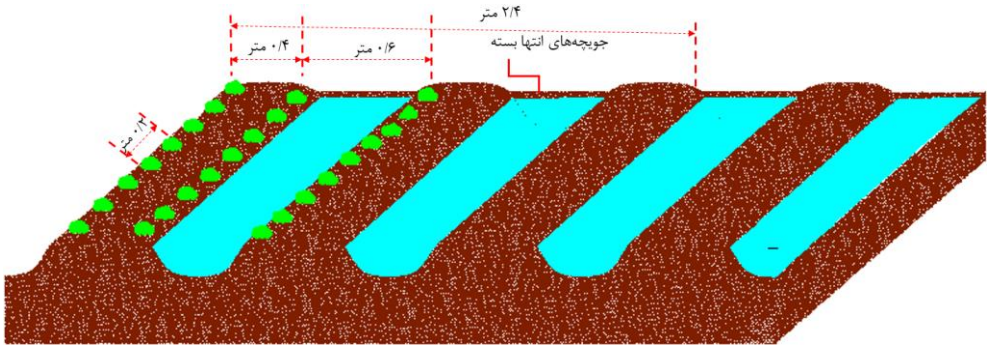
هر مزرعه به دو بخش مزرعه شاهد (فاقد فناوری) و مزرعه تیمار (دارای فناوری)، جداسازی شد. منظور از فناوری استفاده از تکنیک‌های به‌زراعی و مدیریت آبیاری متناسب با شرایط هر مزرعه می‌باشد. با تکیه بر گزارشات جهاد کشاورزی، نتایج طرح‌های کشاورزی پایدار و تحقیقات قبلی نظیر Behmanesh and Norjoo (2016) در ارومیه و Torabi and Jahad Akbar (2005) در اصفهان، سیستم آبیاری جویچه‌ای و اصلاح آرایش کشت، کاهش قابل‌توجه آب مصرفی و افزایش راندمان کاربرد آب و بهره‌وری آب را در پی داشته است؛ بنابراین با فرض اثربخشی نتایج، از این تکنیک‌ها در کنار تکنیک‌های زراعی در بخش تیمار مزارع استفاده گردید. قابل ذکر است دبی ورودی به هر جویچه با استفاده از مدل WinSRFR بهینه شده است. به‌نحوی‌که مطابق

۱- پروژه کشاورزی پایدار، فرایندی است که به‌منظور مشارکت سیستمی بهره‌برداران، هم‌افزایی و تلفیق فنون و پتانسیل‌ها و دخالت شرایط زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی حوضه دریاچه ارومیه برای تحقق توسعه کشاورزی پایدار تعریف شده است. این پروژه از سال ۱۳۹۳ در قالب اقدام مشترک دولت جمهوری اسلامی ایران (سازمان محیط‌زیست و جهاد کشاورزی)، دولت ژاپن و برنامه عمران سازمان ملل متحد (طرح حفاظت از تالاب‌های ایران) برای کمک به احیای دریاچه ارومیه تصویب و مقدمات آن برای اجرا در ۱۱ شهرستان استان‌های آذربایجان غربی و شرقی شامل ۱۳۰ روستا آماده و اجرا گردیده است. در این پروژه به‌جای تأکید بر انتقال فناوری و سخت‌افزار، دانش و توسعه فناوری سبز و توانمندسازی نیروی انسانی در مدیریت آبیاری و زراعی مزارع نقش اصلی را بر عهده دارد. در استان آذربایجان‌غربی شهرستان‌های میاندوآب، مهاباد، نقده و ارومیه به منظور اجرای پروژه انتخاب شده‌اند.

شبیه‌سازی مدل به ازای این دبی، بیشترین مقدار راندمان کاربرد آب و کمترین مقدار نفوذ عمقی به دست آمد. سیستم آبیاری بخش‌های شاهد دو مزرعه به‌صورت نواری بوده به‌نحوی‌که در داخل نوارهای آبیاری شیارهای کم‌ارتفاع و با فواصل ۵۰ سانتی-متر ایجاد شدند. آرایش کشت نیز به‌صورت تک‌ردیفه بود. آبیاری بخش‌های تیمار دو مزرعه به‌صورت جویچه‌ای و آرایش کشت آن به‌صورت دو ردیف روی پشته بود. به‌نحوی‌که فاصله ردیف‌های کشت روی پشته ۴۰ سانتی‌متر و فاصله دو ردیف کشت روی دو پشته متوالی ۶۰ سانتی‌متر بود. اشکال (۲) و (۳) به‌ترتیب شمای گرافیکی آرایش مرسوم کشت چغندرقند در منطقه (شاهد) و در بخش‌های تیمار را نشان می‌دهد.



شکل ۲- آرایش مرسوم کاشت چغندرقند در منطقه



شکل ۳- آرایش ۶۰ ×۴۰ سانتی‌متر چغندرقند با روش آبیاری جویچه‌ای

با وجود تحقیقات قبلی نظیر Stone *et al.* (1979)، Torabi and Jahad Akbar (2005) و Sedrghain Mohammadian and (2012) بر روی تغییر سیستم آبیاری به جویچه‌ای و کشت دو ردیفه چغندرقند و حصول نتایج مؤثر در کاهش مصرف آب آبیاری (به‌طور متوسط ۳۵ درصد) و افزایش عملکرد محصول، این مطالعات معمولاً در محیط آزمایشی و مراکز تحقیقاتی انجام گردیده است، ولی مطالعه حاضر در سطح مزارع تحت مدیریت زارعین و با هدف توسعه تکنیک‌های مورد استفاده در سطح حوضه دریاچه انجام گردید.

با توجه به اهداف پروژه، در این مطالعه تمام اندازه‌گیری‌ها تحت شرایط مدیریت زارعین انجام گردید و از ارائه هرگونه پیشنهادی در مدیریت آبیاری اجتناب گردید. برای هر رویداد آبیاری، تمام پارامترهای ارزیابی شامل رطوبت قبل از آبیاری، دبی و مدت آبیاری، منحنی پیشروی و پسروی در هر آبیاری اندازه-گیری شد. در تیمارهای IIA-T و IIB-T طول جویچه‌ها به‌ترتیب ۷۷/۱ و ۱۹۱ متر و آرایش کشت ۶۰ ×۴۰ سانتی‌متر بوده و در مزارع شاهد کشت به‌صورت شیارهای کم‌ارتفاع داخل نوار آبیاری و با فواصل کشت ۵۰ سانتی‌متر می‌باشد. در مزرعه شاهد A طول و عرض نوارها به‌ترتیب ۸۱/۹ و ۶/۸ متر و در مزرعه شاهد B، طول و عرض نوارها به‌ترتیب ۱۹۱ و ۶/۶ متر بود و جویچه‌های کوچکی در داخل دو پشته بزرگ قرار گرفته و روی هر پشته، یک ردیف کشت وجود داشت. مساحت مزارع شاهد و تیمار در مزرعه شماره A به‌ترتیب برابر ۲/۵ و ۰/۵ و در مزرعه شماره B به‌ترتیب برابر ۱ و ۱ هکتار بود. در جدول (۱) مشخصات عمومی مزارع انتخابی ارائه شده است. قابل ذکر است کشت چغندرقند در تاریخ ۹۶/۱/۲۰ صورت گرفت.

برای تعیین مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک هر از یک مزارع، از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه‌برداری و آزمایش گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق جدول (۲)، متوسط شوری عصاره اشباع خاک مزارع A و B به‌ترتیب ۱/۱۷ و ۵/۵ دسی‌زیمنس بر متر و متوسط ازت کل آن‌ها نیز به‌ترتیب ۰/۱۱ و ۰/۰۸۵ می‌باشد. بر اساس استاندارد فائو ۲۹

سطح تحمل چغندرقند به شوری آب آبیاری و خاک به‌ترتیب برابر با ۴/۷ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (Ayers and Westcot, 1985). برای تعیین کیفیت آب آبیاری، از منبع تغذیه هر یک مزارع A و B نمونه‌برداری و آزمایش گردید که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به مقادیر جدول (۳)، کیفیت آب آبیاری مزارع A و B در گروه متوسط و خوب قرار دارد (Ayers and Westcot, 1985).

جدول ۱- مشخصات مزارع انتخابی جهت کاشت محصول چغندرقند

مزرعه	بخش	مساحت (هکتار)	طول×عرض* (متر×متر)	فاصله ردیف‌های کشت (متر)	فاصله بوته‌ها (متر)
A	IA-C	۲/۵	۶/۸×۸۱/۹	۰/۵	۰/۲
	IIA-T	۰/۵	۱/۰×۷۷/۱	۰/۶** و ۰/۴	۰/۲
B	IB-C	۱/۰	۶/۶×۱۹۱/۰	۰/۵	۰/۲
	IIB-T	۱/۰	۱/۰×۱۹۵/۰	۰/۶** و ۰/۴	۰/۲

* عرض‌های ثبت‌شده در بخش‌های شاهد مربوط به عرض هر نوار آبیاری و در بخش‌های تیمار مربوط به مجموع عرض یک پشته و یک جوی می‌باشد. عرض کل مزرعه در بخش‌های IA-C، IIA-T، IB-C و IIB-T به‌ترتیب ۳۰۵، ۶۵، ۵۲ و ۵۱ متر می‌باشد.

** فاصله ردیف‌های کشت روی یک پشته در آرایش کشت دو ردیفه ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو ردیف کشت (روی دو پشته) ۶۰ سانتی‌متر می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع

مزرعه	عمق (سانتی‌متر)	شوری خاک (dS/m)	بافت (-)	pH (-)	آهک (درصد)	کربن آلی (درصد)	ازت کل (درصد)	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)
A	۰-۳۰	۰/۹۳	SiCL	۷/۵	۱۴/۳	۱/۶۱	۰/۱۳	۳۸/۷	۱۸/۱
	۳۰-۶۰	۱/۴۲	SiCL	۷/۶	۱۷/۱	۰/۸۵	۰/۰۹	۳۷/۹	۱۷/۲
B	۰-۳۰	۶/۴۰	SiC	۸/۰	۱۰/۴	۱/۰۳	۰/۰۹	۳۶/۱	۱۸/۵
	۳۰-۶۰	۴/۷۰	SiCL	۷/۷	۱۲/۵	۰/۸۰	۰/۰۸	۳۵/۹	۱۸/۰

جدول ۳- شاخص‌های کیفیت آب آبیاری مزارع مورد آزمایش

مزرعه	EC (dS/m)	T.D.S (ppm)	pH (-)	SAR (-)	سدیم (meq/L)	سولفات (meq/L)
A	۱/۶۳	۱۰۵۰/۲	۷/۱۵	۲/۴۶	۲/۹	۱/۴
B	۰/۷۰	۴۳۷/۵	۷/۲۸	۱/۵۵	۱/۸	۱/۱

مقدار جریان آب ورودی به مزارع با استفاده از فلوم‌های WSC اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری جریان در طول مدت آبیاری انجام شد و پس از ترسیم هیدروگراف و با محاسبه سطح زیر منحنی، حجم و عمق آب ورودی به مزرعه تعیین شد. شرایط مرز پایین‌دست در تمام مزارع به‌صورت انتها بسته و فاقد رواناب خروجی بود. در بخش‌های تیمار و شاهد هر دو مزرعه A و B، در مجموع ۴۸ رویداد آبیاری انجام شد که تمام آن‌ها موردانداز‌ه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت. راندمان کاربرد آب بیان‌گر تلفات در مزرعه به‌صورت نفوذ عمقی و رواناب انتهای مزرعه در هر نوبت آبیاری بوده و از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$AE = \frac{D_Z}{D_{app}} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در این رابطه AE راندمان کاربرد آب (%)، D_Z متوسط عمق آب ذخیره‌شده در ناحیه توسعه ریشه (mm) و Dapp متوسط عمق آب واردشده به قطعه تحت آبیاری (mm) بوده که برابر با حجم جریان ورودی (L) تقسیم بر مساحت قطعه تحت آبیاری (m^2) می‌باشد (Soil Conservation Service National, 1979). با توجه به انتها بسته بودن نوارها و جویچه‌ها، رواناب در انتهای هیچ‌کدام از مزارع وجود نداشته و در نتیجه درصد تلفات نفوذ عمقی از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$DP = 100 - AE \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

کفایت آبیاری یا راندمان ذخیره آب (AD) نیز از رابطه (۳) برآورد شد.

$$AD = \frac{D_Z}{SMD} \times 100 \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در این رابطه SMD عمق آب موردنیاز منطقه ریشه (mm) قبل از آبیاری می‌باشد. در رابطه (۱) اگر D_{app} از SMD کمتر باشد، D_Z برابر D_{app} و در غیر این صورت برابر SMD می‌باشد. در رابطه (۳)، اگر D_{app} از SMD بزرگ‌تر باشد، کفایت برابر ۱۰۰ درصد می‌باشد (Soil Conservation Service National, 1979). با توجه به این‌که در هیچ‌یک از آبیاری‌های دو مزرعه مورد مطالعه کم‌آبیاری صورت نگرفته است بنابراین مقدار D_Z معادل SMD بوده و از رابطه زیر محاسبه گردید.

$$SMD = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times D_r \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

که در این رابطه θ_i و θ_{fc} به‌ترتیب رطوبت خاک قبل از آبیاری و حد ظرفیت زراعی (g/g)، ρ_b جرم مخصوص ظاهری خاک (g cm^{-3}) و D_r عمق توسعه ریشه (mm) می‌باشد. در هر یک از مزارع و نوبت‌های آبیاری، رطوبت خاک به روش وزنی و حداقل در سه نقطه از نوار (ابتدا، وسط و انتها) و در عمق توسعه ریشه اندازه-گیری شد. به این منظور عمق توسعه ریشه در طول فصل رشد چغندرقند و قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری گردید. شاخص مهم دیگر در ارزیابی سیستم آبیاری و کشاورزی، بهره‌وری آب می-باشد. بهره‌وری فیزیکی آب کشاورزی، به مقدار عملکردی گفته می‌شود که به‌ازای واحد حجم آب مصرفی به‌دست می‌آید. اگر مقدار آبیاری و بارش به‌عنوان آب مورداستفاده گیاه در نظر گرفته شود، بهره‌وری فیزیکی آب با WP_{I+Pe} نشان داده‌شده و به‌صورت رابطه (۵) تعریف می‌گردد (Cook *et al.*, 2006):

$$WP_{I+Pe} = \frac{Y}{1+Pe} \quad \text{(رابطه ۵)}$$

که در آن I و Pe به‌ترتیب مقدار آبیاری و بارندگی مؤثر در طول فصل رشد ($m^3\,ha^{-1}$) و Y وزن خشک اندام هوایی گیاه یا مقدار محصول قابل‌عرضه به بازار ($kg\,ha^{-1}$) می‌باشند. باران مؤثر به‌صورت بخشی از باران بوده و با استفاده از رابطه پیشنهادی ASCE(Patwardhan *et al.*, 1990) محاسبه گردید:

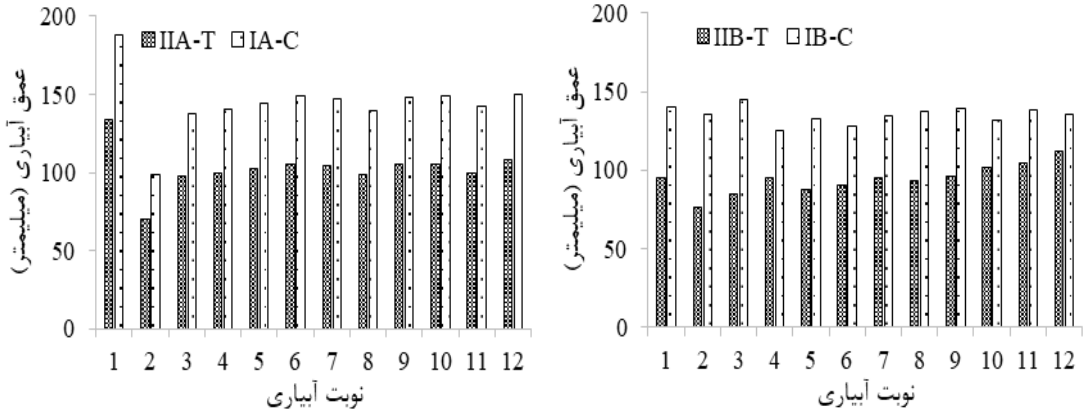
$$P_e = \left(1.25P_t^{0.8242} - 2.935\right)\times 10^{ET_C\times 0.00095} \quad \text{(رابطه ۶)}$$

که در این رابطه P_e باران مؤثر (mm)، P_t بارندگی ماهانه (mm) و ET_c نیاز آبی گیاه در ماه موردنظر (mm) می‌باشد.

همچنین از آزمون t مستقل برای بررسی تفاوت میان دو نمونه استفاده گردید. این کار با استفاده از نرم‌افزار SPSS از آزمون t مستقل جهت بررسی معنی‌داری تفاوت میانگین پارامترهای عمق و راندمان کاربرد آب بخش‌های شاهد و تیمار دو مزرعه انجام شد. چنان‌چه مقدار نتیجه آزمون t بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر دو گروه در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشابه‌اند.

نتایج و بحث

یکی از اهداف اصلی این تحقیق، کاهش میزان کاربرد آب بود. از طرفی با توجه به این‌که مقدار ET_C از زمان کاشت تا برداشت چغندرقند حدود ۹۰۵ میلی‌متر و مقادیر عمق آبیاری در تمام آبیاری‌ها بیشتر از کمبود رطوبت خاک (SMD) و ET_C (در بازه بین دو آبیاری) بود بنابراین ضمن کاهش آب مصرفی، گیاه با تنش آبی مواجه نگردید. در هر یک از بخش‌های تیمار و شاهد دو مزرعه A و B، ۱۲ نوبت آبیاری انجام گردید. مشخصات این آبیاری‌ها در جدول (۴) ارائه گردیده است. مطابق این جدول، فواصل آبیاری متغیر بوده و مقدار آب موردنیاز محصول در تاریخ-های مختلف براساس کمبود رطوبتی خاک تعیین گردید. آبیاری در بخش‌های تیمار در رطوبت متوسط ۲۲/۴ درصد (نزدیک رطوبت بهینه) صورت گرفت. در بخش‌های شاهد نیز مقدار متوسط رطوبت قبل از آبیاری ۲۱/۹ درصد بود و دلیل آن نیز غالباً الگوبرداری کشاورز از دورهای آبیاری در بخش تیمار بوده است. در شکل (۴) مقادیر عمق آبیاری تیمار و شاهد ارائه شده است. مطابق این شکل، در تیمارهای IIA-T و IIB-T کاهش قابل‌ملاحظه در میزان آب کاربردی، حاصل گردید.



شکل ۴- مقادیر عمق آب کاربردی در مزارع A و B طی رویدادهای مختلف آبیاری

جدول ۴- دبی، مدت آبیاری، دور آبیاری و رطوبت قبل از آبیاری در مزارع A و B

آبیاری	بخش مزرعه	دور آبیاری (روز)	دبی* (لیتر بر ثانیه)	مدت آبیاری (دقیقه)	رطوبت قبل (٪)
اول	IIA-T	خاک‌آب	۲/۱	۲۵۷	۱۴/۳
	IA-C	خاک‌آب	۱۷/۷	۲۲۵	۱۵/۱
	IIB-T	خاک‌آب	۲/۱	۵۸	۱۵/۵
	IB-C	خاک‌آب	۸/۴	۱۵۶	۱۶/۳
دوم	IIA-T	۱۷	۱/۶	۲۲۷	۲۱/۵
	IA-C	۱۷	۱۴/۸	۱۴۰	۲۶/۲
	IIB-T	۹	۱/۶	۶۰	۲۱/۸
	IB-C	۸	۸/۴	۱۵۰	۲۰/۵
سوم	IIA-T	۱۰	۲/۱	۲۴۸	۲۲/۲
	IA-C	۱۰	۱۷/۷	۱۶۴	۲۳/۴
	IIB-T	۱۰	۱/۹	۵۷	۲۱/۶
	IB-C	۱۲	۸/۴	۱۶۱	۲۰/۷
چهارم	IIA-T	۱۰	۲/۱	۲۴۲	۲۲/۹
	IA-C	۱۰	۱۷/۰	۱۷۵	۲۳/۱
	IIB-T	۱۳	۲/۱	۵۸	۲۲/۰
	IB-C	۱۳	۸/۲	۱۴۱	۲۰/۱
پنجم	IIA-T	۱۱	۲/۱	۲۵۶	۲۲/۸
	IA-C	۱۱	۱۷/۷	۱۷۲	۲۲/۹
	IIB-T	۱۲	۱/۹	۵۹	۲۲/۴
	IB-C	۱۳	۸/۴	۱۴۷	۲۰/۲
ششم	IIA-T	۱۲	۲/۱	۲۵۵	۲۳/۲
	IA-C	۱۲	۱۷/۷	۱۷۸	۲۳/۴
	IIB-T	۱۲	۱/۹	۶۱	۲۲/۵
	IB-C	۱۱	۸/۴	۱۴۲	۲۱/۴
هفتم	IIA-T	۱۰	۲/۱	۲۵۱	۲۲/۹
	IA-C	۱۰	۱۷/۷	۱۷۶	۲۳/۲
	IIB-T	۱۶	۲/۱	۵۸	۲۲/۷
	IB-C	۱۳	۸/۴	۱۴۹	۲۰/۷
هشتم	IIA-T	۱۳	۲/۱	۲۵۳	۲۲۳
	IA-C	۱۳	۱۶/۵	۱۷۹	۲۲/۹
	IIB-T	۱۵	۲/۱	۵۷	۲۰/۶
	IB-C	۱۲	۸/۴	۱۵۳	۲۱/۱
نهم	IIA-T	۱۲	۲/۱	۲۴۶	۲۳/۵
	IA-C	۱۲	۱۷/۷	۱۷۷	۲۲/۲
	IIB-T	۱۶	۲/۱	۵۹	۲۰/۷
	IB-C	۱۴	۸/۴	۱۵۵	۲۰/۶
دهم	IIA-T	۱۴	۲/۱	۲۵۱	۲۲/۸
	IA-C	۱۴	۱۷/۷	۱۷۸	۲۱/۸
	IIB-T	۱۶	۲/۱	۶۲	۲۱/۲
	IB-C	۶	۸/۱۲	۱۵۰	۲۰/۴
یازدهم	IIA-T	۲۵	۲/۰	۱۶۱	۲۳/۵
	IA-C	۲۵	۱۶/۸	۱۷۹	۲۳/۲
	IIB-T	۱۳	۲/۱	۶۴	۲۲/۶
	IB-C	۱۶	۸/۴	۱۵۴	۲۰/۴
دوازدهم	IIA-T	۱۰	۲/۱	۱۷۵	۲۳/۴
	IA-C	۱۰	۱۷/۳	۱۸۹	۲۳/۵
	IIB-T	۸	۲/۱	۶۹	۲۲/۸
	IB-C	۸	۸/۳۶	۱۵۷	۲۰/۵

* دبی ثبت‌شده در بخش‌های تیمار، مربوط به دبی ورودی به هر جویچه بوده که با استفاده از مدل WinSRFR بهینه شده است.

حداکثر عمق آبیاری در بخش IA-C مربوط به آبیاری اول مزرعه شاهد (خاک‌آب) با ۱۸۸/۴ میلی‌متر و حداقل عمق آبیاری در بخش IIA-T مربوط به آبیاری دوم با ۶۹/۶ میلی‌متر می‌باشد. همچنین حداکثر عمق آبیاری در مزرعه B، مربوط به آبیاری سوم IB-C با ۱۴۴/۹ میلی‌متر و حداقل عمق آبیاری در مزرعه B، مربوط به آبیاری اول IIB-T با ۹۴/۷ میلی‌متر می‌باشد. متوسط عمق آبیاری بخش‌های IIA-T و IA-C به‌ترتیب برابر ۱۰۲/۵ و ۱۴۴/۵ میلی‌متر و مقدار کل آب آبیاری این بخش‌ها طی فصل رشد چغندرقند به‌ترتیب برابر ۱۲۳۰ و ۱۷۳۴ میلی‌متر بود. بنابراین با تغییر روش آبیاری و آرایش کشت، عمق آب آبیاری در

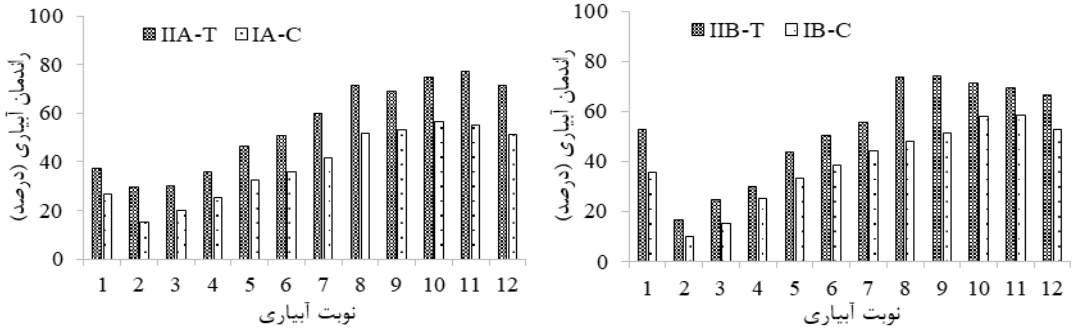
مزرعه A حدود ۲۹/۱ درصد کاهش یافت. متوسط عمق آبیاری در بخش‌های IIB-T و IB-C به‌ترتیب برابر ۹۴/۲ و ۱۳۵/۲ میلی-متر و مقدار کل آب آبیاری طی فصل رشد چغندرقند در این بخش‌ها به‌ترتیب برابر ۱۱۳۰ و ۱۶۲۳ میلی‌متر بود که در این مزرعه نیز تغییر روش آبیاری و آرایش کشت موجب کاهش حدوداً ۳۰/۴ درصدی عمق آب آبیاری گردید (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه مقادیر میزان آب مصرفی و راندمان کاربرد آب در دو مزرعه تیمار و شاهد A و B

بخش	کل آب کاربردی (mm)	کاهش مصرف آب (mm)	کاهش مصرف (%)	متوسط راندمان کاربرد آب (%)	افزایش راندمان کاربرد آب متوسط (%)
IIA-T	۱۲۳۰	۵۰۴	۲۹/۱	۵۴/۵	۴۰/۹
IA-C	۱۷۳۴			۳۸/۷	
IIB-T	۱۱۳۰	۴۹۳	۳۰/۴	۵۱/۱	۳۰/۱
IB-C	۱۶۲۳			۳۹/۳	

پژوهش Torabi and Jahad Akbar (2005) بیان‌گر کاهش ۳۲/۶ درصدی آب مصرفی در کشت دو ردیفه چغندرقند (با فواصل ۶۰×۴۰ سانتی‌متر) نسبت به کشت تک ردیفه مرسوم (با فواصل ۵۰ سانتی‌متر) بود که با نتایج این تحقیق همبستگی خوبی دارد. در پژوهش Behmanesh and Norjoo (2016) نیز کاهش مصرف آب با تغییر روش آبیاری از کشت تک‌ردیفه به دو ردیفه، ۲۰/۳ درصد بود.

از شاخص‌های مهم ارزیابی آبیاری که در تمام رویدادهای آبیاری (۱۲ نوبت آبیاری) در دو مزرعه و بخش‌های شاهد و تیمار، اندازه‌گیری شد راندمان کاربرد آب بود که مقادیر آن‌ها در شکل (۵) ارائه شده است. همچنین مقادیر حداقل، حداکثر، متوسط و انحراف معیار مقادیر راندمان کاربرد آب در هریک از مزارع در جدول (۶) ارائه شده است. مطابق جدول (۶)، بیش‌ترین مقدار راندمان کاربرد آب مربوط به IIA-T و کم‌ترین مقدار راندمان کاربرد آب مربوط به IB-C می‌باشد.



شکل ۵- مقادیر راندمان کاربرد آب در مزارع A و B طی رویدادهای مختلف آبیاری

بیش‌ترین نوسان در راندمان کاربرد آب مربوط به IIB-T می‌باشد که در آن پراکنش بین مقادیر این شاخص (راندمان کاربرد آب) در نوبت‌های مختلف آبیاری، بیشتر می‌باشد. در این بخش حداقل راندمان کاربرد آب ۱۶/۷ به‌دست آمد. دلیل اصلی پایین بودن حداقل راندمان کاربرد آب در مزارع (جدول ۶) بارش باران کافی از اوایل تا اواخر اردیبهشت‌ماه سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ و انجام عمل آبیاری بعد از این بارش‌ها بود.

در هر یک از بخش‌های تیمار، متوسط راندمان کاربرد آب نسبت به بخش‌های شاهد بیشتر بوده که یکی از دلایل مهم آن استفاده از روش آبیاری جویچه‌ای در بخش تیمار می‌باشد. آبیاری بخش‌های شاهد به‌صورت نواری بوده که در آن عملاً تمام سطح مزرعه غرقاب می‌گردد. این در حالی است که در بخش‌های تیمار آب در جویچه‌ها جریان داشته بنابراین سطح خیس شده مزرعه کاهش و هم‌چنین به‌دلیل تسریع حرکت آب در جویچه‌ها تلفات نفوذ عمقی کاهش می‌یابد. از سوی دیگر مقدار دبی وردی به هر جویچه با استفاده از مدل WinSRFR بهینه شد که این امر نیز موجب کاهش بیشتر تلفات نفوذ عمقی گردید. در نهایت مجموعه این موارد موجب کاهش قابل‌توجه مقادیر آب آبیاری و بالتبع افزایش راندمان کاربرد آب در بخش‌های تیمار گردید.

انتهای تمام جویچه‌ها در مزارع مختلف، بسته بوده و تلفات رواناب در مزارع تیمار وجود نداشت. در تمام نوبت‌های آبیاری، کفایت آبیاری ۱۰۰ درصد محاسبه گردید و به این ترتیب مزارع از نظر کفایت آبیاری، مناسب بوده و با اصلاح آرایش کشت و روش آبیاری، تنش آبی در مزارع تیمار اتفاق نیفتاد.

جدول ۶- مقادیر حداقل، حداکثر، متوسط و انحراف معیار راندمان کاربرد آب در هریک از مزارع (بر حسب درصد)

مزرعه	A		B	
	IA-C	IIA-T	IB-C	IIB-T
حداکثر	۵۶/۲	۷۷/۲	۵۸/۶	۷۳/۹
حداقل	۱۵/۱	۲۹/۵	۱۰/۲	۱۶/۷
متوسط	۳۸/۷	۵۴/۵	۳۹/۳	۵۱/۱
انحراف	۱۴/۸	۱۸/۲	۱۶/۱	۲۰/۵

بهره‌وری فیزیکی آب

بر اساس عملکرد محصول و عمق آبیاری در هر مزرعه، بهره‌وری فیزیکی آب (برحسب کیلوگرم بر مترمکعب) برای چغندرقند در مزارع شاهد و تیمار محاسبه گردید که در جدول (۷) ارائه شده است. مطابق جدول (۷)، بهره‌وری فیزیکی آب در بخش‌های IIA-T و IA-C به‌ترتیب ۷/۹۷ و ۵/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد؛ بنابراین با اعمال تغییر آرایش کشت و روش آبیاری، مقدار بهره‌وری فیزیکی در بخش تیمار مزرعه A نسبت به شاهد این مزرعه ۲/۷۸ کیلوگرم بر مترمکعب (۵۳/۶ درصد) افزایش یافت. بهره‌وری فیزیکی آب در بخش‌های IIB-T و IB-C نیز به‌ترتیب ۴/۹۶ و ۲/۳۲ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و افزایش ۲/۶۴ کیلوگرم بر مترمکعب (۱۱۳/۸ درصد) در بهره‌وری فیزیکی این مزرعه حاصل گردید؛ به‌عبارت دیگر بهره‌وری فیزیکی آب در دو مزرعه به‌طور متوسط ۲/۷۱ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت. با توجه به این‌که شرایط دو مزرعه از نظر حاصلخیزی خاک و به‌ویژه شوری خاک، متفاوت بوده است، لذا در دو مزرعه فوق اختلاف قابل‌ملاحظه در عملکرد محصول وجود داشت؛ اما با توجه به این‌که هدف این مطالعه، مقایسه تغییر روش آبیاری و آرایش کشت بوده است، لذا تفاوت‌ها بین مزارع A و B، مدنظر قرار نگرفت و ارزیابی فقط بر روی تیمار و شاهد می‌باشد. همان‌طوری که از نتایج برداشت می‌شود تغییر در روش آبیاری از نواری به جویچه‌ای و نیز تغییر در الگوی کاشت باعث افزایش در میزان عملکرد چغندرقند گردید و بیش‌ترین میزان عملکرد برابر با ۹۸ تن در هکتار در بخش IIA-T مشاهده شد که نسبت به شرایط روش آبیاری نواری و الگوی کشت مرسوم در هر دو مزرعه دارای افزایش و تأثیر مثبتی بود.

جدول ۷- مقادیر متوسط بهره‌وری فیزیکی آب و عملکرد محصول چغندرقند (کیلوگرم بر مترمکعب)

مزرعه	A		B	
	IA-C	IIA-T	IB-C	IIB-T
بهره‌وری فیزیکی آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	۵/۱۹	۷/۹۷	۲/۳۲	۴/۹۶
عملکرد محصول (تن در هکتار)	۹۰/۰	۹۸/۰	۳۸/۵	۵۰/۰

متوسط بهره‌وری فیزیکی آب در بخش‌های IA-C و IB-C، ۳/۷۶ کیلوگرم بر مترمکعب و در بخش‌های IIA-T و IIB-T حدود ۶/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب به‌دست آمد که نشان می‌دهد تغییر الگوی کاشت از روش مرسوم به روش آرایش ۴۰×۶۰ و تغییر روش آبیاری به جویچه‌ای، باعث افزایش قابل‌ملاحظه در بهره‌وری فیزیکی آب گردیده است. نتایج آزمون t برای پارامترهای بهره‌وری فیزیکی چغندرقند و عملکرد نشان داد علی‌رغم افزایش هر دو پارامتر در بخش‌های تیمار دو مزرعه نسبت به بخش‌های شاهد، اختلاف معنی‌داری بین شاهد و تیمار وجود ندارد. به‌گونه‌ای که مقدار P-Value برای بهره‌وری فیزیکی آب ۰/۲۹ و برای عملکرد محصول ۰/۸۱ به‌دست آمد.

از مشکلات تغییر آرایش کشت به ۶۰×۴۰، نبود و یا کمبود ادوات و ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت هماهنگ با این آرایش در منطقه می‌باشد که موجب می‌گردد کشاورزان نسبت به آن رغبت نداشته باشند. در صورت ایجاد تسهیلاتی توسط سازمان جهاد کشاورزی و یا شرکت‌های خدمات کشاورزی برای ادوات و ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت، امکان کاهش مصرف آب قابل‌توجه وجود خواهد داشت. قابل ذکر است که در تحقیقات مختلف و در شرایط کنترل‌شده مزارع تحقیقاتی، مؤثر بودن تغییر آرایش کشت از لحاظ کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری فیزیکی آب، گزارش شده و تحقیق حاضر در مزارع کشاورزان و تحت مدیریت آن‌ها انجام گرفت. در نتایج مزرعه‌ای کنترل‌شده در تحقیقات مختلف نیز نتایج مشابه این تحقیق حاصل شده است. Behmanesh and Norjoo (2016) طی تحقیقی در استان آذربایجان غربی نشان دادند که با تغییر آرایش کاشت چغندرقند از حالت یک ردیفه به حالت کاشت دو ردیفه ۵۰ × ۴۰ سانتی‌متر، مقدار عملکرد محصول، میزان شکر قابل استحصال و بهره‌وری فیزیکی آب به‌ترتیب ۱۵/۶، ۲۰/۷ و ۴۵/۲ درصد افزایش یافت که

نتایج این تحقیق هم‌راستا با نتایج به‌دست‌آمده می‌باشد. همچنین Ashrafmansori1and Sharifi (2013) با انجام آزمایشی در منطقه سردسیر اقلید فارس بیان کردند که بیش‌ترین عملکرد ریشه چغندرقند با ۴۲/۶۶ تن در هکتار مربوط به تیمار آرایش کاشت با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و عرض پشته ۵۰ سانتی‌متر و تحت آرایش کشت دو ردیفه به‌دست آمد.

نتایج تحلیل آزمون t دو گروه مستقل برای پارامترهای عمق و راندمان کاربرد آب

خلاصه نتایج آزمون t برای مقایسه پارامترهای عمق و راندمان کاربرد آب در مزارع تیمار و شاهد A و B به‌ترتیب در جداول (۸) و (۹) ارائه گردیده است. مطابق نتایج جدول (۸)، مقادیر P-Value یا Significant در مزارع A و B کم‌تر از ۰/۰۵ و نزدیک صفر بوده که نشان می‌دهد بین عمق‌های آب آبیاری شاهد و تیمار در هر دو مزرعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. از طرفی با توجه به حدود بالا و پایین سطح اطمینان ۹۵ درصد (هر دو مثبت)، میانگین عمق آب مصرفی در مزارع شاهد نسبت به تیمار بیش‌تر است.

مطابق نتایج جدول (۹)، مقدار P-Value در مزرعه A کم‌تر از ۰/۰۵ بوده که نشان می‌دهد بین راندمان‌های کاربرد شاهد و تیمار این مزرعه اختلاف معنی‌داری وجود دارد. ولی مقدار P-Value در مزرعه B بیش‌تر از ۰۵/ بوده که نشان می‌دهد بین راندمان‌های کاربرد شاهد و تیمار این مزرعه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. یکی از دلایل معنی‌داری تفاوت راندمان کاربرد آب در مزرعه A و عدم معنی‌داری آن در مزرعه B این است که مقادیر آب مصرفی در بخش‌های تیمار و شاهد مزرعه B کمتر بوده به‌گونه‌ای که موجب شده اختلاف راندمان کاربرد آب متوسط بخش‌های تیمار و شاهد این مزرعه ۳۰/۱ درصد باشد این در حالی است که تفاوت راندمان کاربرد آب در بخش‌های تیمار و شاهد مزرعه A حدود ۴۰/۹ درصد می‌باشد و یکی از دلایل آن مصرف کمتر آب آبیاری توسط زارع در بخش شاهد مزرعه B می‌باشد.

جدول ۸- نتایج آزمون t-test دو گروه مستقل برای عمق آبیاری در مزارع تیمار و شاهد A و B

مزرعه	آزمون t-test برای برابری میانگین‌ها				
	t	Sig. (2-tailed)	تفاوت میانگین	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد پایین	حد بالا
A	۶/۱	<۰/۰۰۱ *	۴۲/۰	۲۷/۶	۵۶/۵
B	۹/۲	<۰/۰۰۱ *	۴۴/۷	۳۴/۷	۵۴/۸

* معنی‌داری در سطح اطمینان ۵ درصد

جدول ۹- نتایج آزمون t-test دو گروه مستقل برای راندمان کاربرد آب در مزارع تیمار و شاهد A و B

مزرعه	آزمون t-test برای برابری میانگین‌ها				
	t	Sig. (2-tailed)	تفاوت میانگین	فاصله اطمینان ۹۵ درصد	
				حد پایین	حد بالا
A	-۲/۳	۰/۰۳*	-۱۵/۹	-۲۹/۹	-۱/۸
B	-۱/۸	۰/۰۹ ns	-۱۳/۱	-۲۸/۵	۲/۲

* و ns به‌ترتیب معنی‌داری و غیر معنی‌دار در سطح ۵ درصد

نتیجه‌گیری

تغییر آرایش کاشت چغندرقند به ۶۰×۴۰ و تغییر روش آبیاری آن، باعث افزایش عملکرد محصول، افزایش راندمان کاربرد آب و افزایش بهره‌وری فیزیکی آب گردید. تغییر در روش آبیاری از نواری به جویچه‌ای و نیز تغییر در الگوی کاشت باعث افزایش در میزان عملکرد چغندرقند گردید و بیش‌ترین میزان عملکرد برابر با ۹۸ تن در هکتار در تیمار مزرعه A مشاهده شد که نسبت به شرایط روش آبیاری نواری و الگوی کشت مرسوم در هر دو مزرعه دارای افزایش و تأثیر مثبتی بود. با تغییر آرایش کاشت و روش آبیاری چغندرقند، راندمان کاربرد آب در مزارع تیمار نسبت به شاهد به‌طور متوسط ۳۵/۵ درصد افزایش یافت. مقادیر کاهش مصرف آب در مزارع A و B نیز به‌ترتیب ۲۹/۱ و ۳۳ درصد حاصل گردید، بدون این‌که کم-آبیاری اتفاق بیفتد. یکی از مزایای مهم اصلاح آرایش کشت و تغییر روش آبیاری، بهبود بهره‌وری فیزیکی آب در مزارع بود، به‌طوری‌که بهره‌وری فیزیکی آب چغندرقند به‌طور متوسط ۲/۸۳ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش یافت. از مشکلات تغییر آرایش کشت به ۶۰×۴۰، نبود و یا کمبود ادوات و ماشین‌آلات کاشت، داشت و برداشت هماهنگ با این آرایش در منطقه می‌باشد که باعث می‌شود کشاورزان نسبت به آن رغبت نداشته باشند. در صورت ایجاد چنین تسهیلاتی توسط سازمان جهاد کشاورزی و شرکت‌های خدمات کشاورزی، امکان کاهش مصرف آب قابل‌توجه با اصلاح آرایش کشت و روش آبیاری وجود دارد.

REFERENCES

Allen R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Fao Rome*, 300(9), p. D05109.

Ashrafmansori1, Gh. and Sharifi, M. (2013). Effect of planting pattern on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (Beta vulgaris L.) in cold regions of Fars province. *Journal of Ecophysiology*, 3(4), 15-25. (In Farsi)

Ayers, R. S. and Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Behmanesh, j. and Norjoo, a. (2016). The effect of within-furrow soil compaction and sowing pattern on water use efficiency of sugar beet. *Journal of sugar beet*, 32(1), 13-20. (In Farsi)

Cook, S., Gichuki, F. and Turral, H. (2006). *Agricultural water productivity*: Issues, consepts and approaches, Basin Focal Project Working Paper No.1 published by the challenge program on water and food, 19 pp.

Ghadami Firoozabadi, A. S. and Mirzai, M. (2006). Effect of drip irrigation (tape) on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet. *Journal of Research and Development in Agriculture and Horticulture*, 19(2), 11-6. (In Farsi)

Ghamarnia1, H., Arji, I., Javadi Baigy, M. and Sepehri, S. (2008). Comparison of Different Surface (Furrow) and Drip (Tape) Irrigation Methods on Sugarbeet from Point View of Water Use and Yield in the Eastern Part of Kermanshah Province. *Agricultural research: water, soil and vegetation in agriculture*, 3(8), 9-22. (In Farsi)

Hamdi Ahmadabad, A., Liaqat, A., Sohrabi, S., Rasoul-zadeh, A. and Nazari, B. (2016). Investigating the performance of furrow irrigation in farmland managed by farmers and providing practical solutions for its improvement (case study: Moghan agro-industry and animal husbandry). *Water and Irrigation Management*, 6(1), 28-15. (In Farsi)

Kanooni, A. (2007). Evaluation of Irrigation Irrigation Efficiency under Various Management in Moghan Area. *Journal of Agricultural Engineering*, 2(8), 32-17. (In Farsi)

Mohammadian, R. and Sedrghain, H. (2012). Determination of the most suitable sugar beet arrangement under border irrigation conditions. *Journal of Sugar beet*, 28(2), 107-122. (In Farsi)

Noorjo, A., Baghaei Kia, M. and Mehdi Khani, P. (2004). Effect of planting pettern and irrigation on water use efficiency and quantity and quality of sugar beet. In: Proceedings of: *8th Iranian Congress of Agronomy and Plant Breeding*. 24-26 Aug. University of Gilan, Gilan.

Patwardhan, A., Nieber, J. and Johns, E. (1990). Effective rainfall estimation methods. *Journal of irrigation and Drainage Engineering*, 116(2), 182-193.

Rezaverdinezhad, V., Ahmadi, H. and Samadi, A. (2015). Report on the study of the factors of low transmission efficiency and water distribution in irrigation canals (A case study of Bampour network), Urmia University. (In Farsi)

Saadati, Z., Delbari, M., Panahi, M. and Amiri, A. (2017). The Effect of Different Irrigation Management on Vegetative Properties, yield and Sugar beet sugar yield in Lorestan province, *Journal of Water Research in Agriculture*, 2(31): 151-162. (In Farsi)

Shahabifar, M. and Rahimian, M. H. (2007). Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhsd. *Sugar beet*. 23(2): 177-184. (In Farsi)

Scott, R. K. and Jaggard, K.W. (1993). *The Sugar Beet Crop*: Science into Practice. 56, 179-237.

Stone, J. F., Garton, J. E., Webb, B. B., Reeves, H. E. and Keflemariam, J. (1979). Irrigation water conservation by using wild- spaced furrow. *Soil Science Society of America*, 43 (2), 407-411.

Taghizadeh, Z., Rezaverdinezhad, V., Ebrahimian, H. and Khanmohammadi, N. (2013). Field Evaluation and Analysis of Surface Irrigation System with WinSRFR (Case Study Furrow Irrigation*). Journal of Water and Soil*, 6(26), 1450-1459. (In Farsi).

Tafteh, A., Emdad, M. R. and Ghalebi, S. (2018). Determination of the best situation of border irrigation for increasing application Efficiency using SRFR model. *Water and Irrigation Engineering*, 8(30): 200-210. (In Farsi)

Taleghani, D. F., Moharramzadeh, M., Sadeghzadeh Hemayati, S., Mohammadyian, R. and Farahmand, R. (2011). Effect of Sowing and Harvest Time on Yield of Autumn-Sown Sugar Beet in Moghan Region in Iran. *Journal of Seeding and Seed better Farming*, 27-2(3): 1-17.

Taleghani, D., Ghohi, J., Toohidlu, G. H. and Rouhi. (1999). A study of the efficiency of water and nitrogen consumption in optimal and stress conditions in two sugar beet planting spacing, *the final report of the sugar beet research institute*. (In Farsi)

Torabi, M. and Jahad Akbar, M. R. (2005). The Effect of Furrow Irrigation, Single Row and Double Row Planting on Water Use Efficiency, Quantity, and Quality of Sugar Beet Yield. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6(22), 15-26. (In Farsi)

Soil Conservation Service National. 1979. USDA Furrow irrigation. Engineering Handbook. Chapter 5. Section 15 (Irrigation).

Vazifedoust, M., Alizadeh, A., Kamali, GH. and Feyzi, M. (2008). Increasing water productivity of irrigated crops in Borkhar irrigation district, Isfahan. *Journal of Water and Soil*, 2(22), 484-495. (In Farsi)

Vaziri, j. (1991). Determine the water potential of sugar beet using lysimeter. *Kermanshah Soil and Water Research Report*. (In Farsi)

Zare Abyaneh, H., Heydari, A. and Daneshkar Arasteh, P. (2020). Evaluation of Water Management Performance in Irrigation Network of Qazvin Plain. *Water and Irrigation Engineering*, 10(38): 76-88. (In Farsi)