



## بررسی بهره‌وری و میزان آب‌آبیاری چغندرقد در روش‌های آبیاری تحت فشار و سطحی در منطقه تربت‌حیدریه

### Evaluation of the water efficiency and the amount of water applied in irrigation of sugar beet through pressurized and surface irrigation methods in Torbat-e Heydariyeh region

محمد کریمی<sup>۱\*</sup> و محمد جلیبی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۳۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.22092/jsb.2022.355945.1288

م. کریمی و م. جلیبی. ۱۴۰۰. بررسی بهره‌وری و میزان آب‌آبیاری چغندرقد در روش‌های آبیاری تحت فشار و سطحی در منطقه تربت‌حیدریه. چغندرقد، ۳۷(۲): ۱۶۷-۱۷۷

#### چکیده

هدف از انجام این تحقیق اندازه‌گیری حجم آب‌آبیاری، عملکرد ریشه، بهره‌وری آب و مقایسه میزان آب آبیاری با نیازآبی ناخالص چغندرقد در منطقه تربت حیدریه بوده است. مزارع در سال ۱۳۹۷ به کمک کارشناسان مدیریت و مراکز جهادکشاورزی به گونه‌ای انتخاب شدند که نماینده کل مزارع چغندرقد منطقه باشند. اطلاعات پایه شامل مشخصات و مختصات جغرافیایی مزارع، بافت خاک، هدایت الکتریکی آب‌آبیاری و عصاره اشباع خاک تعیین شدند. زمان کاشت، زمان برداشت، طول دوره رشد، رقم چغندرقد، متوسط عمق آب در هر بار آبیاری، تعداد کل نوبت‌های آبیاری انجام شده، حجم کل آب‌آبیاری و نیاز آبشویی اندازه‌گیری، محاسبه و یا از طریق پرسش از کشاورزان برآورد گردید. متوسط میزان آب‌آبیاری در مزارع چغندرقد در روش‌های آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به ترتیب برابر با ۱۱۴۶۸، ۱۰۰۵۴ و ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار بوده است. کمترین میزان عملکرد ریشه برابر با ۲۹/۵ و بیشترین آن ۷۰ تن در هکتار بود. کمترین مقدار بهره‌وری آب برابر با ۳/۲۱ و بیشترین آن ۷/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب و هر دو مقدار در روش آبیاری سطحی به دست آمد. میانگین بهره‌وری آب در مزارع چغندرقد در روش آبیاری سطحی برابر با ۴/۱۹ و در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای به ترتیب ۶/۳۰ و ۶/۲۳ کیلوگرم بر مترمکعب آب به دست آمد. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و قطره‌ای، بهره‌وری آب به ترتیب ۵۰/۳۶ و ۴۸/۶۹ درصد افزایش پیدا کرده است. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از آبیاری تحت فشار در کشت چغندرقد قابل توصیه است و توصیه می‌شود کشاورزان بر اساس دفترچه راهنما و طراحی اقدام به بهره‌برداری از سامانه آبیاری نمایند، همچنین برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه دقیقاً با آنچه در دفترچه توصیه شده است، مطابقت داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: آب آبیاری، بهره‌وری آب، چغندرقد، روش آبیاری، عملکرد



۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران. \* نویسنده مسئول: karimi.irri@gmail.com

۲- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.

## مقدمه

خشکسالی و کم‌آبی در ایران یک واقعیت اقلیمی است و با توجه به روند رو به افزایش نیاز بخش‌های مختلف به آب، مشکل خشکسالی در سال‌های آینده حادث‌تر نیز خواهد شد. در چنین شرایطی یکی از راه‌کارهای مؤثر و عملی استفاده بهینه و صرفه‌جویی در مصرف آب است. حجم آب آبیاری محصولات کشاورزی به‌عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی استفاده بهینه از منابع آب نقش بسیار مهمی در مدیریت و برنامه‌ریزی‌های کلان در حوزه مدیریت و مهندسی آب دارد. هرچند، تاکنون حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی به‌طور دقیق تعیین یا برآورد نشده و این موضوع همواره از دغدغه‌های اصلی متولیان و برنامه‌ریزان صنعت آب کشور بوده و هست. در شرایط فعلی که تناقضاتی در آب‌آبیاری محصولات مختلف بین سازمان‌های مختلف و به‌طور خاص بین وزارت نیرو و وزارت جهادکشاورزی وجود دارد، انجام یک کار پژوهشی که بتواند به اعداد متقنی در باره حجم آب‌آبیاری محصولات مختلف در کشور منتهی شود، امری لازم و ضروری بوده و نتایج آن می‌تواند کمک شایانی به تصمیم‌گیری مسئولین مرتبط با آب و کشاورزی بنماید. استان خراسان رضوی با مساحت ۱۱۶۴۹۳/۳۹ کیلومترمربع یکی از قطب‌های تولید چغندرقد در کشور است. بر اساس آخرین آمار و اطلاعات ارائه شده توسط وزارت جهادکشاورزی، سطح زیرکشت چغندرقد آبی در این استان ۱۱۷۹۹ هکتار با میانگین عملکرد ریشه ۵۵/۱۳ تن در هکتار بوده است (Kassam and Smith 2001; Ahmadi *et al.* 2020). با توجه به محدودیت منابع آب در مناطق مختلف کشور که عمدتاً دارای شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک می‌باشند، توجه به آب‌آبیاری گیاه و برنامه‌ریزی برای آن ضروری است. مهم‌ترین فاکتور برای بهبود کارایی و بهره‌وری آب، شناخت و تعیین نیاز آبی گیاه و سپس برنامه‌ریزی آبیاری و اعمال روش مناسب آبیاری است. مؤسسه تحقیقات خاک و آب

بر اساس نتایج مطالعات انجام شده و نتایج هواشناسی در استان‌های کشور و با استفاده از روش تجربی معتبر پنمن ماتیت (Penman-Monteith)، نیاز آبی گیاه چغندرقد و سایر گیاهان زراعی و باغی کشور را بررسی و حاصل را در دو جلد کتاب "برآورد آب مورد نیاز گیاهان زراعی و باغی کشور" ارائه نموده است (Farshi *et al.* 1997). در جلد اول این مجموعه، تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه چغندرقد را در شهرستان تربت‌حیدریه ۱۱۷۰ میلی‌متر و باران مؤثر ۸۰ میلی‌متر و نیازخالص آب‌آبیاری این گیاه را ۱۰۹۰ میلی‌تر بیان نموده است (Farshi *et al.* 1997). بر اساس داده‌های ارائه شده در نرم‌افزار Netwat، نیاز خالص آب‌آبیاری چغندرقد در منطقه تربت‌حیدریه ۱۱۰۵ میلی‌متر و در جلگه رخ ۸۹۷ میلی‌متر است. مقدار آبی که توسط کشاورزان برای تولید محصولات کشاورزی و مخصوصاً چغندرقد در سطح کشور مصرف می‌شود، به عواملی مانند رقم، طول دوره رشد، مدیریت مزرعه، خاک، کیفیت آب، شیب زمین، ابعاد واحد آبیاری، اقلیم، سیستم آبیاری، نوع منبع آبی و ... بستگی دارد.

نیاز آبی چغندرقد به روش لایسیمتری در مشهد مورد بررسی قرار گرفت. میزان نیاز آبی چغندرقد در سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸ به ترتیب برابر ۱۱۸۸۰، ۱۳۸۴۰ و ۱۰۹۲۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری و میانگین سه سال برابر ۱۲۲۱۰ مترمکعب در هکتار گردید. میانگین سه ساله عملکرد ریشه چغندرقد داخل لایسیمتر ۵۶/۵ تن در هکتار، درصد قند ۱۷/۸ و میانگین عملکرد ناخالص شکر ۱۰/۰۵ تن در هکتار بود. هم‌چنین کارایی مصرف آب براساس عملکردریشه و عملکردشکر به‌ترتیب ۴/۶۲۷ و ۰/۸۲۳ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب آبیاری به‌دست آمد (Shahabifar and Rahimiyan 2007; Ashraf *et al.* 2012). حداکثر مقدار آب‌آبیاری چغندرقد در منطقه همدان (ایستگاه تحقیقات

درصد کاهش یافته بود (Baghani 2010). در تحقیقی دیگر به مدت چهار سال نیاز آبی چغندرقد با استفاده از لایسیمتر تعیین شد و تأثیر تغییرات نیازآبی در طی چهار سال بر صفات کمی و کیفی محصول چغندرقد مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که حجم آب‌آبیاری چغندرقد طی چهار سال (۱۳۷۳ الی ۱۳۷۶) به ترتیب ۸۴۲۷، ۷۳۲۸، ۱۰۲۵۶ و ۹۰۲۶ مترمکعب در هکتار بوده است. میانگین چهار ساله حداکثر ضریب گیاهی در مرحله میان فصل ۱/۰۴ و حداقل آن در مرحله آغازین برابر ۰/۴۲ به دست آمد (Zare Abyaneh et al. 2012). مقدار آب‌آبیاری کشاورزان برای تولید چغندرقد در مناطق خوراسگان و مبارکه با روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای معادل ۱۱۷۰۰ و ۷۱۰۰ و در مزارع بلداجی و فرادنبه معادل ۹۲۵۰ و ۶۳۰۰ مترمکعب در هکتار اندازه‌گیری شد (Salemi et al. 2013). تبخیر، ترق و ضریب گیاهی چغندرقد در منطقه شهرکرد با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که مجموع تبخیر و ترق گیاه چغندرقد در فصل رشد برابر ۱۰۱۶/۶ میلی‌متر بود. ضریب گیاهی چغندرقد در مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷۲، ۰/۸۱، ۱/۰۴ و ۰/۷۰ به دست آمد (Ebrahimipak and Ghalebi 2014). نیاز خالص آبیاری چغندرقد در مشهد براساس محاسبه نیاز آبی در سند ملی آب حدود ۹۰۰۰ مترمکعب در هکتار اعلام گردیده است. با انجام تحقیقی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بر کارایی مصرف آب چغندرقد پاییزه بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان داد که نیازآبی چغندرقد پاییزه در دوره رشد خود بین ۵۱۰۰ تا ۶۲۰۰ مترمکعب در هکتار می‌باشد (Haghighy et al. 2015). با تعیین تابع تولید محصول- آب‌آبیاری چغندرقد در منطقه قزوین این نتیجه حاصل شد که نیازآبی گیاه چغندرقد در کل دوره رشد برابر ۱۰۲۸ میلی‌متر بوده است. در این تحقیق،

اکباتان) در سه سیستم آبیاری نشتی، بارانی و قطره‌ای در دو سال متوالی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بیشترین مقدار آب‌آبیاری چغندرقد در سه سیستم مذکور در دو سال متوالی به ترتیب معادل ۱۴۱۶۷، ۱۲۰۳۴، ۸۳۵۰ و ۱۴۰۲۵، ۹۹۱۰، ۶۹۲۱ مترمکعب در هکتار به دست آمده است (Rezvani et al. 2008). در تحقیقی با استفاده از داده‌های هواشناسی طولانی‌مدت، نیاز آبیاری چغندرقد در مناطق آباد، اقلید، داراب، سد درورزن، زرقان، شیراز و فسا در استان فارس در سطوح احتمال ۱۰ تا ۹۰ درصد (با فاصله ۱۰ درصد) و شرایط بحرانی (تبخیر- ترق زیاد و بارندگی کم) تعیین شد. نتایج نشان داد نیاز آبیاری بحرانی چغندرقد در نقاط مختلف استان فارس با نیاز آبیاری این گیاه در سطح احتمال ۹۰ درصد برابر است. همچنین نیاز آبیاری برآورد شده در برنامه NETWAT در نقاط مختلف استان فارس برابر ۹۲ درصد نیاز آبیاری بحرانی این گیاه است. از طرف دیگر، با توجه به روابط همبستگی ارائه شده در این تحقیق امکان تعیین نیاز آبیاری چغندرقد در سطح احتمال مشخص و شرایط بحرانی برای مناطق مختلف استان فارس وجود دارد (Foladmand 2009). میزان آب‌آبیاری زراعت‌های تابستانه در ۳۰ مزرعه در دشت‌های مشهد و چناران اندازه‌گیری شد و آب‌آبیاری این مزارع بعد از تغییر روش آبیاری آنها از روش سطحی به روش تحت فشار نیز اندازه‌گیری گردید. نتایج نشان داد که آب‌آبیاری کلیه محصولات الگوی کشت تابستانه بجز ذرت علوفه‌ای با تغییر روش آبیاری از سطحی به تحت فشار، بین ۲۲ تا ۵۲ درصد کاهش یافته بود. در مطالعه اخیر، در آبیاری شیاری زراعت پیاز، چغندرقد، سیب‌زمینی و گوجه‌فرنگی به ترتیب با میانگین مصرف ۱۵۳۵۹، ۱۴۹۵۵، ۱۴۹۵۵ و ۱۳۵۶۳ مترمکعب در هکتار، بیشتر از سایر محصولات آب مصرف کرده بودند. به‌طور کلی با تغییر روش آبیاری، مقدار آب مصرفی کل کشت‌ها در واحد سطح، ۲۷/۵

عمده سطح زیرکشت چغندرقد در این دو بخش وجود دارد) انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق آب‌آبیاری توسط کشاورزان برای تولید چغندرقد در سال ۱۳۹۷ و بدون دخالت کارشناس در بحث مدیریت آبیاری، اندازه‌گیری شد. در ابتدا در استان خراسان رضوی نه مزرعه (تعداد مزارع انتخابی براساس سطح زیرکشت چغندرقد در منطقه و به ازای هر ۵۰۰ هکتار یک مزرعه انتخاب شده است) در منطقه تربت‌حیدریه انتخاب گردید. هفت مزرعه از بخش جلگه‌رخ (عمده‌ترین سطح زیرکشت چغندرقد شهرستان تربت‌حیدریه مربوط به این بخش می‌باشد) و دو مزرعه از بخش مرکزی این شهرستان انتخاب شد. از نه مزرعه انتخاب شده، دو مزرعه به روش قطره‌ای (تیپ)، دو مزرعه به روش بارانی (آبفشان غلطان)، یک مزرعه به روش بارانی (آبفشان دوار) و چهار مزرعه به روش سطحی (شیاری) آبیاری می‌شدند. مزارع به کمک کارشناسان مدیریت و مراکز جهادکشاورزی به گونه‌ای انتخاب شدند که نماینده کل مزارع چغندرقد منطقه تربت‌حیدریه باشند. اطلاعات پایه شامل مشخصات و مختصات جغرافیایی مزارع (با استفاده از دستگاه GPS)، هدایت الکتریکی آب‌آبیاری (با استفاده از دستگاه EC متر)، بافت خاک و عصاره اشباع خاک با استفاده از نمونه‌برداری از خاک مزارع تعیین شدند (جدول ۱).

منبع‌آبی تمام مزارع چاه عمیق بود. میزان دبی منبع‌آبی با استفاده از فلوم اندازه‌گیری گردید. علاوه بر اطلاعات پایه و میزان دبی هر منبع‌آبی، تاریخ کاشت، تاریخ برداشت، طول دوره رشد، رقم چغندرقد کشت شده، متوسط عمق آب در هر آبیاری، تعداد کل نوبت‌های آبیاری، حجم کل آب‌آبیاری و نیاز آبشویی محاسبه و یا از طریق پرسش از کشاورز برآورد شد (جدول ۲).

ضریب گیاهی چغندرقد در مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳۵ و ۰/۶ به دست آمد (Ebrahimipak and Tafteh 2017). در تحقیقی دیگر بهره‌وری فیزیکی و حجم آب‌آبیاری در کشت چغندرقد در منطقه کوه‌دشت استان لرستان مورد بررسی قرار گرفت. تمامی مزارع چغندرقد انتخاب شده مجهز به سیستم‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت با آبیاش متحرک بودند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین نرخ بهره‌وری فیزیکی آب در شرایط مدیریتی بهره‌برداران تحت پوشش پروژه، برای محصول چغندرقد برابر است با ۶/۰۶ کیلوگرم بر مترمکعب و حجم آب‌آبیاری در طول فصل رشد آن برابر است با ۱۴۸۴۱ مترمکعب در هکتار بوده است (Daneshzad et al. 2019). در پژوهشی اثر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای در کشت چغندرقد بهاره برای منطقه نیمه‌خشک قونیه در کشور ترکیه بررسی و گزارش شد که عملکرد ریشه چغندرقد در تیمارهای ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیازآبی یعنی با آب مصرفی ۹۷۷، ۷۳۳ و ۴۸۸ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۷۷/۳، ۷۰/۶ و ۵۰/۳ تن در هکتار بوده است (Topak et al. 2010). در تحقیقی تبخیر و تعرق واقعی و ضریب گیاهی چغندرقد تحت شرایط آبیاری قطره‌ای و با استفاده از لایسیمتر وزنی مورد بررسی قرار گرفت. در طی دو دوره رشد ۱۵-۲۰۱۴ و ۱۶-۲۰۱۵، تبخیر و تعرق گیاه چغندرقد بین ۵۴۰ تا ۸۷۰ میلی‌متر متغیر بوده است. متوسط ضریب گیاهی چغندرقد در مرحله ابتدایی رشد بین ۰/۴۷ تا ۰/۵۲، در مرحله میانی ۰/۹۳ تا ۱/۲۶ و در محله نهایی رشد بین ۰/۷ تا ۰/۹۲ متغیر بوده است (Thao 2017). در مجموع مطالعات زیادی برای بررسی آب داده شده توسط کشاورزان به مزارع چغندرقد انجام نشده است که تحقیق حاضر با هدف اندازه‌گیری مزرعه‌ای آب‌آبیاری چغندرقد در منطقه تربت‌حیدریه (در دو بخش مرکزی و بخش جلگه‌رخ که

میانگین ۳/۰ دسی‌زیمنس بر متر بود. طول دوره رشد چغندرقد در مزارع انتخابی بین ۱۵۱ تا ۲۳۳ با میانگین ۱۹۱ روز بود.

شبکه انتقال آب آبیاری در پنج مزرعه، مدرن (انتقال آب با لوله) و در چهار مزرعه با کانال خاکی انجام می‌گردد. میزان شوری خاک بین ۱/۷ تا حداکثر ۵/۰ دسی‌زیمنس بر متر با

**جدول ۱** اطلاعات پایه و داده‌های اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده از مزارع چغندرقد انتخابی

شماره مزرعه	سطح زیرکشت (هکتار)	رقم چغندرقد	بافت خاک	شوری خاک (دسی‌زیمنس بر متر)
۱	۲۰	سمنتا	سیلتی کلی لوم	۴/۳
۲	۱۰	بریجیتا	سیلتی کلی لوم	۴/۳
۳	۹	پائولتا	رسی لومی	۲/۱
۴	۱۹	بتاسید و توکان	رسی لومی	۲/۵
۵	۵	دوروتی	رسی لومی	۴/۹۵
۶	۵	دوروتی	شنی رسی	۳/۶۰
۷	۸	توکان	سیلتی لوم	۱/۶۵
۸	۱۲	پائولتا	سیلتی لوم	۱/۶۵
۹	۱۲	پائولتا	سیلتی لوم	۱/۶۵

**جدول ۲** مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده از مزارع چغندرقد انتخابی در شهرستان تربت‌حیدریه

شماره مزرعه	روش آبیاری	دبی (لیتر بر ثانیه)	شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)	متوسط عمق آب آبیاری (میلی‌متر)	تعداد کل نوبت‌های آبیاری	طول دوره رشد (روز)	دور آبیاری
۱	قطره‌ای (تیپ)	۴۳	۲/۸۶	۷۱/۰۸	۱۳	۱۸۷	۱۴
۲	بارانی ویل موو	۴۳	۲/۸۶	۶۳/۱۰	۱۴	۱۷۴	۱۲
۳	بارانی (سنتریپوت)	۲۱	۱/۴۰	۷۹/۸۶	۱۳	۱۵۱	۱۲
۴	سطحی	۳۴	۱/۶۷	۹۶/۶۱	۹	۱۸۴	۲۰
۵	سطحی	۲۸/۸۴	۳/۳	۷۳/۶۲	۲۰	۲۱۰	۱۱
۶	سطحی	۱۲	۲/۴	۷۳/۱۲	۱۹	۲۳۳	۱۲
۷	قطره‌ای (تیپ)	۳۰	۱/۱	۱۲۲/۲۹	۷	۱۹۵	۲۸
۸	بارانی ویل موو	۳۰	۱/۱	۷۱/۶۷	۱۶	۱۹۱	۱۲
۹	بارانی (سنتریپوت)	۳۰	۱/۱	۶۸/۴۱	۱۶	۱۹۳	۱۲

**ادامه جدول ۲** مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده از مزارع چغندرقد انتخابی در شهرستان تربت‌حیدریه

شماره مزرعه	حجم کل آب آبیاری (مترمکعب/هکتار)	سند ملی	کتاب نیاز آبی	داده‌های هواشناسی	نیاز آیشویی (درصد)	عملکرد محصول (کیلوگرم در هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	نیاز آبی (میلی‌متر) بر اساس
۱	۹۲۴۰/۰۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۸۰	۵/۹۶	۵۹۰۰۰	۶/۳۹	
۲	۸۸۳۳/۳۳	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۴۷	۷/۰۴	۵۰۰۰۰	۵/۶۶	
۳	۱۰۳۸۲/۴۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۰۴۰	۳/۳۳	۷۰۰۰۰	۶/۷۴	
۴	۸۶۹۴/۵۷	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۷۵	۳/۹۹	۲۹۵۰۰	۳/۳۹	
۵	۱۴۷۲۴/۱۲	۱۱۰۵	۱۰۹۰	۱۵۲۸	۸/۲۱	۵۸۰۰۰	۳/۹۴	
۶	۱۳۸۹۳/۱۲	۱۱۰۵	۱۰۹۰	۱۵۷۱	۵/۸۴	۴۴۶۰۰	۳/۲۱	
۷	۸۵۶۰/۴۲	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۷۷	۲/۵۹	۶۰۰۰۰	۷/۰۱	
۸	۱۱۴۶۶/۵۰	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۷۷	۲/۲۹	۷۰۰۰۰	۶/۱۰	
۹	۱۰۹۴۶/۱۶	۸۹۷	۱۰۹۰	۱۱۸۴	۲/۵۹	۷۰۰۰۰	۶/۳۹	

## نتایج

در جدول ۳ محدوده تغییرات برخی از داده‌های پایه اندازه‌گیری شده در مزارع چغندرقد ارائه شده است. دامنه تغییرات دبی چاه‌ها بین ۱۲ تا ۴۳ لیتر در ثانیه با متوسط میزان دبی ۳۰/۲ لیتر با انحراف معیار ۹/۷ بود. دامنه تغییرات سطح زیرکشت چغندرقد بین ۵ تا ۲۰ هکتار با متوسط ۱۱/۱ و انحراف معیار ۵/۴ بود. شوری آب‌آبیاری بین ۱/۱ تا ۳/۳ با میانگین ۲ و انحراف معیار ۰/۹ بود که از حد آستانه شوری قابل‌تحمل چغندرقد کمتر بود، به عبارتی دیگر شوری آب‌آبیاری تأثیری روی کاهش عملکرد چغندرقد در منطقه نداشته است. دامنه تغییرات عمق آب‌آبیاری بین ۶۳ تا ۱۲۲ میلی‌متر با متوسط ۸۰ میلی‌متر و انحراف معیار ۱۸/۴ بود. حداقل و حداکثر تعداد آبیاری ۷ و ۲۰ با متوسط ۱۴ و انحراف معیار ۴ بود. با توجه به عمق آب‌آبیاری داده شده و تعداد آبیاری‌ها، دامنه تغییرات حجم آب‌آبیاری بین ۸۵۶۰ تا ۱۴۷۲۴ با متوسط ۱۰۷۴۹ و انحراف معیار ۲۲۷۳ مترمکعب در هکتار به‌دست آمد. تغییرات حجم آب‌آبیاری دارای توزیع نرمال بود. دامنه تغییرات عملکرد چغندرقد بین ۲۹۵۰۰ تا ۷۰۰۰۰ تن درهکتار با میانگین ۵۶۷۸۹ کیلوگرم در هکتار و توزیع نرمال بود. میانگین بهره‌وری آب‌آبیاری ۵/۴۳ کیلوگرم بر مترمکعب و بهره‌رویی آب و بارش مؤثر سال اجرای پروژه برابر با ۵/۳۹ و بهره‌روی آب‌آبیاری و بارش مؤثر ده ساله ۴/۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده است.

نیاز آبی خالص به روش پنمن - مانتیث با استفاده از داده‌های سال جاری و داده‌های ۱۰ ساله ایستگاه هواشناسی شهرستان تربت‌حیدریه و ایستگاه هواشناسی اسدآباد واقع در جلگه‌رخ محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده با مقادیر نیاز آبی خالص ارائه شده در سند ملی آب کشور و کتاب نیازآبی گیاهان زراعی و باغی (Farshi et al. 1997) مقایسه شد. آب موردنیاز برای آبیاری (کسر و یا نسبت آبیاری) مزارع مورد مطالعه بر اساس روش ارائه شده در نشریه فائو ۲۹ در روش‌های مختلف آبیاری از روابط زیر برآورد گردید:

روش آبیاری بارانی و سطحی (رابطه ۱):

$$LR = \frac{EC_w}{5(EC_e) - EC_w} \quad (1)$$

روش آبیاری قطره‌ای (رابطه ۲):

$$LR = \frac{EC_w}{2 * EC_{max}} \quad (2)$$

در این روابط: LR = نسبت و یا کسر آبیاری، EC<sub>w</sub> = هدایت الکتریکی آب‌آبیاری، EC<sub>e</sub> = هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک - آستانه تحمل گیاه و EC<sub>max</sub> = شوری با عملکرد صفر آستانه تحمل با ۱۰ و ۱۰۰ درصد کاهش عملکرد برای چغندرقد به ترتیب برابر با ۸/۷ و ۲۴ دسی‌زیمنس بر متر توسط فائو گزارش شده است. عملکرد محصول در پایان فصل زراعی نیز اندازه‌گیری و بهره‌وری آب در هر یک از مزارع انتخابی تعیین و با همدیگر مقایسه شد. بهره‌وری آب از تقسیم عملکرد محصول بر حجم آب آبیاری به‌دست آمد.

جدول ۳ - دامنه تغییرات برخی پارامترهای اندازه‌گیری شده در مزارع مورد مطالعه

پارامتر	دبی (لیتر بر ثانیه)	سطح زیرکشت چغندرقد (هکتار)	شوری آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)	عمق آب در هر بار آبیاری (میلی‌متر)	تعداد آبیاری در کل فصل رشد	حجم آب آبیاری (مترمکعب/هکتار)	عملکرد چغندرقد (کیلوگرم/هکتار)	بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)	بهره‌رویی آب و بارش مؤثر (بارندگی مؤثر ۱۰ ساله + آبیاری)	بهره‌وری آب (بارندگی مؤثر ۱۰ ساله + آبیاری)
حداقل	۱۲/۰	۵/۰	۱/۱	۶۳/۱	۷	۸۵۶۰	۲۹۵۰۰	۳/۲۱	۳/۱۹	۲/۳۷
حداکثر	۴۳/۰	۲۰/۰	۳/۳	۱۲۲/۳	۲۰	۱۴۷۲۴	۷۰۰۰۰	۷/۰۱	۶/۹۵	۵/۶۲
میانگین	۳۰/۲	۱۱/۱	۲/۰	۸۰/۰	۱۴	۱۰۷۴۹	۵۶۷۸۹	۵/۴۳	۵/۳۹	۴/۳۸
انحراف معیار	۹/۷	۵/۴	۰/۹	۱۸/۴	۴	۲۲۷۳	۱۳۶۰۰	۱/۴۹	۱/۴۸	۱/۲۱

## ۲- مقایسه میزان آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع چغندر قند در دو بخش مرکزی و جلگه‌رخ

دو بخش مرکزی و جلگه‌رخ در منطقه تربت حیدریه از نظر اقلیمی با هم متفاوت هستند. در بخش جلگه‌رخ از هر سه روش آبیاری (سطحی، بارانی و قطره‌ای) و در بخش مرکزی اغلب از روش آبیاری سطحی برای آبیاری مزارع چغندر قند استفاده می‌شود. میزان آب آبیاری کشاورزان برای تولید چغندر قند در روش آبیاری سطحی در دو بخش مرکزی و جلگه‌رخ به ترتیب ۱۴۳۰۹ و ۸۶۲۷ مترمکعب در هکتار بوده است. از نظر سامانه آبیاری، متوسط میزان آب آبیاری در مزارعی که به روش قطره‌ای (تیپ) آبیاری می‌شدند برابر با ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار، در روش آبیاری بارانی برابر با ۱۰۰۵۴ و در روش آبیاری سطحی ۱۱۴۶۸ مترمکعب در هکتار بود. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره‌ای، میزان آب آبیاری به ترتیب ۱۲/۳۳ و ۹/۷۲ درصد کاهش پیدا کرده است. عملکرد چغندر قند نیز در دو بخش مرکزی و جلگه‌رخ در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۵۱۳۰۰ و ۴۴۷۵۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. میانگین عملکرد در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای برابر با ۶۴۵۰۰، در سه مزرعه با روش آبیاری بارانی برابر با ۶۳۳۳۳ و در چهار مزرعه با روش آبیاری سطحی برابر ۴۸۰۲۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. به عبارتی دیگر، با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره‌ای، عملکرد محصول به ترتیب ۳۱/۸۸ و ۳۴/۳۱ درصد افزایش پیدا کرده است. میانگین بهره‌وری آب در مزارعی که با روش سطحی آبیاری می‌شدند برابر با ۴/۱۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمده است در صورتی که در روش آبیاری قطره‌ای و بارانی به ترتیب برابر با ۶/۲۳ و ۶/۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب حاصل شده است. به عبارتی دیگر، با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره‌ای، بهره‌وری آب به ترتیب ۵۰/۳۶ و ۴۸/۶۹ درصد افزایش پیدا

کرده است. این نتایج نشان می‌دهد که با تغییر روش آبیاری از سطحی به تحت فشار، عملکرد و بهره‌وری آب افزایش چشمگیری داشته است. مقدار شوری آب آبیاری، شوری خاک و محاسبات نیاز آبی (جدول ۲) در اکثر مزارع چغندر قند منطقه تربت حیدریه نشان‌دهنده این است که به ندرت نیاز به آبیاری در طول فصل زراعی وجود دارد و در دراز مدت نیز با اعمال نیاز آبی محاسبه شده (جدول ۲)، روش‌های آبیاری تحت فشار قادر خواهند بود عملکرد مطلوب‌تری نسبت به روش آبیاری سطحی داشته باشند. بر اساس داده‌های ارائه شده در نرم‌افزار Netwat، نیاز خالص آبیاری چغندر قند در بخش مرکزی تربت حیدریه ۱۱۰۵ میلی‌متر و در بخش جلگه‌رخ ۸۹۷ میلی‌متر می‌باشد. در روش آبیاری سطحی راندمان قابل حصول یا پتانسیل حدود ۶۵ درصد و در سامانه‌های آبیاری تحت فشار برای آبیاری بارانی حدود ۸۵ درصد و برای آبیاری قطره‌ای حدود ۹۰ درصد است (Solomon 1988; Ali 2011). بنابراین برای تولید چغندر قند در سامانه‌های آبیاری سطحی، بارانی و موضعی در بخش جلگه‌رخ در هر هکتار به ترتیب ۱۳۸۰۰، ۱۰۵۵۳ و ۹۹۶۷ مترمکعب آب مورد نیاز است تا دستیابی به حداکثر محصول ممکن شود. اما با توجه به نتایج این تحقیق، کشاورزان برای تولید چغندر قند در بخش جلگه‌رخ در سه روش آبیاری سطحی، بارانی و قطره‌ای به ترتیب ۸۶۲۷، ۱۰۰۵۴ و ۱۰۳۵۳ مترمکعب در هکتار آب مصرف کرده‌اند. لذا کشاورزان در دو روش آبیاری (سطحی و بارانی) کم‌آبیاری انجام داده‌اند. در بخش مرکزی تربت حیدریه نیز نیاز خالص آبی چغندر قند ۱۱۰۵۰ مترمکعب در هکتار است. بنابراین برای تولید چغندر قند در سامانه آبیاری سطحی (در این بخش اغلب مزارع چغندر قند به روش سطحی آبیاری می‌شوند)، ۱۷۰۰۰ مترمکعب آب مورد نیاز است. نتایج این تحقیق نشان داد که کشاورزان در بخش مرکزی تربت حیدریه برای تولید چغندر قند در هر هکتار ۱۴۳۰۹ مترمکعب آب مصرف کرده‌اند. بنابراین

### ۳- مدیریت آبیاری، دور و عمق آب‌آبیاری در مزارع چغندرقد

نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد سامانه‌های نوین آبیاری باعث افزایش عملکرد محصول و بهبود بهره‌وری آب در زراعت چغندرقد شده است اما در کاهش مصرف آب نسبت به سامانه آبیاری سطحی موفقیت قابل توجهی نداشته‌اند (جدول ۴). در جدول ۵ متوسط عمق آب‌آبیاری و تعداد دفعات آبیاری در مزارع مورد مطالعه نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که دور آبیاری در روش‌های آبیاری بارانی و قطره‌ای تفاوتی با روش آبیاری سطحی ندارد که نشان‌دهنده این است که کشاورزان توجهی به دفترچه طراحی سامانه آبیاری نداشته و بدون توجه به دور آبیاری طراحی شده، آبیاری مزارع را براساس نوبت آب خود انجام داده‌اند. بنابراین مدیریت آبیاری و بهره‌برداری از سامانه‌های آبیاری تحت فشار مطلوب نبوده و کشاورزان به دستورالعمل طراحی سامانه توجه نداشته‌اند.

جدول ۵ متوسط عمق آب آبیاری و تعداد دفعات آبیاری در مزارع انتخابی

ردیف	روش آبیاری	دور آبیاری (روز)	عمق آب آبیاری (میلی‌متر)
۱	سطحی	۱۸	۹۱/۴۱
۲	بارانی	۱۲	۷۰/۴۶
۳	قطره‌ای	۱۳	۷۱/۳۷

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که میزان آب‌آبیاری چغندرقد در مزارع انتخابی بین ۸۵۶۰ تا ۱۴۷۲۴ مترمکعب در هکتار متغیر بوده است. میانگین آب‌آبیاری اندازه‌گیری شده در مزارع برابر با ۱۰۷۴۹ مترمکعب در هکتار بود. از نظر سامانه آبیاری، متوسط میزان آب‌آبیاری در مزارعی که به روش قطره‌ای (تیپ) آبیاری می‌شدند برابر با ۱۰۳۵۳ مترمکعب در

کشاورزان در روش آبیاری سطحی در بخش مرکزی نیز کم‌آبیاری انجام داده‌اند. کشاورزان کم‌آبیاری و یا قطع محدود آب را در مرحله توسعه گیاهی یا مرحله دوم از مراحل چهارگانه رشد چغندرقد انجام می‌دهند. در این مرحله رشدی به دلیل رشد کم بوته‌ها و شرایط آب و هوایی (آب و هوای بهاری)، می‌توان آبیاری کمتری انجام داد. بدین ترتیب که پس از کشت محصول (که معمولاً در اولین فرصت در اواخر زمستان و یا اوایل بهار انجام می‌شود) برای جوانه‌زنی، سبز کردن و استقرار گیاه یک تا دو نوبت آبیاری انجام می‌شود. آنگاه پس از استقرار کامل گیاه، آب‌آبیاری را تا حداکثر زمان لازم جهت آخرین آبیاری غلات از زراعت چغندرقد (حداکثر حدود ۵۰ روز) قطع می‌کنند. در انتهای فصل رشد (مرحله پایانی رشد) نیز با توجه به کاهش دما و کاهش تقاضا برای آب توسط گیاه، دور آبیاری را در مقایسه با سایر مراحل رشد افزایش می‌دهند. کشاورزان همچنین از آبیاری‌های آخر فصل صرف‌نظر می‌کنند. با در نظر گرفتن حداقل رطوبت مناسب جهت برداشت چغندرقد، از ۲۰ تا ۳۰ روز قبل از برداشت، نیز آبیاری چغندرقد قطع می‌شود. نتیجه نهایی اینکه کشاورزان خود را با کمبود آب سازگار کرده و کم‌آبی را با انجام کم‌آبیاری، در کشت چغندرقد مدیریت کرده‌اند. میزان آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری آب در مزارع چغندرقد مورد مطالعه در سه روش آبیاری در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴ میزان آب آبیاری، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در مزارع چغندرقد

ردیف	روش آبیاری	میزان آب‌آبیاری (مترمکعب/هکتار)	عملکرد چغندرقد (کیلوگرم/مترمکعب)	بهره‌وری آب (کیلوگرم/مترمکعب)
۱	سطحی	۱۱۴۶۸	۴۸۰۲۵	۴/۱۹
۲	بارانی	۱۰۰۵۴	۶۳۳۳۳	۶/۳۰
۳	قطره‌ای	۱۰۳۵۳	۶۴۵۰۰	۶/۲۳



هکتار، در روش آبیاری بارانی برابر با ۱۰۰۵۴ و در روش آبیاری سطحی ۱۱۴۶۸ مترمکعب در هکتار بود. البته میزان آب آبیاری چغندر قند در دو بخش مرکزی و جلگه رخ در روش آبیاری سطحی به ترتیب ۱۴۳۰۹ و ۸۶۲۷ مترمکعب در هکتار بوده است. این نتایج با نتایج تحقیقات رضوانی و همکاران (Rezvani *et al.* 2008)، باغانی (Baghani 2010)، زارع ایبانه و همکاران (Zare Abyaneh *et al.* 2012)، سالمی و همکاران (Salemi *et al.* 2013) و دانش زاد و همکاران (Dneshzad *et al.* 2019) کمترین میزان عملکرد برابر با ۲۹۵۰۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن ۷۰۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد در مزارع انتخابی ۵۶۷۸۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. میانگین عملکرد در دو مزرعه آبیاری قطره‌ای برابر با ۶۴۵۰۰ کیلوگرم در هکتار، در سه مزرعه با روش آبیاری بارانی برابر با ۶۳۳۳۳ کیلوگرم در هکتار و در چهار مزرعه با روش آبیاری سطحی برابر ۴۸۰۲۵ کیلوگرم در هکتار به دست آمده است. نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات شهابی فر و رحیمیان (Shahabifar and Rahimiyan 2007; Lopes- Urrea *et al.* 2006) و (Dneshzad *et al.* 2019) مطابقت دارد. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره‌ای، عملکرد محصول به ترتیب ۳۱/۸۸ و ۳۴/۳۱ درصد افزایش پیدا کرده است. کمترین مقدار بهره‌وری آب برابر با ۳/۲۱ کیلوگرم بر مترمکعب آب آبیاری و بیشترین آن ۷/۰۱ کیلوگرم در مترمکعب آب به دست آمد. میانگین بهره‌وری آب در تمام مزارع انتخابی شهرستان تربت حیدریه برابر با ۵/۴۳ کیلوگرم در مترمکعب آب حاصل شد. میانگین بهره‌وری آب در مزارعی که با روش سطحی آبیاری می‌شدند برابر با ۴/۱۹ کیلوگرم در مترمکعب آب به دست آمده است در صورتی که در روش آبیاری قطره‌ای و بارانی به ترتیب برابر با ۶/۲۳ و ۶/۳۰ کیلوگرم در مترمکعب آب حاصل شده است. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی

و از سطحی به قطره‌ای، حجم آب آبیاری به ترتیب ۱۲/۳۳ و ۹/۷۲ درصد کاهش پیدا کرده است. با تغییر روش آبیاری از سطحی به بارانی و از سطحی به قطره‌ای، بهره‌وری آب به ترتیب ۵۰/۳۶ و ۴۸/۶۹ درصد افزایش پیدا کرده است. این نتایج با نتایج تحقیق باغانی (Baghani 2010) مطابقت دارد. بهره‌وری آب به دو عامل عملکرد و آب مصرفی وابسته است و عملکرد محصول تابعی از مصرف بهینه و به موقع سایر نهاده‌های کشاورزی نیز هست. نتایج این تحقیق نشان داد که در بعضی از مزارع چغندر قند (با نوع خاک و روش آبیاری مشابه) با وجود میزان آب مصرفی برابر، به دلیل تفاوت در مدیریت مصرف سایر نهاده‌های کشاورزی، عملکرد محصول متفاوت بوده است. لذا بهره‌وری آب زمانی بهبود می‌یابد که علاوه بر آب، مصرف به موقع و به اندازه سایر نهاده‌های کشاورزی هم در دستور کار کشاورز قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد که در مزارع چغندر قند مجهز به سامانه‌های نوین آبیاری (آبیاری بارانی و قطره‌ای)، کشاورزان بدون توجه به دستورالعمل طراحی سامانه و بدون توجه به عمق و دور آبیاری توصیه شده، آبیاری مزرعه را بر اساس نوبت آب خود انجام داده‌اند. بنابراین برنامه‌ریزی آبیاری در این سامانه‌ها دقیق و به‌طور مطلوب انجام نشده است. توصیه می‌شود کشاورزان بر اساس دفترچه راهنما و طراحی اقدام به بهره‌برداری از سامانه آبیاری نمایند و برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه دقیقاً با آنچه در دفترچه توصیه شده است، مطابقت داشته باشد.

حصول یک عملکرد بالا در زراعت چغندر قند مستلزم وجود رطوبت کافی و برنامه‌ریزی دقیق آبیاری است. کشت چغندر قند در اولین فرصت پس از سپری شدن سرمای زمستانی هنگامی که میانگین درجه حرارت خاک ۳ تا ۵ درجه سانتی‌گراد باشد اقدامی بهینه است. با توجه به اینکه چغندر قند دارای سیستم ریشه عمیق بوده و قادر است آب را از حدود ۹۰ تا ۱۱۰ سانتی‌متری عمق خاک استخراج کند لذا جهت مدیریت مصرف

توجه به کاهش دما و کاهش تقاضا برای آب توسط گیاه، دور آبیاری را می‌توان افزایش داد و با در نظر گرفتن حداقل رطوبت مناسب جهت برداشت چغندرقد، از ۲۰ تا ۳۰ روز قبل از برداشت، آبیاری چغندرقد را قطع نمود.

بهینه آب و سازگاری با کم آبی، توصیه می‌شود پس از استقرار کامل گیاه، آب آبیاری را تا حداکثر زمان لازم جهت آخرین آبیاری غلات از زراعت چغندرقد (حداکثر حدود ۵۰ روز) قطع شود. همچنین در انتهای فصل رشد (مرحله پایانی رشد) نیز با

## References:

## منابع مورد استفاده:

- Abbasi F, Sohrab F, Abbasi N. Evaluation of irrigation efficiencies in Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Research*. 2017;17(67):113-128. (in Persian, abstract in English)
- Ali MH. *Practices of Irrigation and On-farm Water Management*. 2011. 1st Ed. Vol. 2. Springer Pub.
- Ahmadi k, Ebadzadeh HR, Hatami F, Abdshah H, Kazemian A. *Agricultural statistics 2018-2019 (the first volume: crops)*. Agricultural statistics and information office of Ministry of Agriculture - Jihad. 2020; 97p. (in Persian)
- Ashraf B, Mousavi-Baygi M, Kamali GA, Davari K. Evaluation of wheat and sugar beet water use variation due to climate change effects in two coming decades in the selected plains of Khorasan Razavi province. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. 2012; 6(2): 105-117. (in Persian, abstract in English)
- Baghani J. Effectiveness of new irrigation systems on groundwater resources, yield and water use efficiency of crops in Mashhad plain. *Final Research Report of Agricultural Engineering Research Institute*. 2010. Registration Number: 990/890.
- Daneshzad M, Yousefi Fard Y, Ghorbani M. Physical productivity and volume of water calculation used in sugar beet cultivation and its effect on groundwater in drought conditions of Kuhdasht city of Iran. *Scientific Journal of Water Science and Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch*. 2019; 9(26): 57-63. (in Persian, abstract in English)
- Ebrahimipak NA, Ghalebi S. Determination of evapotranspiration and crop coefficient (kc) of sugar beet using lysimeter and comparing it with experimental methods in Shahrekord. *Journal of Sugar Beet*. 2014; 30(1): 41-58.
- Ebrahimipak NA, Tafteh A. Determination of yield - water use function for sugar beets in Qazvin. *Journal of sugar beet*. 2017; 33(1): 47-63. (in Persian, abstract in English)
- Farshi AA, Shariati MR, Jarollahi R, Ghaemi MR, Shahabifar M, Tavallaee MM. *An Estimate of Water Requirement of Main Field Crops and Orchards in Iran*. Vol. 1. Agricultural Research, Education and Extension Organization. 1997. (in Persian)
- Foladmand HR. Estimation of sugar beet irrigation requirement in different regions of Fars province in critical conditions and definite probability levels. *Journal of Sugar Beet*. 2009; 25(2): 153-162. (in Persian, abstract in English)

- Haghighy SA, Alizadeh A, Ahmadi M, Bannayan M, Ansari H. Effect of irrigation regimes on crop water use efficiency of autumn sugar beets grown on the Mashhad plain. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2015; 16(3): 15-30. (in Persian, abstract in English)
- Kassam A, Smith M. FAO methodologies on crop water use and crop water productivity. In *Proceedings of the Expert Meeting on Crop Water Productivity*, Rome, Italy, 3–5 December 2001.
- Lopez-Urrea R, Martín de Santa Olalla F, Fabeiro C, Moratalla A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*. 2006; 85(1-2):15-26.
- Rezvani M, Norouzi A, Azari K. Impacts of different irrigation systems and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*. 2008; 24(2): 57-72. (in Persian, abstract in English)
- Salemi HR, Jahadakbar MR, Nikooie AR. Evaluation of furrow and drip irrigation tape methods in sugar beet fields. *Journal of Sugar Beet*. 2013; 29(2): 93-99.
- Shahabifar M, Rahimiyan MH. Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhad. *Journal of Sugar Beet*. 2007; 23(2): 177-184. (in Persian, abstract in English)
- Solomon KH. *Irrigation Systems and Water Application Efficiencies*. Center for Irrigation Technology Irrigation Notes. 1988. CAIT Pud # 880104. California State University. Fresno. California.
- Thao T. Developing crop coefficients (Kc) for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) grown under drip irrigation using weighing lysimeters. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Plant Science in the Jordan College of Agricultural Sciences and Technology, California State University, Fresno. 2017.
- Topak R, Suheri S, Acar B. Comparison of energy of irrigation regimes in sugar beet production in a semi-arid region. *Energy Journal*. 2010; 35: 5464-5471.
- Zare Abyaneh H, Farrokhi E, Bayat Varkeshi M, Ahmadi M. Determining water demand and effect of its variations on some quantitative and qualitative traits of sugar beet product. *Journal of Sugar Beet*. 2012; 27(2): 21-27.