

تعیین تابع تولید محصول- آب مصرفی چغندر قند در قزوین

Determination of yield - water use function for sugar beets in Qazvin

نیازعلی ابراهیمی پاک^{۱*} و آرش تافته^۲
تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۰۳

ن.ع. ابراهیمی پاک و آ. تافته. ۱۳۹۶. تعیین تابع تولید محصول- آب مصرفی چغندر قند در قزوین. چغندر قند، ۳۳(۱): ۴۷-۶۳.
DOI:10.22092/jsb.2017.1319.

چکیده

این پژوهش با هدف تعیین «تابع تولید محصول- آب مصرفی» چغندر قند و ارزیابی توابع تولید تجربی در شهرستان قزوین انجام شد. پژوهش با چهار تیمار آبی شامل E_1, E_2, E_3, E_4 به ترتیب ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی متر تبخیر از تشت تبخیر کلاس A در ایستگاه تحقیقات کشاورزی فیض آباد به مدت سه سال اجرا گردید. از آنجا که اثر سال بر عملکرد محصول معنی دار بود، لذا جهت مقایسه مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول بر اساس توان ماهانه، تیمارها از T_1 تا T_{11} نام گذاری شدند. نتایج نشان داد که نیاز آبی گیاه چغندر قند در کل دوره رشد برابر با ۱۰۲۸ میلی متر بود و تیمار T_1 با ۷۴۶۸۰ کیلوگرم در هکتار حداکثر و تیمار T_{11} با ۲۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار حداقل عملکرد محصول را داشته اند. با توجه به مطابقت آماری، «روش پیشنهادی» که مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول را بر اساس توان ماهانه برآورد می کند، کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و نیز بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشت. در نتیجه روش توان ماهانه ای، روش مناسب برای توصیه می باشد. با استفاده از روش توان ماهانه ای، ضرایب واکنش عملکرد گیاه در ماه های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۶، ۱/۳۵، ۱/۳۵، ۰/۸۳ و ۰/۶ و برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳۵ و ۰/۶ و متوسط آن برای کل دوره رشد چغندر قند برابر با ۰/۸۹ بدست آمد. در نهایت با استفاده از تابع توان ماهانه و ضرایب بدست آمده، برنامه بهینه توزیع آب در شرایط مختلف کمبود آب، ارائه شد.

واژه های کلیدی: تشت تبخیر، چغندر قند، ضریب واکنش عملکرد (K_y)، نیاز آبی گیاه

۱- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. *نویسنده مسئول
nebrahimipak@yahoo.com

۲- استادیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

مقدمه

چغندر قند یکی از گیاهان زراعی است و با توجه به نیاز ابتدای جوانه زدن تا مرحله سبز شدن به خشکی حساس است و با آبیاری مداوم می‌توان از سله بستن و خطر شوری جلوگیری کرد (Faller 1984). این گیاه در آخر فصل رشد در مقابل کمبود رطوبت تحمل نشان داده و عیار قند آن افزایش می‌یابد (Winter 1980; Carter et al. 1980). در مراحل اولیه رشد گیاه، در اثر تنش رطوبتی کاهش محصول چغندر قند بسیار مشهود می‌باشد ولی در آخر دوره رشد گیاه که تبخیر-تعرق هم به حداکثر خود می‌رسد، با کاهش آب آبیاری علاوه بر این که عملکرد ریشه کاسته نمی‌شود بلکه باعث افزایش قند نیز می‌گردد (Losavio 1990). از طرفی تنش آبی در اوائل مرحله رشد گیاه چغندر قند باعث خسارت زیادی به محصول می‌گردد (Brown and Dunham 1989). در اواخر مرحله رشد گیاه چغندر قند با اعمال کم آبیاری، مقدار قند ناخالص آن افزایش می‌یابد و درصد قند در شرایط کم آبیاری بیشتر از درصد قند در شرایط آبیاری کامل بود؛ (Carter et al. 1980; Taleghani et al. 1999; Ebrahimipak et al. 2004). تنش آبی در اواخر مرحله رشد ممکن است مفید باشد لیکن زمان قطع آب آبیاری بستگی به اقلیم منطقه، بافت خاک، عمق خاک، میزان آب ذخیره شد در عمق توسعه ریشه دارد (Hills and Kaffka 2000). کم آبیاری بر مراحل مختلف رشد گیاه تأثیر متقابل دارد. ابتدا باید اثر این گونه تأثیرات ساده‌سازی شود و سپس مجموع اثرات تنش آبی در مراحل مختلف را به دست آورد. کمبود آب در گیاه را می‌توان از مقایسه بین ET پتانسیل در شرایط معین و ET_m در شرایط آب کافی بررسی کرد (Kipkorir and Raes 2002; Stewart et al. 1977; Doorenbos and Kassam 1979; Varlev 1995). در صورتی که منابع آب محدود باشد، برای مصرف بهینه

چغندر قند یکی از گیاهان زراعی است و با توجه به نیاز انسان به شکر به عنوان یک غذای اصلی، در سطح وسیعی از دنیا کشت می‌شود. تأمین آب مورد نیاز یکی از عوامل اصلی تولید چغندر قند به شمار می‌آید. نیاز آبی گیاه چغندر قند بر اساس وارپته‌های مختلف و اقالیم گوناگون، متفاوت است (Kochaki 1996). مقدار نیاز آبی از ۲۵۰ میلی‌متر برای مناطق مرطوب تا ۲۷۰۰ میلی‌متر برای مناطق گرم و خشک متغیر است. میزان تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند با استفاده از لایسیمتر زه‌کش‌دار در طرق مشهد ۱۲۲۱ میلی‌متر (Shahabifar and Rahimiayan 2007)، کرج برای چغندر بذری ۵۱۶ میلی‌متر (Chegini 1992) و برای چغندر قند ریشه‌ای ۱۲۹۶ میلی‌متر (Khajenori 1992)، کبوترآباد اصفهان ۱۰۶۶ میلی‌متر (Taheri et al. 2006)، ماهیدشت کرمانشاه ۱۶۳۵ میلی‌متر (Vaziri 1991)، همدان ۱۰۹۶ میلی‌متر (Rahimi 1997)، ارومیه ۱۷۰۵ میلی‌متر (Aghdayi 1999)، رود دشت اصفهان ۱۲۰۰ میلی‌متر (Vaziri 1992)، شهرکرد ۱۰۱۶ میلی‌متر (Ebrahimipak 2010)، غرب ایتالیا ۶۷۰ میلی‌متر (Caliandro et al. 1982)، دیویس کالفرنیا برابر با ۹۷۵/۴ میلی‌متر (Barbier et al. 1978)، منطقه کالیفرنیا و در یک خاک لومی-رسی برابر با ۱۰۴۵ میلی‌متر (English and Raja 1996) گزارش شده است. زمانی که نیاز آبی گیاه تأمین نشود و میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه کمتر از تبخیر-تعرق پتانسیل باشد ممکن است به گیاه تنش آبی وارد شود و عملکرد محصول کاهش یابد (Raes 2002). واکنش چغندر قند به کم آبی در مراحل مختلف رشد متفاوت است

برای مراحل رشد در ترکیه و مراکش به ترتیب ۰/۹۱ و ۱/۰۷ به دست آورده است (IAEA1996). ابراهیمی پاک (Ebrahimipak 2010) مقادیر (K_y) یا ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند را در شهرکرد با توجه به تیمارهای کم آبیاری برای مرحله اول رشد گیاه بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۸، برای مرحله دوم رشد گیاه ۰/۳۴ تا ۱/۳۳ و برای مرحله سوم رشد گیاه بین ۰/۳۴ تا ۱/۲۹ محاسبه کرد. نجارچی و همکاران (Najarchi et al. 2011) با استفاده از اطلاعات ۱۰ ساله از منطقه سد طالقان میزان ضریب واکنش عملکرد گیاه در مراحل مختلف رشد ذرت، گندم و جو را تعیین کردند. در این تحقیق میزان محصول را در حد قابل قبولی تخمین زده شد.

تابع تولید گیاه تابعی از میزان عملکرد نسبی محصول نسبت به تبخیر- تعرق نسبی گیاه است که محققان پس از جمع بندی روابط ارائه شده و تجزیه و تحلیلی آنها، ضریب واکنش عملکرد محصول را به صورت عمومی ارائه کردند.

دورنبوس و کاسام (Doorenbos and Kassam 1979)

رابطه بین کاهش نسبی محصول، کمبود تبخیر- تعرق نسبی را به صورت زیر ارائه نمودند:

$$1 - \frac{y_a}{y_m} = K_y \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right) \quad (1)$$

که در آن: y_a : عملکرد واقعی، y_m : حداکثر عملکرد، ET_a : تبخیر- تعرق واقعی (میلی متر)، ET_m : حداکثر تبخیر- تعرق گیاه (میلی متر) و K_y : ضریب واکنش عملکرد محصول می باشد.

آلن (Allen 1994) روش حداقل کاهش محصول را برای

مراحل رشد گیاه به صورت زیر ارائه کرد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \text{Min} \left\{ \frac{Y_{a1}}{Y_{p1}}, \frac{Y_{a2}}{Y_{p2}}, \dots, \frac{Y_{ai}}{Y_{pi}} \right\} \quad (2)$$

که در آن: Y_a : عملکرد واقعی، Y_p : حداکثر عملکرد، $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$: میزان نسبی عملکرد در هر مرحله از رشد که بر اساس رابطه (۱)

آب باید نوع گیاه، مرحله رشد آن و نوع خاک را مد نظر داشت و برای اعمال کم آبیاری تخمین های قابل اعتماد از میزان رطوبت خاک، تنش رطوبتی گیاه و تابع تولید محصول به دست آورد. واکنش گیاه به آب به صورت تابع «آب مصرفی- عملکرد محصول» یا تابع «عملکرد- تبخیر- تعرق» بیان می گردد. روابط زیادی برای برآورد تابع تولید و تعیین ضرایب واکنش عملکرد محصول ارائه شده است (Kipkorir and Raes 2002). رابطه بین آب آبیاری و عملکرد محصول غیرخطی است. به طوری که با کاهش مقدار آب آبیاری عملکرد محصول به همان نسبت کاهش نمی یابد. بنابراین کم آبیاری یک روش بهینه سازی مصرف آب است که در آن با اعمال میزانی از کم آبی به گیاه و قبول مقداری کاهش محصول، در مصرف آب صرفه جویی می شود. بدین منظور نیاز به توابع تولید محصول و واسنجی آن در مناطق مختلف می باشد. برای تعیین توابع تولید محصول از ضریب واکنش عملکرد محصول استفاده شده است. ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی توسط رابطه بین عملکرد گیاه، تنش آبی (که ناشی از کم آبیاری در مرحله خاص یا کل مرحله رویش گیاه اتفاق می افتد) توصیف می گردد (Raes 2002). زمانی که کم آبیاری در مرحله ای خاص از گیاه اتفاق بیافتد، واکنش عملکرد گیاه به حساسیت گیاه در آن مرحله بستگی دارد (Shurong and Limei 1999). مراحل حساس رشد گیاه چغندر قند به ترتیب عبارتند از مراحل، رشد رویشی، رشد ریشه و رسیدن یا ذخیره سازی قند است (Ebrahimipak 2004; IAEA 1996) ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند برای مراحل رشد گیاه بین ۰/۶ تا ۱/۱۱ و برای کل مرحله رویش گیاه برابر با ۰/۸۵ گزارش شده است (Doorenbos and kassam 1979). آژانس بین المللی انرژی اتمی مقدار واکنش عملکرد گیاه چغندر قند را

هدف از این پژوهش تعیین تابع «تولید محصول-آب مصرفی» چغندر قند در قزوین و مقایسه آن با روش‌های تجربی و تعیین مقدار ضرایب واکنش عملکرد محصول چغندر قند (k_y) به منظور تولید بهینه از طریق برنامه‌ریزی آبیاری است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقات کشاورزی فیض‌آباد قزوین به عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۲۴۰ متر از سطح دریا با خاک مزرعه لومی رسی به مدت سه سال زارعی اجرا شد. این آزمایش در چهار سطح شامل زمان آبیاری پس از $E_1(۶۰)$ ، $E_2(۹۰)$ ، $E_3(۱۲۰)$ و $E_4(۱۵۰)$ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت تبخیر کلاس A و در سه سال و جمعاً ۱۲ کرت اجرا گردید. با توجه به تغییرات آب مصرفی و عملکرد محصول در کرت‌های آزمایشی و معنی‌دار بودن اثر تیمارها و سال، از نتایج هر کرت به‌عنوان مشاهده در مدل‌سازی استفاده شد. به همین دلیل، جهت شبیه‌سازی واقعی عملکرد و مقایسه ضریب واکنش عملکرد محصول براساس توان ماهانه، کرت‌ها از T1 تا T11 نام‌گذاری شدند. از آنجایی که در توابع تولید نیاز بود تا یک حد نهایی به عنوان تبخیر تعرق پتانسیل چغندر قند و بیشترین عملکرد در نظر گرفته شود تیمار T12 بعد از سورت شدن داده‌ها از آن‌ها به عنوان شاهد جدا شد تا در توابع تولید به عنوان تیمار شاهد در محاسبات لحاظ گردد و از این رو در تیمارهای T نسبت به تیمار شاهد دارای تنش آبی بوده که این تنش‌ها با هم متفاوت بوده‌اند که در جداول آنالیز عملکرد این تفاوت‌ها به خوبی مشخص شده است. در اوایل بهار، ابتدا زمین مورد نظر انتخاب و قبل از کاشت، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه از دو عمق صفر تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰

محاسبه می‌شود. در این رابطه، حداقل عملکرد محصول به عنوان تولید نهایی در نظر گرفته می‌شود. برای اصلاح روش حداقل تولید ماهانه (۳۰ روزه) تافته و همکاران (Tafteh et al. 2013) به جای حداقل گرفتن میانگین، کاهش محصولات را در نظر

گرفتند که معادله آن به صورت زیر ارائه شد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{Y_{a1}}{Y_{p1}}, \frac{Y_{a2}}{Y_{p2}}, \dots, \frac{Y_{ai}}{Y_{pi}} \right\} \quad (۳)$$

که در آن: Y_a : عملکرد واقعی، Y_p : حداکثر عملکرد، $\frac{Y_{ai}}{Y_{pi}}$:

عملکرد نسبی محصول که از رابطه (۱) به دست می‌آید.

جنسن (Jensen 1968) روش حاصل ضربی، تابع تولید را

برای تنش در مراحل مختلف رشد به صورت زیر ارائه نمود:

$$\frac{y}{y_m} = \prod_{i=1}^n \left(1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_a}{ET_m} \right)_i \right) \quad (۴)$$

که در آن: y : عملکرد واقعی، y_m : حداکثر عملکرد، ET_a : تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر)، ET_m : حداکثر تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر)، k_{yi} : ضریب واکنش عملکرد، i : مرحله رشد و توسعه، n : تعداد مراحل دوره رشد است.

رایس (Raes 2004) به منظور اصلاح و افزایش دقت

معادله ۴، مدل شبیه‌سازی بیان آب و املاح (BUDGET) رابطه زیر را به کار برد که در آن هر مرحله از رشد به چندبازه زمانی کوچک‌تر تقسیم می‌شوند:

$$1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,i}}{ET_{m,i}} \right) = \prod_{j=1}^n \left(1 - k_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right)^{\Delta t_j / L_i} \quad (۵)$$

که در آن: m : تعداد بازه‌های زمانی به مدت Δt_j (روز) در مرحله رشد i ، n : تعداد مراحل دوره رشد، L_i : طول کل هر مرحله رشد که از یک روز تا کل دوره رشد را می‌توان در نظر گرفت (روز)، $ET_{a,j}$: تبخیر-تعرق واقعی در بازه زمانی j ، $ET_{m,j}$: تبخیر-تعرق حداکثر در بازه زمانی j است.

فاصله بوته‌ها روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت حدود سه سانتی‌متر با تراکم ۸۰ هزار بوته در هکتار بود. در ابتدای دوره رشد، آبیاری تا رسیدن به رطوبت ظرفیت زراعی انجام شد و مقدار آن دقیقاً اندازه‌گیری و ثبت گردید. پس از تنک کردن بوته‌ها و استقرار گیاه، تیمارهای آبیاری (تنش‌های آبی) اعمال شدند. ترکیب کودی توصیه شده بر اساس نتیجه تجزیه خاک (آزمون خاک) برای چغندر قند به صورت ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۳۴۵ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل بود. مقدار توصیه کودی برای نیتروژن حدود ۱۵۵ کیلوگرم در هکتار بود که نیمی از آن هنگام کاشت و مابقی در مرحله شش تا هشت برگی گیاه و بعد از تنک کردن، مصرف شد. کودهای فسفاته و پتاسیم و نیز کود بور در تمام تیمارهای آزمایش قبل از شخم در سطح خاک پخش گردیده و با عملیات شخم، کود تا عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مخلوط شد تا قابلیت استفاده بیشتر از آن فراهم گردد. در طول فصل رشد به موازات اعمال تیمارهای آبیاری، عملیات دیگر مرحله داشت مانند مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز صورت گرفت.

سانتی‌متر برداشت و جهت تجزیه برخی صفات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شد. نمونه‌های منتقل شده به آزمایشگاه بعد از خشک کردن و خرد کردن از الک دو میلی‌متری عبور داده شد و سپس توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش هیدرومتری انجام شد. جرم ویژه ظاهری با استفاده از رینگ‌های فلزی به قطر شش و ارتفاع چهار سانتی‌متر از خاک به کار گرفته و جرم ویژه حقیقی با استفاده از پیکنومتر اندازه‌گیری شد. برای تعیین مقدار آب قابل استفاده، رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای و نقطه پژمردگی دائم به ترتیب در مکش‌های ۰/۳ و ۱۵ بار توسط دستگاه صفحه فشاری اندازه‌گیری گردیدند. قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره گل اشباع به وسیله دستگاه هدایت سنج الکتریکی و pH در حالت گل اشباع توسط دستگاه pH متر اندازه‌گیری شدند. نتایج برخی صفات شیمیایی و فیزیکی خاک در جدول ۱ ارائه شده‌اند. به دلیل عبور ماشین‌آلات کشاورزی و دست نخورده بودن نمونه‌های خاک، وزن ویژه ظاهری نمونه‌ها از مقدار نرمال برای خاک رسی لومی بیشتر است. در نیمه اول اردیبهشت پس از آماده کردن بستر، از رقم رایج منورم منطقه جهت کاشت به وسیله بذرکار استفاده گردید. فاصله ردیف‌ها ۶۰ سانتی‌متر،

جدول ۱ برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش قبل از اجرا

| عمق نمونه برداری (سانتی‌متر) | وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب) | بافت خاک | درصد رطوبت | درصد سلولیت | درصد شن | ظرفیت نگهداری (درصد وزنی) | نقطه پژمردگی (درصد وزنی) | اسیدیته خاک | S.P | سدیم کلسیم + منیزیم | | فسفر | پتاسیم | نیتروژن (%) | |
|---------------------------------|--|----------|------------|-------------|---------|------------------------------|-----------------------------|-------------|-----|------------------------------|-----|------|--------|-------------|---------------------|
| | | | | | | | | | | (میلی‌اکی والان گرم در لیتر) | SAR | | | | میلی گرم در کیلوگرم |
| ۰-۳۰ | ۱/۵۶ | رسی-لومی | ۳۳ | ۳۹ | ۲۸ | ۲۴/۵ | ۱۳/۹ | ۸/۱ | ۴۹ | ۴ | ۴ | ۲/۸ | ۸ | ۳۶۰ | ۰/۰۹ |
| ۳۰-۶۰ | ۱/۷۲ | رسی-لومی | ۳۹ | ۲۹ | ۳۲ | ۲۴/۵ | ۱۴/۲ | ۸ | ۵۲ | ۵ | ۵ | ۳ | ۱۰/۵ | ۲۸۰ | ۰/۰۶ |

می‌شود (Kipkorir 2002). در این تحقیق روش تافته و همکاران (Tafteh et al. 2013) به عنوان روش پیشنهادی جهت اصلاح بیشتر معادله ریس (Raes 2004) و افزایش دقت تابع تولید به کار برده شد. در روش پیشنهادی وزن‌دهی توانی ماهانه به جای طول دوره‌ها را به نسبت ضریب واکنش‌ها توزیع نموده و معادله جدید به صورت زیر ارائه می‌گردد:

$$\frac{Y_a}{Y_p} = \prod_{i=1}^n \left(1 - K_{yi} \left(1 - \frac{ET_{a,j}}{ET_{m,j}} \right) \right)^{\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^n K_{yi}}} \quad (7)$$

که در آن: Y_a : عملکرد واقعی، Y_p : حداکثر عملکرد در حالتی که هیچ‌گونه محدودیتی از نظر آب برای گیاه وجود نداشته باشد، $ET_{a,j}$: تبخیر-تعرق واقعی (میلی‌متر)، $ET_{m,j}$: حداکثر تبخیر-تعرق گیاه (میلی‌متر)، K_{yi} : ضریب واکنش عملکرد چغندر قند نسبت به آب، i : مرحله زمانی موردنظر و n : تعداد مراحل دوره رشد می‌باشد.

مقادیر محاسبه شده وزن توانی در بازه ماهیانه محاسبه شده برای روش FAO و مقادیر وزن توانی برای روش نجارچی و همکاران (Najarchi et al. 2011) در جدول ۲ آورده شده است.

به منظور اندازه‌گیری دقیق مقدار رطوبت خاک قبل از آبیاری بر اساس میزان تبخیر از تشت تبخیر برای ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی‌متر تجمعی، مقدار رطوبت قابل استفاده لایه خاک در ناحیه ریشه گیاه (به روش وزنی) محاسبه شد و مقدار آب آبیاری با استفاده از رابطه ۶ حساب گردید.

$$dn = \sum_{i=1}^n (F_{ci} - \theta_i) \cdot D_i \cdot \rho_{bi} \quad (6)$$

که در آن: dn : مقدار آب آبیاری موردنیاز گیاه برحسب میلی‌متر، F_c : ظرفیت زراعی مزرعه بر حسب درصدوزنی در هر لایه، θ_i : رطوبت خاک قبل از آبیاری در هر لایه، D : عمق خاک در هر لایه برحسب میلی‌متر، ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک در هر لایه برحسب گرم بر سانتی مترمکعب و n : تعداد لایه‌های در نظر گرفته شده تا عمق ریشه می‌باشد. پس از محاسبه مقدار d ، میزان آب آبیاری توسط کنتور آب اندازه‌گیری شد. با توجه به مسدود بودن انتهای هر کرت، آب موردنیاز کرت آزمایشی به وسیله لوله پلی‌اتیلن در ابتدای هر کرت بین ردیف‌های کاشت تقسیم تا به طور یکنواخت در اختیار گیاه قرار گیرد. به دلیل اینکه تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه در فصل رویش اثرات پیچیده و متقابل دارد، لذا روش جمع‌پذیری (Stewart et al. 1977) جواب‌گو نبوده و برای بیان ترکیب اثرهای تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه از روش ضرب‌پذیری Π استفاده

جدول ۲ ضرایب واکنش عملکرد گیاه و توان ماهانه

| | مهر | شهریور | مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | \sum |
|-----------------------|------|--------|-------|------|-------|----------|--------|
| Δt_j | ۱۰ | ۳۱ | ۳۱ | ۳۱ | ۳۱ | ۳۱ | ۱۶۵ |
| $\Delta t_j / L_i$ | ۰/۰۶ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | ۰/۱۹ | - |
| K_{yFAO} | ۱ | ۱ | ۱/۲ | ۱/۲ | ۰/۸ | ۰/۵ | ۵/۷۰ |
| K_{yi} | ۰/۱۸ | ۰/۱۸ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۴ | ۰/۰۹ | - |
| $\sum_{i=1}^n K_{yi}$ | ۱/۱۱ | ۱/۱۱ | ۱/۳۱ | ۱/۳۱ | ۰/۹۱ | ۰/۶۱ | ۶/۳۶ |
| K_{yNaj} | ۰/۱۷ | ۰/۱۷ | ۰/۲۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۴ | ۰/۱۰ | - |
| $\sum_{i=1}^n K_{yi}$ | | | | | | | |

شکرخالص در سطح یک درصد معنی دار است، که با نتایج جلینی (Jolaini 2008)، کریمی (Karimi 2009)، میرزایی و همکاران (Mirzaee et al. 2005)، آلن و همکاران (1998)، آکان (Ucan 2004) و ابرهیمی پاک (2010) مطابقت دارد.

نیاز آبی گیاه چغندر قند

نیاز آبی گیاه چغندر قند در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول مشاهده شد که نیاز آبی چغندر قند در کل دوره رشد برابر با ۱۰۲۸ میلی متر بود. مقدار نیاز آبی گیاه که از نتایج شهابی فر و رحیمیان (2007) در طرق مشهد، خواجه نوری (1992) در کرج، پناهی و همکاران (2006) در اصفهان، طاهری (1982) در ماهیدشت کرمانشاه، رحیمی (1997) در همدان، رضوی (1995) در ارومیه، عقدائی و فیضی (Aghdayi and Faizi 1999) در اصفهان و ابرهیمی پاک (2010) در شهرکرد برآورد کردند. نسبت به تبخیر-تعرق به دست آمده این محققین به ترتیب ۱۶/۲، ۲۱/۶، ۴/۷، ۷/۳، ۴۱/۴، ۱۰/۱ و ۱/۸ درصد اختلاف وجود دارد. این اختلاف ناشی از اقلیم، تراکم کشت، نوع خاک و همچنین زمان کاشت، داشت و برداشت است و این موضوع در اکثر تحقیقات به عمل آمده نیز تأیید شده است. با توجه به این جدول، مشاهده می شود که حداکثر نیاز آبی چغندر قند برابر با ۱۰۲۸ میلی متر مربوط به تیمار T₁ با حداکثر عملکرد محصول برابر ۷۴۶۸۰ کیلوگرم در هکتار و حداقل آب مصرفی چغندر قند برابر با ۵۱۸ میلی متر مربوط به تیمار T₁₁ با حداقل عملکرد محصول برابر ۲۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین مقادیر آب مصرفی چغندر قند در مرداد ماه بین ۱۳۹ تا ۲۷۸ میلی متر و کمترین مقادیر آن در اردیبهشت و مهر ماه بین صفر تا ۱۰۷ میلی متر بود.

در نیمه اول آبان پس از تکمیل دوره رشد، محصول کرتها با حذف حاشیه ها برداشت شد و ضمن اندازه گیری عملکرد ریشه، تعدادی نمونه در کارخانه قند شستشو شده و خمیر ریشه جهت تعیین درصد شکر به آزمایشگاه تکنولوژی مؤسسه تحقیقات چغندر قند منتقل گردید. برای تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزارهای SPSS و Minitab استفاده شد.

برای مقایسه آماری بین نتایج توابع مختلف تولید، از توابع

آماری زیر استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (8)$$

که در آن RMSE: ریشه مربعات خطا، n: تعداد داده ها، X: داده اندازه گیری شده و Y: داده تخمین زده شده توسط مدل است.

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}}{\bar{X}} \quad (9)$$

که در آن NRMSE: ریشه مربعات خطای نرمال شده n: تعداد داده ها، X: داده اندازه گیری شده، Y: داده تخمین زده شده توسط مدل و \bar{X} : میانگین داده های اندازه گیری شده می باشد.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|x_i - \bar{X}| + |y_i - \bar{Y}|)^2} \right] \quad (10)$$

که در آن d: شاخص توافق، n: تعداد داده ها، X: داده اندازه گیری شده، Y: داده تخمین زده شده توسط مدل، \bar{X} : میانگین داده های اندازه گیری شده و \bar{Y} : میانگین داده های تخمین زده شده توسط مدل می باشد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه، درصد قند و عملکرد شکر در جدول ۳ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر دور آب آبیاری بر عملکرد ریشه چغندر قند، درصد شکر، عملکرد

جدول ۳ تجزیه واریانس مرکب عملکرد ریشه، شکر خام و عیار قند تحت شرایط تیمارهای آبی در منطقه قزوین

| متغیر | درجه آزادی | عملکرد ریشه | درصد قند | عملکرد قند |
|---------------------|------------|-------------|--------------------|------------|
| سال | ۲ | ۷۶۹۴/۶** | ۳۹/۶* | ۲۴۸/۹** |
| تکرار(سال) | ۲ | ۳۹/۷ | ۰/۸۶ | ۱/۳ |
| تیمار آبی | ۳ | ۲۸۵۳/۹** | ۱۳/۳* | ۹۸/۴** |
| اثر متقابل سال و آب | ۶ | ۹۹/۷** | ۱/۵۶ ^{NS} | ۲/۶** |
| خطا | ۲۲ | ۱۲/۶ | ۱/۷ | ۰/۴۳ |
| کل | ۳۵ | ۶/۶ | ۲/۳ | ۰/۱۷ |

در هر ستون علامت ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و NS معنی‌دار نبودن متغیر را نشان می‌دهد.

جدول ۴ میزان تبخیر - تعرق ماهانه و مقادیر محصول ریشه چغندر قند در قزوین

| تیمار | اردیبهشت (میلی‌متر) | خرداد (میلی‌متر) | تیر (میلی‌متر) | مرداد (میلی‌متر) | شهریور (میلی‌متر) | مهر (میلی‌متر) | جمع (میلی‌متر) | میزان محصول (کیلوگرم در هکتار) |
|-----------------|------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------------------------|
| T ₁ | ۷۰ | ۱۳۵ | ۲۲۵ | ۱۹۳ | ۱۸۴ | ۹۵ | ۱۰۲۸ | ۷۴۶۸ ^{a*} |
| T ₂ | ۷۰ | ۱۴۳ | ۱۳۶ | ۲۷۸ | ۱۴۱ | ۹۳ | ۸۶۲ | ۷۳۶۰ ^b |
| T ₃ | ۷۰ | ۱۳۵ | ۲۱۵ | ۱۹۳ | ۱۹۲ | ۶۵ | ۸۷۰ | ۶۰۶۲ ^c |
| T ₄ | ۷۰ | ۱۳۵ | ۱۷۴ | ۱۸۵ | ۱۳۰ | ۶۳ | ۷۵۷ | ۵۰۵۶ ^d |
| T ₅ | ۷۰ | ۱۳۵ | ۱۹۲ | ۱۳۹ | ۱۴۱ | ۶۶ | ۷۴۲ | ۴۹۷۳ ^e |
| T ₆ | ۸۰ | ۱۳۷ | ۱۴۴ | ۲۷۷ | ۲۱۱ | - | ۸۴۷ | ۴۶۵۰ ^f |
| T ₇ | ۷۰ | ۱۰۹ | ۱۵۳ | ۱۷۳ | ۱۰۳ | ۱۰۷ | ۷۱۵ | ۴۵۹۰ ^f |
| T ₈ | ۸۰ | ۱۰۸ | ۱۲۰ | ۱۷۶ | ۱۹۳ | - | ۶۷۷ | ۳۶۰۰ ^g |
| T ₉ | ۸۰ | ۱۰۶ | ۱۰۵ | ۱۹۷ | ۱۴۹ | - | ۶۳۸ | ۳۴۰۰ ^h |
| T ₁₀ | ۷۰ | ۸۹ | ۱۰۰ | ۱۹۰ | ۱۰۳ | ۴۸ | ۶۰۰ | ۳۱۱۶ ⁱ |
| T ₁₁ | ۸۰ | ۱۰۸ | ۱۱۸ | ۱۴۱ | ۷۱ | - | ۵۱۸ | ۲۳۰۰ ^j |

* اعداد با حروف یکسان در ستون تفاوت معنی‌داری در سطح پنج درصد ندارند.

نتایج حاصل از این روش‌ها با استفاده از ضرایب پیشنهادی FAO در جدول ۵ ارائه شد. با توجه به جدول ۵ عملکرد محصول با روش دورنبوس و کاسام (1979) برای کل دوره رشد محاسبه شد و با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. در این حالت مقدار R^2 برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۹۱۵۵، ۰/۲۱ و ۰/۸۸ می‌باشد. از این رو مقدار خطای نرمال در این روش ۲۱ درصد بود. تابع دوم مورد بررسی در این مقاله روش حداقل‌گیری است، نتایج حاصل از این روش در ماه‌های مختلف نشان داد که میزان عملکرد محاسبه شده در مقایسه با عملکرد

مقایسه میزان عملکرد از توابع تولیدی با تابع تولید

پیشنهادی

پس از آنکه میزان عملکرد محصول، با استفاده از روش‌های ساده، حداقل‌گیری، میانگین‌گیری، حاصل ضریب، رایس (2004) و روش پیشنهادی محاسبه شد. عملکرد این توابع، بر اساس ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و ضریب توافق (d) و R^2 مورد مقایسه قرار گرفتند.

سپس این روش‌ها در تخمین عملکرد چغندر قند با ضرایب اصلاحی نجارچی و همکاران (2011) مورد مقایسه قرار گرفتند و نتایج نشان داد که در «روش پیشنهادی» مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۷، RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۱۷، ۰/۹۰ و ۰/۷۹۵۳، مقدار خطای نرمال ۱۷ درصد بود. با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود که ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) روش‌های پیشنهادی، میانگین‌گیری، ساده، ریس (2004)، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش‌های پیشنهادی، میانگین‌گیری، ساده، ریس (2004)، حداقل‌گیری و حاصل ضربی، به ترتیب کمترین مقدار را داشتند. لذا هر اندازه این مقادیر کمتر باشند، نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل هستند و در نتیجه روش پیشنهادی کمترین مقدار خطا را داشت. همچنین ضریب توافق نشان می‌دهد که روش پیشنهادی، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری، ریس (2004) و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. ضریب تبیین (R^2) نشان داد که روش‌های پیشنهادی، ساده، ریس (2004)، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار را داشتند. لذا هر چقدر این مقادیر بیشتر باشند، نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل بوده و در نتیجه روش پیشنهادی بیشترین مقدار را داشت. نتایج آماری به دست آمده نشان‌دهنده آن است که روش پیشنهادی با کاربرد ضریب واکنش نجارچی و همکاران (2011) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) را داشت. در نتیجه روش پیشنهادی کاربردی بوده و توصیه می‌شود.

اندازه‌گیری شده تفاوت ۲۸ درصدی دارد و مشاهده می‌شود که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۶۸ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۲۸، ۰/۷۶ و ۰/۱۳۱۷۷، میزان خطای نرمال آن ۲۸ درصد است. بدین ترتیب این روش جهت تخمین محصول چغندر قند قابل توصیه نیست. تابع سوم روش میانگین‌گیری بود که برای بهبود و اصلاح روش حداقل‌گیری ارائه شد. نتایج حاصل از این روش در ماه‌های مختلف نشان داد که در مقایسه با عملکرد اندازه‌گیری شده مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۶ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۲، ۰/۸۵ و ۰/۹۴۱۵، میزان خطای نرمال ۲۰ درصد است. تابع چهارم، روش حاصل ضربی است که نتایج حاصل از این روش در ماه‌های مختلف نشان می‌دهد که میزان عملکرد تخمینی اگر با میزان عملکرد اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۵۹ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۶۳، ۰/۰۷ و ۰/۲۹۵۴۲، مقدار خطای نرمال ۶۳ درصد بود این روش به هیچ وجه برای تخمین عملکرد چغندر قند قابل توصیه نیست. تابع پنجم روش ریس (2004) است که میزان عملکرد محاسباتی با میزان عملکرد اندازه‌گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۶ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۲۴، ۰/۷۴ و ۰/۱۱۱۴۲، میزان خطای نرمال ۲۴ درصد بود. که نسبت به روش میانگین، نتایج مناسبی را ارائه نمی‌کند. تابع ششم، روش پیشنهادی است که با اعمال ضرایب جدید بر اساس ضرایب واکنش عملکرد گیاه جهت اصلاح روش ریس (2004) به منظور رسیدن به نتایج مطلوب ارائه گردید. اگر میزان عملکرد محاسبه شده با میزان عملکرد اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۸ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۰/۱۹، ۰/۸۸ و ۰/۸۹۵۰، مقدار خطای نرمال ۱۹ درصد بود.

جدول ۵ مقایسه میانگین عملکرد محصول حاصل از توابع تولید

| روش | | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------------|
| ساده | | حداقل گیری | | میانگین گیری | | حاصل‌ضربی | | Raes | | پیشنهادی | | اندازه‌گیری شده |
| ky_{fao} | Ky_{naj} | ky_{fao} | Ky_{naj} | ky_{fao} | Ky_{naj} | ky_{fao} | Ky_{naj} | ky_{fao} | Ky_{naj} | ky_{fao} | Ky_{naj} | |
| ۷۵۶۴۸ | ۷۶۶۴۵ | ۶۵۱۲۴ | ۶۴۰۷۳ | ۷۰۸۶۷ | ۷۱۹۴۶ | ۶۱۰۵۴ | ۵۹۳۸۲ | ۷۱۴۵۳ | ۷۱۵۹۶ | ۷۱۰۸۲ | ۷۲۲۳۵ | ۷۴۶۸۰ |
| ۶۰۳۴۸ | ۶۰۱۳۶ | ۳۹۲۳۲ | ۳۵۹۸۲ | ۶۱۵۶۱ | ۶۰۳۳۷ | ۲۳۸۹۱ | ۱۷۵۰۶ | ۶۰۲۸۸ | ۵۷۴۰۰ | ۵۹۵۰۲ | ۵۹۳۹۹ | ۷۳۶۰۰ |
| ۶۲۰۲۷ | ۶۲۸۷۷ | ۵۲۳۴۶ | ۵۲۱۳۹ | ۶۱۷۷۴ | ۶۰۲۸۵ | ۳۲۳۳۴ | ۲۶۱۰۴ | ۶۲۸۴۷ | ۶۰۷۸۹ | ۶۰۱۳۷ | ۵۸۷۹۲ | ۶۰۶۲۰ |
| ۵۳۰۳۳ | ۵۶۰۶۵ | ۳۷۰۳۶ | ۳۳۵۸۵ | ۵۵۴۸۹ | ۵۳۳۳۹ | ۱۷۹۴۱ | ۱۲۵۸۶ | ۵۵۹۲۶ | ۶۵۵۵۲ | ۵۱۶۸۹ | ۴۸۹۳۸ | ۵۰۵۶۰ |
| ۵۲۸۵۸ | ۴۷۷۸۴ | ۳۸۱۵۹ | ۳۴۸۱۲ | ۵۴۵۴۰ | ۵۲۴۱۳ | ۱۵۵۲۳ | ۱۰۵۷۳ | ۵۴۶۲۰ | ۵۱۱۷۴ | ۵۰۸۱۲ | ۴۷۹۳۲ | ۴۹۷۳۰ |
| ۶۱۲۶۲ | ۵۷۹۵۱ | ۴۲۳۷۸ | ۳۹۴۱۷ | ۵۴۸۶۰ | ۵۴۱۸۴ | ۳۵۶۰۳ | ۳۲۵۳۸ | ۶۵۳۵۸ | ۶۴۳۰۷ | ۶۱۹۲۱ | ۶۲۷۳۴ | ۴۶۵۰۰ |
| ۴۹۶۴۶ | ۴۸۳۷۰ | ۳۲۶۶۵ | ۲۹۹۰۵ | ۵۴۸۹۰ | ۵۳۵۴۳ | ۹۲۰۶ | ۵۷۱۴ | ۵۱۲۰۸ | ۴۷۳۶۲ | ۵۰۳۴۵ | ۴۷۱۰۴ | ۴۵۹۰۰ |
| ۴۷۶۱۸ | ۴۷۰۶۷ | ۳۲۷۴۰ | ۲۸۸۹۵ | ۴۵۵۱۳ | ۴۳۸۷۰ | ۱۱۶۶۱ | ۸۸۶۷ | ۵۳۴۶۲ | ۵۰۸۹۰ | ۴۵۳۶۹ | ۴۸۶۰۸ | ۳۶۰۰۰ |
| ۴۵۴۶۳ | ۴۲۶۲۵ | ۲۶۸۸۵ | ۲۲۵۰۴ | ۴۲۷۹۸ | ۴۰۸۵۳ | ۸۵۴۳ | ۶۱۱۸ | ۵۰۵۵۰ | ۴۷۶۰۱ | ۴۲۶۵۹ | ۴۵۵۳۹ | ۳۴۰۰۰ |
| ۴۱۴۶۰ | ۳۸۳۴۹ | ۲۴۸۹۳ | ۲۰۳۳۰ | ۴۴۵۳۴ | ۴۰۳۱۳ | ۴۸۹۱ | ۲۶۳۱ | ۴۲۸۶۴ | ۴۰۸۹۳ | ۳۴۵۹۲ | ۳۴۶۱۴ | ۳۱۱۶۰ |
| ۳۳۹۱۰ | ۳۲۲۰۲ | ۲۴۶۷۵ | ۱۹۶۷۹ | ۳۶۵۴۶ | ۳۳۹۴۹ | ۲۹۹۴ | ۱۶۳۳ | ۴۱۸۵۶ | ۳۷۵۲۸ | ۴۰۱۸۶ | ۳۰۷۹۵ | ۲۳۰۰۰ |
| ۹۱۵۵ | ۸۹۰۰ | ۱۳۱۷۷ | ۱۶۲۹۱ | ۹۴۱۵ | ۸۳۹۸ | ۲۹۵۴۲ | ۳۳۱۹۹ | ۱۱۱۴۲ | ۱۰۴۵۲ | ۸۹۵۰ | ۷۹۵۲ | RMSE |
| -/۲۱ | -/۱۹ | -/۲۸ | -/۳۵ | -/۲۰ | -/۱۸ | -/۶۳ | -/۷۱ | -/۳۴ | -/۲۱ | -/۱۹ | -/۱۷ | NRMSE |
| -/۸۸ | -/۹۱ | -/۷۶ | -/۶۷ | -/۸۵ | -/۹۰ | -/۰۷ | -/۰۲ | -/۷۴ | -/۸۳ | -/۸۸ | -/۹۰ | D |
| -/۹۷ | -/۹۸ | -/۶۸ | -/۶۸ | -/۹۶ | -/۹۶ | -/۵۹ | -/۵۰ | -/۹۶ | -/۹۵ | -/۹۸ | -/۹۷ | R ² |

جدول ۶ ارائه گردید. با توجه به اطلاعات جدول مشاهده می‌شود که مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر با استفاده از تابع پیشنهادی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۶، ۱/۳۵، ۱/۳۵، ۰/۸۳ و ۰/۶ شد. در مقایسه با نتایج (Doorenbos and kassam 1979; IAEA (Doorenbos and kassam 1996; Ebrahimipak 201) که ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند را بین ۰/۳۴ تا ۱/۳۸ گزارش کردند، مشاهده شد که مقدار ضریب واکنش عملکرد به دست آمده، با نتایج آنان اختلاف جزئی دارد که ناشی از تغییر اقلیم، تراکم کشت، نوع خاک و همچنین زمان کاشت، داشت و برداشت بوده است. این موضوع در اکثر تحقیقات به عمل آمده نیز تأیید شده است.

برآورد مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند

(k_y) بر اساس توان ماهانه (روش پیشنهادی)

ضریب واکنش عملکرد محصول به آب مصرفی (k_y) توسط رابطه بین عملکرد گیاه و تنش آبی توصیف می‌گردد که این تنش می‌تواند ناشی از کم آبیاری در مرحله خاص یا کل مرحله رویش گیاه اتفاق بیافتد (Doorenbos and Kassam (1977). به منظور تعیین ضریب واکنش عملکرد چغندر قند از داده‌های داخل مزرعه استفاده شد. داده‌های به دست آمده به صورت هفتگی جمع‌آوری شده بود. لیکن مقادیر به صورت ماهانه تنظیم گردیده و سپس مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول بر اساس توان ماهانه به وسیله روش جدید که نسبت به سایر روش‌ها کارکرد مناسب‌تری داشت، برآورد شد. نتایج این مرحله در

جدول ۶ مقایسه میانگین ضرایب واکنش عملکرد گیاه حاصل از توابع مختلف

| روش | متوسط | مهر | شهریور | مرداد | تیر | خرداد | اردیبهشت | RMSE | NRMSE | d | R ² |
|--------------|-------|------|--------|-------|------|-------|----------|-------|-------|------|----------------|
| روش ساده | ۱/۱۵ | - | - | - | - | - | - | ۸۹۰۰ | ۰/۱۹ | ۰/۹۱ | ۰/۹۷ |
| حداقل‌گیری | ۱/۰۶ | ۱/۱۱ | ۱/۱۱ | ۱/۳۱ | ۱/۳۱ | ۰/۹۱ | ۰/۶۱ | ۱۰۱۶۵ | ۰/۲۲ | ۰/۷۸ | ۰/۶۵ |
| میانگین‌گیری | ۰/۸۸ | ۰/۶۱ | ۰/۸۳ | ۱/۳۱ | ۱/۳۱ | ۰/۶۱ | ۰/۶۱ | ۸۸۷۵ | ۰/۱۹ | ۰/۹۰ | ۰/۹۶ |
| حاصل‌ضریبی | ۰/۹۷ | ۱/۰۲ | ۱/۰۲ | ۱/۲۳ | ۱/۲۳ | ۰/۸۳ | ۰/۵۳ | ۲۳۱۹۳ | ۰/۶۰ | ۰/۰۹ | ۰/۶۱ |
| Raes | ۰/۸۷ | ۰/۶۰ | ۰/۸۱ | ۱/۳۵ | ۱/۳۵ | ۰/۵۸ | ۰/۵۸ | ۸۲۹۵ | ۰/۱۸ | ۰/۹۲ | ۰/۹۵ |
| پیشنهادی | ۰/۸۹ | ۰/۶۰ | ۰/۸۳ | ۱/۳۵ | ۱/۳۵ | ۰/۶۰ | ۰/۶۰ | ۷۵۹۷ | ۰/۱۶ | ۰/۹۱ | ۰/۹۷ |

مقایسه بین ضرایب واکنش عملکرد چغندر قند

هم زمان با اندازه‌گیری میزان ضریب واکنش عملکرد محصول با استفاده از روش‌های تجربی ساده، حداقل‌گیری، میانگین‌گیری، حاصل‌ضریبی، رایس (2004) و روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شد و با مقدار اندازه‌گیری در مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور مطابقت آماری نتایج حاصل شده از ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و ضریب توافق (d) و ضریب تبیین (R²)، استفاده شد. جدول ۶ ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب مصرفی را به روش دورنیوس و کاسام (1979) به صورت ساده و برای کل دوره رشد نشان می‌دهد. با استفاده از این روش مقدار ضریب واکنش محاسبه شد. نتایج به دست آمده و اگر با مقدار اندازه‌گیری شده در مزرعه مورد مقایسه قرار گیرد، نشان می‌دهد که مقدار R² آن برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۸۹۰۰، ۰/۱۹ و ۰/۹۱ و مقدار خطای نرمال آن در حالت بهینه ۱۹ درصد بوده است. تابع دوم مورد بررسی در این روش حداقل‌گیری است که این روش بر اساس حداقل تنش وارده بر گیاه در طول دوره کشت عمل می‌کند. برای این روش، دوره‌های ماهانه در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از این روش در

ماه‌های مختلف نشان داد که اگر از مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده جهت تخمین استفاده شود، مقدار R² آن برابر با ۰/۶۵ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۱۰۱۶۵، ۰/۲۲ و ۰/۷۸ و میزان خطای نرمال آن در حالت بهینه ۲۲ درصد می‌باشد. بدین ترتیب بنابراین این روش جهت تخمین ضریب واکنش عملکرد محصول چغندر قند باز هم قابل استفاده نیست. تابع سوم روش میانگین‌گیری برای بهبود و اصلاح روش حداقل‌گیری بود. نتایج حاصل از این روش در ماه‌های مختلف نشان داد که با مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده از این روش مقدار R² آن برابر با ۰/۹۶ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۸۸۷۵، ۰/۱۹ و ۰/۹۰ و میزان خطای نرمال در حالت بهینه ۱۹ درصد بود. تابع چهارم، روش حاصل‌ضریبی است که با استفاده از حاصل ضرب مقادیر تنش میزان کاهش محصول در دوره‌های یک ماهه تعیین می‌شود. نتایج حاصل از این روش در ماه‌های مختلف نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده اگر با مقدار ضریب واکنش اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد، مقدار R² آن برابر با ۰/۶۱ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۲۳۱۹۳، ۰/۶۰ و ۰/۰۹ و مقدار خطای نرمال در حالت بهینه ۶۰ درصد بود. بنابراین روش مناسبی برای تخمین عملکرد چغندر قند نیست. تابع پنجم روش رایس (2004) است

تافته و همکاران (2013) کمترین مقدار خطای استاندارد (RMSE)، خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را داشتند. در نتیجه روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) روش مناسب برای ارائه توصیه می‌شود، بنابراین با توجه به این روش، ضریب واکنش عملکرد چغندر قند در قزوین به شرح ذیل برآورد شد.

دوره رشد گیاه چغندر قند به روش مورفولوژیکی به چهار مرحله ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی رشد تقسیم شد. مرحله ابتدایی رشد گیاه ۲۸ روز بود که پوشش کامل و توسعه گیاه و اندام‌های هوایی انجام نشده است. مرحله توسعه گیاه حدود ۳۴ روز بود که به علت افزایش سرعت رشد اندام‌های هوایی، چغندر قند به آب بیشتری نیاز داشت لذا تبخیر-تعرق گیاه به سرعت افزایش یافت. مرحله میانی رشد گیاه برابر با ۷۵ روز بود. در این مرحله از رشد گیاه سطح برگ چغندر قند به حداکثر خود رسیده و تمام اندام‌های گیاهی سبز و دارای فتوسنتز کامل بودند. در این مرحله از رشد گیاه تبخیر-تعرق نیز در سطح بالایی است. مرحله انتهایی حدود ۲۴ روز بوده که در آن اندام‌های گیاهی زرد شده و سطح برگ‌ها و در نتیجه تبخیر-تعرق گیاه به سرعت کاهش می‌یابد. با توجه به مقادیر ضریب واکنش پیشنهادی (K_y) (جدول ۶) مشاهده می‌شود که ضرایب واکنش عملکرد چغندر قند برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳۵ و ۰/۶ باشد و متوسط آن برای دوره رشد چغندر قند برابر با ۰/۸۹ به دست آمد. ضریب واکنش عملکرد گیاه چغندر قند برای مراحل رشد گیاه را دورنباس و کاسم (1979) و بین ۰/۶ تا ۱/۱۱ و برای کل مرحله رویش گیاه برابر با ۰/۸۵ گزارش نموده‌اند که در مقایسه با روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) در حداقل‌ها با هم برابر اما در حداکثر مقدار،

که بر اساس ضرایب توانی وابسته به طول دوره رشد است که با توجه به بازه زمانی ماهانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده اگر با مقدار اندازه‌گیری مورد مقایسه قرار گیرد. مقدار R^2 آن برابر با ۰/۹۵ و RMSE، NRMSE و d آن به ترتیب برابر با ۸۲۹۵، ۰/۱۸ و ۰/۹۵ و مقدار خطای نرمال ۱۸ درصد بود. تابع ششم روش پیشنهادی تافته و همکاران که مقدار ضریب واکنش عملکرد محصول را بر اساس توان ماهانه برآورد که با توجه به بازه زمانی ماهانه محاسبه می‌شود. نتایج جدول ۶ نشان داد که مقدار ضریب واکنش عملکرد محاسبه شده از روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) با روش اندازه‌گیری مقایسه و R^2 آن برابر با ۰/۹۷ و RMSE، NRMSE و d نیز به ترتیب برابر با ۷۵۹۷، ۰/۱۶ و ۰/۹۱ و خطای نرمال ۱۶ درصد بودند. با توجه به جدول ۶ ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE) و ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE)، روش‌های پیشنهادی تافته و همکاران (2013)، رایس (2004)، میانگین‌گیری، ساده، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب کمترین مقدار را داشتند. لذا هر چه این مقادیر کمتر نشان از کارایی مناسب‌تر مدل و در نتیجه روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) و رایس (2004) کمترین مقدار خطا را داشتند. همچنین ضریب توافق و ضریب تبیین (R^2) نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهادی تافته و همکاران (2013)، رایس (2004)، ساده، میانگین‌گیری، حداقل‌گیری و حاصل ضربی به ترتیب بیشترین مقدار دقت را داشتند. لذا هر چقدر این مقادیر بیشتر باشند نشان از کارایی مناسب‌تر مدل داشته و بنابراین روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) و رایس (2004) بالاترین کار آمدی را نشان داد. مطابقت آماری حاصل شده نشان دهنده آن است که روش پیشنهادی

مختلف قابل محاسبه است که در شرایط بدون محدودیت آب و در شرایط ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد کمبود آب آبیاری برنامه مدیریت بهینه آب در جدول ۷ ارائه شد. با توجه به نتایج بیشترین کارایی مصرف آب در کمبود آب ۳۰ درصد رخ داده است و از آن به بعد کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. در کم‌آبایی ۵۰ درصد کارایی مصرف آب معادل کم‌آبایی ۲۰ درصد است اما در این گزینه کاهش محصول ۴۶ درصد آبیاری کامل است بنابراین کم‌آبایی بیش از ۴۰ درصد در منطقه کشت چغندر قند توصیه نمی‌شود. با توجه به جدول ۷ در هر شرایط کمبود آب، می‌توان با استفاده از تابع تولید محصول-آب مصرفی چغندر قند، بهترین گزینه توزیع آب را در منطقه برآورد نمود و در شرایط کمبود آب بیش از ۴۰ درصد از کاشت آن جلوگیری کرد. از طرفی مقادیر کارایی مصرف آب بدلیل عدم توزیع مناسب آب در ماه‌های مختلف در منطقه کرج، اصفهان و مشهد به ترتیب برابر ۴/۷۵، ۴/۶۷ و ۴/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب گزارش شده است (Sadreghaen et al. 2009) و با این تفاوت می‌توان به اهمیت برنامه توزیع آب پی برد. این در حالی است که با توزیع آب مناسب و بررسی دور آبیاری‌های مختلف ابراهیمی پاک و مستشاری (Ebrahimipak and Mostashari 2012) توانستند کارایی مصرف آب را تا ۶/۹۷ کیلوگرم بر مترمکعب افزایش دهند.

ضریب واکنش ۲۱ درصد بیشتر برآورد می‌شود. هم‌چنین در مقایسه با نتایج آیفا (1996) در حداقل‌ها، ۵۱ درصد کمتر و لیکن در حداکثر مقدار ضریب واکنش ۲۶ درصد بیشتر برآورد می‌شود. در مقایسه با نتایج ابراهیمی پاک (2010) در شهرکرد نیز در حداقل‌ها ۷۶ درصد اختلاف نشان می‌دهد و لیکن در حداکثر مقدار ضریب واکنش برابر برآورد می‌شود.

تعیین تابع تولید محصول-آب مصرفی چغندر قند

با توجه به ضرایب پیشنهادی تافته و همکاران (2013) در جدول ۶ و با استفاده از معادله ۷، مقادیر آب مصرفی در معادله جایگزین شد و با توجه به پتانسیل تولید محصول در منطقه، تابع تولید محصول-آب مصرفی به صورت زیر به دست آمد:

$$Y_a = 74680 \prod_{i=1}^6 \left(1 - K_{yi} \left(1 - \frac{W_{ai}}{W_{pi}} \right) \right)^{\frac{K_{yi}}{\sum_{i=1}^6 K_{yi}}} \quad (11)$$

که در آن Y_a : مقدار محصول به دست آمده بر حسب کیلوگرم بر هکتار، K_{yi} : مقدار ضریب واکنش در ماه i : مقدار آب مصرفی در ماه i بر حسب مترمکعب بر هکتار و W_{pi} : مقدار آب مصرفی پتانسیل در ماه i بر حسب مترمکعب بر هکتار است. حال با استفاده از معادله ۱۱ مقدار بهینه برنامه آب مصرفی در ماه‌های

جدول ۷ مقادیر بهینه توزیع آب مصرفی بر اساس تولید بیشینه محصول در شرایط آبی مختلف

| شرایط کمبود آب (درصد) | اردیبهشت | خرداد | تیر | مرداد | شهریور | مهر | جمع | محصول کیلوگرم در هکتار | کارایی مصرف آب کیلوگرم در مترمکعب |
|-----------------------|----------|-------|------|-------|--------|-----|-------|------------------------|-----------------------------------|
| ۰ | ۸۰۰ | ۱۳۵۰ | ۲۲۵۰ | ۳۱۹۰ | ۱۸۴۰ | ۹۵۰ | ۱۰۳۸۰ | ۷۴۶۸۰ | ۷/۱۹ |
| ۱۰ | ۸۰۰ | ۵۸۸ | ۲۲۵۰ | ۳۱۹۰ | ۱۶۵۸ | ۸۵۴ | ۹۳۴۰ | ۶۹۸۵۱ | ۷/۴۸ |
| ۲۰ | ۶۵۶ | ۴۰۰ | ۲۲۵۰ | ۳۱۹۰ | ۱۲۴۸ | ۵۵۶ | ۸۳۰۰ | ۶۳۹۹۴ | ۷/۷۱ |
| ۳۰ | ۴۱۶ | ۴۰۰ | ۲۲۵۰ | ۲۹۶۲ | ۹۱۷ | ۳۱۶ | ۷۲۶۰ | ۵۷۲۱۴ | ۷/۸۸ |
| ۴۰ | ۴۰۰ | ۴۰۰ | ۲۲۳۰ | ۲۴۷۴ | ۶۱۸ | ۹۹ | ۶۲۲۰ | ۴۸۷۲۳ | ۷/۸۳ |
| ۵۰ | ۴۰۰ | ۴۰۰ | ۱۸۷۳ | ۲۱۱۷ | ۴۰۰ | ۰ | ۵۱۹۰ | ۴۰۳۱۹ | ۷/۷۷ |

نتیجه گیری

۰/۶، ۰/۶، ۱/۳۵، ۱/۳۵، ۰/۸۳ و ۰/۶ شد. مقادیر ضریب واکنش عملکرد چغندر قند برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۸، ۱/۳۵ و ۰/۶ شد و متوسط آن برای دوره رشد چغندر قند برابر با ۰/۸۹ بدست آمد. میزان عملکرد محصول با توجه به مطابقت آماری، نشان می‌دهد که روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را داشتند. در نتیجه روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) روشی مناسب برای کاربرد است. بنابراین با کاربرد تابع محصول-آب مصرفی چغندر قند به دست آمده با دقت مناسبی می‌توان برنامه بهینه توزیع آب در ماه‌های مختلف کشت چغندر قند را ارائه نمود.

روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) کمترین مقدار ریشه مربعات خطای استاندارد (RMSE)، ریشه مربعات خطای استاندارد نرمال شده (NRMSE) و بیشترین مقدار ضریب توافق (d) و ضریب تعیین (R^2) را دارد. دلیل آن این است، آنچه بر وزن دهی مؤثر تر است طول دوره رویش نیست بلکه میزان واکنش عملکرد گیاه در آن دوره‌ها است. بنابراین روش پیشنهادی تافته و همکاران (2013) پاسخ‌های قابل قبولی را ارائه می‌کند. با توجه به نتایج حاصل، مشاهده شد که نیاز آبی گیاه چغندر قند در کل دوره رشد برابر با ۱۰۲۸ میلی‌متر بود. تیمار T_1 حداکثر عملکرد محصول برابر ۷۴۶۸۰ کیلوگرم در هکتار و تیمار T_{11} داشت. حداقل عملکرد محصول را معادل ۲۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار ضریب واکنش عملکرد گیاه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر به ترتیب برابر با

References:

منابع مورد استفاده:

- Aghdayi M, Faizi M. Determination of evapotranspiration of sugar beet by lysimeters method. Proceedings of Eighth Seminar on Irrigation and reducing evaporation in Kerman. Page 27; 1999. (In Persian, abstract in English)
- Allen RG. Memorandum on application of FAO-33 yield functions. Department of Biol. & Irrig. Eng., Utah State University, Logan, Utah; 1994, 3 pp.
- Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M. Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage paper. 1998. No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Barbier G. Effect of irrigation and harvesting dates on the yield of spring, sown sugar beet; Agricultural Water management 1982; 5(4): 354-357.
- Brown KF, Dunbam RJ. Recent progress of Fibrous Root system of sugar Beet, in world sugar and sweetener year book 1989, F.O Licht G.mbh. Ratzburg pp. F5-F13.
- Caliandro A, Taranton E, Rubino P. Water consumption of sugar beet sown in the spring under the environmental conditions of southern Italy: Rivista di Agronomia. 1990, 14:3; 178-193.

- Carter JN, Jensen ME, Traveller DJ. Effect of mid-to-late season water stress on sugar Beet growth and yield. *Agron. J*; 1980. 3:72; 806-815.
- Chegini MA, Rezaei-rad B, Ghalebi S. Determination of crop transpiration coefficient (Kc) at various growth stages of sugar beet. *Plant Ecophysiology*; 2010.2: 31-36.
- Doorenbos J, Kassam AH. Yield response to water. Food and Agriculture Organization of the United Nation. FAO Irrigation and Drainage Paper 33. Rome; 1979, 193 pp.
- Ebrahimipak NA, Kaveh F, Pazira A, Sabagh farshi A. Crop yield modeling in deficit condition. (PhD Thesis). Irrigation group. Faculty of Agriculture, Islamic Azad University. Science and Research Branch. Tehran. Iran; 2004. (in Persian, abstract in English)
- Ebrahimipak NA. Determination of yield response factor (Ky) of sugar beet to deficit irrigation at different growth stages. *Journal of sugar beet*; 2010. 26 (1):67-79. (in Persian, abstract in English)
- Ebrahimipak NA, Mostashari M. Evaluation of irrigation water management and boron fertilizer to increase water use efficiency of sugar beet. *Water and Irrigation Management*; 2012 2(2): 53-67. (In Persian, abstract in English)
- English M, Raja SN. Perspectives on deficit irrigation. *Agricultural Water Management*.1996; 32: 1-14.
- FAO. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage paper No. 26. Rome; 1992.
- Haward W, Gallian J. Irrigation water management in sugar beet production. 1997; www.uidaha.edu/sugar-beet/irribeet.htm-8k.
- Hills FJ, Kaffka SR. sugar beet Irrigation Sugar beet .UC.Davis .edit / SBPM / Irrigation / sb Irrigation. Html; 2000.
- IAEA. Nuclear techniques to assess Irrigation schedules for field crops. IAEA – TECDOC – 8-8-8. Vienna; 1996.
- Jolaini M, Ghaemi A, Zarehparvar H. Effects of water stress and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency in sugar beet. *Journal of Research in Agricultural Science*; 2008.4 (2):164-172. (in Persian, abstract in English)
- Jensen JW. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowski, T. (Ed.), *Water Deficit and Plant Growth*; 1968. 2 :1–22.
- Karimi A. Assessment of flood irrigation regimes on nitrogen use efficiency for sugar beet. *Journal of Plant Production*; 2009.16 (1):133-148. (in Persian, abstract in English)
- Khajenori A. determines potential evapotranspiration of sugar beet plants by lysimeter method. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research*; 1992. (in Persian, abstract in English)
- Kipkorir EC, Raes Transformation of yield response factor in to Jensen's sensitivity index .irrigation and daring systems; 2002.16:47-52.

- Kochaki A. cultivation of sugar beet. Translated by Publications of Mashhad University; 1996.(in Persian)
- Kodterj A, Repka J. Quantitative in dictators of growth production processes and yield formation of sugar beet. *Rostlinna-Vyroba*; 1993. 39(12):1077-1089.
- Losavio N, Mastrorilli M, Rana E, Scaracia MEN, Ventrellu D, Venezian Scarascia ME: Measurement of Evapotranspiration and water stress determination using energy balance: *Annali-dell institute sperimentale-Agronomic*; 1990. 21: 265-76.
- Mirzaee M, rezvani M, Gohari J. Effect of drought stress in different growth stages on yield and some physiological properties of sugar beet. *Journal of Sugar Beet*; 2005. 21(1):1. (in Persian, abstract in English)
- Najarchi M, Kaveh F, Babazadeh H, Manshouri M. Determination of the yield response factor for field crop deficit irrigation. *African Journal of Agricultural Research*; 2011.6(16):3700-3705.
- Panahi M, Aghdayi M, M Rezayi. Determination of sugar beet standard evapotranspiration by lysimeter method in Kabotar-Abad, Esfahan. *Journal of Sugar Beet*; 2006.22 (1):25-37. (in Persian, abstract in English)
- Pruitt WO, Fereres E, Kaita K, Snyder RL. Reference evapotranspiration (ET₀) for California. *Agriculture and Experiment Station Bulletin 1922*, University of California. 16 pp. and 12 maps; 1987.
- Raes D. Yield Response to Water: Kul euen Faculty of Auricular tural and Applied Biological Sciences Department Land management, Laboratory op soil and water management, dirk, raes@agr .kuleuven, ac.bc; 2002.
- Raes D. Budget: a soil water and salt balance model. Refrence Manual. Version 6.0 (<http://www.iupware.be> and select downloads and next software. last updated June 2004.
- Rahimi. Determines water demand of sugar beet plants by lysimeters method. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research*; 1997. (in Persian, abstract in English).
- Razavi R. Final Report of Determine the water requirements of sugar beet by lysimeter. *Agricultural Scientific Information and Documentation Center, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research*; 1995. (in Persian, abstract in English)
- Sadreghaen SH, Zarei GH, Haghayeghei Moghaddam AG. Effect of Sprinkler and Furrow Irrigation on quantity, quality and Water Use Efficiency of sugar beet. *Journal of Water and Soil*. 2009; 23(1): 173-183. (in Persian, abstract in English)
- Shahabifar M, Rahimian MH. Measurement of sugar beet water requirements by lysimeter method in Mashhad. *Journal of Sugar Beet*; 23(2):177-184. 2007. (in Persian, abstract in English)
- Shurong Li, Limei GAO. Water Deficit sensitivity index for spring wheat in Arid and Semi –arid Areas of Inner Mongolia: proceeding of 99 inter haeinal conference on Agri cultural Engineering, Vhina; 1999.

- Stewart J, Cuenca RH, Pruitt WO, Hagan RM, Tosso J. Determination and Utilization of water production functions for principal California Crops. In: W-67 Calif. Contrib. Proj. Rep., University of California, Davis; 1977.
- Tafteh A, Babazadeh H, EbrahimiPak NA, Kaveh F. Evaluation and Improvement of Crop Production Functions for Simulation Winter Wheat Yields with Two Types of Yield Response Factors. *J. Agric. Sci*; 2013, 5(3). 111- 122.
- Taheri K. Determination of water use plants including maize, sugarbeet and Sunflower in Bakhtaran area by lysimeter. Agricultural Scientific Information and Documentation Center, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research. No 16; 1982. (in Persian, abstract in English)
- Taleghani D Gohari J, Tohidlu V, Allahverdi V. Study of Water and nitrogen use efficiency In good condition and tension in each Planting pattern of sugar beet: final report, Publications of sugar beet seed improvement institute; 1999. (in Persian, abstract in English)
- Ucan K, Gencoglan C, The effect of water deficit on yield and yield components of sugar beet. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*; 2004. 28(3): 163-172.
- Varlev p. Irrigation scheduling for conjunctive use of rainfall and irrigation based on yield- water relationships In: *Irrigation scheduling :From theory to practice* ,FAO Water Reports :N8,FAO,Rome Italy;1995:205-214.
- Vaziri J. Determine the potential water use of sugarbeet by lysimeter in Kermanshah. Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research;1991. (in Persian, abstract in English)
- Vaziri J. Determine the potential water use of sugarbeet by lysimeter in Esfahan. Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. Publisher, Institute of Soil and Water Research;1992. (in Persian, abstract in English)
- Winter SR. Suitability of Sugar beet for limited Irrigation in a Semi- arid climate, *Agro, J*; 1980.72, 118-123.