

## تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی (kc) چغندر قند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های تجربی در شهر کرد

### Determination of evapotranspiration and crop coefficient (kc) of sugar beet using lysimeter and comparing it with experimental methods in Shahrekord

نیازعلی ابراهیمی پاک<sup>۱\*</sup> و سعید غالی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۹/۲۵

ن.ع. ابراهیمی پاک و س. غالی. ۱۳۹۳. تعیین تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی (kc) چغندر قند با استفاده از لایسیمتر و مقایسه آن با روش‌های تجربی در شهر کرد. چغندر قند، ۳۰(۱): ۵۸-۴۱

#### چکیده

این آزمایش با هدف تعیین تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند و برآورد ضریب گیاهی (kc) آن برای دوره رشد با استفاده از لایسیمتر زه‌کش‌دار به روش بیلان آبی و روش‌های تجربی به مدت سه سال در شهر کرد اجراء شد. پس از کاشت بذر چغندر قند در داخل و خارج لایسیمتر، با اندازه‌گیری عوامل معادله‌ی بیلان آبی، تبخیر-تعرق گیاه در دوره هفتگی و ماهانه محاسبه گردید. نتایج نشان داد که مجموع تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند در فصل رشد برابر با  $1016/6$  میلی‌متر شد که میزان آب زه‌کش برابر با  $73/9$  میلی‌متر و تغییرات رطوبتی خاک برابر با  $66/1$  میلی‌متر بود. مقدار تبخیر از تشت کلاس A در فصل رویش چغندر قند برابر  $1364/5$  میلی‌متر شد. تبخیر-تعرق گیاه مرجع از طریق لایسیمتر زه‌کش‌دار اندازه‌گیری و با استفاده از روش‌های تجربی برآورد گردید. نتایج نشان داد که میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع از لایسیمتر در دوره رشد گیاه چغندر قند برابر با  $1123/03$  میلی‌متر بود و از بین روش‌های تجربی، روش بلینی-کریدل فائو ۲۴ و پن من مانیت فائو ۵۶ از دقت بیشتری در برآورد برخوردار بودند. ضریب گیاهی چغندر قند یا (kc) در مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با  $0/72$ ،  $0/81$ ،  $1/04$  و  $0/70$  شد و متوسط آن در کل دوره رشد گیاه چغندر قند برابر با  $0/89$  بود. متوسط ضریب تشت تبخیر یا kp در طول دوره رویش گیاه چغندر قند برابر با  $0/83$  شد و متوسط ضریب (Kc.p) در فصل رشد گیاه چغندر قند برابر با  $0/73$  به دست آمد. به عبارتی نیاز آبی چغندر قند برابر با  $0/73$  تبخیر از تشت تبخیر است و داشتن میزان تبخیر از تشت با دقت قابل قبولی می‌توان نیاز آبی گیاه را تخمین زد. از طرفی کارایی مصرف آب برای محصول ریشه چغندر قند برابر با  $5/14$  کیلوگرم بر مترمکعب و برای شکر سفید برابر با  $0/753$  کیلوگرم قند بر مترمکعب آب مصرفی برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: تبخیر از تشت کلاس A، گیاه مرجع، ضریب تشت تبخیر، ضریب نیاز آبی

۱- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب - کرج \* نویسنده مسئول [nebrahimipak@yahoo.com](mailto:nebrahimipak@yahoo.com)  
۲- مربی بخش آبیاری و فیزیک خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب - کرج

## مقدمه

چغندرقد با توجه به نیاز مصرف شکر، در سطح وسیعی از دنیا کشت می‌شود، تعیین نیازآبی و برنامه‌ریزی آبیاری آن از اهمیت خاصی برخوردار است. نیازآبی گیاه چغندرقد براساس وارسته‌های مختلف و اقلیم‌های گوناگون متفاوت است (Kochki 1997) و مقدار آن از ۲۵۰ میلی‌متر برای مناطق مرطوب تا ۲۷۰۰ میلی‌متر برای مناطق گرم و خشک متغیر است. روش‌هایی که برای برآورد نیاز آبی چغندرقد به کار برده می‌شوند در دو گروه اصلی قرار می‌گیرند که عبارتند از روش‌های مستقیم و روش‌های تجربی، یکی از روش‌های مستقیم و دقیق تعیین نیاز آبی گیاه، روش لایسیمتری است. بررسی‌های که تا کنون در ایران انجام گرفته نشان داده است که مقدار تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد با استفاده از لایسیمتر زه‌کش‌دار در طرق مشهد ۱۲۲۱ میلی‌متر (Rahimian et al. 2008)، در کرج برای تولید بذر چغندرقد ۵۱۶ میلی‌متر (Chegin et al. 2010) و برای تولید ریشه چغندرقد ۱۲۹۶ میلی‌متر (Khajehnouri 1993)، در کبوترآباد اصفهان ۱۰۶۶ میلی‌متر (Panahi et al. 2007)، در ماهیدشت کرمانشاه ۱۶۳۵ میلی‌متر (Taheri 1983)، در کرمانشاه ۱۸۸۵ میلی‌متر (Vaziri 1992)، در همدان ۱۰۹۶ میلی‌متر (Rahimi 1998)، در ارومیه ۱۷۰۵ میلی‌متر (Razavi 1996)، در اصفهان ۱۱۳۰ میلی‌متر (Aghdaie et al. 2000) می‌باشد. عوامل اقلیمی، خاک، تاریخ کاشت، ویژگی‌های گیاهی و روش‌های آبیاری بر نیاز آبی گیاه چغندرقد تأثیر دارند. اقلیم، مخصوصاً رطوبت هوا در میزان تبخیر-تعرق تأثیر دارد، در یک منطقه مرطوب آلمان، میزان تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد با استفاده از لایسیمتر زه‌کش‌دار ۲۸۶ میلی‌متر در طول دوره رشد گزارش شد (Roth 1992)، در حالی که در منطقه جنوب غربی ایتالیا که یک منطقه نیمه

مرطوب است میزان تبخیر-تعرق گیاه حاصل از لایسیمتر برابر با ۶۷۰ میلی‌متر برآورد شد (Caliandro et al. 1980). تاریخ کاشت و برداشت چغندرقد بر میزان آب مصرفی تأثیر دارد، میزان تبخیر-تعرق در برداشت دیرهنگام محصول چغندرقد برابر با ۶۵۰ میلی‌متر و در برداشت زودهنگام محصول برابر با ۳۵۰ میلی‌متر شد (Barbier 1982) و در دیویس کالیفرنیا میزان تبخیر-تعرق واقعی گیاه چغندرقد زودکاشت برابر با ۹۷۵/۴ میلی‌متر و دیرکاشت برابر با ۷۲۶/۴ میلی‌متر برآورد گردید (Pruitt et al. 1978). همچنین نوع خاک بر مقدار تبخیر-تعرق مؤثر بوده به طوری که این مقدار برای چغندرقد در خاک‌های سنگین بین ۳۷۲/۹ تا ۴۲۰ میلی‌متر در طول دوره رشد گزارش شد، در منطقه هوکاکایدی آمریکا میزان تبخیر-تعرق روزانه گیاه چغندرقد در یک خاک متوسط با استفاده از روش نمونه‌گیری خاک، کاهش رطوبت خاک ۵/۳۸ میلی‌متر در روز تعیین شد (Trzeciecki 1994). در منطقه کالیفرنیا مقدار تبخیر-تعرق واقعی گیاه چغندرقد در یک خاک لومی-رسی حاصل از لایسیمتر زه‌کش‌دار ۱۰۴۵ میلی‌متر بود که حدود ۶۷ درصد تبخیر از تشت کلاس A شد (Ehlig et al. 1979).

روش دوم، تخمین تبخیر-تعرق گیاه از روش‌های تجربی است که در این رابطه تحقیقات وسیعی انجام شده است. یورا و همکاران (Urrea et al. 2006) در آلبست اسپانیا تبخیر-تعرق گیاه مرجع را با هفت روش، پنمن مانیت ۵۶، پنمن، پنمن فائو ۲۴ (I) و (II) و بلانی کریدل فائو ۲۴، تابش فائو ۲۴ و هارگریوز سامانی محاسبه نمودند و با داده‌های لایسیمتری مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که دقت معادلات به ترتیب اولویت شامل معادلات پنمن مانیت ۵۶، هارگریوز سامانی، تابش فائو ۲۴، پنمن فائو ۲۴ (II) و (I)، پنمن و بلانی کریدل فائو ۲۴ است. همچنین معادلات پنمن فائو ۲۴ (I) و (II) و

(Jensen *et al.* 1990) نتیجه گرفتند که برآورد ضرایب گیاهی ارائه شده حاکی از آن است که فاکتورهای اقلیمی، خاک، ویژگی گیاهی و روش‌های آبیاری بر روی آن تأثیرگذار است. ضریب گیاهی برحسب نوع گیاه، مرحله رشد، متغیرهای اقلیمی و شرایط آبیاری متغیر است (Godratnema 2003). کاسام و اسمیت (Kassam and Smith 2001) مقدار ضریب گیاه چغندر قند را برای مراحل رشد مورفولوژیک گیاه (مراحل اولیه رشد، توسعه گیاه، میانی و نهایی) به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۸۵، ۱/۲ و ۰/۹ گزارش کردند و نتایج آزمایش ایشنايدر در سال 2003 نشان داد که ضریب گیاهی چغندر قند در مراحل آغازین، میان فصل و پایانی به ترتیب برابر با ۰/۲، ۱/۰۵ و ۰/۹۵ بود. رحیمیان و همکاران (Rahimian *et al.* 2008) مقدار ضریب گیاهی چغندر قند را در طرق مشهد در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۰، ۰/۹ و ۰/۸ برآورد کرد و نتایج تحقیقات چگینی و همکاران (Chegini *et al.* 2010) نشان داد که مقدار ضریب گیاهی چغندر بذری در مراحل رشد به ترتیب برابر با ۰/۲۹، ۰/۸۹، ۱/۱۲ و ۰/۶۶ شد.

زارع‌ابیان و همکاران (Zarehe *et al.* 2012) در همدان میانگین چهار ساله آب مصرفی چغندر قند را ۸۷۵۹ مترمکعب در هکتار تعیین نمودند. همچنین طول مدت مراحل آغازین، توسعه، میان فصل و پایانی را به ترتیب ۲۴، ۲۶، ۶۵ و ۲۹ روز و ضریب گیاهی را برای مراحل آغازین، میان فصل و پایانی بترتیب ۱/۰۴/۴۲، ۰/۶۵ و ۰/۶۵ برآورد کردند. میرزایی و همکاران (Mirzaei and Rezvani 2012) در تحقیقات خود با هدف ارزیابی ضریب گیاهی چغندر قند براساس بیلان آب مزرعه از طریق اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک و تبخیر-تعرق روزانه گیاه مرجع توسط معادله پنمن مانتیس در منطقه قزوین نشان دادند که ضرایب گیاهی ارائه شده بر اساس

بلانی کریدل تبخیر-تعرق را بیشتر و معادله پنمن تبخیر-تعرق را کمتر از لایسیمتر تخمین زدند. نتایج پژوهش لیکوپیل و همکاران (Legoupil *et al.* 1972) در ناحیه Chelif نشان داد که مقدار تبخیر-تعرق واقعی چغندر قند حاصل از لایسیمتر برابر با ۱۶۱۱ میلی‌متر در دوره رشد بود و با استفاده از روش‌های تجربی مقدار تبخیر-تعرق مرجع بین ۱۱۶۵ تا ۱۳۷۵ میلی‌متر محاسبه شد. هارگریوز و همکاران (Hargreaves *et al.* 2003) در مقایسه‌ای که بین داده‌های تبخیر-تعرق به‌دست آمده از معادله هارگریوز-سامانی (Hargreaves and samani 1985) با لایسیمتر واقع در کمبرلی ایداهو، مشاهده کردند که داده‌های حاصله از معادله آنها برابر ۹۷ درصد داده‌های حاصله از لایسیمتر بود. دهقانی سانج و همکاران (Dehghanisanij *et al.* 2004) در مقایسه‌ای که بین داده‌های تبخیر-تعرق یونجه کاشته شده در لایسیمتر زهکش‌دار و معادلات پنمن مانتیس، هارگریوز سامانی، پنمن رایت، ماکینگ، پنمن و بلانی کریدل برای کرج انجام دادند، نتایج نشان داد در طی فصل رشد ماه‌های آوریل و اوت کلیه معادلات مذکور به جزء پنمن مانتیس و هارگریوز سامانی مقادیر ماهانه ET را بیشتر از ET لایسیمتر محاسبه می‌کنند که ممکن است به دلیل افزایش سریع دما باشد. اما در ماه‌های اکتبر و نوامبر ET را کمتر محاسبه می‌کنند که به دلیل کاهش سریع دما است.

به منظور ارزیابی اثر گیاه چغندر قند در برآورد تبخیر-تعرق گیاه، از ضریب گیاهی استفاده می‌شود و این ضریب منعکس‌کننده خصوصیات گیاه در نیاز آبی آن می‌باشد، ضریب گیاهی (Kc) از نسبت تبخیر-تعرق گیاه ( $ET_c$ ) به تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_o$ ) به‌دست می‌آید (Allen *et al.* 1998). ضرایب گیاهی برای اولین بار در گیاهان مختلف توسط دورنبوس و کاسام (1979) ارائه شد و جانسن و همکاران

$\min T =$  حداکثر دمای روزانه هوا از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل آزمایش

$TB =$  دمای پایه یا صفر فیزیولوژیک چغندر قند که معادل سه درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد.

این مقاله بر آمده از نتایج یک تحقیق مزرعه‌ای با هدف تعیین تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند به روش بیلان آبی با استفاده از لایسیمتر در شرایط استاندارد و مقایسه آن با روش‌های تجربی و تعیین مقدار ضرایب رشد گیاهی (Kc) و تست تبخیر (kp) برای تعیین نیاز آبی گیاه چغندر قند به منظور برنامه‌ریزی آبیاری می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرکرد به عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰۶۶ متر از سطح دریا با خاک رسی - لومی و میانگین حرارت ۱۹/۱۸ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۳۶/۵ درصد در طول فصل رشد، از سال ۱۳۷۶ لغایت ۱۳۷۸ به مدت سه سال زراعی اجرا شد. به منظور اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند با استفاده از یک لایسیمتر زه‌کش‌دار (دایره‌ای شکل) به قطر ۳ متر، عمق ۲/۲ متر و مساحتی برابر با ۷/۰۶ متر مربع استفاده شد. لایسیمتر در وسط قطعه زمینی به ابعاد ۶۰×۴۰ متر (۲۴۰۰ متر مربع) نصب گردید به طوری که چهار جهت پوشش گیاهی چغندر قند بود. در بهار هر سال قبل از کاشت گیاه، خاک درون لایسیمتر به اندازه‌ای آبیاری شد که خاک اشباع گردید و آب از لوله زه‌کش خارج شد و زمانی که رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی رسید، اقدام به کشت بذر منورم تکنیکی برای ایجاد تراکم نهایی ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار شد. فاصله ردیف‌های بوته شبیه مزرعه اطراف لایسیمتر بوده است (کاشت بذر با فواصل

مراحل چهارگانه رشد توسط فائو، تحت تأثیر عواملی چون رطوبت خاک، درجه روز رشد (GDD) و شاخص سطح برگ قرار می‌گیرد. بنابراین عوامل فوق‌الذکر در برآورد ضرایب گیاهی در نظر گرفته شوند. همچنین منحنی ضریب گیاهی و روابط ریاضی برای مراحل رشد به‌منظور برآورد ضریب گیاهی این محصول توسعه داده شدند. مقدار Kc در طول فصل رشد به‌ترتیب برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد ۰/۵۹، ۱/۱۹ و ۰/۸۵ بود. تخمین ضریب گیاهی در مرحله ابتدایی با روش بیلان آب مزرعه، بیشتر از مقدار آن با روش فائو شد. در صورتی که ضریب گیاهی در مرحله انتهایی رشد با این روش کمتر از روش فائو بود. در این تحقیق رابطه رگرسیونی درجه پنج بین GDD و ضریب گیاهی برقرار شد. نلسون و هنکل (Nielsen and Hinkle 1996) ضریب گیاهی ذرت را بر اساس درجه روز رشد، مرحله رشد و زمان ارزیابی کردند و نشان دادند ضریب گیاهی به‌دست آمده از درجه روز رشد و مرحله رشد، پیش‌بینی تبخیر-تعرق را برای برنامه‌ریزی آبیاری ساده‌سازی می‌کنند.

میرزایی و عبدالله‌پیان نوقابی (Mirzaei and Abdollahian-Noghabi 2012) در بررسی روند رشد چغندر قند در همدان برای محاسبه درجه روز رشد از رابطه زیر استفاده کردند.

$$GDD = \frac{\Sigma(T_{max} + T_{min})}{2} - TB \quad (1)$$

$$\text{If } T_{min} < 3^{\circ}\text{C} \Rightarrow \square T_{min} = 3^{\circ}\text{C}$$

$$\text{If } T_{max} > 30^{\circ}\text{C} \Rightarrow \square T_{max} = 30^{\circ}\text{C}$$

که در این معادله :

$\max T =$  حداقل دمای روزانه هوا از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به محل آزمایش

گردید. مقدار ضریب گیاهی ( $K_c$ ) برای دوره رشد از رابطه‌ی (۳) به دست آمد:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (3)$$

که در آن  $ET_c$  مقدار تبخیر- تعرق چغندر قند و  $ET_0$  مقدار تبخیر- تعرق مرجع (چمن)

هم‌زمان با اندازه‌گیری تبخیر- تعرق گیاه مرجع توسط لایسیمتر زه‌کش‌دار، با استفاده از ۵۸ روش تجربی، تبخیر- تعرق محاسبه شد. بر اساس کمینه خطای استاندارد برآورد ( $SEE$ ) و ضریب تبیین ( $r^2$ )، ۱۳ روش تجربی که ( $SEE$ ) کمتر و  $r^2$  بالایی داشتند انتخاب شدند (Ebrahimipak 2012). توضیح اینکه ( $SEE$ ) کمتر و  $r^2$  بالاتر دلالت بر همخوانی بیشتر رابطه بین تبخیر- تعرق برآورده شده به وسیله روش‌های تجربی با تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده از لایسیمتر چمن دارد.

در طول فصل رویش گیاه چغندر قند، مقدار تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A به صورت روزانه اندازه‌گیری شد و

$$K_p = \frac{ET_0}{E_p} \quad (4)$$

که در آن  $K_p$ ، ضریب تشت و  $E_p$  مقدار تبخیر از تشت کلاس A است.

در زمان برداشت با حذف حاشیه از سطحی معادل پنج متر مربع برداشت ریشه‌ها انجام و عملکرد ریشه تعیین شد و پس از توزین در کارخانه‌قند شستشو شده و پولپ ریشه جهت تهیه عیار قند و اجزاء آن به آزمایشگاه تکنولوژی چغندر قند انتقال داده شد. همچنین کل اندام هوایی گیاهی برداشت شد و در آون الکتریکی به مدت ۴۸ ساعت در درجه حرارت ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید و میزان ماده خشک تولیدی (عملکرد بیولوژیک) در هر هکتار محاسبه گردید.

۶۰ سانتی‌متر از یکدیگر و فواصل بوته‌ها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر بود). در هر سال زراعی از تاریخ کاشت تا برداشت مزرعه تنگ و با علف‌های هرز مبارزه شد و با توجه به کمبود عنصر بُور در خاک، در دو مرحله محلول‌پاشی این عنصر انجام گرفت و کودهای لازم طبق توصیه کودی مؤسسه تحقیقات خاک و آب مصرف گردید. در تمام مدت انجام آزمایش از قبل از کاشت تا پس از برداشت و قبل از هر آبیاری، میزان رطوبت موجود خاک لایسیمتر توسط نوترون متر تا عمق ۱۸۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری و پایش شد و با توجه به خواص فیزیکی خاک لایسیمتر که در جدول ۱ ارائه شده است، در طول فصل زراعی با استفاده از رابطه (۲) بیان رطوبتی خاک، میزان تبخیر- تعرق گیاه چغندر قند محاسبه شد (Allen 1998).

$$ET_c = I + P - D \pm \sum_{i=1}^n (PW_1 - PW_2) \quad (2)$$

که در آن:  $ET_c$ : تبخیر- تعرق گیاه (میلی متر)، I: مقدار آب آبیاری (میلی متر)، P: میزان بارش (میلی‌متر)، D: آب زه‌کش (میلی‌متر)،  $PW_1$ : رطوبت خاک قبل از آبیاری (میلی متر)،  $PW_2$ : رطوبت خاک بعد از آبیاری (میلی‌متر)

آبیاری اول و دوم به نحوی انجام شد که گیاه به‌طور یکنواخت و بدون تنش آبی سبز شود و آبیاری‌های بعدی بر اساس تخلیه ۴۵ درصد از رطوبت قابل استفاده خاک (حد سهل‌الوصول) در عمق توسعه ریشه بود و میزان آب آبیاری برای جبران کسری رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی محاسبه و اعمال گردید. همچنین به منظور تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع (چمن) از یک عدد لایسیمتر زه‌کش‌دار در داخل مزرعه استفاده شد. داده‌های لایسیمتر چمن برای چندین سال و به صورت روزانه ثبت شده بود که در این آزمایش از داده‌های لایسیمتر چمن برای طول دوره رشد گیاه چغندر قند استفاده

جدول ۱ برخی مشخصات فیزیکی اندازه‌گیری شده خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه برداری (سانتیمتر)	۰-۲۵	۲۵-۵۰	۵۰-۷۵	۷۵-۱۲۰	۱۲۰-۱۴۰	۱۴۰-۱۸۵	متوسط
ظرفیت زراعی خاک (درصد وزنی) (FC)	۲۲/۵	۲۳	۲۴	۱۷/۲	۱۹/۲	۲۰/۶	۲۱/۰۸
نقطه پژمردگی دائم (درصد وزنی) (PWP)	۱۲/۷	۱۲/۹	۱۳/۵	۹/۵	۹/۷	۱۰/۱	۱۱/۴
جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۳۴	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۷	۱/۶۹	۱/۶۷	۱/۶۲
کلاس بافت خاک	سیلتی-رسی	سیلتی-لومی	لومی شنی	شنی-لومی	سیلتی-لومی	سیلتی-لومی	سیلتی-لومی

## نتایج و بحث

### تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار

میزان تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار بر اساس بیلان رطوبتی در مراحل مختلف چهارگانه فائو و درجه روز رشد (GDD) در جدول (۲) ارائه شده است با توجه به جدول مشاهده می‌شود که میزان تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند در کل دوره رشد برابر با  $۱۰۱۳/۸۳$  میلی‌متر شد و بیشترین مقدار آن مربوط به مرحله رشد میانی در گستره  $۸۸/۵$  تا  $۲۳۳۷/۸$  درجه روز رشد به میزان  $۶۳۵/۱$  میلی‌متر و کمترین آن مربوط به مرحله رشد انتهایی در بازه  $۲۳۳۷/۸$  تا  $۲۶۸۵/۳$  درجه روز رشد به میزان  $۶۷/۷$  میلی‌متر بود. مقدار تبخیر-تعرق که از نتایج رحیمیان و شهابی فر (Rahimian and Shahabifar 2008) در طرق مشهد، خواجه نوری (Khajehnoori 1993) در کرج، پناهی و همکاران (Panahi et al. 2007) در اصفهان، طاهری (Taheri 1983) در ماهیدشت کرمانشاه، رحیمی (Rahimi 1998) در همدان، رضوی (Razavi 1996) در اورمیه، عقدائی و فیضی (Aghdaie and Fyzee 2000) در اصفهان، برآورد کردند، نسبت به تبخیر-تعرق به‌دست آمده از این تحقیق، به ترتیب  $۱۷/۰۴$ ،  $۲۱/۰۶$ ،  $۵/۰۷$ ،  $۳۸/۰۴$ ،  $۷/۰۶$ ،  $۱۵/۷۷$ ،  $۴۰/۰۶$  و  $۱۰/۰۴$  درصد اختلاف وجود دارد که این اختلاف ناشی از اقلیم، تراکم کشت، نوع خاک و همچنین زمان کاشت، داشت و

برداشت می‌باشد و این موضوع در اکثر تحقیقات به عمل آمده نیز تأیید شده است. در طول فصل رویش میزان بارش  $۱۸/۲$  میلی‌متر بود که بسیار ناچیز است و نمایانگر این می‌باشد که دوره رویش گیاه در یک فصل خشک قرار دارد و تقریباً تمام آب مورد نیاز گیاه از آب آبیاری تأمین می‌شود. مقدار آب زهکش، برابر با  $۷۵/۱$  میلی‌متر شد، به عبارتی از  $۱۰۰۶/۵$  میلی‌متر آب آبیاری مقدار  $۷۵/۱$  میلی‌متر از دسترس گیاه خارج شد. تغییرات رطوبتی خاک برابر با  $۶۴/۲$  میلی‌متر بود که این مقدار حدود  $۶/۳$  درصد تبخیر-تعرق گیاه و  $۶/۵$  درصد آب آبیاری بود. با توجه به جدول ۲ دوره رشد گیاه چغندر قند به روش مورفولوژیکی به چهار مرحله ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی رشد تقسیم شد (Doorenbos and Kassam 1979; Kassam and Smith 2001) طول مرحله ابتدایی رشد گیاه ۲۵ روز با  $۱۰/۸$  تا  $۳۳۵/۶$  درجه-روز واحد گرمایی بود که به دلیل عدم پوشش کامل و توسعه گیاه و اندام‌های هوایی آن، میزان تبخیر-تعرق در این مرحله برابر با  $۱۲۳/۲$  میلی‌متر و میانگین  $۴/۹۳$  میلی‌متر در روز شد و طول مرحله توسعه گیاه حدود ۳۲ روز با  $۳۳۵/۶$  تا  $۸۸/۵$  درجه-روز واحد گرمایی بود که به علت افزایش سرعت رشد اندام‌های هوایی، چغندر قند به آب بیشتری نیاز داشت لذا تبخیر-تعرق گیاه به سرعت افزایش یافت و مقدار تبخیر-تعرق گیاه به  $۱۸۷/۸$  میلی‌متر و میانگین  $۵/۸۷$  میلی‌متر در روز رسید.

**جدول ۲** تبخیر- تعرق چغندر قند بر اساس بیلان رطوبتی لایسیمتر در مراحل مختلف رشد گیاه و درجه روز رشد دریافت شده (میانگین نتایج سه ساله)

تاریخ (روز)	مرحله رشد (براساس مراحل چهارگانه رشد fao)	درجه روز رشد (GDD) دریافت شده	آب آبیاری (میلی متر)	بارندگی (میلی متر)	آب زهکش (میلی متر)	تغییرات رطوبتی خاک (میلی متر)	ETc (میلی متر در مرحله رشد)	ETc (میلی متر در مرحله رشد)
۲/۵ تا ۳/۸ (روز)	ابتدایی	۳۳۵/۶	۱۵۹/۳	۱۰/۵	۲۵/۱	-۲۱/۵	۴/۹۳	۱۲۳/۲
۴/۹ تا ۶/۲۶ (روز)	توسعه گیاه	۸۸۷/۵	۱۶۰	۵/۶	۱۷/۵	۳۹/۷	۵/۸۷	۱۸۷/۸
۶/۲۶ تا ۷/۹ (روز)	میانی	۲۳۳۷/۸	۶۳۸/۵	۲/۱	۲۶/۳	۲۰/۸	۸/۰۴	۶۳۵/۱
۷/۹ تا ۱۵/۲۶ (روز)	انتهایی	۲۶۸۵/۳	۴۸/۷	۰	۶/۲	۲۵/۲	۳/۳۹	۶۷/۷
جمع		۲۶۸۵/۳	۱۰۰۶/۵	۱۸/۲	۷۵/۱	۶۴/۲		۱۰۱۲/۸

چغندر قند و همچنین محاسبه درجه روز رشد (GDD) با استفاده از رابطه (۱)، ارتباط بین متوسط تبخیر- تعرق روزانه گیاه چغندر قند (ETc) و درجه روز رشد (GDD) به شکل درجه ۳ برازش داده شد. که در رابطه (۵) و همچنین شکل (۱) نشان داده شده است.

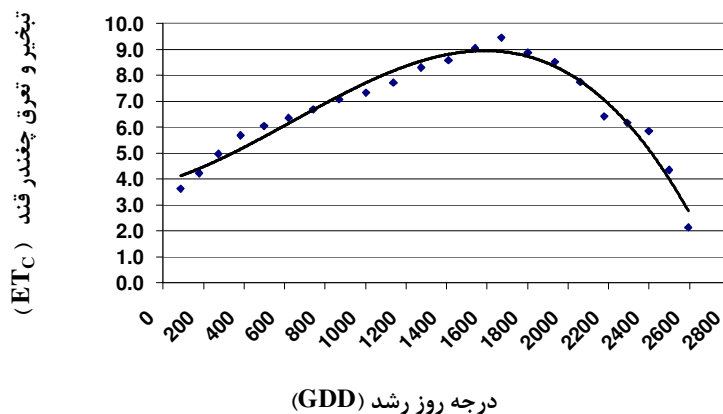
$$ETc = -2 \times 10^{-9} (GDD)^3 + 3 \times 10^{-6} (GDD)^2 + 0.0024 (GDD) + 3.8971$$

$$R^2 = 0.9599 \quad (5)$$

که در این رابطه:

ETc = تبخیر- تعرق گیاه چغندر قند بر حسب میلی متر در روز  
 GDD = درجه روز رشد بر حسب واحد گرمایی تجمعی که در از رابطه خاص باتوجه به درجه حرارت پایه محاسبه می شود.

طول مرحله میانی رشد گیاه، ۷۹ روز با ۸۸۷/۵ تا ۲۳۳۷/۸ درجه-روز واحد گرمایی بود در این مرحله از رشد گیاه سطح برگ چغندر قند به حداکثر خود رسید و تمام اندامهای گیاهی سبز بود و دارای فتوسنتز کامل می باشند در این مرحله رشد گیاه، تبخیر- تعرق در سطح بالایی بود و مقدار آن برابر با ۶۳۵/۱ میلی متر و میانگین ۴/۹۳ میلی متر در روز شد و طول مرحله انتهایی رشد گیاه، حدود ۲۰ روز با ۲۳۳۷/۸ تا ۲۶۸۵/۳ درجه-روز واحد گرمایی شد که این مرحله از رشد گیاه، اندامهای گیاهی زرد شد و سطح برگ کاهش یافت در نتیجه مقدار تبخیر- تعرق گیاه به سرعت نزول یافت و مقدار آن برابر با ۶۷/۷ میلی متر و میانگین ۴/۹۳ میلی متر در روز بود. با استفاده از داده های هفتگی اجزاء بیلان رطوبتی خاک لایسیمتر، و محاسبه مقدار متوسط تبخیر- تعرق روزانه گیاه



**شکل ۱** رابطه بین مقدار تبخیر- تعرق چغندر قند بر حسب میلی متر در روز با میزان درجه-روز رشد (GDD) دریافت شده

مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع در مرحله ابتدای رشد و توسعه گیاه یعنی از زمان کاشت تا دهه اول تیرماه، بیشتر از تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد بود و با گذشت زمان مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع تحت تأثیر شرایط اقلیمی با یک شیب ثابت افزایش پیدا کرد لیکن مقدار تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد با افزایش سطح برگ و توسعه ریشه گیاه در مرحله توسعه گیاه شدیداً افزایش یافت و از دهه دوم تیرماه تا دهه سوم شهریورماه، مقدار تبخیر-تعرق چغندرقد بیشتر از تبخیر-تعرق مرجع شد و از دهه اول مهرماه مجدداً مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع از تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد بیشتر شد. که با نتایج دهقانی و همکاران (Dehghanisanij *et al.* 2004) و یوراو و همکاران (Urrea *et al.* 2006) مطابقت دارد.

در شکل فوق ملاحظه می‌گردد بیشترین مقدار تبخیر-تعرق روزانه در محدوده ۱۶۰۰ درجه-روز به میزان ۹ میلی‌متر در روز اتفاق افتاد.

### مقایسه بین میزان تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد و تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش مستقیم (لایسیمتر)

به منظور تعیین ضریب گیاهی، از داده‌های لایسیمتر گیاه مرجع (چمن) داخل مزرعه نیز استفاده شد. داده‌های لایسیمتر چمن برای چندین سال و به صورت روزانه ثبت شده است که در این آزمایش از داده‌های لایسیمتر چمن برای طول دوره رشد چغندرقد استفاده گردید با توجه به جدول ۳ میزان تبخیر-تعرق حاصل از لایسیمتر چمن در طول دوره رشد گیاه برابر با ۱۱۲۳/۰۴ میلی‌متر شد و همچنین نتایج نشان داد که

جدول ۳ تبخیر از تشت و تبخیر-تعرق گیاه مرجع و گیاه چغندرقد و ضرائب رشد گیاهی (Kc) و تشت تبخیر

تاریخ (روز)	مرحله رشد (براساس مراحل چهارگانه رشد (fao))	درجه روز رشد (GDD)	ET <sub>0</sub> (میلی‌متر در مرحله رشد)	Etc (میلی‌متر در مرحله رشد)	E <sub>PAN</sub> (میلی‌متر در مرحله رشد)	KP (ضریب)	Kc (ضریب)	Kc از معادله (میانگین مرحله رشد)	Kc × KP = kcp (آزمایش)	Kcp از معادله (میانگین مرحله رشد)
۳/۸ تا ۲/۵ (روز ۲۵)	ابتدایی	۳۳۵/۶	۱۷۶/۰۶	۱۲۳/۲۳	۲۰۶/۳۴	۰/۸۵	۰/۷	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۷۲
۴/۹ تا ۳/۸ (روز ۳۲)	توسعه گیاه	۸۸۷/۵	۲۳۰/۴۱	۱۸۷/۸	۲۷۴/۴	۰/۸۴	۰/۸۲	۰/۷۶	۰/۶۹	۰/۶۲
۶/۹ تا ۴/۹ (روز ۷۹)	میانی	۲۳۲۷/۸	۶۱۱/۹۵	۶۳۵/۱	۷۶۳/۶۸	۰/۸	۱/۰۴	۱/۱۱	۰/۸۳	۰/۹۸
۷/۱۵ تا ۶/۲۶ (روز ۲۰)	انتهایی	۲۶۸۵/۸	۱۰۴/۶۲	۶۷/۷	۱۲۰/۱	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۸۲	۰/۵۷	۱/۰۶
جمع		۲۶۸۵/۸	۱۱۲۳/۰۴	۱۰۱۳/۸۳	۱۳۶۴/۵					

(SEE) و ضریب همبستگی ( $r^2$ )، ۱۳ روش تجربی که (SEE) کمتر و  $r^2$  بالای داشتند انتخاب شدند (Ebrahimipak 2012). توضیح اینکه (SEE) کمتر و  $r^2$  بالاتر دلالت بر همخوانی بیشتر رابطه بین تبخیر-تعرق برآورده شده به وسیله روش‌های تجربی و تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده از لایسیمتر

### مقایسه بین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش مستقیم (لایسیمتر) و روش‌های تجربی

هم زمان با اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه مرجع توسط لایسیمتر زهکش‌دار، با استفاده از ۵۸ روش تجربی، تبخیر-تعرق محاسبه شد. بر اساس کمینه خطای استاندارد برآورد



رحیمیان و همکاران (Rahimian et al. 2008) که مقدار ضریب گیاهی چغندر قند را در طرق مشهد در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد، شهریور، مهر و آبان به ترتیب برابر با ۰/۵، ۰/۶، ۰/۹، ۱، ۰/۹ و ۰/۸ برآورد کرده بود، مورد مقایسه قرار گرفت و مشاهده شد که مقدار ضریب گیاهی این آزمایش حدود ۱۲ درصد بیشتر از نتایج رحیمیان (Rahimian et al. 2008) است. ضریب گیاهی چغندر قند برای مراحل رشد ابتدایی، توسعه گیاه، میانی و نهایی به ترتیب برابر با ۰/۷۲، ۰/۸۱، ۰/۰۴ و ۰/۷۰ شد و متوسط آن برای دوره رشد چغندر قند برابر با ۰/۸۹ به دست آمد و اگر با نتایج کسام و همکاران (2001) که ضریب گیاهی را برای مراحل رشد به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۸۵، ۱/۲ و ۰/۹ مورد مقایسه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که ضریب گیاهی اندازه‌گیری شد در این آزمایش پنج درصد بیشتر از مقادیر کاسام و اسمیت (2001) و ۱۵ درصد از نتایج چگینی و همکاران (Chegini et al. 2010) می‌باشد مقایسه ضرایب گیاهی این آزمایش با نتایج دورنباس و کاسام (Kassam and dorenbos 1979) نشان داد که در مرحله‌ی اولیه رشد ضریب گیاهی دورنباس و کاسام (1979) برابر با ۰/۵ تا ۰/۴ بود که حدود ۴۱ درصد کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده است، در مرحله‌ی توسعه رشد گیاه برابر با ۰/۷۵ تا ۰/۸۵ بود که اختلاف قابل توجهی با نتایج ندارد، برای مرحله‌ی میانی رشد را ۱/۰۵ تا ۱/۲ ارائه شد که اختلاف قابل توجهی با نتایج حاضر ندارد و در مرحله‌ی نهایی رشد را ۰/۹ تا ۱ ارائه کردند که حدود ۲۲ درصد بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده است. تفاوت مقادیر اندازه‌گیری شده در مقایسه با نتایج دورنباس و کاسام (1979)، رحیمیان (2003) وجود دارد، ناشی از تغییر اقلیم، تراکم کشت، نوع

چمن دارد. با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت که روش‌های بلینی- کربدل اصلاح شده فائو ۲۴، تورک، پن من مانیتث، کوپایس، ایرماک، پن من مانیتث فائو ۵۶، پرستلی- تیلور، پن من مانیتث اصلاح شده توسط کوئینکا (1989)، کریستینسن، هارگریوز-سامانی (1994)، پن من-رایت نسبت، پن من اصلاح شده توسط فائو ۲۴ و تورنت ویت، به ترتیب دقت بیشتری نسبت به داده‌های لایسیمتری چمن داشتند. در نتیجه روش‌های بلینی-کربدل اصلاح شده فائو ۲۴ و پن من مانیتث فائو ۵۶ از دقت توصیه می‌شوند که با نتایج دهقانی‌سنیج و همکاران (Dehghanisanij et al. 2004) و یوراو همکاران (Urrea et al. 2006) مطابقت دارد.

#### برآورد ضریب گیاهی چغندر قند (Kc)

ضریب گیاهی چغندر قند که از نسبت تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند به تبخیر-تعرق گیاه مرجع حاصل شد براساس در مراحل چهارگانه رشد فائو و درجه روز رشدهای این مراحل، در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به جدول (۳) مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار ضریب گیاهی چغندر قند در مرحله رشد میانی در محدوده ۸۸۸/۵ تا ۲۳۳۷/۸ درجه-روز واحد گرمایی به میزان ۱/۰۴ و کمترین مقدار آن در مرحله انتهایی رشد در محدوده ۲۳۳۷/۸ تا ۲۶۸۵/۳ درجه-روز واحد گرمایی برابر ۰/۶۵ شد. ضریب گیاه چغندر قند به صورت ماهانه در طول دوره رشد در جدول (۵) ارائه شده است با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که ضریب گیاهی در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهرماه به ترتیب برابر است با ۰/۷۴، ۰/۷۴، ۰/۹۱، ۱/۱، ۱/۰۳ و ۰/۷ برآورد گردید و با نتایج

معادله‌ی درجه سوم بود. در مواقعی که امکان اندازه‌گیری  $ET_c$  وجود ندارد می‌توان از این معادله و ورود داده درجه روز رشد مقطع زمانی موردنظر، ضریب گیاهی را برآورد کرد و برای برآورد نیاز آبی جهت تخصیص آب به گیاه استفاده نمود.

$$Kc = -3 \times 10^{-10} (GDD)^3 + 1 \times 10^{-6} (GDD)^2 -$$

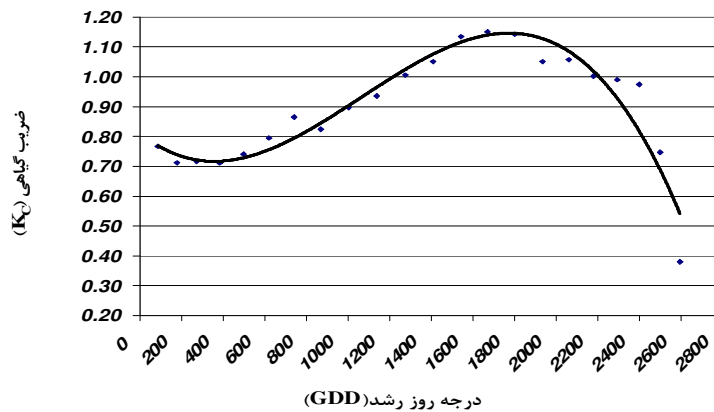
$$0.0006 (GDD) + 0.8128$$

$$R^2 = 0.8991 \quad (4)$$

که در آن: GDD، درجه روز رشد برحسب واحد گرمایی

تجمعی درجه سانتیگراد- روز محاسبه می‌شود.

خاک و همچنین زمان کاشت، داشت و برداشت می‌باشد. که این موضوع در اکثر تحقیقات به عمل آمده نیز تأیید شده است. با استفاده از مقدار  $K_c$  که از نسبت تبخیر-تعرق گیاه چغندرقد به تبخیر-تعرق گیاه مرجع به صورت هفتگی و درجه-روز رشد محاسبه شده متناظر مقادیر فوق‌الذکر، می‌توان یک معادله پلی‌نومیال درجه سوم با ضریب رگرسیون  $(R^2 = 0.8991)$  و درجه اعتماد ۰/۰۰۱ برآزش داد (رابطه ۴). رابطه پلی‌نومیال با درجه ۳ از دقت و ضریب رگرسیون بالایی برخوردار است که نشان دهند تبعیت روند تغییرات این نسبت از



شکل ۲ رابطه بین مقدار ضریب گیاهی چغندرقد با میزان درجه - روز واحد گرمایی جذب شده توسط گیاه

شده توسط کوئینکا (1989)، پن من اصلاح شده توسط فائو ۲۴، پریستیلی-تیلور، کریستینسن، پن من مانتیث، هارگریوز-سامانی (1994)، تورک، پن من-رایت، ماکینک (1984)، تورنت ویت و بلینی-کریدل اصلاح شده فائو ۲۴ برآورد شد، نسبت به ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده به ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۱۵، ۰/۱۹۹، ۳/۶۵، ۵/۶۱، ۸/۶۲، ۹/۹۲، ۹/۶۳، ۱۴/۶۳، ۱۵/۵۹، ۱۶/۶۳، ۱۶/۷۲، ۱۷ و ۲۰/۶۸ درصد اختلاف وجود داشت و نتیجه می‌شود که روش‌های پن من مانتیث فائو ۵۶، پن من

در شکل فوق ملاحظه می‌شود بیشترین ضریب گیاهی

در ۱۶۵۰ درجه-روز واحد گرمایی به میزان ۱/۱۱ در اواسط مرحله میانی رشد برآورد شده است.

مقدار ضریب گیاهی چغندرقد از نسبت تبخیر-تعرق

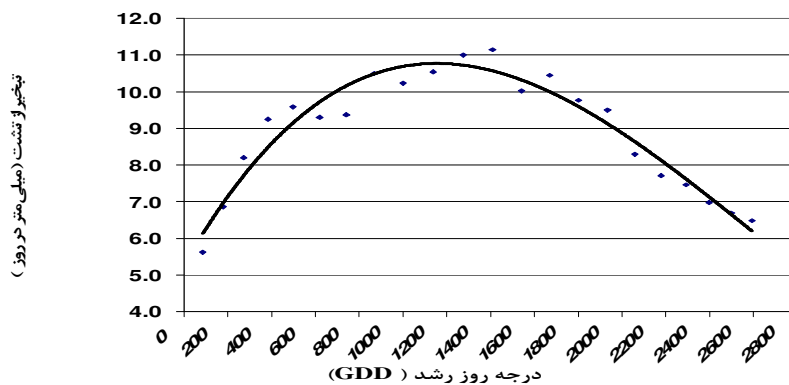
گیاه به تبخیر-تعرق برآورد شده از روش‌های تجربی در مراحل رشد چغندرقد محاسبه شد (جدول ۴). با توجه به جدول ۴ مشاهده می‌شود بین مقدار ضریب گیاهی که از روش‌های پن من مانتیث فائو ۵۶، پن من (1948)، پن من مانتیث اصلاح

جدول مشاهده می‌شود که بیشترین تبخیر در تیرماه برابر با ۳۶۱/۵ میلی‌متر و کمترین آن در اردیبهشت ماه برابر با ۸۷/۳۷ میلی‌متر شد. رابطه بین تبخیر- تعرق گیاه مرجع که دارای پوشش کامل بود و تبخیر از تشت تبخیر را ضریب تشت تبخیر یا  $k_p$  می‌نامند که مقدار متوسط آن در طول دوره رویش گیاه چغندر قند برابر با ۰/۸۲ شد. ضریب تشت تبخیر معمولاً در ایستگاه‌های لایسیمتری که تبخیر- تعرق گیاه مرجع اندازه‌گیری می‌شود قابل محاسبه است. این ضریب را ابراهیمی پاک (Ebrahimipak 2011)، ستار (Star 1999)، سلطانی (Soltani 2000)، رضوی (Razavi 2002)، صارمی (Sarami 2004)، مداحیان (Mdahyan and Farzamnia 2005) و (Hang and Miller 1986) برابر با ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۰/۷۹، ۰/۷۲۴، ۰/۶۸ و ۰/۹۵ برآورد کردند. ضریب تشت محاسبه شده نسبت به روش‌های فوق به ترتیب برابر با ۶، ۲/۷، ۴، ۱۴/۲- و ۱۲/۰۹ درصد اختلاف وجود دارد که ناشی از اقلیم و شرایط محیطی تشت تبخیر است.

۱۹۴۸، پن من ماتیت اصلاح شده توسط کوئینکا (1989) در سال که اختلاف کمتر از پنج درصد داشتند و دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها در تخمین ضریب رشد گیاهی برخوردار بودند توصیه می‌شود.

### تبخیر از تشت کلاس A

میزان تبخیر از سطح تشت تبخیر کلاس A در دوره رویش گیاه چغندر قند به صورت روزانه اندازه‌گیری شد و صورت هفتگی، ماهانه و در مراحل رشد گیاه محاسبه و در جداول (۳) و (۴) ارائه شد. با توجه به جدول (۳) تبخیر از تشت کلاس A در طول دوره رشد گیاه برابر با ۱۳۶۴/۵ میلی‌متر بود و بیشترین مقدار آن در مرحله رشد میانی در محدوده ۸۸۸/۵ تا ۲۳۳۷/۸ درجه-روز واحد گرمایی به میزان ۷۶۳/۷ میلی‌متر و کمترین مقدار آن در مرحله انتهایی رشد در محدوده ۲۳۳۷/۸ تا ۲۶۸۵/۳ درجه-روز واحد گرمایی برابر ۱۲۰/۱ میلی‌متر شد. همچنین تبخیر ماهانه از تشت تبخیر در جدول (۵) ارائه شد با توجه به

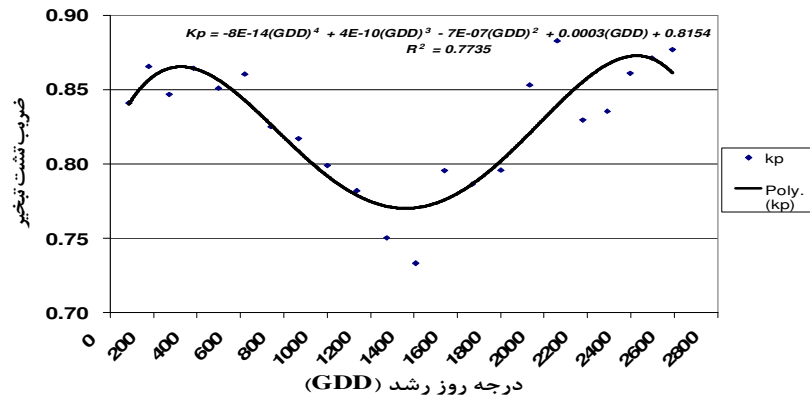


شکل ۳ رابطه بین مقدار تبخیر از تشت کلاس A (میلی‌متر در روز) با میزان درجه-روز واحد گرمایی

برآورد شده است که این بیشینه منطبق بر مرحله رشد میانی است.

در شکل فوق ملاحظه می‌گردد بیشترین مقدار تبخیر از

تشت حدود ۱۰/۸ در محدوده ۱۱۵۰ درجه-روز واحد گرمایی



شکل ۴ معادله همبستگی درجه چهار بین ضریب تشت تبخیر و درجه - روز واحد گرمایی (GDD)

جدول ۴ میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع و گیاه چغندرقد با استفاده از لایسیمتر و روش‌های تجربی و همچنین ضرائب رشد گیاهی ( $K_C$ ) چغندرقد در مراحل چهارگانه رشد (میانگین سه ساله نتایج)

جمع یا میانگین	مرحله نهایی (روز ۲۰)	مرحله میان فصل (روز ۷۹)	مرحله توسعه گیاه (روز ۲۲)	مرحله ابتدایی رشد (روز ۲۵)	روش	
۱۱۲۳/۰۳	۱۲۲/۶۲	۵۹۳/۹۵	۲۲۷/۲۶	۱۷۹/۲۱	لایسیمتر چمن	$ET_0$ (تبخیر- تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر)
۱۰۱۶/۴۳	۸۶/۱	۶۱۷/۱۱	۱۸۳/۱	۱۲۹/۸۱	لایسیمتر چغندرقد	$ET_C$ (تبخیر- تعرق گیاه چغندرقد بر حسب میلی‌متر)
-/۸۱۷	-/۷۰۲	۱/۰۴	-/۸۰۵	۰/۷۳۴	ضریب چغندرقد	$K_C$ (ضریب گیاهی چغندرقد)
۱۳۶۴/۵	۱۴۱/۰۱	۷۴۲/۷۶	۳۷۱/۲۵	۲۰۹/۴۸	تشت تبخیر	$E_p$
-/۸۴	-/۸۶۹	-/۷۹۹	-/۸۳۷	۰/۸۵۵	ضریب تشت تبخیر	$K_p$
-/۶۸۳	۰/۶۱	-/۸۳	-/۶۷۳	۰/۶۱۹	ضریب ترکیبی	$K_p \times K_C$
۱۰۸۴/۳	۲۰۵/۸۷	۵۵۲/۶۶	۱۸۷/۳۴	۱۳۸/۳۳	پن من مانتیت	$ET_0$
-/۹۵۷	-/۷۱۲	۱/۳۴	۱/۰۴	۰/۷۳۲		$K_C$
۹۷۰/۲	۱۹۰/۸	۵۰۶/۴	۱۴۸/۵	۱۲۴/۵	پن من ۱۹۴۸	$ET_0$
-/۸۲۴	-/۵۷۵	-/۹۱۴	-/۸۸۵	۰/۹۲		$K_C$
۹۷۸/۰۲	۱۹۰/۱۲	۵۰۲/۴	۱۶۶/۱	۱۸۸/۴	پن من fao 24	$ET_0$
-/۸۶۶	-/۶۸۵	۱/۰۲۸	-/۹۱۷	۰/۸۳		$K_C$
۱۰۳۰/۸	۲۰۲/۱	۵۳۷	۱۷۱/۹	۱۱۹	پن من اصلاح کونیکا	$ET_0$
-/۸۵۱	-/۷۸۵	۱/۰۷۱	۰/۸	۰/۷۴۵		$K_C$
۹۹۶/۹	۱۷۵/۳	۵۳۳	۱۷۸/۸	۱۱۹/۸	پن من -رایت	$ET_0$
-/۹۸۱	۰/۶۴	۱/۰۶	۱/۰۷۳	۱/۱۵		$K_C$
۱۰۵۸/۴	۲۰۰/۷	۵۴۱/۲	۱۸۲/۷	۱۳۳/۸	پن من مانتیت ۵۶	$ET_0$
-/۸۲	۰/۶۰	-/۸۷	-/۸۶	۰/۹۵		$K_C$
۱۱۰۷/۱	۱۶۰/۹	۵۳۹/۹	۲۳۰/۲	۱۷۶/۱	بلینی - کریدل fao 24	$ET_0$
۱/۰۳	-/۶۷۵	۱/۲۴	۱/۱	۱/۱۱		$K_C$
۱۱۹۷/۸	۲۲۱/۵	۶۲۷/۲	۲۰۶/۹	۱۴۲/۲	ماکنیک ۱۹۸۴	$ET_0$
-/۹۸۵	۰/۷۳	۱/۰۹۶	۱/۰۲۷	۱/۰۸۷		$K_C$
۱۰۲۴/۳	۱۹۷/۸	۵۴۱/۷	۱۷۰/۹	۱۱۳/۹	هارگریوز - سامانی	$ET_0$
-/۹۶۸	۰/۶۳	۱/۰۷	۱/۰۶۷	۱/۱		$K_C$
۹۶۴	۱۸۲/۶	۴۲۹/۹	۱۷۵/۱	۱۷۶/۴	تورنت ویت	$ET_0$
-/۸۹۴	-/۶۲۵	۱/۰۳۸	-/۹۸	۰/۹۳۵		$K_C$
۱۲۰۷/۵	۱۵۷/۳	۶۲۷/۲	۲۴۵/۶	۱۷۷/۴	کریستینسن	$ET_0$
-/۹۰۷	۰/۶۱	۱/۰۷۵	۱/۰۱۳	۰/۹۳		$K_C$
۱۱۹۱/۵	۲۳۳/۸	۶۱۵/۸	۱۹۸/۸	۱۴۳/۱	پریستی تیلور	$ET_0$
-/۹۰۴	۰/۶	۱/۰۵۴	۱/۰۱۵	۰/۹۵		$K_C$
۱۰۹۸/۶	۱۸۶/۱	۵۵۷/۹	۱۹۹/۳	۱۵۵/۳	ترک	$ET_0$
-/۹۸	-/۶۶۷	۱/۱۳	۱/۱	۱/۰۴		$K_C$

داشتن میزان تبخیر از تشت با دقت قابل قبولی می‌توان نیاز آبی گیاه را تخمین زد. بیشترین مقدار این نسبت مربوط به مرحله رشد میانی در محدوده ۸۸۸/۵ تا ۲۳۳۷/۸ درجه - روز واحد گرمایی به میزان ۰/۸۳ و کمترین آن با ۰/۵۷ مربوط به مرحله انتهایی رشد در محدوده ۲۳۳۷/۸ تا ۲۶۸۵/۳ درجه - روز واحد گرمایی بود. پناهی و همکاران (Panahi et al. 2007) در اصفهان متوسط نسبت تبخیر - تعرق چغندر قند به تبخیر از تشت را در یک مطالعه‌ی لایسیمتری ۰/۷۹ به دست آورد. به دلیل اینکه ضریب رشد گیاهی را دخالت نداده بودند بیشتر از نسبت به دست آمده در این آزمایش است. جدول (۵) مقادیر ماهانه‌ی ضریب (Kc.p) نشان می‌دهد با توجه به جدول، بیشترین مقدار این نسبت برابر با ۰/۸۷ به ماه‌های مرداد و شهریور و کمترین مقدار آن برابر با ۰/۶۱ به مهرماه تعلق داشت.

نظر به اینکه نسبت تبخیر - تعرق گیاه چغندر قند به تبخیر از تشت کلاس A یکی از شاخص‌های مهم و دقیق برای تعیین نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاه از روی میزان تبخیر از تشت است بدین منظور بین تبخیر از تشت تبخیر کلاس A و تبخیر - تعرق از گیاه چغندر قند رابطه‌ی ایجاد می‌شود تا مقادیر آب مورد نیاز گیاه را از روی تبخیر از تشت بیان نماید برای این مسئله ابتدا مقادیر ضریب رشد گیاهی چغندر قند (kc) و ضریب تشت تبخیر (kp) را محاسبه می‌شود و سپس ضرایب kc را در kp ضرب می‌شود، ضریب حاصل (Kc.p) خواهد بود. این ضریب عددی است که چنانچه در میزان تبخیر از تشت ضرب شود میزان تبخیر - تعرق گیاه چغندر قند در آن زمان به دست می‌آید. متوسط این نسبت برای کل فصل رشد گیاه چغندر قند ۰/۷۳ شد (جدول ۵) به عبارتی نیاز آبی چغندر قند برابر با ۰/۷۳ تبخیر از تشت تبخیر است و با

**جدول ۵** میزان درجه - روز رشد (GDD)، تبخیر - تعرق گیاه مرجع و چغندر قند همچنین ضرائب (KC) و KP<sup>۰</sup> و KCP در ماه‌های مختلف رشد گیاه (میانگین سه ساله نتایج)

پارامتر	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	متوسط	کل
GDD درجه روز شد	۲۱۹	۷۲۴	۱۳۱۲	۱۸۹۵	۲۴۱۲	۲۶۸۵		
ET <sub>0</sub> گیاه مرجع (میلی متر)	۷۴/۶	۲۱۷/۷	۲۸۶/۸	۲۲۴/۹	۱۹۶/۳	۱۲۲/۷	۱۸۷/۲	۱۱۲۳/۰
ETC چغندر قند (میلی متر)	۵۵/۰	۱۶۱/۴	۲۵۹/۷	۲۵۱/۸	۲۰۱/۹	۸۶/۴	۱۶۹/۴	۱۰۱۳
EP تشت تبخیر (میلی متر)	۸۷/۴	۲۵۴/۳	۳۶۱/۵	۲۸۹/۶	۲۳۰/۷	۱۴۱/۱	۲۲۷/۴	۱۳۶۴/۵
KC حاصل از اندازه گیری	۰/۷۴	-/۷۴	-/۹۱	۱/۱۲	۱/۰۳	۰/۷۰	-/۸۹	
KC بر آورد از معادله	۰/۶۳	-/۷۹	۱/۰۷	۱/۲۲	۰/۹۷	۰/۶۰	-/۸۸	
KP	۰/۸۵	-/۸۶	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۷	-/۸۲	
KC×KP=KCP حاصل از اندازه گیری	۰/۶۳	-/۶۳	۰/۷۲	۰/۸۷	۰/۸۷	۰/۶۱	-/۷۳	
KCP حاصل از معادله	۰/۶۳	-/۶۳	۰/۸۶	۱/۱۰	۱/۱۲	۱/۰۰	-/۸۹	

هفتگی تبخیر از تشت کلاس A و درجه روز رشد محاسبه شده متناظر مقادیر فوق‌الذکر، می‌توان نوع پلی‌نومیال درجه سوم با

با استفاده از مقدار ضریب (Kc.p) که از نسبت تبخیر - تعرق گیاه چغندر قند به تبخیر - تعرق گیاه مرجع و داده‌های

0.7214

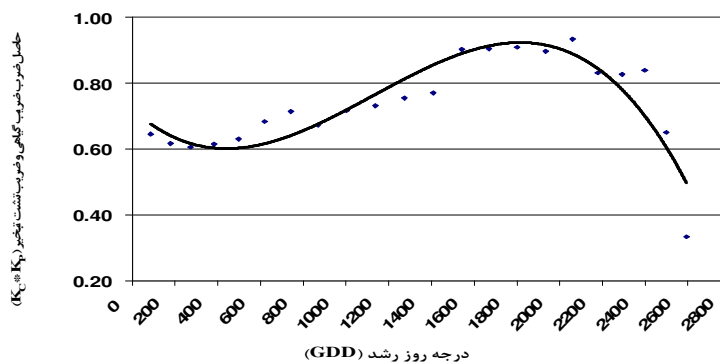
 $R^2=0.817$ 

(۵)

که در آن: GDD، درجه روز رشد برحسب واحد گرمایی تجمعی درجه سانتی‌گراد- روز محاسبه می‌شود.

ضریب رگرسیون ( $R^2=0.817$ ) استفاده کرد. در مواقعی که امکان اندازه‌گیری  $ET_c$  وجود ندارد می‌توان از معادله (۵) برای تعیین ضریب تشت تبخیر و برآورد نیاز آبی جهت تخصیص آب به گیاه استفاده نمود.

$$K_{C,P} = -2 \times 10^{-10} (\text{GDD})^3 + 8 \times 10^{-7} (\text{GDD})^2 - 0.0006 (\text{GDD}) +$$



شکل ۴ رابطه بین مقدار ضریب  $K_{C,P}$  با میزان درجه - روز واحد گرمایی جذب شده توسط گیاه

استحصالی آن برابر با  $7/65$  تن در هکتار شد میزان عناصر پتاسیم، سدیم و ازت موجود در غده به ترتیب برابر با  $5/55$  و  $2/59$  و  $5/15$  میلی‌اکی‌والان گرم در کیلوگرم چغندر قند می‌باشد. درصد شکر سفید برابر با  $11/71$  درصد و درصد استحصال شکر برابر با  $80$  درصد است.

در شکل فوق ملاحظه می‌گردد ضریب  $K_{C,P}$  حدود  $0/92$  در میزان حدود  $1800$  درجه - روز واحد گرمایی برآورد می‌شود.

### نتایج عملکرد

با توجه به جدول (۶) مقدار عملکرد محصول برابر با  $52/2$  تن غده در هکتار با  $14/6$  درصد قند شد و مقدار شکر

جدول ۶ عملکرد کل و اجزاء عملکرد چغندر قند (میانگین نتایج سه سال) در دوره اجرای آزمایش

عملکرد کل (تن در هکتار)	درصد قند	عملکرد شکر (تن در هکتار)	پتاسیم ریشه (میلی اکر والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	سدیم ریشه (میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	نیترژن ریشه (میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم ریشه)	قند سفید (درصد)	درجه استحصال	درصد قند ملاس
۵۲/۲	۱۴/۶	۷/۶۵	۵/۵۵	۲/۵۹	۵/۱۵	۱۱/۷۱	۸۰	۲/۹

### کارایی مصرف آب

مشاهده می‌شود که کارایی مصرف آب بر اساس ریشه تولیدی چغندر قند برابر با  $5/14$  کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی و کارایی مصرف آب بر اساس شکر تولیدی برابر با  $0/753$

جدول (۷) نشان‌دهنده کارایی مصرف آب چغندر قند به ازای مصرف یک مترمکعب آب آبیاری بود. با توجه به جدول

تولید یک کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی است. به عبارت دیگر برای یک کیلوگرم بر مترمکعب آب مصرفی است. به عبارت دیگر برای تولید یک کیلوگرم ریشه ۲۰۰/۳ لیتر آب آبیاری و برای تولید یک درصد قند ۷۱۲ مترمکعب آب و برای تولید یک کیلوگرم قند (شکر) ۱۳۶۰ لیتر آب آبیاری مورد نیاز است.

**جدول ۷** کارایی مصرف آب در رابطه با عملکرد و برخی اجزاء عملکرد در سه سال اجرای آزمایش ( میانگین سه ساله)

میزان آب مصرفی (مترمکعب در هکتار)	عملکرد کل (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرفی آب (ریشه) (کیلوگرم در مترمکعب)	درصد قند	عملکرد شکر خالص (کیلوگرم در هکتار)	کارایی مصرفی آب (شکر) (کیلوگرم در هکتار)
۱۰۱۶۰	۵۲۲۰۰	۵/۱۴	۱۴/۶	۷۶۵۰	۰/۷۵۳

## نتیجه گیری

جذب شده توسط گیاه متناظر با اندازه گیری های انجام شده نشان می دهد که روابط خطی بین شاخص درجه-روز واحد گرمایی (GDD) جذب شده و تبخیر- تعرق گیاه چغندر قند، ضریب رشد گیاه چغندر قند، ضریب تثبیت تبخیر و ضریب نیاز آبی (Kc.p) وجود دارد و این امکان را ایجاد می کند که در مواقع نبود  $ET_c$  اندازه گیری شده می توان از این معادله ها با استفاده از داده های درجه-روز رشد واحد گرمایی (GDD) در مقاطع زمانی مورد نظر، تبخیر-تعرق گیاه، ضریب گیاهی و ضریب نیاز آبی را برآورد کرد.

نتایج این تحقیق نشان داده که در محدود نیاز آبی گیاه چغندر قند، معادله خطی معنی داری بین میزان تبخیر-تعرق گیاه مرجع (چمن) با استفاده از لایسیمتر و گیاه چغندر قند وجود دارد و همچنین معادله خطی معنی داری بین میزان تبخیر-تعرق مرجع محاسبه شده از روش پنمن مانیتیت و نتایج لایسیمتری وجود دارد که به کمک این روابط می توان مقدار تبخیر-تعرق گیاه چغندر قند را در صورت عدم وجود داده های لایسیمتر با استفاده از داده های هواشناسی تعیین کرد. از طرفی اطلاعات مربوط به شاخص درجه-روز واحد گرمایی (GDD)

## References:

## منابع مورد استفاده:

- Aghdaie M, Fyzee M. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method in Esfahan, Proceedings of the Eighth Seminar on Irrigation and reducing evaporation of Kerman. 2000. p 27. (in Persian, abstract in English)
- 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.
- Caliandro A, Tarantion 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.

- 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
- Dehghanisanij H, Yamamoto T, Rasiah V. Assessment of evapotranspiration estimation models for use in semi-arid environments. *Agricultural Water Management*. 2004; 64:91-106.
- 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. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having and compared with experimental methods in Shahrekord, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, No. 40235, Soil and Water Research Institute Publisher. 2012; 105P. (in Persian, abstract in English)
- Ebrahimipak NA. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method in Shahrekord, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, No. 89.909, Soil and Water Research Institute Publisher. 2011; 65P.(in Persian, abstract in English)
- Godratnema G. Crop coefficient to estimate the optimum water requirements of plants, Workshop on, applied approach to the management of irrigation water deficit; 2003. (in Persian)
- Hang AN, Miller DE. Yield and physiological responses of potatoes to deficit, high frequency sprinkler irrigation. *Agronomy Journal*, Madison. 1986; 78:436-440
- Hargreaves GH, Allen RG. History and evaluation of Hargreaves evapotranspiration equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2003; 29(1):53-63.
- Jensen ME, Burman RD, Allen RG. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice. 1990; No. 70, 332 pp.
- Kassam A, Smith M. AEO methodologies on crop water use and crop water productivity. 2001. [www.fao.org/AG/AGL/aglw/crop water/docs/mehod.pdf](http://www.fao.org/AG/AGL/aglw/crop%20water/docs/mehod.pdf)
- Khajehnouri A. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method in Karaj, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, Water Research Institute Publisher. 1993; 35P. (in Persian)
- Kochki AR. *Agronomy Sugar beet: Translating Jihad* Mashhad University publisher. 1997. (in Persian)
- Legoupil JC. Water requirement of crops in the upper chelif reign: semaine. d' Etude des problems mediterraneensi, 13-17 sept 1971. 1972; 254-265.



- Mirzaei MR, Rezvani SM. Effect of deficit irrigation levels at four growth stages on yield and quality of sugar beet. Iranian Journal of Crop Sciences. 2012;14(2):94-107. (in Persian, abstract in English).
- Mirzaei MR, Abdollahian-Noghabi M. Study of sugar beet growth pattern in Hamedan, Iran. Journal of Sugar Beet. 2012; 27(2): 1-9. (in Persian, abstract in English)
- Mdahyan H, Farzamnia M. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having in Yazd, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, No. 83.714, Soil and Water Research Institute Publisher. 2005. (in Persian, abstract in English)
- Nielsen DC, Hinkle SE. Field evaluation of basal crop coefficients for corn based on growing degree day, growth stage or time. Transaction of the ASAE. 1996; 39 (1):97-103
- Panahi M, Aghdaie M, Rezaei M. Determination of sugar beet standard evapotranspiration by lysimeter method in Kabotar-Abad, Esfahan, Iran. Journal of Sugar beet. 2007; 22(1): 37-25. (in Persian, abstract in English)
- Pruitt WO, Fereres E, Kaita K, Snyder RL. Reference evapotranspiration (ET<sub>0</sub>) for California. Agriculture and Experiment Station Bulletin 1922, University of California. 1987;16 pp. and 12 maps.
- Rahimi MB. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method in Hamadan, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, Water Research Institute Publisher. 1998; P30. (in Persian)
- Rahimian MH, Shahabifar M. Determination of water requirement of sugar beet by means of lysimeters having in Mashhad, Journal of Sugar beet. 2008; 23 (2): 184-177. (in Persian, abstract in English)
- Rahimian MH. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method and related crop coefficient In Mashhad, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, Water Research Institute Publisher. 2003; P35. (in Persian)
- Razavi R. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having in Orumieh, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, 2002; No. 80.409, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Razavi R. Determining evapotranspiration of sugar beet plants in lysimeters having method in Orumieh, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. 1996; No. 74.456, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Roth D, Gunther R. Comparison of measured and estimated potential evapotranspiration : zeitschrift Fur Kulturtechnik and landen twickluy: 1992, 33(1): 13-22.

- Sarami M. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. 2004; No. 82.607, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Soltani K. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. 2000; No. 78.41, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Star M. Determining evapotranspiration potential reference crop (grass) with method lysimeters having in Esfahan, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. 1999; No. 77.360, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Synder RL. Crop Coefficient. 2002; [http://www.biomet.ucdavis.edu/ATM133/14.Crop Coefficient .pdf](http://www.biomet.ucdavis.edu/ATM133/14.Crop%20Coefficient.pdf)
- Taheri K. Determination of water plants such as forage maize- sugar beet and sunflower area using lysimeters having Bakhtaran, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran. 1983; No. 16, Soil and Water Research Institute Publisher. (in Persian, abstract in English)
- Trteciechi E. Water demands of winter wheat – spring barley , field's beans and sugar beet grown on very heavy alluvial soil in the tulawy region of the vistula data: Oddtial tulawski IMUZW Elblayu 80-300; 1992.
- Urrea LR, Martín de Santa Olalla F, Fabeiro C, Moratalla A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. Agriculture Water Management. 2006; 85:15-26.
- Vaziri J. Determination of water potential of sugar beet using lysimeters having, Agricultural Scientific Information and Documentation Centre, Iran, Soil and Water Research Institute Publisher. 1992. (in Persian, abstract in English)
- Zare Abyaneh H, Farrokhi E, Bayat Varkeshi M, Ahmadi M. Determination of water requirement and the effect of the changes on some quantitative and qualitative characteristics of products of sugar beet. Journal of Sugar Beet. 2012, 27(2): 153-167.