

تأثیر فرارفت بر توازن انرژی در فرایند تبخیر - تعرق گیاه کلزا در منطقه تبریز

ابوالفضل مجنونی هریس^{1*}، علی اشرف صدرالدینی²، امیرحسین ناظمی³

، محمد رضا نیشابوری⁴، محمدرضا شکیبا⁵

تاریخ دریافت: 90/02/07 تاریخ پذیرش: 90/12/10

¹ دانشجوی سابق دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

² دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

³ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

⁴ استاد گروه خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

⁵ استاد گروه به نژادی و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبه: Email: majnooni1979@yahoo.com

چکیده

آزمایشی به منظور مطالعه تأثیر فرارفت بر توازن انرژی در فرایند تبخیر- تعرق زراعت کلزا در بهار سال 1389 طراحی و در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز به اجرا گذاشته شد. گیاه کلزا در داخل لایسیمتر مستقر در وسط مزرعه 1/6 هکتاری کشت گردید. شدت تبخیر-تعرق، شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه در داخل لایسیمتر اندازه‌گیری شدند. با استفاده از توازن انرژی در سطح مزرعه، ضریب پریستلی- تیلور (α)، نسبت مقدار تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad})، نسبت شدت تبخیر- تعرق لایسیمتری به تابش خالص رسیده به سطح مزرعه ($\frac{ET}{R_n}$) در روزهای پس از کاشت، پدیده فرارفت در مزرعه کلزا تعیین شد. مقادیر منفی جریان گرمای محسوس (H)، وجود فرارفت از روز 39مین پس از کاشت را در منطقه تأیید کرد. مقادیر α و $\frac{ET}{R_n}$ نشان داد که در این منطقه فرارفت قابل توجهی بر فرایند تبخیر- تعرق مؤثر بوده است. مقادیر R_{ad} در برخی از روزهای فصل رشد کلزا به بالاتر از 60 درصد نیز رسید. این مسئله به روشنی تأثیر انرژی حاصل از فرارفت بر میزان تبخیر- تعرق را نشان می‌دهد. در منطقه مورد مطالعه بجز فرارفت منطقه‌ای، به دلیل کوچک بودن قطعات زیرکشت، متفاوت بودن زمان‌های آبیاری مزارع مجاور و آیش بعضی از قطعات، فرارفت محلی نیز بوقوع می‌پیوندد. بررسی‌ها نشان داد، وقتی که شاخص سطح برگ به 1 و ارتفاع گیاه به 15 سانتی متر رسیدند، شیب دمایی بین قطعه زیرکشت و اطراف آن، که ناشی از افزایش تعرق مرتبط با LAI و ارتفاع بوته می‌باشد، باعث منفی شدن β و H شده و فرارفت اتفاق می‌افتد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، تبریز، توازن انرژی، فرارفت، کلزا

Influence of Advection on Energy Balance in Canola Crop Evapotranspiration Process in Tabriz Region

A Majnooni-Heris^{1*}, Ali Ashraf Sadraddini², A H Nazemi³,
MR Neyshaburi⁴, MR Shakiba⁵

Received: 27 April 2011 Accepted: 1 March 2012

¹ PhD. Student, Dept of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran.

² Associate Prof, Dept of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran.

³ Prof, Dept of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran.

⁴ Prof, Dept of Soil Sci., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran.

⁵ Prof, Dept of Crop Sci. and Plant Breeding, Faculty of Agric., Univ. of Tabriz. Iran.

* Corresponding Author E-mail: majnooni1979@yahoo.com

Abstract

An experiment to study the effect of advection on energy balance in process of canola field evapotranspiration was designed and conducted at the Agricultural Research Station of Tabriz University in spring of 2010. For this research canola was planted in a lysimeter located in the middle of a 1.6 hectare experimental field. Evapotranspiration rate, leaf area index and plant height were determined inside the lysimeter. The advection phenomenon was investigated using the energy balance in the field surface, Priestley-Taylor coefficient (α) and the ratio of evapotranspiration obtained from advection energy to vegetation surface evapotranspiration (R_{ad}). Bowen's ratio (β), and ratio of lysimetric evapotranspiration to received net radiation in the fields ($\frac{ET}{R_n}$) on different days after planting in the canola field were also determined. Negative values of sensible heat flux confirmed the advection occurrence from 39 days after planting and values of α and $\frac{ET}{R_n}$ showed that advection affected evapotranspiration process as significantly in this region. The values of R_{ad} reached more than 60 percent in some days of the growing season. This issue clearly proved the influence of advection energy on canola field evapotranspiration. In the study region except regional advection, local advection could occur across large fields due to the existence of small farms, different timings and amounts of irrigation and fallow duration of some farms. Results showed that, when leaf area index and plant height reached to 1 and 15 cm respectively, temperature gradient between the farm and the surrounding area were increased due to increment of LAI and plant height which increased the transpiration in turn. In this stage the resulted negative values of β and H confirmed the occurrence of advection phenomenon.

Key words: Advection, Canola, Energy Balance, Evapotranspiration, Tabriz

مقدمه

در مناطق مرطوب حداکثر میزان تبخیر- تعرق با استفاده از تابش خالص رسیده به سطح پوشش گیاهی قابل تخمین است. ولی در مناطق خشک و نیمه خشک علاوه بر تابش خالص، پدیده فرارفت¹ نیز با انتقال افقی گرما از نواحی اطراف در تأمین انرژی برای تبخیر- تعرق و بعنوان عاملی مهم در کنترل آن نقش عمده ای ایفا می کند. وقتی گرمای محسوس هوا به اندازه ای زیاد باشد که جریان توده ای را در نزدیکی سطح زمین ایجاد کند فرارفت اتفاق می افتد (مک ناقتون و جارویس 1983، دیاز- اسپژو و همکاران 2005). فرارفت در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است محلی و یا منطقه ای باشد. هرگاه محدوده انتقال گرما از 20 تا 200 متر از اطراف مزرعه تغییر کند به آن فرارفت محلی و یا اثر مرزی اطلاق می شود (دیر و کراوورد 1965) و اگر این رخداد در سطح وسیعی انجام گیرد، فرارفت منطقه ای یا اثر واحه ای خوانده می شود (رزنبرگ و همکاران 1983). انتظار می رود پدیده فرارفت نقش مهمی در تبادل انرژی روی سطوح ناهمگن وسیع داشته باشد. ناهمگنی از اعمال رژیم های مختلف آبیاری، تفاوت های آب و هوایی و کاربری متفاوت اراضی ناشی می گردد. دو نوع فرارفت محلی و منطقه ای می تواند به دلیل انجام آبیاری جداگانه مزارع یک منطقه در زمان های متفاوت اتفاق بیفتد (لی و همکاران 2004). در مناطق خشک و نیمه خشک تبخیر- تعرق اراضی فاریاب به طور گسترده ای از فرارفت تأثیر می پذیرد (رزنبرگ 1969، هانکس و همکاران 1971، لانگ و همکاران 1974 و برک و همکاران 1978). رزنبرگ (1969) با استفاده از یک لایسیمتر در گریت پلینز² آمریکا، مقدار تبخیر- تعرق اندازه گیری شده از زراعت یونجه را دو برابر مقدار حاصله از تابش خورشیدی بدست آورد و نشان داد که انرژی مازاد از طریق

حرکت گرمای محسوس هوا از مناطق خشک اطراف تأمین شده است. دیاز- اسپژو و همکاران (2005) با استفاده از نصب میکرو لایسیمترهایی در کرت های مورد آزمایش به این نتیجه رسیدند که ایفای نقش فرارفت در تأمین انرژی قابل دسترس مزرعه معنی دار است. کوچن درفر و ثاپایو (2011) به اهمیت فرارفت در شرایط مرزی سطوح ناهمگون اشاره نمودند و تأثیر آن را در توازن انرژی 20 درصد گزارش کردند. در مناطق خشک و نیمه خشک روش های محاسبه تبخیر- تعرق اغلب به دلیل نادیده گرفتن فرارفت دارای حساسیت کافی نبوده و میزان تبخیر- تعرق 30 تا 40 درصد کمتر از تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر برآورد می شود. هانکس و همکاران (1971) هاوول و همکاران (1997) و مجنونی هریس و همکاران (1386)، برآورد شدن پایین میزان تبخیر- تعرق پتانسیل ذرت را با استفاده از فرمول پنمن مانیتث در مناطق خشک و نیمه خشک گزارش کرده اند. اگر فرارفت منطقه ای و یا محلی وجود داشته باشد، بدیهی است که تبخیر- تعرق از تعادل خارج شده و افزایش خواهد یافت. این تبخیر- تعرق اضافی، مستقیماً از تابش خالص بوده و به تبادل انرژی مربوط به گرمای نهان تبخیر و گرمای محسوس هوا در منطقه مرتبط می باشد (مک ناقتون 1976). تاکنون روش های مختلفی برای مطالعه پدیده فرارفت توسط پژوهشگران مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. برک و همکاران (1978) برای بررسی فرارفت از نسبت تبخیر- تعرق پوشش گیاهی (ET) به میزان تابش خالص رسیده به سطح زمین (R_n) استفاده کردند. چنانچه ET در یک دوره زمانی بزرگتر از R_n بوده و یا نسبت $\frac{ET}{R_n}$ بزرگتر از یک باشد، دلیل بر وجود فرارفت در منطقه است. برای کمی سازی پدیده فرارفت لی و یو (2007) ET را بصورت مجموع تبخیر- تعرق حاصل از توازن انرژی قابل دسترس در محل (ET_{eq}) و فرارفت (ET_{ad}) در نظر گرفتند. مک ناقتون و جارویس (1983) و اسمیت و همکاران (1997) نیز برای بررسی فرارفت

¹ Advection phenomenon² Great plains

تفاضل آنها از رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای، مقدار آب آبیاری لازم در ناحیه ریشه محاسبه و با استفاده از یک کنتور حجمی به لایسیمتر اضافه شد. مقادیر ذخیره رطوبتی خاک، نفوذ عمقی، آب آبیاری و باران بصورت هفتگی قرائت شدند.

ضرایب گیاهی (k_c) با استفاده از نسبت هفتگی تبخیر- تعرق لایسیمتری به تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) در روزهای مختلف پس از کاشت تعیین گردید. برای تخمین k_c روزانه از یک تابع درجه سه بین ضرایب گیاهی و روزهای مختلف پس از کاشت (DAP) استفاده گردید (مجنونی هریس و همکاران 2012).

مقادیر روزانه ET_0 از روش فائو پنمن مانیتیت (آلن و همکاران 1998) محاسبه شد و با استفاده از رابطه ضریب گیاهی، مقادیر ضریب گیاهی و در نهایت مقادیر روزانه تبخیر- تعرق گیاه کلزا تعیین شدند.

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعات آفتابی، تابش خورشیدی و بارش از طریق ایستگاه هواشناسی خلعت پوشان واقع در داخل دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه شد. برای اندازه‌گیری سطح برگ سبز در روزهای پس از کاشت از دستگاه سطح برگ سنج قابل حمل² استفاده شد. شاخص سطح برگ (LAI)، از تقسیم سطح برگ‌های بوته به سطح خاک اختصاص یافته به بوته گیاه، بدست آمد. ارتفاع گیاه با استفاده نوار متر معمولی بصورت هفتگی اندازه‌گیری شد.

پدیده فرارفت در مزرعه کلزا با استفاده از روش‌های توازن انرژی در سطح مزرعه، تعیین ضریب پریستلی- تیلور (a)، نسبت مقدار تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت (ET_{ad}) و تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (ET)، نسبت باون (β)، نسبت تبخیر- تعرق پوشش گیاهی (لایسیمتری) به تابش خالص رسیده به سطح مزرعه ($\frac{ET}{R_n}$) در روزهای مختلف پس از کاشت،

از چنین مفهومی استفاده کردند. وقتی ET به دلیل ورود هوای گرم و خشک به مزرعه بزرگتر از ET_{eq} باشد، گرمای محسوس هوا به گرمای نهان تبخیر تبدیل شده و تبخیر- تعرق بیش از مقدار انرژی قابل دسترس در مزرعه افزایش می‌یابد. تعدادی از پژوهش‌گران از ضریب پریستلی و تیلور (1972) برای مطالعه فرارفت استفاده کرده‌اند (جری و تانر 1975، فلینت و چاپدز 1991، پیرا و نوا 1992، استانارد 1993، لی و یو 2007، لی و یانگ 2010). در برخی مطالعات دیگر (لی و یو 2007، سویکر و ورما 2008 و 2009، لی و یانگ 2010) نسبت باون برای بررسی وجود فرارفت در مناطق خشک و نیمه خشک در کنار سایر روش‌ها بکار رفته است.

هدف از انجام این تحقیق الف) بررسی وجود پدیده فرارفت در منطقه تبریز با استفاده از روش‌های مختلف و ب) بررسی تأثیر فرارفت بر توازن انرژی و فرآیند تبخیر- تعرق مزرعه کلزا در این منطقه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در اراضی ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در کرکج انجام شد. عرض، طول جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریای آزاد ایستگاه به ترتیب برابر $38^{\circ} 03'$ شمالی، $46^{\circ} 37'$ شرقی و $1567/3$ متر می‌باشد. برای بررسی پدیده فرارفت در منطقه، بذور کلزای بهاره (*Brassica napus* L.) رقم RGS003 از مؤسسه نهال و بذر کرکج تهیه و در مزرعه‌ای به مساحت $1/6$ هکتار و در داخل لایسیمتری به سطح 7 مترمربع و عمق 2 متر واقع در وسط مزرعه کاشته شد. دوره مطالعه از اول اردیبهشت ماه تا اوایل مرداد ماه سال 1389 بود. رطوبت خاک در هر هفته قبل از آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت سنج $PR2^1$ به‌طور همزمان در اعماق مختلف قرائت شد. با استفاده از مقادیر رطوبت‌های اندازه‌گیری شده و

² Portable leaf area meter, ADC, AM300

¹ Delta-T, Profile probe

گیاهی ارائه شده است. ضریب پریستلی - تیلور با نسبت باون و دما، دارای رابطه زیر می‌باشد:

$$a = \frac{\Delta + \gamma}{\Delta(1 + \beta)} \quad [5]$$

در رابطه فوق β نسبت باون بوده و بصورت نسبت گرمای محسوس به گرمای نهان تبخیر تعریف می‌شود.

در پژوهش حاضر مقادیر گرمای محسوس هوا از طریق رابطه بیلان انرژی محاسبه شد. مؤلفه‌های معادله بیلان انرژی با لحاظ نمودن قدر مطلق مقادیر بدون اختصاص علائم مثبت و منفی برای مقادیر انرژی ورودی و خروجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. قابل ذکر است که برای محاسبه متغیرهایی مانند Δ ، γ و R_n از روابط پیشنهادی نشریه فائو 56 (آلن و همکاران 1998) استفاده شده است.

نتایج و بحث توازن انرژی

تغییرات تابش خورشیدی (R_s) و متوسط دمای هوا (T_{mean}) در طول آزمایش در شکل 1 نشان داده شده است. همان‌طوری که شکل فوق نشان می‌دهد، به دلیل ابری بودن آسمان در برخی روزهای اوایل دوره آزمایش منحنی R_s دارای نوسان‌های زیادی می‌باشد. بررسی داده‌های ساعات آفتابی واقعی نشان داد که در طول دوره مطالعه، منطقه از 1007/5 ساعت آفتابی برخوردار بوده است. حداکثر ساعات آفتابی ممکن نظیر 1448/9 ساعت بوده است. با توجه به تعداد ساعات آفتابی ثبت شده در منطقه، در 70 درصد از طول دوره تحقیق، آسمان صاف بود. این درحالی است که اوایل این دوره در اردیبهشت ماه مقدار بارندگی حدود 120 میلی‌متر بوده است. مجموع تابش طول موج کوتاه رسیده به سطح زمین در این دوره 2662/63 مگاژول بر مترمربع اندازه‌گیری شد.

بررسی شد. در این مطالعه مقادیر تبخیر- تعرق حاصل از توازن انرژی قابل دسترس در محل (ET_{eq}) از معادله زیر محاسبه گردید (مک ناقتون 1976، راپاچ 1991، پیرا 2004، لی و یو 2007):

$$ET_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad [1]$$

در رابطه فوق Δ و γ به ترتیب شیب منحنی فشار بخار نسبت به دما و ثابت سایکرومتری ($kPa^\circ C^{-1}$) و R_n به ترتیب میزان تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین و میزان جریان گرمایی خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند.

تبخیر- تعرق ناشی از فرارفت (ET_{ad}) از اختلاف تبخیر- تعرق لایسمتری و تبخیر- تعرق حاصل از توازن انرژی قابل دسترس در محل تعیین شد:

$$ET_{ad} = ET - ET_{eq} \quad [2]$$

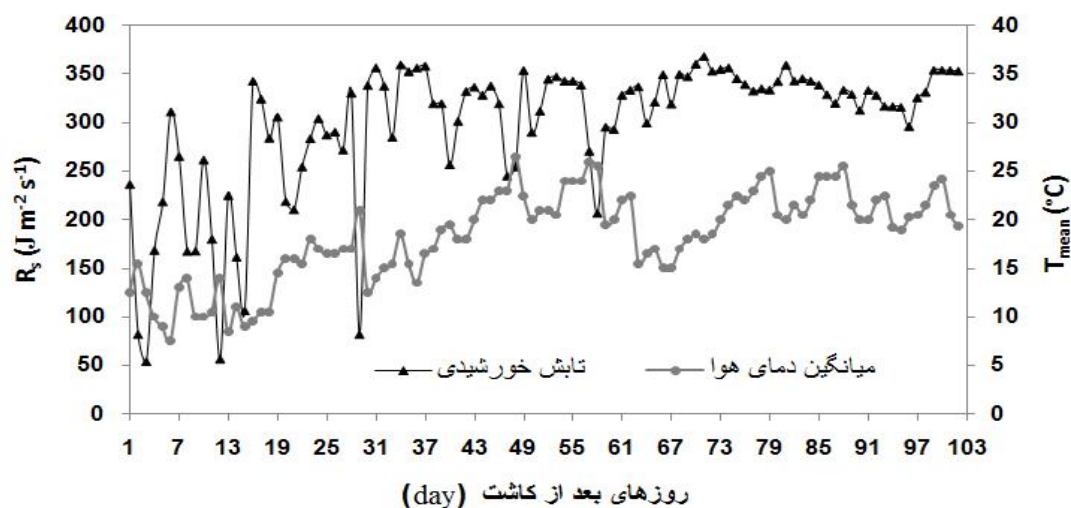
معادله 2 برای توصیف تبادل انرژی بین جریان گرمایی و گرمای نهان تبخیر در سطوح پوشش گیاهی به کار می‌رود (مک ناقتون و جارویس 1983 و اسمیت و همکاران 1997). ET_{ad} وقتی مثبت است که ET به دلیل وجود فرارفت بزرگتر از ET_{eq} باشد. در ادامه برای توصیف درصد تأثیر فرارفت بر وقوع تبخیر- تعرق، از رابطه اسمیت و همکاران (1997) نیز استفاده گردید:

$$R_{ad} = \frac{ET_{ad}}{ET} \times 100 \quad [3]$$

در بخش دیگری از این تحقیق، ضریب پریستلی - تیلور (1972) برای بررسی فرارفت بصورت زیر بکار گرفته شد:

$$a = \frac{ET}{ET_{eq}} \quad [4]$$

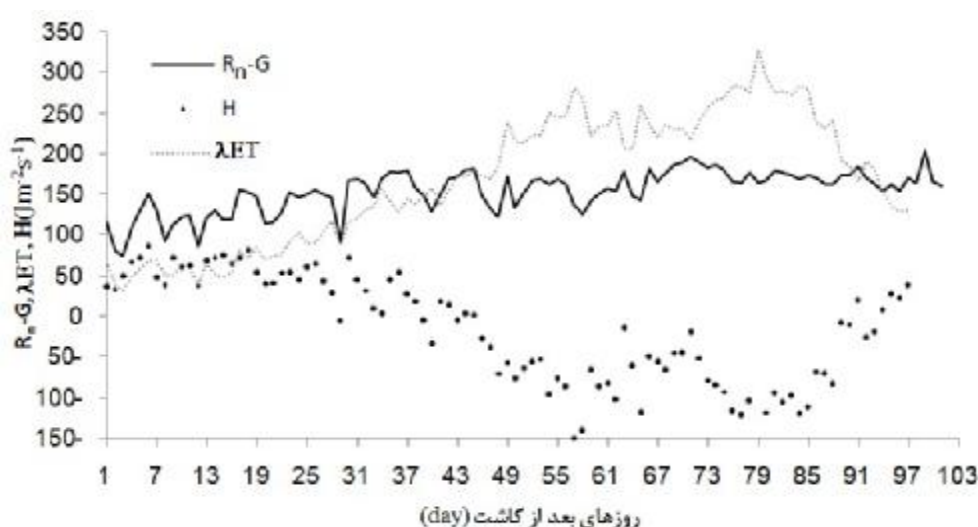
در رابطه فوق a ضریب پریستلی - تیلور می‌باشد. روش پریستلی - تیلور بر اساس فرض ناچیز بودن اثرات مقاومت آئرودینامیک و مقاومت پوشش



شکل 1- تغییرات تابش خورشیدی (R_s) و متوسط دمای هوا (T_{mean}) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا

ایجاد نشده ولی با پیشرفت رشد گیاه و کامل شدن پوشش سطح زمین و به تبع آن افزایش شیب دما در سطح مزرعه و مزارع اطراف پدیده فرارفت نیز ایجاد می‌گردد. حداقل مقدار جریان گرمای محسوس برابر 150- در دو ماه بعد از کاشت و حداکثر آن 97 ژول بر مترمربع بر ثانیه در اوایل فصل رشد بدست آمد. لی و یو (2007) گرمای محسوس هوا را در مزرعه گندم در محدوده 120 تا 100- بدست آوردند. لی و یانگ (2010) حداقل مقدار گرمای محسوس را 57/87- و حداکثر آنرا 92/6 ژول بر مترمربع بر ثانیه برای مزرعه گندم تعیین کردند. کوچن درفر و ناپاپو (2011) در مزرعه سورگوم وجود مقادیر منفی گرمای محسوس را ناشی از فرارفت گرمایی گزارش کردند.

در شکل 2 تغییرات اجزای معادله توازن انرژی شامل اختلاف تابش خالص با جریان گرمایی خاک ($R_n - G$)، گرمای نهان تبخیر (λET) و گرمای محسوس هوا (H) در دوره آزمایش نشان داده شده است. برای تعیین λET از داده‌های تبخیر- تعرق لایسمتری استفاده شد. فرارفت زمانی اتفاق می‌افتد که جریان گرمایی محسوس در منطقه منفی باشد (مک ناقتون و جارویس 1983). در شکل 2 مقادیر منفی جریان گرمای محسوس هوا، وجود فرارفت در منطقه را تأیید می‌کند. با توجه به این شکل، فرارفت در منطقه مورد مطالعه از اوایل خرداد ماه شروع شده است. در اوایل دوره مورد مطالعه (اوایل اردیبهشت) به دلیل عدم پوشش کامل سطح زمین گرادیان گرمایی محسوسی

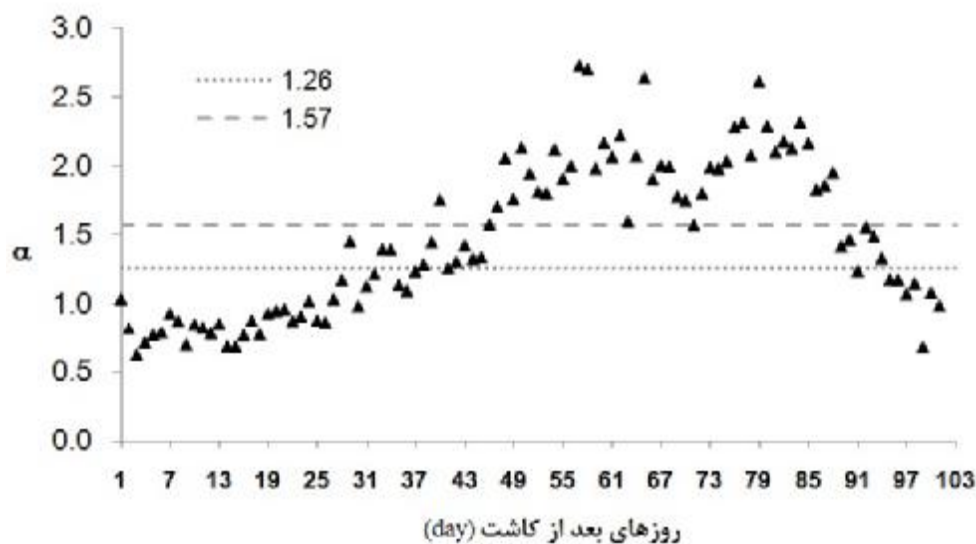


شکل 2- تغییرات اختلاف تابش خالص با جریان گرمایی خاک ($R_n - G$)، گرمای نهان تبخیر (λET) و جریان گرمای محسوس هوا (H) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا

پریستلی- تیلور ($\alpha=1/26$) حرکت دمای بالا به طرف مزرعه پس از سپری شدن ماه اول دوره رشد گیاه آغاز شده است. در پایان فصل رشد احتمالاً به دلیل تکمیل دوره رشد و رسیدگی گیاه، قطع آبیاری و در نتیجه روند نزولی شدت تبخیر- تعرق دوباره از شیب دما بین مزرعه و اطراف آن کاسته شده و ضریب پریستلی- تیلور نیز به پایین‌تر از $1/26$ افت کرده است. محدوده ضریب پریستلی- تیلور برای منطقه مورد مطالعه $2/73 - 0/62$ تعیین شد. نتایج حاصل از این تحقیق با مقادیر گزارش شده توسط لی و یو (2007) تقریباً همخوانی دارد. لی و یو (2007) محدوده این ضریب را برای مناطق شمالی چین $3/9 - 0/6$ تخمین زده‌اند. لی و یانگ (2010) ضریب تیلور را در تعدادی از روزهای فصل رشد گندم بالای $1/26$ گزارش نمودند. فلینت و چاپدز (1991) مقدار a را در محدوده $0/7 - 1/6$ تعیین کرده‌اند.

ضریب پریستلی- تیلور و فرارفت

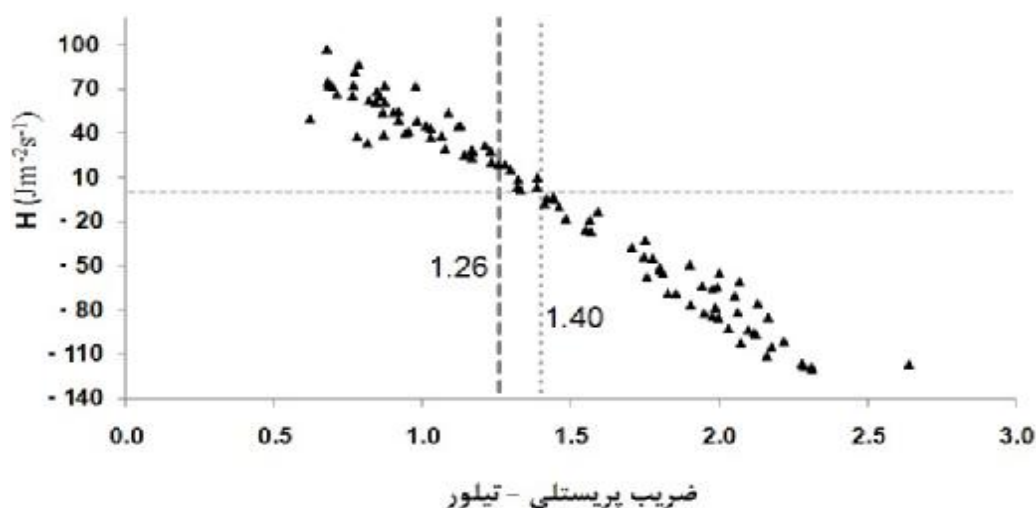
ضریب پریستلی- تیلور برای منطقه مورد مطالعه در طول دوره آزمایش و اسنجی گردید. مقدار استاندارد ضریب پریستلی- تیلور برای سطوح مرطوب $1/26$ گزارش شده است (پریستلی و تیلور 1972 و استاندارد 1993). پیرا و نوا (1992) نشان دادند که مقدار $1/26$ مناسب برای ضریب a در شرایط پتانسیل وقوع تبخیر- تعرق می‌باشد، ولی این مقدار در شرایط وجود فرارفت معتبر نمی‌باشد. جری و تانر (1975) گزارش کردند a بیشتر از $1/57$ نشان دهنده فرارفت شدید در منطقه است. روند تغییرات این ضریب در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا در شکل 3 ارائه شده است. با توجه به خطوط افقی مربوط به مقادیر ضریب پریستلی- تیلور (معادل $1/57$ و $1/26$) می‌توان استنباط کرد که در این منطقه از روز 29 ام تا روز 92 ام پس از کاشت فرارفت بر میزان تبخیر- تعرق مزرعه مؤثر بوده است. با توجه به خط نرمال ضریب



شکل 3- تغییرات ضریب پریستلی - تیلور (α) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا.

نتایج گزارش شده توسط دیاز- اسپژو و همکاران (2005) همخوانی کامل دارد. آنها ضریب 1/4 را مقدار آستانه وقوع فرارفت در کرت‌های آزمایشی کوچک گزارش کرده‌اند.

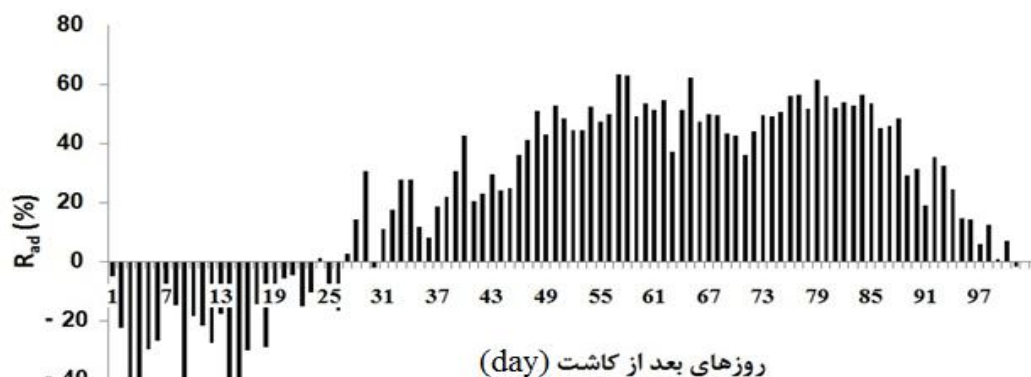
در شکل 4 تغییرات جریان گرمایی محسوس به تبع از ضریب پریستلی- تیلور ارائه شده است. همان-طوری که در این شکل مشاهده می‌شود جریان گرمای محسوس هوا در ضرایب کمتر از 1/4، مثبت و برای مقادیر بیشتر آن منفی برآورد شده است. این یافته با



شکل 4- رابطه بین جریان گرمایی محسوس (H) و ضریب پریستلی- تیلور (α) در طول دوره رشد کلزا

روشنی تأثیر انرژی حاصل از فرارفت را بر فرایند تبخیر- تعرق کلزا نشان می‌دهد. لی و یو (2007) مقدار R_{ad} ساعتی را تا 300 درصد و R_{ad} روزانه را تا 50 درصد برای مزرعه گندم در منطقه شمالی چین گزارش کرده‌اند.

تغییرات نسبت فرارفت به میزان تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) در طول دوره مطالعه در شکل 5 ارائه شده است. مقادیر مثبت R_{ad} نشان‌دهنده بیشتر بودن مقادیر ET نسبت به مقادیر ET_{eq} بوده و دلالت بر وقوع فرارفت در منطقه دارد. شکل 5 نشان می‌دهد که مقادیر R_{ad} در بعضی از روزهای فصل رشد گیاه به بالاتر از 60 درصد نیز رسیده است. این مسئله به



شکل 5- مقادیر روزانه نسبت تبخیر تعرق حاصله از فرارفت به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا

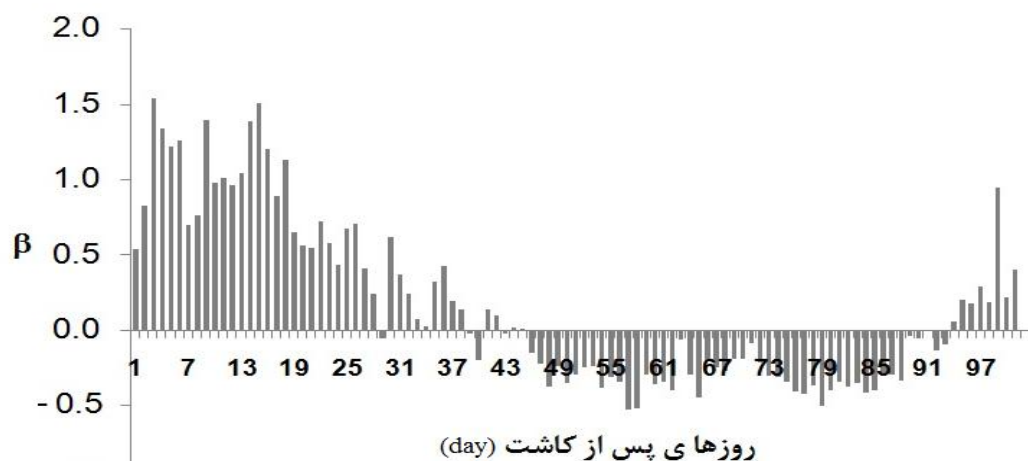
محسوس و فرارفت به سمت مزرعه مورد آزمایش را تأیید می‌کند. در اوایل فصل رشد کلزا که هنوز گیاه رشد کافی در مزرعه نداشته و شیب دمایی بین پوشش سبز و اراضی اطراف ایجاد نگردیده است، این نسبت مثبت می‌باشد. بررسی شکل 6 نشان می‌دهد که در روزهای 29 و 40 ام پس از کاشت و بطور جامع از روز 46 تا 93 ام مقادیر ضرایب β منفی شده است. مقدار نسبت باون در 57 روز پس از کاشت به حداقل مقدار خود (-0/53) کاهش یافته است. حداکثر مقدار آن 1/52 در اوایل فصل رشد بدست آمد. در اواخر فصل رشد نیز به دلیل کم شدن اثر فرارفت مقادیر آن دوباره مثبت شده و به 0/94 نیز رسیده است. سویکر و ورما

نسبت باون و فرارفت

نسبت باون در مناطق مرطوب کم و در محدوده 0-0/1 می‌باشد. اما در مناطق خشک مقدار آن ممکن است به 10 نیز افزایش یابد. در صورتی که حرکت افقی گرما به سمت پوشش گیاهی وجود داشته باشد مقادیر β منفی خواهد بود و در مناطقی که دارای فرارفت هستند مقدار آن به -0/3 نیز کاهش می‌یابد (علیزاده 1386). نسبت باون در روزهای مختلف بعد از کاشت با استفاده از نسبت جریان گرمایی محسوس به گرمای نهان تبخیر، برای مزرعه کلزا محاسبه و در شکل 6 نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، منفی بودن این نسبت نیز وجود جریان گرمای

در مرکز تحقیقات کشاورزی نبرسکا برابر 1/8 بدست آوردند.

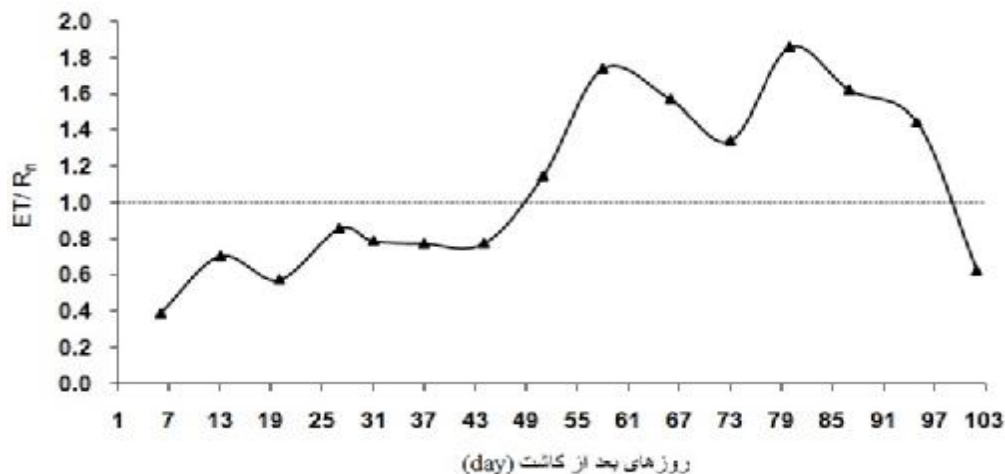
(2008) مقدار نسبت باون را برای مزارع سویا و ذرت در محدوده 0/3- تا 0/3 تعیین کردند. سویکر و ورما (2009) مقدار نسبت باون را در اواخر دوره رشد ذرت



شکل 6- مقادیر نسبت باون (β) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا.

چهار ماه گرم سال در قسمت عمده کشور تأیید نموده و نسبت تبخیر- تعرق حاصل از تشت تبخیر به تابش خالص را برای برخی نقاط ایران برابر 3 گزارش کردند. در مناطق خشک و نیمه خشک ممکن است توازن انرژی در مزارع پوشیده از گیاه بهم بخورد و مقداری انرژی اضافی از طریق جریان گرما از اطراف به طرف سطوح پوشش گیاهی جریان یابد. در این مناطق بر خلاف مناطق مرطوب، همه جا پوشیده از گیاه نیست و این مسئله باعث بوجود آمدن شیب دمایی بین محدوده پوشش گیاهی و اطراف آن می‌گردد. تبخیر- تعرق در خنک شدن سطوح گیاهی و در نهایت وقوع پدیده فرارفت ایفای نقش می‌کند. در ابتدای فصل رشد پدیده فرارفت ضعیف است، با پیشرفت فصل رشد و تکمیل سطح پوشش گیاهی همراه با افزایش سطوح تعرق کننده پدیده فرارفت آغاز شده و به تدریج تشدید می‌شود. شاخص سطح برگ (LAI) نمایانگر سطح تعرق می‌باشد.

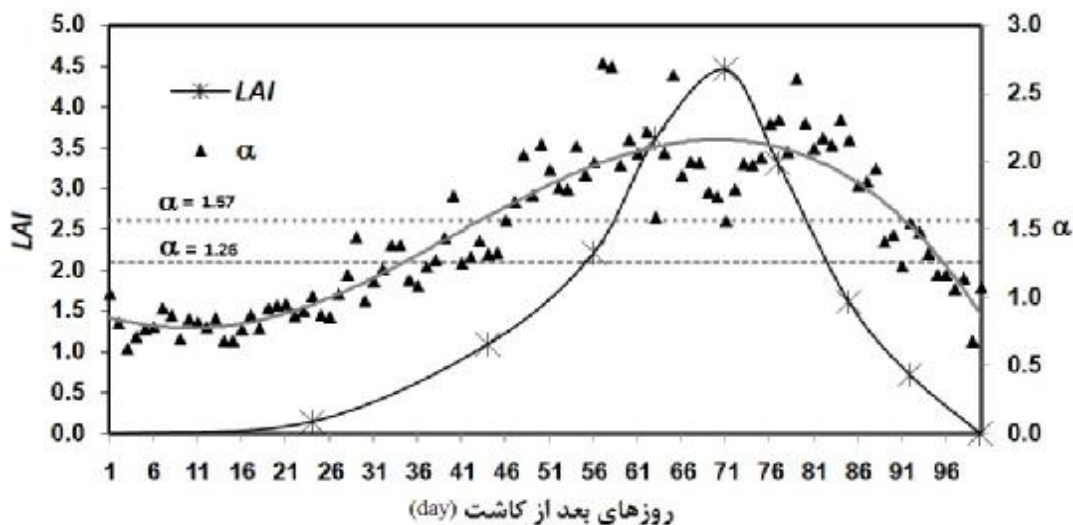
نسبت تبخیر- تعرق به تابش خالص و فرارفت تغییرات نسبت $\frac{ET}{R_n}$ در طول فصل رشد گیاه در شکل 7 نشان داده شده است. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود در برخی روزهای فصل رشد، مقادیر $\frac{ET}{R_n}$ به بالاتر از یک رسیده است. این امر به معنی وجود فرارفت در منطقه است. در روزهای 58 و 80 ام پس از کاشت مقدار $\frac{ET}{R_n}$ به ترتیب به 1/75 و 1/86 افزایش یافته است. با توجه به شکل فوق از روز 50 ام به بعد نسبت $\frac{ET}{R_n}$ به بزرگتر از یک رسیده است، علت این امر انتقال افقی گرمای هوا از مجاور و افزایش سطح پوشش گیاهی در مزرعه بوده است. نتایج حاصل از این بخش با تحقیقات سایر پژوهشگران مطابقت دارد. مالک و سپاسخواه (1360) در بررسی فرارفت، مقدار نسبت $\frac{ET}{R_n}$ را در اواخر بهار و سه ماه تابستان برای منطقه باجگاه استان فارس بالای یک گزارش کردند. اسدی (1381) در منطقه کرکج تبریز، نسبت $\frac{ET}{R_n}$ را در ماه‌های تابستان در مزرعه ذرت بیشتر از یک تعیین نمود. در این تحقیق این نسبت در برخی روزها حتی بالای 2 هم گزارش شده است. هاشمی و حبیبیان (1359) وجود فرارفت را در



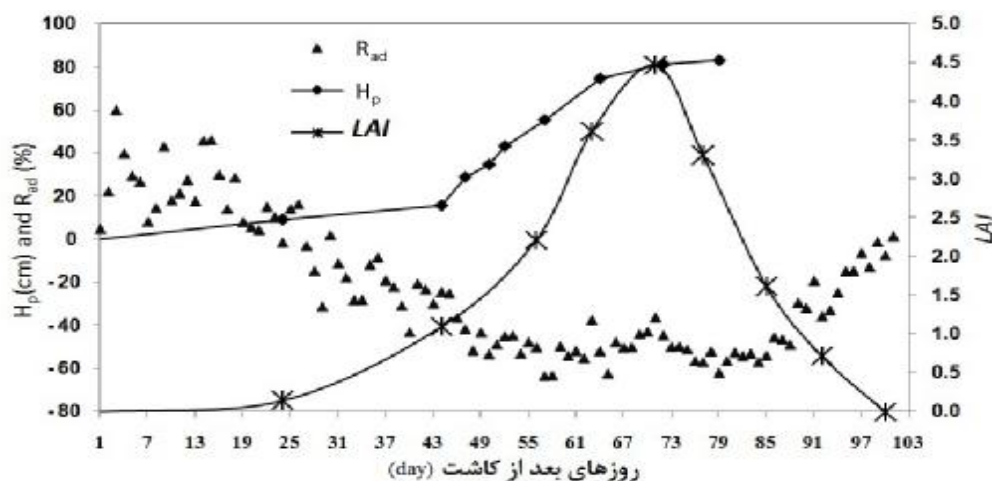
شکل 7- نسبت تبخیر- تعرق لایسمتری (ET) به تابش خالص رسیده به سطح زمین (R_n) در روزهای مختلف پس از کاشت

می‌دهد. مطابق شکل 8 بین روند شاخص سطح برگ و ضریب پریستلی- تیلور هم‌خوانی وجود دارد.

روابط شاخص سطح برگ و ارتفاع گیاه با فرارفت در شکل 8 تغییرات شاخص سطح برگ کلزا نسبت به زمان نشان داده شده است. افزایش شاخص سطح برگ مقدار ضریب پریستلی- تیلور را هم افزایش



شکل 8- تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب پریستلی- تیلور (α) در روزهای مختلف پس از کاشت کلزا



شکل 9- تغییرات ارتفاع بوته (H_p)، شاخص سطح برگ (LAI) و نسبت توزیع فرارفت به تبخیر- تعرق (R_{ad}) در روزهای مختلف پس از کاشت

بعضی از روزهای فصل رشد گیاه به بالاتر از مثبت 60 درصد رسیده و β به 0/53- کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد که جریان گرمای محسوس هوا در ضرایب a کمتر از 1/4 مثبت و در بیشتر از آن منفی برآورد می‌شود. از اوایل خرداد ماه تا اواخر تیرماه مقدار a بیشتر از 1/4 می‌باشد. نسبت $\frac{ET}{R_n}$ نیز در طول فصل رشد گاهی به بالاتر از یک می‌رسد. این موارد به روشنی تأثیر انرژی ناشی از فرارفت بر فرایند تبخیر- تعرق مزرعه کلزا را تأیید می‌کند.

بر اساس نتایج حاصل، با افزایش سطح برگ و ارتفاع گیاه، مقدار ضریب پریستلی- تیلور نیز افزایش پیدا می‌کند و بین آنها با ضریب پریستلی- تیلور همخوانی وجود دارد. وقتی شاخص سطح برگ به یک و ارتفاع گیاه به 15 سانتی‌متر افزایش می‌یابد، شدت تعرق در مزرعه زیاد شده و باعث ایجاد شیب دمایی بین مزرعه و زمین‌های مجاور گردیده و فرارفت بوقوع می‌پیوندد.

لازم به ذکر است، با توجه به اینکه بیش از 80 درصد اراضی 300 هکتاری دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز و نواحی اطراف آن لم یزرع است، وجود چنین شرایطی وقوع پدیده فرارفت منطقه‌ای را تسهیل

در شکل 9 روند تغییرات ارتفاع بوته (H_p)، شاخص سطح برگ (LAI) و نسبت فرارفت به تبخیر- تعرق از پوشش گیاهی (R_{ad}) در روزهای مختلف پس از کاشت ارائه گردیده است. افزایش ارتفاع گیاه نیز می‌تواند بعنوان معیاری برای نشان دادن رشد گیاه در مزرعه باشد. مطابق شکل 9 وقتی که شاخص سطح برگ به 1 و ارتفاع گیاه به 15 سانتی‌متر می‌رسد، افزایش تعرق در مزرعه باعث ایجاد شیب دمایی بین مزرعه و زمین‌های مجاور گردیده، مقادیر R_{ad} منفی شده و فرارفت اتفاق می‌افتد. لی و یانگ (2010) گزارش کرده‌اند که بین روند LAI با نسبت های، گرمای محسوس به تابش خالص و گرمای نهان تبخیر به تابش خالص ارتباط وجود دارد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق اثر پدیده فرارفت بر توازن انرژی در فرایند تبخیر- تعرق با استفاده از روش‌های مختلف در مزرعه کلزا مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر منفی H و β حاصل شده در منطقه نشان داد که تأثیر فرارفت بر فرایند تبخیر- تعرق کلزا تقریباً از اوایل خرداد ماه به بعد قابل توجه می‌باشد. مقادیر R_{ad} در

می‌کند. علاوه بر این، به دلیل کوچک بودن قطعات مزارع، متفاوت بودن زمان‌های آبیاری و آیش بعضی از مزارع، فرارفت محلی نیز بوقوع می‌پیوندد.

سپاسگزاری نویسندگان مقاله از حمایت های معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تبریز جهت انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- اسدی ا، 1381. اندازه‌گیری میزان تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از لایسیمتر و مقایسه با مدل‌های مختلف بر آورد تبخیر و تعرق در منطقه کرکج تبریز. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. 129 صفحه.
- علیزاده ا، 1386. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی. 450 صفحه.
- مالک ا و سپاسخواه ع ر، 1360. بررسی ادوکسیون در منطقه باجگاه. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد 12، صفحه‌های 29 تا 41.
- مجنونی هریس ا، زندپارسا ش، سپاسخواه ع ر و کامگار حقیقی ع ا، 1386. ارزیابی مدل *MSM* جهت پیش‌بینی تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای و مقایسه نتایج آن با مقادیر حاصله از روش‌های پیشنهادی فائو 56. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان. جلد 11، شماره 41. صفحه‌های 29 تا 42.
- هاشمی ف. و حبیبیان م ت، 1359. بررسی محدودیت‌های روش‌های معمولی برآورد تبخیر و تعرق در شرایط ایران و نتایج عملی آن در یک منطقه خشک کشور. سمینار آب کشور.
- Allen RG, Pereria LS, Raes D, and Smith M, 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper. No. 56. Rome.
- Brakke TW, Verma SB and Rosenberg NJ, 1978, Local and regional components of sensible heat advection. J Appl Meteorol 17: 955–963.
- Diaz-Espejo A, Verhoef A and Knight R, 2005. Illustration of micro-scale advection using grid-pattern mini-lysimeters. Agric For Meteorol 129: 39–52.
- Dyer AJ and TV Crawford. 1965, Observaion of the modification of the microclimate at a leading edge. Quart. J Roy Meteorol Soc 91: 345-348.
- Flint AL and Childs SW, 1991. Use of the Priestley–Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. Agric For Meteorol 56: 247–260.
- Hanks RJ, Allen RH and Gardner HR, 1971. Advection and evapotranspiration of wide-row sorghum in the central Great Plains. Agron J 63: 520–527.
- Howell TA, Steiner JL, Schneider AD, Evett SR, and Tolk JA, 1997. Seasonal and maximum dialy evapotranspiration of irrigated winter wheat, sorghum, and corn- southern high plain. Transactions of ASAE 40:623-634.
- Jury WA and Tanner CB, 1975. Advection modification of the Priestley and Taylor evapotranspiration formula. Agron J 67: 840–842.
- Kochendorfer J and Tha Paw U K, 2011. Field estimates of scalar advection across a canopy edge. Agri Water Manage 151: 585–594.
- Lang ARG, Evans GN and Ho PY, 1974. The influence of local advection on evapotranspiration from irrigated rice in a semiarid region. Agric Meteorol 13: 5–13.
- Lee X, Yu Q, Sun XM, Liu JD, Min QW, Liu YF and Zhang XZ, 2004. Micrometeorological flux under the influence of regional and local advection: a revisit. Agric For Meterol 122: 111–124.

- Lei H and Yang D, 2010. Interannual and seasonal variability in evapotranspiration and energy partitioning over an irrigated cropland in the North China Plain. *Agric For Meteorol* 150: 581–589.
- Li L, and Q Yu. 2007. Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain. *Agri Water Manage* 89: 116 – 122.
- Majnooni-Heris A, Sadraddini AA, Nazemi AH, Shakiba MR, eyshaburi MR and Tuzel IH, 2012. Determination of single and dual crop coefficients and ratio of transpiration to evapotranspiration for canola. *Annals of Biological Research* 3 (4):1885-1894.
- McNaughton KG, 1976. Evaporation and advection. II. Evaporation downwind of a boundary separating regions having different surface resistances and available energies. *Quart J Roy Meteorol Soc* 102: 193–202.
- McNaughton KG and Jarvis PG, 1983. Predicting Effects of Vegetation Changes on Ttranspiration and Evaporation. *Eater Deficits and Plant Growth, Vol. VII. Academic Press London* pp 1–42.
- Pereira AR, 2004. The Priestley–Taylor parameter and the decoupling factor for estimating reference evapotranspiration. *Agric For Meteorol* 125: 305–313.
- Pereira AR and Nova NAV, 1992. Analysis of the Priestley–Taylor parameter. *Agric For Meteorol* 61: 1–9.
- Priestley CHB and Taylor RJ, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Month. Weather Rev* 100: 81–92.
- Raupach MR, 1991. Vegetation-atmosphere interaction in homogeneous and heterogeneous terrain: some implications of mixed-layer dynamics. *Vegetatio* 91: 105–120.
- Rosenberg NJ, Blad BL and Verma SB, 1983. *Microclimate. The Biological Environment* (2nd edition). J Wiley New York.
- Rosenberg NJ, 1969. Advection of energy utilized in evapotranspiration by alfalfa in the east-central Great Plains. *Agric Meteorol* 6:179–184.
- Stannard DI, 1993. Comparison of Penman–Monteith, Shuttleworth–Wallace, and modified Priestley–Taylor evapotranspiration models for wildland vegetation in semiarid rangeland. *Water Resour Res* 29:1379–1392.
- Smith DM, Jarvis PG and Odongo JCW, 1997. Energy budgets of windbreak canopies in the Sahel. *Agric For Meteorol* 86: 33–49.
- Suyker AE and Verma SB, 2008. Interannual water vapor and energy exchange in an irrigated maize-based agroecosystem. *Agric For Meteorol* 148: 417–427.
- Suyker AE and Verma SB, 2009. Evapotranspiration of irrigated and rainfed maize–soybean cropping systems. *Agric For Meteorol* 149: 443–452.