

بررسی وقوع فرارفت در طول فصل رشد گیاهان زراعی بهاره و پاییزه در منطقه کرکج تبریز

ابوالفضل مجنونی هریس^{۱*}، علی اشرف صدرالدینی^۲، امیرحسین ناظمی^۳، رضا دلیر حسن‌نیا^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۲۴

۱- دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲ و ۳- استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: majnooni1979@yahoo.com

چکیده

به دلیل وجود فرارفت گرمایی، توازن انرژی در مزارع پوشیده از گیاه به هم ریخته و مقداری انرژی اضافی از طریق جریان گرما از اراضی بدون پوشش گیاهی به طرف سطوح پوشیده گیاهی جریان می‌یابد و باعث افزایش تبخیر- تعرق می‌گردد. مطالعه حاضر برای بررسی وقوع پدیده فرارفت گرمایی در مزرعه ذرت به عنوان یک گیاه کشت بهاره و گندم زمستانه به عنوان کشت پاییزه در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است. گیاهان زراعی فوق در داخل لایسیمتر مستقر در وسط مزرعه ۱/۶ هکتاری کشت گردید و تبخیر- تعرق آنها در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. برای بررسی وقوع فرارفت گرمایی از روش‌هایی نظیر بیلان انرژی در سطح مزرعه، تعیین ضریب پریستلی- تیلور، نسبت مقدار تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) و نسبت باون در روزهای مختلف پس از کاشت استفاده شد. نتایج اندازه‌گیری دمای هوا نشان داد که بین مزرعه لایسیمتر و نواحی اطراف گرادیان دمای محسوس برقرار است. مقادیر منفی جریان گرمای محسوس، نسبت باون و R_{ad} در برخی از روزهای فصل رشد گیاهان مورد بررسی نشان داد که انرژی اضافی حاصل از فرارفت بر تبخیر- تعرق گیاهان مؤثر بوده است. نتایج نشان داد که تأثیر فرارفت بر تبخیر- تعرق گیاه ذرت بیشتر از گندم می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه به جز فرارفت منطقه‌ای، به دلیل کوچک بودن قطعات زیرکشت، متفاوت بودن زمان‌های آبیاری مزارع مجاور و آیش بعضی از قطعات، فرارفت محلی نیز می‌تواند به وقوع بپیوندد.

واژه‌های کلیدی: بیلان انرژی، تبخیر- تعرق، تبریز، فرارفت، ذرت، گندم

Investigation of Advection Occurrence in the Spring and Fall Crops Growing Season in Karkaj region, Tabriz

A Majnooni Heris^{1*}, AA Sadraddini², AH Nazemi³, R Delir Hassannia⁴

Received: 30 December 2015 Accepted: 14 March 2017

1- Assoc. Prof, Dept. of Water Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

2,3,4- Prof, Dept. of Water Engineering, Univ. of Tabriz, Iran

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

Abstract

Due to advection phenomenon, energy balance in vegetation covered fields' changes and some additional energy is transferred from the barren lands to vegetation covered sites by air sensible heat flux. This phenomenon increases the evapotranspiration. The present study was conducted to investigate the advection occurrence in the field of maize as a spring crop, and winter wheat as a fall crop at the Agriculture Faculty Research Station of Tabriz University. Mentioned crops for were planted in a 1.6 hectares' farm, equipped with a lysimeter at its middle, for two years. These crops' evapotranspiration was measured by the lysimeter during the growing season of each plant. The advection phenomenon occurrence was investigated using the methods of energy balance in the field surface, Priestly-Taylor coefficient, the ratio of evapotranspiration obtained from advection energy to vegetation surface evapotranspiration (Rad) and Bowen's ratio (β) on different days after planting of each crop. Observation data of the temperature showed that there was a sensible heat gradient between the lysimeter and surrounding areas. Negative values of the sensible heat flux, Rad and Bowen ratio on some days of plants growing season showed that the advection extra energy had affected the crops evapotranspiration values. Results showed that the advection effect on maize evapotranspiration was more than that on wheat evapotranspiration. In the study region except of regional advection, local advection could be occurred due to small size of cropped fields, different irrigation schedule and depth of adjacent farms, and fallow duration of some farms.

Keywords: Advection, Energy Balance, Evapotranspiration, Maize, Tabriz, Wheat

مقدمه

تبخیر- تعرق واقعی یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در مطالعات هیدرولوژیکی است، چراکه سهم عمده- ای در بیلان آب داشته و حدود ۶۴ درصد از بارش تنها از طریق تبخیر- تعرق به اتمسفر برمی‌گردد (سامنر و ژاکوبز ۲۰۰۵). نیاز به تخمین تبخیر- تعرق، باعث شده است که پژوهش‌گران زیادی روش‌های متعددی را جهت محاسبه آن ارائه دهند، اما کاربرد این روش‌ها به دقت برآورد آن‌ها در شرایط اقلیمی مناطق مورد استفاده بستگی دارد. در بین مدل‌های ارائه شده، روش‌های

ترکیبی تخمین بهتری در شرایط مختلف دارند، زیرا این مدل‌ها میزان تبخیر- تعرق را با در نظر گرفتن بسیاری از عوامل مؤثر بر تبخیر- تعرق محاسبه می‌کنند، ولی در آنها هم تأثیر انتقال افقی گرما از اراضی اطراف و افزایش تبخیر- تعرق منظور نشده است. در یک منطقه مرطوب با پوشش گیاهی متراکم در شرایط ایده‌آل حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد تشعشع خالص رسیده به سطح زمین صرف تبخیر- تعرق می‌شود. اما در مناطق خشک این مسئله تفاوت بوده و مقدار تبخیر- تعرق از تشعشع خالص

بیشتر می‌شود و این ناشی از فرارفت گرمایی^۱ می‌باشد (رزنبرگ و همکاران ۱۹۸۳).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک علاوه بر عوامل مختلف اقلیمی، پدیده فرارفت با انتقال افقی گرما از نواحی اطراف در تأمین انرژی تبخیر- تعرق نقش مهمی داشته و عاملی مؤثر در کنترل آن محسوب می‌شود و به‌طور خاص تأثیر زیادی روی افزایش تبخیر- تعرق اراضی با کشت آبی دارد (لانگ و همکاران ۱۹۷۴، برک و همکاران ۱۹۷۸). در مناطق دارای سطوح ناهمگن انتظار می‌رود فرارفت گرمایی نقش معنی‌داری در بیلان انرژی داشته باشد (دیز- اسپژو و همکاران ۲۰۰۵). وقتی گرمای محسوس هوا به اندازه‌ای زیاد باشد که جریان توده‌ای را در نزدیکی سطح زمین ایجاد کند فرارفت اتفاق می‌افتد (مک ناقتون و جارویس ۱۹۸۳). لی و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر فرارفت گرمایی را روی افزایش تبخیر آب و تغییر در تخصیص بیلان انرژی نشان دادند. دلیل وقوع پدیده فرارفت گرمایی اگر ناشی از ناهمگنی مزارع اطراف باشد، به آن فرارفت محلی گفته می‌شود (آنتونی و همکاران ۲۰۰۰). گاهی شرایط منطقه طوری است که توده هوای گرم از نواحی دورتر بر روی اراضی کشت شده هجوم می‌آورد، که به آن فرارفت منطقه‌ای گفته می‌شود. در برخی منابع به فرارفت منطقه‌ای اصطلاح "اثر واحه‌ای" اطلاق می‌شود (علیزاده ۲۰۰۷، رزنبرگ و همکاران ۱۹۸۳). ناهمگنی از اعمال رژیم‌های متفاوت آبیاری، تفاوت‌های آب و هوایی و کاربری اراضی متفاوت ناشی می‌گردد. فرارفت محلی به دلیل انجام آبیاری جداگانه مزارع یک منطقه در زمان‌های متفاوت اتفاق می‌افتد. به آیش گذاشتن برخی مزارع نیز باعث وقوع فرارفت محلی خواهد شد. رزنبرگ (۱۹۶۹) با استفاده از اندازه‌گیری‌های لایسیمتری در مناطق خشک و نیمه‌خشک آمریکا نشان داد که در اثر فرارفت گرمایی مقدار تبخیر- تعرق یونجه دو برابر تابش خورشیدی خالص رسیده به سطح زمین می‌باشد. ایشان به این نتیجه رسید که انرژی مازاد از راه فرارفت و انتقال افقی گرمای محسوس هوا از مناطق

خشک اطراف دور و نزدیک تأمین شده است. تأثیر معنی- دار فرارفت و انتقال افقی گرمای هوا بر افزایش نیاز آبی گیاهان در مطالعات دیز- اسپژو و همکاران (۲۰۰۵) نیز گزارش شده است. صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) طی یک آزمایشی نشان دادند که پدیده فرارفت باعث افزایش نیاز آبی گیاه کلزا در منطقه تبریز شده است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق اغلب به دلیل نادیده گرفتن فرارفت دارای حساسیت کافی نبوده و میزان تبخیر- تعرق ۳۰ تا ۴۰ درصد کمتر از تبخیر- تعرق حاصل از لایسیمتر برآورد می‌شود. هاول و همکاران (۱۹۹۷)، مجنونی هریس و همکاران (۲۰۰۷) و (۲۰۱۳) و صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) برآورد پایین میزان تبخیر- تعرق را با استفاده از فرمول پنمن- مانتیث در مناطق خشک و نیمه‌خشک برای گیاهان مختلف گزارش کرده‌اند. هدف از انجام این تحقیق بررسی وقوع پدیده فرارفت گرمایی در طول فصل رشد گیاه ذرت به- عنوان یک گیاه کشت بهاره و گندم به‌عنوان یک گیاه پاییزه در منطقه تبریز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز با عرض و طول جغرافیایی به- ترتیب برابر $38^{\circ}03'$ شمالی و $46^{\circ}37'$ شرقی و ارتفاع از سطح دریای آزاد $1567/3$ متر انجام شده است. محدوده اراضی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز ۳۰۰ هکتار بوده و بیش از ۸۰ درصد آن فاقد کشت است. در اطراف مزرعه‌ای که لایسیمتر در آن قرار دارد انواع گیاهان در قطعات کوچک و بزرگ کشت شده‌اند و بعضی جاهای بدون کشت مشاهده می‌شوند. اراضی فوق دارای پستی و بلندی بوده و متوسط درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک منطقه به‌ترتیب برابر $63/6$ ، $24/2$ و $12/2$ اندازه- گیری شد که جزء خاک‌های لومی‌شنی محسوب می‌شود. در این آزمایش متوسط چگالی ظاهری با استفاده از سیلندرهای نمونه برداری برابر $1/58$ گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری گردید. همچنین مقدار رطوبت نقطه

¹ - Advection phenomenon

درصد اندازه‌گیری شدند. همه مقادیر فیزیکی فوق حاصل از میانگین‌گیری از سه مورد اندازه‌گیری از نقاط مختلف مزرعه اطراف لایسیمتر است.

مبانی نظری

لی و یو (۲۰۰۷) نشان دادند که تبخیر- تعرق پوشش گیاهی (ET) از مجموع تبخیر- تعرق حاصل از بیلان انرژی قابل دسترس (ET_{eq}) و انرژی ناشی از فرارفت (ET_{ad}) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ET = ET_{eq} + ET_{ad} \quad [1]$$

تبخیر- تعرق حاصل از انرژی قابل دسترس برای یک منطقه از رابطه زیر محاسبه می‌شود (رایچ ۱۹۹۱، پیرا ۲۰۰۴، لی و یو ۲۰۰۷):

$$ET_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \quad [2]$$

که در آن Δ و γ به ترتیب شیب منحنی فشار بخار نسبت به دما و ثابت سایکرومتری ($kPa^\circ C^{-1}$)، R_n و G به ترتیب میزان تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین و میزان جریان گرمایی خاک ($MJm^{-2}d^{-1}$) می‌باشند. اگر پدیده فرارفت محسوس باشد، تبخیر- تعرق افزایش خواهد یافت. مک ناقتون (۱۹۷۶) این تبخیر- تعرق مازاد را جدای از تابش خالص رسیده به سطح زمین دانسته و به تبادل انرژی مربوط به گرمای نهان تبخیر و گرمای محسوس هوا در منطقه ارتباط داده است. 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 بیشتر از مقدار انرژی قابل دسترس در مزرعه افزایش می‌یابد (لی و یو ۲۰۰۷). رابطه ۱ برای توصیف تبادل انرژی بین جریان گرمایی هوا و گرمای نهان تبخیر در سطوح پوشش گیاهی به کار می‌رود (مک ناقتون و جارویس ۱۹۸۳، اسمیت و همکاران ۱۹۹۷، لی و یو ۲۰۰۷). در رابطه فوق ET_{ad} وقتی مثبت است که تبخیر- تعرق واقعی به دلیل وجود فرارفت گرمایی بیشتر از ET_{eq} باشد.

اسمیت و همکاران (۱۹۹۷) برای توصیف درصد تأثیر فرارفت بر تبخیر- تعرق رابطه زیر را پیشنهاد دادند:

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

پژمردگی دائم با استفاده از دستگاه سلول فشاری برابر ۱۲ درصد حجمی تعیین شد. متوسط رطوبت ظرفیت مزرعه‌ای برابر ۲۹ درصد و رطوبت اشباع برابر ۴۱ برای بررسی پدیده فرارفت گرمایی در این منطقه، از داده‌های تبخیر- تعرق حاصل از کاشت گیاه گندم پاییزه (ابراهیمی پاک ۱۹۹۳) و ذرت دانه‌ای در مزرعه‌ای به مساحت ۱/۶ هکتار و در داخل لایسیمتری به مساحت ۷ مترمربع و عمق ۲ متر استفاده شده است. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز شامل کمینه و بیشینه دمای هوا و 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. وقوع پدیده فرارفت در مزرعه گیاهان مورد مطالعه با استفاده از روش‌های بیلان انرژی، تعیین ضریب پریستلی- تیلور (a)، نسبت مقدار تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad})، نسبت باون (β) در روزهای مختلف پس از کاشت بررسی گردید. برای محاسبه متغیرهایی مانند Δ ، γ ، R_n ، G از روابط پیشنهادی نشریه فائو ۵۶ (آلن و همکاران ۱۹۹۸) استفاده شد. برای نشان دادن وضعیت تغییر دمای هوای اراضی اطراف اراضی تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، دمای هوا با استفاده از یک سنسور دما (EXTECH RHT20) در فواصل مختلف به طرف شرق و غرب مزرعه ذرت (محل لایسیمتر) در وسط یک روز گرم و آفتابی تابستان (۹۴/۴/۳۱) اندازه‌گیری گردید. برای اندازه‌گیری دما با استفاده از سنسور فوق با استفاده از خودرو مسیر مورد نظر در حد امکان در سریع‌ترین زمان پیموده شد و در هر کدام از نقاط مورد نظر یکی دو دقیقه توقف صورت می‌گرفت تا دماسنج قرائت را انجام دهد. علت انتخاب جهت شرق و غرب، ناهمگونی شدید زمین در این جهات و جهت غربی- شرقی باد غالب منطقه در تابستان بوده است.

که در آن R_{ad} نسبت مقدار تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت گرمایی به تبخیر- تعرق حاصل از سطوح پوشش گیاهی می‌باشد. پریستلی- تیلور (۱۹۷۲) نیز برای محاسبه تبخیر- تعرق رابطه زیر را پیشنهاد داده است:

$$ET = \frac{aET_{eq}}{a} \quad [۴]$$

که در آن a ضریب پریستلی- تیلور می‌باشد. روش پریستلی- تیلور بر اساس فرض ناچیز بودن اثرات مقاومت آئرو دینامیک و مقاومت پوشش گیاهی ارائه شده است. هاول و همکاران (۱۹۹۷) فرمول پریستلی- تیلور را برای مناطق مرطوب که پدیده فرارفت گرمایی عامل مهمی در بیلان انرژی نیست مناسب توصیف کردند.

پیرا (۲۰۰۴) یک روش دیگر برای تخمین α ارائه داد. در این روش ضریب پریستلی- تیلور به صورت زیر با ضریب C نشان داده شد.

$$C = \frac{1 + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}\right) \left(\frac{r_a^*}{r_a}\right)}{1 + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma}\right) \left(\frac{r_c}{r_a}\right)} \quad [۵]$$

که در آن r_a^* مقدار آستانه مقاومت همدمایی (مانتیت) (۱۹۶۵)، r_a مقاومت آئرو دینامیکی (آلن و همکاران ۱۹۹۸) و r_c مقاوت سایه انداز پوشش گیاهی (یو و همکاران ۲۰۰۴، آلن و همکاران ۱۹۹۸) می‌باشند.

بی شک دقت روش پریستلی- تیلور در تخمین صحیح ET ، به ویژه در مناطقی که فرارفت عامل مهمی در توازن انرژی است، وابسته به واسنجی دقیق ضریب a است (لی و یو ۲۰۰۷). مقدار استاندارد ضریب پریستلی- تیلور برای سطوح مرطوب ۱/۲۶ گزارش شده است (پریستلی- تیلور ۱۹۷۲، استانارد ۱۹۹۳). فلینت و چایدز (۱۹۹۱) مقدار a را در محدوده ۱/۶-۰/۷ تعیین کرده‌اند. جری و تانر (۱۹۷۵) گزارش کردند a بیشتر از ۱/۵۷ نشان دهنده فرارفت شدید در منطقه است. پیرا و نوا (۱۹۹۲) نشان دادند که مقدار ۱/۲۶ مناسب برای ضریب a در شرایط پتانسیل وقوع تبخیر- تعرق می‌باشد، ولی این مقدار در شرایط وجود فرارفت معتبر نمی‌باشد. لی و یو (۲۰۰۷) این ضریب را برای مناطق شمالی

چین از ۱۵ تا ۲۴ آوریل در محدوده ۳/۹-۰/۶ تخمین زده‌اند.

نسبت باون تابعی از ضریب تیلور و دما بوده و بدین صورت قابل محاسبه می‌باشد (لی و یو ۲۰۰۷):

$$\beta = ((\Delta + \gamma)/\alpha \Delta) - 1 \quad [۶]$$

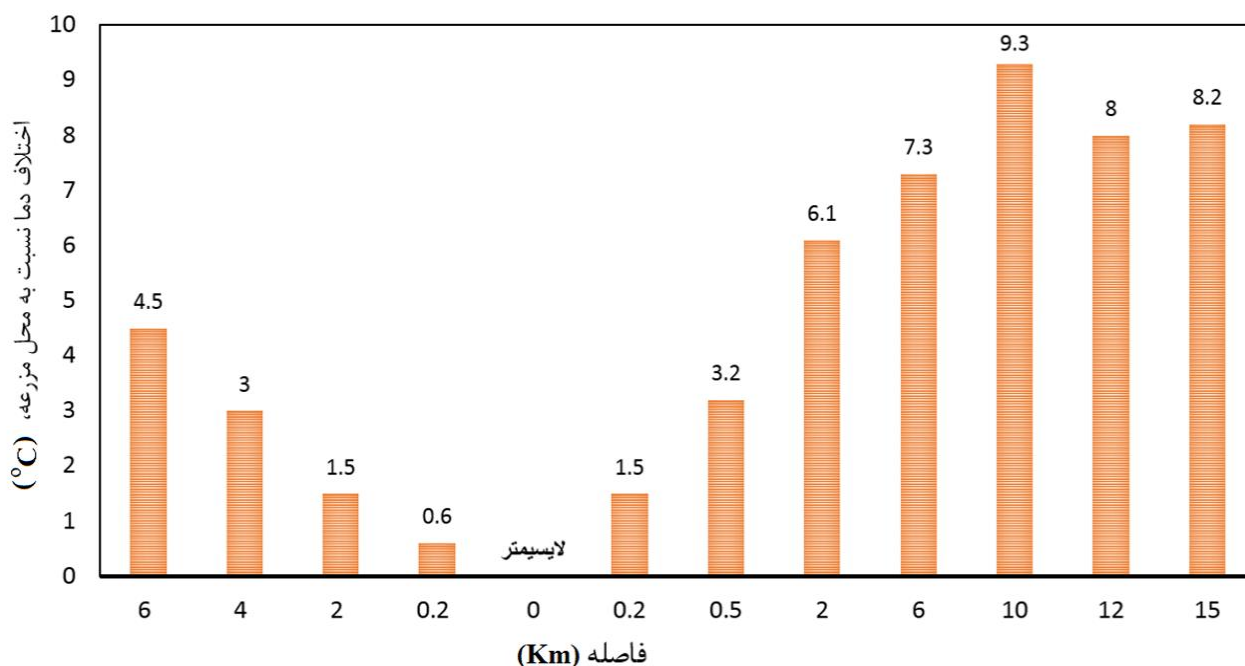
که در آن β نسبت باون بوده و عبارت از نسبت گرمای محسوس به گرمای نهان تبخیر است. نسبت باون در مناطق مرطوب کم بوده و در محدوده ۰-۰/۱ گزارش شده است. در مناطق خشک مقدار آن ممکن است به ۱۰ نیز برسد و در صورتی که حرکت افقی گرما به سمت پوشش گیاهی وجود داشته باشد مقادیر β منفی خواهد بود و در مناطقی که دارای فرارفت هستند مقدار آن به ۰/۳- نیز کاهش می‌یابد (علیزاده ۲۰۰۷). صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) مقدار ضریب باون را بین ۰/۵- تا ۱/۵ برای دشت تبریز گزارش کرده‌اند. در بسیاری از تحقیقات روی نسبت باون (داگاس و همکاران ۱۹۹۱، کولیر و آلیوسو ۱۹۹۳، مالک و بینگام ۱۹۹۳) دلیل کاهش نسبت باون همگام با افزایش دما در مناطق خشک مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیقات گزارش شده است که با گذشت زمان، با افزایش درجه حرارت در محیط، فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه افزایش یافته و اگر رطوبت کافی در خاک وجود داشته باشد، آب با سرعت بیشتری توسط ریشه گیاه جذب شده و به این ترتیب مقدار تعرق و به دنبال آن میزان جریان بخار آب روی این سطح افزایش می‌یابد. این امر باعث کاهش سهم گرمای محسوس شده، به همین دلیل کاهش سریعی در نسبت باون مشاهده می‌شود.

نتایج و بحث

غالب اراضی منطقه شرق تبریز کشت نشده هستند. در چنین شرایطی توازن انرژی در مزارع پوشیده از گیاه به هم خورده و مقداری انرژی اضافی از طریق جریان افقی گرما از اراضی فاقد کشت مجاور به طرف سطوح پوشش گیاهی جریان می‌یابد و این مسئله سبب به وجود آمدن شیب دمایی بین پوشش گیاهی و اراضی اطراف می‌گردد. در شکل ۱ تغییرات دمای هوا از محل مزرعه

لایسیمتر تا ۱۵ کیلومتر به طرف غرب و ۶ کیلومتر به طرف شرق یعنی از مرکز کلان شهر تبریز تا مرکز باسمنج در وسط ظهر یک روز گرم تابستان نشان داده شده است. چنین گرادیانی وقوع پدیده فرارفت منطقه‌ای

را تسهیل می‌کند. علاوه بر این، به دلیل کوچک بودن قطعات مزارع، متفاوت بودن زمان‌های آبیاری و آیش بعضی از مزارع، وقوع فرارفت محلی نیز امکان‌پذیر خواهد بود.

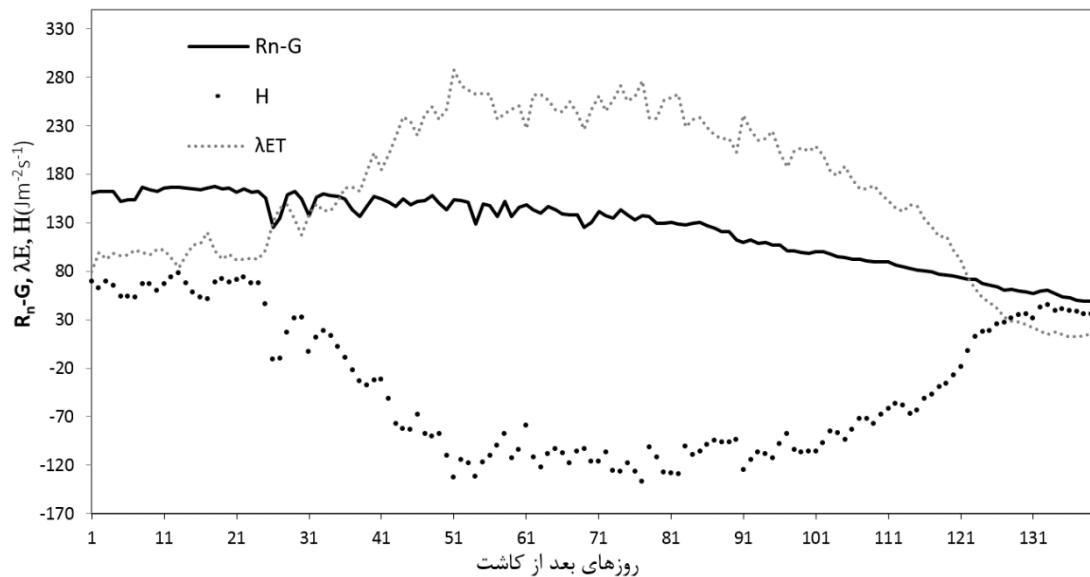


شکل ۱- گرادیان دمایی بین مزرعه لایسیمتر و اراضی واقع در شرق و غرب (۳۱ تیر ۱۳۹۴).

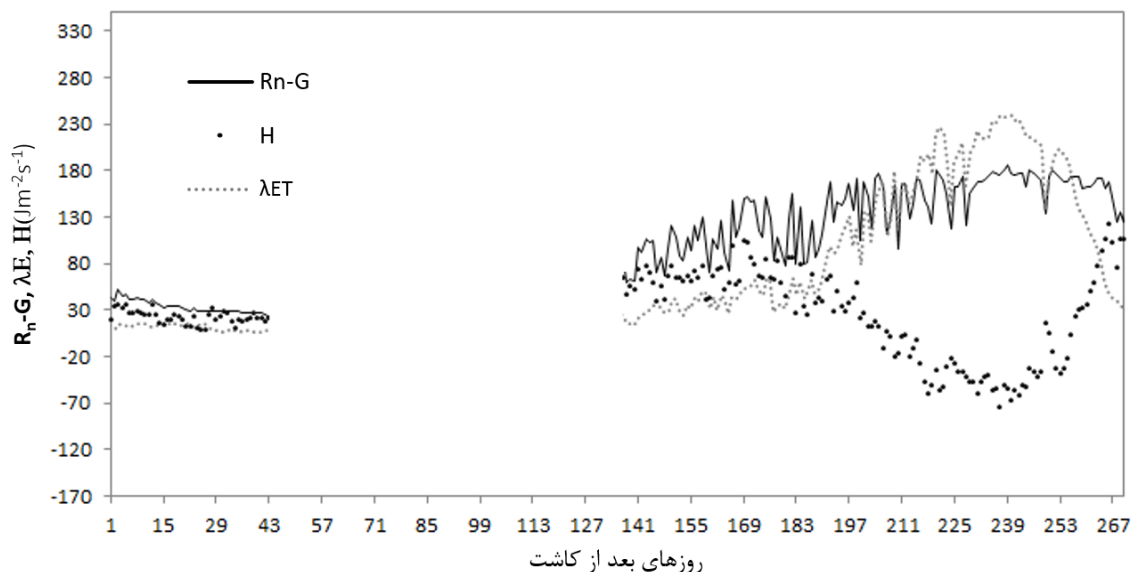
مقادیر منفی برسد، مقادیری انرژی از اطراف بر روی سطوح سبز انتقال یابد. مک ناقتون و جارویس (۱۹۸۳) جریان گرمایی محسوس منفی را دلیل وقوع فرارفت در مناطق خشک و نیمه‌خشک گزارش نموده‌اند.

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ فرارفت گرمایی در منطقه مورد مطالعه از اوایل خرداد ماه در مزارع ذرت و گندم شروع شده است. در اوایل فصل رشد هر دو گیاه به دلیل عدم پوشش کامل سطح زمین گرادیان گرمایی محسوسی ایجاد نشده ولی با توسعه رشد و کامل شدن پوشش سطح زمین و به تبع آن افزایش شیب دما در سطح مزرعه و مزارع اطراف پدیده فرارفت نیز ایجاد می‌گردد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج گزارش شده توسط مجنونی هریس و همکاران (۲۰۱۳) و صدرالدینی و همکاران (۲۰۱۳) مطابقت دارد. جاهای خالی در شکل ۳ مربوط به خواب زمستانی گندم می‌باشد، در واقع روزهای یخبندان سال کنار گذاشته شده است.

برای بررسی وجود فرارفت و زمان شروع و خاتمه آن در منطقه، تغییرات اجزای معادله بیلان انرژی شامل اختلاف تابش خالص با جریان گرمایی خاک ($R_n - G$)، گرمای محسوس هوا (H) و گرمای نهان تبخیر (λET) حاصله از داده‌های لایسیمتری در منطقه مورد مطالعه برای گیاه ذرت و گندم پاییزه به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. مقادیر منفی جریان گرمای محسوس هوا در شکل‌های فوق وجود پدیده فرارفت گرمایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در تحقیقات داگاس و همکاران (۱۹۹۱)، کولیر و آلیوسو (۱۹۹۳) و مالک و بینگام (۱۹۹۳) گزارش شده است که با گذشت زمان، با افزایش درجه حرارت در محیط مقدار تعرق و به دنبال آن میزان جریان بخار آب روی این سطوح گیاهی افزایش یافته و این امر باعث کاهش گرمای محسوس هوا می‌شود. چنانچه این کاهش ادامه یابد و به



شکل ۲- تغییرات اختلاف تابش خالص با جریان گرمایی خاک ($R_n - G$), گرمای نهان تبخیر (λET) و جریان گرمایی محسوس هوا (H) در روزهای مختلف پس از کاشت ذرت.



شکل ۳- تغییرات اختلاف تابش خالص با جریان گرمایی خاک ($R_n - G$), گرمای نهان تبخیر (λET) و جریان گرمایی محسوس هوا (H) در روزهای مختلف پس از کاشت گندم.

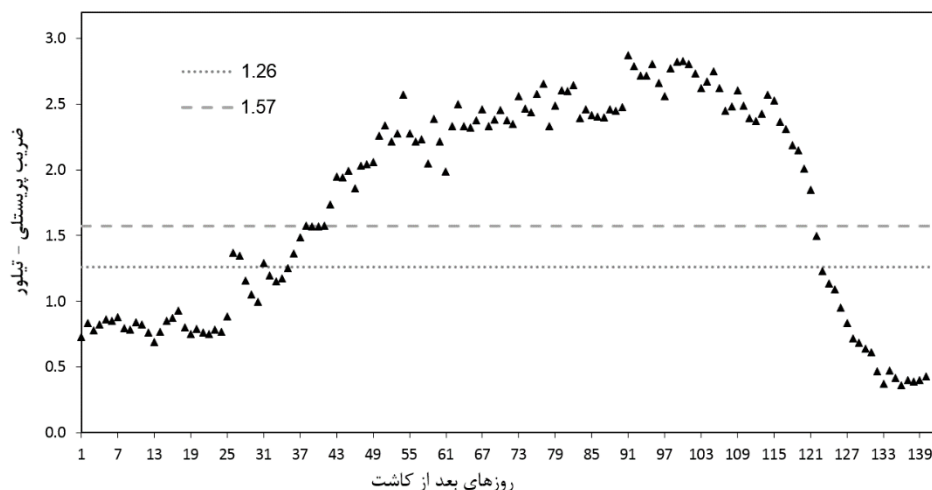
گیاه مؤثر بوده است. البته حدود ۱۵ روز قبل از شروع فرارفت شدید منطقه‌ای، مقادیر ضریب پریستلی-تیلور از حد ۱/۲۶ فراتر رفته و وقوع پدیده فرارفت را در هر دو مزرعه نشان می‌دهد. اسزیلایی و همکاران (۲۰۰۹) در حالت رشد کامل گیاه مقدار ضریب پریستلی-تیلور را ۱/۱-۴/۱ در مناطق خشک و نیمه‌خشک گزارش کرده‌اند. مقادیر بالاتر از این مقدار هم در این منطقه ناشی از وجود و وقوع پدیده فرارفت گرمایی می‌باشد. در پایان فصل

ضریب پریستلی-تیلور و پدیده فرارفت گرمایی

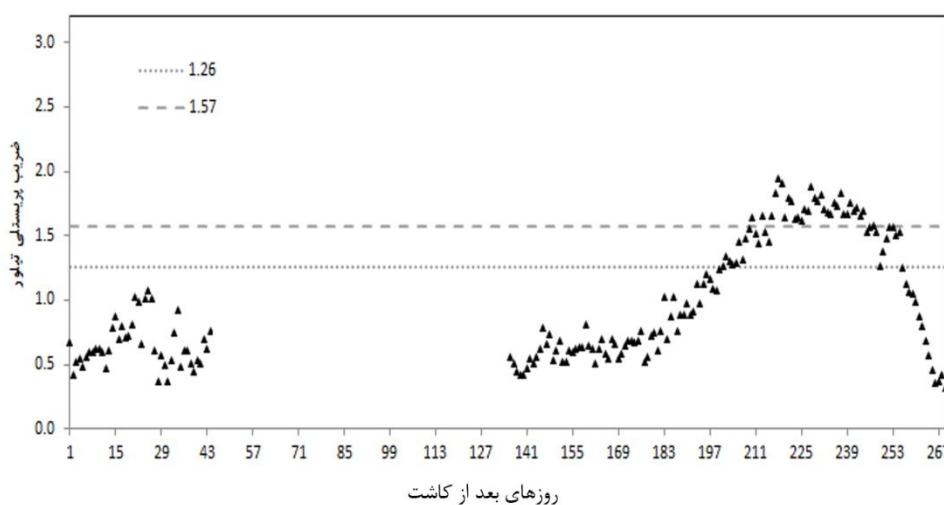
روند تغییرات ضریب پریستلی-تیلور در روزهای مختلف پس از کاشت گیاه ذرت و گندم به ترتیب در شکل-های ۴ و ۵ ارائه شده است. با توجه به خطوط افقی مربوط به مقادیر ضریب پریستلی-تیلور معادل ۱/۵۷ و ۱/۲۶ می‌توان استنباط کرد که در این منطقه در مزرعه ذرت از روز ۴۰ ام و در مزرعه گندم از روز ۲۱۰ ام پس از کاشت پدیده فرارفت منطقه‌ای شدید بر تبخیر-تعرق

کاسته شده و ضریب پریستلی-تیلور نیز به پایین‌تر از ۱/۵۷ و در نهایت ۱/۲۶ افت کرده است.

رشد گیاهان مورد مطالعه 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



شکل ۴- تغییرات ضریب پریستلی-تیلور (α) در روزهای مختلف پس از کاشت گیاه ذرت.



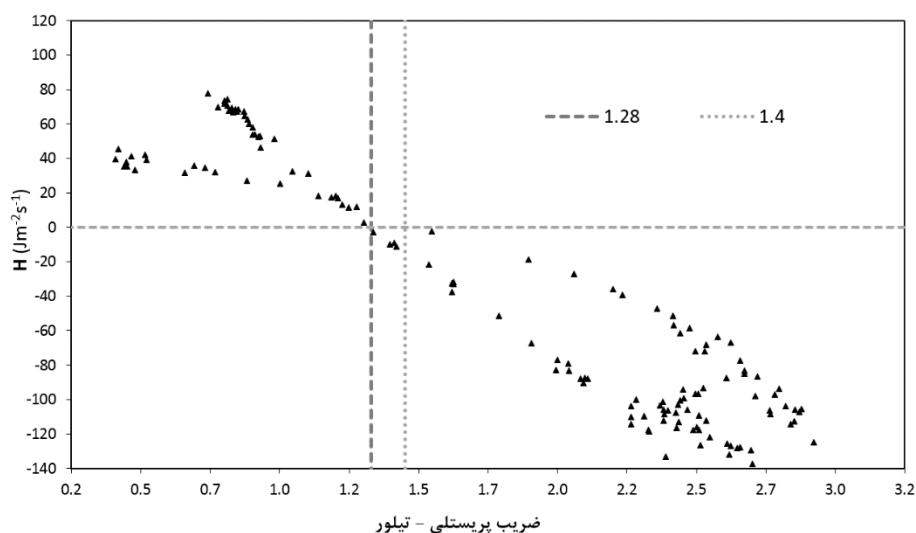
شکل ۵- تغییرات ضریب پریستلی-تیلور (α) در روزهای مختلف پس از کاشت گندم.

نسبت به گندم منفی شده است. دلیل این امر احتمالاً به خاطر زیاد بودن شدت تبخیر-تعرق گیاه ذرت نسبت به گیاه گندم باشد. بیشینه شدت تبخیر-تعرق ذرت و گندم در منطقه مورد مطالعه به ترتیب برابر ۱۲ و ۸/۵ میلی‌متر بر روز با استفاده از لایسیمتر اندازه‌گیری شده‌اند. هاول و همکاران (۱۹۹۷) بیشینه شدت تبخیر-تعرق ذرت را ۱۴ و شاهرخ‌نیا و سپاسخواه (۲۰۱۳) بیشینه تبخیر-تعرق گندم را ۹/۹ میلی‌متر بر روز گزارش کرده‌اند. دیاز-

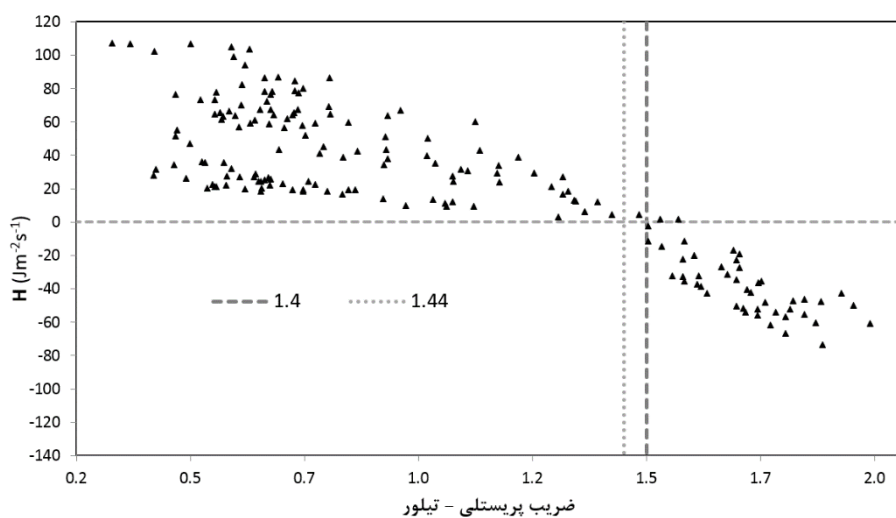
جریان گرمایی محسوس و ضریب پریستلی-تیلور
تغییرات جریان گرمایی محسوس به تبع از ضریب پریستلی-تیلور در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. بر اساس شکل‌های فوق جریان گرمایی محسوس پس از رسیدن ضریب پریستلی-تیلور به ۱/۲۸ و ۱/۴۴ به ترتیب برای گیاهان ذرت و گندم در منطقه منفی شده است. مقادیر فوق نشان می‌دهد که در مزرعه ذرت جریان گرمایی محسوس در ضریب پریستلی-تیلور کمتری

گزارش قرار داده‌اند. ضرایب محاسبه شده برای گیاهان مورد مطالعه به این عدد نزدیک هستند.

اسپژو و همکاران (۲۰۰۵) ضریب ۱/۴ را مقدار آستانه وقوع فرارفت در کرت‌های آزمایشی کوچک مورد



شکل ۶- رابطه بین جریان گرمایی محسوس (H) و ضریب پریستلی-تیلور (α) در طول دوره رشد گیاه ذرت.

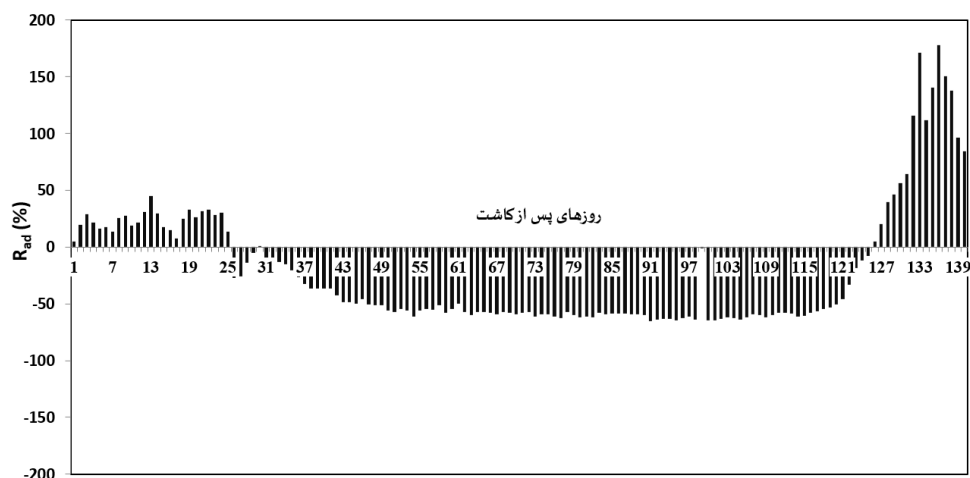


شکل ۷- رابطه بین جریان گرمایی محسوس (H) و ضریب پریستلی-تیلور (α) در طول دوره رشد گیاه گندم.

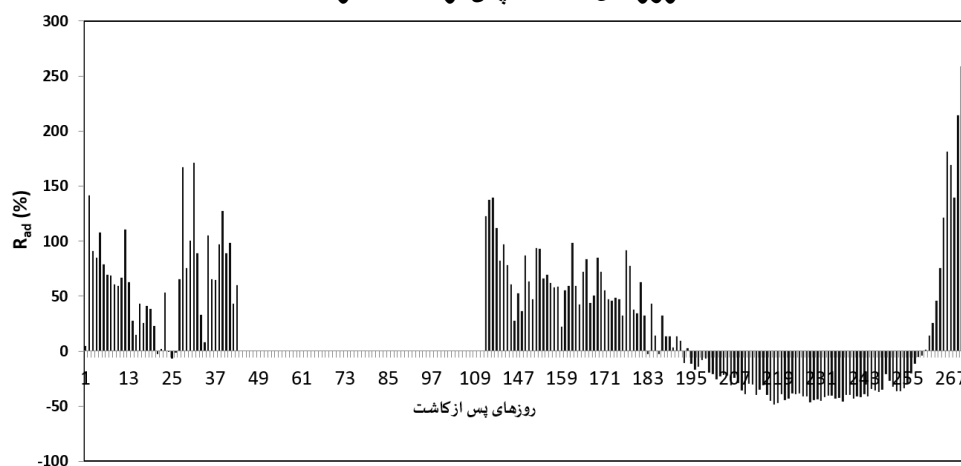
فصل رشد گیاه ذرت پایین‌تر از منفی ۶۵ و گیاه گندم کمتر از منفی ۴۸ درصد رسیده است. این مسئله به روشنی تأثیر انرژی حاصل از فرارفت را بر فرآیند تبخیر-تعرق گیاهان زراعی فوق نشان می‌دهد. لی و یو (۲۰۰۷) مقدار R_{ad} ساعتی را تا منفی ۳۰۰ درصد و R_{ad} روزانه را تا منفی ۵۰ درصد برای مزرعه گندم در منطقه شمالی چین گزارش کرده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود عدد به‌دست آمده برای گندم با عدد گزارش شده در چین تنها دو درصد اختلاف دارند.

نسبت فرارفت گرمایی به میزان تبخیر-تعرق از سطوح پوشش گیاهی

نسبت فرارفت به میزان تبخیر-تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) در طول دوره مطالعه در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. مقادیر منفی R_{ad} نشان دهنده بیشتر بودن مقادیر ET نسبت به مقادیر ET_{ad} بوده و دلالت بر وقوع فرارفت در منطقه دارد. شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهد که مقادیر R_{ad} در بعضی از روزهای



شکل ۸- مقادیر روزانه نسبت تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت گرمایی به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) در روزهای مختلف پس از کاشت ذرت.

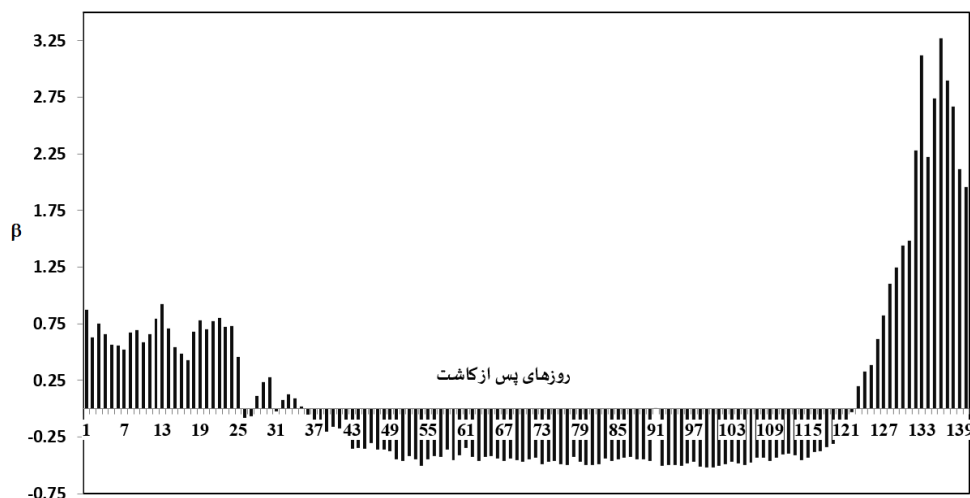


شکل ۹- مقادیر روزانه نسبت تبخیر- تعرق حاصل از فرارفت گرمایی به تبخیر- تعرق از سطوح پوشش گیاهی (R_{ad}) در روزهای مختلف پس از کاشت گندم.

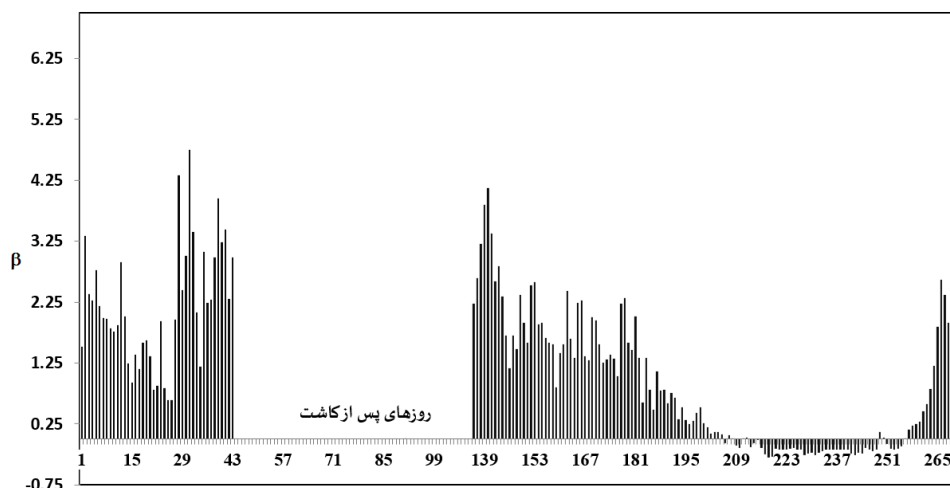
نسبت باون و فرارفت گرمایی

در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مقادیر نسبت باون در روزهای مختلف بعد از کاشت برای گیاهان زراعی مورد مطالعه آورده شده است. منفی بودن نسبت باون نیز وجود جریان گرمایی محسوس و فرارفت گرمایی به سمت مزارع مورد آزمایش را تأیید می‌کند. در اوایل فصل رشد که گیاهان هنوز رشد کافی در مزرعه نداشته و شیب دمایی بین پوشش سبز و اراضی اطراف ایجاد نگردیده است این نسبت مثبت می‌باشد. بررسی شکل فوق نشان داد که در بطور جامع در مزرعه ذرت از روز

۳۵ تا ۱۲۲ و در مزرعه گندم از روز ۲۰۵ تا ۲۵۵، مقادیر β منفی شده است. در بین گیاهان مورد مطالعه گیاه ذرت در طول فصل رشد خود بیشتر از گندم از فرارفت گرمایی تأثیر پذیرفته است. به صورت کلی مقادیر نسبت باون در مزرعه ذرت بین ۳/۲۷ تا ۰/۵۲- و در مزرعه گندم در بازه ۶/۵۶ تا ۰/۳۱- متغیر است. مقادیر فوق نشان می‌دهد که شدت وقوع فرارفت در مزرعه گندم از ذرت کمتر است و این ناشی از شدت تبخیر- تعرق کم گندم نسبت به گیاه ذرت می‌باشد.



شکل ۱۰- مقادیر نسبت باون (β) در روزهای مختلف پس از کاشت ذرت.



شکل ۱۱- مقادیر نسبت باون (β) در روزهای مختلف پس از کاشت گندم.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از مطالعه وضعیت گرایان دمایی منطقه مورد مطالعه نشان داد که گرایان دمایی شدیدی بین مزرعه لایسیمتر و اراضی اطراف فاقد کشت در فصل تابستان وجود دارد. وجود اختلاف دما باعث جریان گرما به سمت اراضی پوشیده از گیاه شده و افزایش نیاز آبی گیاهان را به همراه خواهد داشت. نتایج نشان داد که اختلاف دمایی $9/3$ درجه‌ای بین مزرعه‌ای که لایسیمتر در آن قرار دارد و شهر تبریز وجود دارد. این اختلاف دما وجود فرارفت گرمایی را در منطقه تأیید می‌کند. مقادیر منفی جریان گرمایی محسوس هوا، نسبت باون و R_{ad} در منطقه مورد مطالعه نشان داد که فرایند فرارفت بر افزایش تبخیر-تعرق گیاهانی مانند ذرت از اوایل دوره

های رشدشان مؤثر است ولی این مسئله در مورد گندم که اوایل دوره رشد آن مصادف با پاییز می‌باشد متفاوت است. کمینه مقادیر مشاهداتی R_{ad} در مزرعه ذرت و گندم به ترتیب برابر منفی ۶۵ و منفی ۴۸ درصد بودند که به روشنی تأثیر انرژی حاصل از فرایند فرارفت گرمایی را بر تبخیر-تعرق گیاهان زراعی فوق نشان می‌دهد. کمینه مقادیر مشاهداتی β نیز در مزارع ذرت و گندم به ترتیب برابر $-0/52$ و $-0/31$ بودند که در همه روزهایی وقوع مقادیر کمینه نسبت باون دمایی هوا بالای ۳۰ درجه بوده است. نتایج این مطالعه نشان داد، که با سپری شدن دوره رشد و افزایش پوشش گیاهی در مزرعه و با افزایش دمایی هوا و خشک شدن گیاهان در مراتع اطراف مزارع مورد مطالعه مقدار ضریب پریستلی-تیلور افزایش پیدا

سیاسگزاری

بدین وسیله جا دارد از حمایت مالی معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز تحت عنوان قرارداد طرح پژوهشی شماره ۲-۳۵۳۰/۲۷/ص قدردانی گردد.

می‌کند. وجود شیب دمایی بین مزرعه و زمین‌های مجاور باعث وقوع فرارفت محلی و وجود شیب دمایی بین مناطق شهری و زراعی باعث وقوع فرارفت منطقه‌ای شده است. در نهایت شرایط دمایی خاک باعث افزایش نیاز آبی گیاهان مورد مطالعه خواهد گردید.

منابع مورد استفاده

- Alizadeh A, 2007. Soil, Water and Plant Relationship. Astane Qods Razavi Publisher. 450 pag.
- 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, Italy.
- Anthoni P, Law BE, Unsworth MJ and Vong RJ, 2000. Variation in net radiation over heterogeneous surfaces: measurements and simulations in a juniper-sagebrush ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 102: 275-286.
- Brakke TW, Verma SB and Rosenberg NJ, 1978. Local and regional components of sensible heat advection. *Journal of Applied Meteorology* 17: 955-963.
- Collier P and Alioso A, 1993. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurements: *Agricultural and Forest Meteorology* 66(1): 88-91.
- Diaz-Espejo A, Verhoef A and Knight R, 2005. Illustration of micro-scale advection using grid-pattern minilysimeters. *Agricultural and Forest Meteorology* 129: 39-52.
- Dugas WA, Fritsch LJ, Gay LW, Held AA, Mtthias AD, Reicosky DC, Steduto P and Steiner JL. 1991. Bowen ratio, eddy correlation, and portable chamber measurements of sensible and latent heat flux over irrigated spring wheat. *Agricultural and Forestry Meteorology* 56: 1-20.
- Ebrahimi Pak NA, 1993. Estimating evapotranspiration of crops and determining the water requirement of winter wheat using Lysimeter. M.Sc. Thesis, Agriculture Faculty, University of Tabriz.
- Flint AL and Childs SW, 1991. Use of the Priestley-Taylor evaporation equation for soil water limited conditions in a small forest clearcut. *Agricultural and Forest Meteorology* 56: 247-260.
- Howell TA, Steiner JL, Schneider AD, Evett SR and Tolk JA, 1997. Seasonal and maximum daily 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. *Agronomy Journal* 67: 840-842.
- Lang ARG, Evans GN and Ho PY, 1974. The influence of local advection on evapotranspiration from irrigated rice in a semiarid region. *Agricultural Meteorology* 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. *Agricultural and Forest Meteorology* 122: 111-124.
- Li L and Yu Q. 2007. Quantifying the effects of advection on canopy energy budgets and water use efficiency in an irrigated wheat field in the North China Plain. *Agricultural and Water Management* 89: 116 - 122.
- Majnooni Heris A, Nazemi AH, Sadraddini AA, Neyshaburi MR and Shakiba MR, 2013. Influence of Advection on Energy Balance in Canola Crop Evapotranspiration Process in Tabriz Region. *Water and Soil Science-University of Tabriz* 23(1):223-236.
- Majnooni Heris A, Zand Parsa Sh, Sepaskhah AR and Kamkar Haghighi AA, 2007. Evaluation of MSM model for prediction of potential evapotranspiration of maize in comparison with FAO. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 11 (41): 29-41.
- Malek E and Bingham GE, 1993. Comparison of the Bowen Ratio energy balance and the water balance method for the measurement of evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 146: 209-220.
- McNaughton KG and Jarvis PG, 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. Pp. 1-42. *Eater deficits and Plant Growth*, vol. VII. Academic Press, London.

- McNaughton KG, 1976. Evaporation and advection. II. Evaporation downwind of a boundary separating regions having different surface resistances and available energies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 102: 193–202.
- Monteith JL, 1965. Evaporation and Environment. In: *The state and movement of water in living organism*. 19th Symposium of the Society for Experimental Biology 205-234.
- Pereira AR and Nova NAV, 1992. Analysis of the Priestley–Taylor parameter. *Agricultural and Forest Meteorology* 61: 1–9.
- Pereira AR, 2004. The Priestley–Taylor parameter and the decoupling factor for estimating reference evapotranspiration. *Agricultural and Forest Meteorology* 125: 305–313.
- Priestley CHB and Taylor RJ, 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Reviews* 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, 1969. Advection of energy utilized in evapotranspiration by alfalfa in the east-central Great Plains. *Agricultural Meteorology* 6: 179–184.
- Rosenberg NJ, Blad BL and Verma SB, 1983. *Microclimate. The Biological Environment* (2nd edition). John Wiley, New York.
- Sadraddini AA, Nazemi AH, Majnooni-Heris A, 2013. Quantifying the effects of advection phenomenon on canola evapotranspiration in east Azerbaijan region, Iran. *The Journal of EGE University Faculty of Agriculture, Special Issue* 1: 139-144.
- Shahrokhnia M, Sepaskhah A, 2013. Single and dual crop coefficients and crop evapotranspiration for wheat and maize in a semi-arid region. *Theoretical and Applied Climatology* 114: 495-510.
- Smith DM, Jarvis PG and Odongo JCW, 1997. Energy budgets of windbreak canopies in the Sahel. *Agricultural and Forest Meteorology* 86: 33–49.
- Stannard DI, 1993. Comparison of Penman–Monteith, Shuttleworth–Wallace, and modified Priestley–Taylor evapotranspiration models for wild land vegetation in semiarid rangeland. *Water Resources Research* 29: 1379–1392.
- Sumnera DM and Jacobsb JM, 2005. Utility of Penman–Monteith, Priestley–Taylor, reference evapotranspiration, and pan evaporation methods to estimate pasture evapotranspiration. *Journal of Hydrology* 308: 81–104.
- Szilagyi J, Hobbins MT and Jozsa J, 2009. Modified advection-aridity model of evapotranspiration. *Journal of Hydrologic Engineering* 14(6): 569-574.
- Yu Q, Zhang YQ, Liu YF and Shi PL, 2004. Simulation of stomata conductance of winter wheat in response to light, temperature and CO₂ changes. *Annals of Botany* 93: 435–441.