نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۶۰-۱۱۵۲

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1152-1160

ارزیابی و برآورد تبخیر– تعرق گندم در مراحل مختلف رشد با روش تراز انرژی (نسبت باون) و مقایسه آن با نتایج لایسیمتر

مریم قائمی بایگی[1*]- محمود رائینی سرجاز[2]- محمد موسوی بایگی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۱۵

چکیده

تبخیر و تعرق یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی است که در طرح‌های کشاورزی مدنظر قرار می‌گیرد. یکی از روش‌های برآورد تبخیر – تعرق گیاه روش تراز انرژی (نسبت باون) است که بر پایه‌ی اندازه‌گیری شیب دما و رطوبت در دو ارتفاع مختلف گیاه می‌باشد. این پژوهش در دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سه لایسیمتر به منظور برآورد تبخیر – تعرق گیاه گندم رقم گاسکوژن انجام شد و نتایج حاصل از آن با روش مستقیم مورد مقایسه قرار گرفت. داده‌های لازم برای اندازه‌گیری تبخیر و تعرق از روش تراز انرژی در تمام مراحل فنولوژی گیاهی در بازه‌های زمانی یک ساعته با بهره‌گیری از دستگاه برآورد تراز انرژی (مدل DIK -5200) برداشت شد و تبخیر – تعرق لایسیمترها بصورت روزانه محاسبه گردید. آهنگ تبخیر – تعرق روزانه با استفاده از روش توازن انرژی ۲/۴ میلی‌متر به‌دست آمد که همبستگی بسیار بالایی (r=۰/۹۸) با نتایج لایسیمتر که ۲/۴۴ میلی‌متر در روز محاسبه شد، داشت. دامنه افت‌وخیز نسبت باون در امتداد شبانه روز بین ۱/۵- تا ۱/۹ می‌باشد که مقادیر منفی پس از غروب خورشید که با کاهش گرمای محسوس در محیط همراه است اتفاق می‌افتد و در طول شب ادامه می‌یابد. با طلوع خورشید میزان آن به‌تدریج بیشتر می‌شود تا اینکه در ساعت ۸ تا ۹ به بیشینه مقدار خود می‌رسد، سپس روندی کاهشی را تا بعدازظهر دنبال می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر – تعرق، گندم، لایسیمتر، تراز انرژی، نسبت باون

مقدمه

با نگاهی اجمالی به تاریخ توسعه‌ی اقتصادی کشورهای پیشرفته‌ی صنعتی، نقش بارز کشاورزی را در توسعه‌ی این کشورها می‌توان به وضوح مشاهده نمود. در ایران نیز کشاورزی نقش حیاتی در تکوین و توسعه‌ی کشور دارد. شرایط خاص اقلیمی کشور که خشکی و پراکنش نامناسب زمانی و مکانی بارندگی واقعیت گریزناپذیر آن است، هرگونه تولید موادغذایی و کشاورزی پایدار را مشروط به استفاده‌ی صحیح و منطقی از منابع محدود آب کشور نموده‌است. نگاهی به شاخص سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر کشور در دهه‌های اخیر نشان دهنده‌ی کاهش منظم آن است، به طوری که مقدار آن از ۵۵۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۴۰ به ۲۱۰۰ مترمکعب در سال ۱۳۷۶ کاهش یافته و انتظار می‌رود در سال ۱۴۰۰ به ۱۲۵۰ مترمکعب تقلیل یابد (۲). با این تقسیم‌بندی می‌توان گفت که ایران در حال حاضر با تنش دوره‌ای و در دهه‌های آینده با تنش دائم آب مواجه خواهد شد. برای کم کردن این بحران و تنش باید مطالعات بیشتری در بخش کشاورزی که بزرگ‌ترین مصرف کننده‌ی آب در زیرساخت‌های مختلف اقتصادی کشور است صورت گیرد تا از این طریق بتوان راندمان مصرف آب را بالا برد. برآورد دقیق میزان تبخیر – تعرق یکی از مهم‌ترین روش‌های مدیریت مصرف آب در مزرعه و افزایش راندمان مصرف آب می‌باشد (۱).

یکی از روش‌های برآورد تبخیر – تعرق روش تراز انرژی – نسبت باون(BREB) [4] است که یک روش خرداقلیم شناسی برای تعیین میزان تبخیر و تعرق گیاهان، آب موردنیاز گیاه، محاسبه ضرایب رشد گیاه و بررسی روابط گیاه – آب می‌باشد (۴ و ۷). این روش بر پایه اندازه‌گیری اجزای معرفی شده در معادله تراز انرژی است که

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: Email: mary_ghaemi@yahoo.com)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

4 - Bowen Ratio- Energy Balance

شامل جریان گرمای نهان، گرمای محسوس، جریان گرما در خاک و تابش خالص می‌باشد و می‌توان تبخیر و تعرق صورت گرفته از سطوح را تعیین نمود.

بر اساس قانون بقای انرژی، انرژی‌های ورودی و خروجی همواره با یکدیگر در حال تعادل هستند. رابطه زیر مبین این وضعیت تعادلی در سطح یک مزرعه می‌باشد:

$$R_n = \lambda E + H + G + P - A \quad (۱)$$

تابش خالص خورشیدی چشمه اصلی انرژی ورودی به یک سطح می‌باشد (R_n). بخشی از این انرژی صرف افزایش دمای هوا، گرمای محسوس (H) می‌شود، بخشی دیگر افزایش دمای خاک و جریان گرما در آن (G) را سبب می‌شود، پاره‌ی دیگری از انرژی به‌مصرف تبخیر وتعرق آب (λE) می‌رسد، و سرانجام بخشی دیگر از آن طی فرآیندهای نورشیمیایی در عمل فتوسنتز (P) مصرف می‌شود، این بخش نسبت به کل انرژی خورشیدی اندک و چشم پوشیدنی است. در محیطهای ناهمگن، همچون یک واحه در بیابان، ممکن است مقداری انرژی نیز از پیرامون به صورت فرارفتبه سطح (A) برسد. در این پژوهش چون فضای پیرامون سطح مورد اندازه‌گیری همگن است، بنابراین انرژی‌ای که از پیرامون به سطح مورد نظر می‌رسد بسیار اندک و چشم‌پوشیدنی است.

سهم گرمای محسوس به گرمای نهان، از انرژی موجود در یک سطح را نسبت باون گویند (۱۳،۱۴ و۴):

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} \quad (۲)$$

این نسبت با اندازه‌گیری شیب دما و فشاربخار در طول یک فاصله عمودی از سطح تبخیرکننده به دست می‌آید. برپایه قانون نخست فیک شار گرما را می‌توان با اندازه‌گیری دما و شیب آن در دو ارتفاع مختلف به‌صورت زیر به‌دست آورد:

$$H = C_p \cdot \rho_a K_H \frac{T_1 - T_2}{Z_1 - Z_2} \quad (۳)$$

که در آن C_p گرمای ویژه هوا، ρ_a چگالی هوا، K_H ضریب انتقال گرما، و $T_1 - T_2$ و $Z_1 - Z_2$، به‌ترتیب نمایشگر اختلاف دما و اختلاف ارتفاع در دو سطح مورد اندازه‌گیری می‌باشند. برای شار بخار-آب در دو ارتفاع مختلف از سطح نیز، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$E = \rho_a \cdot K_E \frac{(q_1 - q_2)}{(Z_1 - Z_2)} \quad (۴)$$

که در آن K_E ضریب ترابری بخار آب و $q_1 - q_2$ تفاوت نم ویژه در دو سطح مورد اندازه‌گیری می‌باشند (۷).

و با جایگزینی معادلات در معادله ۲ و با توجه به رابطه رطوبت ویژه و فشار بخار $\left[q = 0.622 \frac{e}{p} \right]$ داریم:

$$\beta = \frac{H}{\lambda E} = \frac{C_p \cdot \rho_a \cdot K_H (T_1 - T_2)}{\lambda \rho_a \cdot K_E \frac{0.622}{P} (e_1 - e_2)} \quad (۵)$$

از آنجا که در برآورد دقیق فشاربخار اشباع امکان خطای زیادی وجود دارد، با قرار دادن مقدار فشاربخار هر سطح در معادله بالا، معادله جدیدی برای تعیین نسبت باون به دست می‌آید (۳):

$$\beta = \frac{1}{(1 + \frac{\phi}{\gamma}) \frac{\Delta T_w}{\Delta T} - 1} \quad (۶)$$

ϕ: شیب منحنی فشاربخاراشباع در دمای تر ارتفاع میانی (۱/۵ متری)

γ:ضریب سایکرومتری

ΔT_w:اختلاف دمای تردر دو ارتفاع اندازه‌گیری

ΔT:اختلاف دمای خشک در دو ارتفاع اندازه‌گیری

و در نتیجه با قرار دادن $\beta \lambda E$ به جای H (معادله ۲)در معادله ۱ خواهیم داشت (۱۸و۱۷):

$$R_n - G = \lambda E + \beta \lambda E \quad (۷)$$

$$\lambda E = \frac{R_n - G}{1 + \beta}$$

تبخیر– تعرق از زمین‌های فاریاب یونجه، پنبه و گندم زمستانه در جنوب آریزونا از سال ۱۹۹۰ الی ۱۹۹۸ با استفاده از روش باون اندازه‌گیری شد و مقایسه این روش با لایسیمتر نتایج قابل قبولی ارائه داد. در کشت یونجه ۷۶ روز برداشت داشته که میزان تبخیر– تعرق در اکثر روزها ۱۰ میلی‌متر در روز گزارش شد و تنها ۳ روز بیشتر از ۱۱ میلی‌متر در روز بود، ضمناً در روزهایی که وزش باد شدید بود، میزان تبخیر– تعرق اندازه‌گیری شده به ۱۲/۷۷ میلی‌متر در روز نیز رسید. ET برای گندم زمستانه به مدت ۱۵ روز اندازه‌گیری شد که به طور متوسط ۱۰ میلی‌متر در روز گزارش گردید و تنها در یک روز که باد می‌وزید مقدار تبخیر– تعرق به ۱۰/۸ میلی‌متر افزایش یافت. نتایج نشان داد که برآورد بیشتر در اندازه گیری ET فقط به دلیل انرژی مازادی است که توسط جریان‌های محیطی اطراف به سطح کشت می‌رسد. میزان تبخیر– تعرق در زمین‌های مرطوب در محیطهای بیابانی به انرژی تابشی در دسترس در هر فصل بستگی دارد (۹).

عطارد و همکاران در مزرعه دانشگاه کشاورزی توکیو (TUAT) در ژاپن در سال ۲۰۰۹ از روش نسبت باون برای تعیین میزان تبخیر و تعرق واقعی و گرمای محسوس استفاده کردند. آن‌ها این کار را برای محصولات ذرت، سویا، گندم و چاودار توسط دستگاه خودکار نصب شده در این مزرعه انجام دادند. در این تحقیق از معادله پنمن – مونتیث پیشنهاد شده فائو برای تعیین تبخیر و تعرق مرجع استفاده

شده است. همچنین از نسبت تبخیر و تعرق واقعی به تبخیر و تعرق مرجع میزان ضریب گیاهی محصول هم به‌دست آمده است. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار متوسط تبخیر و تعرق روزانه در محصولات زمستانه و تابستانه به ترتیب ۲/۵ و ۳/۵ میلی‌متر در روز بوده است. تبخیر و تعرق واقعی در طول روز بین ۱/۳ تا ۵/۷ میلی‌متر در محصولات زمستانه و ۱/۴ تا ۶/۵ میلی‌متر در روز برای محصولات تابستانه متغیر بوده است. در این تحقیق سطح احتمال ۵درصد بوده است. همچنین در این تحقیق میزان Kc متوسط محصولات تابستانه به مقدار کمی بیشتر از محصولات زمستانه به دست آمد (۶).

لئوجی فریچن (۸) در آریزونای آمریکا مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را با استفاده از لایسیمتر وزنی و نسبت باون با هم مقایسه کرد. در این تحقیق اختلاف فشار بخار و دمای هوا در دولایه ۵ و ۴۰ سانتی‌متری بالای چمن اندازه گیری شده است. نتایج این مقایسه نشان داد که روش نسبت باون با دقت زیادی می‌تواند جریان تبخیر را برای مدت کوتاه برآورد کرده و برای زمان‌های طولانی‌تر از مجموع این داده ها استفاده شود. در این تحقیق در طول روز خطای مطلق کمتر از ۰/۰۲ کالری بر سانتی‌مترمربع در دقیقه به دست آمده در حالی که خطای نسبی کمتر از ۵درصد بود.

هدف این پژوهش برآورد آهنگ شار تبخیر – تعرق گندم با بهره‌گیری از نسبت باون، و مقایسه‌ی داده‌های آن با داده‌های به‌دست‌آمده از روش لایسیمتری در مشهد می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه تبخیرسنجی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، با طول جغرافیایی ′۳۸ و°۵۹ و عرض جغرافیایی ′۱۶ و°۳۶ و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۸ متر انجام شد. برای اجرای این طرح مراحل ساخت لایسیمتر زهکش‌دار در مهرماه ۱۳۸۹ انجام پذیرفت. عملیات خاکبرداری در سه گودال، به ابعاد ۱۵۰×۲۵۰×۲۵۰ سانتی‌متر صورت گرفت و سه لایسیمتر با ابعاد ۱۲۰×۲۰۰×۲۰۰ سانتی‌متر در آن نصب شد و سعی شد تا نیمرخ اولیه خاک حفظ شود. برای سنجش پتانسیل آب خاک یک تانسیومتر نیز در میانه‌ی هرلایسیمتر کار گذاشته شد. در آغاز آبان ماه گندم رقم گاسکوژندر لایسیمتر کشت شد. این رقم بدلیل اینکه بالاترین عملکرد و سطح کشت را در مشهد به خود اختصاص می‌دهد، انتخاب شد. آبیاری‌ها طوری صورت گرفت که همیشه آب مورد نیاز برای تبخیر – تعرق در اختیار گیاه قرار داشته باشد و پتانسیل آب در خاک در حد ظرفیت زراعی باشد، بنابراین هرگاه عقربه تانسیومتر بین عدد۳۰ تا ۳۵ قرار داشت، آبیاری انجام می‌پذیرفت. پس از کاشت گندم، برای سنجش تراز انرژی روزانه، یک دستگاه تراز انرژی ساخت شرکت ژاپنی مدل دایکی (DIK-5200) درون لایسیمترها نصب شد. پایه نگه‌دارنده تابش‌سنج در ارتفاع ۳ متری و محفظه اندازه‌گیری دمای خشک و تر در ارتفاع ۰/۵ و ۲/۵ متری از سطح زمین نصب شد. صفحه اندازه‌گیری جریان دمایی خاک نیز در ژرفای صفر تا ۱۵ سانتی‌متری خاک قرار گرفت. تمامی خروجی‌ها به‌صورت ولتاژ به واحد پردازش‌گر داده‌ها منتقل شده و سپس به وسیله رایانه و با ضرایبی که از کالیبره کردن دستگاه به‌دست آمده بود پارامترهای مورد نظر محاسبه شد. به این ترتیب تابش خالص، جریان گرمایی در خاک و شیب دما و رطوبت در دو ارتفاع مختلف از سطح کشت تعیین و با قرار دادن این پارامترها در معادله ۶ و ۷ میزان تبخیر – تعرق به روش تراز انرژی محاسبه شد. در مدت دوره رشد و نمو گندم (اول آبان تا نیمه خرداد) میزان تبخیر و تعرق به صورت ساعتی و مقدار آب ورودی و خروجی به‌لایسیمتر به صورت روزانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. در دوره کاشت به‌نسبت ۱۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات آمونیوم و اوره به ترتیب به گندم داده شد.

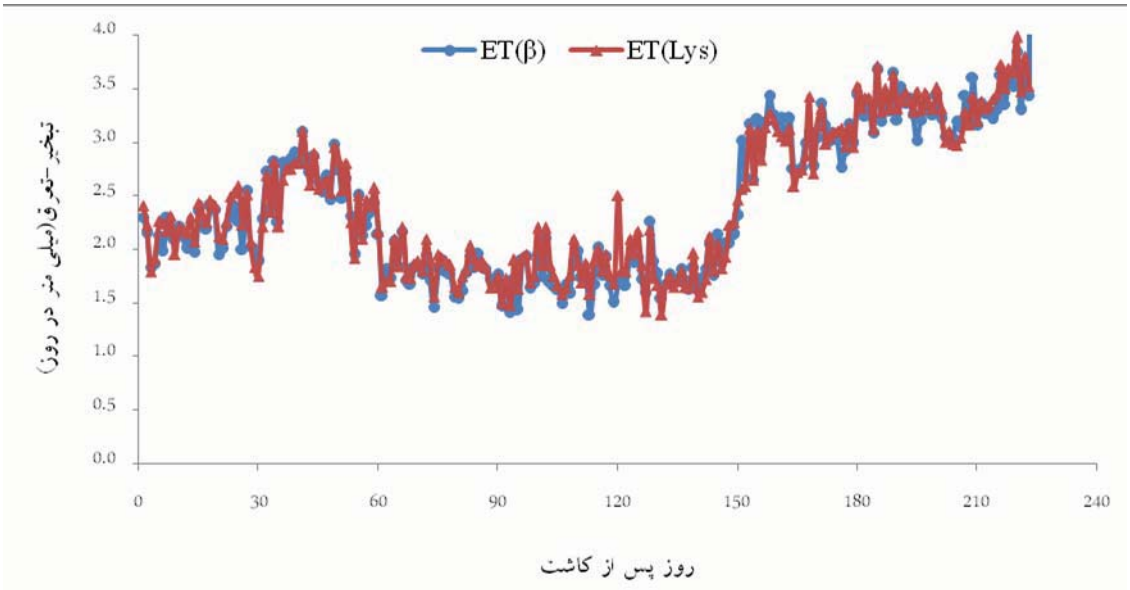
نتایج و بحث

میزان تبخیر – تعرق برای کل دوره رشد گندم رقم گاسکوژن به روش تراز انرژی و لایسیمتری به ترتیب ۵۳۶/۵ و ۵۴۴/۳ میلی‌متر برآورد شد. میانگین آهنگ تبخیر – تعرق روزانه این دو روش به ترتیب ۲/۴۰ و ۲/۴۴ میلی‌متر بود (جدول ۱). یافته‌های این آزمون نشان داد میان داده‌های برآوردی از روش تراز انرژی و داده‌های اندازه‌گیری‌شده توسط روش لایسیمتری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همبستگی بسیار بالایی ($r = ۰/۹۸$) بین داده‌های برآوردی از روش تراز انرژی و داده‌های اندازه‌گیری شده از روش لایسیمتری وجود داشت. یافته‌های فریچن (۸) که روی گیاه مرجع و هربست که روی ذرت (۱۰) انجام شده بود، نشان داد اختلاف معنی‌داری میان تبخیر – تعرق برآورد شده به روش تراز انرژی و تبخیر – تعرق اندازه‌گیری شده به روش لایسیمتر وجود ندارد که با یافته‌های این پژوهش همخوانی بالایی دارد. گرچه گزارش مهاجرپور برای گیاه مرجع متفاوت از یافته‌های بالاست. او تفاوت معنی‌داری میان داده‌های دو روشِ نسبت باون و لایسیمترهای زهکش‌دار یافت (۳).

شکل ۱ نشان دهنده‌ی افتاخیز تبخیر – تعرق روزانه می‌باشد. تبخیر – تعرق از دو پاره تبخیر و تعرق تشکیل یافته، که تبخیر نقشی در تولید ندارد (۱۱). در آغاز فصل کشت سطح خاک بدون پوشش گیاهی بوده و بایستی کل آب تلف‌شده از راه تبخیر از سطح خاک باشد (۵). با گذشت زمان و جوانه‌زنی بذر، و تولید سبزینه، گیاه وارد مرحله رویشی می‌شود و بخشی از آب تلف‌شده صرف تعرق می‌شود. با افزایش نمایه سطح برگ نیاز آبی گیاه افزایش می‌یابد و سهم تعرق در تلفات آب بر تبخیر پیشی می‌گیرد. در این پژوهش در بازه ۴۰ روزه نخست دوره رشد گندم (شکل ۱) روند تبخیر تعرق از سطح کشتزار برای هر دو روش افزایشی بود.

جدول ۱- تبخیر – تعرق ماهانه و میانگین روزانه اندازه‌گیری شده گندم رقم گاسکوژن

		آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد
روش تراز انرژی نسبت باون))	ماهانه (میلی‌متر)	۶۴/۴۳	۷۷/۳۷	۵۳/۴۸	۵۱/۳۶	۵۳	۹۳/۵۷	۱۰۱/۹۶	۱۰۷
	میانگین روزانه (میلی‌متر)	۲/۱۵	۲/۵۸	۱/۷۸	۱/۷۱	۱/۸۳	۳/۰۲	۳/۲۹	۳/۴۵
روش لایسیمتری	ماهانه (میلی‌متر)	۶۶/۵	۷۷/۳	۵۴/۷	۵۴/۷	۵۳	۹۲/۶	۱۰۲/۷	۱۱۱/۶
	میانگین روزانه (میلی‌متر)	۲/۲	۶/۲	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۳	۳/۳	۳/۶



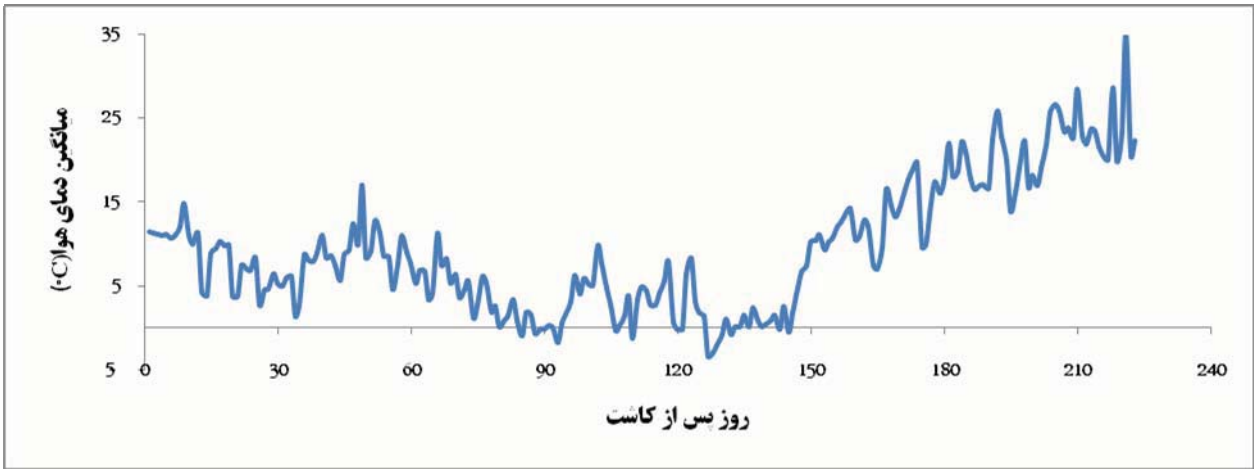
شکل ۱ – مقایسه میانگین تغییرات روزانه تبخیر تعرق به دو روش تراز انرژی و لایسیمتری

از آنجا که آهنگ تبخیر تعرق کارکردی از انرژی خالص، توان تبخیرکنندگی هوا (کمبود اشباع) و نمایه سطح برگ است، این روند افزایشی تبخیر تعرق ممکن است برآیندی از هر سه پاره باشد. طبیعی است که در این دوره ۴۰ روزه نمایه سطح برگ افزایش یافته است، ولی شکل تابش خالص (شکل ۳) گویای آن است که نقش این پاره در این افزایش معنی‌دار بوده است، چون روند این تابش خالص برای این دوره نیز افزایشی است. در همین دوره تغییرات دمای روزانه از روند مشخصی پیروی نکرده است (شکل ۲) و این نمایشگر آن است که نقش تبخیرکنندگی هوا در این دوره بر روند افزایشی تبخیر تعرق نمی‌توانسته است نقش معنی‌داری داشته باشد. بنابراین می‌توان چنین انگاشت که در این دوره سهم تعرق بیشتر از تبخیر بوده باشد. همبستگی مثبت و بسیار معنی‌داری میان زمان (روز) و تبخیر تعرق روزانه ($r = ۰/۷$) برای این بازه زمانی برای هر دو روش دیده شد، وشیب خط رگرسیون (۰/۰۱۵) معنی‌دار بود. این افزایش تا پایان پنجه‌زنی گیاه ادامه می‌یابد (شکل ۱).

شکل ۱ نشان می‌دهد که از روز پنجاهم تا نزدیک روز شصتو دوم روند تبخیر تعرق کاهشی است. در این بازه ۱۲ روزه باسرد شدن هوا (شکل ۲) و روندِ کاهشی تابش خالص (شکل ۳) همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری در سطح $\alpha=۰/۰۵$ ($r = -۰/۷۴$) میان زمان و تبخیر تعرق از کشتزار گندم وجود داشت. روند تبخیر– تعرق این دوره کاهشی و با شیب منفی معنی‌دار (۰/۰۶۵) بود. این روند نمایشگر کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه و کاهش رسانایی روزنه‌ای است. در این دوره گیاه با خواقلیمی[1] برای سرمای زمستانه آماده می‌شود و در پایان این دوره عملاً کنش‌های فیزیولوژیکی گیاه متوقف می‌شود.

در دوره سوم داشت گندم، در بازه زمانی ۸۵ روز سرد سال، تقریباً از روز ۶۲ تا روز ۱۴۷ پس از کاشت، روندی برای تبخیر تعرق روزانه دیده نشد، و شیب خط با صفر تفاوتی نداشت. در این دوره با افت کنش‌های فیزیولوژیکی گیاه تنها پاره تبخیر چیره بوده است و مقدار تعرق عملاً ناچیز بوده است.

1- Acclimation

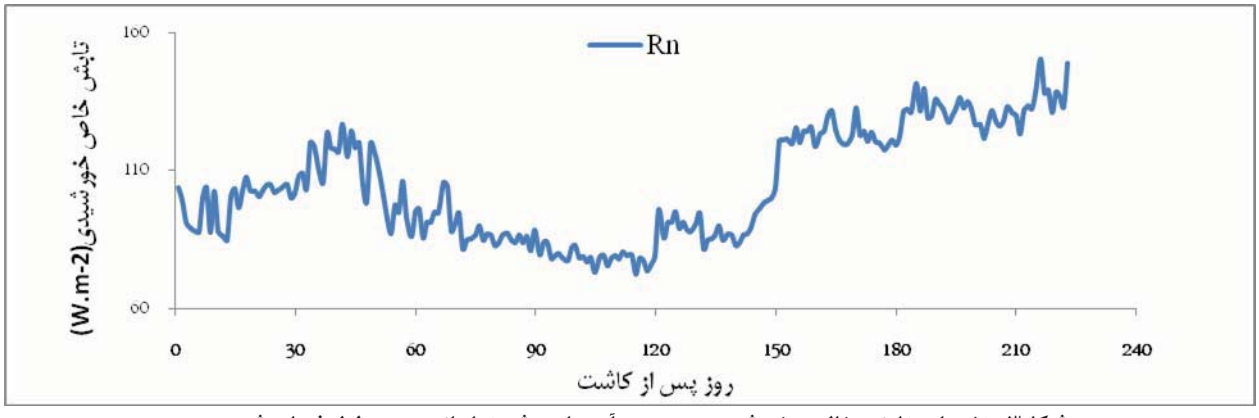


شکل۲- تغییرات میانگین دمای هوا در طول فصل رشد گندم رقم گاسکوژن

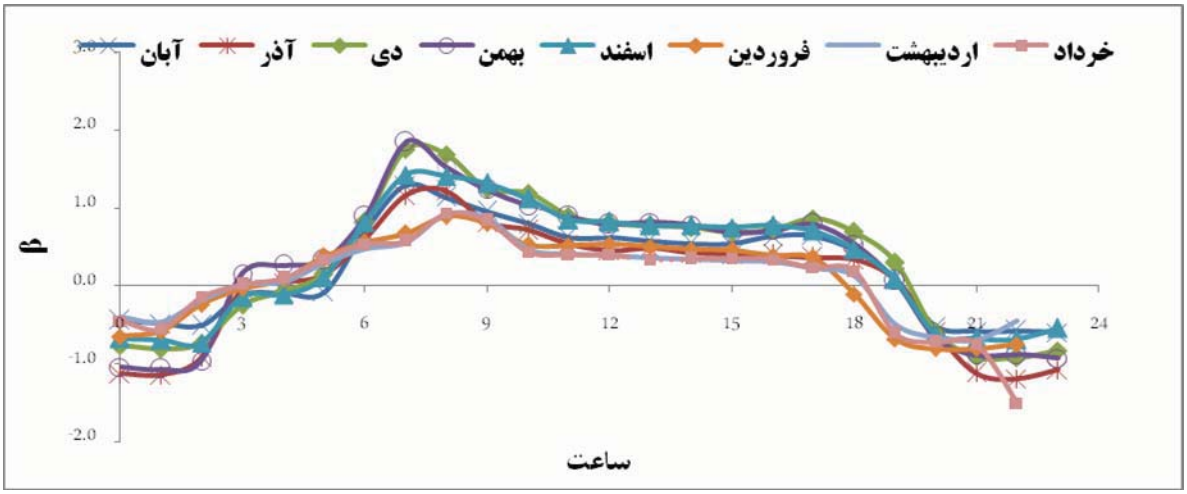
در این دوره به‌دلیل سردی هوا (شکل ۲)، انرژی اندکی (شکل ۳) هم برای تبخیر در دسترس بوده است. بهره تبخیر-تعرق در این دوره تقریباً ثابت بود، و با افت و خیز دمای هوا همخوانی داشته است (شکلهای ۱ و ۲). این دوره با دوره خواب زمستانه گیاه هم‌رخداد است.

شکل ۳ روند تغییرات روزانه تابش خالص را نشان می‌دهد. این روند با روند افزایش دما و تبخیر تعرق روزانه همخوانی بسیار بالایی دارد، که گویای آن است که تابش خالص نیروی رانش اصلی فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه تعرق و گرمای محسوس و تبخیر است.

از روزهای پایانی اسفند ماه (روزهای پس از روز ۱۴۷ پس از کاشت) با روند افزایشی تابش خالص، و با افزایش دمای هوا (شکل۲) به بالاتر از دمای پایه فیزیولوژیکی گیاه، یک سیر افزایشی با شیب تند (۰/۰۸) در روند تبخیر تعرق دیده می‌شود (شکل ۱). در یک بازه ۱۸ روزه همبستگی مثبت و بسیار بالایی (r = ۰/۸۵) میان زمان و تبخیر تعرق دیده می‌شود. این روند گویای افزایش کنش‌های فیزیولوژیکی و در نتیجه افزایش تعرق می‌باشد. در این دوره بایستی افزایش نمایه سطح برگ نیز در افزایش تبخیر تعرق نقش چشمگیری داشته باشد. این بازه همزمان با مرحله ساقه‌روی گندم می‌باشد. در دوره پایانی رشد و نمو گندم، نزدیک به دو ماه، از آغاز خوشه‌دهی تا خمیری شدن دانه، گرچه مقدار تبخیر تعرق در این دوره نسبت به دوره‌های پیشین بسیار بالاتر است، ولی روند افزایش تبخیر تعرق کند شده است. همبستگی مثبت و معنی‌داری (r = ۰/۶۰) میان زمان و تبخیر تعرق روزانه می‌شود. شیب خط رگرسیون (۰/۰۰۹) در این دوره گرچه با صفر تفاوت معنی‌داری داشت، ولی نسبت به دو روند افزایشی پاییزه و بهاره کمتر بود. رفتار تبخیر تعرقی این دوره گویای آن است که ساختار آسمانه گیاهی کامل شده است و گیاه به اوج نمایه سطح برگ خود رسیده است. بنابراین، شیب کم روند افزایش تبخیر تعرق این بازه بایستی ناشی از افزایش دما و افزایش تابش خالص بوده باشد.



شکل۳- تغییرات تابش خالص خورشیدی به دست آمده از روش تراز انرژی در طول فصل رشد



شکل٤- میانگین تغییرات نسبت باون در طول روز در ماه های مختلف

شکل ۴ میانگین ساعتی نسبت باوِن را برای ماه‌های مختلف در دوره رشد و نمو گندم نشان می‌دهد. این نسبت در همه ماه‌ها‌در درازای شب منفی است. با برآمدن خورشید این نسبت رو به افزایش گذاشته و در ساعت‌های آغازین روز به بیشینه خود رسیده است. در ۵ ماه نخست دوره رشد و نمو گندم، ماه‌های آبان تا اسفند، بیشینه نسبت باون بین ساعت‌های ۷ تا ۸ بامداد رخ داده است، و در سه ماهه بهار این بیشینه با اندکی پسماند نیز در همین ساعت‌ها روی داده است.

در هر ماه دو بیشینه نسبت باون، یکی در بامداد و دیگری در عصر، دیده می‌شود. افزایش نسبت باون (شکل۴) در آغاز بامداد گویای آن است که با طلوع خورشید، زمین به سرعت گرم شده و بیشتر انرژی خالص صرف گرمای محسوس برای گرمایش هوا می‌شود. در ۵ ماه نخست دوره رشد و نموّ چون پوشش گیاهی اندک است، و در بیش از ۳ ماه از دوره فرایندهای زیستی گیاه کند است، سهم گرمای نهان در آغاز بامداد اندک است. در دو ماه سرد سال، دی و بهمن، سهم گرمای محسوس بسیار بیشتر از ماه‌های دیگر بوده است. در نیمروز سهم شار گرمای نهان افزایش می‌یابد، ولی در نزدیکی‌های ساعت ۱۸ باز نسبت اوج گرفته است. چنین انگاشته می‌شود که با غروب خورشید روزنه‌های برگ بسته شده، بنابراین سهم گرمای نهان کاهش می‌یابد و نسبت باون افزایش یافته است.

در سه ماهه بهار به‌دلیل پوشش گیاهی فشرده در سطح خاک دمای هوا به‌کندی افزایش می‌یابد و بیشینه نسبت باون تقریباً با اندکی تاخیر، در همسنجی با ماه‌های زمستان، رخ می‌دهد. این نسبت از پیش از ظهر با افزایش فعالیت‌های فیزیولوژیکی و باز شدن روزنه‌ها و به دنبال آن افزایش سهم گرمای نهان آغاز به کاهش می‌کند و در سراسر روز یک روند کاهشی را طی می‌کند و پس از یک افزایش نسبتاً کم در ساعت‌های پس از ۵ عصر، دوباره کاهش می‌یابد تا جایی که با غروب خورشید میزان آن به صفر می‌رسد.

برای بررسی اثر فصل و دوره رشد و نموّ روی تبخیر تعرق برآوردی با نسبت باون و اندازه‌گیری مستقیم از لایسیمتر، دوره رشد و نموّ گندم برپایه رفتار شکل ۱ به سه بازه از کاشت تا خواب زمستانی (۷۷ روز)، از خواب زمستانی تا از سرگیری فعالیت‌های فیزیولوژیکی در روزهای پایانی اسفند (۶۰ روز)، و بازه سوم تا پایان رسیدن فیزیولوژیکی دانه (۸۶ روز) تقسیم شد. میانگین آهنگ تبخیر تعرق روزانه در بازه بهار به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو بازه زمانی دیگر بود (جدول ۲). اگر بپذیریم که در ۶۰ روزی که آهنگ تبخیر تعرق ثابت بود (شکل ۱) گیاه هیچگونه فعالیت فیزیولوژیکی بارزی نداشته است، بنابراین تلفات آب در این دوره تنها از راه تبخیر بوده است. در مقایسه با بازه میانی مقدار شار گرمای نهان در بهار ۷۹درصد افزایش یافته است، در حالی که در مقایسه بهره تبخیر تعرق پاییز با زمستان این افزایش ۳۴درصد بوده است.

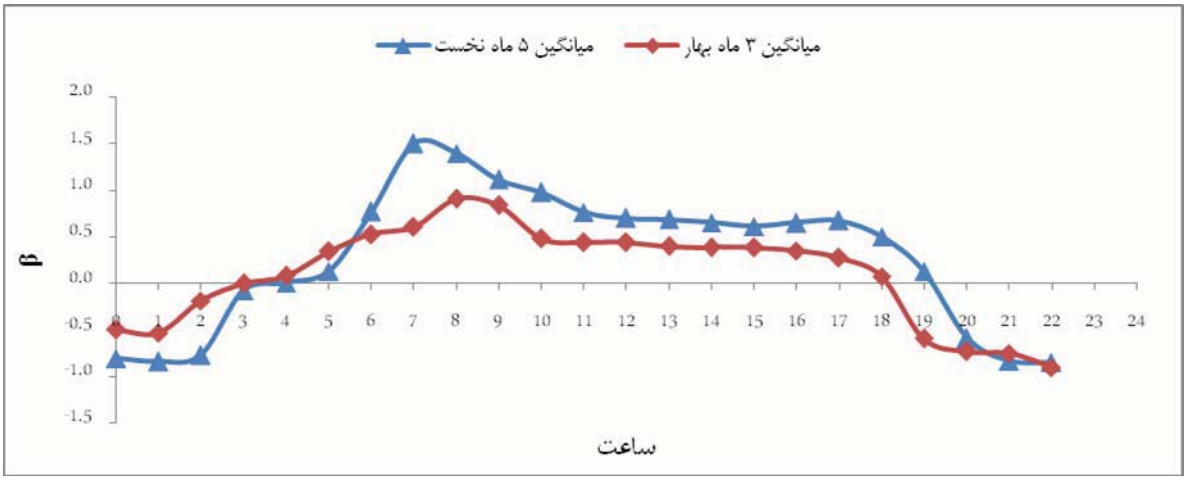
میانگین روزانه نسبت باون در ۵ ماه سرد سال به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین ۳ ماه بهار بود (شکل ۵). دلیل این تفاوت افزایش گرمای نهان تبخیر در فصل بهار نسبت به پیش می‌باشد. این شکل گویای آن است که به‌دلیل افزایش نمایه سطح برگ و افزایش شار گرمای خالص در بهار مقدار شار گرمای نهان بیشتر از ۵ ماهه نخست بوده است. آمیرو مطالعه‌ای در جنگل‌های شمالی انجام داد و میانگین روزانه‌ی نسبت باون را در فصل پاییز ۰/۱ تا ۰/۵ به دست آورد (۵).

در این تحقیق میزان این نسبت در این فصل حدود ۰/۳ برآورد شد (شکل۵) که همخوانی بالایی با یافته‌های آمیرو دارد.

جدول ۲- اثر فصل سال بر آهنگ تبخیر تعرق روزانه (میلیمتر) در کشت گندم زمستانه، برای دو روش نسبت باون و لایسیمتری

فصل رشد	شیوه اندازه‌گیری تبخیر تعرق*	
	نسبت باون	لایسیمتر
پاییز (کاشت –پنجه‌زنی؛ ۷۷ روز)	۲/۳۶۳[b]	۲/۳۹۵[b]
زمستان (دوره خواب؛ ۶۰ روز)	۱/۷۶۲[c]	۱/۸۱۳[c]
بهار (ساقه‌روی –رسیدن فیزیولوژیکی؛ ۸۶ روز)	۳/۱۵۷[a]	۳/۱۷۶[a]
میانگین	۲/۴۲۷	۲/۴۶۱

در هر سطر میانگین‌هایی که دارای حرف مشترکی هستند تفاوت معنی‌داری ندارند (p = ۰/۰۵)



شکل۵- میانگین تغییرات نسبت باون روزانه برای ۵ ماه سرد سال و ۳ ماه بهار

نتیجه‌گیری

با استفاده از روش تراز انرژی می‌توان تبخیر – تعرق را بطور پیوسته و در دوره‌های کوتاه مدت (ساعتی) و بلند مدت اندازه‌گیری کرد. روند تغییرات تبخیر – تعرق گندم و گیاه مرجع نشان داد که در آغاز فصل رشد سهم تبخیر از سطح خاک، از تبخیر – تعرق صورت گرفته بیشتر بوده ولی با شروع جوانه‌زنی بذر و رشد گندم، رفته رفته سهم تعرق از تبخیر پیشی می‌گیرد. با شروع فصل سرما و کاهش دمای هوا از یک طرف و کاهش تابش خالص از طرف دیگر، گیاه در خواب زمستانی فرو می‌رود و مقدار تبخیر – تعرق ثابت می‌ماند. در این دوره، با کاهش فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه، سهم تعرق عملاً ناچیز بوده‌است. پس از آن، در بهار، با افزایش دمای هوا و از سرگرفتن فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه، تبخیر – تعرق افزایش یافته و به بیشترین مقدار خود در زمان گلدهی می‌رسد.

اجزای معادله تراز انرژی در سطوح فعال و غیر فعال از نظر رویشی به طور قابل توجهی تفاوت دارند. بزرگ‌ترین شار خارج شده از روی یک سطح غیر فعال، شار گرمای محسوس است، ولی در سطوح فعال همیشه شار گرمای نهان است که بیشترین مقادیر را دارد و می‌توان نتیجه گرفت که پوشش گیاهی و مرحله رشد گیاه نقشی اساسی در فرآیند شکل‌گیری ساختار تعادل گرمایی اکوسیستم ها دارند. از طرفی رشد گیاهان فرآیند تعرق را شدت بخشیده و باعث می شود قسمت اعظم انرژی تابشی خالص را مصرف کند، انرژی که می‌توانست باعث گرم شدن هوا و یا خاک شود. از طرف دیگر زمانی که گیاهان به طور کامل رشد کرده‌اند با جلوگیری از ورود شار گرمایی به خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک باعث می‌شود که انرژی باقی مانده صرف بالا رفتن دمای هوا (گرمای محسوس) گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشاهده شد که دقت روش تراز انرژی در برآورد تبخیر – تعرق بسیار بالاست و اختلاف معنی‌داری بین این روش و روش مستقیم وجود ندارد. از آنجایی که امکان فراهم نمودن لایسیمتر در هر منطقه‌ای وجود ندارد، می‌توان از روش تراز انرژی به عنوان روشی معتبر و مناسب برای اندازه‌گیری تبخیر – تعرق استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله بر خود واجب می‌دانم از تمام عزیزانی که در تمام مراحل این پژوهش از نظرات ارزنده شان بهره بردم، تشکر و قدردانی نمایم. همچنین از مدیریت محترم گروه مهندسی آب دانشگاه

فردوسی مشهد، به خاطر فراهم کردن امکان استفاده از دستگاه تراز انرژی، و راهنمایی‌های ارزشمندشان بسیار سپاسگزارم.

منابع

۱- شریعتی م . ۱۳۷۷. بررسی تبخیر- تعرق پتانسیل یونجه به عنوان گیاه مرجع با استفاده از لایسیمتر. نهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مدیریت تحقیق و بهره‌برداری از آب در کشاورزی. شماره ۲۱.

۲- شیرغلامی ه. ۱۳۸۲. بررسی روند تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایران. پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد. شماره ۴۰۰.

۳- مهاجرپور م.، موسوی بایگی م. و هاشمی‌نیا م. ۱۳۸۷. اندازه‌گیری تبخیر – تعرق گیاه مرجع از روش بالانس انرژی (نسبت باون) و مقایسه آن با داده‌های لایسیمتر. مجله علمی – پژوهشی علوم و صنایع کشاورزی ویژه آب و خاک، ۱۳-۲۲:(۱)۲۲.

4- Amarakoom D. and Mcrean P. 2000. Estimating day time rate of heat flux and evapotranspiration inJamiica. Agricultural and Forest Mereorology, 102:113-124.

5- Amiro B. 2009. Measuring boreal forest evapotranspiration using the energy balance residual.Journal of Hydrology. 366: 112–118.

6- Attarod P., Aoki M. and Bayramzadeh V. 2009. Measurments of the actual evapotranspirationand crop coefficients of summer and winter seasons crops in Japan. Plant Soil Environ, 55: 121-127.

7- Brunel J.P., Ihab J., Droubi A.M. and Samaan S. 2006. Energy budget and actual evap-otranspiration of an arid oasis ecosystem: Palmyra (Syria). Agricultural WaterManagement, 84:213–220.

8- Fritchen L.J. 1965. Accuracy of evapotranspiration determination by the Bowen Ratio Method. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture. Arizona.

9- Gay L. W. 1993. Evaporation measurements for catchment scale water balance. Proceeding of International Seminar of Watershed Management, Hermosillo, Sonora, Mexico, Universidael de Sonora – university of Arizona, 68-86.

10- Herbst M., Kappen L., Thamm F. and Vanselow R. 1996. Simultaneous measurements of transpiration, soilevaporation and total evaporation in a maize field in northern Germany.Journal of Experimental Botany. 47:1957-1962.

11- Margaret R. and Prater Evan H. 2006. Non-native grasses alter evapotranspiration and energybalance in Great Basin sagebrush communities. Agricultural and Forest Meteorology, 139: 154–163.

12- Ortega-Farias S., Carrasco M., Olioso A., Acevedo C. and Poblete C. 2007. Latent heatflux over Cabernet Sauvignon vineyard using the Shuttleworth and Wallace model. Irrigation Science, 25:161–170.

13- Perez P.J., Castellvi F., Ibanez M. and Rosell J.I. 1999. Assessment of reliability of Bowenratio method for partitioning fluxes. Agricultural and Forest Meteorology, 97:141–150.

14- Savage M. J., Everson C. S. and Metelerkamp, B. R. 2009. Bowen ratio evaporation measurement ina remotemountain grassland: Data integrity andfluxes. Journal of Hydrology, 376: 249-260.

15- Yanyun S., Yongqiang Z. and Akihiko K. 2003. Seasoralradiation of energy panitioning in irrigated lands. Chiba Universiry of Japan, 263 (2): l-33.

16- Yangjun S., Akihiko K. and Changyuan T. 2002. Measurement and analysis of evapotranspiration and surface conductance of a wheat canopy. Hydrologycal Process, 16: 2173-2187

17- Zhang B., Kang Sh. Li. F., and Zhang L. 2008. Comparison of three evapotranspiration models to Bowenratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. agricultural and Forest Meteorology, 148: 1629–1640.

18- Zhang B., Kang Sh. Li. F. and Tong L. Du. T. 2010. Variation in vineyard evapotranspiration in an arid region of northwest China. Agricultural Water Management, 97: 1898–1904.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No.5, Nov.-Dec. 2012, p. 1152-1160

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۱، ص. ۱۱۶۰-۱۱۵۲

Comparing Wheat Evapotranspiration Estimated by Bowen Ratio Energy Balance (BREB) Method with Result of Lysimeter

M. Ghaemi Baygi[1]*- M. Raeini Serjaz[2] - M. Mousavi Baygi[3]

Received: 17-12-2011
Accepted: 05-08-2012

Abstract

Evapotranspiration is one of the important elements of the hydrologic cycle in agricultural projects. Energy balance (the bowen ratio) is a method for estimating evapotranspiration of plant which is based on measurements of temperature and humidity gradients in two different heights of a plant. An experiment was conducted in agriculture faculty of Ferdowsi university of Mashhad by using three Lysimeter to estimate evapotranspiration of Gascogne wheat and the resulting were compared with direct method. Required data for measuring the amount of evapotranspiration using energy balance method was obtained throughout plant phenology with one hour intervals using energy balance (model 5200 – DIK) estimation device of evapotranspiration was daily calculated. The rate of daily evapotranspiration that obtained by using energy balance method amounted to 2.4 mm which is in a high correlation (0.98) with the Laysimeter result that was 2.4 mm. The range of Bowen ratio changes was between -1.5 to 1.9 during the day which the negative values occurs after sunset that is the sensible heat flux begins to decrease. The value of Boven ratio gradually increase so that it's maximum value between 8 AM to 9 AM, and then followed a decreasing trend until the afternoon.

Keywords: Bowen ratio, Energy balance, Evapotranspiration, Lysimeter, Wheat

1,2- MSc student of Agro Meteorology and Associate Professor, Water Engineering Department, Sciences and Natural Resources University of Sari
(*-corresponding Author Email: Mary_ghaemi@yahoo.com)
3- Associate Professor of Meteorology, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad