نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۳، مرداد - شهریور ۱۳۹۸، ص. ۷۳۶-۷۲۷

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 13, Agu.-Sept. 2019, p. 727-736

برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل از روش موازنه انرژی در مقایسه با روش تشتک تبخیر و فائو پنمن مونتیث

مهدی جوزی[1*]، حمید زارع ابیانه[2]، حسن هژبر[3]، احمد خسرایی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۸/۲۵

چکیده

هدف از این تحقیق تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل (ETo) با استفاده از روش‌های موازنه انرژی و تشت تبخیر در مقایسه با روش فائو پنمن مونتیث بود. منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۳۷ کیلومتری شمال ارومیه واقع گردیده‌است. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کهریز مربوط به یک دوره زمانی ۷ ماهه از ماه آوریل تا اکتبر طی سال‌های ۲۰۰۶ الی ۲۰۰۸ میلادی استفاده گردید. بعد از تجزیه و تحلیل داده‌ها میزان تبخیر- تعرق پتانسیل به هر سه روش، به‌صورت روزانه و ماهانه تعیین گردید. نتایج نشان داد میزان برآورد ETo در روش موازنه انرژی دقیق‌تر از روش تشت تبخیر می‌باشد. حداکثر و حداقل میانگین سه ساله ETo در روش موازنه انرژی (محاسبه شده با ضریب بازتابش، ٪۲۵=α) به‌ترتیب ۸/۵ و ۲/۷ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. این مقادیر در روش تشت تبخیر به‌ترتیب ۶/۵ و ۰/۹ و در روش فائو پنمن مونتیث ۱۱/۳ و ۲/۹ میلی‌متر بر روز محاسبه گردید. در روش موازنه انرژی مقادیر میانگین سه ساله نسبت باون (β) و تشعشع خالص خورشیدی به‌ترتیب بین ۰/۴۱۳۴- تا ۰/۲۴۴۳- و ۱/۷ تا ۸/۴ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. در روش تشت تبخیر مقدار ضریب تشت بین ۰/۴۵ تا ۰/۸۲ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: تابش خالص خورشیدی، ضریب تشت، کهریز، نسبت باون

مقدمه

آگاهی از مقدار تبخیر- تعرق[5] (ET) برای محاسبات ذخیره آب خاک، رواناب، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی و بهره‌وری از آب ضروری است (Evett et al., 2012). تبخیر- تعرق پتانسیل[6] (ET_P) حداکثر مقدار آب بخار شده از سطح خاک و پوشش گیاهی تحت شرایط عدم محدودیت آب می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). در فرآیند تبخیر- تعرق عوامل مختلف طبیعی (خاک، گیاه و اتمسفر) و انسانی وجود دارند که در اندرکنش با یکدیگرند و به‌همین دلیل اندازه‌گیری دقیق تمام پارامترها میسر نیست. تا کنون بیش از ۵۰ روش تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع[7] (ET_0) در قالب روش‌های ترکیبی، آئرودینامیک و تجربی ارائه شده است، که اغلب با توجه به تفاوت در نیاز اطلاعاتی، نتایج متفاوتی دارند (Grismer et al., 2002). از جمله روش‌های برآورد تبخیر- تعرق گیاهی، روش موازنه انرژی[8] یا نسبت باون[9] و روش تشت تبخیر است که به‌عنوان دو روش مرسوم برای تعیین تبخیر- تعرق گیاهان کاربرد دارند. تبخیر از تشت به‌عنوان شاخصی مناسب برای برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع و در نهایت گیاه اصلی است (Irmak et al., 2002). استفاده از تشت تبخیر به‌دلیل سادگی، سهولت تفسیر داده‌های آن و داشتن دقت خوب برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع مناسب است (Irmak et al., 2002). به‌همین ترتیب روش موازنه انرژی نیز برای مطالعه فرآیندهای تبادل انرژی در سطح مزرعه به‌عنوان روشی دقیق و اقتصادی می‌باشد (Zeggaf et al., 2008). در این راستا پانا و همکاران نیز ضمن تاکید بر اقتصادی بودن روش بیلان انرژی نشان دادند برآوردهای حاصل از این روش، برای تعیین تبخیر- تعرق مزارع برنج از دقت لازم برخوردار

۱- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
۳- دانش آموخته گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
(* - نویسنده مسئول: (Email: jovzimehdi11@yahoo.com

5- Evapotranspiration
6- Potential evapotranspiration
7- Refrence evapotranspiration
8- Energy balance
9- Bowen ratio

است (Pana et al., 2001). اجزاء مورد نیاز در معادله موازنه انرژی جریان گرمای نهان، گرمای محسوس، جریان گرما در خاک و تابش خالص خورشیدی[1] (Rn) است که با اندازه‌گیری آن‌ها می‌توان میزان تبخیر- تعرق از سطوح مرطوب را تعیین نمود. دوگاس و همکاران طی پژوهشی تبخیر- تعرق گیاه یونجه را از روش موازنه انرژی محاسبه و با نتایج لایسیمترهای وزنی مقایسه کردند. نتایج نشان داد اندازه‌گیری‌های روزانه تبخیر- تعرق توسط روش موازنه انرژی تطابق زیادی با اندازه‌گیری‌های لایسیمتری دارد. ولی در زمان‌هایی که میزان تبخیر- تعرق بیش از ۶ میلی‌متر بود افزایش برآوردی در اندازه‌گیری ET در روش موازنه انرژی مشاهده نشد (Dugas et al., 1988). مجیدی و همکاران (۱۳۹۳) برآوردهای بیلان انرژی، ارزیابی روش‌های تابش- دما و روابط ترکیبی را در مورد تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها به‌کار بردند نتایج آن‌ها نشان داد که روش بیلان انرژی میزان تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها را نسبت به سایر روش‌های تابش- دما و روابط ترکیبی بهتر برآورد می‌کند. رمضانی خوجین و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی حساسیت تبخیر- تعرق را با استفاده از مدل موازنه انرژی روزانه و مدل سبال مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل موازنه انرژی روزانه تطابق خوبی با داده‌های لایسیمتری در برآورد تبخیر- تعرق دارد. یانیون و همکاران طی تحقیقی در چین اجزاء معادله انرژی در مزارع ذرت و گندم را در طول سه سال (۲۰۰۱-۱۹۹۸) از روش موازنه انرژی (نسبت باون) اندازه‌گیری کردند. طی این مدت، تابش خالص خورشیدی از ۳۱/۶ تا ۶۶۸/۱ وات بر متر مربع، جریان گرمایی خاک از ۱۲/۷ تا ۱۷۰/۹ وات بر متر مربع، جریان گرمای محسوس از مقادیر زیر صفر تا ۳۵۰ وات بر متر مربع و جریان گرمای نهان از صفر تا ۵۸۰ وات بر متر مربع متغیر بود. در این پژوهش، نسبت باون به‌عنوان روشی برای اندازه‌گیری انرژی در دسترس فرآیند تبخیر- تعرق در نظر گرفته‌شد و نتایج نشان داد که این روش علاوه بر اندازه‌گیری‌های کوتاه مدت می‌تواند برای اندازه‌گیری‌های فصلی و دراز مدت نیز مورد استفاده قرار گیرد (Yanyun et al., 2003). شیری و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی مقادیر روزانه نسبت تبخیر- تعرق مرجع یونجه به چمن را محاسبه و سهم مولفه‌های آئرودینامیکی و توازن انرژی در تبخیر- تعرق را در آذربایجان شرقی تعیین نمودند. نتایج حاکی از نقش مهم هر دو مولفه در فرآیند تبخیر- تعرق بود. یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر- تعرق را به کمک سنجش از دور در مناطق نیمه خشک مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد بین مدل پنمن مانتیث و سبال ضرایب خطای کمتری در تخمین تبخیر- تعرق وجود دارد. زگاف و همکاران در ژاپن روش نسبت باون را برای جداسازی تعرق گیاه ذرت و تبخیر از خاک به‌کاربردند. در تحقیق آن‌ها میزان تشعشع خالص خورشیدی ۳۷۶-۱۵۷ وات بر متر مربع، تبخیر- تعرق پتانسیل ۶/۷-۰/۷ میلی‌متر بر روز، تشعشع خالص خورشیدی جذب شده توسط گیاه، ۱۵۶-۷۱ وات بر متر مربع، تشعشع خالص خورشیدی رسیده به سطح خاک ۲۲۵-۹۰ وات بر متر مربع و جریان گرمای خاک ۵۷-۱۰ وات بر متر مربع به‌دست آوردند (Zeggaf et al., 2008). شی و همکاران روش‌های تعیین تبخیر- تعرق را با سه روش کوواریانس گردابی، نسبت باون و پنمن مونتیث مورد ارزیابی قرار دادند. اندازه‌گیری‌های میکرومتریک انجام شده نشان داد که نسبت باون و پنمن- مونتیث دو روش مؤثر برای برآورد تبخیر- تعرق می‌باشند (Shi et al., 2008). روش نسبت باون به‌طور گسترده توسط محققان در جهت تخمین تبخیر- تعرق مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش پنمن مونتیث مزایایی همانند روش نسبت باون دارد با این وجود که در تعیین میزان تخلیه سطحی با مشکل مواجه است و برای پوشش گیاهی کوتاه با ذخایر آب نامحدود در خاک مناسب می‌باشد. روش‌های نسبت باون و پنمن مونتیث در هوای مرطوب هر دو نسبتاً دقیق هستند و مقادیر خطاهای بالایی در هوای خشک دارند. قائمی بایگی و همکاران (۱۳۹۱) تبخیر- تعرق گیاه گندم را در طی دوره رشد با روش نسبت باون برآورد نمودند و با نتایج لایسیمتر مورد مقایسه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد تبخیر- تعرق روزانه گندم با روش نسبت باون ۲/۴ و با استفاده از لایسیمتر ۲/۴۴ میلی‌متر در روز به‌دست آمد که این نشان از همبستگی زیاد بین دو روش بود. هم‌چنین آن‌ها بیان نمودند به‌دلیل این‌که امکان فراهم نمودن لایسیمتر در هر منطقه‌ای وجود ندارد، روش نسبت باون به‌عنوان روشی معتبر و مناسب برای اندازه‌گیری تبخیر- تعرق حائز اهمیت است.

آگاهی از میزان تبخیر- تعرق پتانسیل و گیاهی از ارکان مهم در طراحی سیستم‌های آبیاری می‌باشد. برای برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل می‌توان از اطلاعات و داده‌های هواشناسی استفاده کرد. در این راستا روش‌هایی که از اطلاعات و داده‌های هواشناسی استفاده می‌کنند روش موازنه انرژی و تشت تبخیر است. هدف از این تحقیق برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل با روش‌های موازنه انرژی و تشت تبخیردر منطقه کهریز استان آذربایجان غربی و تعیین دقت برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل توسط روش‌های ذکر شده نسبت به روش استاندارد فائو پنمن مونتیث می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در استان آذربایجان غربی و در فاصله ۳۷ کیلومتری شمال ارومیه واقع شده‌است. در این تحقیق از داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کهریز (واقع در استان آذربایجان غربی) مربوط به یک دوره زمانی ۷ ماهه از ماه آوریل تا اکتبر طی سال‌های

1- Net Radiation

۲۰۰۶ الی ۲۰۰۸ میلادی استفاده‌گردید. این بازه زمانی ۷ ماهه به دلیل قرار گرفتن در فصل زراعی گیاهان انتخاب شد.

ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کهریز در مختصات جغرافیایی"۵۳ '۳۷ عرض شمالی و"۵۹ '۴۴ طول شرقی در ارتفاع ۱۳۲۵ متری از سطح دریا قرار دارد. متوسط بارندگی سالیانه ۳۵۰ میلی‌متر و متوسط سالیانه درجه حرارت روزانه ۱۱/۴ درجه سلیسیوس است (رضوی، ۱۳۸۰). اقلیم این ایستگاه براساس اقلیم‌نمای دومارتن[1] با شاخص ۱۶/۳۶ از نوع آب و هوای نیمه‌خشک می‌باشد.

روش موازنه انرژی (نسبت باون)

همان‌گونه که در بررسی منابع اشاره شد یکی از روش‌های برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل، روش موازنه انرژی است. براساس این روش در صورتی‌که بین سطح مرطوب گیاه و خاک، با هوای مجاور آن، شیب بخار اشباع وجود داشته باشد، آب می‌تواند به‌صورت بخار از سطح با فشار بخار بیشتر به سطح با فشار بخار کمتر جابجا شود. لیکن مقدار کمی بخار جابجا شده که معادل تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_o) است براساس مقدار انرژی موجود در سطح گیاه و خاک کنترل می‌گردد. در این روش، انرژی موجود برای تبخیر آب از معادله ۱ به‌دست می‌آید.

$$Rn = ET_o + G + H + M \qquad (۱)$$

که در آن، Rn تابش خالص ورودی به سطح مورد نظر، ET_o مقدار گرمایی است که صرف تبخیروتعرق از سطح مورد نظر می‌گردد (جریان گرمای نهان)، G مقدار گرمای لازم برای افزایش درجه حرارت خاک، H مقدار گرمایی که صرف افزایش درجه حرارت محیط می‌شود (جریان گرمای محسوس)، M نشان‌دهنده بخش‌های متفرقه مصرف انرژی از جمله، مقدار انرژی لازم برای انجام فتوسنتز گیاه و مقدار گرمایی که در گیاه ذخیره می‌شود (همگی بر حسب میلی‌متر بر روز).

تاکونت و همکاران دریافتند که حتی در مورد مزرعه ذرت با ارتفاع سه متر (که محصول آن به ۱۷ تن در هکتار می‌رسد) میزان ذخیره انرژی در گیاه حداکثر یک درصد کل بیلان حرارتی می‌باشد (Taconet et al., 1986). اوت و همکاران نیز در برآورد تبخیر- تعرق مقدار M را صفر و یا ناچیز در نظرگرفتند (Evett et al., 2012). بنابراین در کلیه کارهای عملی می‌توان از مقدار فتوسنتز و ذخیره حرارتی گیاه به‌دلیل کم‌بودن در معادله توازن انرژی صرفه‌نظر نمود (Calvet, 2000; Yunusa et al., 2011). مقدار G نیز ممکن است تا ۱۵ درصد Rn برسد و اگر از آن صرف نظر شود از دقت عمل، زیاد کاسته نمی‌شود. در نتیجه معادله اصلی بیلان انرژی به‌صورت زیر در می‌آید (علیزاده، ۱۳۸۹).

$$Rn = ET_o + H \qquad (۲)$$

جداسازی انرژی بین H و ET_o از طریق نسبت باون صورت می‌گیرد. نسبت گرمای محسوس به گرمای نهان از انرژی در دسترس یک سطح (Rn)، نسبت باون (β) نامیده‌می‌شود (Bowen, 1926; Henderson-Sellers, 1984; Amarakoom and Mclean, 2000; Stannard et al., 2004; Perez et al., 2008).

$$\beta = H/ET_o \qquad (۳)$$

از معادله ۳، $H = \beta\ ET_o$ می‌باشد و با جای‌گذاری در معادله ۲، معادله نهایی تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل به صورت زیر به‌دست آمد.

$$ET_o = Rn / (1+\beta) \qquad (۴)$$

که در آن، β نسبت باون است و با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد.

$$\beta = \gamma\ (T_s - T_a) / (e_s - e_a) \qquad (۵)$$

که در آن، T_s دمای تر هوا (°C)، T_a دمای خشک هوا (°C)، e_a فشار بخار هوا (mbar)، e_s: فشار بخار اشباع هوا (mbar) و γ ثابت سایکرومتری (mbar/°C) می‌باشد. ثابت سایکرومتری (γ) نیز از رابطه زیر به‌دست آمد:

$$\gamma = 1615Pa / [(2.49 \times 106) - (2.13 \times 103)\ T_a)] \qquad (۶)$$

که در آن،Pa فشار هوا (mbar)، T_a دمای خشک هوا (°C) می‌باشد (علیزاده، ۱۳۸۹).

در معادله ۴، Rn با توجه به دستورالعمل موجود در نشریه شماره ۲۴ فائو مطابق رابطه زیر مورد محاسبه قرار گرفت (Doorenbos and Pruitt, 1977).

$$Rn = (1-\alpha)\ [0.25 + 0.50\ (n/N)]\ Ra - \sigma\ T4\ [0.34 - 0.044\ \sqrt{e_a}\ ]\ [0.1 + 0.9\ (n/N)] \qquad (۷)$$

که در آن، Rn تابش خالص ورودی به سطح مورد نظر (mm/day)، n تعداد ساعات واقعی آفتاب در روز (hr)، N حداکثر ساعات روشنایی در روز (hr)، e_a فشار بخار هوا (mbar)، T میانگین درجه حرارت روزانه (°K)، σ ضریب ثابت استفان – بولتزمن (2.016×10^{-9} mm/day °K4)، Ra تابش برون زمینی[2] (mm/day)، α آلبیدو (ضریب بازتاب، تابش خورشید بر حسب اعشار) می‌باشد.

در رابطه فوق، Ra تابعی از عرض جغرافیایی و زمان سال بوده و بر اساس جدول موجود در نشریه شماره ۲۴ فائو برای منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. α نیز به ماهیت پوشش سطح بستگی دارد و برای سطحی با پوشش آبی، ۵ تا ۷ درصد بوده و هر چه پوشش گیاهی سطح افزایش پیدا کند این ضریب نیز افزایش پیدا کرده، به‌طوری‌که برای پوشش گیاهی کم تا زیاد بین ۱۵ تا ۲۵درصد می‌باشد. بر این اساس، به‌منظور محاسبه Rn از سه ضریب متفاوت α (۷، ۱۵ و ۲۵ درصد) استفاده شد و با استفاده از ضرایب ذکر شده برای α، سه تبخیر- تعرق پتانسیل(ET_o) براساس روش موازنه انرژی

1- Demartan

2- Extraterrestrial radiation

در منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد.

روش تشتک تبخیر

یکی دیگر از روش‌های برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل، روش تشتک تبخیر می‌باشد. اگر مقدار تبخیر از تشت (میلی‌متر بر روز) در یک دوره زمانی مشخص (روز یا ماه) برابر E_P باشد، آنگاه تبخیر- تعرق پتانسیل (میلی‌متر بر روز) در همان دوره به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$ETo = K_P E_P \qquad (۸)$$

که در آن، K_P ضریب تشت (بی بعد) می‌باشد و بستگی به سرعت باد، رطوبت هوا، ارتفاع از سطح دریا، وضعیت استقرار تشت و محیط اطراف آن دارد. در تبدیل مقادیر تبخیر از تشت به تبخیر- تعرق پتانسیل از ضریب تشت استفاده می‌شود. این ضریب از روش‌های مختلف، قابل برآورد است. نتایج یک پژوهش انجام شده در منطقه گرگان نشان‌دهنده مناسب بودن ضریب تشت برآورد شده به روش اورنگ و اشنایدر اصلاحی در مقیاس زمانی روزانه، روش کونیکا، آلن پروت و اشنایدر اصلاحی برای دوره‌های ده روزه و روش اشنایدر اصلاحی و کونیکا برای تبخیر- تعرق ماهیانه بود (شریفان و قهرمان، ۱۳۸۵) .

با توجه به این‌که تشت تبخیر موجود در ایستگاه هواشناسی کهریز، تشت تبخیر کلاس A مستقر در محیط سبز بود لذا از معادله زیر که در نشریه شماره ۵۶ فائو ارائه شده، برای محاسبه ضریب تشت[1] (K_P) استفاده گردید.

$$K_P = 0.108 - 0.0286\, u_2 + 0.0422\, Ln(FET) + 0.1434\, Ln(RH_{Mean}) - 0.000631\, [Ln(FET)]^2\, Ln(RH_{Mean}) \qquad (۹)$$

که در آن، u_2 میانگین سرعت باد روزانه در ارتفاع ۲ متری (m/s)، FET، فاصله سبزینگی که باد به سمت تشت می‌وزد (m) و RH_{Mean}، نیز میانگین روزانه رطوبت نسبی (درصد) می‌باشد (Allen et al., 1998).

روش فائو- پنمن- مونتیث

فائو در سال ۱۹۹۸ در نشریه ۵۶ روش فائو پنمن مونتیث را به‌عنوان روشی استاندارد برای تعیین تبخیر- تعرق گیاه مرجع پیشنهاد داد. براساس این نشریه، در شرایط عدم دسترسی به داده‌های دقیق لایسیمتری می‌توان از روش پنمن مونتیث فائو به‌عنوان روش استاندارد برای ارزیابی نتایج سایر روش‌های تجربی استفاده کرد (Allen et al., 1998; Shiri et al., 2014 a,b). تبخیر- تعرق توسط روش فائو پنمن مونتیث به‌صورت زیرتعیین می‌شود (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0.408\,\Delta\,(R_n - G) + \frac{900}{T+273} U_{2m}(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\, U_{2m})} \qquad (۱۰)$$

ET_o تبخیر- تعرق پتانسیل برحسب میلی‌متر در روز، Rn تابش خالص ورودی به سطح (مگاژول به مترمربع برروز)، U_{2m} میانگین روزانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، Tمیانگین روزانه دمای هوا (درجه سلسیوس)، e_s فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال) e_a فشار بخار واقعی (کیلو پاسکال)، Δ شیب منحنی فشار بخار (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس) γ ضریب ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سلسیوس).

نتایج و بحث

به‌منظور محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل از روش توازن انرژی، ابتدا نسبت باون با استفاده از رابطه ۵، در طی ماه های آوریل تا اکتبر سه سال مورد مطالعه، یعنی سال‌های ۲۰۰۶، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ به‌صورت روزانه مورد محاسبه قرار گرفت و نتایج آن در شکل ۱ نشان داده‌شد. هم‌چنین میانگین سه ساله تغییرات روزانه نسبت باون نیز مورد محاسبه قرار گرفت (شکل ۲).

شکل ۱- تغییرات روزانه نسبت باون در سال‌های مورد مطالعه

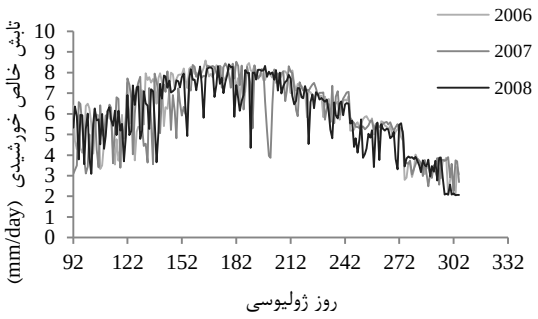
شکل ۲- میانگین سه ساله نسبت باون در مقیاس روزانه

با توجه به شکل ۱ حداکثر نسبت باون ۰/۲۳۲۷- (در سال ۲۰۰۶) و حداقل آن به مقدار ۰/۴۴۰۳- (در سال ۲۰۰۷) می‌باشد.

1- Pan coefficient

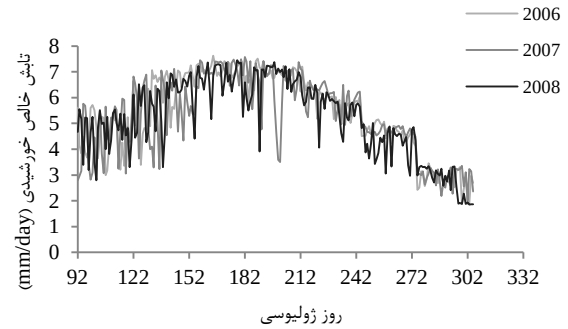
حداکثر و حداقل میانگین نسبت باون به ترتیب ۰/۲۴۴۳- و ۰/۴۱۳۴- به‌دست آمد. به اعتقاد علیزاده (۱۳۸۹) در مناطق مرطوب مقدار نسبت باون بین ۰ تا ۰/۱ بوده و در مناطق خشک مقدار آن به ۱۰ نیز می‌رسد و در صورتی که گرما از هوا به سطح گیاهی وارد شود مقدار نسبت باون منفی می‌گردد. در این مطالعه مقادیر نسبت باون منفی بوده که نشان می‌دهد گرما از هوا به سطح مورد مطالعه وارد می‌گردد.

میزان تابش خالص خورشیدی (Rn) با استفاده از رابطه ۷ به صورت روزانه در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ محاسبه شد (شکل ۳ تا ۵). به‌دلیل این‌که سطوح مختلف می‌تواند در منطقه مورد مطالعه وجود داشته‌باشد (که دارای ضرایب بازتابش متفاوتی هستند) لذا برای محاسبه Rn از ضرایب بازتابش ۷ (برای سطوح آبی) ۱۵ (سطوح با پوشش گیاهی کم) و ۲۵ (سطوح با پوشش گیاهی زیاد) درصد استفاده‌گردید. حداکثر تابش خالص خورشیدی معادل ۸/۵۸ میلی‌متر بر روز در سال ۲۰۰۶ با اعمال ضریب بازتابش ۷ درصد به معادله ۷ به‌دست آمد. به همین ترتیب، حداقل تابش خالص خورشیدی نیز به میزان ۱/۶۱ میلی‌متر بر روز در سال ۲۰۰۸ و با اعمال ضریب بازتابش ۲۵ درصد محاسبه شد. هم‌چنین، میانگین سه ساله تغییرات تابش خالص خورشیدی با ضریب‌های بازتابش (α) مختلف (۷، ۱۵ و ۲۵ درصد) در طول روزهای مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده‌شده‌است. حداکثر میانگین سه ساله تابش خالص خورشیدی برابر ۸/۴ میلی‌متر بر روز (α =٪۷) می‌باشد و حداقل آن ۱/۷ میلی‌متر بر روز(α=٪۲۵) گردید.

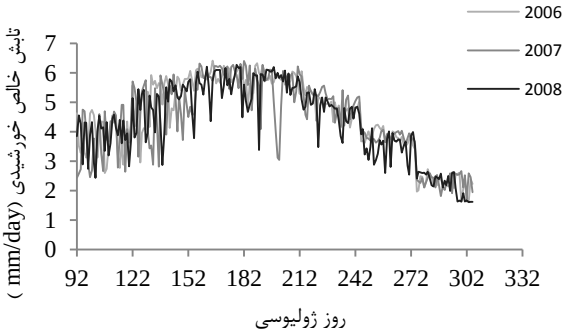


شکل ۳- تغییرات روزانه تابش خالص خورشیدی (Rn) با ضریب بازتابش ۷٪= α در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸

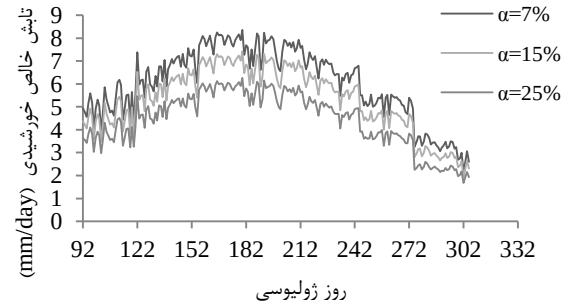
با تعیین شدن مقادیر نسبت باون (β) و میزان تشعشع خالص خورشیدی (Rn)، با استفاده از رابطه ۴، تبخیر- تعرق پتانسیل به‌روش موازنه انرژی به‌صورت روزانه (طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸) محاسبه گردید (شکل‌های ۷ تا ۹). حداکثر تبخیر- تعرق پتانسیل برای ضرایب بازتابش ۷، ۱۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب ۱۲/۲، ۱۰/۸ و ۹/۱ میلی‌متر در روز (هر سه در سال ۲۰۰۷) محاسبه گردید و حداقل آن نیز برای ضرایب بازتابش ذکر شده به‌ترتیب ۳/۳، ۲/۹ و ۲/۶ میلی‌متر در روز (هر سه در سال ۲۰۰۸) تعیین شد.



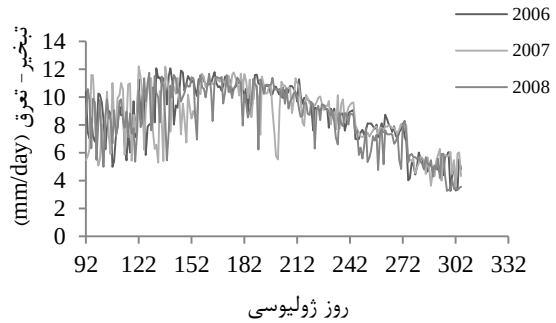
شکل ٤- تغییرات روزانه تابش خالص خورشیدی (Rn) با ضریب بازتابش ۱۵٪= α در طی سال‌های ۲۰۰٦ تا ۲۰۰۸.



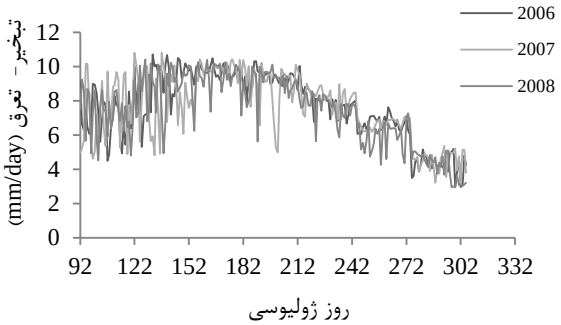
شکل ٥- تغییرات روزانه تابش خالص خورشیدی (Rn) با ضریب بازتابش ۲۵٪= α در طی سال‌های ۲۰۰٦ تا ۲۰۰۸



شکل ٦- میانگین سه ساله تغییرات تابش خالص خورشیدی با ضرایب بازتابش مختلف در مقیاس روزانه



شکل ۷- تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه درطی سال‌های مورد مطالعه به روش موازنه انرژی با ضریب بازتابش (α) ۷٪

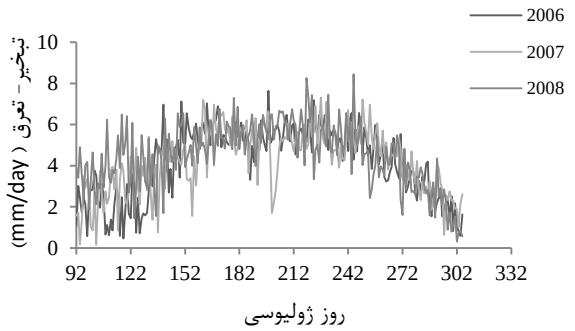


شکل ۸- تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در طی سال‌های مورد مطالعه به روش موازنه انرژی با ضریب بازتابش (α) ۱۵٪

شکل ۹- تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در طی سال‌های مورد مطالعه به روش موازنه انرژی با ضریب بازتابش (α) ۲۵٪

برای محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_o) به‌روش تشت تبخیر از رابطه ۸ استفاده‌گردید. ضریب تشت (K_P) با استفاده از پارامترهای هواشناسی توسط رابطه ۹ به‌صورت روزانه محاسبه شد. نتایج نشان داد که حداکثر ضریب تشت (K_P) برابر ۰/۸۲ (در سال ۲۰۰۶) شد و حداقل آن ۰/۴۵ (در سال ۲۰۰۸) تعیین گردید. محمدی (۱۳۸۳) طی تحقیقی در ارومیه مقدار مناسب ضریب تشت را ۰/۷۷ در نظر گرفت.

سپس از ضرب نمودن ضریب تشت (K_P) در مقدار روزانه تبخیر از تشت (E_P)مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل به صورت روزانه در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ برای ماه‌های آوریل تا اکتبر محاسبه گردید. حداکثر و حداقل تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در این روش به‌ترتیب برابر ۸/۴۵ (در سال ۲۰۰۸) و ۰/۱۵ (در سال ۲۰۰۷) میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. در شکل ۱۰ نتایج این محاسبات نشان داده‌شده است.



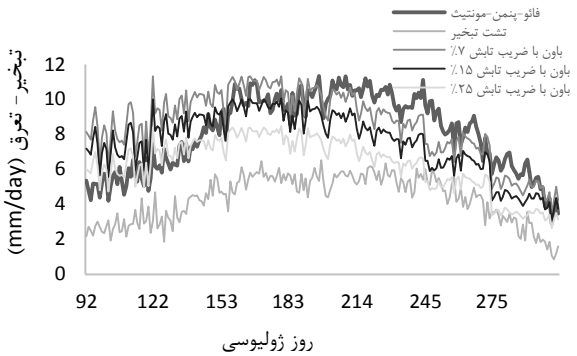
شکل ۱۰- تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در طی سال‌های مورد مطالعه به روش تشت تبخیر

جهت محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل (ET_o) به¬روش فائو- پنمن-مونتیث از رابطه ۱۰ استفاده شد. مقادیر تبخیر- تعرق به‌صورت روزانه در طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ برای ماه‌های آوریل تا اکتبر محاسبه شد. حداکثر و حداقل تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در این روش برابر ۱۴/۰۸ (در سال ۲۰۰۸) و ۱/۹۸ (در سال ۲۰۰۷) میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. درشکل ۱۱ نتایج این محاسبات نشان داده شده است.

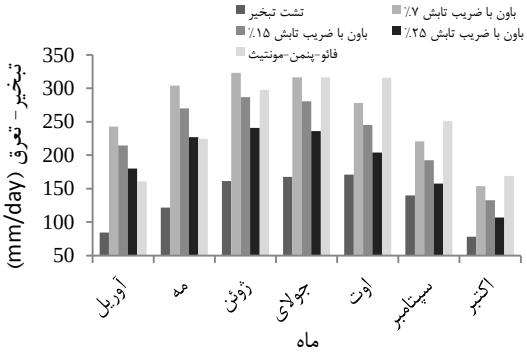
شکل ۱۱- تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در طی سال‌های مورد مطالعه به روش فائو- پنمن- مونتیث

به‌منظور مقایسه روش‌های موازنه انرژی و تشت تبخیر با روش پنمن-مونتیث-فائو میانگین سه ساله تغییرات روزانه و ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل به‌دو روش ذکر شده در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده‌شده‌است.در روش موازنه انرژی حداکثر میانگین سه ساله تغییرات

روزانه تبخیر- تعرق پتانسیل برای ضرایب بازتابش ۷، ۱۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب ۱۱/۳، ۱۰/۱ و ۸/۵ میلی‌متر در روز به‌دست آمد و حداقل آن نیز برای ضرایب بازتابش ذکر شده به‌ترتیب ۳/۴، ۳/۱ و ۲/۷ میلی‌متر در روز تعیین گردید. در روش تشت تبخیر نیز، حداکثر و حداقل میانگین سه ساله تغییرات روزانه تبخیر- تعرق پتانسیل به‌ترتیب ۶/۵ و ۰/۹ میلی‌متر بر روز و در روش فائو پنمن مونتیث نیز حداکثر و حداقل میانگین سه ساله تغییرات روزانه تبخیر- تعرق پتانسیل به‌ترتیب ۱۱/۳ و ۲/۹ میلی‌متر بر روز محاسبه شد.



شکل ۱۲- میانگین سه ساله تغییرات روزانه تبخیر- تعرق پتانسیل با روش‌های مورد بررسی



شکل ۱۳- میانگین سه ساله تغییرات ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل با روش فائو پنمن مونتیث، تشت تبخیر و موازنه انرژی

حداکثر میانگین سه ساله تغییرات ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل برای ضرایب بازتابش ۷، ۱۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب ۳۲۳/۳، ۲۸۶/۶ و ۲۴۰/۸ و حداقل آن به‌ترتیب ۱۵۳/۷، ۱۳۲/۸ و ۱۰۶/۶ میلی‌متر در ماه به‌دست آمد. در روش تشت تبخیر، حداکثر و حداقل میانگین سه ساله تغییرات ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل به‌ترتیب ۱۷۰/۹ و ۷۷/۹ میلی‌متر بر ماه محاسبه شد. هم‌چنین در روش فائو پنمن مونتیث حداکثر و حداقل میانگین سه ساله تغییرات ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل به‌ترتیب ۳۰۳/۹ و ۱۶۱/۷ میلی‌متر بر ماه محاسبه شد.

نتایج حاصل از شکل‌های ۱۲ و ۱۳ به‌طور کلی نشان می‌دهند که روش موازنه انرژی مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل را نسبت به‌روش تشت تبخیر بهتر برآورد می‌کند که موافق نتایج مرشدی و همکاران (۱۳۹۶) می‌باشد. هم‌چنین، شکل ۱۲ نشان می‌دهند که برآورد تبخیر- تعرق به‌روش موازنه انرژی و تشت تبخیر در روزها و ماه‌های اولیه مورد مطالعه (۴ ماه اول مورد مطالعه) با یکدیگر تفاوت زیادی داشته و در روزها و ماه‌های انتهایی مورد مطالعه(۳ ماه آخر مورد مطالعه) کم می‌باشد. که دلیل آن را می‌توان به صورت زیر توجیه کرد: عوامل موثر بر تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل در روش موازنه انرژی (رابطه ۴) β وRn می‌باشد. با توجه به دامنه تغییراتβ (۰/۲۳۲۷- - ۰/۴۴۰۳-) و Rn (۸/۵۸ - ۱/۶۱ میلی‌متر بر روز) در این تحقیق، میزان تبخیر- تعرق پتانسیل بیشتر تحت تاثیر پارامتر Rn بوده لذا در بخشی که تفاوت دو روش ذکر شده کم است به‌دلیل کم بودن مقادیر Rn، باعث برآورد کمتر تبخیر- تعرق پتانسیل شده و در نتیجه تفاوت دو روش در بخش ذکر شده کمتر شده‌است.

طبق نتایج جدول ۱، مشاهده می‌شود که خطای روش موازنه انرژی (در تمامی ضرایب بازتابش ۷، ۱۵ و ۲۵ درصد) نسبت به روش تشت تبخیرکمتر بوده است. جدول ۱ نشان می‌دهد که روش تشت تبخیر با خطای ۱/۱۸۴ میلی‌متر بر روز و روش موازنه انرژی با ضریب تابش ۷ درصد با خطای ۰/۱۹۵ میلی‌متر بر روز، به‌ترتیب بدترین و بهترین عملکرد را نشان دادند. هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد با کاهش ضریب بازتابش، میزان تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه و ماهانه دو روش موازنه انرژی و فائو پنمن مونتیث به یکدیگر نزدیک می‌گردد. یعنی برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل توسط روش موازنه انرژی با اعمال ضریب بازتابش ۷ درصد نسبت به ضرایب بازتابش ۱۵ و ۲۵ درصد به‌روش فائو پنمن مونتیث نزدیک‌تر می‌باشد. زیرا با کاهش مقدار ضریب بازتابش که می‌تواند به مفهوم افزایش پوشش گیاهی باشد مقدار انرژی که صرف تبخیر- تعرق پتانسیل می‌شود بیشتر شده و مقدار انرژی کمتری برای افزایش درجه حرارت خاک (G در رابطه ۱) می‌رسد که با صرفه‌نظر نمودن این مقدار کمترG، مقدار خطای کمتری در تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل با استفاده از رابطه موازنه انرژی با ضریب بازتابش ۷ درصد ایجاد می‌گردد. در این راستا یعقوب‌زاده و همکاران (۱۳۹۴) نیز بیان کردند که ضرایب خطا بین مدل پنمن مانتیث و موازنه انرژی در تعیین تبخیر-تعرق واقعی نسبت به روش‌های دیگر کمتر می‌باشد که موافق نتایج این پژوهش است.

همچنین نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد متوسط سه ساله تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه به روش تشت تبخیر ۴/۳ و به روش موازنه انرژی با ضرایب بازتابش ۷، ۱۵ و ۲۵ درصد به‌ترتیب ۸/۶، ۷/۶ و ۶/۳ میلی‌متر بر روزبه‌دست آمد. زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی پهنه‌بندی تبخیر- تعرق مرجع روزانه را برای مناطق مختلف ایران انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که تبخیر- تعرق مرجع برای منطقه شمال غربی ایران بین ۲/۴۵ تا ۴/۴۸ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد.

جدول ۱- مقادیر میانگین سالانه، میانگین سه سال و میانگین ریشه مربعات خطا برای روش‌های مختلف تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر بر روز

سال	تشت تبخیر	فائو-پنمن مونتیث	باون با ضریب تابش ۷٪	باون با ضریب تابش ۱۵٪	باون با ضریب تابش ۲۵٪
۲۰۰۶	۴/۱۹۹	۸/۱۳۷	۸/۷۳۷	۷/۷۰۴	۶/۴۱۴
۲۰۰۷	۴/۲۳۷	۷/۷۰۹	۸/۶۱۶	۷/۶۰۷	۶/۳۴۶
۲۰۰۸	۴/۴۹۹	۸/۴۸۷	۸/۴۰۴	۷/۴۱۱	۶/۱۶۹
میانگین	۴/۳۱۲	۸/۱۱۱	۸/۵۸۶	۷/۵۷۴	۶/۳۱۰
ریشه میانگین مربعات خطا	۱/۱۸۴	۰	۰/۱۹۵	۰/۲۰۹	۰/۵۷۳

نتیجه‌گیری

تبخیر- تعرق پتانسیل به سه روش فائو پنمن مونتیث، موازنه انرژی و تشت تبخیر در منطقه کهریز استان آذربایجان غربی تعیین گردید. نتایج به‌دست آمده نشان داد که روش موازنه انرژی مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل را دقیق‌تر از روش تشت تبخیر برآورد می‌کند. در روش موازنه انرژی با کاهش مقدار ضریب بازتابش انرژی، مقدار برآورد شده تبخیر- تعرق پتانسیل به‌مقدار روش فائو پنمن مونتیث نزدیک‌تر می‌گردد. اختلاف سه روش در ماه‌های انتهایی مورد مطالعه (آگوست، سپتامبر و اکتبر) بسیار کمتر از ماه‌های اولیه (آوریل، می، ژوئن و ژولای) می‌باشد. منحنی‌های روزانه نسبت باون و میزان تشعشع خالص خورشیدی به‌صورت زنگوله‌ای می‌باشد که پیک آن‌ها در ماه‌های ژوئن، ژولای و آگوست (ماه‌های گرم سال) است. در هر سه روش مورد بررسی، تغیرات منحنی‌های روزانه و ماهانه تبخیر- تعرق پتانسیل در هماهنگی با یکدیگر هستند با این تفاوت که در روش موازنه انرژی بخش نزولی این منحنی دارای شیب ملایم‌تری می‌باشد اما در روش تشت تبخیر بخش صعودی منحنی تبخیر- تعرق پتانسیل دارای شیب ملایم‌تری است. به هر حال، شکل این منحنی‌ها نیز به صورت زنگوله‌ای می‌باشد. در پایان، به‌منظور تعیین نمودن این‌که کدام روش دقت بیشتری در تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل دارد، توصیه می‌گردد که این سه روش با نتایج روش لیسیمتری مورد مقایسه قرار گیرد.

منابع

رضوی، ر. ۱۳۸۰. تعیین تبخیر- تعرق پتانسیل گیاه مرجع چمن با استفاده از لایسیمتر. نشریه مرکز تحقیقات کشاورزی آذربایجان غربی، شماره ۸۰/۴۰۹.

رمضانی خوجین، ع.، خیرخواه زرکش، م.م.، دانش‌کار آراسته، پ.، مریدی، ع.، علیمحمدی، ر. ۱۳۹۵. تحلیل حساسیت تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از مدل بیلان انرژی روزانه و مقایسه آن با مدل سبال. تحقیقات منابع آب ایران، ۱۲. ۱: ۲۸-۱۸.

زارع ابیانه، ح.، بیات ورکشی، م.، سبزی‌پرور، ع.، معروفی، ص.، قاسمی، ع. ۱۳۸۹. ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۴: ۱۱۰-۹۵.

شرقی، ط.، بری ابرقویی، ح.، اسدی، م. ا.، کوثری، م. ر. ۱۳۸۹. برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع با استفاده از روش فائو- پنمن- مونتیث و پهنه‌بندی آن در استان یزد. فصلنامه علمی- پژوهشی خشک‌بوم، ۱. ۱: ۳۳-۲۵.

شریفان، ح.، قهرمان، ب. ۱۳۸۵. بررسی و مقایسه تبخیر- تعرق برآورد شده از تشت تبخیر با مقادیر ET_o روش استاندارد در منطقه گرگان. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳. ۵: ۲۸-۱۸.

شیری، ج.، دین‌پژوه، ی.، صدرالدینی، ع.ا.، ناظمی، ا. ۱۳۹۵. تخمین مقادیر روزانه نسبت تبخیر- تعرق مرجع یونجه به چمن و تعیین سهم مؤلفه‌های آئرودینامیکی و توازن انرژی در تبخیر- تعرق (مطالعه موردی: استان آذربایجان شرقی). نشریه دانش آب و خاک، ۲۶. ۱: ۳۷-۲۵.

علیزاده، ا. ۱۳۸۹. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ دهم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، صص ۳۰۲-۲۶۵.

قائمی بایگی، م.، رائینی سرجاز، م.، موسوی بایگی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی و برآورد تبخیر- تعرق گندم در مراحل مختلف رشد با روش تراز انرژی (نسبت باون) و مقایسه آن با نتایج لایسیمتر. نشریه آب و خاک، ۲۶. ۵: ۱۱۶۰-۱۱۵۲.

مجیدی، م.، علیزاده، ا.، فریدحسینی، ع. وظیفه‌دوست،م. ۱۳۹۳. تبخیر از دریاچه‌ها و مخازن سدها: برآوردهای بیلان انرژی، ارزیابی روش‌های تابش دما و روابط ترکیبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸. ۳: ۶۱۵-۶۰۲.

محمدی، م.ع. ۱۳۸۳. رابطه بین تبخیر آب‌های شور و شیرین و تأثیر آن روی تبخیر آب دریاچه ارومیه. گزارش شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی.

مرشدی، ع.، نادری، م.، طباطبایی، س.ح.، محمدی، ج. ۱۳۹۶. برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای به کمک داده‌های سنجش از دور در دشت شهر کرد (ب) مقایسه نتایج مدل‌های SEBAL و METRIC نسبت به برخی مدل‌های ریاضی تبخیر و تعرق. نشریه علوم آب و خاک، ۲۱. ۳: ۱۳-۱.

یعقوب‌زاده، م.، برومندنسب، س.، ایزدپناه، ز.، سیدکابلی، ح. ۱۳۹۴. بررسی روند تغییرات مکانی و زمانی تبخیر و تعرق به کمک سنجش از دور در مناطق نیمه خشک. نشریه پژوهش آب در کشاورزی، ۲۹. ۲: ۲۳۴-۲۲۱.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D.and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.

Amarakoom, D. and Mclean, P. 2000. Estimating day time latent heat flux and evapotranspiration in Jamiica. Agricultural and Forest meteorology, 102: 113-124.

Bowen, I. S. 1926. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. In: Rosenberg, N. J. (Eds.) Microclimate: The Biological Environment. Wiley. New York.

Calvet, J.C. 2000.Investigating soil and atmospheric plant water stress using physiological and micro meteorological data. Agricultural Forest meteorology 103: 229-247.

Doorenbos, J. and Pruitt.W.O. 1977.Crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy, 144 p.

Dugas, W.A. and Bland, W.L. 1988. The accuracy of evaporation measurement from small lysimeter and forest meteorology No. 64:119-129.

Evett, S.R., Kustas, W.P., Gowda, P.H., Anderson, M.C. H. Prueger, J.and Howell, T.A. 2012. Overview of the Bushland Evapotranspiration and Agricultural Remote sensing EXperiment 2008 (BEAREX08): A field experiment evaluating methods for quantifying ET at multiple scales. Advances in Water Resources, 50: 4-19.

Grismer, M. E., Orang, M., Snyder, R.and Matyac, R. 2002. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 128(3): 180–184.

Henderson-Sellers, B., 1984. Engineering Limnology. Pitman Publishing, Great Britain.

Irmak, S., Haman, D.Z. and Jones, J.W. 2002. Evaluation of class A pans coefficients for estimating reference evapotranspiration in humid location. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 128(3): 153-159.

Pana, P., Masatoshi, A. and Sanguan, P. 2001. Comparative actual water consumption of irrigated and rain fed paddy rice field using Bowen Ratio method. Khon Kaen University of Thailand.

Perez, P.J., Castellvi, F.and Martínez-Cob, A. 2008. A simple model for estimating the Bowen ratio from climatic factors for determining latent and sensible heat flux. Agricultural and Forest Meteorology 148 (1): 25–37.

Shi, T.T., Guan, D.X., Wu, J.B. and Wang, A.Z. 2008. Comparison of methods for estimating evapotranspiration rate of dry forest canopy: Eddy covariance, Bowen ratio energy balance, and Penman-Monteith equation. Journal Of Geophysical Research, Vol 113.

Shiri, J., Nazemi, A.H., Sadraddini, A.A., Landeras, G., Kisi, O., Fakheri Fard, A. and Marti, P. 2014a.Comparison of heuristic and empirical approaches for estimating reference evapotranspiration from limited inputs in Iran. Computers and Electronics in Agriculture 108: 230-241.

Shiri, J., Sadraddini, A.A., Nazemi, A.H., Kisi, O., Landeras, G., Fakheri Fard, A. and Marti, P. 2014b.Generalizability of gene expression programming-based approaches for estimating daily reference evapotranspiration in coastal stations of Iran. Journal of Hydrology 508: 1-11.

Stannard, D.I., Rosenberry, D.O., Winter, T.C. and Parkhurst, R.S. 2004. Estimates of fetch-induced errors in Bowen-ratio energy-budget measurements of evapotranspiration from a Praire wetland, Cotton wood Lake area, North Dakota, USA. Wetlands 24: 498–513.

Taconet, O., Bernard, R. and Vidal-Madjar, O. 1986. Evapotranspiration over an agricultural region using a surface flux temperature model based on NOAA-AVHRR data. J. of climate and applied Met. 25: 284-307.

Yanyun, S., Yongqiang, Z. and Akihiko, K. 2003. Seasoral rariation of energypartitioning in irrigated lands. Chiba University of Japan 263(2): 1-33.

Yunusa, I.A.M., Fuentes, S., Palmer, A.R., Macinnis-Ng, C.M.O., Zeppel, M.J.B. and Eamus, D. 2011. Latent heat fluxes during two contrasting years from a juvenile plantation established over a waste disposal landscape. Journal of Hydrology 399: 48–56.

Zeggaf, T. A., Takeuchi, S., Dehghanisanij, H., Anyoji, H. and Yano, T. 2008. A Bowen ratio technique for partitioning energy fluxes between maize transpiration and soil surface evaporation. Agron. J. 100: 1-9.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 13, Agu.-Sept. 2019, p. 727-736

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۳، مرداد - شهریور ۱۳۹۸، ص. ۷۳۶-۷۲۷

Estimate of Potential Evapotranspiration From Energy Balance Method Compared to Evaporation Pan and FAO Penman-Monteith methods

M. Jovzi[1], H. Zare Abyaneh[2], H. Hozhabr[3], A. Khasraei[4]
Recived: Oct.07, 2018 Accepted: Nov.16, 2018

Abstract

The purpose of this study was to determine the potential evapotranspiration (ET_o) using energy balance and evaporation pan methods compared to the FAO Penman-Monteith method. The study area is located in West Azerbaijan province, approximately 37 km north of Urmia. In this research, the data of the Kahriz synoptic meteorological station data was used for a period of 7 months from April to October 2006 through 2008. After analyzing the data, the potential evapotranspiration was determined daily and monthly in all three methods. The results showed that ETo estimation in energy balance method was more accurate than evaporation pan method. The maximum and minimum ETo three-year average in the energy balance method (calculated with a reflection coefficient of α =25%) was 8.5 and 2.7 mm per day, respectively. While these values were 6.5 and 0.9 in the evaporation pan method, respectively, and FAO Penman-Monteith method was 11.3 and 2.9 mm per day, respectively. In the energy balance method, the mean three-year values of the Bowen ratio (β) and solar net radiation (Rn calculated with a reflection coefficient of 25%) were between -0.4134 to -0.2443 and 7.1 to 8.4 mm per day, respectively. In the pan evaporation method, the coefficient of Pan (KP) was calculated to be between 0.45 and 0.82.

Keywords: Bowen ratio, Kahriz, Pan coefficient, Solar net radiation

1- Soil and Water Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran
2- Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
3- Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
4- Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
(* - Corresponding Author Email: jovzimehdi11@yahoo.com)