نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۰، ص. ۴۸۴-۴۷۲

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.3, Jul-Aug 2011, p. 472-484

مقایسه تبخیر- تعرق مرجع پنمن مانتیثASCE و پنمن مانتیث فائو- ٥٦ در بازه زمانی ساعتی در ایستگاه هواشناسی فریمان

زهرا شیرمحمدی علی اکبر خانی[1*]- حسین انصاری[2] – امین علیزاده[3]

تاریخ دریافت:۸۹/۳/۲۳
تاریخ پذیرش:۸۹/۱۲/۱۵

چکیده

تبخیر- تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم سیکل هیدرولوژی است که باید در طرح های آبیاری، مطالعات هیدرولوژیکی و ... برآورد شود. در بسیاری از مواقع و در شرایط گوناگون نیاز به تخمین تبخیر- تعرق مرجع در بازه های زمانی ساعتی و یا حتی کوچکتر وجود دارد. هدف این مطالعه مقایسه مقادیر تخمینی دو روش تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن پنمن مانتیث ASCE و پنمن مانتیث فائو-۵۶ در بازه زمانی یک ساعته در شهرستان فریمان استان خراسان رضوی و مقایسه مجموع ۲۴ ساعته تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن پنمن مانتیث ASCE و پنمن مانتیث فائو -۵۶ با مقادیر تخمینی روزانه محاسبه شده از معادله پنمن مانتیث فائو-۵۶ روزانه می باشد. داده های هواشناسی مورد نیاز در یک دوره ۲۷۸ روزه (اول مهر ماه ۱۳۸۷ تا چهاردهم مرداد ماه ۱۳۸۸) از ایستگاه هواشناسی اینترنتی خودکار نصب شده در یک مزرعه خصوصی واقع در شهرستان فریمان دریافت گردیدند. نتایج نشان داد که در طول روز تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE بیشتر از تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد که بدین دلیل است که در طول روز مقاوت سطحی در مدل تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE کمتر می باشد در حالیکه در طول شب در روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE مقدار مقاومت سطحی بیشتر بوده و در نتیجه تبخیر کمتر از روش تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد. مقادیر تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث ASCE در حدود ۱۸ درصد بیشتر از تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در این منطقه می‌باشد و مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو در حدود ۱۴ درصد کمتر از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE می باشد. اختلاف بین مقادیر محاسبه شده تبخیر- تعرق یک ساعته از دو روش در طول شب و روز وابستگی بسیار بالایی با سرعت باد در روز و شب داشته است. برای تمام طول سال مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نسبت به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۲/۶ درصد بیش برآورد داشته است درحالیکه روش تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE نسبت به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۱۷ درصد بیش برآورد داشته است. این نتایج تاکید می کند که برای مواردی که نیاز به استفاده از داده های یک ساعته و یا روزانه برای تمام طول می باشد استفاده از داده های تبخیر- تعرق یک ساعته و روزانه روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ توصیه می گردد.

واژه های کلیدی: تبخیر-تعرق مرجع، مقاوت سطح، تبخیر- تعرق پنمن مانتیث ASCE ، تبخیر-تعرق پنمن مانتیث فائو-۵۶، مجموع ساعتی، فریمان

مقدمه

در نواحی خشک جاهایی که منابع آب محدود بوده و با مصرف بی رویه به مخاطره می افتد تخمین نیاز آبی گیاهان با حداکثر دقت ممکن ضروری می باشد. از این طریق برنامه ریزی و مدیریت مناسب منابع آب در دسترس ممکن می گردد (۱۵). تبخیر - تعرق پتانسیل یکی از عوامل مهم سیکل هیدرولوژی است که باید در طرح های آبیاری، تاسیسات آبی، مطالعات زهکشی و هیدرولوژیکی برآورد شود. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر - تعرق مصرف می شود، از عوامل اساسی در برنامه ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر است. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر - تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET_o) تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن تبخیر - تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (۳). یکی از روشهای محاسبه تبخیر- تعرق روش پنمن می باشد که به دلیل اینکه برای محاسبه تبخیر- تعرق از ترکیب دو فرایند توازن

۱،۲و۳- به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: (Email:mshirmohamady@yahoo.com

انرژی و قوانین آئرو دینامیک استفاده شده است به روش ترکیبی موسوم می باشد که توسط پنمن (۱۷) ارائه گردید. مزیت روش پنمن در این است که معادله ارائه شده مبنای فیزیک داشته و در آن اندازه گیری دما و فشار بخار آب در لایه چسبیده به برگ حذف شده است و در این معادله نیاز است که تابش خالص نیز محاسبه شود برای محاسبه تابش خالص معادلاتی توسط افراد مختلف ارائه شده است و چون تمام این معادلات از فرمول پنمن گرفته شده اند همراه با نام پنمن نام این افراد نیز با آن ذکر می شود. یکی از این معادلات روش پنمن فائو می باشد (۳و ۱۷).

در سال ۱۹۷۵ سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد (FAO) روشی برای محاسبه تبخیر- تعرق با استفاده از تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_O) و ضرایب گیاهی (Kc) ارائه کردند. که در آن دانشمندانی همانند دورنباس و پروت (۱۱)، جنسن و همکاران (۱۳)، اسمیت (۱۹)، ET_o را به صورت میزان تبخیر- تعرق از یک سطح وسیع از گیاه چمن در حال رشد یکنواخت با ارتفاع (۸ تا ۱۵ سانتی متر)، که بر روی زمین سایه کاملی داشته و آب به اندازه کافی در اختیار داشته باشد تعریف کرده اند و این روش چون اصلاح شده روش پنمن می باشد به روش پنمن فائو معروف گردید.

معادله پنمن فائو که توسط متخصصان فائو (دورنباس و پروت) ارائه گردید یکی از معادلات کاربردی می باشد ولی از آنجایی که در این معادله فرض شده است که تبخیر- تعرق فقط بوسیله عوامل هوایی کنترل می شود و نقش خود گیاه در نظر گرفته نشده است بتدریج اهمیت خود را از دست داده و معادلات دیگری همانند پنمن مانتیث جای آنرا گرفتند (۳ و۱۱). روش پنمن مانتیث بوسیله جان مانتیث در ۱۹۸۶ ارائه گردید که در این روش سطح پوشش گیاهی بر خلاف روش پنمن که سطح اب در نظر گرفته شده است، یک سطح مرطوب است به عبارت دیگر در روش پنمن مانتیث فرض می شود که کل سطح پوشش گیاهی یک برگ بزرگ با روزنه های موجود در آن است و مقاومت روزنه ها نیز در معادله پنمن مانتیث لحاظ شده است. آلن و همکاران ۱۹۹۸ سطح مرجع روش پنمن مانتیث را بصورت یک گیاه مرجع فرضی با ارتفاع ۱۲ سانتی متر و یک مقاومت سطح ثابت ۷۰ ثانیه بر متر و آلبیدو ۰/۲۳ پذیرفته اند، این روش به روش فائو پنمن مانتیث معروف می باشد (۳ و۱۶). آلن و همکاران (۶ و ۷) استفاده از روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ را به دلیل اینکه در تخمین تبخیر- تعرق مرجع در شرایط آب و هوایی مختلف نتایج قابل قبولی می دهد را برای تمام دنیا توصیه کرده اند (۲۰). در سال ۱۹۹۹ به درخواست انجمن آبیاری از انجمن مهندسین عمران آمریکا به منظور تعیین یک معادله تبخیر- تعرق استاندارد که به عنوان الگو قابلیت کاربرد کلی تر داشته باشد این انجمن معادله استاندارد پنمن مانتیث ASCE را برای دو سطح مرجع چمن برای گیاهان کوتاه و یونجه برای گیاهان بلند پیشنهاد کردند و در دنیا برای تخمین تبخیر- تعرق مرجع روزانه و ساعتی مورد قبول واقع گردید (۹). روش‌های بسیار زیادی برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع وجود دارد اما بسیاری از دانشمندان همانند آلن و همکاران (۶)، جنسن و همکاران (۱۳)، اسمیت (۱۹) مشخص کردند که معادله پنمن مانتیث دقیق ترین روش در مقایسه با دیگر معادلات در نواحی مختلف دنیا می‌باشد. آمیتیا و همکاران (۸) در یک تحقیق مشخص کردند که روش‌های تخمین تبخیر-تعرق پنمن مانتیث نسبت به دیگر روش‌های معمول از یک پایه تئوریک قوی برخوردار می باشد، بنابراین نتایج قابل اعتمادی از کاربرد این روش بدست می‌آید. مطالعات بعدی برتری روش فائو پنمن مانتیث را بر دیگر روش ها و در مقایسه این روش با اندازه‌گیری لایسیمترها تایید کرد (۱۰ و ۱۵). در چندین سال گذشته مقالات زیادی معادلات تبخیر- تعرق را برای محاسبه تبخیر- تعرق ساعتی، یا با استفاده از مقایسه آنها با اندازه‌گیری لایسیمتر (۱۰ و ۲۳) و یا با یکدیگر (۲۲) مورد ارزیابی قرار دادند. لوپز و همکاران (۱۵) دو روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ و روش پنمن مانتیث ASCE را برای شرایط خشک مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش پنمن مانتیث ASCE در مقایسه با اندازه گیری واقعی ۴ درصد تبخیر- تعرق را بیشتر برآورد می‌کند اما در روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ میانگین داده های اندازه‌گیری شده و برآورد شده مساوی می باشد و نشان داد که روش پنمن مانتیث فائو در محاسبه مقادیر ساعتی تبخیر- تعرق مرجع دقت بیشتری نسبت به تبخیر- تعرق پنمن مانتیث ASCE دارد (۱۵). سلیمان و همکاران (۲۰) تحقیقی به منظور مقایسه تبخیر- تعرق مرجع در بازه زمانی ۱۵ دقیقه ای و مجموع ۲۴ ساعته با مقادیر روزانه در دو روش پنمن مانتیث استاندارد ASCE و پنمن مانتیث فائو-۵۶ در شرایط اقلیمی مرطوب انجام دادند، نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در بازه زمانی ۱۵ دقیقه ای و مجموع ۲۴ ساعته تبخیر-تعرق پنمن مانتیث فائو -۵۶ نسبت به پنمن مانتیث استاندارد ASCE ۵ درصد کم برآورد داشته است (۲۱). ایرماک و همکاران (۱۲) بررسی هایی بر روی مقایسه تبخیر- تعرق ساعتی با مقادیر روزانه با استفاده از روش پنمن مانتیث استاندارد ASCE انجام دادند. نتایج نشان داد که تبخیر- تعرق روزانه نسبت به مجموع ساعتی وضعیت بیش برآورد داشته و در اقلیم های مرطوب تطابق بهتری نسبت به اقلیم های خشک دارد.

بختیاری و همکاران (۱) در تحقیقی که در زمینه مقایسه تبخیر- تعرق ساعتی با مقادیر روزانه با استفاده از روشهای پنمن مانتیث استاندارد ASCE و روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ (FAO-56 PM) در منطقه کرمان انجام دادند و نتایج نشان داد که در هر دو روش مجموع مقادیر ساعتی نسبت به مقادیر روزانه در روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ در ماه‌های مختلف ۵/۸ تا ۴۴/۶ درصد و روش پنمن مانتیث استاندارد ASCE در ماههای مختلف ۷/۴ تا ۴۷/۶ درصد بیش برآورد

داشته است.

در این تحقیق دو روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ (FAO-56 PM) و پنمن مانتیث انجمن مهندسین عمران امریکا (ASCE PM) برای مقایسه تبخیر-تعرق در بازه زمانی ساعتی و مقایسه تبخیر-تعرق روزانه با مجموع ساعتی (۲۴ ساعته) با استفاده از داده های کوتاه مدت در ایستگاه هواشناسی اینترنتی درشهرستان فریمان استان خراسان رضوی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

مواد و روش ها

در این پژوهش داده ها از یک ایستگاه هواشناسی کشاورزی محاسبه نیاز آبی، در شهرستان فریمان دریافت گردید. این دستگاه مدرن که قابلیت اندازه گیری فاکتورهای مختلف شامل دمای هوا، رطوبت هوا، میزان تشعشع، نزولات جوی، سرعت باد، جهت باد، رطوبت و دمای خاک و ... را بصورت ساعتی و روزانه دارا می باشد در یک مزرعه خصوصی نصب گردیده است. این دستگاه تحت عنوان iMETOS و ساخت شرکت PESSL اتریش می باشد، کلیه اطلاعات اندازه گیری شده را از طریق شبکه GPRS به سایت اینترنتی iMETOS مخابره می نماید. شهرستان فریمان از شهرستان‌های استان خراسان رضوی می‌باشد. شهرستان فریمان در حوزه اقلیم مدیترانه‌ای گرم و خشک قرار دارد که با توجه به خصوصیات این اقلیم دارای شرایط آب و هوایی مناسب‌تری نسبت به سایر مناطق خراسان است. فریمان با مختصات جغرافیایی ´۴۲،°۳۵ شمالی و ´۵۱،°۵۹ شرقی به فاصله ۷۵ کیلومتری شهر مشهد واقع شده است این شهرستان از شمال و شمال غربی با مشهد از شرق با تربت جام و از جنوب با تربت حیدریه هم مرز است (شکل۱). ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۰۵ متر می باشد در این شهرستان حداکثر درجه حرارت ۴۰ و حداقل آن ۱۹/۵- درجه سانتی گراد گزارش گردیده است. متوسط بارندگی سالیانه ۲۵۴ میلی متر می باشد. در این تحقیق دوره آماری اول مهر ماه ۱۳۸۷ تا چهاردهم مرداد ماه ۱۳۸۸ در زمانهای که هم داده های ساعتی و روزانه دستگاه موجود بود (۲۷۸ روز)، مقایسه بین داده ها صورت گرفت. این معادلات عبارتند از :

معادله تبخیر-تعرق پنمن مانتیث فائو- ۵۶

معادله پنمن مانتیث فائو ۵۶ برای محاسبه تبخیر- تعرق در دوره های روزانه و ساعتی بصورت زیر می باشد (۶):

بازه زمانی روزانه

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma(900/T + 273.16)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

بازه زمانی ساعتی

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma(37/T + 273.16)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۲)$$

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در استان خراسان رضوی

که در آن ET_o تبخیر- تعرق گیاه مرجع (میلی متر بر روز برای دوره روزانه و میلی متر بر ساعت برای دوره های ساعتی)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)، R_n تابش خالص در سطح گیاه (مگا ژول بر متر مربع بر ساعت)، G چگالی شار حرارتی خاک (مگا ژول بر متر مربع بر روز برای بازه زمانی روزانه و مگا ژول بر متر مربع بر ساعت برای بازه زمانی ساعتی)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)، T متوسط درجه حرارت روزانه و ساعتی (درجه سانتی گراد)، U_2 متوسط سرعت باد روزانه و ساعتی در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s، میانگین فشار بخار اشباع هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلوپاسکال)، و e_a، میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلوپاسکال)

برای دوره های ساعتی فشار بخار واقعی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$e_a = e^o(T_{hr})\frac{RH_{hr}}{100} \quad (۳)$$

که در آن RH_{hr} رطوبت نسبی ساعتی متوسط (درصد) و فشار بخار اشباع در T_{hr} ($e^o(T_{hr})$) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$e^o(T_{hr}) = 0.6108\exp\left[\frac{17.27T_{hr}}{T_{hr} + 237.3}\right] \quad (۴)$$

که در آن $e^o(T_{hr})$ فشار بخار اشباع در T_{hr} (کیلو پاسکال)، T_{hr} متوسط درجه حرارت ساعتی (درجه سانتی گراد) می باشد.

معادله تبخیر- تعرق پنمن مانتیث استانداردASCE

معادله استاندارد ارائه شده توسط انجمن مهندسین عمران امریکا (ASCE) برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع چمن و یونجه در بازه زمانی ساعتی و روزانه به صورت زیر می باشد (۱۶).

بازه زمانی روزانه و ساعتی

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(Rn - G) + \gamma(C_n / T + 273.16)U_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)} \quad (۵)$$

که در آن ET_o تبخیر- تعرق گیاه مرجع (میلی متر بررروز برای دوره روزانه و میلی متر بر ساعت برای دوره های ساعتی)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در میانگین درجه حرارت (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)، R_n تابش خالص در سطح گیاه (مگا ژول بر متر مربع بر ساعت)، G چگالی شار حرارتی خاک (مگا ژول بر متر مربع بر ساعت)، γ ثابت سایکرومتری (کیلو پاسکال بر درجه سانتی گراد)، T_{hr} متوسط درجه حرارت ساعتی (درجه سانتی گراد)، U_2 متوسط سرعت باد روزانه و ساعتی در ارتفاع ۲ متری (متر بر ثانیه)، e_s میانگین فشار بخار اشباع هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلوپاسکال)، و e_a میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (کیلوپاسکال)، C_n و C_d به ترتیب ثابت های صورت و مخرج بوده و تابع نوع گیاه مرجع و بازه زمانی اندازه گیری می باشد. که به‌صورت جدول زیر می باشد.

بازه زمانی	گیاه چمن		گیاه یونجه	
	C_n	C_d	C_n	C_d
روزانه	۹۰۰	۰/۳۴	۱۶۰۰	۰/۳۸
ساعتی- در طول روز	۳۷	۰/۲۴	۶۶	۰/۲۵
ساعتی- درطول شب	۳۷	۰/۹۶	۶۶	۱/۷

از طرف دیگر چگالی شار حرارتی خاک در بازه زمانی روزانه کوچک و برابر صفر در نظر گرفته می شود و مقدارG چگالی شار حرارتی خاک برای دوره ساعتی به صورت (مقدار $G=0.1R_n$ برای طول روز ($R_n>0$) و $G=0.5R_n$ برای طول شب ($R_n\leq0$)) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معیارهای آنالیز آماری

در این پژوهش برای ارزیابی دقت مدل ها و مقایسه بین تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶، تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶، تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ و تبخیر-تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، از آزمون های مجذور میانگین مربعات خطا (RMSD) و شاخص توافقی خطا (d) استفاده شده است (۱۴).

$$RMSD = \left[N^{-1}\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2\right]^{0.5}$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(|P_i| + |O_i|)^2}\right], 0 \leq d \leq 1$$

$$O_i = O_i - \bar{O}, \quad P_i = P_i - \bar{O}$$

که در آن N تعداد مشاهدات، O مقادیر مشاهده شده و P مقادیر تخمینی تبخیر- تعرق، $\bar{O}$ میانگین مشاهدات می باشد. در این مطالعه روش تبخیر- تعرق پنمن مانتیث فائو ۵۶ در بازه زمانی ساعتی، مجموع ۲۴ ساعته و روزانه به دلیل اینکه با مقادیر اندازه گیری شده تبخیر- تعرق مرجع در اقلیم های خشک و اکثر اقلیم ها نتایج یکسانی داشته است (۱۴،۷،۶ و ۱۹) به عنوان مقادیر مشاهده شده انتخاب شده است. بدین ترتیب که برای آنالیز ساعتی، مقادیر تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ به عنوان مقادیر مشاهده شده در نظر گرفته شده است. برای مجموع ۲۴ ساعته، مقادیر تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به عنوان مقادیر مشاهده شده استفاده شده است و برای مقایسه مقادیر روزانه تبخیر- تعرق، مقادیر تبخیر-تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ به عنوان مقادیر مشاهده شده استفاده گردیده اند. در تحلیل شاخص ها می‌توان چنین گفت که هر چه شاخص RMSD کمتر و نزدیک به صفر و شاخص d به یک نزدیک باشد مدل سازگاری بالاتری با مقادیر مشاهده شده دارد.

نتایج و بحث

تبخیر- تعرق مرجع ساعتی

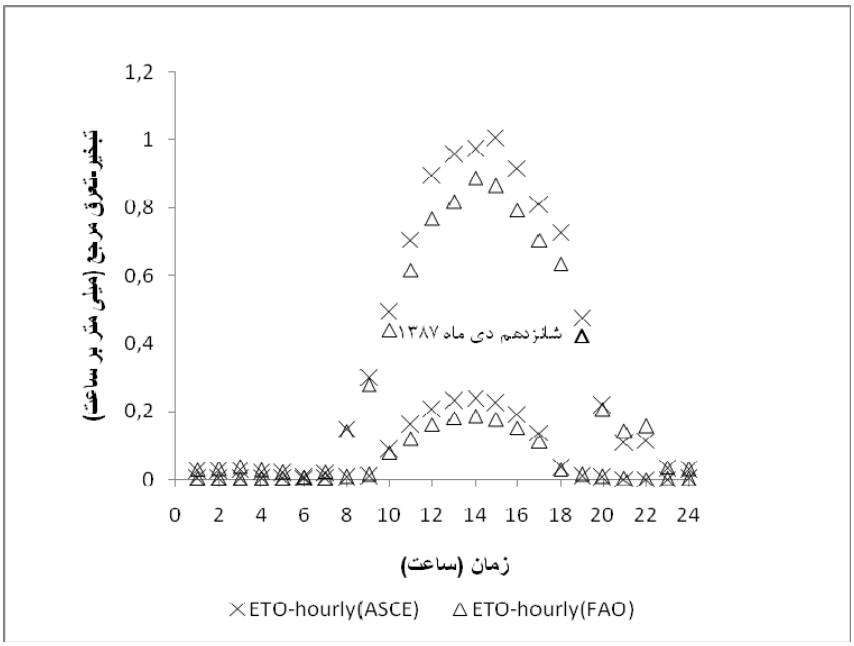
روند تغییرات تبخیر- تعرق ساعتی را در دو روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ در دو روز از سال (پانزدهم تیرماه ۱۳۸۸ و شانزدهم دی ماه ۱۳۸۷) یک روز در فصل تابستان (روز طولانی) و یک روز در زمستان (روز کوتاه) نشان داده شده است (شکل ۲). همانگونه که در شکل دیده می شود مقدار تبخیر- تعرق محاسبه شده در دو روش در طول شب صفر و یا بسیار نزدیک به صفر است اما از ساعات ۷ الی ۸ صبح، گرادیان تبخیر تا حدود ساعات ۱۳:۳۰ تا ۱۴ افزایش یافته و پس از آن شروع به کاهش می‌کند. در روز پانزدهم تیرماه مقدار تبخیر- تعرق ساعتی در هر دو روش به دلیل بالا بودن عامل های موثر بر تبخیر (تابش خالص، کمبود فشار بخار و درجه حرارت هوا) بیشتر از میزان تبخیر- تعرق ساعتی در روز شانزدهم دی ماه می باشد. در طول روز تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE بیشتر از تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد که بدین دلیل است که

در طول روز مقاوت سطحی در مدل تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE کمتر می باشد برعکس در طول شب در روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE مقدار مقاومت سطحی بیشتر بوده و در نتیجه تبخیر کمتر از روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد. نسبت تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو۵۶ به تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE برای این دو روز نشان داده شده است (شکل ۳). برای هر دو روز این نسبت در طول روز کمتر از یک بوده و نسبتا ثابت می باشد در حالیکه در طول شب این نسبت بیشتر از یک شده است. نسبت تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو۵۶ به تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE بطور مسلم به سرعت باد در طول روز و شب در شهرستان فریمان بستگی داشته است (شکل ۴). در طول روز این نسبت از ۰/۹۱ در کمترین سرعت باد به مقدار ۰/۸۸ در بیشترین سرعت باد کاهش می یابد. در حالیکه در شب این نسبت از ۰/۵۹ در کمترین سرعت باد به ۱/۳۳ در بالاترین سرعت باد افزایش می یابد. تاثیر سرعت باد در این نسبت در طول روز کمتر از شب مشهود می باشد و این به دلیل این است که اختلاف مقدار پارامتر مقاومت سطح بین دو روش در طول روز کمتر از شب می باشد. پارامتر مقاومت سطح از اجزا آئرودینامیک معادلات می باشد و مقاومت آئرودینامیک با افزایش سرعت باد کاهش می یابد (۱۸). متوسط کل داده های ساعتی در روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ کمتر از روش تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE می باشد که به دلیل کم بودن مقاومت سطحی در طول روز می باشد (جدول۱). اختلاف نسبی بین مقادیر میانگین دو روش در حدود ۱۲ درصد می باشد. کم بودن مقدار RMSD بین تبخیر- تعرق ساعتی را در دو روش تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ نشان دهنده توافق و نزدیک بودن داده ها در دو روش می‌باشد. شاخص توافقی خطا بین مقادیر تبخیر- تعرق ساعتی دو روش نشان دهنده این است که تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ خیلی مشابه می‌باشند. که این با نتایج سلیمان و همکاران (۲۱) در روند کلی مشابهت داشته ولی اختلاف این دو روش در منطقه مرطوب تحت مطالعه آنها کمتر از منطقه مورد مطالعه ما که نیمه خشک می باشد بوده است.

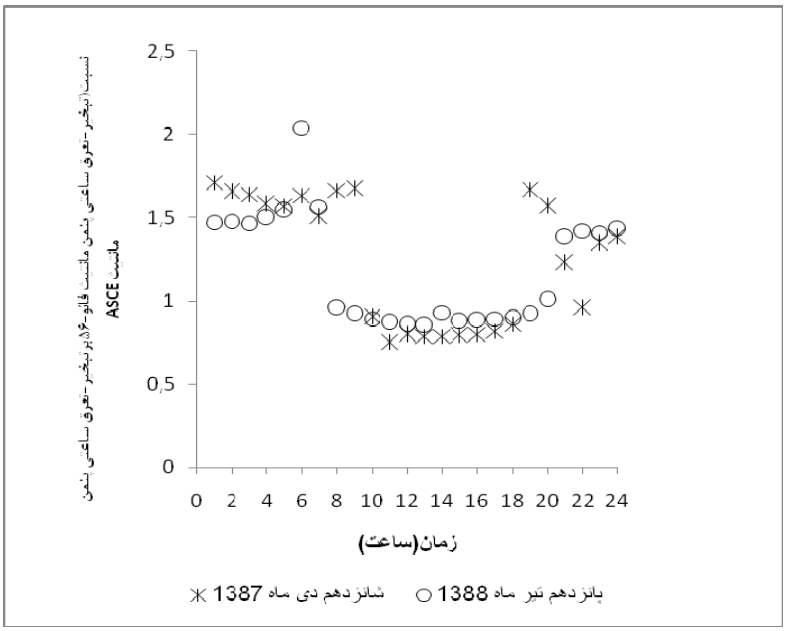
روزانه

تبخیر- تعرق مجموع ساعتی

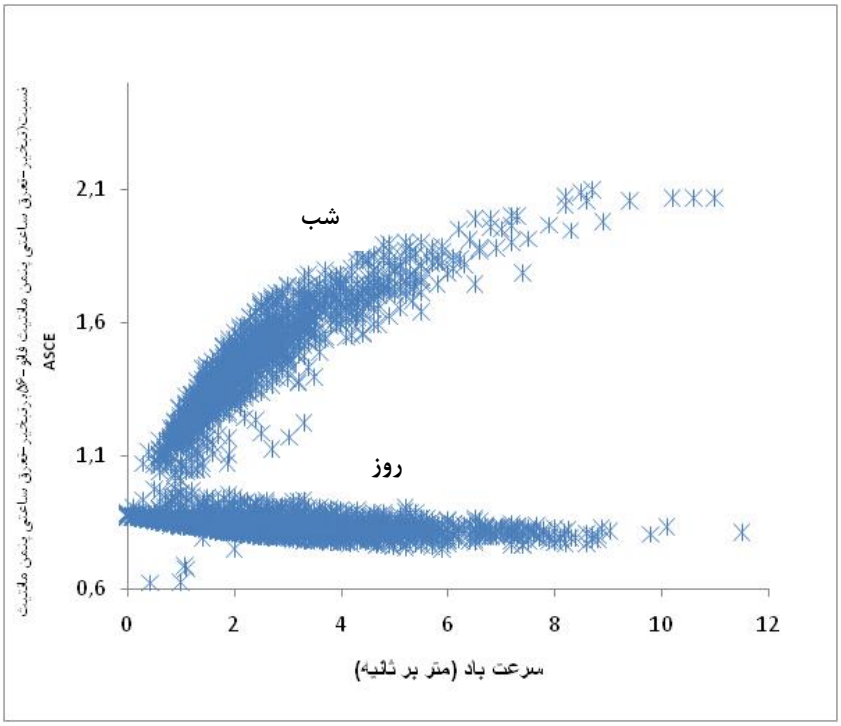
اختلاف بین متوسط تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۰/۵۳ میلیمتر در روز (جدول ۲) می باشد. حداکثر مقدار تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۱/۳۵ میلیمتر در روز کمتر از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE می باشد.



شکل۲- مقادیر تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ٥٦ در دو روز از سال
(یک روز طولانی و یک روز کوتاه)



شکل۳- نسبت تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ٥٦ بر تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE در دو روز از سال
(یک روز طولانی و یک روز کوتاه)



شکل٤- نسبت تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ٥٦ بر تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE در مقابل سرعت باد (متر بر ثانیه)

جدول ۱- مقادیر حداکثر و متوسط، شیب بهترین خط برازش داده شده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSD) و شاخص توافقی خطا (d) در دو روش تبخیر- تعرق پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق پنمن مانتیث فائو ٥٦ در بازه زمانی ساعتی

منطقه مورد مطالعه	تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ٥٦ (میلی متر بر ساعت)		تبخیر-تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE (میلی متر بر ساعت)		شیب	RMSD	d
	حداکثر	میانگین	حداکثر	میانگین			
فریمان	۰/۸۹۵	۰/۱۴۲	۱/۰۶۱	۰/۱۶۴	۱/۱۸	۰/۰۴۵	۰/۹۹۳

جدول ۲- مقادیر حداکثر، حداقل، متوسط ، شیب بهترین خط برازش داده شده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSD) و شاخص توافقی خطا (d) بین دو روش تبخیر- تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر-تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث فائو ٥٦

منطقه مورد مطالعه	تبخیر-تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث فائو ٥٦(میلی متر بر روز)			تبخیر-تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث ASCE(میلی متر بر روز)		شیب	RMSD	d
	حداکثر	حداقل	میانگین	حداکثر	حداقل	میانگین			
فریمان	۸/۱۷	۰/۰۵۷	۳/۴۱	۱۰/۰۶	۰/۰۶۵	۳/۹۴	۱/۱۴	۰/۶۲	۰/۹۹۴

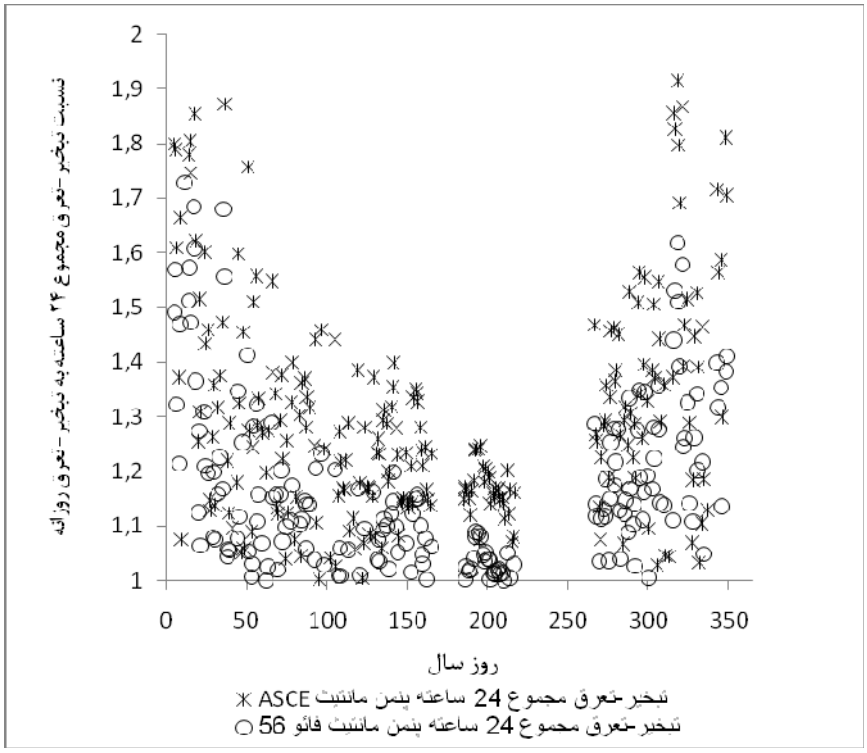
شیب خط برازش داده شده بین تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نشان دهنده این موضوع است که تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE درحدود ۱۴ درصد بیشتر از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSD) در حدود ۰/۶۲ میلیمتر در روز بدست آمده است و با توجه به اینکه شاخص توافقی خطا بین دو روش در حدود ۰/۹۹۴ می باشد به نظر می رسد که در این مکان مقادیر دو روش همبستگی زیادی دارند.

مقایسه تبخیر-تعرق مجموع ساعتی با تبخیر-تعرق روزانه

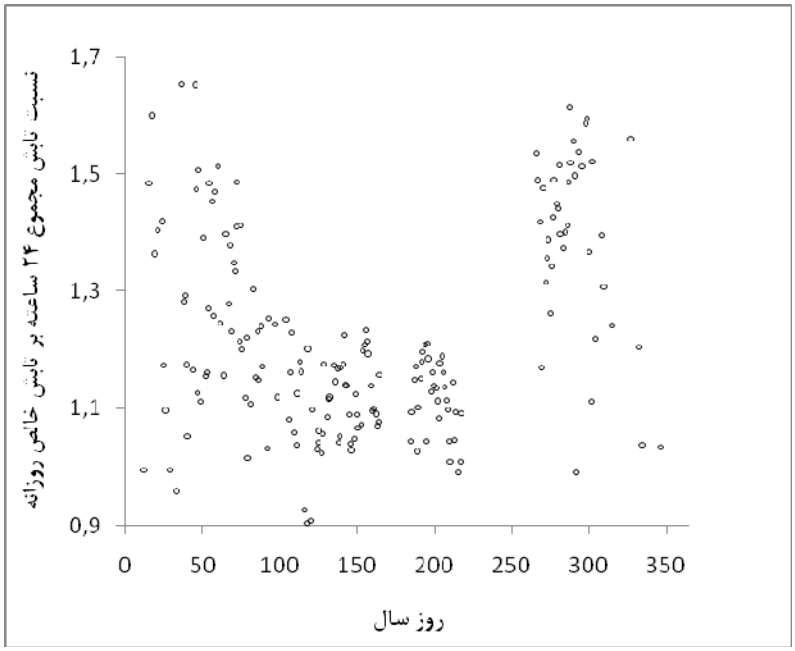
نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ و نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ نشان داده شده است (شکل ۵). مقدار نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ کمتر از نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ برای این منطقه می باشد. این دو نسبت از شروع سال شروع به کاهش کرده و سپس به مقدار تقریبا ثابتی رسیده در اواسط سال رسیده و پس از آن تا انتهای سال شروع به افزایش می نماید. در طی اواسط سال نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ نزدیک به یک بوده در حالیکه مقدار نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ بیشتر می باشد.

دلایل زیادی هستند که باعث اختلاف بین نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ و نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ می گردند، معمولا سرعت باد در ابتدا و انتهای سال بیشتر از اواسط سال بوده در حالیکه کمبود فشار بخار، تابش خالص و درجه حرارت هوا معمولا در اواسط سال بیشتر می باشد. همچنین اختلاف تغییرات شبانه روزی متغیرهای اقیمی در زمان‌های مختلف سال تاثیر زیادی بر روی این نسبت ها دارند. عامل مهم دیگر که تاثیرات زیادی بر روی این نسبت ها دارد اختلاف تابش خالص روزانه و تابش خالص در بازه زمانی یک ساعته می باشد. شکل ۶ نسبت تابش مجموع ۲۴ ساعته را به تابش خالص روزانه نشان می دهد. روند تغییرات نسبت تابش مجموع ۲۴ ساعته به تابش روزانه در طول سال نشان می دهد که این روند مشابه نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته به تبخیر- تعرق روزانه در دو روش می باشد. این دو نسبت در طول تابستان تغییر پذیری کمتری داشته و در سایر فصول تغییر پذیری بیشتری داشته است.

عدم تجانس بین تابش خالص روزانه بدون فلاکس حرارتی خاک (G) و مجموع ۲۴ ساعته تابش خالص با در نظر گرفتن فلاکس حرارتی خاک باعث اختلاف بین تابش خالص طول موج بلند روزانه و فلاکس حرارتی خاک و تابش طول موج بلند مجموع ۲۴ ساعته و فلاکس حرارتی خاک می گردد، زیرا تابش خورشیدی ورودی روزانه و مجموع ۲۴ ساعته و تابش طول موج کوتاه یکسان می باشند.



شکل ۵- نسبت تبخیر- تعرق مجموع ۲٤ ساعته دو روش پنمن مانتیث فائو ٥٦ و پنمن مانتیث ASCE بر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ٥٦ در روزهای مختلف سال

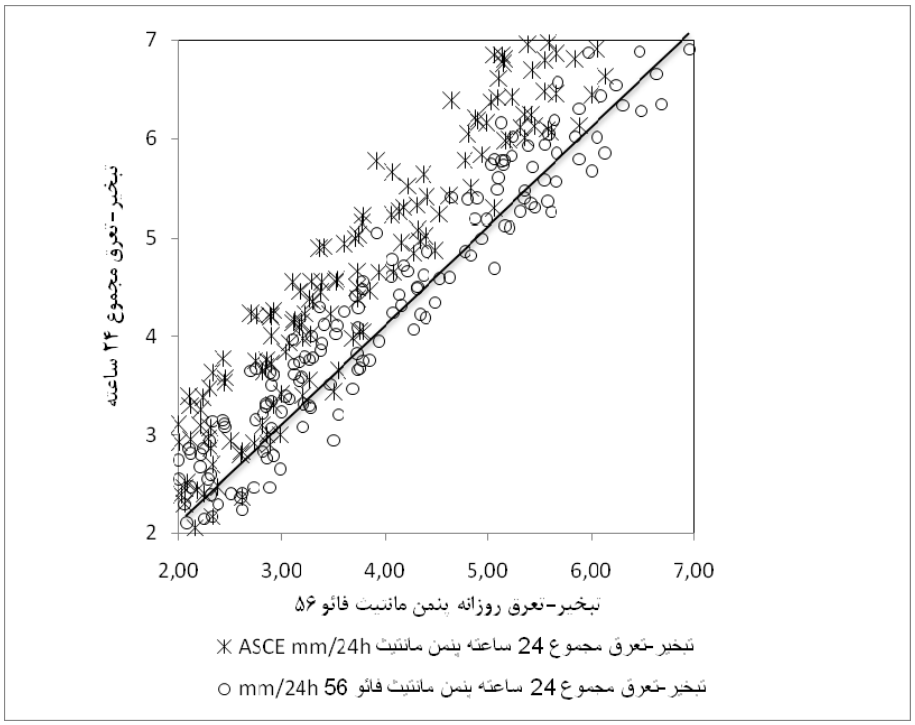


شکل ٦- نسبت تابش خالص مجموع ٢٤ ساعته بر تابش خالص روزانه در روزهای مختلف سال

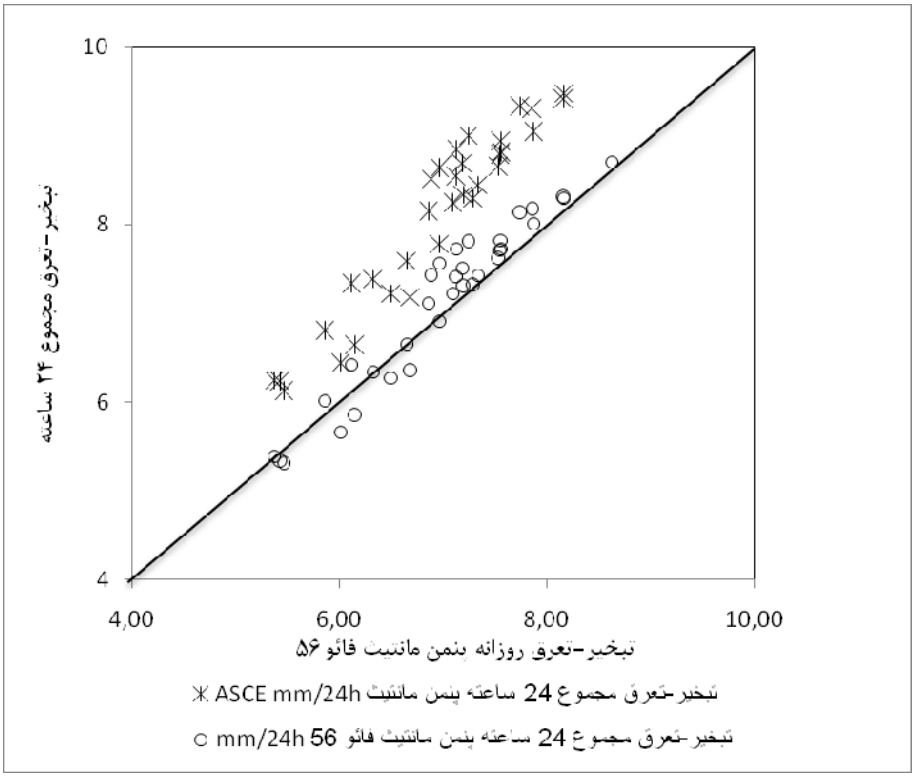
میانگین، حداکثر و حداقل تبخیر-تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ ، تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ و تبخیر-

تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE در جدول ۳ آورده شده است. میانگین، حداکثر و حداقل تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ کمتر از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته در هر دو روش می‌باشد (مقایسه جدول ۲ و ۳). شیب بهترین خط برازش داده شده بین تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۱۵ درصد کمتر از شیب بهترین خط برازش داده شده بین تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSD) بین تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به تبخیر-تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۵۴ درصد کمتر از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد.

شاخص توافقی خطا (d) بین هر دو روش نزدیک به یک می‌باشد. نتایج نشان می دهد که مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ نزدیک می باشد. و بین مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ همبستگی بالایی وجود دارد. برای تمام طول سال مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نسبت به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۲/۶ درصد بیش برآورد داشته است درحالیکه روش تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE نسبت به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود۱۷/۳ درصد بیش برآورد داشته است (شکل۷). در ماههای تابستان تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۱۲ درصد بیشتر از مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، بوده است درحالیکه روش تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE نسبت به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۲۶ درصد بیش برآورد داشته است شکل (۸). مقادیر تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE همواره در تمام طول سال بیشتر از تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ بیشتر است که دلیل آن این است که مقادیر تبخیر- تعرق روزانه از محاسبه تبخیر- تعرق در روز بدست می آید و در شب مقادیر تبخیر- تعرق کمتر می باشد. و این نتایج نشان می دهد که تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ مقادیر قابل قبول تری را در تمام طول سال برای تعیین مجموع تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ نسبت به تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE دارد.



شکل ۷- تبخیر- تعرق مجموع ۲٤ ساعته در دو روش پنمن مانتیث فائو ٥٦ و پنمن مانتیث ASCE در مقابل تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ٥٦ در تمام طول سال



شکل ۸- تبخیر- تعرق مجموع ٢٤ ساعته در دو روش پنمن مانتیث فائو ٥٦ و پنمن مانتیث ASCE در مقابل تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ٥٦ در فصل تابستان

جدول ۳- مقادیر حداکثر، حداقل، متوسط، شیب بهترین خط برازش داده شده، جذر میانگین مربعات خطا (RMSD)، شاخص توافقی خطا (d) و ضریب همبستگی (R^2) بین دو روش تبخیر- تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق مجموع ٢٤ ساعته پنمن مانتیث فائو ٥٦

منطقه مورد مطالعه	تبخیر-تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ٥٦(میلی متر بر روز)			تبخیر-تعرق مجموع ٢٤ساعته پنمن مانتیث فائو ٥٦(میلی متر بر روز)			تبخیر-تعرق مجموع ٢٤ساعته پنمن مانتیث ASCE(میلی متر بر روز)			
	حداکثر	حداقل	میانگین	شیب	RMSD	d	R^2	شیب	RMSD	d	R^2
فریمان	۸/۶۲	۰/۰۷	۳/۲۲	۱/۰۲۶	۰/۴۳	۰/۹۹۷	۰/۹۶۷	۱/۱۷	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۶۱

نتیجه گیری

در این پژوهش دو روش تبخیر- تعرق پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق پنمن مانتیث فائو ۵۶ در بازه زمانی یک ساعته و مجموع ۲۴ ساعته با تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ برای یک اقلیم مدیترانه ای گرم و خشک (شهرستان فریمان) برای ۲۷۸ روز از سال مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در طول روز تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE بیشتر از تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد که بدین دلیل است که در طول روز مقاومت سطحی در مدل تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE کمتر می باشد در حالیکه در طول شب در روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث ASCE مقدار مقاومت سطحی بیشتر بوده و در نتیجه تبخیر کمتر از روش تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ می باشد. اختلاف و یا تفاوت بین مقادیر محاسبه شده تبخیر- تعرق یک ساعته از دو روش در طول شب و روز وابستگی بسیار بالایی با سرعت باد در روز و شب داشته است. شیب مناسب ترین خط برازش داده شده بین تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نشان داد که مقادیر تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث ASCE در حدود ۱۸ درصد بیشتر از تبخیر- تعرق یک ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در این منطقه می باشد. پایین بودن شاخص RMSD و بالا بودن شاخص d بین تبخیر-تعرق ساعتی را در دو روش تبخیر- تعرق

ساعتی پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق ساعتی پنمن مانتیث فائو ۵۶ و بین تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE و تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ مشخص نمود که این مقادیر توافق و یا همبستگی بالایی نسبت به یکدیگر دارند. برای تمام طول سال مقادیر تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نسبت به مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۲/۶ درصد بیش برآورد داشته است درحالیکه روش تبخیر-تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE نسبت به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۱۷/۳ درصد بیش برآورد داشته است. در ماههای تابستان تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ در حدود ۱۲ درصد بیشتر از مقادیر تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، بوده است درحالیکه روش تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE نسبت به تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶، در حدود ۲۶ درصد بیش برآورد داشته است. این نتایج نشان می دهد که استفاده از تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث فائو ۵۶ نتایج قابل قبول تری را در تمام طول سال برای تعیین مجموع تبخیر- تعرق روزانه پنمن مانتیث فائو ۵۶ نسبت به تبخیر- تعرق مجموع ۲۴ ساعته پنمن مانتیث ASCE دارد. این نتایج تاکید می کند که برای مواردی که نیاز به استفاده از داده های یک ساعته و یا روزانه برای تمام طول می‌باشد استفاده از داده های تبخیر- تعرق یک ساعته و روزانه روش پنمن مانتیث فائو ۵۶ توصیه می گردد. چنانچه داده های با کیفیت و قابل قبولی در بازه های زمانی یک ساعته موجود باشد زمانی که از تبخیر- تعرق در بازه های یک ساعته استفاده کنیم نتایج به واقعیت نزدیکتر خواهد بود تا اینکه از متوسط داده ها برای محاسبه تبخیر- تعرق روزانه استفاده گردد. پیشنهاد می‌گردد در اقلیم هایی که تغییرپذیری زیادی بین پارامترهای هواشناسی روزانه و ساعتی وجود دارد که از پارامترهای کوتاه مدت ساعتی و یا کمتر در محاسبه تبخیر-تعرق استفاده گردد.

سپاسگزاری

نگارندگان این مقاله بر خود لازم می دانند که از آقای محمد توکلی - مالک مزرعه خصوصی- که اطلاعات مورد نیاز در این تحقیق را در اختیار آنها نهاده اند، سپاسگزاری نمایند.

منابع

۱- بختیاری ب.، خلیلی ع.، لیاقت ع. و خانجانی م.ج. ۱۳۸۸. مقایسه تبخیر- تعرق روزانه با مجموع ساعتی در ایستگاه هواشناسی کرمان. مجله علوم آب و خاک، ۲۳(۱): ۵۶-۴۵.

۲- شریفان ح.، قهرمان ب.، علیزاده ا. و میر لطیفی م. ۱۳۸۴. ارزیابی روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیرتعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان. مجله علوم آب و خاک، ۱۹(۲): ۲۹۰-۲۸۰.

۳- علیزاده ا. اصول طراحی سیستم های آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی.

۴- علیزاده ا.، کمالی غ.ع.، خانجانی م.ج. و رهنورد م.ر. ۱۳۸۳. ارزیابی روش‌های برآورد تبخیرتعرق در مناطق خشک ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹(۲)(پیاپی۷۳)): ۱۰۵-۹۷.

۵- میرزائی تختگاهی ح. ۱۳۸۵. مقایسه روش‌های برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. خلاصه مقالات.

6- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO irrigation and drainage paper 56, FAO, Rome. Italy. 301 p.

7- Allen R.G., Walter I.A., Elliot R., Howell T., Itenfisu D., and Jensen M. 2005. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. In: Final Rep., National Irrigation Symp. ASCEEWRI Task Committee, Phoenix.

8- Amatya D.M., Skaggs R.W., and Gregory J.D. 1995. Comparison of methods for estimating REF-ET. Proc. ASCE J. Irrig. Drain. Eng. 121 (6), 427–435.

9- ASCE-EWRI. 2005. The ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Technical Committee report to the Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers from the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. ASCE-EWRI, 1801 Alexander Bell Drive,Reston, VA 20191-4400, 173 pp.

10- Berengena J., and Gavilan P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 131 (2), 147–163.

11- Doorenbos J., Pruitt W.O. 1975. Crop water requirements. FAO irrigation and drainage. Paper No. 24. FAO, Rome.

12- Irmak S., Howell T.A., Allen R.G., Payero J.O., and Martin D.L. 2005. Standardized ASCE Penman-Monteith: Impact of Sum-of-Hourly Vs. 24- Hour Time step Computations at Reference Weather Station Sites.Transactions of the ASAE. Vol. 48(3): 1063-1077.

13- Jensen M.E., Burman R.D., and Allen R.G. (Eds.) 1990. Evapotranspiration and Water Irrigation Requirements.Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Division of ASCE, Manual no. 70. American Society of Civil Engineers, New York, 332 pp.
14- Krause P., Boyle D.P., and Base F. 2005. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Adv. Geosci. 5, 89–97.
15- Lopez-Urrea R., Martin de Santa Olalla F., Fabeiro C., and Moratalla A. 2006. An evaluation of two hourly reference evapotranspiration Equations for semiarid conditions. Agricultural water management. (86) 277-282.
16- Monteith J.L. 1965. Evaporation and environment. pp. 205-234. In G.E. Fogg (ed.) Symposium of the Society for Experimental Biology, The State and Movement of Water in Living Organisms, Vol. 19, Academic Press, Inc., NY.
17- Penman H.L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, and grass. Proc. Roy. Soc. London A193:120-146.
18- Perez P.J., Lecina S., Castellvi F., Martinez-Cob A., and Villalobos F.J. 2006. A simple parameterization of bulk canopy resistance from climatic variables for estimating hourly evapotranspiration. Hydrol. Process. 20, 515–532.
19- Smith M. 1991. Report on the Expert Consultation on Procedures for Revision of FAO Guidelines for Prediction of Crop Water Requirements. FAO, Rome, p. 45
20- Suleiman A. A., and Hoogenboom G. 2009. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspirationfor a 15-min time step in humid climate conditions. Journal of Hydrology 375 (2009) 326–333.
21- Suleiman A.A., and Hoogenboom G. 2007. Comparison of Priestley–Taylor and FAO-56 Penman–Monteith for daily reference evapotranspiration estimation in Georgia,USA. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 133 (2), 175–182.
22- Temesgen B., Eching S., Davidoff B., and Frame K. 2005. Comparison of some reference evapotranspiration equations for California. J. Irrig. Drain. Eng., ASCE 131 (1), 73–84.
23- Ventura F., Spano D., Duce P., and Snyder R.L. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. Irrig. Sci. 18, 163–170.
24- Walter I.A., Allen R.G., Elliott R., Jensen M.E., Itenfisu D., Mecham B., Howell T.A., Snyder R., Brown P., Echings S., Spofford T., Hattendorf M., Cuenca, R.H., Wright J.L., and Martin D. 2000. In: ASCE'sStandardized Reference Evapotranspiration Equation. Proceedings of the 4th National Irrigation Symposium,ASAE, Phoenix, AZ.
25- Yildirim Y.E., Cakmak B., and Kose T. 2004. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration Values for GAP project area. J. Applied Sciences, 4(1): 53-57.

Journal of Water and Soil
Vol. 25, No.3, Jul-Aug 2011, p. 472-484

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۵، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۰، ص. ۴۸۴-۴۷۲

A Comparison of ASCE and FAO-56 Reference Evapotranspiration for a Hourly Time Step in Fariman Weather Station

Z. Shirmohammadi[1]*- H. Ansari[2]- A. Alizadeh[3]

Received:13-6-2010
Accepted:6-3-2011

Abstract

Potential evapotranspiration is one of basic parameter in hydrologic cycle that should be estimate in irrigation design and scheduling, watershed hydrology studies. Many applications in diverse disciplines require estimates of evapotranspiration (ET) at hourly or smaller time steps. The primary objectives of this study were to compare the American Society of Civil Engineers (ASCE) and FAO-56 Penman–Monteith equations for hourly ET0 (ET0,hourly,ASCE and ET0, hourly,FAO) estimations for semiarid climate conditions and to compare the 24 h sum of ASCE (ET0,24 h,ASCE) and FAO-56 hourly ET0 (ET0,24 h,FAO) with the daily ET0 (ET0,d,FAO) computed from the daily FAO-56 equation, which is identical to ASCE daily ET0 equation. 278-days, i.e., 2008–2009 continuous hourly and daily weather data from the automated internet weather station where placed in private Farm in fariman khorasan razavi province were used. It was evident that during the day, ET0,hourly,ASCE was higher than ET0, hourly ,FAO due to a lower surface resistance parameter value, while at night ET0, hourly,ASCE was lower than ET0, hourly,FAO due to a higher surface resistance parameter value. The ET0, hourly,FAO was about 18% less than ET0, hourly,ASCE and ET0,24 h,FAO was about 14% lower than ET0,24 h,ASCE. The difference between ET0, hourly,ASCE and ET0, hourly,FAO during the day and night was highly dependent on wind speed. For the entire year, ET0,24 h,FAO was 2.6% higher than ET0,d,FAO while ET0,24 h,ASCE was 17% higher than ET0,d,FAO. These results demonstrated that for applications that require hourly time steps or daily ET0 for the entire year, the use of ET0, hourly ,FAO and ET0,24 h,FAO, respectively, will yield more consistent outcomes.

Keywords: Reference evapotranspiration, Surface resistance, ASCE penman-monteith, FAO-56Penman-Monteith, Summation of hourly, Fariman

1,2,3 - PhD Student, Assistant Professor and Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(*- Corresponding Author Email: mshirmohamady@yahoo.com)