



مقایسه تبخیر تعرق روزانه با مجموع ساعتی در ایستگاه هواشناسی مرجع کرمان

بهرام بختیاری^{۱*} - علی خلیلی^۲ - عبدالمجید لیاقت^۳ - محمد جواد خانجانی^۴

تاریخ دریافت: ۸۷/۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۸۷/۵/۱۹

چکیده

در سال‌های اخیر ایستگاه‌های هواشناسی خودکار جهت ثبت داده‌های هواشناسی در مقیاس‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند، لذا با در دست داشتن اطلاعات هواشناسی در بازه زمانی کوتاه، می‌توان دقت برآورد معادلات ترکیبی تبخیر تعرق مرجع (ET_0) را مورد ارزیابی قرار داد. از آنجایی که تبخیر تعرق در مقطع زمانی روزانه، انتگرالی از تبخیر تعرق زمان‌های کوتاه تلقی می‌شود، هدف از این مطالعه، بررسی میزان اختلاف بین ET_0 برآورد شده در دو حالت روزانه (۲۴ ساعته) و مجموع ساعتی است. بدین منظور از ۲۲۷۰ داده ساعتی ایستگاه مرجع هواشناسی خودکار مستقر در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۸۴ استفاده گردید. روش‌های به کار گرفته شده جهت محاسبه ET_0 مرجع چمن شامل دو مدل پنمن - مونتیث فائو-۵۶ و پنمن - مونتیث استاندارد ASCE در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه (۲۴ ساعته) می‌باشد. جهت مقایسه مقادیر ET_0 محاسبه شده به دو روش روزانه (۲۴ ساعته) و مجموع ساعتی، در هر یک از ماه‌ها، از آزمون t استیوونت استفاده گردیده است. نتایج آزمون نشان داده است که اختلاف میانگین دو روش در هر دو مدل ترکیبی مورد استفاده در سطح ۵ درصد معنی دار بوده، بطوریکه در مدل فائو-۵۶، ET_0 محاسبه شده به روش مجموع ساعتی در ماه‌های مختلف بین ۵/۸ تا ۴۴/۶ درصد بیش برآورد نسبت به روش ۲۴ ساعته نشان می‌دهد. همچنین این بیش برآورد در روش ASCE در ماه‌های مختلف بین ۷/۴ تا ۴۷/۶ درصد محاسبه گردیده است. ضرایب رگرسیون حاصل از معادلات همبستگی به دو روش (مجموع ساعتی و روزانه) در هر یک از مدل‌های ترکیبی، معنی دار بوده است.

واژه‌های کلیدی: تبخیر تعرق مرجع، بازه ساعتی، پنمن - مونتیث - فائو-۵۶، پنمن - مونتیث ASCE

مقدمه

تبخیر تعرق یکی از مهمترین مولفه‌های چرخه آب در طبیعت بوده و تعیین دقیق آن برای مطالعات بیلان آبی، آبیاری و مدیریت منابع آب ضروری است. تبخیر تعرق واقعی از سطح پوشش گیاهی، با استفاده از حاصل ضرب تبخیر تعرق گیاه مرجع (ET_0)^۲ در ضریب گیاهی به دست می‌آید. در یک تعریف کلی، گیاه چمن به صورت یک سطح پوشیده به ارتفاع ۱۲ سانتی متر، مقاومت سطحی ثابت ۷۰ ثانیه

بر متر و ضریب بازتاب تابش ۰/۲۳، به عنوان گیاه مرجع محسوب می‌شود (۱). تبخیر تعرق مرجع به طور مستقیم توسط لایسیمتر یا به صورت غیر مستقیم با استفاده از داده‌های هواشناسی و اقلیمی محاسبه می‌گردد. روش‌های بسیاری مبتنی بر داده‌های هواشناسی برای شرایط مختلف اقلیمی، جهت محاسبه ET_0 تدوین شده است. این روش‌ها شامل معادلات پیچیده ترکیبی و یا معادلات ساده تر نظیر بلانی کریدل، وهارگریوز سامانی که به داده‌های کمتری نیاز دارند، می‌باشد (۹). در گروه معادلات ترکیبی پنمن، از دو جزء آئرو دینامیکی و توازن انرژی استفاده شده است. معادله پنمن بعدها توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO^۳) اصلاح و به پنمن فائو-۲۴ معروف گردید (۵). مونتیث (۱۹۶۳) اثر مقاومت گیاه در مسیر انتقال بخار آب از حفره روزنه به سطح برگ را در معادله پنمن لحاظ نمود و معادله‌ای موسوم به پنمن - مونتیث ارائه نمود (۱). در سال‌های اخیر معادله پنمن - مونتیث مورد بررسی و بازنگری قرار گرفته که مهمترین

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه تهران

(Email: Drba777@yahoo.com)

* - نویسنده مسئول :

۲- استاد دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

۳- دانشیار دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده مهندسی آب و خاک، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی

۴- استاد دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی عمران

مواد و روش‌ها

ایستگاه مورد مطالعه در مزرعه دانشگاه شهید باهنر کرمان با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و متوسط ارتفاع ۱۷۵۳/۸ متر از سطح دریا مستقر شده و اطراف سایت را زمین‌های کشاورزی و تحت آبیاری در بر گرفته است. در تقسیم بندی اقلیمی دوماستن، نوع اقلیم نیمه خشک و میانگین بارندگی سالانه منطقه بر اساس آمار ۳۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۷۰) ایستگاه سینوپتیک کرمان، ۱۵۴/۱ میلی‌متر به دست آمده است. بر این اساس میانگین دمای هوا در منطقه ۱۷/۱ درجه سانتیگراد، متوسط دما در سردترین ماه برابر ۴/۶ و متوسط دما در گرمترین ماه سال ۳۴/۷ بوده است. همچنین میانگین سالانه رطوبت نسبی در منطقه ۳۲ درصد است. میانگین سالانه سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، ۲/۳ متر بر ثانیه محاسبه گردیده است. جهت ایجاد شرایط مرجع در سایت مطالعاتی، در سطح ایستگاه به مساحت ۲۰×۲۰ متر، گیاه چمن کشت و آبیاری آن بصورت پاششی و توسط شیلنگ انجام گرفت. حسگرهای مورد استفاده در ایستگاه هواشناسی خودکار عبارتند از: حسگر دمای هوا در ارتفاع ۲ متری، حسگر رطوبت نسبی در ارتفاع دو متری و حسگر اندازه‌گیری سمت و سرعت باد در ارتفاع دو متری. تمامی حسگرهای فوق‌الذکر به یک دستگاه دیتالاگر زیمنس مدل SIWAREX U اتصال یافته‌اند. لذا امکان ثبت متغیرهای هواشناسی شامل دمای هوا، رطوبت نسبی و سمت و سرعت باد در بازه زمانی کوتاه مدت، فراهم شده است. سیستم نرم افزاری اکسل به گونه‌ای برنامه‌ریزی شده که داده‌های هواشناسی در بازه زمانی یک ساعته، داخل دیسک سخت رایانه موجود در اتاق کنترل نگهداری می‌شوند. جهت پردازش داده‌های ساعتی موجود در دیتالاگر، برنامه‌ای در محیط اکسل تهیه و داده‌های مربوط به هر ماه در فایل‌های جداگانه‌ای ذخیره شده‌اند. لازم به ذکر است که به دلیل فقدان حسگر تشعشع در ایستگاه مطالعاتی، از داده‌های ساعتی تشعشع ثبت شده توسط تشعشع سنج مدل لامبرخت در ایستگاه سینوپتیک فرودگاه کرمان (واقع در ۱۰ کیلومتری ایستگاه دانشگاه)، استفاده شده است. در این تحقیق دوره آماربرداری منطبق بر ماه‌های فروردین لغایت اسفند سال ۱۳۸۴ بوده که پس از حذف نقاط پرت، تعداد ۷۲۷۰ داده ساعتی مربوط به متغیرهای هواشناسی به دست آمده است. دو مدل ترکیبی جهت محاسبه ET_0 در گام‌های زمانی ساعتی و روزانه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این معادلات عبارتند از:

معادله پنمن- مونتیت فائو- ۵۶

شکل کلی معادله پنمن- مونتیت فائو- ۵۶ جهت محاسبه ET_0 در گام‌های زمانی روزانه و ساعتی به صورت زیر است (۱):

آنها اصلاح شده توسط فائو و اصلاح شده توسط انجمن مهندسی عمران آمریکا ($ASCE^1$) می‌باشد (۳). این روش به دلیل دارا بودن مبانی تئوری و سازگاری با بازه‌های زمانی کوتاه توسط محققین توصیه شده است (۵ و ۴ و ۳ و ۱). در دهه اخیر نیز تحقیقات متعددی جهت ارزیابی معادلات ترکیبی ET_0 در بازه کوتاه مدت ساعتی بر اساس اندازه گیریهای لایسیمتری به انجام رسیده است (۱۱ و ۱۰ و ۴ و ۲). در حقیقت تفاوت دو مدل پنمن- مونتیت- فائو ۵۶ و پنمن- مونتیت $ASCE$ ، در مقدار مقاومت سطحی می باشد، به گونه‌ای که در مدل فائو ۵۶ برای هر دو بازه زمانی ساعتی و روزانه، این مقدار معادل ۷۰ ثانیه بر متر لحاظ می‌گردد در حالیکه در مدل استاندارد $ASCE$ برای گیاه مرجع چمن، در طول روز برابر ۵۰ و در بازه شب معادل ۲۰۰ ثانیه بر متر در نظر گرفته می‌شود (۲). $ASCE-EWRI$ (۳) با در نظر گرفتن معادله پنمن- مونتیت در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه و لحاظ نمودن مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر در معادله روزانه و مقادیر ۵۰ و ۲۰۰ ثانیه بر متر به ترتیب برای مقاومت سطحی در طول بازه‌های روز و شب در معادله ساعتی، مجموع داده‌های ساعتی ET_0 را با داده‌های روزانه در طی فصل رشد در ۴۹ ایستگاه ایالات متحده با اقلیم‌های متفاوت مقایسه نموده است (۸). نتایج این محققان نشان داد که با در نظر گرفتن مقاومت‌های سطحی مختلف برای طول دوره شب و روز و جمع مقادیر ساعتی، ET_0 حاصله تطابق خوبی با ET_0 محاسبه شده توسط معادله روزانه (با لحاظ نمودن مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر) در تمامی مناطق مطالعاتی دارد. ایبرماک و همکاران (۷) با مطالعه بر روی هفت ایستگاه هواشناسی مرجع با اقلیم‌های متفاوت، ET_0 حاصله از مجموع داده‌های ساعتی را با ET_0 روزانه محاسبه شده از روش پنمن- مونتیت استاندارد $ASCE$ ، مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که در شش ایستگاه، ET_0 روزانه محاسبه شده نسبت به مجموع مقادیر ساعتی، وضعیت بیش برآورد داشته و در اقلیم‌های مرطوب، ET_0 حاصل از این دو حالت، تطابق بهتری نسبت به اقلیم‌های گرم و خشک داشته‌اند. با بررسی مطالعات انجام یافته در ایران مشخص گردید که تا کنون تحقیقی در زمینه مقایسه تبخیرتغرق مرجع ساعتی و روزانه صورت نگرفته است.

هدف از این مطالعه، بررسی میزان اختلاف بین ET_0 برآورد شده در دو حالت روزانه (۲۴ ساعته) و مجموع ساعتی توسط دو مدل پنمن- مونتیت فائو- ۵۶ و پنمن- مونتیت $ASCE$ ، با استفاده از داده‌های کوتاه مدت ایستگاه هواشناسی خودکار مستقر در یک ایستگاه مرجع در اقلیم نیمه خشک کرمان می‌باشد.

حرارتی در سطح خاک ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) برای گام زمانی روزانه و $MJ.m^{-2}.hr^{-1}$ برای گام زمانی ساعتی)، T میانگین دمای روزانه یا ساعتی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری از سطح زمین (U_2)، میانگین روزانه یا ساعتی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m.s^{-1}$)، میانگین فشار بخار اشباع در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری (kPa) که برای گام زمانی روزانه، متوسط آن در دمای حداکثر و حداقل هوا محاسبه می‌شود، e_a میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در دمای هوا $(kPa.^\circ C^{-1})$ ، ثابت صورت و C_d ثابت مخرج کسره مقدار آنها تابعی از نوع گیاه مرجع و بازه زمانی اندازه‌گیری می‌باشد. مقدار C_n برای بازه زمانی روزانه یا ماهانه برابر ۰/۹۶ و برای بازه زمانی ساعتی در طول روز و شب ۰/۳۴ است. همچنین مقدار C_d در بازه زمانی روزانه یا ماهانه برابر ۰/۳۴ و در بازه زمانی ساعتی در طی روز ۰/۲۴ و در طی شب ۰/۹۶ در نظر گرفته می‌شود. از طرف دیگر چگالی شار حرارتی در بازه زمانی روزانه بسیار کوچک و برابر صفر در نظر گرفته شده، اما در بازه زمانی ساعتی در طی روز و شب، مقدار G مطابق معادلات ۶ و ۷ محاسبه می‌گردد (۳).

هنگامی که $R_n > 0$ یا روز هنگام:

$$G = 0.1R_n \quad (۶)$$

هنگامی که $R_n \leq 0$ یا شب هنگام:

$$G = 0.5R_n \quad (۷)$$

نتایج و بحث

در این مطالعه با توجه به تفاوت دو مدل پنمن-مونتیث فائو-۵۶ و پنمن-مونتیث ASCE از نظر برآورد مقاومت سطحی، این دو مدل در دو بازه زمانی ساعتی و روزانه مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نظر به اینکه تبخیر تعرق در مقطع زمانی استاندارد، انتگرالی از تبخیر تعرق زمانهای کوتاه تلقی می‌شود، لذا در این بررسی ابتدا ET_0 ساعتی ($ET_{0-H}(t)$) توسط هر یک از دو مدل محاسبه و جمع این مقادیر ($\sum ET_{0-H}(t)$) با ET_{0-D} حاصل از مدل‌های روزانه در هر ماه مقایسه گردیده است. جهت آزمون داری اختلاف میانگین دو روش از آزمون t جفت شده^۱، استفاده شده است. در این حالت فرضیه H_0 نمایانگر برابر بودن میانگین دو روش و فرضیه مقابل (H_1) بیانگر وجود اختلاف بین میانگین‌ها است. همانگونه که در شکل‌های ۱-الف و ۱-ب نشان داده شده است، مقدار تبخیر تعرق

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۱)$$

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{37}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۲)$$

که در آن ET_0 تبخیر تعرق مرجع ($mm.d^{-1}$) یا $mm.hr^{-1}$)، Δ شیب منحنی فشار بخار اشباع در دمای هوا $(kPa.^\circ C^{-1})$ ، میزان تابش خالص در سطح چمن R_n ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) یا $(MJ.m^{-2}.hr^{-1})$ ، چگالی شار حرارتی خاک ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) یا $(MJ.m^{-2}.hr^{-1})$ مطابق معادلات ۶ و ۷، T میانگین دمای روزانه یا ساعتی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری از سطح زمین (U_2)، میانگین روزانه یا ساعتی سرعت باد در ارتفاع ۲ متری ($m.s^{-1}$)، میانگین فشار بخار اشباع در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری e_a ، میانگین فشار بخار واقعی هوا در ارتفاع ۱/۵ تا ۲ متری Δ ، شیب منحنی فشار بخار اشباع در دمای هوا $(kPa.^\circ C^{-1})$ و γ ثابت سایکرومتری ($kPa.^\circ C^{-1}$) است. جهت برآورد فشار بخار اشباع در گام زمانی روزانه، متوسط آن در دمای حداکثر و حداقل هوا محاسبه می‌شود. فشار بخار واقعی هوا (e_a) جهت برآورد ساعتی ET_0 ، بصورت زیر تعیین می‌شود.

$$e_a = e_s \frac{RH_{hr}}{100} \quad (۳)$$

که در آن RH_{hr} متوسط ساعتی رطوبت نسبی بر حسب درصد بوده و فشار بخار اشباع در درجه حرارت ساعتی T_{hr} عبارت است از:

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

که در آن e_s فشار بخار اشباع در دمای T_{hr} بر حسب kPa است.

معادله پنمن-مونتیث استاندارد ASCE

معادله استاندارد ارائه شده توسط انجمن مهندسين عمران آمریکا (ASCE) به منظور محاسبه تبخیر تعرق مرجع چمن در بازه زمانی ساعتی و روزانه به صورت زیر است (۱۲ و ۳ و تمسکن و همکاران: ۲۰۰۵):

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T+273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d U_2)} \quad (۵)$$

که در آن ET_0 تبخیر تعرق مرجع چمن ($mm.d^{-1}$) برای گام زمانی روزانه و $mm.hr^{-1}$ برای گام زمانی ساعتی)، R_n میزان تابش خالص در سطح چمن ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$) برای گام زمانی روزانه و $MJ.m^{-2}.hr^{-1}$ برای گام زمانی ساعتی)، G چگالی شار

دارای مقادیر بیش برآوردی بوده، بطوریکه درصد فرابراورد در ماه‌های فروردین لغایت اسفند به ترتیب ۱۷/۵، ۱۱/۷، ۹/۶، ۷/۴، ۱۰/۱، ۱۴/۰، ۲۹/۳، ۴۲/۵، ۶۳/۱، ۷۳/۹، ۴۷/۶ و ۲۸/۹ به‌دست آمده است. میانگین درصد بیش برآورد روش مجموع ساعتی نسبت به روش روزانه در فصول گرم سال (فروردین تا شهریور) برابر ۱۱/۷ و در دوره سرد سال (مهر تا اسفند) برابر ۴۷/۵ می‌باشد که نسبت به روش پنمن-مونیت فائو-۵۶، درصد بالاتری را در هر دو دوره به خود اختصاص داده است. نمودارهای ۳- الف و ۳- ب، بهترین خط برازش داده شده بر مقادیر ET_{0-D} و ET_{0-H} و پراکنش داده‌ها را نسبت به خط نیمساز در روش پنمن- مونیت ASCE به عنوان نمونه نشان می‌دهد. معادلات همبستگی و ضرایب تعیین به‌دست آمده برای هر ماه به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به جدول مذکور، کمترین ضریب تعیین مربوط به ماه‌های آذر، دی و بهمن و بیشترین آن مربوط به ماه‌های تیر و مرداد بوده است. همچنین با توجه به آزمون t، اختلاف میانگین‌های ET_{0-D} و ET_{0-H} محاسبه شده با روش پنمن- مونیت ASCE در سطح ۵ درصد معنی دار است. بر اساس نتایج این مطالعه، نیاز آبی محاسبه شده توسط جمع مقادیر ساعتی (ET_{0-H}) با مقدار محاسبه شده توسط معادله روزانه (۲۴ ساعتی) (ET_{0-D}) دارای اختلاف می‌باشد. نتیجه فوق با نتایج یلدریم و همکاران (۱۳) از نظر وجود اختلاف بین دو روش، تطبیق داشته اما این محققان مقدار تبخیرتعرق حاصل از جمع مقادیر ساعتی را کمتر از مقادیر حاصل از روش روزانه در ماه‌های می تا سپتامبر، به‌دست آوردند. لازم به ذکر است که این منطقه تحت رژیم بارندگی مدیترانه‌ای قرار دارد. هاول و همکاران (۶) نیز نشان دادند که نیاز آبی گیاه مرجع محاسبه شده توسط روش پنمن- مونیت با استفاده از داده‌های اقلیمی ساعتی، نتایج مطمئن تری نسبت به داده‌های روزانه به‌دست می‌دهد. در این حالت استفاده از داده‌های کوتاه مدت ایستگاههای هواشناسی خودکار واقع در منطقه طرح (ایستگاه مرجع) جهت برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان توصیه می‌شود.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، در اقلیم‌هایی نظیر شرایط مطالعاتی (۷)، اختلافات مشاهده شده در ET_0 حاصل از دو روش روزانه و مجموع ساعتی را می‌توان به عدم قطعیت در برآورد شار گرمای خاک (G) و عدم لحاظ نمودن تغییرات ناگهانی کوتاه مدت سرعت باد، دما و کمبود فشار بخار اشباع در روش روزانه نسبت داد. البته ضریب تعیین (R^2) بین ET_0 ساعتی حاصل از دو مدل پنمن-مونیت ASCE و پنمن- مونیت فائو-۵۶، برابر ۰/۹۹۸ محاسبه گردیده که حاکی از همبستگی بالای این دو روش می‌باشد، اما مقادیر برآورد شده توسط روش ASCE، در حدود ۳٪ کمتر از روش

محاسبه شده در طول شب صفر و یا بسیار نزدیک به صفر است. اما از ساعات حدود ۶/۵ الی ۷ صبح، گردادین تبخیر تعرق تا حدود ساعات ۱۲/۵ الی ۱۳ افزایش یافته و پس از آن شروع به کاهش می‌یابد. شکل‌های ۴- الف لغایت ۴- ل روندتغییرات ET_{0-D} روزانه و ET_{0-H} حاصل از جمع مقادیر ساعتی توسط روش پنمن- مونیت فائو-۵۶ را در ماه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. تغییرات رسم شده بیانگر وجود اختلاف زیاد بین دو روش روزانه و مجموع ساعتی در ماه‌های مهر تا اسفند می‌باشد. با توجه به این نمودارها، در منطقه مطالعاتی، روند روزانه دو روش در کلیه ماه‌ها از یکدیگر پیروی نموده، اما مقادیر محاسبه شده $\sum ET_{0-H}(t)$ بیشتر از مقادیر ET_{0-D} حاصل از فرمول‌های روزانه بوده است به گونه‌ای که روش مجموع مقادیر ساعتی نسبت به روش روزانه، مقدار ET_0 را به ترتیب به میزان ۱۵/۱، ۸/۵، ۷/۶، ۵/۸، ۷/۸، ۱۲/۴، ۲۷/۱، ۳۸/۹، ۵۹/۱، ۷۱/۰، ۴۴/۶ و ۲۶/۰ درصد برای ماه‌های فروردین الی اسفند، بیشتر برآورد نموده است. میانگین بیش برآورد مجموع مقادیر ساعتی برای ماه‌های فروردین الی شهریور برابر ۹/۵ درصد و برای دوره سرد سال شامل ماه‌های مهر الی اسفند برابر ۴۴/۵ درصد می‌باشد. همبستگی بین دو روش روزانه و مجموع ساعتی با استفاده از مدل پنمن- مونیت فائو-۵۶ در شکل‌های ۲- الف و ۲- ب به عنوان نمونه ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، برای دوره شش ماهه اول (فصول بهار و تابستان)، خط رگرسیون برازش داده شده به خط نیمساز نزدیک و برای دوره سرد سال (فصول پاییز و زمستان) از خط نیمساز فاصله گرفته است. ضریب تعیین برای تمامی ماه‌ها به جز آذر، دی، بهمن و اردیبهشت بیش از ۹۲٪ به‌دست آمده است. معادلات همبستگی بین دو روش در جدول ۱ ارائه گردیده است. نتایج حاصله در جدول ۱ نشان می‌دهد که مقادیر t استیوودنت محاسبه شده به طور معنی داری با t بحرانی اختلاف داشته و در تمامی ماه‌های مورد مطالعه، سطح معنی داری^۱ در حدود صفر و کوچکتر از ۰/۰۵ بوده که نمایانگر رد فرضیه H_0 با اطمینان ۹۵ درصد می‌باشد. همچنین مقادیر t محاسبه شده در هیچ یک از ماه‌ها در فاصله اطمینان ۹۵ درصد اختلاف قرار نگرفته که دلیل بر رد فرضیه H_0 می‌باشد. در روش استاندارد پنمن- مونیت ASCE ساعتی، مقدار مقاومت سطحی^۲ (I_s) در طول بازه زمانی روز و شب به ترتیب برابر ۵۰ و ۲۰۰ ثانیه بر متر پیشنهاد شده است. اما در روش پنمن- مونیت ASCE روزانه، مقدار I_s برابر ۷۰ ثانیه بر متر در نظر گرفته می‌شود. چگونگی تغییرات ET_{0-D} و ET_{0-H} در روش ASCE در شکل‌های ۵- الف الی ۵- ل نشان داده شده است. نظیر مدل پنمن- مونیت فائو-۵۶، در این حالت نیز ET_{0-H} نسبت به ET_{0-D} در تمامی فصول سال

1- P- value

2- Surface resistance

روش در ماه‌های سرد سال با توجه به اقلیم بیابانی و نیمه خشک منطقه به علت تغییر پذیری شدیدتر متغیرهای هواشناسی در بازه زمانی ساعتی نسبت به میانگین‌های شبانه روزی می‌باشد. لذا بکارگیری متغیرهای هواشناسی در بازه زمانی کوتاه مدت جهت برآورد ET_0 در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک که بیشتر تحت تاثیر پدیده فرارفت گرما و تغییرات ناگهانی در متغیرهای اقلیمی می‌باشند، توصیه می‌گردد.

فائو- ۵۶ بوده که به دلیل لحاظ نمودن تاثیر بیشتر مقاومت سطحی در طی بازه روز در روش ASCE می‌باشد. در یک جمع بندی کلی، مقدار ET_0 روزانه محاسبه شده توسط جمع مقادیر ساعتی (ET_{0-H}) در طی فصل رشد حدود ۶ تا ۱۸ درصد و در ماه‌های سرد (مهر الی اسفند) در حدود ۲۷ تا ۷۴ درصد نسبت به ET_{0-D} بیشتر بوده است. آزمون t استیودنت، معنی دار بودن اختلاف دو روش را در سطح اعتماد ۵ درصد نشان داده است. می‌توان گفت اختلاف بیشتر دو

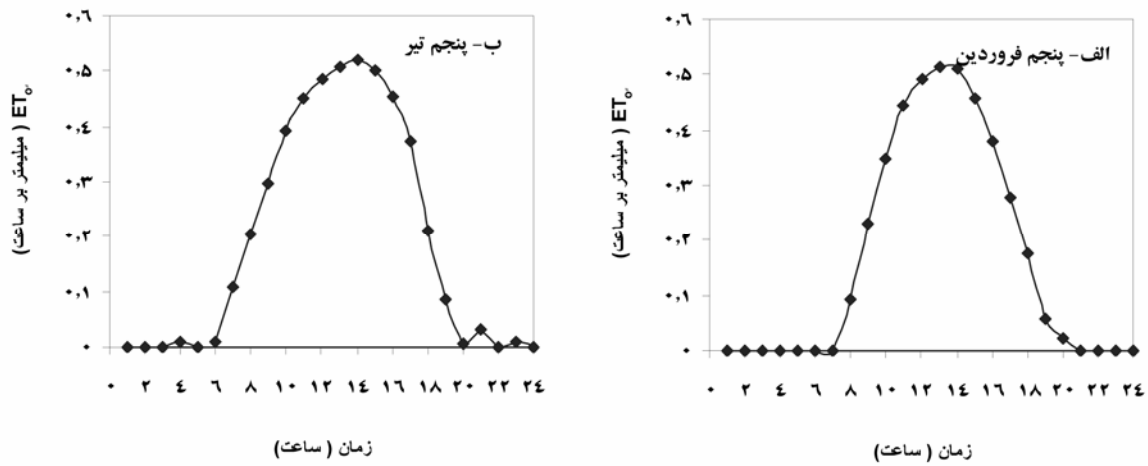
(جدول ۱) - نتایج آزمون t و معادلات همبستگی جهت مقایسه تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده توسط مدل پنمن - موتیث فائو- ۵۶ به دو روش

روزانه (ET_{0-D}) و مجموع ساعتی (ET_{0-H}) در منطقه کرمان - سال ۱۳۸۴

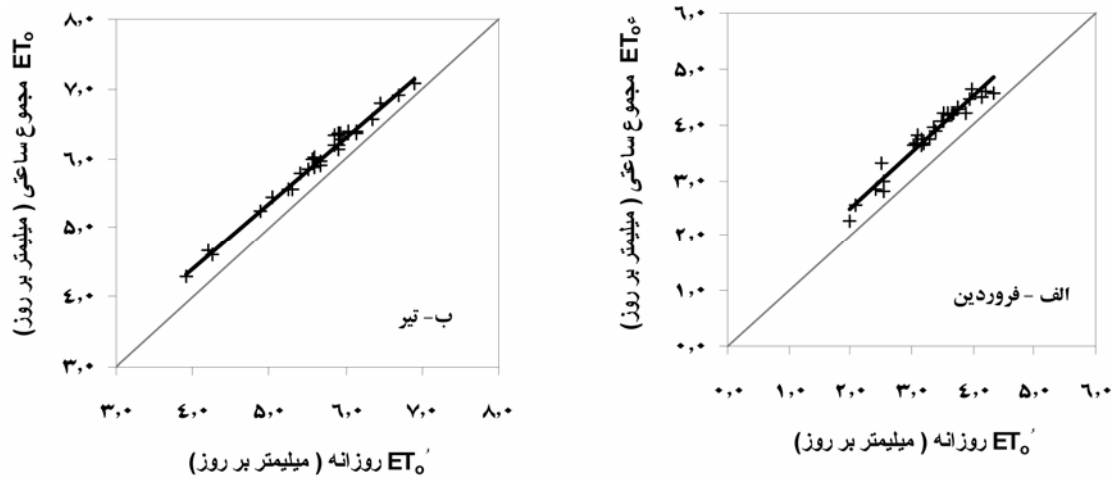
معادله همبستگی	ضریب تعیین (%) (R ²)	نتیجه آزمون (P value)	آزمون t استیودنت		t محاسبه شده	درجه آزادی (df)	ماهها
			حدود اعتماد ۹۵٪ اختلاف حدبالا حد پایین	حدود اعتماد ۹۵٪ اختلاف حدبالا حد پایین			
$ET_{0-H} = 0.9977 ET_{0-D} + 0.5133$	۹۵/۳۸	۰/۰۰۰	-۰/۵۵	-۰/۴۶	-۲۱/۳۳	۳۰	فروردین
$ET_{0-H} = 1.0684 ET_{0-D} + 0.813$	۸۳/۴۹	۰/۰۰۰	-۰/۴۹	-۰/۳۴	-۱۱/۱۴	۳۰	اردیبهشت
$ET_{0-H} = 0.8779 ET_{0-D} + 1.0802$	۹۲/۰۹	۰/۰۰۰	-۰/۴۵	-۰/۳۸	-۲۳/۱۴	۳۰	خرداد
$ET_{0-H} = 0.9434 ET_{0-D} + 0.6517$	۹۸/۷۶	۰/۰۰۰	-۰/۳۶	-۰/۳۰	-۲۲/۶۹	۳۰	تیر
$ET_{0-H} = 0.9904 ET_{0-D} + 0.457$	۹۵/۷۹	۰/۰۰۰	-۰/۴۴	-۰/۳۷	-۲۳/۷۶	۲۷	مرداد
$ET_{0-H} = 0.8542 ET_{0-D} + 1.1599$	۹۳/۱۰	۰/۰۰۰	-۰/۶۱	-۰/۴۶	-۱۴/۷۷	۱۷	شهریور
$ET_{0-H} = 0.9256 ET_{0-D} + 0.9934$	۹۵/۴۵	۰/۰۰۰	-۰/۸۲	-۰/۷۳	-۳۷/۷۱	۲۰	مهر
$ET_{0-H} = 1.0257 ET_{0-D} + 0.6826$	۹۱/۸۶	۰/۰۰۰	-۰/۸۱	-۰/۶۹	-۲۴/۹۰	۲۶	آبان
$ET_{0-H} = 1.2719 ET_{0-D} + 0.3281$	۷۰/۸۴	۰/۰۰۰	-۰/۸۰	-۰/۶۲	-۱۶/۴۶	۲۱	آذر
$ET_{0-H} = 1.5764 ET_{0-D} + 0.143$	۶۶/۸۸	۰/۰۰۰	-۰/۸۴	-۰/۶۷	-۱۸/۴۷	۲۴	دی
$ET_{0-H} = 1.0158 ET_{0-D} + 0.641$	۸۲/۳۵	۰/۰۰۰	-۰/۷۴	-۰/۵۹	-۱۷/۷۴	۲۴	بهمن
$ET_{0-H} = 1.1757 ET_{0-D} + 0.1968$	۹۵/۰۲	۰/۰۰۰	-۰/۶۷	-۰/۵۴	-۱۸/۰۱	۲۷	اسفند

(جدول ۲) - نتایج آزمون t و معادلات همبستگی جهت مقایسه تبخیر تعرق مرجع محاسبه شده توسط مدل پنمن - موتیث ASCE به دو

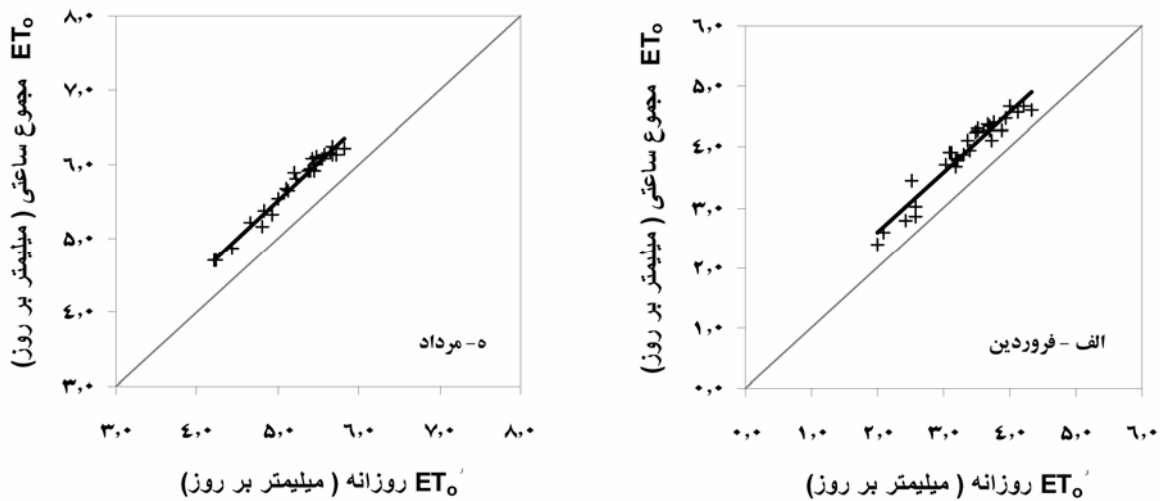
معادله همبستگی	ضریب تعیین (%) (R ²)	نتیجه آزمون (P value)	آزمون t استیودنت		t محاسبه شده	درجه آزادی (df)	ماهها
			حدود اعتماد ۹۵٪ اختلاف حدبالا حد پایین	حدود اعتماد ۹۵٪ اختلاف حدبالا حد پایین			
$ET_{0-H} = 1.0158 ET_{0-D} + 0.5284$	۹۳/۰۰	۰/۰۰۰	-۰/۶۴	-۰/۵۲	-۱۹/۷۲	۳۰	فروردین
$ET_{0-H} = 1.0566 ET_{0-D} + 0.2982$	۹۰/۰۲	۰/۰۰۰	-۰/۶۳	-۰/۵۱	-۱۹/۶۷	۳۰	اردیبهشت
$ET_{0-H} = 0.8987 ET_{0-D} + 1.0781$	۹۱/۸۴	۰/۰۰۰	-۰/۵۶	-۰/۴۹	-۲۹/۷۹	۳۰	خرداد
$ET_{0-H} = 0.9606 ET_{0-D} + 0.641$	۹۷/۸۰	۰/۰۰۰	-۰/۴۵	-۰/۳۸	-۲۳/۰۳	۳۰	تیر
$ET_{0-H} = 1.0308 ET_{0-D} + 0.3676$	۹۶/۴۴	۰/۰۰۰	-۰/۵۶	-۰/۴۹	-۳۲/۰۵	۲۷	مرداد
$ET_{0-H} = 0.8875 ET_{0-D} + 1.0856$	۹۲/۳۵	۰/۰۰۰	-۰/۶۷	-۰/۵۲	-۱۶/۵۴	۱۷	شهریور
$ET_{0-H} = 0.9369 ET_{0-D} + 1.0259$	۹۴/۵۷	۰/۰۰۰	-۰/۸۹	-۰/۷۹	-۳۸/۲۰	۲۰	مهر
$ET_{0-H} = 1.0952 ET_{0-D} + 0.3755$	۹۲/۵۵	۰/۰۰۰	-۰/۸۸	-۰/۷۵	-۲۵/۹۷	۲۶	آبان
$ET_{0-H} = 1.3634 ET_{0-D} + 0.324$	۷۵/۰۸	۰/۰۰۰	-۰/۸۵	-۰/۶۷	-۱۷/۵۸	۲۱	آذر
$ET_{0-H} = 1.6103 ET_{0-D} + 0.1384$	۶۶/۵۲	۰/۰۰۰	-۰/۸۸	-۰/۷۰	-۱۸/۷۲	۲۴	دی
$ET_{0-H} = 1.042 ET_{0-D} + 0.6511$	۸۰/۸۷	۰/۰۰۰	-۰/۷۹	-۰/۶۳	-۱۷/۸۷	۲۴	بهمن
$ET_{0-H} = 1.1757 ET_{0-D} + 0.2645$	۹۲/۸۱	۰/۰۰۰	-۰/۷۵	-۰/۵۹	-۱۷/۱۷	۲۷	اسفند



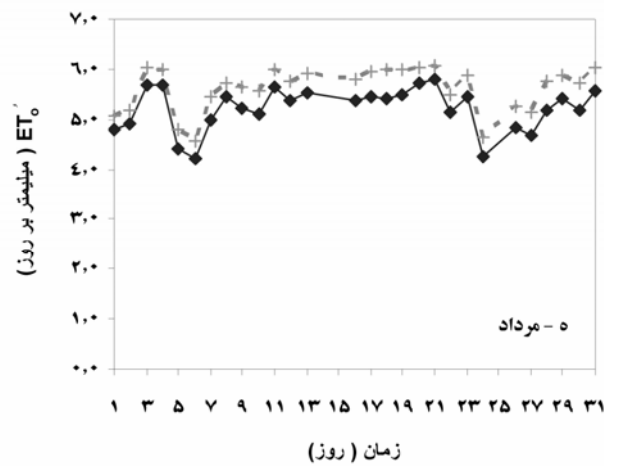
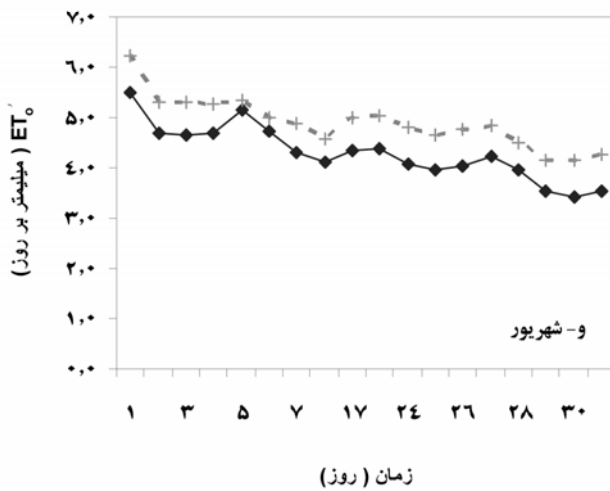
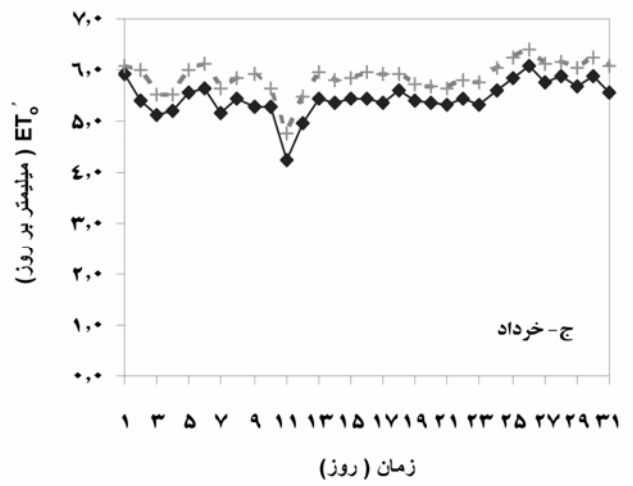
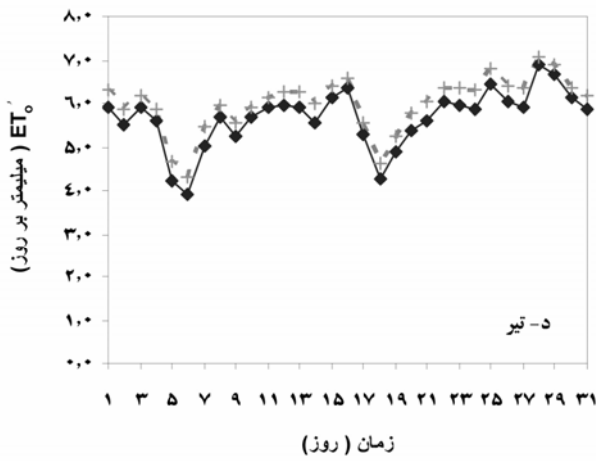
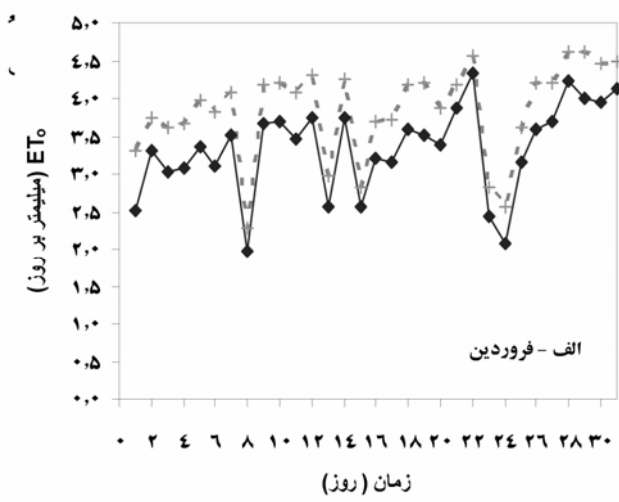
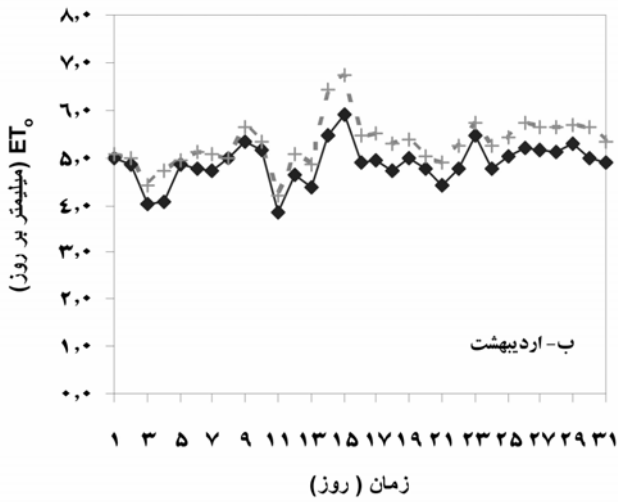
(شکل ۱) - تبخیر تعرق مرجع چمن محاسبه شده با روش پنمن - مونتیث فائو-۵۶ در بازه زمانی ساعتی در دو روز مختلف



(شکل ۲) - همبستگی بین تبخیر تعرق مرجع چمن محاسبه شده با مدل پنمن - مونتیث فائو-۵۶ به دو روش روزانه و مجموع ساعتی

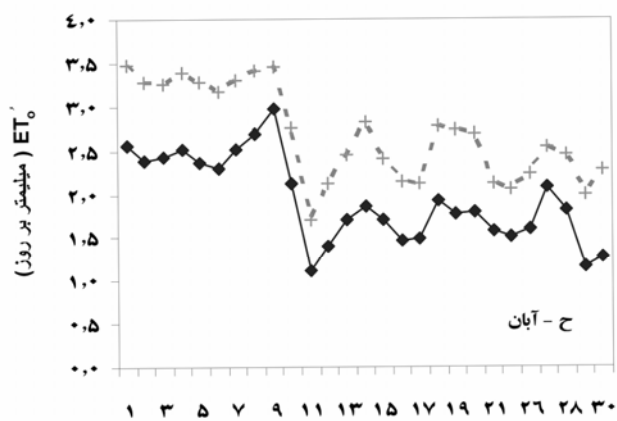


(شکل ۳) - همبستگی بین تبخیر تعرق مرجع چمن محاسبه شده با مدل پنمن - مونتیث ASCE به دو روش روزانه و مجموع ساعتی در دو ماه نمونه

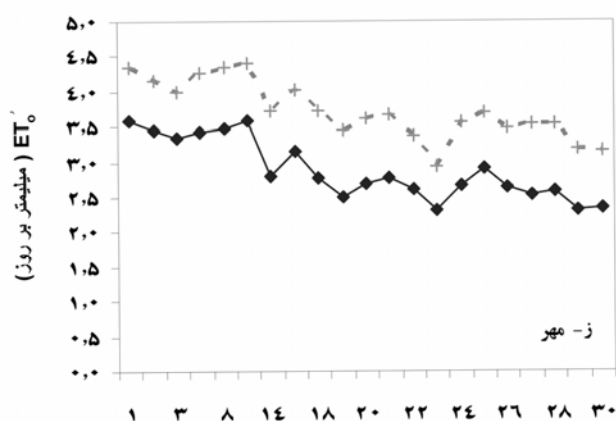


روزانه ————— مجموع ساعتی

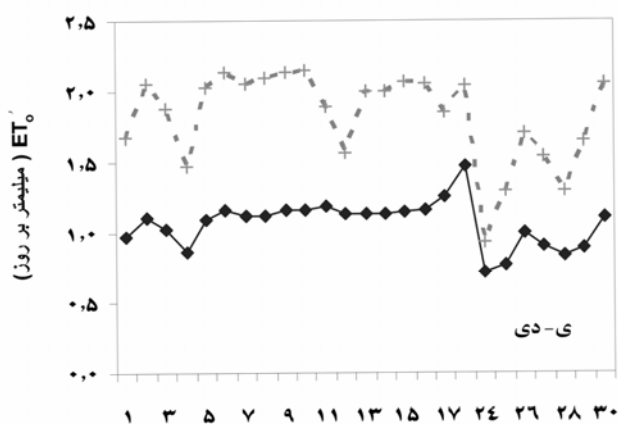
(شکل ۴) - تبخیر تعرق مرجع چمن محاسبه شده توسط معادله پنمن - مونتیث فائو- ۵۶ به دو روش روزانه و مجموع ساعتی طی ماه‌های فروردین لغایت شهریور سال ۱۳۸۴ در منطقه کرمان



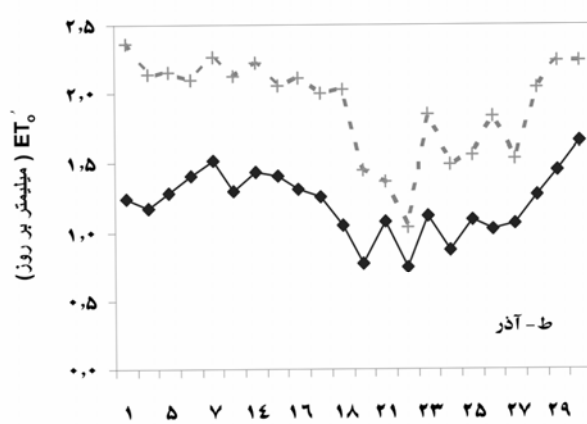
زمان (روز)



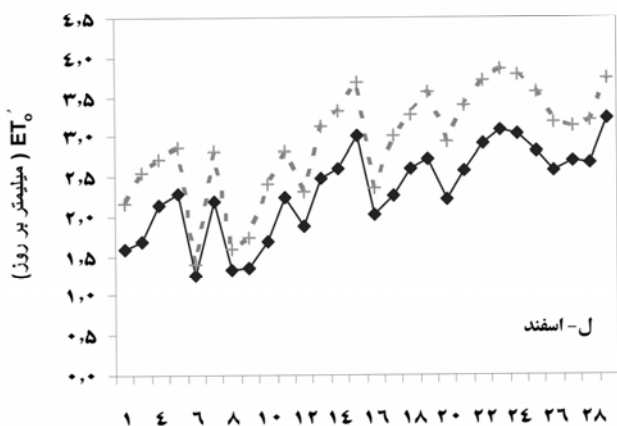
زمان (روز)



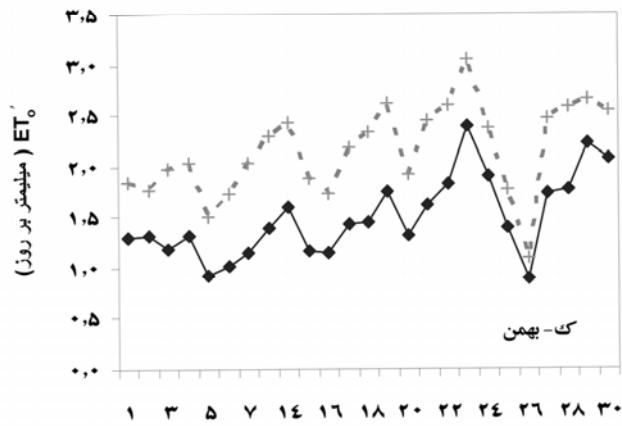
زمان (روز)



زمان (روز)

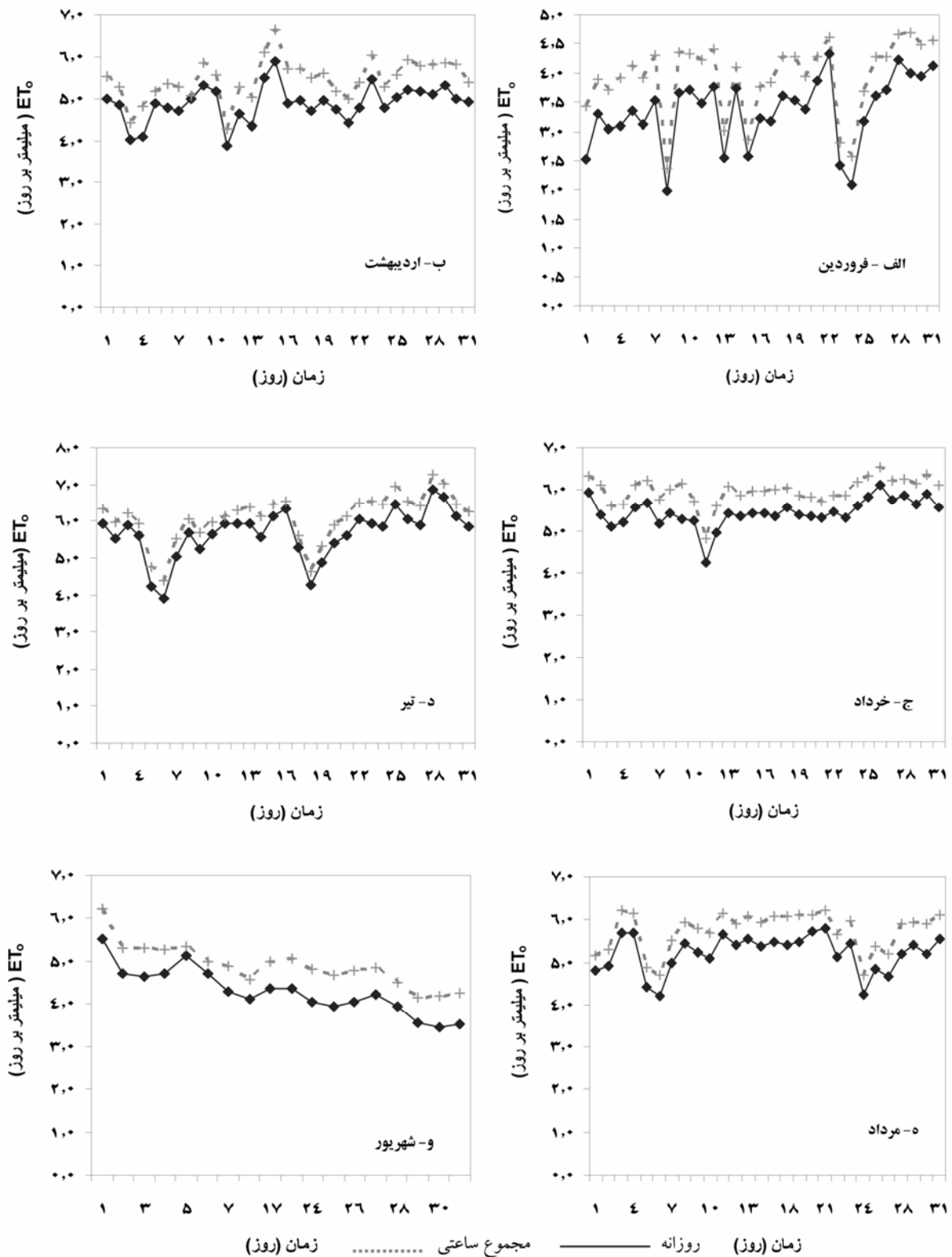


زمان (روز)

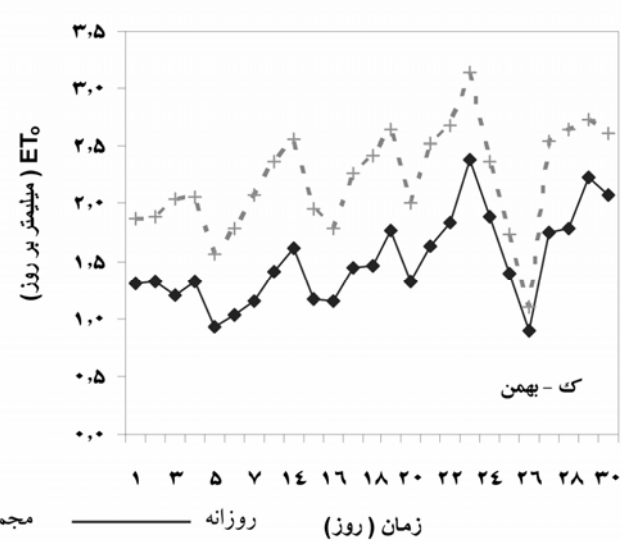
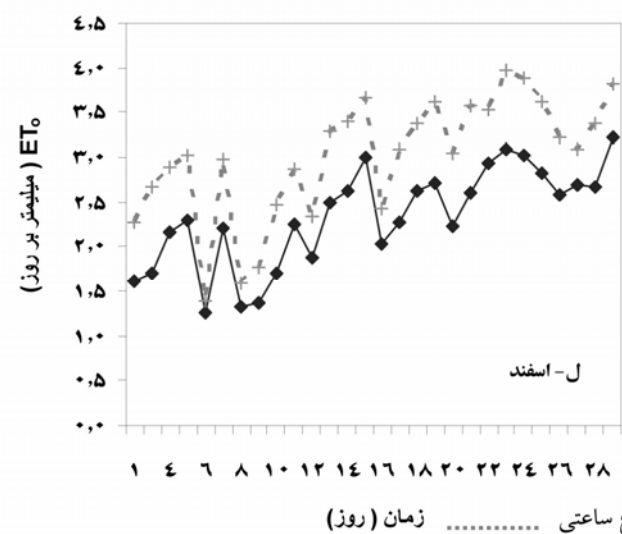
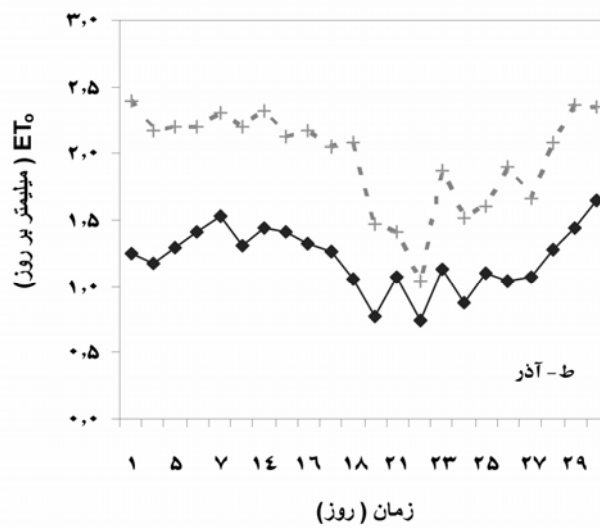
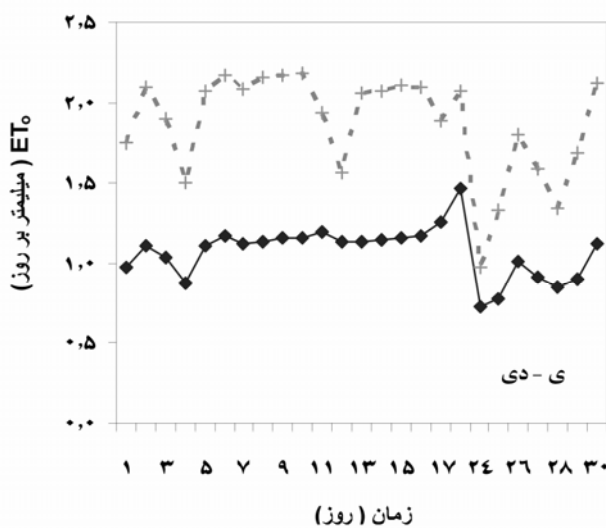
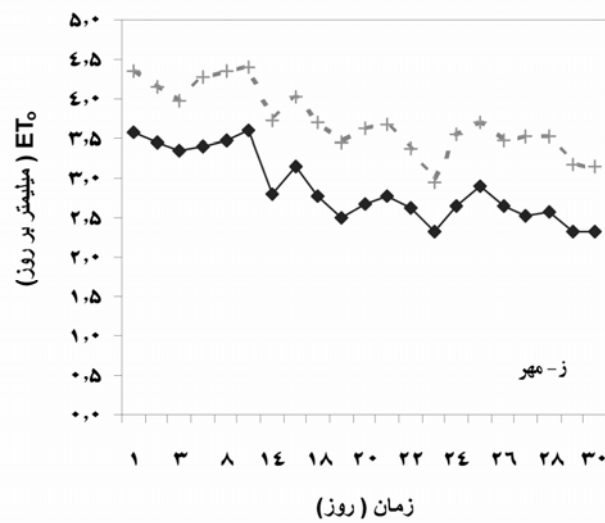
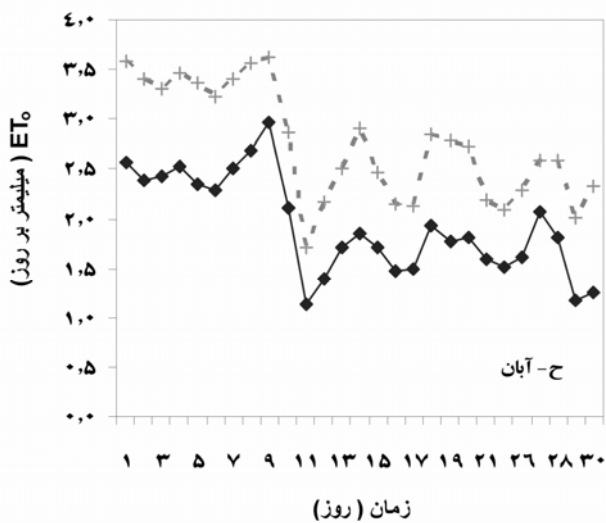


زمان (روز)

..... مجموع ساعتی — روزانه



(شکل ۵) - تبخیر تعرق مرجع چمن محاسبه شده توسط معادله پنمن-مونتیث ASCE به دو روش روزانه و مجموع ساعتی طی ماههای فروردین لغایت شهریور سال ۱۳۸۴ در منطقه کرمان



- 1- Allen, R. G., Raes, L. S. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy. 301 p.
- 2- Allen, R. G., Pruitt, W. O., Wright, J. L., Howell, T. A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., Yrisarry, J. B., Smith, M., Pereira, L. S., Raes, D., Perrier, A., Alves, I., Walter, I., and Elliott, R. 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO 56 Penman-Monteith method. *Agric. Water Manage.*, (81), 1–22.
- 3- 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.
- 4- Berengena, J. and Gavilan, P. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *J. Irrig. and Drain. Engrg.*, Volume 131, Issue 2, pp. 147-163.
- 5- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Guidelines for predicting crop water requirement. FAO irrigation and Drainage, paper No. 24, FAO, Rome, Italy.
- 6- Howell, T. A., Evett, S. R., Schneider, A. D., Dusek, D. A., and Copeland, K. S. 2000. Irrigated fescue grass ET compared with calculated reference grass ET. In: *Proceedings of 4th National Irrigation Symposium, ASAE, Phoenix*, pp. 228–242.
- 7- 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.
- 8- Itenfisu, D., Elliott, R. L., Allen, R. G., and Walter, I. A. 2003. Comparison of reference evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effect. *129(6): 440-448*.
- 9- Jensen, M. E., Burman, R. D. and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manual and Report on Eng. Prac., No. 70, New York.
- 10- 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 *Agric. Water Manage.*, Vol. 86, 277-282.
- 11- Ventura, F., Spano, D., Duce, P., and Snyder, R. L. 1999. An evaluation of common evapotranspiration equations. *Irrig. Sci.* 18, 163–170.
- 12- 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's Standardized Reference Evapotranspiration Equation. Proceedings of the 4th National Irrigation Symposium, ASAE, Phoenix, AZ*.
- 13- 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.



Comparison of Daily with Sum-of- Hourly Reference Evapotranspiration in Kerman Reference Weather Station

B. Bakhtiari^{*1} – A. Khalili – A. M. Liaghat – M. J. Khanjani²

Abstract

In recent years, automatic weather stations have been widely used for recording meteorological data in different time scales. Therefore the accurate estimation of ET_o by combination equations can be evaluated using these set of short time scales data. Daily ET_o can also be calculated by summation of hourly ET_o values. The purpose of this study is to compare the ET_o values estimated by hourly and daily data. Totally, 7270 hourly meteorological data obtained from the automated weather reference station where placed in Shahid Bahonar university of Kerman, Iran during April to December 2005 and January to March 2006. The Penman-Monteith equations proposed by the Food and Agriculture Organization (FAO-56) and American Society of Civil Engineers (ASCE) were used for hourly and daily (24 hours) ET_o estimation. The paired t- student test was used for comparison of estimated ET_o values by two methods (daily and hourly summation) in each month. The results of this study showed significant differences between ET_o values estimated by daily and hourly summation data in both equations at 5 percent level. The hourly summation method overestimated ET_o values from 5.8 to 44.6 percent in different months using FAO-56 Penman-Monteith equation and from 7.4 to 47.6 percent using ASCE Penman-Monteith equation. The regression coefficients of correlation equations between the daily and hourly summation method in both combination models were strongly significant.

Keywords: Reference evapotranspiration, Hourly time scale, FAO-56 Penman-Monteith, ASCE Penman-Monteith

1- Ph. D. student of Agricultural meteorology, Assoc. Prof. and Prof. Respectively, University of Tehran, Karaj, Iran. (*- Corresponding author Email: Drba777@yahoo.com)

2- Prof. of Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran.