

مقایسه روش‌های مختلف بر آورد تبخیر - تعرق مرجع (ترکیبی و دمایی) با روش استاندارد و بررسی اثرات خشکی هوا بر آن

حسین شریفان^۱، بیژن قهرمان^۲، امین علیزاده^۲ و سید مجید میر لطیفی^۱

^۱به ترتیب دانشجوی دوره دکتری گروه آبیاری و عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیات علمی دانشکده کشاورزی،
دانشگاه فردوسی مشهد،

تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/۱۱/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۸۴/۴/۲۸

چکیده

تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) یا به روش مستقیم (لایسیمتری) اندازه گیری و یا به طور غیر مستقیم (معادلات تجربی) بر آورد می شود. به دلیل عدم داده‌های دقیق لایسیمتری در منطقه مطالعاتی (استان گلستان) و به دلیل پذیرش روش فائو-پنمن -مانیت (F-P-M) توسط بسیاری از محققان و مؤسسات تحقیقاتی بین المللی به عنوان روش استاندارد، این روش در تحقیق حاضر به عنوان مرجع پذیرفته شد و ET_o بر آوردی دوگروه ترکیبی (پنمن و پنمن اصلاح شده فائو) و دمایی (هارگریوز - سامانی و بلانی - کریدل - فائو) با آن در سه وضعیت از داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفته و ارزیابی شدند. این وضعیت‌ها استفاده از داده‌های اصلاح نشده و داده‌های اصلاح شده در شرایط توصیه شده برای ایران و جهان بودند. مقادیر ET_o روزانه هر یک از روش‌های تجربی و مقادیر ET_o روزانه روش استاندارد مرجع، در سه ایستگاه گرگان (با ۲۰ سال آمار)، گنبد (۸ سال) و مراوه تپه (۹ سال) مورد مقایسه آماری قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش‌های پنمن و بلانی - کریدل - فائو به ترتیب دارای بالاترین و پائین‌ترین ضریب R² بودند و اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد تغییری در نتایج بررسی نداشت، ولی در ایستگاه مراوه تپه توانست اثر قابل توجهی داشته باشد که احتمالاً به دلیل خشکی این ایستگاه است. همچنین نتایج حاصل از اثر اصلاح داده‌ها بر اساس روش‌های فوق یکسان بود. با توجه به بررسی‌های به عمل آمده می توان در منطقه گلستان با استفاده از مقادیر ET_o به دست آمده از روش هارگریوز - سامانی و معادله همبستگی مناسب، مقدار ET_o قابل قبولی را بر اساس روش F-P-M تخمین زد.

واژه‌های کلیدی: پنمن - فائو، هارگریوز - سامانی، بلانی - کریدل، اعتبار سنجی، گلستان

مقدمه

پایه و اساس طراحی سیستم‌های آبیاری به منظور تولید غذای بیشتر برای جمعیت رو به ازدیاد و با منابع آبی محدود، تعیین میزان تبخیر-تعرق گیاهی، برنامه‌ریزی آبیاری و مطالعات هیدرولوژیکی می باشد. از آنجا که

عوامل بسیار زیادی در تبخیر-تعرق دخالت دارند، بر آورد دقیق تبخیر-تعرق کاری بسیار مشکل است. تبخیر-تعرق گیاه مرجع^۱ (ET_o) (تبخیر-تعرق از سطح مزرعه‌ای با پوشش گیاهی مشخصی - چمن یا یونجه - به ارتفاع ۱۵ -

در گروه تشعشی از انرژی تابشی خورشید به عنوان عامل اصلی در تبخیر-تعرق استفاده می‌شود. روش‌های ماکینگ، تورک، جنسن-هیز، دورنباس-پروت در این گروه قرار می‌گیرند.

در روش‌های پایاداکیس و ایوانف که جزء گروه رطوبتی هستند، عواملی نظیر رطوبت نسبی و درجه حرارت مؤثرند. همچنین با استفاده از ضرائب مناسب تشت تبخیر می‌توان داده‌های تشت را به تبخیر-تعرق گیاه مرجع تبدیل نمود.

دقیق‌ترین روش برآورد مقدار تبخیر-تعرق، استفاده از لایسیمتر وزنی است، اما از آنجا که احداث این نوع لایسیمتر هزینه بسیار زیادی را به‌همراه دارد و از طرفی آمار این روش معمولاً در اختیار نمی‌باشد، بیشتر از روش‌های تجربی برای برآورد تبخیر و تعرق و از روش استاندارد برای مقایسه نتایج با آن استفاده می‌شود (سپاسخواه، ۱۳۷۷؛ آلن و همکاران، ۱۹۹۴). تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان مبین این نکته است که دقت مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده با رابطه $F-P-M$ در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری از دیگر روابط برآورد ET_o بهتر می‌باشد و در شرایطی که داده‌های لایسیمتری در دسترس نباشد به‌عنوان یک رابطه استاندارد توصیه شده است (آلن و همکاران، ۱۹۹۸؛ هارگریوز، ۱۹۹۴). این روش در ایران نیز توسط محققینی چون ضیاء تبار احمدی (۱۳۷۴) برای ترسیم خطوط هم‌تبخیر-تعرق پتانسیل ماهانه و سالانه در مازندران و نیکبخت و همکاران (۱۳۸۰) برای مقایسه آن با چند روش دیگر برآورد ET_o در ایستگاه سینوپتیک مهرآباد-تهران مورد استفاده قرار گرفته است.

هرگاه ایستگاهی در شرایط غیر مزرعه و خشک، داده‌های هواشناسی را ثبت کند، مقادیر تبخیر و تعرق به‌دست آمده در این شرایط با مقادیر تبخیر-تعرق مرجع یکسان نخواهد بود، بنابراین از معادله $F-P-M$ باید تنها در شرایط مرجع (اطراف ایستگاه پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده باشد) استفاده نمود. در شرایط غیر مرجع باید

۸ سانتی‌متر است که در طول دوره رشد با کمبود آب روبرو نگردد.) یا از روش مستقیم (لایسیمتری) اندازه‌گیری و یا غیر مستقیم (معادلات تجربی-تابعی از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی) برآورد می‌شود. با استفاده از مقادیر ET_o و ضرائب گیاهی (K_c) می‌توان ET_p مزرعه را برآورد نمود. طی نیم قرن اخیر روش‌های تجربی زیادی توسط محققان برای برآورد ET_o در سراسر جهان ارائه شده است. این روش‌ها در پنج گروه ترکیبی، دمایی، تشعشی، رطوبتی و تشت تبخیر طبقه بندی می‌شوند.

در گروه ترکیبی از دو جزء آئرودینامیکی و توازن انرژی استفاده می‌شود. یکی از معادلات پیچیده برای برآورد ET_o روش ترکیبی پنمن (۱۹۴۸) می‌باشد، جزء آئرودینامیکی آن از جزء توازن انرژی کوچکتر است (بای بوردی، ۱۳۷۰). بعدها معادله پنمن توسط سازمان خوارو بار جهانی (FAO) اصلاح و به پنمن فائو-۲۴ معروف گردید. مانیت (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-مانیت ارائه کرد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸)، در سال‌های اخیر رابطه پنمن-مانیت مورد بررسی و بازنگری قرار گرفته و اصلاح گردید که مهم‌ترین آنها اصلاح شده توسط فائو ($F-P-M$) می‌باشد (آلن و همکاران، ۱۹۹۸). با استفاده از این رابطه می‌توان مقادیر کوتاه مدت (ساعتی و روزانه) ET_o را تخمین زد.

در گروه دمایی پارامتر اصلی درجه حرارت هوا می‌باشد و معمولاً برای ایستگاه‌هایی که فاقد آمار کامل هستند به‌کار می‌رود. روش‌های هارگریوز-سامانی ($H-S$) و بلانی-کریدل و نوع اصلاح شده آن ($B-C-FAO$) در این دسته قرار می‌گیرند (دورنباس و پروت، ۱۹۷۷) در روش آخر علاوه بر درجه حرارت، پارامترهای رطوبت نسبی و سرعت باد و ساعات آفتابی نیز در معادله به‌کار می‌رود.

که در آن i یکی از خصوصیات \max, \min, dew ;
 T درجه حرارت هوا (درجه سانتی‌گراد)، اندیس‌های
 OBS و COR به ترتیب به خصوصیت مشاهده شده و اصلاح
 شده مربوط می‌باشد و MDD (اختلاف دمای حداقل و
 شب‌نیم روزانه مشاهداتی - درجه سانتی‌گراد، بزرگتر از ۲) از
 رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$MDD = T_{\min} - T_{dew} \quad (2)$$

با این حال چنانچه دمای نقطه شب‌نیم قابل اطمینان نباشد،
 می‌توان آن را بر اساس رابطه (۳) اصلاح کرد (آلن و
 همکاران، ۱۹۹۸):

$$T_{dew} = T_{\min} - K \quad (3)$$

که در آن K یک عامل تصحیح بوده و مقدار آن در
 مناطق مرطوب صفر و در مناطق خشک و نیمه خشک ۲
 می‌باشد. تمسگن و همکاران (۱۹۹۹) برای اصلاح پارامتر
 های دما در ایستگاه‌های غیر مرجع، ضریب ۰/۵ در رابطه
 (۱) را برای مناطق خشک تعدیل کرده و روابط زیر را
 ارائه کردند:

$$T_{\max(COR)} = T_{\max(OBS)} - K_x (MDD - 2) \quad (4)$$

$$T_{\min(COR)} = T_{\min(OBS)} - K_n (MDD - 2) \quad (5)$$

$$T_{dew(COR)} = T_{dew(OBS)} + K_d (MDD - 2) \quad (6)$$

که در آن: برای مناطق خشک $K_x = K_n = 0.4$ و $K_d = 0.6$
 روش تصحیح داده‌ها در خراسان مورد استفاده عزیزانه
 و همکاران (۱۳۸۰) قرار گرفته است. ایشان میزان دقت و
 کارایی روش‌های هارگریوز-سامانی (H-S) و تشت
 تبخیر (PAN) برای محاسبه تبخیر-تعرق مرجع در
 ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان را نسبت به روش F-P-M
 مورد بررسی قرار داد. آن‌ها همچنین اثر خشکی بر داده‌ها
 را تصحیح کردند و نشان دادند روش (H-S) قبل از
 تصحیح داده‌ها میزان تبخیر-تعرق در طول سال حدود
 ۱۲ درصد نسبت به روش استاندارد فرابآورد می‌نماید.
 در حالی که پس از تصحیح، این مقدار به ۲ درصد رسید.

هدف از این تحقیق، مقایسه مقادیر تبخیر-تعرق گیاه
 مرجع روزانه محاسبه شده از روش‌های ترکیبی و دمایی با
 روش استاندارد مرجع در منطقه استان گلستان در دو

ابتدا داده‌های دما و رطوبت اصلاح گردیده و به شرایط
 مرجع نزدیک‌تر شوند سپس از آنها در محاسبات استفاده
 شود (آلن و همکاران، ۱۹۹۴).

سپاسخواه (۱۳۷۷) طی مطالعه‌ای روی دو ایستگاه
 باجگاه و کوشکک نشان داد که آمار هواشناسی تهیه شده
 از ایستگاه‌های مرجع با آمار حاصل از ایستگاه‌های غیر
 مرجع متفاوت است، و این تفاوت منجر به فراب‌آورد
 ETo می‌گردد. وی در ادامه روش F-P-M را برای
 مناطق فاریاب و غیر فاریاب پیشنهاد نموده است.

آلن و همکاران (۱۹۸۳) اثرات خشکی ایستگاه غیر
 مرجع و منطقه مورد نظر را تشریح کردند و جهت اصلاح
 داده‌های دمایی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های غیر مرجع
 روش‌هایی را پیشنهاد نمودند تا نتایج حاصله از داده‌های
 تصحیح شده به مقادیر به دست آمده از ایستگاه‌های مرجع
 نزدیک شود. این تصحیح برای ایستگاه‌هایی که هرگز
 آبیاری نمی‌شوند تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دما را
 در برداشت. محمدیان (۱۳۸۲) مقادیر تبخیر-تعرق گیاه
 مرجع را در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور محاسبه نمود و
 با توجه به ضریب خشکی هوا در آن ایستگاه‌ها، مقادیر
 تبخیر-تعرق گیاه مرجع را در شرایط استاندارد (خوب
 آبیاری شده) محاسبه کرد و از نسبت این دو، ضریب
 اصلاحی سالانه و ماهانه مقادیر ETo ایستگاه غیر مرجع
 به مرجع را به دست آورد.

یکی از روش‌های ساده برای برآورد اثرات خشکی در
 یک ایستگاه هواشناسی که در آن دما و رطوبت
 اندازه‌گیری می‌شود، مقایسه دمای حداقل روزانه
 (T_{\min}) و دمای نقطه شب‌نیم (T_{dew}) می‌باشد. در
 ایستگاه‌های مرطوب، به خصوص اگر سرعت باد در اوائل
 صبح پائین باشد، T_{\min} معمولاً برابر T_{dew} است. این
 امر حتی در مناطق خشک و نیمه خشکی که محیط
 اطراف ایستگاه تحت آبیاری باشد نیز صدق می‌کند (آلن،
 ۱۹۹۶):

$$T_i(COR) = T_i(OBS) - 0.5 (MDD - 2) \quad (1)$$

وضعیت داده های اصلاح نشده و اصلاح شده می باشد (ارزیابی روش های تشعشعی و رطوبتی در حال تهیه است).

مواد و روش ها

برای انجام این تحقیق از آمار و اطلاعات هواشناسی ۳ ساعته (۸ قرائت در روز) ایستگاه های سینوپتیک گرگان، گنبد و مراوه تپه به ترتیب با دوره آماری ۲۰، ۸ و ۹ ساله استفاده شده و مقادیر روزانه داده ها با میانگین گیری از ۸ قرائت انجام گرفته در طول شبانه روز محاسبه گردید. این آمار و اطلاعات شامل درجه حرارت های حداقل، حداکثر، تر و خشک و نقطه شبنم، ساعات آفتابی، سرعت باد می باشد. پس از جمع آوری آمار فوق و ذخیره کردن آنها در فایل های جداگانه و با استفاده از برنامه رایانه ای تهیه شده به زبان کوئیک بیسیک^۱، مقادیر تبخیر- تعرق روزانه هر یک از این ایستگاه ها محاسبه و با استفاده از نرم افزار اکسل^۲ با مقادیر برآورد شده از روش استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش های محاسبه ETo

روش های ترکیبی: یکی از مهمترین و عمومی ترین معادلات ترکیبی، معادله پنمن می باشد که در سال ۱۹۴۸ توسط وی ارائه گردید. معادله پنمن در ابتدا برای محاسبه تبخیر از سطح آزاد آب ارائه گردید و سپس برای محاسبه شدت تبخیر- تعرق از یک سطح کامل پوشیده از چمن مورد استفاده قرار گرفت. معادله پنمن اصلاح شده توسط فائو یکی دیگر از روش های گروه ترکیبی است. پروت بر اساس مقایسه نتایج حاصله از رابطه اولیه پنمن و نتایج لایسیمتری تغییراتی روی معادله پنمن به عمل آورد که به روش اصلاح شده پنمن معروف گردید (علیزاده، ۱۳۷۸). روش فائو- پنمن- مانیت (F-P-M) جزء گروه ترکیبی بوده و از دو جزء آئروپنمیک و توازن انرژی تشکیل شده است. در این تحقیق به علت عدم لایسیمتر و

داده های دقیق در منطقه، از این روش به عنوان روش استاندارد استفاده شد.

روش های دمایی: درجه حرارت یکی از معمولی ترین پارامترهای هواشناسی است که در تمام ایستگاه های هواشناسی سازمان هواشناسی و وزارت نیرو اندازه گیری می شود. بنابر این اکثر محققین از ابتدا سعی داشتند تا فرمول هایی را ارائه دهند که از روی درجه حرارت بتوان میزان آب مورد نیاز گیاه را تخمین زد. روش بلانی - کریدل یکی از قدیمی ترین روش های تخمین تبخیر-تعرق مرجع می باشد. با این وجود این معادله بعدها از سوی سازمان فائو و توسط دورنباس و پروت (۱۹۷۷) تصحیح گردید که معادله بلانی - کریدل - فائو نامیده می شود. بنابر این در روش اخیر به جز دما به پارامتر هایی نظیر رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی نیاز می باشد و معمولاً نسبت به روش اصلاح نشده از دقت بالاتری برخوردار است. هارگریوز و سامانی (۱۹۸۵) معادله ای را ارائه دادند که در آن با استفاده از متوسط دمای هوا و اختلاف حداکثر و حداقل درجه حرارت، مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع (چمن) محاسبه می گردد (هارگریوز و سامانی، ۱۹۸۵). این روش بیشتر برای ایستگاه هایی که فاقد آمار کامل هستند، استفاده می شود و از دقت مناسبی برخوردار است.

تصحیح شرایط غیر مرجع به مرجع: از آنجا که برآورد ETo با روش F-P-M باید در شرایط مرجع صورت پذیرد، با توجه به ضرائب بدست آمده در تحقیق محمدیان (۱۳۸۲) برای تبدیل نتایج غیر مرجع به مرجع، مقادیر ETo بدست آمده از روش F-P-M به شرایط مرجع تعدیل گردید. ضرائب اصلاحی مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ بصورت ماهانه نشان داده شده است.

جدول ۱- ضرائب اصلاحی مقادیر ETo ایستگاه‌های غیر مرجع به مرجع (محمیدیان، ۱۳۸۲).

ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	گرگان
۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸	۱	۱	۱	۱	۱	۱	گنبد
۰/۹۶	۰/۹۶	۱	۰/۹۶	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۴	مراوه تپه

$K_n =$ و $K_d = 0/6$) مراحل زیر برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر انجام گرفت:

- مقادیر تبخیر- تعرق پتانسیل روزانه در طی دوره آماری موجود برای هر یک از روش‌های مورد نظر و روش استاندارد محاسبه گردید.

- مقادیر متوسط ETo روزانه هر روز ژولینوسی (در هر ایستگاه به تعداد دوره آماری برای هرروز ژولینوسی ETo روزانه وجود دارد.) برای کلیه روش‌ها محاسبه و در مقابل مقادیر متناظر ETo روزانه استاندارد همان روز ژولینوسی رسم گردید. از این نمودارها برای ارزیابی معادله تجربی استفاده می‌شود.

- بین مقادیر ETo روزانه هر روش (۴ روش مورد نظر) و مقادیر ETo روزانه روش استاندارد مرجع، رگرسیون گیری شده و ضرائب عرض از مبدأ و ضریب زاویه و ضریب همبستگی مورد بررسی قرار گرفت.

- مقادیر ETo روزانه محاسبه شده از روش‌های تجربی (Y) نسبت به مقادیر ETo روزانه روش استاندارد مرجع (Yi) با توجه به پارامترهای آماری SEE, MBE و R^2 مورد ارزیابی قرار گرفت (۲).

$$SEE = \{[\text{SUM}(Y-Y_i)^2] / [(N-1)]\}^{0.5} \quad (7)$$

$$MBE = [\text{SUM}(Y-Y_i)] / (N-1) \quad (8)$$

با توجه به جدول فوق مشخص می‌شود از آنجا که ایستگاه سینوپتیک گرگان در منطقه کشاورزی و مرطوب تا نیمه مرطوب واقع شده است بنابراین یک ایستگاه مرجع محسوب می‌شود. ایستگاه گنبد فقط در یک ماه غیر مرجع می‌باشد که با توجه به ضریب مورد نظر می‌توان به ایستگاه مرجع تبدیل کرد، اما از آنجا که ایستگاه مراوه تپه در منطقه‌ای غیر کشاورزی واقع شده است، با استفاده از ضرائب جدول ۱ به ایستگاه مرجع تبدیل می‌شود. بنابراین مقادیر ETo روزانه محاسبه شده از روش استاندارد و اصلاح آن‌ها به شرایط مرجع، به‌عنوان معیار ارزیابی روش‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفت.

مقایسه روش‌های مورد مطالعه با روش استاندارد: در تحقیق حاضر پس از تهیه آمار و اطلاعات هواشناسی و ضرائب تبدیل ایستگاه غیر مرجع به مرجع و ضرائب خشکی و با استفاده از برنامه رایانه‌ای تهیه شده، برای چهار روش (پنمن، پنمن-فائو، هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل-فائو) و در سه وضعیت بدون اصلاح داده‌ها، اصلاح داده‌ها با ضرائب به‌دست آمده در ایران (محمیدیان، ۱۳۸۲، جدول ۲) و اصلاح داده‌ها با ضرائب تمسگن و همکاران (۱۹۹۹)، برای مناطق مرطوب $K_x = K_n = K_d = 0/5$ و برای مناطق خشک $K_x = 0/4$

جدول ۲ - ضرائب اصلاح داده‌ها به روش تحقیقاتی محمیدیان (۱۳۸۲).

K_d	K_n	K_x	
۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۶	گرگان
۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۶۷	گنبد
۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۷۰	مراوه تپه

اعتبار سنجی

- کل دوره آماری داده‌ها بطور تصادفی به دو دسته مساوی تقسیم شد. با رگرسیون‌گیری ۵۰ درصد اولیه مقادیر ETO در هر یک از روش‌های مورد نظر، معادله همبستگی بین مقادیر ETO روزانه آن روش‌ها و روش استاندارد مرجع بدست می‌آید. معادله همبستگی در این رگرسیون‌گیری، معادله ۵۰ درصد تصادفی اول (روش اول) نامیده می‌شود.

- در حالت دوم بدون استفاده از معادله از معادله رگرسیون ۵۰ درصد اولیه، مابقی مقادیر ETO روزانه از روش‌های تجربی را با مقادیر متناظر روش استاندارد رگرسیون‌گیری می‌شود. رگرسیون‌گیری در این مرحله، به نام معادله ۵۰ درصد تصادفی دوم قبل از بکارگیری معادله اول (روش دوم) نامیده شد.

- مقادیر ETO روزانه ۵۰ درصد مابقی از روش‌های تجربی را در معادله همبستگی قبلی (ناشی از ۵۰ درصد اولی) قرار داده و با مقادیر ETO روش استاندارد مقایسه شد تا میزان دقت آن معادله همبستگی (ناشی از ۵۰ درصد اولی) مورد ارزیابی قرار گیرد. این رگرسیون‌گیری به معادله ۵۰ درصد تصادفی دوم بعد از بکارگیری معادله اول (روش سوم) نشان داده شده است.

نتایج و بحث

شکل ۱ متوسط ETO روزانه (در سال‌های آماری) توسط روش استاندارد را در مقابل هر کدام از روش‌های تجربی برای ایستگاه گرگان نشان می‌دهد. بر اساس این شکل می‌توان نتیجه گرفت که روش‌های پنمن و پنمن-فائو در کلیه روزهای سال مقدار متوسط ETO روزانه بیشتری از روش استاندارد تخمین می‌زنند و این فراب‌آورد در تابستان به حداکثر و در زمستان به حداقل میزان تخمین می‌رسد. (این روند برای دو ایستگاه دیگر نیز وجود داشت لیکن به علت عدم گنجایش مقاله اطلاعات نشان داده نشده است). مطابق همین بررسی روش هارگریوز-سامانی در ایستگاه‌های گرگان و گنبد مقدار بیشتری از روش استاندارد برآورد می‌نماید، ولی در ایستگاه مراوه تپه این میزان برابر و یا کمتر از روش F-P-M می‌باشد.

روش بلانی-کریدل-فائو در ۸ ماه اول سال کمتر از میزان ETO روزانه استاندارد و در مابقی سال بطور متوسط بیشتر از میزان تبخیر-تعرق پتانسیل استاندارد برآورد می‌کند.

برای انتخاب ۵۰ درصد سال‌ها، سه روش (۱) نصف اول سال‌های آماری (۲) به صورت سال در میان و همچنین به صورت (۳) تصادفی مورد بررسی قرار گرفت و میزان R^2 با این سه روش انتخابی در ۵۰ درصد اولی اختلاف چندانی با یکدیگر نداشت، اما به ترتیب روش سال در میان، تصادفی و نصف اول سال‌های آماری دارای R^2 بزرگتری بودند. پس از جایگذاری مقادیر ETO روزانه در معادله همبستگی ۵۰ درصد اولی، میزان R^2 در سه روش انتخابی بر عکس روش قبلی بود. بدین معنی که ابتدا روش نصف اول سال‌های آماری، سپس روش تصادفی و در نهایت روش سال در میان بود. با توجه به بررسی فوق، در این تحقیق بر اساس روش تصادفی، ۵۰ درصد داده‌ها انتخاب شد. بنابراین ۵۰ درصد سال‌های آماری برای رگرسیون‌گیری اول چنین بود: گرگان سال‌های ۱۹۸۴-۹۰-۹۱-۹۲-۹۶-۹۷-۹۸-۹۹-۲۰۰۰-۲۰۰۱؛ گنبد سال‌های ۱۹۹۵-۹۹-۲۰۰۱-۲۰۰۲ و مراوه تپه سال‌های ۱۹۹۴-۹۵-۹۷-۹۹-۲۰۰۰.

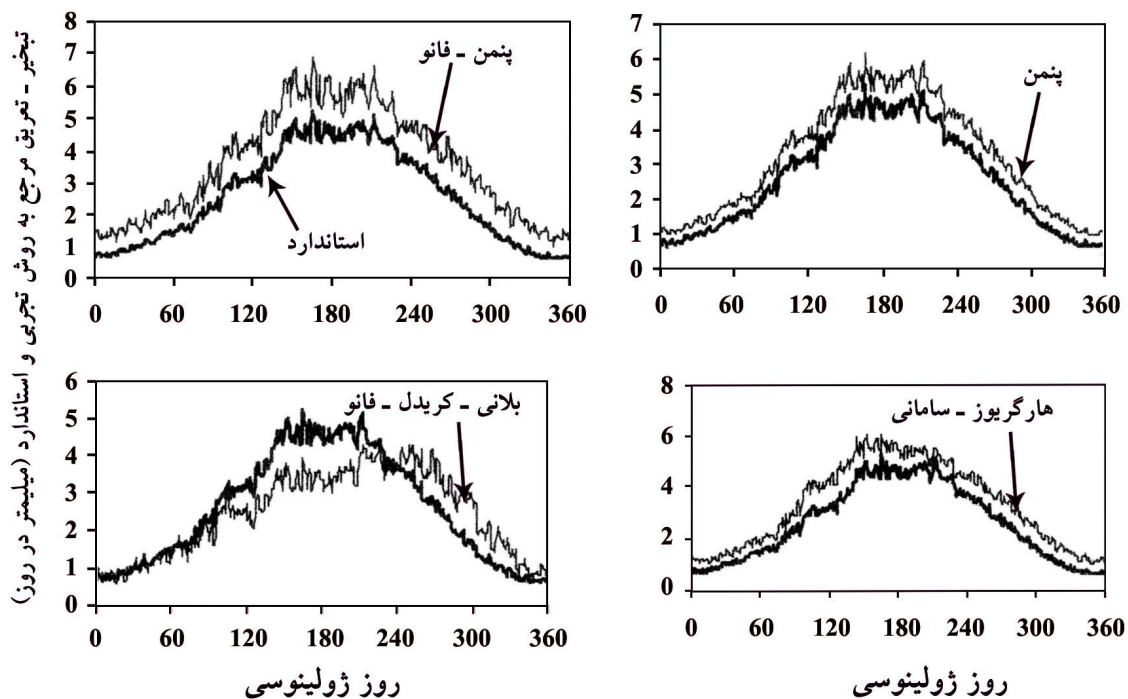
به عنوان مثال، شکل ۲ نمودار همبستگی بین مقادیر ETO روزانه روش‌های تجربی را با مقدار نظیر روش استاندارد در حالت کل دوره آماری برای ایستگاه گرگان نشان می‌دهد (نمودارها برای دو ایستگاه دیگر مشابه بود). در جدول‌های ۳ و ۴ به ترتیب خصوصیات آماری خطوط رگرسیون و پارامترهای آماری برای هر سه ایستگاه را به عنوان مثال تنها برای روش هارگریوز-سامانی (به عنوان متغیر مستقل) و در چهار روش (استفاده از کل مقادیر، استفاده از ۵۰ درصد تصادفی اول، استفاده از ۵۰ درصد تصادفی دوم، استفاده از ۵۰ درصد تصادفی دوم با بکارگیری معادله به دست آمده از ۵۰ درصد تصادفی اول) و در سه وضعیت داده‌ها (بدون اصلاح داده‌ها، اصلاح داده‌ها با روش محمدیان (۱۳۸۲) و اصلاح داده‌ها با روش تمسگن و همکاران (۱۹۹۹)) ارائه شده است، بایستی توجه نمود که ایستگاه گرگان در منطقه نیمه

مرطوب و کشاورزی، ایستگاه گنبد در منطقه نیمه خشک معتدل و ایستگاه مراوه تپه در منطقه نیمه خشک تا خشک واقع شده است. با بررسی‌های انجام شده نکات زیر برای روش‌های تحت بررسی قابل ارائه است.

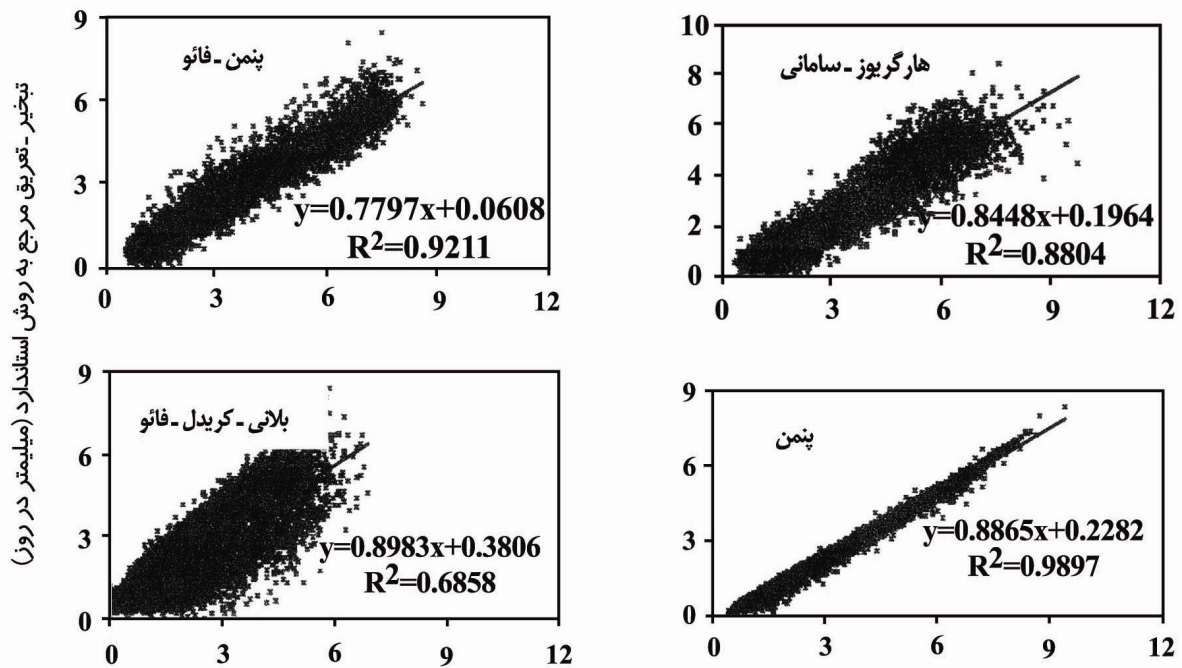
روش پنمن! این روش جزء گروه ترکیبی محسوب شده و از آنجا که روش F-P-M هم جزء همین گروه بوده و پارامترهای مورد استفاده در آنها تقریباً با یکدیگر مشترک است، بنابراین مقادیر محاسبه شده از روش پنمن به مقادیر متناظر روش استاندارد نزدیک بوده و ضریب تبیین (R^2) بین آنها در همه حالات بالاتر از ۰/۹۸ می‌باشد. از طرف دیگر اصلاح داده‌ها بر میزان R^2 تأثیر چندانی ندارد. با این وجود با اصلاح داده‌ها در ایستگاه مراوه تپه می‌توان مقدار برآورد ETo را به روش استاندارد نزدیکتر نمود تا اختلاف برآورد از ۱۶ درصد به ۱۱ درصد کاهش یابد در حالیکه اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد ضروری بنظر نمی‌رسد. مقدار خطای استاندارد تخمین‌ها (SEE) در گرگان، گنبد و مراوه تپه

به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۷۷ و ۱/۱ میلی‌متر در روز بوده که با اصلاح داده‌ها، بویژه در مراوه تپه، این میزان کمتر می‌شود. میزان متوسط انحراف از استاندارد (MBE) که بیانگر متوسط اختلاف تخمین‌ها نسبت به روش استاندارد می‌باشد، در همه حالات منفی است.

با رگرسیون‌گیری از ۵۰ درصد اولیه مقادیر ETo معادله همبستگی (ETo) روش پنمن متغیر مستقل و ETo روش استاندارد متغیر وابسته می‌باشد) بدست آمد. برای ارزیابی این معادله، مقادیر ETo مابقی سال‌ها در آن قرار داده شد. سپس براساس ضرائب همبستگی و پارامترهای آماری نتایج حاصله مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی یافته‌ها (به دلیل محدودیت جا ارائه نشد) مشخص شد که معادله مزبور حدود ۱ تا ۲ درصد بیشتر از مقدار استاندارد، ETo را برآورد می‌نماید و با اصلاح داده‌ها می‌توان آن را کمتر نمود. از طرفی مقادیر SEE حدود ۰/۱۷ تا ۰/۲۶ میلی‌متر در روز و مقدار MBE آن حدود ۰/۰۲ میلی‌متر در روز حاصل شده و در مراوه تپه با اصلاح داده‌ها می‌توان آن را کمتر نمود.



شکل ۱ - نمودار همبستگی بین مقادیر متوسط ETo روزانه هر روز ژولینوسی روش‌های تجربی با مقادیر متوسط ETo روزانه متناظر روش F-P-M برای کل سال‌های آماری (۲۰۰۲-۱۹۸۳) در ایستگاه گرگان.



تبخیر-تعریق مرجع به روش تجربی (میلیمتر در روز)

شکل ۲- نمودار همبستگی بین مقادیر ETo روزانه روش‌های تجربی با مقادیر ETo روزانه روش F-P-M برای کل سال‌های آماری (۲۰۰۲-۱۹۸۳) در ایستگاه گرگان.

قابل توجهی ندارد. SEE مقادیر ETo این روش بین ۰/۹۲ در گرگان تا ۱/۶ میلی‌متر در روز در مراوه تپه تغییر می‌کند. همچنین با توجه به مقادیر ETo ۵۰ درصد تصادفی اولیه، معادله همبستگی به‌دست آمد (نتایج آورده نشده است). هر گاه مقادیر ETo برآورد شده از روش پنمن-فائو (به‌عنوان X) در معادله مذکور قرار داده شود، ETo به روش F-P-M حاصل می‌گردد که تفاوت این مقادیر (Y) با مقادیر تبخیر-تعریق روش F-P-M در گرگان و گنبد ناچیز (حدود ۱-۲ درصد) ولی در مراوه تپه حدود ۲۵-۳۰ درصد می‌باشد. همچنین مقدار SEE این ارزیابی نیز در گرگان حداقل و در مراوه تپه حداکثر می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که از معادله پنمن-فائو در ایستگاه‌های گرگان و گنبد می‌توان استفاده کرد، اما در ایستگاه مراوه تپه به دلیل برآورد بیشتر نسبت به مقادیر روش استاندارد توصیه نمی‌گردد.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر برآورد شده از روش پنمن به مقادیر روش استاندارد نزدیک است و اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد تأثیر چندانی بر روی نتایج ندارد، ولی در مراوه تپه با اصلاح داده‌ها می‌توان تا حدودی نتایج را بهبود بخشید. از طرفی با داشتن یک معادله همبستگی بین مقادیر ETo روش پنمن (به‌عنوان متغیر مستقل) و مقادیر ETo روش استاندارد (به‌عنوان متغیر وابسته) می‌توان مقادیر تبخیر-تعریق گیاه مرجع برآورد شده از روش پنمن را به مقادیر استاندارد نزدیکتر نمود.

روش پنمن-فائو^۱: این روش نیز در گروه ترکیبی قرار گرفته و مقادیر برآورد شده توسط این روش حدود ۳۵-۲۳ درصد کمتر از میزان ETo روش استاندارد می‌باشد (۰/۹۱ > R²). با اصلاح داده‌ها به روش محمدیان (۷) بخصوص در مراوه تپه می‌توان این اختلاف را به ۱۵ درصد کاهش داد ولی اصلاح داده‌ها بر روی SEE و MBE اثر

روش هارگریوز- سامانی^۱: با توجه به رگرسیون گیری بین مقادیر ETo روزانه این روش با مقادیر متناظر ETo روش استاندارد (جدول ۳) مشخص می شود که ضریب R^2 در ایستگاه های گرگان و گنبد حدود ۰/۸۸ و در مراوه تپه حدود ۰/۷۰ می باشد که با اصلاح داده ها این ضریب افزایش می یابد. بررسی ها نشان می دهد که این روش در گرگان و گنبد حدود ۲۲-۱۵ درصد کمتر و در مراوه تپه (منطقه خشک) حدود ۸ درصد و حتی با اصلاح داده ها تا حد ۱۵ درصد نیز بیشتر از روش استاندارد، تبخیر- تعرق گیاه مرجع را برآورد می کند. مقدار SEE این روش در گرگان حدود ۰/۹۵ و در گنبد حدود ۱/۱ و در مراوه تپه حدود ۱/۴ میلی متر در روز بوده در حالی که مقدار MBE در گرگان و گنبد منفی و در مراوه تپه مثبت است (جدول ۴).

در ارزیابی معادله همبستگی ناشی از ۵۰ درصد تصادفی اولیه مقادیر ETo مشخص گردید که این معادله، ETo را در گرگان حدود ۳ درصد کمتر، در گنبد حدود ۲ درصد بیشتر و در مراوه تپه حدود ۲۲ درصد کمتر از مقدار استاندارد برآورد می کند و اصلاح داده ها این اختلاف را بیشتر می کند. از طرفی مقدار SEE در این ارزیابی حدود ۰/۶ در گرگان و گنبد و حدود ۱/۲ میلی متر در روز در مراوه تپه می باشد (جدول ۴).

بنابراین روش مزبور برای ایستگاه هایی که فاقد آمار هواشناسی کامل هستند ولی در آنها آمار درجه حرارت قرائت می شود، می تواند مورد استفاده قرار گیرد. اصلاح داده ها در گرگان و گنبد اثر قابل توجهی در نتایج ندارد، اما در مراوه تپه موجب افزایش R^2 و کاهش میزان تخمین ETo نسبت به روش استاندارد می گردد.

روش بلانی- کریدل- فائو^۲: مقادیر ETo برآورد شده از این روش با مقادیر متناظر ETo روش استاندارد مورد مقایسه قرار گرفت. مطابق نتایج حاصل از این بررسی، میزان R^2 در همه حالات نسبتاً پائین و حدود ۰/۶۸

می باشد که در مراوه تپه با اصلاح داده ها از ۰/۸۰ بیشتر می گردد. این روش مقدار ETo را در حدود ۲۰-۱۰ درصد کمتر از روش استاندارد برآورد می نماید. با اصلاح داده ها به ویژه در مراوه تپه، این اختلاف کمتر شده و به مقادیر استاندارد نزدیکتر می گردد. مقدار SEE این روش حدود ۰/۹۵ در گرگان تا ۱/۴ میلی متر در مراوه تپه متغیر است و با اصلاح داده ها در مراوه تپه می توان آنرا به ۱/۱ میلی متر در روز کاهش داد. مقدار MBE در گرگان همواره مثبت و در گنبد و مراوه تپه برای حالت بدون اصلاح داده منفی و برای حالت اصلاح داده مثبت می باشد. در ارزیابی معادله همبستگی بین ۵۰ درصد تصادفی اولیه، مقادیر ETo روش B-C-FAO مقدار ETo برآورد شده در هر سه ایستگاه حدود ۰/۶ تا ۵ درصد بیشتر از مقدار استاندارد می باشد. این در حالی است که مقدار R^2 این همبستگی در گرگان، گنبد و مراوه تپه به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۷۱ و ۰/۷۳ می باشد.

بنابراین با توجه به پارامترهای مورد استفاده در این روش، میزان ETo برآورد شده روش بلانی- کریدل- فائو نسبت به ETo روش استاندارد دارای اختلاف حدود ۱۰ درصدی را داراست، ولی مربع ضریب همبستگی آن حدود ۰/۶۰ می باشد.

نتیجه گیری

با توجه به بررسی های رگرسیونی و آماری مقادیر ETo برآورد شده از روش های ترکیبی و دمایی با مقادیر متناظر ETo روش استاندارد، بطور کلی می توان نتیجه گیری کرد:

- در بین روش های مورد نظر در این تحقیق، روش های پنمن و بلانی- کریدل- فائو به ترتیب دارای بالاترین و پائین ترین ضریب R^2 می باشد.
- اصلاح داده ها در ایستگاه های گرگان و گنبد تأثیری بر تغییر نتایج ندارد، اما در ایستگاه مراوه تپه می تواند بطور قابل توجهی بر نتایج اثر بگذارد.

- نتایج حاصل از اثر اصلاح داده‌ها به روش محمدیان (۱۳۸۲) و تمسکن و همکاران (۱۹۹۹)، یکسان است.
 - در ایستگاه‌هایی که در آنها لااقل پارامتر درجه حرارت ثبت می‌گردد، توصیه می‌شود از معادله‌ها رگر یوز- سامانی برای تخمین ETo استفاده شود.
 - از معادله همبستگی به دست آمده و مقادیر ETo روش

تجربی می‌توان تبخیر- تعرق مرجع نزدیک به مقدار روش استاندارد را تخمین زد.
 - با توجه به مطالب قبلی می‌توان با استفاده از مقادیر ETo روش هارگریوز- سامانی و معادله همبستگی مناسب، مقدار ETo مناسبی را در گلستان تخمین زد.
 چنین نتیجه‌ای توسط نیکبخت و همکاران (۷) برای ایستگاه سینوپتیک تهران نیز گزارش شده است.

جدول ۳- مقادیر ضرائب همبستگی (عرض از مبدأ A= ضریب زاویه B= ضریب همبستگی R= ناشی از رگرسیون‌گیری بین مقادیر ETo روزانه روش هارگریوز- سامانی و مقادیر ETo روزانه روش استاندارد (mm/day)

ضرائب	گرگان			گنبد			مراوه تپه			
	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	
B	۰/۸۴۵	۰/۸۴۲	۰/۸۴۲	۰/۷۶۹	۰/۷۸۲	۰/۷۷۷	۱/۰۸۲	۱/۱۸۷	۱/۱۵۹	کل مقادیر
A	-۰/۱۹۶	-۰/۱۹۵	-۰/۱۹۶	۰/۰۱۲	-۰/۰۶۰	-۰/۰۲۱	۰/۰۷۷	-۰/۱۴۲	-۰/۱۱۱	
R ²	۰/۸۸۰	۰/۸۸۶	۰/۸۸۷	۰/۸۷۲	۰/۸۸۸	۰/۸۸۷	۰/۶۹۱	۰/۷۰۸	۰/۷۱۱	
B	۰/۸۵۵	۰/۸۵۱	۰/۸۵۱	۰/۷۷۰	۰/۷۸۱	۰/۷۷۹	۱/۲۰۱	۱/۳۵۸	۱/۳۱۴	۵۰ درصد تصادفی اول
A	-۰/۲۲۶	-۰/۲۲۰	-۰/۲۲۲	۰/۰۲۳	-۰/۰۲۴	-۰/۰۵۷	۰/۰۳۸	-۰/۲۷۵	-۰/۲۱۶	
R ²	۰/۸۹۰	۰/۸۹۲	۰/۸۹۳	۰/۸۷۳	۰/۸۸۴	۰/۸۹۰	۰/۶۸۱	۰/۷۰۱	۰/۶۹۸	
B	۰/۸۳۵	۰/۸۳۳	۰/۸۳۳	۰/۷۷۱	۰/۷۸۴	۰/۷۸۱	۰/۹۳۴	۰/۹۷۷	۰/۹۶۷	۵۰ درصد تصادفی دوم قبل از بکارگیری
A	-۰/۱۶۷	-۰/۱۷۱	-۰/۱۷۱	-۰/۰۵۷	-۰/۰۹۳	-۰/۰۹۱	-۰/۱۲۷	۰/۰۲۲	-۰/۰۱۹	
R ²	۰/۸۷۱	۰/۸۸۰	۰/۸۸۱	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۸۹۴	۰/۸۰۷	۰/۸۸۸	۰/۸۹۳	
B	۰/۹۷۶	۰/۹۷۹	۰/۹۷۸	۱/۰۰۲	۱/۰۰۴	۱/۰۰۵	۰/۷۷۷	۰/۷۲۰	۰/۷۳۶	۵۰ درصد تصادفی دوم بعد از بکارگیری
A	۰/۰۵۳	۰/۰۴۵	۰/۰۴۶	-۰/۰۶۹	-۰/۰۶۹	-۰/۰۷۱	-۰/۰۹۷	۰/۲۲۰	۰/۱۷۷	
R ²	۰/۸۷۱	۰/۸۸۰	۰/۸۸۱	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۸۹۱	۰/۸۰۷	۰/۸۸۸	۰/۸۹۳	

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری ناشی از مقایسه مقادیر ETo روزانه روش هارگریوز- سامانی با مقادیر ETo روزانه روش استاندارد (mm/day)

ضرائب	گرگان			گنبد			مراوه تپه			
	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۲	وضعیت ۳	
SEE	۰/۹۴۹	۰/۹۳۹	۰/۹۴۲	۱/۱۸۰	۱/۱۲۰	۱/۱۳۷	۱/۴۹۷	۱/۴۷۲	۱/۴۸۷	کل مقادیر
MBE	-۰/۷۰۵	-۰/۷۰۹	-۰/۷۱۳	-۰/۸۶۰	-۰/۸۴۰	-۰/۸۶۰	۰/۳۴۶	۰/۴۲۴	۰/۳۹۱	
R ²	۰/۸۸۰	۰/۸۸۶	۰/۸۸۷	۰/۸۷۲	۰/۸۸۸	۰/۸۸۷	۰/۶۹۱	۰/۷۰۸	۰/۷۱۱	
SEE	۰/۹۲۷	۰/۹۲۲	۰/۹۲۴	۱/۱۶۰	۱/۱۰۳	۱/۱۲۱	۱/۸۳۲	۱/۸۹۵	۱/۹۱۱	۵۰ درصد تصادفی اول
MBE	-۰/۷۰۰	-۰/۷۰۳	-۰/۷۰۷	-۰/۸۴۰	-۰/۸۲۰	-۰/۸۳۰	۰/۶۹۸	۰/۸۰۱	۰/۷۷۴	
R ²	۰/۸۹۰	۰/۸۹۲	۰/۸۹۳	۰/۸۷۳	۰/۸۸۴	۰/۸۹۰	۰/۶۸۱	۰/۷۰۱	۰/۶۹۸	
SEE	۰/۹۷۲	۰/۹۵۶	۰/۹۶۰	۱/۲۰۲	۱/۱۳۸	۱/۱۵۵	۰/۹۲۴	۰/۶۲۵	۰/۶۴۴	۵۰ درصد تصادفی دوم قبل از بکارگیری
MBE	-۰/۷۱۰	-۰/۷۱۵	-۰/۷۱۸	-۰/۸۹۰	-۰/۸۷۰	-۰/۸۸۰	-۰/۰۹۰	-۰/۰۴۷	-۰/۰۸۷	
R ²	۰/۸۷۱	۰/۸۸۰	۰/۸۸۱	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۸۹۴	۰/۸۰۷	۰/۸۸۸	۰/۸۹۳	
SEE	۰/۵۹۱	۰/۵۵۹	۰/۵۵۹	۰/۳۳۸	۰/۵۸۰	۰/۵۸۰	۱/۳۲۱	۱/۳۶۱	۱/۳۶۲	۵۰ درصد تصادفی دوم بعد از بکارگیری
MBE	-۰/۰۰۸	-۰/۰۱۰	-۰/۰۰۹	-۰/۰۶۰	-۰/۰۶۰	-۰/۰۶۰	-۰/۰۷۰	-۰/۰۵۸	-۰/۰۷۰	
R ²	۰/۸۷۱	۰/۸۸۰	۰/۸۸۱	۰/۸۷۵	۰/۸۹۲	۰/۸۹۱	۰/۸۰۷	۰/۸۸۸	۰/۸۹۳	

منابع

۱. بای‌بوردی، م. ۱۳۷۰. اصول مهندسی آبیاری، جلد اول روابط آب و خاک. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ پنجم، ۶۴۵ص.
۲. رضائی، ع. ۱۳۷۹. مفاهیم آمار و احتمالات (با تجدید نظر کامل). نشر مشهد، چاپ اول، مشهد.
۳. سپاسخواه، ع.ر. ۱۳۷۷. نگرشی دوباره بر روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق گیاهان زراعی، سمینار آموزشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز. ارائه شده به صورت شفاهی.
۴. علیزاده، ا. ۱۳۷۸. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول، دانشگاه امام رضا (ع). صفحات ۲۴۶-۲۱۷.
۵. علیزاده، ا.، میرشاهی، ب.، هاشمی‌نیا، س.م.، و ثنائی‌نژاد، ح. ۱۳۸۰. بررسی دقت و عملکرد تبخیر- تعرق پتانسیل محاسبه شده به روش‌های هارگریوز- سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاه‌های سینوپتیک خراسان، نیوار. شماره ۴۳. ۵۱-۷۰.
۶. ضیاء تباراحمدی، م.خ. ۱۳۷۴. بررسی و مقایسه روش‌های محاسبه تبخیر- تعرق پتانسیل در استان مازندران، نیوار. شماره ۲۸. ۴۰-۵۵.
۷. محمدیان، آ. ۱۳۸۲. اصلاح داده‌های هواشناسی برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد. صفحات ۴۴-۱.
۸. نیک‌بخت، ج.، میرلطیفی، س.م.، و کمالی، غ.ع. ۱۳۸۰. مقایسه تبخیر - تعرق محاسبه شده با روش‌های فائو- پنمن - مانتیث، پنمن- رایت و هارگریوز- سامانی در منطقه تهران. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال هشتم، شماره چهارم. ۱۳-۳.
9. Allen, R.G. 1996. Assessing integrity of weather data for use in reference. *Evapotranspiration estimation. J. Irrig. And drain. Eng., ASCE*, 122(2), 97-106.
10. Allen R.G., Brockway, C.E., and Wright, J.I. 1983. Weather station sitting and consumptive use estimates. *J. Water Resour. Plng. And Mgmt., ASCE*, 109(2), 134-147.
11. 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, NO. 56, Rome, Italy.*
12. Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S., and Perrier, A. 1994. An update for the calculation of reference evapotranspiration. *ICID Bulletin*, 43(2):35-92.
13. Doorenbos, J., and Pruitt, W.O. 1977. *Guidelines for Predicting Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, No.24, 2nd ed., FAO Rome, Italy. 156p.*
14. Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 120(6):1132-39.
15. Hargreaves, G.H., and Samani, Z.A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*. 1(2):96-99.
16. Temesgen, B., Allen, R.G., and Jensen, D.T. 1999. Adjusting temperature parameters to reflect well-watered conditions. *J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE*, 125(1), 26-33

Comparison of the different methods of estimated Reference Evapotranspiration (Compound and Temperature) with standard method and analysis of aridity effects

H. Sharifan¹, B. Ghahreman², A. Alizadeh² and S.M. Mir-latif¹

¹Ph.D. student, Dept., of Irrigation College of Agriculture, Tarbiat Modarres Univ., ²Faculty members of College of Agriculture Ferdowsi Univ., of Mashhad

Abstract

Reference evapotranspiration (ET₀) is a term used for a grass/alfalfa medium under no-stress conditions. ET₀ can be measured under lysimeters, or estimated by the empirical equations. Due to lack of lysimertric data in the Golestan province, and because of the acceptance of FAO-Penman-Monteith (F-P-M) as a standard method, we adopted two different groups of compound/temperature-based ET₀ under three conditions of data. These conditions are not corrected, and corrected based on local and/or universal coefficients. In this way regression coefficients and statistical tests were conducted for the methods used. The results showed that Penman and Blaney-Criddle-FAO methods have highest and lowest R², respectively. It was also showed that the stations of Gorgan and Gonbad did not need any aridity correction, while the Maraveh-Tappeh did need. Two methods of local and universal aridity corrections were almost similar. It was found that estimated daily ET₀ by Hargeaves-Samani method could be converted to corresponding ones of F-P-M via a suitable equation.

Keywords: Penman-FAO; Hargreaves-Samani; Blaney-Criddle-FAO; Apprasial; Golestan province