

## ارزیابی روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر - تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان

حسین شریفان، بیژن قهرمان، امین علیزاده و سیدمجید میر لطیفی<sup>۱\*</sup>

### چکیده

بر اساس استاندارد فائو به میزان آب مصرف شده توسط مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (چمن) در یک دوره زمانی مشخص و بدون تنش آبی تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) گویند. این پارامتر به دو روش مستقیم (لایسیمتری) و غیر مستقیم (معادلات تجربی) برآورد می‌شود. به دلیل عدم وجود داده‌های دقیق لایسیمتری در استان گلستان و معرفی روش فائو-پنمن-ماتیت (F-P-M) به عنوان روش استاندارد مرجع از سوی بسیاری از محققین و مؤسسات تحقیقاتی جهانی، روش مزبور به عنوان معیار ارزیابی روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی در ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان، گنبد و مراوه تپه (واقع در استان گلستان) مورد استفاده قرار گرفت. در این ارزیابی داده‌های هواشناسی در سه وضعیت اصلاح نشده و اصلاح شده در شرایط محلی و جهانی (اصلاح داده‌ها با استفاده از ضرایب به دست آمده به ترتیب برای منطقه مورد نظر و تمسگن) بکار گرفته شدند. نتایج نشان داد که روش‌های تشعشعی ماکینک، تورک، جنسن-هیز و تابشی (دورنباس-پروت) به ترتیب مقدار ET<sub>0</sub> مناسب‌تری را در منطقه برآورد می‌نمایند. اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد تأثیر قابل توجهی بر نتایج ندارد. لیکن در مراوه تپه می‌تواند آن‌ها را تا حدود ۱۵٪ بهبود بخشد. با قرار دادن مقادیر ET<sub>0</sub> روزانه به دست آمده (از همه این روش‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد و روش جنسن-هیز در مراوه تپه) در معادله همبستگی بین روش‌های مورد نظر و روش استاندارد، مقدار ET<sub>0</sub> قابل قبولی نسبت به روش F-P-M تخمین زده شد، به طوریکه اختلاف آنها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۲ تا ۳٪ و در مراوه تپه حدود ۹٪ بود. روش‌های رطوبتی (باپاداکیس و ایوانف) در استان گلستان از کارایی مناسبی برخوردار نبوده، لیکن اگر مقادیر ET<sub>0</sub> به دست آمده از این روش‌ها توسط معادله همبستگی مناسبی (بین مقادیر روش استاندارد و مقادیر روش‌های مورد نظر) در ایستگاه‌های گرگان و گنبد تصحیح شوند، می‌توان از این روش‌ها استفاده نمود، به طوریکه شیب معادله ناشی از مقادیر تصحیح شده از این روش با مقادیر ET<sub>0</sub> استاندارد به حدود ۰/۹۹ و ۱/۰۲۵ رسید. از نتایج این تحقیق می‌توان برای نقاطی از استان که دارای اقلیمی مشابه هر یک از این ایستگاه‌ها می‌باشند استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر-تعرق گیاه مرجع، خشکی هوا، استان گلستان.

### مقدمه

کشاورزی و افزایش محصولات کشاورزی توجه خاص شود. تعیین و تأمین دقیق مقدار آبی که صرف تبخیر - تعرق گیاهی می‌شود یکی از عوامل مهم برنامه‌ریزی برای رسیدن به اهداف فوق است. از طرف دیگر برای طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مقادیر تبخیر - تعرق نقش اصلی را بر عهده دارند. بر اساس استاندارد فائو، تبخیر - تعرق گیاه مرجع (ET<sub>0</sub>) عبارت

کم بودن ریزش‌های جوی در ایران از یک سو و پراکندگی توزیع زمانی و مکانی آن‌ها از سوی دیگر موجب شده است تا این کشور جزء مناطق خشک و نیمه خشک دنیا محسوب شود. رشد سریع جمعیت و محدود بودن منابع آب با کیفیت مناسب، از عوامل تهدید کننده توسعه اجتماعی و اقتصادی کشور در دهه‌های آتی خواهد بود. جهت رفع این مشکل باید به توسعه

۱- به ترتیب دانشجوی دوره دکتری رشته آبیاری، دانشگاه تربیت مدرس، عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیئت علمی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

شرایط مرجع نزدیکتر شوند (اطراف ایستگاه پوشیده از گیاه و خوب آبیاری شده باشد). سپس از آن‌ها در محاسبات استفاده نمود (Allen و همکاران ۱۹۹۴). محمدیان (۱۳۸۲) در تحقیقی با مطالعه شرایط خشکی هوا در ایستگاه‌های سینوپتیک کشور، ضرایبی را برای تبدیل مقادیر ETo ایستگاه‌های غیر مرجع به مرجع بدست 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 (Tmin) و دمای نقطه شبنم (Tdew) می‌باشد. در ایستگاه‌های مرطوب بخصوص اگر سرعت باد در اوائل صبح کم باشد، Tmin معمولاً برابر Tdew است. این امر حتی در مناطق خشک و نیمه‌خشکی که محیط اطراف ایستگاه تحت آبیاری نیز باشد صدق می‌کند (Allen و همکاران ۱۹۸۹). روش پیشنهادی وی برای اصلاح داده‌های Tdew، Tmin، Tmax به صورت زیر می‌باشد.

$$T_{max (Cor)} = T_{max(Obs)} - K_{ar} * \Delta T \quad (۱)$$

$$T_{min (Cor)} = T_{min(Obs)} - K_{ar} * \Delta T \quad (۲)$$

$$T_{dew (Cor)} = T_{dew(Obs)} + (1 - K_{ar}) * \Delta T \quad (۳)$$

که در آن Tdew، Tmin، Tmax به ترتیب دمای روزانه هوا در نقطه شبنم، حداقل و حداکثر (بر حسب درجه سانتیگراد)، اندیس‌های Obs و Cor به ترتیب خصوصیت مشاهده شده و اصلاح شده، K<sub>ar</sub> ضریب خشکی (برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود). (Allen و همکاران ۱۹۸۹) و ΔT از رابطه ۴ به دست می‌آید نشان دهنده محدوده‌ای از MDD (اختلاف دمای حداقل و شبنم روزانه مشاهداتی بر حسب سانتیگراد، و بزرگتر از ۲) است و در مقادیر کمتر از آن نباید تصحیح صورت پذیرد. T<sub>climate</sub> برای مناطق خشک و نیمه خشک ۲ تا ۳ درجه سانتیگراد و برای مناطق مرطوب صفر در نظر گرفته شده است. MDD از رابطه ۵ به دست می‌آید (Allen و همکاران ۱۹۸۹).

$$\Delta T > 0 \quad \text{و} \quad \Delta T = (MDD - T_{climate}) \quad (۴)$$

$$MDD = T_{min} - T_{dew} \quad (۵)$$

به شرطی که MDD > 2 °C، Temesgen و همکاران (۱۹۹۹)، ضرایب اصلاحی برای پارامترهای دما در ایستگاه‌های غیر مرجع را به شرح زیر تعیین کردند.

$$T_{max (Cor)} = T_{max(Obs)} - K_x (MDD - 2) \quad (۶)$$

$$T_{min (Cor)} = T_{min(Obs)} - K_n (MDD - 2) \quad (۷)$$

$$T_{dew (Cor)} = T_{dew(Obs)} \quad (۸)$$

که در آنها K<sub>x</sub>=K<sub>n</sub>=0.4 و K<sub>d</sub>=0.6 برای مناطق خشک و K<sub>x</sub>=K<sub>n</sub>=K<sub>d</sub>=0.5 برای مناطق مرطوب است. ضمناً پارامتر رطوبت نسبی با اصلاح داده‌های فوق به طور غیر مستقیم اصلاح می‌شود.

است از میزان آبی که یک مزرعه پوشیده از گیاه مرجع (نظیر چمن) در یک دوره زمانی مشخص مصرف نماید، به طوری که گیاهان این مزرعه در طول دوره رشد با کمبود آب مواجه نشوند. این پارامتر به دو روش مستقیم و غیر مستقیم برآورد می‌شود. در روش اول مقادیر تبخیر-تعرق مرجع به طور مستقیم از لایسیمترها اندازه‌گیری می‌شود. در روش دوم برای به دست آوردن مقادیر ETo، یک سری داده‌های هواشناسی بکار گرفته شده و با استفاده از معادلات تجربی یا معادلاتی که دارای پایه نظری بوده، میزان آن تخمین زده می‌شود.

برای تعیین دقت مقادیر بدست آمده از روش‌های تخمینی، مقایسه آنها با مقادیر اندازه‌گیری شده توسط لایسیمتر وزنی است. لیکن از آنجا که احداث این نوع لایسیمترها هزینه زیادی را به همراه دارد و از سوی دیگر معمولاً آمار دقیق این روش در اختیار نمی‌باشد، لذا عموماً از معادله‌ای برای برآورد تبخیر-تعرق بالقوه سطوح گیاهی مرجع برای مقایسه نتایج با آن استفاده می‌شود (سپاسخواه، ۱۳۷۷ و Allen و همکاران ۱۹۹۴).

با توجه به پارامترهای مورد استفاده در معادله‌های تخمین، می‌توان آن‌ها را به چند دسته طبقه‌بندی نمود. این گروه‌ها شامل روش‌های دمایی، شعشعی، رطوبتی و ترکیبی می‌باشند. روابط گروه ترکیبی (روش‌های پنمن، پنمن-فائو و پنمن-مانتیت-فائو و ...) از دو جزء اصلی آئرودینامیک و توازن انرژی تشکیل شده‌اند. در گروه دمایی، دمای هوا به عنوان پارامتر اصلی این روابط شناخته می‌شود. روش‌های بلانی-کریدل و نوع اصلاح شده آن و روش هارگریوز-سامانی در این گروه قرار می‌گیرند. در گروه شعشعی، انرژی خورشیدی نقش اساسی در تبخیر-تعرق گیاهی را بر عهده دارد. روش‌های ماکینگ، تورک، جنسن-هیز و تابشی (دورنباس- پروت) جزء این گروه هستند. در گروه رطوبتی علاوه بر دمای هوا از رطوبت نسبی نیز در معادلات استفاده می‌شود. روابط پایاداکیس و ایوانف در این گروه هستند. تحقیقات انجام گرفته در نقاط مختلف جهان مبین این نکته است که دقت مقادیر تبخیر-تعرق برآورد شده با معادله فانو-پنمن-مانتیت (F-P-M) در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده لایسیمتری از دیگر معادله‌های تخمین بهتر می‌باشد (Allen و همکاران ۱۹۹۸؛ و ۱۹۹۴). این معادله غالباً به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه مرجع و نیز برای ارزیابی دیگر روش‌ها پیشنهاد گردید (Hargreaves, ۱۹۹۴).

از معادله F-P-M باید در شرایط مرجع استفاده نمود تا نتایج قابل قبولی بدست آید. در شرایط غیر مرجع باید ابتدا داده‌های دما و رطوبت اصلاح گردیده و به

محاسبه شد. سپس مقادیر ETo به دست آمده از این روش‌ها با روش استاندارد مرجع (F-P-M) مقایسه گردید.

### روش‌های محاسبه ETo

**گروه تشعشی:** در این گروه، انرژی خورشیدی به عنوان عامل اصلی در تبخیر - تعرق در نظر گرفته می‌شود. روش‌های ماکینگ، تورک، جنسن-هیز و تابشی در این گروه قرار دارند. معادله ماکینگ در سال ۱۹۵۷ در کشور هلند و با استفاده از ارقام تبخیر- تعرق لایسمتری پوشیده از علف‌های کوتاه بدون تنش آبی ارائه گردید. ماکینگ معتقد بود که هر چه دمای هوا بیشتر باشد، مقادیر بیشتری از انرژی خورشیدی در تبخیر - تعرق مصرف می‌شود (مالک و عالمی، ۱۳۶۵). تورک در سال ۱۹۶۱ بر اساس شرایط معمول اقلیمی حاکم بر غرب اروپا، معادله‌ای را برای برآورد مقادیر ETo بر حسب میلیمتر در روز ارائه کرد (مالک و عالمی، ۱۳۶۵). جنسن-هیز در سال ۱۹۶۳ آمار بیش از ۳۰۰۰ داده تبخیر - تعرق را که به وسیله روش‌های نمونه برداری از خاک در یک دوره ۳۵ ساله تعیین شده بود ارزیابی کرد. ایشان بر اساس پارامترهای تابش خورشیدی، دما و ارتفاع از سطح دریا رابطه‌ای خطی جهت برآورد ETo ارائه نمودند (Doorenbos و Pruitt ۱۹۷۷). مقادیر ETo به دست آمده از این روش برای گیاه مرجع یونجه می‌باشد. بنابر این برای ارزیابی آن با روش استاندارد باید با استفاده از ضریبی، مقادیر بدست آمده را به گیاه مرجع (چمن) تبدیل نمود. در اینجا این ضریب با توجه به منابع (Allen و همکاران ۱۹۸۹)، برای ایستگاه‌های گنبد و مراوه تپه برابر ۱/۱۵ و در ایستگاه گرگان برابر ۱/۰۵ در نظر گرفته شد (مقادیر ETo گیاه مرجع یونجه بر این ضریب تقسیم شد و مقادیر ETo، بر اساس گیاه مرجع چمن به دست آمد). دورنباس و پروت (Doorenbos و Pruitt ۱۹۷۷) معادله‌ای را بر اساس روش ماکینگ برای برآورد تبخیر - تعرق ارائه نمودند. آنها در معادله خود پارامترهای تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و وزش باد را در نظر گرفتند.

**گروه رطوبتی:** در این گروه که از دو پارامتر هواشناسی دما و رطوبت نسبی استفاده می‌شود، می‌توان روش‌های پایاداکیس و ایوانف را نام برد. معادله ایوانف در سال ۱۹۵۴ و معادله پایاداکیس در سال ۱۹۶۶ میلادی ارائه گردید (مالک و عالمی ۱۳۶۵).

**روش استاندارد:** روش فائو-پنمن-مانتیت (F-P-M) جزء گروه ترکیبی بوده و از دو جزء ائروودینامیک و توازن انرژی تشکیل شده است. این روش از سوی بسیاری از محققین صاحب نظر و مجامع علمی-تحقیقاتی دنیا در شرایطی که داده‌های لایسمتری در دسترس نباشد، به

میرشاهی (۱۳۷۸) روش پیشنهادی Temesgen و همکاران (۱۹۹۹) را برای اصلاح داده‌های روزانه Tdew, Tmin و max در ۱۶ ایستگاه سینوپتیک خراسان به کار برد و تبخیر- تعرق برآورد شده از روش‌های هارگریوز-سامانی (H-S) و تشت تبخیر در حالت بدون اصلاح داده‌ها و در حالت اصلاح داده‌ها (H-S-MOD) را با معادله استاندارد F-P-M مقایسه نمود. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که اصلاح دما موجب می‌شود تا ETo به دست آمده از روش (H-S-MOD) به مقادیر ETo روش F-P-M پس از اصلاح داده‌ها نزدیکتر شود.

در تحقیقی برای ایستگاه‌های سینوپتیک کشور با استفاده از داده‌های هواشناسی برداشت شده از آنها، ضرایب روابط ۶ تا ۸ جهت اصلاح دماهای حداکثر، حداقل و شبنم توسط محمدیان (۱۳۸۲) برآورد گردید. در جدول ۱ این ضرایب برای ایستگاه‌های سینوپتیک استان گلستان نشان داده شده است.

استان گلستان در شمال کشور واقع شده است و دارای شرایط اقلیمی متنوعی می‌باشد. به طوری که از مرطوب جنگلی تا خشک و نیمه‌خشک متغیر است. ایستگاه‌های سینوپتیک این استان که دارای آمار مناسبی جهت این تحقیق می‌باشند عبارتند از: گرگان-هاشم‌آباد (از سال ۱۹۸۳)، گنبد (از سال ۱۹۹۵) و مراوه تپه از سال ۱۹۹۴ تا سال ۲۰۰۲ میلادی.

هدف از این تحقیق، مقایسه مقادیر ETo روزانه محاسبه شده از معادله‌های تخمین ETo در گروه‌های تشعشی و رطوبتی با مقادیر ETo روزانه به دست آمده از روش استاندارد (در شرایط مرجع) در استان گلستان می‌باشد (ارزیابی گروه‌های ترکیبی و دمایی در حال بررسی و تهیه است). این مقایسه‌ها در سه وضعیت داده‌های اصلاح نشده و داده‌های اصلاح شده در شرایط محلی و جهانی به ترتیب از روش‌های محمدیان (۱۳۸۲) و Temesgen و همکاران (۱۹۹۹) صورت پذیرفته است. همچنین معادلات همبستگی بین مقادیر فوق ارائه و ارزیابی می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

در ایستگاه‌های سینوپتیک معمولاً داده‌های هواشناسی هر سه ساعت یک‌بار ثبت می‌گردد. با متوسط گیری از ۸ قرائت انجام گرفته در طول شبانه روز، مقادیر روزانه داده‌ها محاسبه می‌شود. با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان، گنبد و مراوه تپه و توسط برنامه کامپیوتری تهیه شده به زبان Q-Basic، مقادیر ETo روزانه برای هر یک از روش‌های تشعشی و رطوبتی

$$SEE = \{[\sum(Y-Y_i)^2] / [(N-1)]\}^{0.5} \quad (۹)$$

$$MBE = [\sum(Y-Y_i)] / (N-1) \quad (۱۰)$$

اعتبار سنجی

برای ارزیابی معادله همبستگی به دست آمده از مقادیر ETo، کل دوره آماری داده‌ها به طور تصادفی به دو دسته مساوی تقسیم شد. با رگرسیون‌گیری ۵۰٪ اولیه مقادیر ETo روزانه، معادله همبستگی بین مقادیر روش‌های مورد نظر (به‌عنوان متغیر مستقل) و مقادیر روش استاندارد (به‌عنوان متغیر وابسته) به دست آمد. در اینجا به نام معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه شناخته می‌شود. سپس برای هریک از روش‌های مورد نظر در تحقیق، ۵۰٪ تصادفی مابقی مقادیر ETo روزانه در یک رگرسیون‌گیری بررسی شد و معادله‌ای موسوم به معادله ۵۰٪ تصادفی دوم قبل از به‌کارگیری معادله اولی به دست آمد. سپس مقادیر ۵۰٪ تصادفی دوم را در معادله ۵۰٪ تصادفی اول قرار داده و حاصل آن‌ها با مقادیر ETo روزانه به دست آمده از روش F-P-M مقایسه گردید. در این مقایسه معادله‌ای به نام ۵۰٪ تصادفی دوم بعد از به‌کارگیری معادله اول بدست آمد.

### نتایج و بحث

شکل ۱ نحوه تغییرات مقادیر متوسط ETo روزانه برآورد شده از روش‌های تجربی را به همراه مقادیر متوسط ETo به دست آمده از روش استاندارد در طول سال (وضعیت بدون اصلاح داده‌ها) نشان می‌دهد. بر اساس این شکل استنباط می‌شود که روش جنسن-هیز در نیمه اول سال مقدار متوسط ETo روزانه را کمتر از روش استاندارد و در نیمه دوم سال مقادیری تقریباً برابر روش استاندارد برآورد می‌نماید. در حالی که در روش تورک در نیمه اول سال، متوسط روزانه ETo تقریباً برابر با مقادیر روش استاندارد و در مابقی سال فراتر از روش استاندارد تخمین زده می‌شود. مقادیر روش ماکینک در اواسط سال کمتر از روش استاندارد بوده در حالی که روش تابشی (دورنباس - پروت) تبخیر - تعرق گیاه مرجع را به طور متوسط همواره بیشتر از روش F-P-M برآورد می‌کند. در گروه رطوبتی، روش ایوانف به طور متوسط همواره بیشتر و روش پاپاداکیس در نیمه اول سال تقریباً برابر و در نیمه دوم سال مقدار ETo بیشتری را از روش استاندارد تخمین می‌زند.

با توجه به بررسی‌های بعمل آمده برای هر سه ایستگاه سینوپتیک گرگان، گنبد و مراوه تپه در طول سال می‌توان نتایج فوق را مشاهده نمود (به علت کمبود جا، فقط برای ایستگاه گرگان نشان داده شد). تفاوت آن‌ها تنها در میزان اختلاف با مقادیر بدست آمده از روش استاندارد می‌باشد.

عنوان روشی استاندارد برای ارزیابی سایر معادله‌های تخمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hargreaves و ۱۹۹۴). در این تحقیق به علت عدم وجود لایسیمتر در ایستگاه‌های مورد نظر و داده‌های دقیق در منطقه از روش فائو-پنمن-مانتیت (F-P-M) به عنوان روش استاندارد استفاده شد.

### تصحیح شرایط غیر مرجع به مرجع

از آنجا که نتایج تبخیر - تعرق در شرایط مزرعه به کار می‌رود لذا مقادیر ETo به دست آمده از روش استاندارد باید به شرایط مرجع تبدیل شوند. با توجه به ضرایب بدست آمده در تحقیق محمدیان (۱۳۸۲) داده‌های دما و رطوبت نسبی تعدیل گردید و در محاسبه مقادیر ETo از روش F-P-M به شرایط مرجع به کار گرفته شد. این ضرایب در جدول (۲) به صورت ماهانه نشان داده شده است. با توجه به جدول ۳ و دانستن این نکته که ایستگاه سینوپتیک گرگان در منطقه کشاورزی و در اقلیم مرطوب تا نیمه مرطوب واقع شده است، بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان یک ایستگاه مرجع در تحقیقات به کار برد. ایستگاه گنبد فقط در یک ماه غیر مرجع می‌باشد که با توجه به ضریب مورد نظر می‌توان به ایستگاه مرجع تبدیل کرد. اما ایستگاه مراوه تپه در منطقه‌ای خشک و تقریباً غیر کشاورزی واقع شده است. لذا با استفاده از ضرایب جدول ۲ به ایستگاه مرجع تبدیل می‌شود. بنابراین در این تحقیق مقادیر ETo به دست آمده از روش استاندارد به شرایط مرجع تبدیل و سپس به‌عنوان معیار ارزیابی روش‌های دیگر مورد استفاده قرار گرفت.

### مقایسه روش‌های مورد مطالعه با روش استاندارد

در این تحقیق پس از تهیه آمار و اطلاعات هواشناسی و ضرایب تبدیل غیر مرجع به مرجع، مقادیر ETo از روش‌های مختلف تشعشعی و رطوبتی و استاندارد محاسبه گردید. سپس برای هرروز ژولینوسی (در هر ایستگاه به تعداد سال‌های دوره آماری برای هر روز ژولینوسی، ETo وجود دارد) مقادیر متوسط ETo روزانه برآورد شد. در نمودارهایی این مقادیر به همراه مقادیر متناظر ETo روزانه روش استاندارد، در مقابل روزهای کل سال به نمایش در آمد. با رگرسیون‌گیری بین مقادیر ETo روزانه به دست آمده از هر روش (Y) و مقادیر ETo روزانه برآورد شده (Yi) از روش F-P-M، معادله همبستگی، ضرایب رگرسیونی مورد بررسی قرار گرفت. در این مقایسه هم‌چنین پارامترهای مربوط به تجزیه و تحلیل‌های آماری نظیر R2 (ضریب تبیین)، SEE و MBE بررسی گردید (رضایی، ۱۳۷۹) و (N تعداد نمونه می‌باشد).

جدول ۱- ضرایب اصلاح داده‌ها برای استان گلستان (۵)

$K_{II}$	$K_{III}$	$K_{IV}$	
۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۶	گرگان
۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۶۷	گنبد
۰/۴۴	۰/۵۶	۰/۷۰	مراوه تپه

جدول ۲- ضرایب اصلاحی مقادیر ETo ایستگاه‌های غیر مرجع به مرجع (محمدیان ۱۳۸۲)

دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئیه	ژوئن	مه	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	گرگان
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۸	۱	۱	۱	۱	۱	گنبد
۰/۹۴	۰/۹۵	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۲	۰/۹۵	۰/۹۶	۱	۰/۹۶	۰/۹۶	مراوه تپه

جدول ۳- مقادیر ضرایب همبستگی (عرض از مبدأ = B، ضریب زاویه = A و ضریب همبستگی = R) ناشی از رگرسیون گیری بین مقادیر ETo روزانه روش جنسن - هیز و مقادیر ETo روزانه روش استاندارد (برحسب میلی متر در روز)

مراوه تپه	گنبد	گرگان	ضرایب	
وضعیت ۳	وضعیت ۳	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۱
۰/۸۰۲	۰/۷۶۴	۰/۷۴۳	۰/۷۶۸	A
۱/۸۸۸	۰/۹۳۸	۰/۹۷۸	۰/۸۶۵	B
۰/۹۱۵	۰/۸۶۸	۰/۸۵۰	۰/۸۶۵	R <sup>2</sup>
۰/۷۸۷	۰/۷۶۱	۰/۷۳۹	۰/۷۵۹	A
۱/۲۳۳	۰/۹۱۰	۰/۹۳۳	۰/۸۷۰	B
۰/۹۲۶	۰/۸۷۱	۰/۸۵۱	۰/۸۷۵	R <sup>2</sup>
۰/۸۹۵	۰/۷۸۳	۰/۷۳۵	۰/۷۷۹	A
۱/۰۶۱	۰/۸۹۲	۰/۹۳۱	۰/۸۷۹	B
۰/۸۸۰	۰/۸۷۰	۰/۸۵۲	۰/۸۵۵	R <sup>2</sup>
۱/۰۹۱	۰/۹۹۱	۰/۹۹۰	۱/۰۲۵	A
-۰/۲۸۵	-۰/۰۴۹	-۰/۰۴۶	-۰/۰۱۵	B
۰/۸۸۰	۰/۸۷۴	۰/۸۵۳	۰/۸۵۵	R <sup>2</sup>

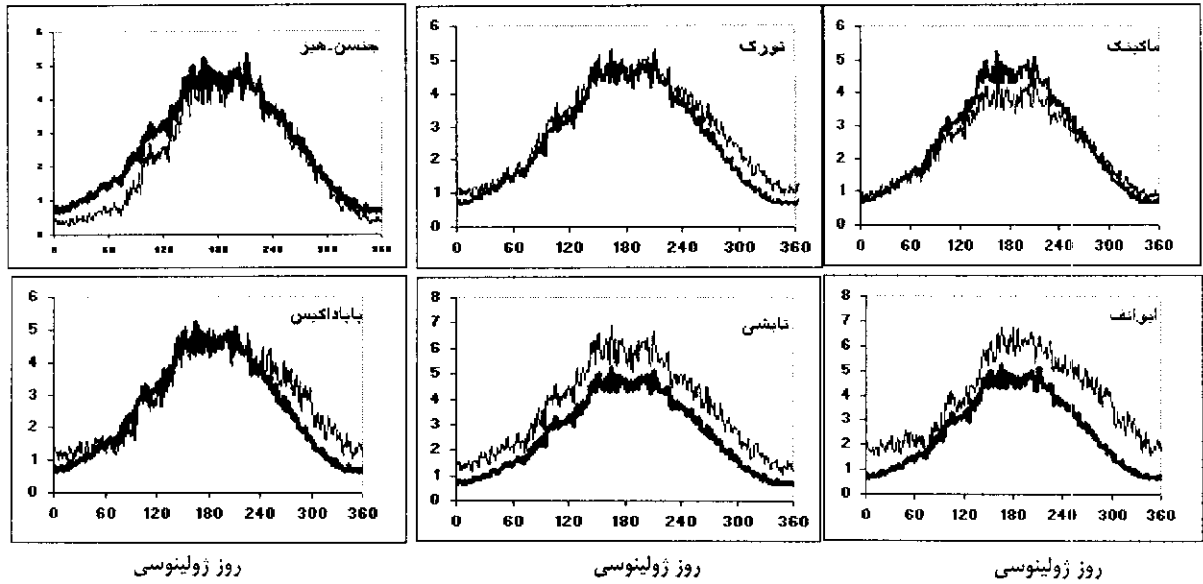
کل مقادیر  
۵۰٪ تصادفی اول  
۵۰٪ تصادفی دوم  
قبل از بکارگیری  
۵۰٪ تصادفی دوم  
بعد از به کارگیری

جدول ۴- مقادیر پارامترهای آماری ناشی از مقایسه مقادیر ETo روزانه روش جنسن-هیز با مقادیر ETo روزانه روش استاندارد (میلی متر در روز)

مراوه تپه	گنبد	گرگان	ضرایب	
وضعیت ۳	وضعیت ۳	وضعیت ۳	وضعیت ۱	وضعیت ۱
۱/۱۵	۰/۸۷۶	۰/۸۱۸	۰/۸۴۲	SEE
۰/۶۰۴	۰/۳۲۶	۰/۳۶۸	۰/۳۶۳	MBE
۱/۲۳۵	۰/۸۸۱	۰/۸۰۹	۰/۸۳۰	SEE
۰/۵۰۶	۰/۳۶	۰/۳۳۳	۰/۳۳۱	MBE
۱/۰۳۵	۰/۸۷۲	۰/۸۲۸	۰/۸۵۶	SEE
۰/۷۲۸	۰/۳۲۲	۰/۳۹۹	۰/۳۹۶	MBE
	۰/۶۳۲	۰/۵۹۷	۰/۶۲۸	SEE
-۰/۰۰۳	-۰/۰۷۳	-۰/۰۴۸	-۰/۰۵۱	MBE

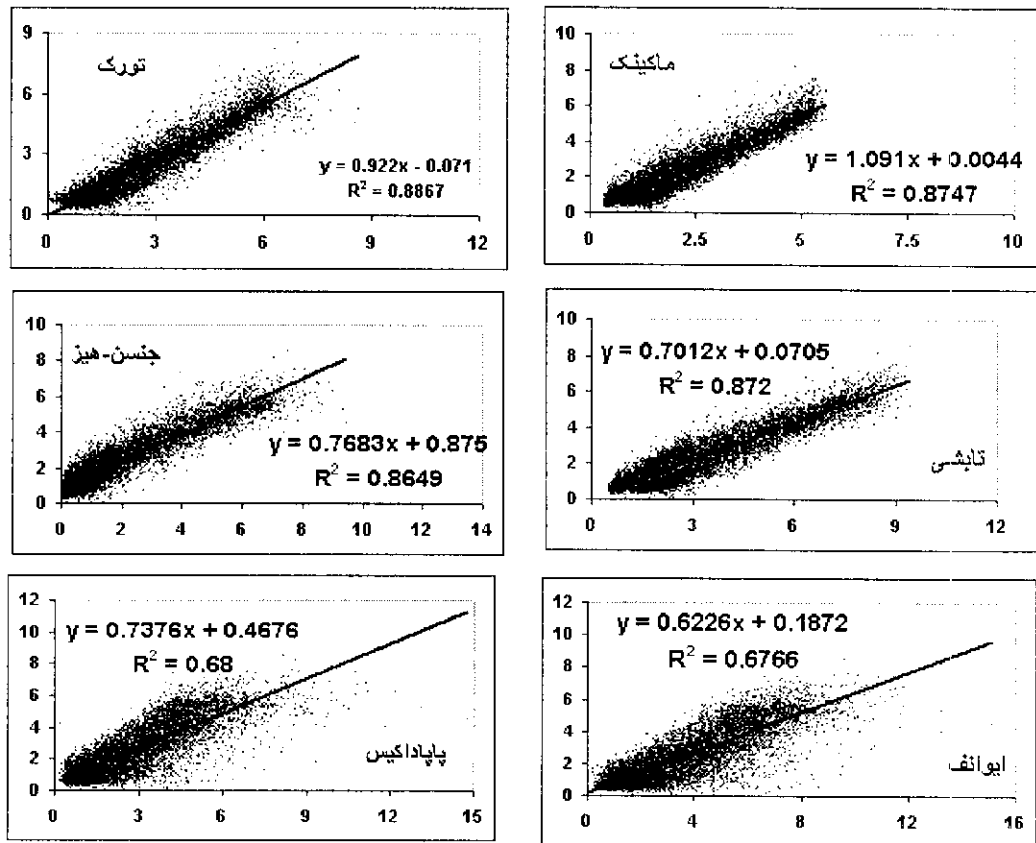
کل مقادیر  
۵۰٪ تصادفی اول  
۵۰٪ تصادفی دوم  
قبل از بکارگیری  
۵۰٪ تصادفی دوم بعد از  
بکارگیری

تبخیر-تعرق گیاه مرجع (میلی متر در روز)

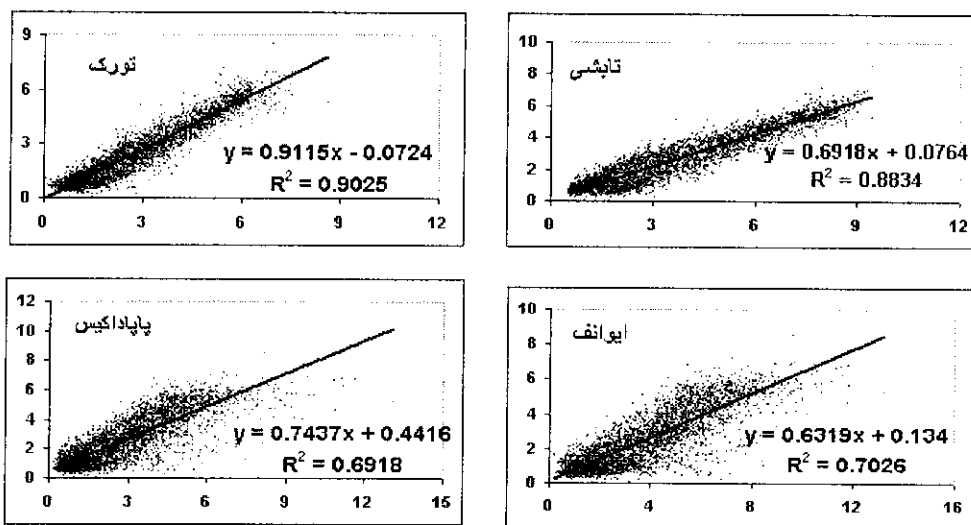


شکل ۱- نمودار بررسی نحوه تغییرات مقادیر متوسط ET0 روزانه هر روز ژولینوسی معادله های تخمینی (خط باریکتر) با مقادیر متوسط ET0 روزانه متناظر روش F-P-M (خط ضخیم تر) برای کل سالهای آماری (۲۰۰۲-۱۹۸۳) ایستگاه گرگان

تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش استاندارد (میلی متر در روز)

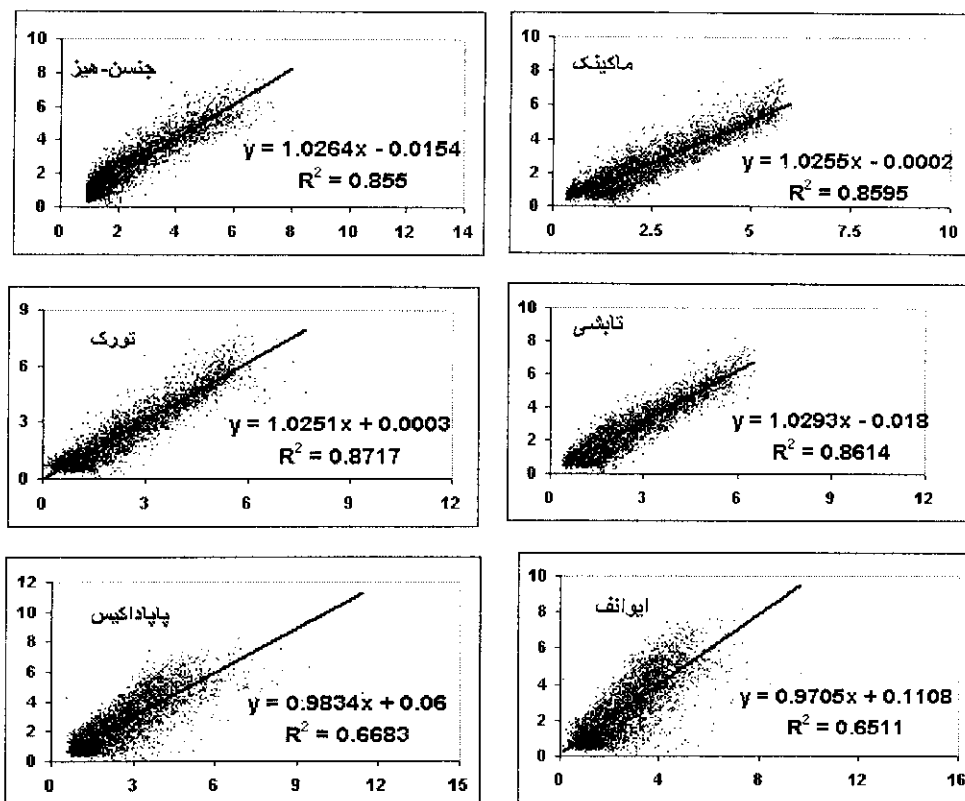


شکل ۲- نمودار همبستگی بین مقادیر ET0 روزانه روش‌های تجربی با مقادیر ET0 روزانه روش F-P-M برای کل سالهای آماری (۲۰۰۲-۱۹۸۳) ایستگاه گرگان



شکل ۳- نمودار همبستگی بین مقادیر ET0 روزانه روش‌های تجربی با مقادیر ET0 روزانه روش F-P-M برای ۵۰٪ تصادفی اول ایستگاه گرگان  
تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش‌های تجربی (میلی متر در روز)

تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش استاندارد (میلی متر در روز)



شکل ۴- نمودار همبستگی بین مقادیر ET0 روزانه روش‌های تجربی با مقادیر ET0 روزانه روش F-P-M برای ۵۰٪ تصادفی دوم پس از به کارگیری معادله همبستگی اول ایستگاه گرگان  
تبخیر-تعرق گیاه مرجع به روش‌های تجربی (میلی متر در روز)

مورد بررسی قرار گیرد نتایج فوق نیز حاصل می‌گردد. در ارزیابی این معادله همبستگی، مشاهده گردید که در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۲٪ و در مراوه تپه حدود ۲۵٪ کمتر از روش استاندارد تخمین زده می‌شود. مقدار SEE با شرایط قبلی یکسان است. مقدار MBE در گرگان و مراوه تپه مثبت و در گنبد منفی می‌باشد و این نشان دهنده آن است که در ایستگاه گنبد مقادیر ETo برآورد شده از روش ماکینک به طور متوسط کمتر از روش استاندارد می‌باشد. با توجه به بررسی‌های فوق می‌توان گفت که با استفاده از معادله همبستگی به دست آمده در گرگان و گنبد می‌توان مقادیر ETo قابل قبولی را برآورد نمود. روش تورک: مطابق تجزیه و تحلیل این روش مقدار ضریب تبیین (R2) بین مقادیر ETo روش‌های تورک و استاندارد حدود ۰/۹۰ می‌باشد. در حالی که مقادیر برآورد شده از این روش در ایستگاه‌های گرگان، گنبد و مراوه تپه به ترتیب حدود ۸، ۱۴، و ۲۵ درصد کمتر از مقادیر روش استاندارد می‌باشند و با اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گنبد و مراوه تپه می‌توان آن را به ترتیب به ۸ و ۱۵ درصد کاهش داد. خطای استاندارد تخمین‌ها در ایستگاه‌های فوق به ترتیب ۰/۶، ۰/۸، و ۱/۵ میلی متر در روز می‌باشد و با اصلاح داده‌ها در گنبد و مراوه تپه نیز کاهش می‌یابد. از طرفی مقدار MBE در همه ایستگاه‌ها منفی است. در ارزیابی معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه مقدار R2 در هر سه ایستگاه بیشتر از ۰/۸۵ می‌باشد. این معادله در ایستگاه‌های گرگان و مراوه تپه به ترتیب حدود ۲/۵ و ۱۶ درصد بیشتر مقدار ETo را نسبت به روش استاندارد برآورد می‌کند در حالیکه در ایستگاه گنبد تقریباً برابر با مقادیر روش F-P-M می‌باشد. مقدار SEE حاصل از به کارگیری معادله ۵۰٪ اولیه در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۰/۵ میلی‌متر در روز و در ایستگاه مراوه تپه پس از اصلاح داده‌ها به ۰/۷ میلیمتر در روز می‌رسد. با توجه به بررسی‌های فوق می‌توان گفت که از روش تورک برای ایستگاه‌های فوق می‌توان استفاده نمود. لیکن با اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گنبد و به ویژه در مراوه تپه نتایج بهتری حاصل می‌شود.

روش جنسن-هیز: نتایج حاصل از رگرسیون‌گیری بین مقادیر ETo برآورد شده از روش جنسن-هیز و مقادیر ETo به دست آمده از روش استاندارد در جدول ۳ آمده است. مطابق این جدول، می‌توان گفت R<sup>2</sup> در این رگرسیون در هر سه ایستگاه بالاتر از ۰/۸۵ می‌باشد. در حالی که مقدار ETo را به میزان ۲۳ تا ۳۰ درصد کمتر از روش استاندارد برآورد می‌کند، با اصلاح داده‌ها می‌توان این اختلاف را کمتر نمود. مقدار SEE در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۰/۹-۰/۸

اکنون با استفاده از بررسی‌های رگرسیونی و آماری روی مقادیر ETo روزانه به دست آمده از معادله‌های تخمین با مقادیر ETo روزانه از روش استاندارد، می‌توان هر یک از آنها را مورد ارزیابی قرار داد. این ارزیابی از یک سو برای ایستگاه‌های سینوپتیک مورد نظر و از سوی دیگر در سه وضعیت از داده‌های هواشناسی (شامل داده‌های اصلاح نشده و داده‌های اصلاح شده در شرایط محلی و جهانی) انجام گرفته است. لازم به ذکر است که برای انتخاب ۵۰٪ سالها، سه روش مختلف مورد بررسی قرار گرفت که عبارتند از نصف اول سال‌های آماری، به صورت سال در میان و همچنین به صورت تصادفی. میزان R2 (بین مقادیر ETo معادله‌های تخمینی و مقادیر ETo روش استاندارد) در سه روش انتخابی فوق اختلاف چندانی با یکدیگر نداشتند، لیکن به ترتیب روش سال در میان، تصادفی و نصف اول سال‌های آماری دارای R2 بزرگتری بودند. پس از جایگذاری مقادیر ETo روزانه در معادله همبستگی ۵۰٪ اولیه مقادیر ETo، میزان R2 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 این بررسی در این تحقیق بر اساس روش تصادفی، ۵۰٪ داده‌ها انتخاب شد. بنابراین ۵۰٪ سال‌های آماری برای رگرسیون گیری اول چنین بود: گرگان سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۹۰-۱۹۹۱-۱۹۹۲-۱۹۹۳-۱۹۹۴-۱۹۹۵-۱۹۹۶-۱۹۹۷-۱۹۹۸-۱۹۹۹-۲۰۰۰-۲۰۰۱-۲۰۰۲ و مراوه تپه سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۵-۱۹۹۶-۱۹۹۷-۱۹۹۸-۲۰۰۰.

در شکل‌های شماره ۲ تا ۴ نمودارهای همبستگی مقادیر ETo از معادله‌های تخمینی با مقادیر ETo روش استاندارد به ترتیب در شرایط بدون اصلاح داده‌ها، ۵۰٪ تصادفی اولیه و ۵۰٪ تصادفی دوم پس از به کارگیری معادله همبستگی اول در ایستگاه گرگان نشان داده شده است. روش ماکینک: با توجه به تحلیل انجام شده برای این روش، مقدار R2 این روش بیش از ۰/۸۶ می‌باشد، در حالی که با اصلاح داده‌ها در ایستگاه مراوه تپه می‌توان آن را به بیش از ۰/۹۰ نیز رساند. این روش در ایستگاه‌های گرگان و گنبد ETo را حدود ۸ تا ۹ درصد بیشتر و در ایستگاه مراوه تپه حدود ۱۱٪ کمتر از مقدار ETo روش استاندارد برآورد می‌نماید. با اصلاح داده‌ها در مراوه تپه این اختلاف تا حد ۶٪ کاهش می‌یابد. مقدار MBE و SEE در ایستگاه‌های گرگان و گنبد به ترتیب حدود ۰/۶ و ۰/۲ میلی‌متر در روز بوده در حالی که در ایستگاه مراوه تپه مقدار آن در حالت بدون اصلاح داده‌ها به ۱/۱۲ میلی متر در روز می‌رسد و با اصلاح داده‌ها می‌توان آنرا تا حد ۰/۸ میلیمتر در روز کمتر نمود. اگر مقادیر ۵۰٪ تصادفی اولیه



بیشتر از مقدار استاندارد برآورد می‌نماید. اصلاح داده‌ها در تغییر میزان این اختلاف تأثیر چندانی ندارد.

بنابراین با توجه به ارزیابی‌های فوق می‌توان گفت که مقادیر برآورد شده از روش تابشی، اختلاف زیادی با مقادیر استاندارد مرجع دارند. در ایستگاه‌های گرگان و گنبد می‌توان این مقادیر را در معادله همبستگی قرار داده و ارقام حاصل شده را به عنوان مقادیر ETo آن ایستگاه‌ها قلمداد نمود. کارایی این روش در ایستگاه مراوه تپه رضایت بخش نیست.

روش پایاداکیس: مقادیر ETo برآورد شده از این روش که جزء گروه رطوبتی محسوب می‌شود از ضریب  $R^2$  بالایی برخوردار نیست (بین ۰/۵۵ تا ۰/۶۷). از طرفی مقادیر ETo روزانه این روش حدود ۲۴٪ تا ۴۵٪ کمتر از روش استاندارد برآورد می‌شود در حالی که با اصلاح داده‌ها در مراوه تپه به حدود ۱۴٪ (روش تمسگن و همکاران، ۱۹۹۹) تا ۲۴٪ (روش محمدیان، ۱۳۸۲) بیشتر منتهی می‌شود. مقادیر SEE در ایستگاه‌های فوق از ۱ تا ۳ میلی متر در روز متغیر است. اصلاح داده‌ها موجب کاهش SEE می‌گردد و مقدار MBE منفی می‌باشد. هرگاه مقادیر ETo روزانه روش پایاداکیس در معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه قرار داده شوند و سپس با مقادیر روش استاندارد مقایسه گردند،  $R^2$  پائینی را خواهند داشت. لیکن اختلاف مقادیر تخمین‌ها با روش استاندارد در ایستگاه‌های گرگان و گنبد کم است (حدود ۲ درصد) ولی در ایستگاه مراوه تپه به ۱۸٪ می‌رسد و با اصلاح داده‌ها این اختلاف بیشتر شده و به ۲۵٪ نیز می‌رسد. بنابراین نتایج روش پایاداکیس در ایستگاه‌های فوق نمی‌تواند قابل اطمینان باشد مگر اینکه مقادیر برآورد شده از این روش با استفاده از معادله همبستگی تصحیح گردد. از این روش در مراوه تپه در هر شرایطی نمی‌توان استفاده نمود.

روش ایوانف: در رگرسیون‌گیری بین مقادیر روزانه ETo به دست آمده از روش ایوانف و روش F-P-M ضریب  $R^2$  کمی به دست آمد. میزان ETo روزانه برآورد شده توسط این روش رطوبتی با مقادیر روش استاندارد، حدود ۵۲٪- ۳۵٪ اختلاف دارد. مقادیر MBE و SEE در هر سه ایستگاه مورد نظر بالاست. هرگاه مقادیر تبخیر - تعرق پتانسیل به دست آمده از این روش در معادله همبستگی ۵۰٪ اولیه قرار داده شود، در ایستگاه‌های گرگان و گنبد نتایج نسبتاً خوبی را می‌دهد. اصلاح داده‌ها تأثیر قابل توجهی بر نتایج ندارد. بنابراین روش فوق را در شرایطی که مقادیر ETo روزانه با استفاده از یک معادله همبستگی تصحیح گردد، می‌توان در ایستگاه‌های گرگان و گنبد استفاده نمود. لیکن در ایستگاه مراوه تپه قابل استفاده نیست.

میلی متر در روز و در مراوه تپه حدود ۱/۴ میلی متر در روز می‌باشد و با اصلاح داده‌ها می‌توان آن را کاهش داد (جدول ۴). همانطوری که در جداول ۳ و ۴ مشاهده می‌شود مقدار  $R^2$  در ارزیابی معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه بیشتر از ۰/۸۵ است. همچنین در ایستگاه‌های گرگان و مراوه تپه مقادیر ETo روزانه پس از اصلاح مقادیر ETo توسط معادله همبستگی مناسب، به ترتیب حدود ۲ و ۱۴ درصد بیشتر از روش استاندارد برآورد گردید. در حالی که در ایستگاه گنبد با یکدیگر برابر می‌باشند. مقدار SEE با اصلاح داده‌ها در هر سه ایستگاه کمتر از ۰/۶ میلی‌متر بر روز بوده و MBE نیز ناچیز می‌باشد (این اطلاعات در جدول ۴ برای ایستگاه گرگان آمده است).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر برآورد شده از روش جنسن-هیز اختلافی حدود ۲۵٪ با مقایره روش استاندارد دارند. لیکن با قرار دادن مقادیر ETo به دست آمده از این روش در معادله همبستگی می‌توان نتایج قابل قبولی را کسب نمود. از طرفی اصلاح داده‌ها در مراوه تپه نتایج را بهبود می‌بخشد به طوری که شیب معادله همبستگی از ۱/۱۴ به حدود ۱/۰۹ و مقدار SEE با استفاده از روش محمدیان از ۰/۹۶ به ۰/۶۶ میلیمتر در روز کاهش می‌یابد.

روش دورنباس و پروت (تابشی): این روش که به تابشی هم معروف است در گروه تشعشعی قرار دارد. مطابق بررسی‌های رگرسیونی بین مقادیر ETo روزانه برآورد شده از این روش و مقادیر ETo روزانه روش استاندارد، ضرایب تبیین ( $R^2$ ) در هر سه ایستگاه بیشتر از ۰/۸۷ می‌باشد و با اصلاح داده‌ها در مراوه تپه به بیش از ۰/۹۲ می‌رسد. این روش در ایستگاه‌های گرگان، گنبد و مراوه تپه به ترتیب حدود ۳۰٪، ۳۳٪ و ۴۵٪ کمتر از روش استاندارد مقدار تبخیر - تعرق گیاه مرجع را برآورد می‌کند. با اصلاح داده‌ها در کل دوره آماری به روش محمدیان (۱۳۸۲) می‌توان آن را در ایستگاه گرگان به ۲۰٪ کاهش داد. لیکن برای سایر حالات اصلاح داده‌ها تأثیر چندانی بر نتایج ندارد. مقدار SEE در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۱/۵-۱/۳ و در ایستگاه مراوه تپه حدود ۲/۹ میلی‌متر در روز می‌باشد و با اصلاح داده‌ها در مراوه تپه به ۲/۴ میلیمتر در روز کاهش می‌یابد. مقدار MBE در آنها به ترتیب ۱-، ۱/۲- و ۲- میلی متر در روز به دست آمد. در ارزیابی معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه مقادیر ETo روزانه، ضریب  $R^2$  برای هر سه ایستگاه بیشتر از ۰/۸۳ می‌باشد (مقدار این ضریب در شکل ۴ فقط برای ایستگاه گرگان آمده است). این معادله در ایستگاه‌های گرگان و گنبد حدود ۲- درصد کمتر و در مراوه تپه حدود ۲۳٪

## نتیجه گیری

روش‌های رطوبتی در این تحقیق از کارایی مناسبی برخوردار نبودند و اصلاح داده‌ها نتوانست بر نتایج اثر خوبی گذارد (به‌جز روش ایوانف در مراوه تپه). از طرف دیگر در این روش‌ها با تصحیح مقادیر ETo روزانه با استفاده از معادله همبستگی، نتایج برای ایستگاه‌های گرگان و گنبد به مقادیر روش استاندارد نزدیکتر شد. با توجه به این که ایستگاه گرگان دارای اقلیم نیمه مرطوب تا مدیترانه‌ای است و اقلیم ایستگاه گنبد نیمه خشک بوده و مراوه تپه از اقلیم نیمه خشک تا خشک برخوردار است، بنابراین از نتایج این تحقیق برای نقاطی از استان که دارای اقلیمی مشابه با اقلیم هر یک از ایستگاه‌های فوق باشند می‌توان استفاده نمود.

با توجه به ارزیابی‌های فوق‌الذکر می‌توان گفت برای ایستگاه‌های سینوپتیک گرگان، گنبد و مراوه تپه به ترتیب روش‌های ماکینک، تورک، جنسن-هیز و تابشی مقادیر ETo روزانه مناسب تری را برآورد می‌نمایند. و اصلاح داده‌ها در ایستگاه‌های گرگان و گنبد تأثیر قابل توجهی بر نتایج ندارد، لیکن در مراوه تپه آنها را بهبود می‌بخشد. در روش‌های تشعشعی برای ایستگاه‌های گرگان و گنبد با قرار دادن مقادیر ETo روزانه در معادله همبستگی ۵۰٪ تصادفی اولیه نتایج قابل قبولی حاصل می‌شود، لیکن در ایستگاه مراوه تپه نتایج قابل قبولی به دست نمی‌آید. در این حالت می‌توان از روش جنسن-هیز استفاده نمود.

## فهرست منابع:

۱. رضائی، ع (۱۳۷۹). مفاهیم آمار و احتمالات (با تجدید نظر کامل). نشر مشهد، چاپ اول، مشهد.
۲. 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.
۳. علیزاده، ا (۱۳۷۸). رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ اول، دانشگاه امام رضا (ع).
۴. مالک، ا، عالمی، م، ح، (۱۳۶۵)، آب مصرفی گیاهان و برنامه‌ریزی آبیاری. ترجمه گزارشی از کمیته فنی نیاز آب آبیاری و زهکشی انجمن مهندسان راه و ساختمان آمریکا، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول.
۵. محمدیان، آ، (۱۳۸۲)، اصلاح داده‌های هواشناسی برای تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع - ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
۶. میرشاهی، ب. ۱۳۷۸، اثرات اصلاح دما در برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد
7. 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.
8. Allen, R.G., Jensen, M.E., Wright, J.L. and Burman, R.D. (1989). Operational estimate of reference evapotranspiration. Agronomy Journal, 81(4):650-62.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. Hargreaves, G.H. (1994). Defining and using reference evapotranspiration. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(6), 1132-1139.
13. 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

## **Evaluation of Different Radiation and Humidity Methods for Estimation of ETo and Analysis of Aridity Effects in Golestan Province**

**H. Sharifian, B. Ghahraman, A. Alizadah, and S. M. Mirlotfi<sup>1</sup>**

### **Abstract**

Reference evapotranspiration (ETo) is a term used for a grass/alfalfa medium under no-stress condition. ETo can be measured in lysimeters or estimated by the empirical equations. Due to lack of lysimetric data in Golestan province and taking FAO-Penman-Monteith (F-P-M) as a standard method, the radiation and humidity methods were compared with this standard method in synoptic stations of Golestan Province (Gorgan, Gonbad and Maraveh-Tappeh). In this evaluation, the data used were either raw data or corrected based on local and/or universal conditions. The results showed the accuracy order for these methods to follow the sequence Makkink, Turc, Jensen-Haise and radiation. The results also showed that Gorgan and Gonbad stations did not need any aridity correction, while the Maraveh-Tappeh had to be corrected. When estimated ETo values from radiation methods (e.g. J-H in Maraveh-Tappeh) were corrected by regression equation, the amounts obtained for these methods were applicable in Golestan. The humidity methods were not useful in Golestan, unless they were corrected by suitable regression equations in Gorgan and Gonbad stations.

**Keywords:** Reference evapotranspiration, Aridity, Golestan province.

---

1- Ph .D. student in Irrigation Tarbiat Modarres University; scientific staff member, School of Agriculture, Ferdowsi University, Mashad; scientific staff member, School of Agriculture, Ferdowsi University, Mashad; and scientific staff member, School of Agriculture, Tarbiat Modarres University, respectively.