

## استفاده از حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

محمد موسوی بایگی<sup>۱\*</sup> - مریم عرفانیان<sup>۲</sup> - مجید سرمد<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۱۲

تاریخ پذیرش: ۸۷/۸/۲۰

### چکیده

یکی از راه‌های کاهش تلفات آب در مزارع، برنامه ریزی صحیح آبیاری می‌باشد که اساس آن را برآورد دقیق نیاز آبی گیاهان تشکیل می‌دهد. معادلاتی که برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده می‌شوند، پارامترهای اقلیمی یکسانی را به کار نمی‌گیرند و به دلیل ماهیت تجربی آنها برای تمام شرایط اقلیمی مناسب نیستند. به همین دلیل لازم است که معادله مناسب هر منطقه مشخص شود. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از داده‌های لایسیمتری برداشت شده در دوره شش ماهه اردیبهشت تا شهریور سال ۱۳۸۴ در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی مشهد، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده با روش‌های فائو پنمن - مانیتیت و تشت تبخیر و همچنین اعمال ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه مورد مقایسه قرار گرفتند و روابط اصلاحی هر روش ارائه شدند. علاوه بر این، بین مقدار تبخیر و تعرق روزانه گیاه مرجع محاسبه شده به روش فائو پنمن - مانیتیت در کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی و پارامترهای دمای هوا، تابش و ضریب رطوبتی، رگرسیون بندی شده و در نهایت یک معادله ساده شده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع با این روش ارائه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که نزدیکترین جواب‌های حاصله به داده‌های لایسیمتری از معادله فائو پنمن - مانیتیت با اعمال ضرایب ماهانه (ضریب تعیین ۰/۹۹) و پس از آن با ضرایب سالانه (ضریب تعیین ۰/۹۲) به دست آمده است. لذا توصیه می‌شود جهت به‌کارگیری این معادله در مطالعات، ابتدا شرایط مرجع بودن ایستگاه مورد بررسی قرار گرفته و در صورت غیر مرجع بودن آن از ضرایب اصلاحی ماهانه جهت برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق گیاه مرجع، لایسیمتر، روش فائو پنمن - مانیتیت، ضرایب اصلاحی

### مقدمه

تعرق گیاه مرجع<sup>۴</sup> ( $ET_0$ ) تخمین زده می‌شود و سپس از روی آن تبخیر و تعرق گیاه مورد نظر محاسبه می‌شود (۷). بر اساس استاندارد فائو، تبخیر و تعرق گیاه مرجع عبارت 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 (۴).

روش‌های متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع وجود دارد که هر کدام با توجه به فرضیات و داده‌های مختلف هواشناسی مورد استفاده در آنها، اغلب نتایج متفاوتی به دست می‌دهند. اغلب این روش‌ها تحت واسنجی‌های محلی به دست آمده‌اند و معلوم شده است که اعتبار جهانی محدود دارند (۷). از بین روش‌های تجربی متعدد ارائه شده برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع، در سال ۱۹۹۰ از سوی کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی (ICID) و سازمان خوار

تبخیر و تعرق یکی از مهمترین پارامترهایی است که دانستن آن جهت برآورد آب مصرفی گیاه و طراحی سیستم‌های آبیاری ضروری است. تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیر و تعرق مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه ریزی برای رسیدن به محصول بیشتر است. همچنین در طراحی و تعیین ظرفیت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، برآورد تبخیر و تعرق نقش مهمی دارد. در اغلب روش‌هایی که برای تعیین میزان تبخیر و تعرق ارائه شده‌اند، ابتدا مقدار تبخیر و

۱ - دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

(\* - نویسنده مسئول: Email: mousavi500@yahoo.com)

۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه

فردوسی مشهد

۳ - استادیار گروه آمار دانشگاه فردوسی مشهد

و بار جهانی (FAO) روش فائو پنمن - مانتیت به عنوان تنها روش استاندارد برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از روی داده‌های اقلیمی و همچنین برای ارزیابی سایر روش‌ها پیشنهاد شده است (۱۳). این روش نیازمند داده‌های تابش، دما، رطوبت و سرعت باد بوده و با درجه اعتماد بالایی در دامنه وسیعی از مناطق و اقلیم‌ها برآورد صحیحی از تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه می‌کند (۱۱).

عوامل بسیار زیادی در تعیین تبخیر و تعرق دخالت دارند که از جمله این موارد می‌توان به دمای هوا، سرعت باد، تشعشع خورشیدی اشاره کرد. در تحقیق صالح و سندیل (۱۴) در عربستان مشخص شده است که در مناطق خشک و نیمه خشک، دو پارامتر دما و تشعشع خورشیدی نقش اساسی را بر تبخیر و تعرق ایفا می‌کنند و سایر عوامل در درجه دوم اهمیت قرار دارند. همچنین شیه (۱۵) نتیجه گرفته است که در تخمین روزانه و ماهانه تبخیر و تعرق، دو پارامتر مذکور به تنهایی تقریباً همان عددی را نتیجه می‌دهند که استفاده از سایر پارامترهای دیگر می‌دهد.

با توجه به تأثیر عوامل مختلف در تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، برآورد دقیق این پارامتر اگر غیر ممکن نباشد کار بسیار مشکلی است. روش‌های اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دو گروه مستقیم و غیر مستقیم (محاسباتی) تقسیم می‌شوند. در روش مستقیم در واقع بخش کوچک و کنترل شده‌ای از مزرعه مجزا شده و میزان تبخیر و تعرق در یک دوره زمانی مستقیماً اندازه‌گیری می‌شود. به این بخش کوچک که ارتباط رطوبتی با خاک اطراف ندارد لایسیمتر گویند. در روش‌های غیر مستقیم از عوامل مختلف اقلیمی و گیاهی استفاده شده و از طریق ارتباط آنها با تبخیر و تعرق و معادلاتی که قبلاً با روش‌های مستقیم واسنجی شده‌اند، میزان تبخیر و تعرق گیاه مرجع تخمین زده می‌شود. از نظر علمی روشی مطلوبتر است که اولاً آسان بوده و ثانیاً نتایج حاصله از آن واقعی‌تر باشند (۶).

تا به حال در بسیاری از نقاط دنیا افراد مختلف مدل‌های زیادی برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه نموده‌اند. حال کدام یک از مدل‌های موجود برای منطقه مورد مطالعه طرح مناسب است جای سؤال دارد. جهت پاسخ به این سؤال بایستی بتوان به طور مستقیم مقدار تبخیر و تعرق را توسط لایسیمترها اندازه‌گیری نمود. سپس ارقام به دست آمده از لایسیمتر و نتایج تجربی با استفاده از علوم ریاضی و مدل‌های مربوطه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

شیه (۱۵) تأثیر متغیرهای مختلف آب و هوایی را بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع بررسی نمود و نتیجه گرفت مدلهایی که بر اساس دمای هوا و تابش عمل می‌کنند، نتایج بسیار رضایت‌بخشی دارند. رحیم زادگان (۲) مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع را با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در اصفهان طی دو سال اندازه‌گیری، با نتایج ۱۲ روش محاسباتی مقایسه کرد و به ترتیب روش‌های جنسن - هیز، کریستینسن - هارگریوز، بلانی - کریدل اصلاح شده و پنمن را به

عنوان مناسب‌ترین روش‌ها برای این منطقه معرفی کرد. انتصاری و همکاران (۱) تبخیر و تعرق پتانسیل را در چند منطقه از ایران با روش پنمن - مانتیت محاسبه نمودند و با دیگر روش‌های توصیه شده سازمان خوارو بار جهانی (تشت تبخیر، پنمن، پنمن اصلاح شده، تشعشع و بلانی کریدل) مورد مقایسه قرار دادند و قابلیت اتکا به روش پنمن - مونتیت را تحلیل نمودند. صمدی و مجدزاده (۵) ضمن اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) توسط لایسیمتر در کرمان تعدادی از روش‌های محاسباتی (بلانی - کریدل، تورنت وایت و پنمن - فائو) را مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که معادله بلانی - کریدل مناسب‌ترین روش برای استفاده در مناطق خشک است.

همانگونه که ذکر شد با توجه به اینکه هر معادله برآورد کننده تبخیر و تعرق گیاه مرجع در منطقه‌ای خاص و با شرایط آب و هوایی مربوط به آن محل استخراج شده‌اند، لازم است که کارایی این معادلات جهت استفاده در مناطق دیگر ارزیابی شود. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از داده‌های لایسیمتری برداشت شده در دوره ۶ ماهه اردیبهشت تا شهریور سال ۱۳۸۴ در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی مشهد، مقادیر به دست آمده از روش فائو پنمن - مانتیت، به دلیل توصیه جهانی و عمومیت آن روش و نیز تشت تبخیر مورد مقایسه قرار گرفتند. علاوه بر این مقادیر لایسیمتری با مقادیر تبخیر و تعرق حاصل از معادله فائو پنمن - مانتیت با در نظر گرفتن ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه ارائه شده توسط محمدیان (۹) در شرایط غیرمرجع بودن ایستگاه در بررسی‌ها لحاظ شدند. همچنین با توجه به اینکه محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانتیت نیاز به داده‌های ورودی زیاد و محاسبات طولانی دارد، با استفاده از مقادیر به دست آمده در ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی سعی شده است تا یک معادله ساده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع ارائه شود.

## مواد و روش‌ها

### میکرو لایسیمتر

همان گونه که ذکر شد هدف اولیه این تحقیق، تعیین ضرایب اصلاحی معادله فائو پنمن - مانتیت در مشهد می‌باشد. بدین منظور از اطلاعات و داده‌های آزمایش‌های انجام گرفته روی سه میکرو لایسیمتر وزنی در یک دوره ۶ ماهه در ایستگاه دانشکده کشاورزی مشهد استفاده شد (۱۰). این میکرو لایسیمترها که دو تایی آنها در کناره‌های زمین و دیگری در وسط زمین محل آزمایش قرار داده شده بود، شبانه آبیاری می‌شدند و در روز بعد قبل از آبیاری مجدد، میزان زه‌آب جمع‌آوری شده و سپس وزن لایسیمترها توسط باسکول اندازه‌گیری می‌شد. بدین ترتیب با کم کردن زه‌آب از عمق

$$\gamma = 0.00163 \frac{P}{\lambda} \quad (۴)$$

$\gamma$  = ضریب سایکرومتری رطوبتی ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$  KPa) و  $P$  = فشار هوا (KPa) که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$P = 101.3 \left( \frac{293 - 0.0065 Z}{293} \right)^{5.26} \quad (۵)$$

که در آن  $Z$  = ارتفاع محل از سطح دریا (m) است.

$$R_a = 37.6 dr (W_s \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \sin W_s) \quad (۶)$$

$$W_s = \arccos(-\tan \phi \cdot \tan \delta) \quad (۷)$$

$$dr = 1 + 0.033 \cos(0.0172 J) \quad (۸)$$

$$\delta = 0.409 \sin(0.0172 J - 1.39) \quad (۹)$$

$$J = \text{int eger} \left( 275 \frac{M}{9} - 30 + D \right) \quad (۱۰)$$

در این فرمول‌ها  $R_a$  = تابش برون زمینی ( $\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$ )،  $dr$  = فاصله نسبی زمین تا خورشید،  $\delta$  = زاویه میل خورشید (رادیان)،  $\phi$  = عرض جغرافیایی (رادیان)،  $W_s$  = زاویه ساعتی غروب خورشید (رادیان)،  $M$  = شماره ماه میلادی سال که تبخیر و تعرق برای آن محاسبه می‌شود،  $J$  = شماره روز ژولیوسی از ابتدای سال مسیحی و  $D$  = شماره روز از ماه است.

$$N = 7.64 W_s \quad (۱۱)$$

که  $N$  حداکثر ساعات روشنایی در روز  $J$  از سال (ساعت) است.

$$R_n = 0.77(0.25 + 0.50 n / N) \cdot Ra - 2.45 \times 10^{-9} \quad (۱۲)$$

$$(0.9 n / N + 0.1)(0.34 - 0.14 \sqrt{ed})(T_{KX}^4 + T_{Kn}^4)$$

$$e_d = 0.611 \exp\left(\frac{17.27 T_d}{T_d + 237.3}\right) \quad (۱۳)$$

در این معادلات:

$n$  = تعداد ساعات واقعی آفتاب (ساعت)،  $e_d$  = فشار واقعی بخار آب (KPa)،  $T_{Kn}$  و  $T_{KX}$  حداکثر و حداقل دمای روزانه (کلوین) و  $T_d$  = دمای نقطه شبنم می‌باشد.

مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانتیت با استفاده از داده‌های روزانه ایستگاه سینوپتیک مشهد و نرم‌افزار CropWat محاسبه شده است. قابل ذکر است که داده‌های مورد نیاز برای محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع از این روش باید از ایستگاه‌هایی با شرایط مرجع اندازه‌گیری شود (مثلاً این ایستگاه‌ها دارای پوشش سبز هستند و به خوبی آبیاری می‌شوند (۱۲)). لیکن در کشور ما به دلیل عدم دسترسی به ایستگاه با شرایط مرجع، ناگزیر از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی استفاده می‌شود که این مسئله باعث خطای زیادی در تخمین تبخیر و تعرق با استفاده از این معادله می‌شود. لذا جهت رفع این خطا از ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه ارائه شده توسط محمدیان (۹) برای

آب آبیاری، مقدار رطوبت موجود در خاک بدست می‌آید. درصدی از این رطوبت در طی روز صرف عمل تبخیر و تعرق از گیاه می‌شود که مقدار آن با توجه به اختلاف وزنی که لایسیمتر نشان می‌داد تعیین می‌گردید.

### تشت تبخیر

تبخیر از سطح تشت تبخیر می‌تواند به عنوان شاخصی از ترکیب اثرات تابش، دما، رطوبت و باد بر تبخیر و تعرق در نظر گرفته شود. تشت تبخیر، مقدار واقعی تبخیر را نشان داده و به کمک مشاهده مقدار افت سطح آب در آن و استفاده از ضرایب تجربی می‌تواند در برآورد تبخیر و تعرق به کار گرفته شود (۸). لذا از داده‌های مربوط به تشت تبخیر کلاس A به منظور مقایسه و ارزیابی نتایج به دست آمده استفاده شد. ضریب تشت با توجه به رطوبت و مقدار باد روزانه بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ تغییر می‌کرد (۱۰). با توجه به عدم وجود بارندگی در دوره مطالعه، مقدار تبخیر از کاهش عمق آب که به طور مرتب هر روز در ساعت ۶ بعدازظهر اندازه‌گیری می‌شد، تعیین گردید.

### معادله فائو پنمن - مانتیت

به منظور برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانتیت از فرمول زیر استفاده شده است (۶):

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma [890 / (T + 273)] U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (۱)$$

که در آن:

$ET_o$  = تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/day)

$R_n$  = تابش خالص در سطح پوشش گیاهی ( $\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$ )

$T$  = متوسط دمای هوا در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ( $^{\circ}\text{C}$ )

$U_2$  = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین ( $\text{ms}^{-1}$ )

$e_a - e_d$  = کمبود فشار بخار در ارتفاع ۲ متری (KPa)

$\Delta$  = شیب منحنی فشار بخار ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$\gamma$  = ضریب رطوبتی ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )

$G$  = شار گرما به داخل خاک ( $\text{MJm}^{-2} \text{d}^{-1}$ )

برای به دست آوردن اجزای معادله فائو پنمن - مانتیت به ترتیب

زیر عمل می‌شود:

$$\lambda = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3}) T \quad (۲)$$

که در آن  $\lambda$  گرمای نهان تبخیر ( $\text{MJ kg}^{-1}$ ) و  $T$  دمای هوا ( $^{\circ}\text{C}$ ) است.

$$\Delta = \frac{2504 \exp [17.27 T / (T + 237.7)]}{(T + 237.3)^2} \quad (۳)$$

که  $\Delta$  شیب منحنی فشار بخار ( $\text{KPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) است.

تصحیح نتایج استفاده شد و هر کدام از نتایج به عنوان یک روش مجزا مورد بررسی قرار گرفت.

#### مدل اصلاحی

در نهایت برای هر یک از روش‌های ارائه شده در بازه زمانی مورد بررسی، در شرایط کمبود داده لایسیمتری برای برآورد هر چه بهتر تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مدل‌های اصلاحی و ضرایب واسنجی به شکل ساده زیر استفاده شده است:

$$ET_{oL} = a + b ET_{o F.P.M} \quad (14)$$

در این معادله:

$ET_{oL}$  = تبخیر و تعرق به دست آمده از لایسیمتر  
 $ET_{o F.P.M}$  = تبخیر و تعرق محاسبه شده به روش فائو پنمن -

مانتیت

$a$  و  $b$  = ضرایب واسنجی مدل

#### ارائه معادله ساده شده

به منظور تحقق هدف دوم این تحقیق مبنی بر ارائه یک معادله ساده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانیتیت از اطلاعات و آمار هواشناسی روزانه، از ماه فروردین تا آذر کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی (نام برده شده در جدول ۱) جهت محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده شده است. در این خصوص سعی شده است تا بین پارامترهایی که به راحتی اندازه‌گیری می‌شوند و در دسترس هستند و مقدار برآورد شده، یک رابطه رگرسیون چند متغیره ارائه شود. جهت انجام آنالیزهای آماری و محاسبات مربوطه در این تحقیق از نرم‌افزارهای Excel و SPSS استفاده شده است.

(جدول ۱) - مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک مورد استفاده در طرح

ردیف	نام ایستگاه	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	ترت جام	۹۲۸	۳۵° ۱۵'	۶۰° ۳۵'
۲	ترت حیدریه	۱۴۵۱	۳۵° ۱۶'	۵۹° ۱۳'
۳	گلمکان	۱۱۷۶	۳۶° ۳۲'	۵۹° ۱۷'
۴	سرخس	۲۳۵	۳۶° ۳۳'	۶۱° ۱'
۵	سبزوار	۹۴۷	۳۶° ۱۳'	۵۷° ۴'
۶	قوچان	۱۲۲۵	۳۷° ۱'	۵۸° ۳'
۷	کاشمر	۱۰۹۳	۳۵° ۱۲'	۵۸° ۲۸'
۸	گناباد	۱۰۱۰	۳۴° ۲۱'	۵۸° ۴۲'
۹	مشهد	۹۹۰	۳۶° ۱۶'	۵۹° ۳۸'
۱۰	نیشابور	۱۲۱۳	۳۶° ۱۲'	۵۸° ۴۸'

#### نتایج و بحث

همان گونه که قبلاً ذکر شد در این تحقیق از سه میکرو لایسیمتر وزنی جهت برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع به طور مستقیم استفاده شده است. قبل از استفاده از نتایج این میکرو لایسیمترها لازم

است بررسی شود که آیا بین نتایج به دست آمده از آنها اختلافی وجود دارد یا نه. نتایج تجزیه و تحلیل‌های آماری میانگین‌های مقادیر به دست آمده از سه میکرو لایسیمتر در جدول ۲ آورده شده است.

(جدول ۲) - تحلیل واریانس (آزمون یک طرفه)

F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
	۲/۷۱	۵/۴۲	۲	میکرو لایسیمترها
۲/۱۵ <sup>ns</sup>	۱/۲۶	۳۷۷/۵۴	۳۰۰	خطا
-	-	۳۸۲/۹۶	۳۰۲	کل

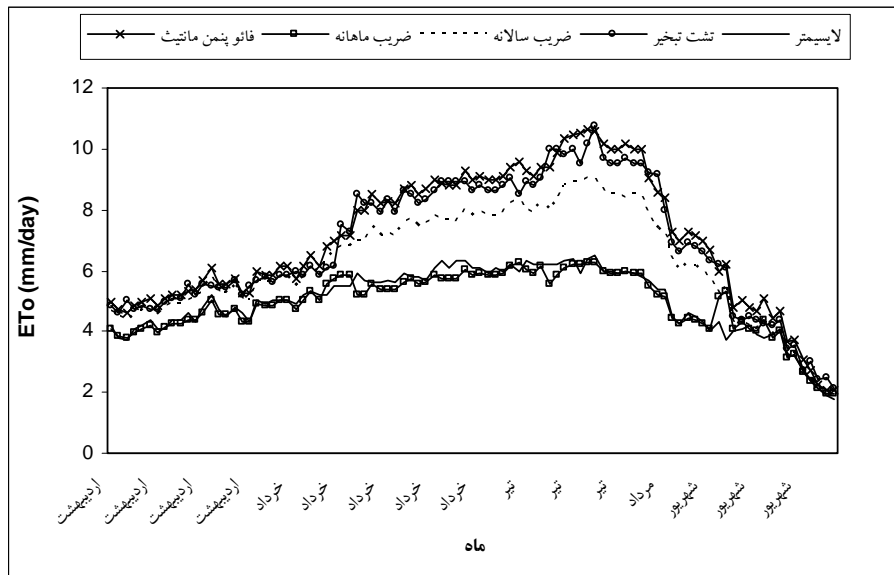
متوسط مقدار تبخیر و تعرق در سه میکرو لایسیمتر جهت مقایسه و بررسی‌های بعدی استفاده کرد.

در شکل ۱ نتایج برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است. همانطور که

همان طور که ملاحظه می‌شود نتایج آزمون F مشخص کننده آن است که در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری بین مقادیر میانگین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دست آمده از سه میکرو لایسیمتر وجود ندارد و می‌توان گفت که میانگین آنها تقریباً با هم برابر است. لذا می‌توان از

و حداکثر تابش خالص در ماه تیر به حداکثر خود می‌رسد و پس از آن سیر نزولی طی می‌کند.

ملاحظه می‌شود روند تغییرات در تمام روش‌ها تقریباً یکسان است بدین معنی که در شروع دوره ابتدا  $ET_o$  کم بوده و با گذشت زمان مقدار آن افزایش می‌یابد که این افزایش به دلیل بلند بودن طول روز



(شکل ۱) - مقایسه مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به دست آمده از روش‌های مختلف

حال هنوز هم این روش در اکثر تحقیقات علمی و اجرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا با توجه به کاربرد گسترده این روش لازم است که نتایج به دست آمده با مقادیر اندازه‌گیری شده در میکرولایسیمترها اصلاح شود. همان‌طور که ذکر شد می‌توان از یک معادله ساده درجه یک به عنوان رابطه اصلاحی بین روش‌های مختلف و میکرولایسیمترها استفاده کرد. نتایج رگرسیون بندی‌های انجام شده و معادلات استخراج شده با استفاده از نرم افزار SPSS زیر مشاهده می‌شود.

$$ET_{oL} = 1.775 + 0.459 ET_{o F.P.M} \quad (15)$$

$$ET_{oL} = 1.015 ET_{o Monthly.F.P.M}. \quad (16)$$

$$ET_{oL} = 1.352 + 0.585 ET_{o Yearly.F.P.M}. \quad (17)$$

$$ET_{oL} = 1.774 + 0.473 ET_{o Pan} \quad (18)$$

در این معادلات  $ET_{o Monthly.F.P.M}$ ،  $ET_{o Yearly.F.P.M}$  و  $ET_{o Pan}$  به ترتیب مقدار  $ET_o$  محاسبه شده از روش فائو پنمن-مانتیث با اعمال ضریب ماهانه، سالانه و روش تشت تبخیر می‌باشد. جهت تعیین بهترین روش که جواب‌های نزدیکتری به مقادیر به دست آمده از میکرولایسیمترها داشته باشند، علاوه بر آماره ضریب تعیین ( $R^2$ ) حاصل از معادله رگرسیون ساده، آماره خطای استاندارد برآورد<sup>۱</sup> (SEE) که از فرمول زیر قابل محاسبه است در نظر گرفته

به منظور مشخص کردن وجود اختلاف بین مقادیر میانگین‌های به دست آمده از روش‌های مختلف از آزمون F استفاده شده است. نتایج تحلیل واریانس نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین ۵ روش مورد مطالعه است. به عبارت دیگر دقت برآورد این روش‌ها متفاوت است.

علاوه بر این نتایج آزمون t-test انجام شده بین جفت روش‌های مختلف نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار بین معادله فائو پنمن-مانتیث با روش‌های میکرولایسیمتر و اعمال ضریب ماهانه است. علت فرابرابر مشاهده شده روش فائو پنمن-مانتیث نسبت به این روش‌ها را می‌توان در غیر مرجع بودن ایستگاه مورد مطالعه جستجو کرد. نتایج روش ضریب ماهانه و میکرولایسیمتر نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪ می‌باشد، ولیکن نتایج روش ضریب سالانه با میکرولایسیمتر دارای اختلاف معنی‌دار بوده است. این موضوع مؤثر بودن اعمال ضریب ماهانه را در شرایطی که داده‌ها از ایستگاه‌های غیرمرجع اندازه‌گیری شده‌اند نشان می‌دهد. نتایج تشت تبخیر و معادله فائو پنمن-مانتیث نشان داد که بین آنها اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. دلیل این امر احتمالاً این است که هر دو دارای یک مرجع بوده و در واقع ضرایب تشت تبخیر با نتایجی که از معادله فائو پنمن-مانتیث به دست می‌آید تعیین می‌شود.

با وجودی که مشاهده شد نتایج به دست آمده از معادله فائو پنمن-مانتیث نسبت به روش میکرولایسیمتر فرابرابر دارد، با این

1- Standard Error of Estimate

شده است. بدیهی است هر روشی که ضریب تعیین بالاتر و خطای استاندارد برآورد کمتر داشته باشد، برآوردهای بهتری ارائه می‌کند.

$$SEE = \sqrt{\sum \frac{(X_{P.E.} - X_{obs})^2}{df}}, \quad df = N - n \quad (۱۹)$$

که در آن:

$SEE$  = خطای استاندارد برآورد

$X_{P.E.}$  = مقدار برآورد شده از معادله رگرسیون بندی شده

$X_{obs}$  = مقدار مشاهده شده

$N$  = تعداد کل مشاهدات

$n$  = تعداد ضرایب معادله رگرسیون

همانطور که در جدول زیر مشاهده می‌شود روش برآورد  $ET_0$  به روش فائو پنمن - مانتیت با در نظر گرفتن ضرایب اصلاحی ماهانه بهترین وضعیت را داشته و پس از آن روش اعمال ضریب سالانه

بهترین نتایج را ارائه کرده است. این نتایج می‌تواند به عنوان تأکید مطالب قبلی مبنی بر نداشتن اختلاف معنی‌دار بین داده‌های میکرو لایسیمتر به عنوان روش مستقیم و روش اعمال ضریب ماهانه باشد. لذا توصیه می‌شود جهت به کارگیری معادله فائو پنمن - مانتیت در مشهد، حتماً داده‌های مورد استفاده اصلاح شده و سپس در مطالعات به کار گرفته شود. همچنین مشاهده می‌شود که روش تشتت تبخیر علیرغم اینکه تابع داده‌های متعدد هواشناسی است (۸)، اما نتوانسته است که در برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نتایج قابل قبولی ارائه دهد. این امر، نتیجه‌ای مشابه با تحقیق میرشاهی و همکاران (۸) در خصوص بررسی دقت روش‌های هارگریوز - سامانی و تشتت تبخیر در قیاس با روش فائو پنمن - مانتیت به عنوان روش استاندارد می‌باشد.

(جدول ۳) - آماره‌های بدست آمده از رگرسیون بندی بین نتایج میکرو لایسیمتر و سایر روشها

معادله	ضریب تعیین	خطای استاندارد برآورد
فائو پنمن مانتیت - لایسیمتر	۰/۸۷	۰/۳۹۶
ضریب ماهانه - لایسیمتر	۰/۹۹	۰/۲۸۹
ضریب سالانه - لایسیمتر	۰/۹۲	۰/۳۱۷
تشت تبخیر - لایسیمتر	۰/۸۶	۰/۴۰۵

همانطور که در قبل ذکر شد هدف دوم این تحقیق ارائه یک معادله ساده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانتیت، بدون نیاز به محاسبات طولانی می‌باشد. بدین منظور سعی شده است که بین مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع روزانه به دست آمده از روش فائو پنمن - مانتیت برای کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی و پارامترهای هواشناسی دخیل در محاسبه آن روابط ساده شده‌ای ارائه گردد. بدین منظور اولین پارامتر مورد بررسی دمای متوسط هوا می‌باشد، چرا که در اکثر ایستگاه‌های هواشناسی، دمای هوا ثبت می‌شود (۱۶). همچنین اندازه‌گیری آن آسان بوده و داده‌های آن به راحتی در دسترس می‌باشد. علاوه بر این در آنالیزهای آماری دو پارامتر ضریب سایکرومتری و تابش برون

زمینی نیز شرکت داده شده‌اند، زیرا این پارامترها خود شامل چند پارامتر مستقل بوده که برای محاسبه آنها مورد نیاز بوده است و در سری محاسبات بعدی وارد نمی‌شوند. علاوه بر این، مزیت دیگر استفاده از این پارامترها این است که می‌توان با مشخص کردن مقدار دمای متوسط هوا، ارتفاع محل از سطح دریا و عرض جغرافیایی، به سادگی مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع را به روش فائو پنمن - مانتیت (معادله ساده ارائه شده) محاسبه کرد. بین پارامترهای مذکور و مقدار  $ET_0$  محاسبه شده به روش اصلی با استفاده از نرم افزار SPSS، رگرسیون چند متغیره‌ای انجام شد که نتایج آن در جدول ۴ قابل مشاهده است.

(جدول ۴) - نتایج رگرسیون چند متغیره برای پارامترهای بررسی شده

پارامتر	ضریب	انحراف معیار	t	معنی‌داری	کران پائین	کران بالا
$R_a$	0.092	0.004	24.264	0.000	0.085	0.100
$T_{mean}$	0.181	0.004	42.405	0.000	0.173	0.190
$\gamma$	-32.385	1.472	-21.995	0.000	-35.272	-29.498

به عبارت دیگر می‌توان معادله ساده شده را به صورت زیر پیشنهاد کرد:

(معادلات ۲ تا ۵). لذا جهت محاسبه سریعتر و راحتتر این پارامتر نیز بین پارامترهای وابسته، رگرسیون چند متغیره به صورت زیر پیشنهاد می‌شود.

(۲۰)  $ET_{OFPM} = 0.18 T_{mean} + 0.092 R_a - 32385 \gamma$  ,  $R^2 = 0.95$   
 قابل ذکر است که جهت محاسبه پارامتر ضریب سایکرومتری ( $\gamma$ ) می‌بایست چند مرحله محاسبات انجام شود

(جدول ۵) - نتایج رگرسیون چند متغیره برای پارامترهای بررسی شده

پارامتر	ضریب	انحراف معیار	t	معنی‌داری	فاصله اطمینان ۹۵٪ کران بالایی	کران پایینی
عرض از مبدا	0.066	0.000	14,421.961	0.000	0.066	0.066
Z	-7.281E-06	0.000	-2,228.556	0.000	-7.274E-06	-7.287E-06
T <sub>mean</sub>	5.692E-05	0.000	451.116	0.000	5.717E-05	5.668E-05

استفاده از ضرایب اصلاحی ماهانه و سالانه، داده‌های هواشناسی اصلاح شدند و به عنوان روش‌هایی مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصله نشان دهنده نزدیک‌تر بودن جواب‌های حاصله از اعمال ضرایب ماهانه و سالانه به داده‌های لایسیمتری، نسبت به روش فائو پنمن - مانتیث می‌باشد. لذا توصیه می‌شود که قبل از به کارگیری مقادیر ارائه شده از فرمول فائو پنمن - مانتیث در مشاهد، داده‌های هواشناسی اصلاح شوند و یا از معادلات اصلاحی ارائه شده در مطالعات آینده استفاده شود. در مرحله بعدی اهمیت، می‌توان از داده‌های تحت تبخیر به عنوان یک روش برآورد  $ET_0$  استفاده کرد. با این حال باید در نظر داشت که این روش برآورد چندان دقیقی ارائه نکرده است و در شرایط لزوم می‌توان از نتایج معادلات اصلاحی ارائه شده بهره جست.

علیرغم اینکه روش فائو پنمن - مانتیث معتبرترین روش تخمین  $ET_0$  ذکر شده است، اما به دلیل اینکه نیازمند داده‌های هواشناسی نسبتاً زیادی است، در مناطقی که فاقد این داده‌ها هستند قابل استفاده نمی‌باشد. بدین منظور در این تحقیق با استفاده از آمار کلیه ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی، مقدار  $ET_0$  به روش فائو پنمن - مانتیث برآورد شده و با استفاده از آن، یک رابطه ساده شده ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که این رابطه با دقت کافی، قادر به تخمین مقدار  $ET_0$  روزانه می‌باشد و علاوه بر در نظر گرفتن داده‌های هواشناسی دمای متوسط و تابش، عرض جغرافیایی و ارتفاع محل از سطح دریا را نیز دربر می‌گیرد.

به عبارت دیگر می‌توان معادله حاکم بین پارامترهای ذکر شده را به صورت زیر بیان کرد:

(۲۱)  $\gamma = 0.066 + 5.69 \times 10^{-5} T_{mean} - 7.3 \times 10^{-6} Z$  ,  $R^2 = 1.00$

تحقیقی مشابه در خصوص ارائه یک معادله ساده شده جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش فائو پنمن - مانتیث توسط زند پارسا و اشک تراب (۳) ارائه شده است که در آن تنها پارامترهای دمای متوسط هوا و تابش برون زمینی لحاظ شده است. لکن مزیت روش ارائه شده در تحقیق حاضر این است که علاوه بر دو پارامتر مذکور، عرض جغرافیایی محل نیز در آن حضور یافته و لذا می‌توان به جواب‌های حاصله اتکای بیشتری نمود.

### جمع بندی

استفاده از لایسیمتر به عنوان یک روش مستقیم و معتبر برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) مطرح می‌باشد. با این حال در اکثر مطالعات به دلیل کمبود داده‌های لایسیمتری، استفاده از فرمول‌های ارائه شده توسط افراد مختلف، که معتبرترین آنها فائو پنمن - مانتیث است، رایج می‌باشد. لذا لازم است که جهت برآورد هر چه دقیق‌تر و واقعی‌تر  $ET_0$ ، مقادیر به دست آمده از روابط با مقادیر اندازه‌گیری شده از لایسیمترها اصلاح شوند. در این تحقیق با استفاده از داده‌های برداشت شده از سه میکرو لایسیمتر وزنی، مقدار  $ET_0$  تخمین زده شده از روش‌های فائو پنمن - مانتیث (به عنوان روش استاندارد) و روش تحت تبخیر مقایسه شد و روابط اصلاحی آنها ارائه گردید. علاوه بر این به دلیل شرایط غیرمرجع بودن ایستگاه سینوپتیک مشهد، با

### منابع

- انتصاری، م.ر.، نوروزی، م.، سلامت، ع.ر.، احسانی، م. و ع.ر. توکلی. ۱۳۷۵. مقایسه روش پنمن - مانتیث با سایر روش‌های توصیه شده جهت محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل ( $ET_0$ ) در چند منطقه مختلف ایران. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مقاله شماره ۱۱، صفحات ۲۳۷-۲۴۱.
- رحیم زادگان، ر. ۱۳۷۰. جستجوی روش مناسب برآورد تبخیر و تعرق در منطقه اصفهان. مجله علوم کشاورزی ایران، ۲۲ (۱ و ۲): ۹-۱۰.

- ۳- زند پارسا، ش. و ح. اشک تراب. ۱۳۷۵. تعیین متوسط ماهانه تبخیر - تعرق پتانسیل گیاه مرجع. مجموعه مقالات هشتمین سمینار کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مقاله شماره ۱۳، صفحات ۲۶۹-۲۵۷.
- ۴- شریفان، ح.، قهرمان، ب.، علیزاده، ا. و م. میرلطیفی. ۱۳۸۴. ارزیابی روش‌های مختلف تشعشی و رطوبتی جهت برآورد تبخیر- تعرق مرجع و اثرات خشکی هوا بر آن در استان گلستان. مجله علوم خاک و آب، ۱۹ (۲): ۲۹۰-۲۸۰.
- ۵- صمدی، ح و ب. مجدزاده. ۱۳۸۲. مقایسه تبخیر- تعرق گیاه مرجع محاسبه شده به وسیله فرمولهای تجربی با لایسیمتر در کرمان. مجموعه مقالات هشتمین سمینار آبیاری و کاهش تبخیر، صفحات ۲۲-۱۹.
- ۶- علیزاده، ا. ۱۳۸۳. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)، ۴۷۰ صفحه.
- ۷- علیزاده، ا.، کمالی، غ.ع.، خانجانی، م.ج. و م.ر. رهنورد. ۱۳۸۳. ارزیابی روشهای برآورد تبخیر - تعرق در مناطق خشک ایران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۹ (۲ (پیاپی ۷۳)): ۹۷-۱۰۵.
- ۸- علیزاده، ا.، میرشاهی، ب.، هاشمی‌نیا، م. و ح. ثنائی نژاد. ۱۳۷۹-۸۰. بررسی دقت و عملکرد تبخیر - تعرق پتانسیل محاسبه شده به روشهای هارگریوز - سامانی و تشتک تبخیر در ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان. نیوار، شماره‌های ۴۲ و ۴۳: ۷۰-۵۱.
- ۹- محمدیان، ا. ۱۳۸۲. اصلاح داده‌های هواشناسی برای تخمین تبخیر- تعرق گیاه مرجع در ایستگاه‌های هواشناسی غیر مرجع ایران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۱۰- مهاجرپور، م. ۱۳۸۵. اندازه‌گیری تبخیر - تعرق از روش بیلان انرژی و مقایسه آن با روش‌های مستقیم و غیر مستقیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 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, 56, Rome, Italy, 300 p.
- 12- Allen, R.G., Smith, M., Perrier, A. and Pereira, L.S. 1994. An update for definition of reference evapotranspiration. ICID Bull., 43(2): 1-35.
- 13- Hargreaves, G.H. 1994. Defining and using reference evapotranspiration. J. of Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 120 (6): 1132-1139.
- 14- Salih, A.M.A. and U. Sendil. 1984. Evapotranspiration under extremely arid climates. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 110(3): 289-303.
- 15- Shih, S.F. 1984. Data requirement for evapotranspiration estimation. J. Irrig. and Drain. Eng., ASCE, 110(3): 263-274.
- 16- Valiantzas, J.D. 2006. Simplified versions for the Penman evaporation equation using routine weather data. J. of Hydrol., 331: 690-702.



## Estimation of Reference crop Evapotranspiration Using the Least Meteorological Data

(Case Study: Khorasan Razavi Province)

M. Mousavi - Baygi<sup>1\*</sup> - M. Erfanian<sup>2</sup>- M. Sarmad<sup>3</sup>

### Abstract

One of the losses decrease's ways in fields, is the proper irrigation management, which its base is the accurate estimation of crop water requirement. Equations which are used to calculate the reference evapotranspiration ( $ET_0$ ), do not use the same climatic parameters and due to their empirical base, are not match to all climatic situations. So it is needed to clarify proper methods for each region. In this investigation, lysimeteric data, which are taken from the climatologic station of Mashhad University in a 6-month period tests, ware compared with the F.A.O-Penman-Montieth (F.P.M), evaporation pan, monthly and yearly adjusting coefficient. Also the F.P.M's calculated  $ET_0$  for all the synoptic stations of Razavi Khorasan province were regression with the air temperature, radiation and psychrometric coefficient to suggest a simple equation. The best results were obtained from the F.P.M equation with the monthly ( $R^2=0.99$ ) and yearly ( $R^2=0.92$ ) adjusting coefficient, respectively. So it is advised to assess the reference situation of the station and use adjusting coefficients for the non-reference ones.

**Key words:** Reference evapotranspiration, Lysimeter, FAO-Penman-Montieth, Adjusting coefficients

---

1- Associate Professor of Water Engineering department Ferdowsi University of Mashhad.  
(Corresponding author Email: mosavi500@yahoo.com)

2- M. Sc. student Of Irrigation and Drainage, department Ferdowsi University of Mashhad.

3- Assistant professor of statistic department, Ferdowsi University of Mashhad.