

## توسعه و سنجش کارایی یک معادله رگرسیونی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر مبنای روش فائو پنمن - مانتیث در ایران مرکزی

حسین ملکی نژاد<sup>۱\*</sup> و سمانه پورمحمدی<sup>۲</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد، پست الکترونیک: [hmalekinezhad@yazd.ac.ir](mailto:hmalekinezhad@yazd.ac.ir)

۲- کارشناس ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه یزد

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۹

تاریخ دریافت: ۸۹/۰۷/۰۷

### چکیده

تاکنون روشهای متعددی جهت برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در نقاط مختلف دنیا ارائه شده است که از متداولترین و معتبرترین آنها می توان به روشهای ترکیبی خانواده پنمن و روشهای بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی و تورنت وایت اشاره نمود. به دلیل فقدان داده های لایسیمیتری در اغلب مناطق کشور، ارائه معادله براساس شرایط منطقه ای با دقت مناسب از اهمیت خاصی برخوردار است. هدف از این تحقیق ارائه معادله ای است که با مبنای قرار دادن روش فائو پنمن- مانتیث، بتوان مقدار تبخیر و تعرق مرجع را با حداقل عامل های اقلیمی برآورد کرد. در مرحله اول پس از جمع آوری داده های مورد نیاز چهار ایستگاه سینوپتیک مهم در ایران مرکزی (یزد، کرمان، شیراز و اصفهان) تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو پنمن- مانتیث برآورد شد. در مرحله بعد، جهت افزایش دقت، حساسیت این معادله با استفاده از سه رویکرد شبکه عصبی، تحلیل عاملی و رگرسیون خطی بررسی و مؤثرترین عوامل بر تبخیر و تعرق مرجع با توجه به نتایج این سه رویکرد شناسایی شد. سپس با کمک آماره های مختلف صحت معادلات استخراجی بین تبخیر و تعرق مرجع و هر یک از عامل های مؤثر بررسی شد. به این ترتیب آماره های ضریب تعیین ( $R^2$ ) و میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE)، برای هر ایستگاه و هر چهار روش محاسبه شد. نتایج بدست آمده نشان داد که دمای متوسط ماهانه بیشترین تأثیر را بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع در هر ماه دارد. بر این اساس رابطه همبستگی بین تبخیر و تعرق مرجع و دمای متوسط ماهانه استخراج و به صورت معادله ( $ETO = -0.0118 + 0.263 T_{mean}$ ) برای کل محدوده مطالعه محاسبه و ارائه گردید. نتایج این معادله در هشت ایستگاه ایران مرکزی شامل چهار ایستگاه اصلی فوق و همچنین برای صحت سنجی بیشتر در ایستگاههای بم، فسا، طبس و نایین، با استفاده از نتایج معادله های متداول هارگریوز- سامانی، تورنت وایت، بلانی- کریدل و معادله فائو پنمن- مانتیث مقایسه شد. نتایج نشان داد که معادله پیشنهادی که تنها وابسته به دمای میانگین ماهانه است دارای کارایی بسیار خوبی جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع در محدوده ایران مرکزی می باشد و نسبت به روشهای هارگریوز- سامانی، تورنت وایت و حتی در برخی مناطق بلانی- کریدل دارای دقت بیشتری است.

واژه های کلیدی: تبخیر و تعرق مرجع، فائو پنمن- مانتیث، شبکه عصبی، تجزیه عاملی، رگرسیون خطی، ایران مرکزی.

### مقدمه

و با توجه به تغییرات مکانی عوامل مؤثر در تبخیر اعم از سطح تبخیر کننده و عوامل محیطی مؤثر بر آن، در برآورد مقدار تبخیر یا تبخیر و تعرق باید اقدام به معادله سازی توزیعی در مکان نمود (Allen et al., 2002). به طوری که ۶۴ درصد بارشهای جو به علت تبخیر و تعرق از سطح

مقدار تبخیر و تعرق از سطح کاملاً پوشیده از گیاه چمن به ارتفاع حدود ۸ تا ۱۵ سانتی متر که هیچگونه محدودیت آبی نداشته باشد را تبخیر و تعرق گیاه مرجع می گویند. تبخیر و تعرق یک پدیده منطقه ایست نه نقطه ای

روزانه استفاده شد. مناطق یادشده به چهار قسمت ماندابی، چمن، رودخانه، گیاهان خانواده مرکبات و جنگل تقسیم شدند. بیشترین تبخیر و تعرق مربوط به رودخانه با  $4/4$  تا  $5/5$  میلی‌متر در بهار بود. کمترین میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده مربوط به فصل بهار در سایت چمن در فصل زمستان بود. نتایج تحقیق کارایی بیشتر روش پرستلی تیلور در محاسبه تبخیر و تعرق روزانه نسبت به دو روش یادشده را نشان داد (Douglas et al., 2009). در تحقیق دیگری که بر روی منطقه مرطوب در ایالت جورجیا آمریکا انجام شد به مقایسه تبخیر و تعرق روزانه از دو رابطه پنمن-مانتیت و رابطه انجمن عمران آمریکا (ASCE<sup>1</sup>) در طی ده سال از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ پرداخته شد. نتایج نشان داد که تبخیر و تعرق بدست‌آمده در طول روز از رابطه انجمن عمران آمریکا بیشتر از تبخیر و تعرق رابطه پنمن-مانتیت بود. تبخیر و تعرق محاسباتی از رابطه پنمن-مانتیت در شب از تبخیر و تعرق محاسباتی انجمن عمران آمریکا بیشتر بود (Hoogenboom & Suleiman, 2009). در تحقیقی در منطقه برکی ناسو تبخیر و تعرق مرجع، با استفاده از روش شبکه عصبی براساس دمای میانگین تعیین شد و نتایج تحقیق کارایی شبکه عصبی در برآورد تبخیر و تعرق را بهتر از معادله هارگریوز-سامانی نشان داد. سرعت باد، مؤثرترین عامل بعد از دما در برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد (Traore et al., 2010). در تحقیق دیگری که در شمال داکوتا در یک منطقه تالابی انجام شد، تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده از دو روش پرستلی تیلور و دبور-کیچمن با تبخیر و تعرق بدست‌آمده از بیلان انرژی مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین اختلافات تبخیر و تعرق مرجع  $0/1$  میلی‌متر در روز و انحراف معیار کمتر از  $0/3$  میلی‌متر در روز بود (Rosenberry et al., 2004). در تحقیقی که در آنتاریو کانادا انجام شد، کارایی برآورد تبخیر و تعرق به چهار روش فائو-پنمن-مانتیت، پرستلی تیلور، هارگریوز و

زمین می‌باشد، در واقع تبخیر و تعرق سه جز مهم زیست‌کره، هیدروسفر و اتمسفر را به هم مرتبط می‌سازد (Su et al., 2007). در سالهای اخیر تکنیک شبکه‌های عصبی مصنوعی برای شناخت ارتباط درونی متغیرها در بسیاری از علوم از جمله علوم و مهندسی آب کاربرد فراوانی پیدا کرده است. عاملهای زیادی بر پدیده تبخیر و تعرق اثر می‌گذارند، بنابراین برای استخراج معادلات حاکم بر فرایند تبخیر و تعرق نمی‌توان تمامی این متغیرها را حتی در صورت موجود بودن لحاظ نمود. البته تعیین مهمترین این عوامل و کاهش آنها در فرایند معادله‌سازی می‌تواند منجر به افزایش دقت برآورد گردد. در زمینه تأثیر عامل‌های مختلف اقلیمی بر تبخیر و تعرق و همچنین مقایسه روشهای مختلف محاسبه تبخیر و تعرق و انتخاب کاراترین روش تحقیقات متعددی انجام شده است که در اینجا به آنها اشاره می‌شود. در تحقیقی که توسط ملکی نژاد و پورمحمدی (۱۳۸۷ و ۱۳۸۹) انجام شد، عامل‌های اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق در ایران مرکزی با روش تجزیه عاملی بررسی شد. نتایج نشان داد که در هر یک از ماههای سال یکی از عامل‌های اقلیمی مورد مطالعه نقش مؤثرتری بر میزان تبخیر داشته است. در این میان نقش دما، سرعت باد و میزان ابرناکی از بقیه مشهودتر بوده است. در نهایت مناطق همگن اقلیمی با توجه به عامل‌های مؤثر بر تبخیر و تعرق مناطق از هم جدا شد. در تحقیقی که در جنوب ایتالیا بر روی حساسیت اجزاء مختلف معادله پنمن-مانتیت بر روی گیاه مرجع چمن و گیاهان تحت استرس انجام شد به این نتیجه رسیدند که برای گیاه مرجع چمن مقاومت آبرودینامیکی و پایداری پوشش نقش اساسی را در تبخیر و تعرق دارد و در گیاهان تحت تنش بلندقد فشار بخار آب و در گیاهان کوتاه‌قد مقاومت گیاهی نقش اساسی را دارد (Rana & Katerji, 1998). در تحقیقی که در هیجده سایت مطالعاتی در منطقه فلوریدای آمریکا بر روی تبخیر و تعرق مرجع انجام شد از روشهای متداول تبخیر و تعرق مرجع شامل روش تورک، پنمن مانیتیت و پرستلی تیلور جهت محاسبه تبخیر و تعرق

1-American Society of Civil Engineers

این نرم‌افزار برای مناطقی که کمبود داده‌های هواشناسی دارند پیشنهاد می‌شود (Gocic & Trajkovic, 2010). در حوزه رودخانه شیانگ در شمال غربی چین ضریب حساسیت تبخیر و تعرق مرجع و میزان تغییرات آن در هر ماه مشخص گردید. البته نتایج تحقیق نشان داد که ماههای سرد سال کمترین تغییرات و در ماههای گرم سال بیشترین تغییرات در تبخیر و تعرق مرجع مشاهده می‌شود. بیشترین حساسیت مربوط به کمبود فشار بخار و کمترین آن مربوط به دمای هوا در این حوزه برای هر سال بود (Zhang et al., 2010).

هدف از این تحقیق ارائه معادله جدیدیست که ابتدا با استفاده از سه رویکرد، شبکه عصبی مصنوعی، تحلیل عاملی و رگرسیون خطی چندمتغیره حساسیت معادله فائو پنمن-مانتیت نسبت به عامل‌های ورودی آن بررسی و مهمترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع شناسایی شوند. آنگاه با مبنا قرار دادن روش فائو پنمن-مانتیت و استخراج معادلات بین ETO و عوامل اصلی شناسایی شده، بتوان مقدار تبخیر و تعرق را با حداقل داده‌های هواشناسی برآورد کرد. در این راستا معادله‌ای را استخراج و در نهایت به آزمایش کارایی این معادله پیشنهادی در هشت ایستگاه در حوزه ایران مرکزی پرداخته می‌شود.

## مواد و روشها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

در تحقیق حاضر از چهار ایستگاه مهم ایران مرکزی یعنی یزد، کرمان، شیراز و اصفهان برای استخراج معادله‌ای برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع استفاده و همچنین داده‌های چهار ایستگاه دیگر فسا، طبس، بم و نایین برای سنجش کارایی معادله بکار گرفته شد. برخی مشخصات اقلیمی هر ایستگاه در جدول ۱ ذکر شده است.

تورنت وایت بررسی شد. نتایج نشان داد هنگامی که داده‌های مربوط به سرعت باد، کمبود فشار بخار و تشعخ خالص موجود باشد فائو پنمن-مانتیت با دارا بودن RMSE معادل ۰/۵۳ میلی‌متر در روز بهترین کارایی را دارد. هنگامی که سرعت باد و کمبود فشار بخار وجود دارد روش پرستلی تیلر با RMSE معادل ۰/۴ میلی‌متر در روز بهترین کارایی و وقتی تنها داده‌های دما موجود باشد روش هارگریوز و تورنت وایت اصلاح شده با RMSE معادل ۰/۷۴ میلی‌متر در روز بهترین کارایی را خواهد داشت (Sentelhas et al., 2010). در تحقیق دیگری که در شش منطقه در شمال کشور چین با آب و هوای نیمه‌بیابانی انجام شد. به مقایسه کارایی روش پرستلی-تیلر با روش فائو پنمن پرداخته شد. نتایج نشان داد که روش پرستلی تیلور برای فصول مرطوب سال کارایی خوب و برای فصولی که سرعت باد بالا می‌باشد کارایی مناسبی ندارد (Xiaoying et al., 2010). در تحقیقی که توسط شئونل در منطقه خشک و نیمه‌خشک نوادا انجام شد، یک بار از دمای میانگین و یک بار از ارتفاع از سطح دریا و شیب جهت محاسبه تبخیر و تعرق استفاده و با تبخیر از تشتک مقایسه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که تبخیر و تعرق برآوردی از دما همبستگی ۹۴٪ با تبخیر از تشتک و تبخیر و تعرق برآورد شده از ارتفاع از سطح دریا و شیب همبستگی ۹۲٪ با تشتک تبخیر را دارد (Shevenel et al., 1999). در تحقیق دیگری جهت سهولت در برآورد تبخیر و تعرق مرجع گوسیچ و تراجکویچ نرم‌افزاری را برای محاسبه تبخیر و تعرق تولید کردند، که تنها از دمای هوا استفاده کرده و تابش برون زمینی، حداکثر ساعات آفتابی و تبخیر و تعرق مرجع را به راحتی تخمین می‌زند. پایه این نرم‌افزار از معادله فائو-پنمن-مانتیت بوده و تبخیر و تعرق تخمینی از این نرم‌افزار با تبخیر و تعرق برآورد شده از معادله پنمن-مانتیت و هارگریوز اصلاح شده همبستگی مناسبی دارد،

جدول ۱- برخی از ویژگیهای اقلیمی مناطق مورد مطالعه

نام ایستگاه	متوسط دمای سالیانه (درجه سانتی گراد)	متوسط رطوبت نسبی سالیانه (%)	متوسط سرعت باد (m/s)
یزد	۱۹/۲	۳۳/۵	۳/۹
کرمان	۱۶/۸	۳۵/۱	۳/۵
شیراز	۱۷/۹	۴۲/۲	۳/۱
اصفهان	۱۶/۲	۳۲/۳	۳/۶
طبرس	۲۲/۴	۳۶/۴	۲/۸
بم	۲۳/۰	۳۲/۶	۲/۶
فسا	۲۰/۳	۴۰/۸	۳/۲
نائین	۱۹/۸	۴۲/۶	۱/۱

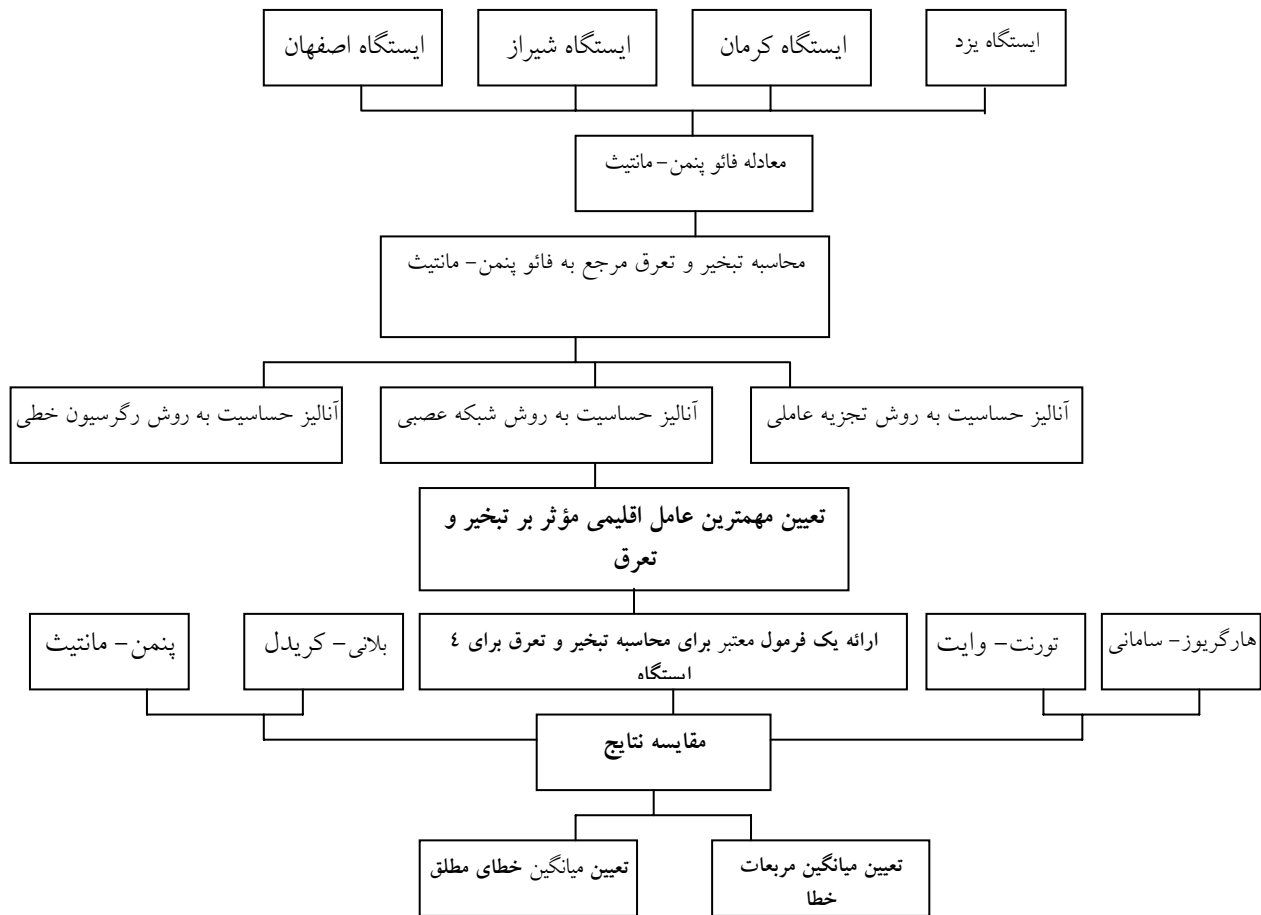
## روش تحقیق

### استخراج معادله منطقه‌ای برآورد تبخیر و تعرق

#### مرجع

در این تحقیق ابتدا عامل‌های اقلیمی از چهار ایستگاه سینوپتیک مهم با آمار طولانی‌مدت یعنی ایستگاههای یزد، کرمان، شیراز و اصفهان واقع در حوزه مرکزی ایران در دوره زمانی ۵۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۵۶) جمع‌آوری شد. سپس از روش پنمن-مانتیت فائو به‌عنوان معتبرترین روش برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع استفاده شد. بنابراین از بیست و یک مشخصه اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق مورد نیاز در روش پنمن-مانتیت شامل حداقل دما، حداکثر دما، میانگین دما، ساعات آفتابی، حداقل رطوبت، حداکثر رطوبت، میانگین رطوبت، سرعت باد، گرمای نهان تبخیر، شیب منحنی فشار بخار، ضریب رطوبتی، فشار بخار اشباع، فشار واقعی فشار، کمبود فشار بخار، زاویه میل خورشید، فاصله نسبی زمین تا خورشید، زاویه ساعتی غروب خورشید، تابش برون زمینی، ساعات روشنایی روز، تابش خالص و شارگرمای به داخل خاک استفاده شد. کلیه محاسبات براساس میانگین ماهانه عامل‌های انتخابی یعنی تعداد ۶۰۰ داده برای هر عامل در هر ایستگاه انجام شد. به‌منظور افزایش دقت در تعیین مهمترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق از سه روش شبکه عصبی، تجزیه عاملی و رگرسیون خطی استفاده شد. نتایج بدست‌آمده از آنالیز

حساسیت روش فائو پنمن-مانتیت نسبت به عامل‌های ورودی، با این سه روش مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و مشخصه‌های اقلیمی مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع براساس تعداد دفعات حضور، به‌عنوان عامل اول یا رتبه‌های بعدی، در هر ایستگاه و در هر ماه اولویت‌بندی شدند. در فرایند تحلیل عاملی سه عامل مهم به‌صورت عامل‌های یک تا سه انتخاب شدند؛ که محاسبات مربوط به این روش در نرم‌افزار Minitab انجام شد. سه عامل مهمی که توسط شبکه عصبی تعیین شدند به این صورت بود که همبستگی‌های آنها با تبخیر و تعرق مرجع پس از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab تعیین شدند. در روش رگرسیون خطی نیز عامل‌هایی که بیشترین همبستگی را با تبخیر و تعرق مرجع داشتند انتخاب شدند. سپس با توجه به عامل‌های مهم انتخابی معادلاتی برای هر ایستگاه به هر سه روش تعیین و تبخیر و تعرق مرجع با آن معادلات محاسبه و در انتها، مقدار میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) نسبت به روش فائو پنمن-مانتیت محاسبه شد تا صحت معادلات موجود سنجیده شود. در پایان با توجه به نتایج بدست‌آمده در هر ایستگاه، بهترین معادله موجود برای بدست آوردن تبخیر و تعرق با کمترین میزان خطا برای کل منطقه معرفی گردید. در شکل ۱ مراحل انجام تحقیق در نموداری نمایش داده شده است.



شکل ۱- مراحل مختلف انجام تحقیق

### روشهای متداول برآورد تبخیر و تعرق مرجع

در این تحقیق روش فائو پنمن - مانتیث به عنوان روش مرجع مورد استفاده قرار گرفت. بدین مفهوم که با توجه به فقدان داده‌های لایسیمیتری خروجیهای این روش در ایستگاههای انتخابی مبنای استخراج معادلات ساده منطقه‌ای قرار گرفت. برای این منظور پس استخراج معادله منطقه‌ای، نتایج آن با نتایج سه روش متداول برآورد تبخیر و تعرق مرجع یعنی هارگریوز - سامانی، تورنت وایت و بلانی - کریدل برای چهار ایستگاه یادشده مورد ارزیابی قرار گرفت. آماره‌های میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین خطای مطلق نیز برای چهار ایستگاه محاسبه شد.

پس جهت آزمون کارایی معادله بدست آمده چهار ایستگاه دیگر واقع در ایران مرکزی (بم، نائین، طبس و فسا) انتخاب شد و تبخیر و تعرق مرجع به چهار روش هارگریوز - سامانی، تورنت وایت، بلانی کریدل و بهترین معادله بدست آمده محاسبه و با تبخیر و تعرق بدست آمده از روش پنمن - مانتیث در هر چهار ایستگاه مقایسه گردید. در نهایت آماره‌های ضریب تعیین، میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین خطای مطلق آنها نیز محاسبه شد.

### نتایج

نتایج تحلیل حساسیت و اولویت بندی عوامل مؤثر بر

### استخراج معادله منطقه‌ای برآورد تبخیر و تعرق

#### مرجع

با توجه به اینکه دمای کمینه با ۱۰ بار انتخاب به‌عنوان عامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در همه ایستگاهها و به هر سه روش یادشده مقام اول را دارا می‌باشد و میانگین دما در همین راستا ۹ بار انتخاب شده است، به همین دلیل یک بار با بکاربردن تنها عامل کمینه دما برای همه ایستگاهها، رابطه منطقه‌ای برآورد تبخیر و تعرق مرجع با توجه به داده‌های ۴ ایستگاه استخراج شد (جدول ۲). سپس میانگین ریشه مربعات خطا (RMSE) و ضریب تعیین ( $R^2$ ) این معادله نسبت به نتایج روش فائو پنمن-مانتیت بدست‌آمد. یک بار هم تنها با دخالت میانگین دما فرمول مربوطه استخراج و عیناً آماره‌های مذکور محاسبه شد که نتایج در جدول ۲ نشان داده شده است.

تبخیر و تعرق نشان داد که دمای کمینه ( $T_{min}$ ) با ۱۰ بار انتخاب به‌عنوان عامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در همه ایستگاهها و به هر سه روش یادشده رتبه اول را دارا می‌باشد. میانگین دمای ماهانه ( $T_{mean}$ ) در همین راستا ۹ بار به‌عنوان عامل اول شناخته شد. بعد از آن عامل تابش خالص ( $R_n$ ) با ۸ بار انتخاب به‌عنوان مهمترین عامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در رتبه بعدی قرار گرفت و در انتها، دو عامل کمبود فشار بخار (es-ed) و دمای بیشینه ( $T_{max}$ ) هرکدام با ۵ و ۴ بار انتخاب به‌عنوان عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع در چهار ایستگاه یادشده شناخته شدند. بنابراین با توجه به اینکه دو عامل دمای کمینه ماهانه و میانگین دمای ماهانه بیشترین تأثیر را بر شدت تبخیر و تعرق نشان می‌دهند، دو معادله خطی بین تبخیر و تعرق گیاه مرجع و هر یک از این دو عامل بطور جداگانه استخراج و کارایی آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۲- معادلات منطقه‌ای استخراج شده برای چهار ایستگاه یزد، کرمان، شیراز و اصفهان

علامت اختصاری معادله	معادله استخراج شده	ضریب تعیین	میانگین ریشه مربعات خطا
ET_Eq	$ET_0 = -0.0118 + 0.263 T_{mean}$	۸۹/۷	۰/۷۷
ET_Eq1	$ET_0 = 1.90 + 0.274 T_{min}$	۸۶/۷	۰/۸۷

روشهای دیگر، علاوه بر مقایسه نتایج آن با روش فائو پنمن-مانتیت که در جدول ۲ و بخش قبلی مشاهده شد، تبخیر و تعرق ماهانه با استفاده از سه روش متداول دیگر، یعنی روشهای هارگریوز-سامانی، بلانی-کریدل و تورنت‌وایت، نیز در هر یک از ایستگاههای اصلی محاسبه و نتایج آنها با روش فائو پنمن-مانتیت مقایسه شد. در جدول ۳، آماره‌های میانگین ریشه مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و ضریب تعیین بصورت مقایسه‌ای در هر چهار ایستگاه برای سه روش فوق و همچنین معادله ( $ET_{Eq}$ ) نسبت به معادله فائو پنمن-مانتیت نشان داده شده است.

مقدار آماره RMSE بین مقادیر ماهانه تبخیر و تعرق مرجع محاسبه شده با رابطه ( $ET_{Eq}$ ) و نتایج معادله فائو پنمن-مانتیت در منطقه مطالعه ۰/۷۷ میلی‌متر در روز و ضریب تعیین داده‌های دو روش ۸۹/۷ بدست‌آمد. این دو آماره برای معادله وابسته به دمای کمینه ( $ET_{Eq1}$ ) به ترتیب ۰/۸۷ میلی‌متر در روز و ۸۶/۷ برآورد گردید که نشان‌دهنده دقت بیشتر معادله وابسته به دمای میانگین است.

**بررسی کارایی معادله پیشنهادی در چهار ایستگاه اصلی**  
به‌منظور ارزیابی دقت و کارایی معادله نهایی پیشنهادی برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع ( $ET_{Eq}$ ) نسبت به

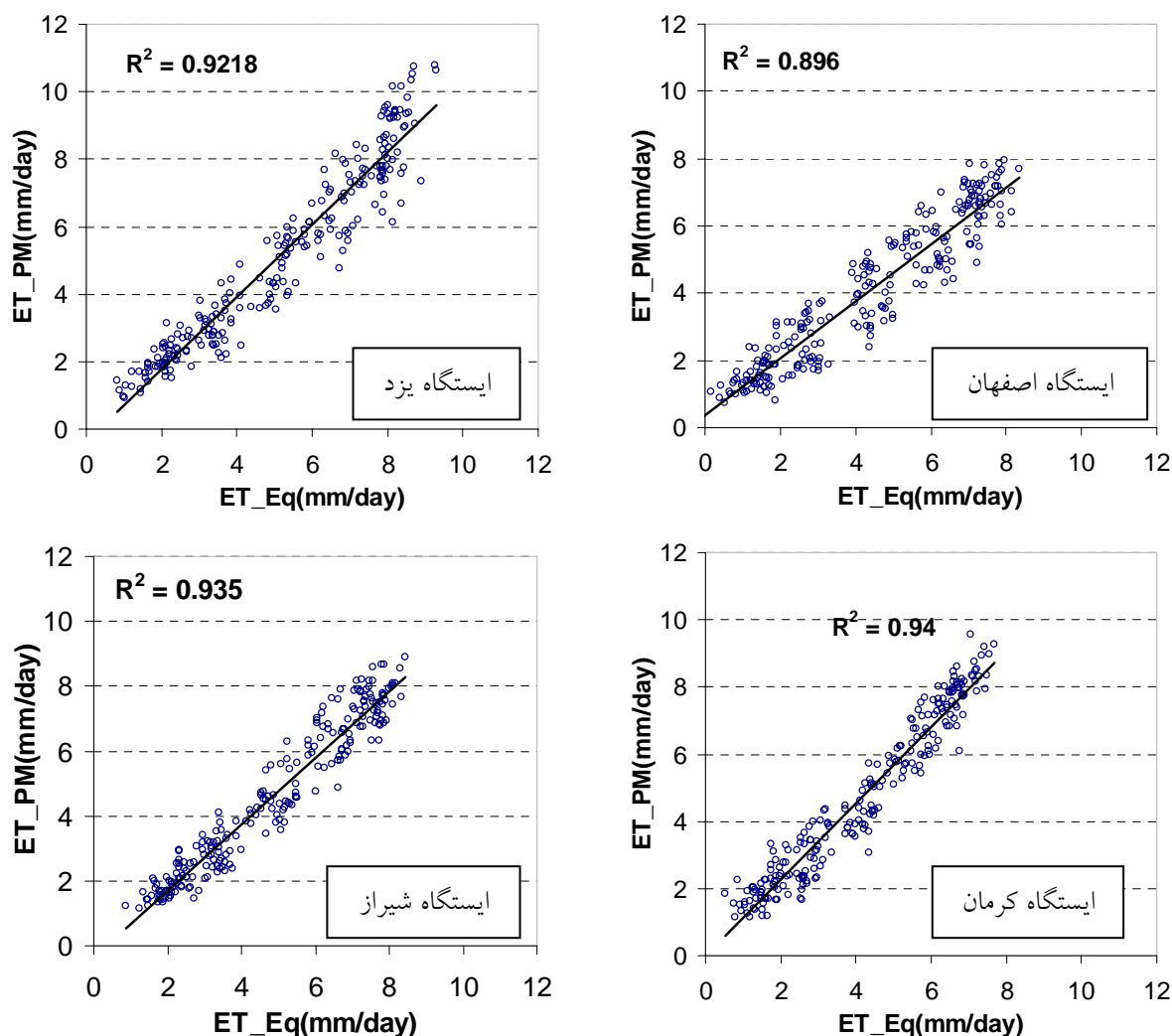
جدول ۳- میزان همبستگی، میانگین مربعات خطا و میانگین مطلق خطای ۴ معادله برآورد تبخیر و تعرق نسبت به معادله فائو پنمن-مانتیت

ایستگاه			یزد			اصفهان			شیراز			کرمان		
آماره خطا	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>		
هارگریوز-سامانی	۰/۸۴	۲/۰۷	۰/۷۹	۰/۷۹	۱/۲۷	۰/۸۷	۰/۹۰	۱/۱۰	۰/۷۳	۱/۰۷	۱/۴۳	۰/۷۳		
بلانی کریدل	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۶	۱/۵۵	۰/۹۸	۰/۸۰	۱/۰۳	۰/۹۸	۰/۳۸	۰/۴۸	۰/۹۸		
تورنت وایت	۰/۹۱	۱/۹۹	۰/۸۹	۱/۹۹	۱/۶۴	۰/۹۲	۱/۷۰	۱/۸۴	۰/۹۴	۲/۳۴	۲/۴۵	۰/۹۴		
معادله (ET_Eq)	۰/۹۲	۰/۷۶	۰/۸۹	۰/۷۰	۰/۸۲	۰/۹۳	۰/۵۰	۰/۶۴	۰/۹۴	۰/۶۹	۰/۸۵	۰/۹۴		

همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، بیشترین میزان همبستگی بین تبخیر و تعرق به روش پنمن-مانتیت و روش بلانی کریدل، در تمامی ایستگاهها مشاهده می‌شود؛ به‌طوری‌که این میزان همبستگی در ایستگاه کرمان و شیراز به ۹۸٪ نیز می‌رسد. درحالی‌که معادله (ET\_Eq) با اختلاف جزئی در ضریب تعیین بعد از روش بلانی-کریدل در رتبه دوم قرار گرفت. مقدار این آماره بین ۰/۸۹- در ایستگاه اصفهان تا ۰/۹۴ در ایستگاه کرمان متغیر بود. کمترین میانگین ریشه مربعات خطا در سه ایستگاه یزد (۰/۷۶ میلی‌متر در روز)، اصفهان (۰/۸۲ میلی‌متر در روز) و شیراز (۰/۶۴ میلی‌متر در روز) مربوط به معادله معرفی شده در این مقاله می‌باشد و در ایستگاه کرمان (۰/۸۵ میلی‌متر در روز) با اختلاف جزئی بعد از روش بلانی-کریدل کمترین میزان خطا دیده می‌شود. میانگین مطلق خطا برای سه ایستگاه یزد (۰/۶ میلی‌متر در روز)، شیراز (۰/۵ میلی‌متر در روز) و اصفهان (۰/۷ میلی‌متر در روز) کمترین مقدار بوده و برای ایستگاه کرمان (۰/۶۹ میلی‌متر در روز) با اختلاف جزئی نسبت به روش بلانی کریدل رتبه دوم را دارا می‌باشد. با توجه به میزان همبستگیها و خطاهای موجود بین روش فائو پنمن-مانتیت و چهار روش یادشده، مشخص می‌شود که معادله پیشنهادی در

این تحقیق ضمن سادگی و تنها وابسته بودن به دمای میانگین ماهانه، دارای دقت و کارایی بالایی است. نتایج نشان داد که این معادله، در مقایسه با روشهای هارگریوز-سامانی و تورنت وایت در تمامی ایستگاهها و نسبت به روش بلانی-کریدل در سه ایستگاه یزد، شیراز و اصفهان کاراتر بوده و در ارتباط با ایستگاه کرمان تنها اختلاف جزئی در میزان خطاهای آن می‌باشد.

از آنجا که در این تحقیق نتایج روش فائو پنمن-مانتیت بجای داده‌های لایسیمتری مبنای سنجش اعتبار معادله استخراجی قرار گرفت، بنابراین برای نمایش بهتر نتایج، ضریب همبستگی بین خروجیهای این دو معادله محاسبه شد. در شکل ۲ میزان همبستگیهای بین تبخیر و تعرق محاسبه از فرمول پنمن-مانتیت و فرمول بدست‌آمده در این تحقیق در چهار ایستگاه یزد، کرمان، شیراز و اصفهان مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل مشخص است، بیشترین میزان همبستگی مربوط به ایستگاه کرمان با ۹۴٪ همبستگی و کمترین مربوط به ایستگاه اصفهان با ۸۹٪ می‌باشد. ایستگاه یزد و شیراز نیز به ترتیب با مقدار ۹۲٪ و ۹۳٪ از همبستگیهای مناسب با فائو پنمن-مانتیت برخوردار هستند.



شکل ۲- همبستگی بین معادله پیشنهادی (ET\_Eq) با فرمول پنمن-مانتیت (ET\_Pm) در چهار ایستگاه یزد، اصفهان، شیراز و کرمان

#### اعتبارسنجی معادله پیشنهادی

برای بررسی میزان اعتبار و کارایی معادله (ET\_Eq) از داده‌های چهار ایستگاه دیگر استفاده شد که در استخراج این معادله بکار گرفته نشده بود. برای این کار، از ایستگاه‌های طبس، بم، فسا و نائین واقع در چهار استانی استفاده شد که ایستگاه‌های اصلی در آن واقع بود. با استفاده از داده‌های اقلیمی موجود در این ایستگاه‌ها، تبخیر و تعرق مرجع، به کمک معادله (ET\_Eq) و

روش‌ای بلانی-کریدل، تورنت‌وایت و هارگریوز-سامانی محاسبه و نتایج با نتایج روش فائو پنمن-مانتیت مقایسه شد. در جدول ۴ مقدار آماره‌های ضریب تعیین، میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین مطلق خطا بین نتایج تبخیر و تعرق روش‌های انتخابی و معادله (ET\_Eq) نسبت به روش فائو پنمن-مانتیت در چهار ایستگاه طبس، فسا، بم و نائین نشان داده شده است.



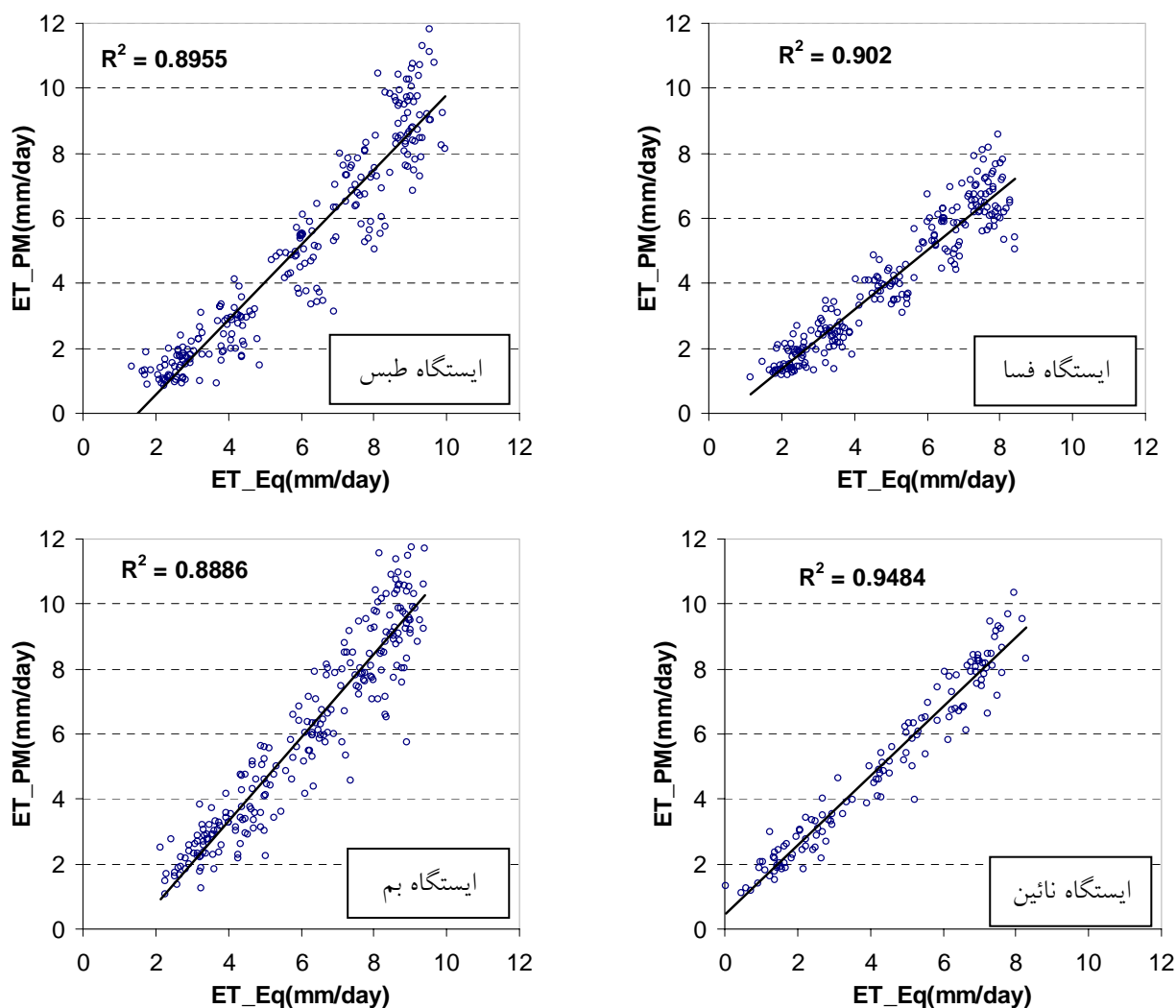
جدول ۴- میزان همبستگی، میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین مطلق خطا طبق چهار معادله برآورد تبخیر و تعرق نسبت به معادله فائو

پنمن-مانتیت

ایستگاه	طبس	فسا	پنمن	نائین
آماره خطا	$R^2$ M A E M S	$R^2$ A F M S	$R^2$ A F M S	$R^2$ A F M S
هارگریوز-سامانی	۰/۸۸ ۲/۳۷ ۱/۸۰ ۰/۸۳	۲/۴۳ ۱/۷۹ ۰/۸۳ ۲/۵۴	۲/۹۹ ۳/۵۴ ۰/۸۳ ۲/۹۹	۲/۱ ۲/۳ ۰/۹۴ ۲/۱
بلانی-کریدل	۰/۹۵ ۱/۳۱ ۱/۱۰ ۰/۹۵	۱/۴۴ ۱/۱۵ ۰/۹۴ ۱/۱۵	۰/۹۸ ۰/۷۶ ۰/۹۴ ۰/۹۸	۰/۴ ۰/۵۲ ۰/۹۶ ۰/۴
تورنت وایت	۰/۸۶ ۱/۹۵ ۱/۶۰ ۰/۸۷	۱/۴۱ ۱/۲۹ ۰/۸۴ ۱/۲۹	۲/۲۷ ۲/۰۳ ۰/۸۴ ۲/۲۷	۲/۵ ۲/۵۹ ۰/۹۳ ۲/۵
معادله (ET_Eq)	۰/۸۹ ۱/۳۵ ۱/۱۰ ۰/۹۰	۱/۱۱ ۱/۱۱ ۰/۹۳ ۱/۱۱	۰/۸۸ ۱/۱۶ ۰/۹۳ ۱/۱۶	۰/۸ ۰/۹۳ ۰/۹۴ ۰/۸

نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که در تمامی ایستگاهها، تبخیر و تعرق برآوردی با روش بلانی-کریدل تطابق بیشتری با نتایج روش فائو پنمن-مانتیت دارد، به طوری که این میزان همبستگی در ایستگاه فسا و طبس به ۹۵٪ نیز می‌رسد. در حالی که همبستگی بین نتایج خروجی معادله پیشنهادی در این تحقیق با نتایج روش فائو پنمن-مانتیت در تمامی ایستگاهها مقام دوم را با اختلاف جزئی نسبت به روش بلانی-کریدل دارد. کمترین میانگین ریشه مربعات خطا در تمامی ایستگاهها بعد از معادله بلانی-کریدل مربوط به معادله پیشنهادی می‌باشد. به ترتیب در ایستگاه نائین (۰/۹۳) میلی‌متر در روز) مربوط به معادله (ET\_Eq) و بعد از آن ایستگاه فسا (۱/۱) میلی‌متر در روز)، سپس دو ایستگاه طبس (۱/۳۵) میلی‌متر در روز) و بم (۱/۱۶) میلی‌متر در روز) کمترین میزان میانگین خطای استاندارد را داشته‌اند. در ارتباط با میانگین مطلق خطا نیز ایستگاه نائین (۰/۸) میلی‌متر در روز) و فسا (۰/۹۳)

میلی‌متر در روز) کمترین میزان و ایستگاه طبس (۱/۱) میلی‌متر در روز) همراه با روش بلانی-کریدل کمترین مقدار و ایستگاه بم (۰/۹۳) میلی‌متر در روز) بعد از روش بلانی-کریدل کمترین مقدار بوده و ایستگاه نائین (۱/۹) میلی‌متر در روز) با اختلاف بعد از سه روش دیگر قرار دارد. در شکل ۳ میزان همبستگی بین معادله بدست آمده (ET\_Eq) با فرمول پنمن-مانتیت (ET\_PM) در چهار ایستگاه طبس، فسا، نائین و بم مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود همبستگی بالایی بین نتایج معادله پیشنهادی و روش فائو پنمن-مانتیت وجود دارد، که نشان‌دهنده دقت مناسب این معادله است. بیشترین میزان همبستگی مربوط به ایستگاه نائین با ۹۴٪ همبستگی و کمترین مربوط به ایستگاه بم با ۸۸٪ می‌باشد. ایستگاه فسا با ۹۰٪ همبستگی و طبس با ۸۹٪ از همبستگی مناسبی با روش فائو پنمن-مانتیت برخوردار است.



شکل ۳- همبستگی‌های بین معادله بدست‌آمده ( $ET_{Eq}$ ) با فرمول پنمن-مانتیت ( $ET_{PM}$ ) در چهار ایستگاه طبس، فسا، ناین و بم

## بحث

گیاهی جهت رسیدن به تبخیر و تعرق یک گیاه تحت شرایط استاندارد و غیراستاندارد (تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی)، از مهمترین دغدغه‌هایی بوده است که پژوهشگران و کارشناسان بخش آب در دنیا به آن توجه خاص داشته‌اند. این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در مناطقی که دارای فقر داده‌های ثبت شده اقلیمی هستند دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای است. روشهای متعددی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع در دنیا پیشنهاد شده است، که اغلب در صورت

برآورد مقدار تبخیر و تعرق واقعی و در واقع نیاز آبی گیاه یکی از جنبه‌های اصلی مدیریت منابع آب در اقلیم‌های مختلف به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک است. فقدان داده‌های لایسیمیتری کافی و بسیار هزینه‌بر و زمانبر بودن بکارگیری این وسیله در تعیین میزان تبخیر و تعرق سبب شده است که روشهای تجربی اهمیت خاصی پیدا نمایند. برآورد مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع با حداقل داده‌های اقلیمی و با دقت مناسب و اعمال ضرایب

مانتیت در هر هشت ایستگاه دارای همبستگیهای بالا و حدود ۹۰٪ بود و میانگین ریشه مربعات خطا و میانگین خطای مطلق تقریباً در تمامی ایستگاهها پایین و قابل قبول می‌باشد. بررسی یافته‌های تحقیقات دیگران در این زمینه نیز نشان می‌دهد که روابط ساده شده منطقه‌ای می‌تواند دقت مناسبی در برآورد تبخیر و تعرق داشته باشند.

در تحقیق دیگری که موسوی بایگی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از آمار کلیه ایستگاههای سینوپتیک استان خراسان رضوی انجام دادند و مقدار ETo را با یک رابطه ساده شده با استفاده از دمای متوسط و تابش بدست آورده و نتایج را با روش فائو پنمن - مانتیت مقایسه کردند، نتایج حکایت از آن داشت که این رابطه نیز با دقت کافی، قادر به تخمین ETo روزانه می‌باشد.

مقایسه نتایج تحقیقی که ملکی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹) در خصوص تعیین عوامل مؤثر بر تبخیر از تشتک در ماههای مختلف سال برای مناطق مرکزی و جنوب ایران انجام دادند، نیز نشان داد که دمای متوسط ماهانه در ماههای تیر و مرداد در برخی مناطق بیشترین تأثیر را بر تبخیر دارد. اما در ماههای دیگر سال عمدتاً اختلاف بین دمای بیشینه و کمینه ماهانه نقش مؤثرتری داشت.

عوامل هواشناختی در اقلیم‌های مختلف ممکن است تأثیر یکسانی بر شدت تبخیر و تعرق نداشته باشند. به‌عنوان نمونه، نتایج تحقیقی که دین پژوه (۱۳۹۰) با استفاده از روش رگرسیون چندگانه در ایستگاه همدان انجام داد، نشان می‌دهد که تأثیر عواملی مانند سرعت باد و رطوبت نسبی بیش از عوامل دیگر بوده است.

اما در این تحقیق نتایج هر سه روش که در تحلیل حساسیت و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق استفاده شد، نشان داد که در مجموع دمای متوسط ماهانه عامل غالب است، ولی این تأثیر می‌تواند در همه ماههای سال و در اقلیم‌های مختلف یکسان نباشد. بررسی روشهای متداول مانند تورنت‌وایت، بلانی- کریدل، هارگریوز- سامانی و روشهای دیگر نیز نشان می‌دهد که دمای متوسط ماهانه یا تنها عامل اقلیمی مورد استفاده در

موجود بودن داده‌های اقلیمی، یا باید واسنجی شوند و یا اینکه بدلیل نیاز به ورودیهای مختلف و فقر داده‌های اقلیمی قابل استفاده نیستند. هدف از این تحقیق استخراج، بررسی کارایی و در نهایت پیشنهاد معادلات ساده منطقه‌ایست که با حداقل داده‌های ثبت شده اقلیمی بتواند تبخیر و تعرق را با دقت مناسب تخمین بزند. ارائه چنین معادلاتی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند حوزه مرکزی ایران بدلیل کمبود شدید منابع آبی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این تحقیق، ابتدا سعی شد از بین عوامل بسیار زیادی که بر پدیده تبخیر و تعرق اثر می‌گذارند، عوامل مهمتر شناسایی شوند تا معادلات منطقه‌ای براساس حداقل داده‌های اقلیمی توسعه یابند. برای این منظور و در راستای افزایش دقت، سه رویکرد شبکه عصبی، تحلیل عاملی و رگرسیون خطی در سنجش حساسیت و تعیین مهمترین عوامل مؤثر بر تبخیر و تعرق مرجع مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این بخش نشان داد که از بین عوامل متعدد، دمای متوسط ماهانه و دمای حداقل بیشترین تأثیر را بر شدت تبخیر و تعرق دارند. بر این اساس دو معادله ساده خطی استخراج شد که تبخیر و تعرق را بصورت تابعی از این دو عامل نشان می‌دهد. مقایسه آماره‌های حاصل از هر دو رابطه استخراجی نشان‌دهنده نتایج قابل قبولی است، اما معادله بدست‌آمده با عامل دمای میانگین (ET-Eq) برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع در چهار ایستگاه دارای همبستگی بالاتر و خطای برآورد کمتری می‌باشد.

نتایج اعتبارسنجی و بررسی آماره‌های ضریب تعیین و میانگین ریشه مربعات خطا بین نتایج روش فائو پنمن - مانتیت و چهار روش یادشده، نشان می‌دهد که معادله پیشنهادی در این تحقیق دارای دقت مناسب و قابلیت بالایی بوده، به‌طوری‌که حتی از روشهای شناخته شده‌ای مانند هارگریوز- سامانی و تورنت وایت در تمامی ایستگاهها و از فرمول بلانی-کریدل در دو ایستگاه طبس و فسا کاراتر می‌باشد.

نتایج این معادله، در مقایسه با نتایج روش فائو پنمن -

حداقل داده‌های هواشناسی برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع و ارائه ضرایب اصلاحی (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۳(۱)، ۹۹-۹۱.

Allen, R.G., Bastiaanssen, W.G.M., Wright, J.L., Morse, A., Tasumi, M. and Trezza, R., 2002. Evapotranspiration from satellite images for water management and hydrologic balances. Proceedings of the 2002 ICID conference, Montreal, Canada pp1-12.

Douglas Ellen, M., Jennifer M. Jacobs, B., David M. Sumner, C. and Ram L. Ray, A., 2009. comparison of models for estimating potential evapotranspiration for Florida land cover types. Journal of Hydrology, 373:366-376.

Gocic, M. and Slavisa Trajkovic, S., 2010, Software for estimating reference evapotranspiration using limited weather data. Computers and Electronics in Agriculture, 71 158-162.

Rosenberry Donald, O., David I. Stannard, Thomas C. Winter, and Margo L. Martinez, 2004, Comparison of 13 equations for determining evapotranspiration from a prairie wetland, Cottonwood Lake area, North Dakota, USA, Wetlands, Vol. 24, No. 3, September, pp. 483-497.

Rana, G. and Katerji, N., 1998. A Measurement Based Sensitivity Analysis of the Penman-Monteith Actual Evapotranspiration Model for Crops of Different Height and in Contrasting Water Status. Theor. Appl. Climatol. 60, 141±149.

Ayman, S. and Gerrit Hoogenboom, A., 2009. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. Journal of Hydrology, 375 326-333.

Sentelhas Paulo, C., Terry, J. and Gillespie, E.S., 2010, Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario. Agricultural Water Management, 97 (2010) 635-644.

Shevenell, L., 1999, Regional potential evapotranspiration in arid climates based on temperature, topography and calculated solar radiation. Hydrological Processes, 13, 577-596.

Su, H., Wood, E.F. and Wojcik, R., McCabe, 2007. Sensitivity analysis of regional scale evapotranspiration predictions to the forcing data. American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract H31A-02.

Seydou, T., Wangb, Y.M. and Kerh, T., 2010. Artificial neural network for modeling reference evapotranspiration complex process in Sudano-Sahelian zone. Agricultural Water Management, 97 (2010) 707-714.

Liu, X. and Erda, L., 2005. Performance of the Priestley-Taylor equation in the semiarid climate of North China. Agricultural Water Management, 71: 1-17.

Xiaotao, Z., Kang, Sh., Zhangb, L. and Liu, J. 2010. Spatial variation of climatology monthly crop reference evapotranspiration and sensitivity coefficients in Shiyang river basin of northwest China. Agricultural Water Management, 97: 1506-1516.

روش بوده و یا اینکه مهمترین عامل اقلیمی است.

مزیت مهم رابطه پیشنهادی در این تحقیق ساده بودن و نیاز به تنها یک عامل اقلیمی یعنی میانگین دما برای بدست آوردن تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد که تقریباً در تمامی ایستگاههای هواشناسی در ایران مرکزی موجود می‌باشد. نتایج نشان داد که از این رابطه براحتی می‌توان در دشتهای این بخش از کشور و به‌ویژه در مناطقی که دارای فقر داده هستند، جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع استفاده نمود. با توجه به اینکه تبخیر و تعرق مرجع و همچنین ضریب گیاهی از عامل‌های مهم در تعیین نیاز آبی گیاهان در مناطق فاقد داده‌های لایسیمیتری محسوب می‌شوند، بنابراین تخمین درست آن می‌تواند به مدیریت بهتر منابع آب کمک نماید. بنابراین پیشنهاد می‌شود تحقیق حاضر برای مناطق شمالی، غربی و جنوبی کشور به طور جداگانه انجام شود تا معادلات ساده و با دقت مناسب برای برآورد تبخیر و تعرق مرجع به‌صورت منطقه‌ای بدست‌آید.

## منابع مورد استفاده

دین پژوه، ی.، ۱۳۹۰. تجزیه و تحلیل روند تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع (مطالعه موردی: ایستگاه همدان). فصلنامه فضای جغرافیایی، ۱۱(۳۴)، ۲۸۶-۲۶۰.

علیزاده، ا.، ۱۳۸۳. رابطه آب، خاک و گیاه. انتشارات امام رضا، ۴۷۰ص.

ملکی نژاد، ح. و پورمحمدی، س.، ۱۳۸۷. تعیین مهمترین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر تبخیر در مناطق خشک کشور به کمک تجزیه عاملی دوران یافته. سومین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.

ملکی نژاد، ح.، پورمحمدی، س. و رحیمیان، م. ح.، ۱۳۸۹. بررسی تغییرات زمانی و مکانی تبخیر بر اساس مهمترین عوامل هواشناختی مؤثر بر آن در ایران مرکزی. تحقیقات منابع آب ایران، ۶(۳)، ۵۴-۴۲.

ملکی نژاد، ح.، پورمحمدی، س.، حسینی، ح. و رحیمیان، م. ح.، ۱۳۸۹. سنجش کارایی مدل ساده شده فائو پنمن - مانیت برای برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع (مطالعه موردی، ایران مرکزی). طرح پژوهشی، دانشگاه یزد.

موسوی بایگی، م.، عرفانیان، م. و سرمد، م.، ۱۳۸۸. استفاده از

## Developing and performance assessment of a regression equation for estimating reference crop evapotranspiration based on FAO Penman-Monteith in central Iran

Malekinezhad, H.<sup>1\*</sup> and Pourmohammadi, S.<sup>2</sup>

1\*- Corresponding Author, Associate professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran,  
Email:hmalekinezhad@yazd.ac.ir

2- M.Sc. in Desert management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

Received: 29.09.2010

Accepted: 18.02.2012

### Abstract

So far, several methods have been presented in different parts of the world to estimate reference crop evapotranspiration. The most popular and prestigious of them can be combined methods of Penman family, modified Blaney-Criddle, Hargreaves - Samani and Thornthwaite. Due to the lack of Lysimeter data in the most regions of Iran, providing regional equations based on local conditions with the appropriate accuracy is very important. The main purpose of this research was developing a new regional model to estimate ET<sub>0</sub>. Firstly, the main variables affecting ET<sub>0</sub> were identified using three approaches of artificial neural network (ANN), factor analysis (FA) and multiple-regression in four main synoptic stations (Yazd, Kerman, Isfahan and Shiraz) in central Iran. The results showed that the average monthly temperature was the most influencing factor on the amount of ET<sub>0</sub>. The regression equation between monthly average temperature (T<sub>mean</sub>) and ET<sub>0</sub> was extracted ( $ET_0 = -0.0118 + 0.263 T_{mean}$ ) for the entire study area. The result of obtained equation was compared with FAO Penman - Monteith, Blaney - Criddle, Hargreaves - Samani and Thornthwaite methods. The extracted equation was tested and evaluated by the data of four main stations and also Tabas, Fasa, Naein and Bam stations in Central Iran. The RMSE, MAE and R<sup>2</sup> statistics were applied to compare the methods. The obtained equation was only depended on the mean monthly temperature and had very good accuracy to estimate the ET<sub>0</sub> in comparison with Hargreaves-Samani, Thornthwaite, and even somewhere Blaney-Criddle methods in Central Iran.

**Key words:** Reference crop evapotranspiration, FAO penman-monteith, artificial neural network, factor analysis, multiple-regression, central Iran.